



Pola doświadczalne wiosną w Radzikowie

Fot. Gabriela Wodzyńska-Łapińska

BIULETYN
INSTYTUTU HODOWLI
I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
Nr 273/2014



Pola doświadczalne wiosną w Radzikowie. Fot. Gabriela Wodzyńska-Łapińska

RADZIKÓW 2014
INSTYTUT HODOWLI I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY — RADZIKÓW
05-870 BŁONIE pod WARSZAWĄ

INSTYTUT HODOWLI I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: Prof. dr hab. Edward Arseniuk

Komitet Redakcyjny:
Editorial Committee:

DANUTA BOROS (Przewodnicząca — Editor-in Chief)
HENRYK J. CZEMBOR, RENATA LEBECKA, ANNA LINKIEWICZ, WIESŁAW MĄDRY,
KATARZYNA MIKOŁAJCZYK, WOJCIECH NOWACKI, BARBARA ZAGDAŃSKA
GABRIELA WODZYŃSKA-ŁAPIŃSKA (Sekretarz Redakcji — Editorial Secretary)

Redaktor Statystyczny — WIESŁAW MĄDRY

CZASOPISMO UKAZUJE SIĘ OD 1951 ROKU

Redaktor techniczny i skład komputerowy
GABRIELA WODZYŃSKA-ŁAPIŃSKA

Druk: CENTRUM POLIGRAFII Sp. z o.o.

FRANCISZEK RUDNICKIKatedra Podstaw Produkcji Roślinnej i Doświadczalnictwa
Uniwersytet Technologiczno — Przyrodniczy w Bydgoszczy

Metoda wskaźnikowej oceny postępu hodowlanego wnoszonego przez odmiany roślin uprawnych

Method for evaluation with indicators of the breeding progress introduced by plant cultivars

Praca zawiera propozycję nowej metody oceny postępu hodowlanego wnoszonego przez poszczególne odmiany rośliny uprawnej. Ocena polega na wyznaczeniu wskaźników postępu na podstawie danych z wieloletnich doświadczeń odmianowych. Wyznaczane są wskaźniki: PHO — postępu hodowlanego wnoszonego przez poszczególne odmiany pod względem danej cechy; UPHO — użytecznego postępu hodowlanego wnoszonego przez poszczególne odmiany pod względem danej cechy; UTO — użytecznej trwałości odmiany; WOC — wartości użytkowej odmiany. Przyjęto, że odmiana wnosi postęp jeśli wartość danej cechy tej odmiany, w 4 pierwszych latach jej badania, jest większa (korzystniejsza) niż wartość tej cechy u najlepszej odmiany starszej, wśród odmian badanych, w tych samych 4 latach. Odmiana wnosi postęp użyteczny gospodarczo, pod względem danej cechy gdy, w 4 pierwszych latach jej badania, jest lepsza od średniej wartości tej cechy u odmian starszych. Jako użytecznie trwałą przyjęto odmianę, która w latach jej użytkowania (badań) jest lepsza, pod względem danej cechy, od średniej wartości tej cechy u wszystkich odmian (starszych i nowszych) w porównywalnych latach. Wskaźnik UTO pozwala także oszacować liczbę lat trwałości odmiany. Wskaźnik wartości użytkowej odmiany (WOC) jest średnią wskaźników PHO, UPHO i UTO. Wskaźniki mogą być wyznaczone dla każdej cechy, której wartości są mierzalne i cecha ta ma znaczenie gospodarcze. Wskaźniki wyliczone dla różnych cech rośliny uprawnej są porównywalne jeśli dane pochodzą z tych samych doświadczeń i lat.

Słowa kluczowe: postęp hodowlany, odmiana, ocena wskaźnikowa, metoda

The paper contains a proposal for a new method of evaluation of breeding progress delivered by each individual cultivar. The assessment consists of progress indicators, based on data from many years of experiments. Following indicators are calculated: PHO — breeding progress delivered by individual cultivar in terms of the trait; UPHO — useful breeding progress delivered by cultivar in terms of the trait; UTO — useful durability of the cultivar; WOC — usefulness of cultivar. It is assumed that the cultivar delivers breeding progress if its given trait, during the first 4 years of the research, is higher (more beneficial) than the best of the older cultivar among the tested cultivars, in the same years.

Redaktor prowadzący: Henryk J. Czembor

Cultivar delivers useful breeding progress of trait if, in the first 4 years of the research, its value is better than the average value of the trait for the older cultivars, in the same years. Cultivar is usefully durable if, in the years of its use (research), it is better with regard to a given trait than the average value of the trait of all cultivars (older and newer), in the comparable period. UTO indicator also allows to estimate the number of years of the cultivar durability. Index of usefulness of cultivar (WOC) is calculated as the average of the indicators PHO, UPHO and UTO. Indicators can be calculated for each trait, if its values are measurable and this trait has farming importance. Indicators calculated for the different traits of the crop are comparable if the data come from the same experiments and years.

Key words: breeding progress, cultivar, evaluation indicators, method

WSTĘP

Celem i efektem hodowli twórczej odmian roślin uprawnych jest poprawienie różnych cech roślin, ważnych z agrotechnicznego i użytkowego punktu widzenia. W przedmiotowej literaturze spotykamy różne nazwy i definicje efektów hodowli roślin (postęp biologiczny, postęp hodowlany, postęp odmianowy, postęp hodowlano-odmianowy, postęp genetyczny), a nazwy te bywają używane zamiennie i traktowane jako synonimy (Kamasa, 1986; Krzymuski, 1989 i 1991 b; Krzymuski i Laudański, 1996; Runowski, 1997). Często używana jest nazwa „postęp biologiczny”. Ten jednak, chyba słusznie, Szymczyk (2006) określa jako „efektywność ludzkiej działalności, stosującej poznane prawa i mechanizmy biologiczne w celu wykorzystywania organizmów świata ożywionego, dla osiągnięcia określonych celów użytecznych”. Zatem postęp biologiczny obejmuje nie tylko hodowlę odmian roślin uprawnych, ale też inne działania, np. biologiczne sposoby ochrony roślin przed agrofagami lub wykorzystanie organizmów symbiotycznych czy „efektywnych mikroorganizmów” w produkcji roślinnej.

Postęp odmianowy jest często utożsamiany z postępem biologicznym choć, jak zauważa Krzymuski (1991 a), obejmuje on tylko jego część związaną z odmianami roślin. Zdaniem tego autora postęp odmianowy „ma szerszy zasięg, w znaczeniu terytorialnym i czasowym” w stosunku do postępu hodowlanego, ponieważ uwzględnia też odmiany importowane. Postęp odmianowy jest także ujmowany jako liczba nowo rejestrowanych odmian w powiązaniu z ich cechami użytkowymi na tle odmian wzorcowych (Czembor, 1999), albo jako „wszystkie nowe cechy użytkowe, bądź polepszenie cech posiadanych przez roślinę, wnoszone przez nowo rejestrowane odmiany” (Mańkowski, 2009). Szymczyk (2004) dostrzega wadliwość zwrotu „postęp odmianowy” ponieważ odmiana „jako gotowy produkt procesu hodowlanego jest tylko jego nośnikiem, a nie kreatorem”. Wydaje się jako właściwe rozumienie postępu odmianowego jako zwiększanie liczby odmian w rejestrze odmian. W takim ujęciu byłby to postęp w rejestracji nowych odmian, na podstawie określonych kryteriów. Krzymuski (1991 a) określa to jako „ruch odmianowy”, ale nie utożsamia z postępem odmianowym.

Postęp genetyczny oznacza „zwiększenie wartości danej cechy w pokoleniu potomnym w porównaniu do populacji rodzicielskiej w wyniku prowadzonej selekcji”. Jest on odnoszony do skuteczności selekcji i określany współczynnikiem intensywności selekcji. Ma zastosowanie w procesie hodowlanym, natomiast nie ma bezpośredniego odniesienia do odmiany jako produktu hodowli (Szymczyk, 2004).

Określeniem lepiej wyrażającym efekty hodowli twórczej, polegające na poprawie ważnych gospodarczo cech rośliny uprawnej, jest postęp hodowlany. Ten zwrot jest najczęściej używany w literaturze polskiej i anglojęzycznej (breeding progress). Jest on definiowany jako „logiczna suma różnych elementów wartości gospodarczej i użytkowej (cech, właściwości), poprawionych w procesie hodowli twórczej, wnoszona sukcesywnie przez nowe odmiany do zarejestrowanych i stosowanych w uprawie zestawów odmianowych gatunków roślin uprawnych” (Szymczyk, 2006), albo jako „wszystkie nowe cechy użytkowe, bądź polepszenie cech posiadanych przez roślinę, wnoszone przez nowo wyhodowane rody i odmiany zgłoszone do doświadczeń przedrejestranych” (Mańkowski, 2009). Przytoczone dwie definicje dotyczą tego samego, ale mają różny zakres i przydatność. Ta pierwsza odnosi się do odmian nowo rejestrowanych na tle odmian wcześniej zarejestrowanych. Tak rozumiany postęp hodowlany jest zarazem przydatny dla rolniczej praktyki produkcyjnej. W drugiej definicji logicznie przyjęto, że pojawienie się nowej cechy lub poprawa danej cechy (cech) u nowego rodu hodowlanego jest postępowaniem hodowlanym pomimo, że może on być nie wpisany do rejestru odmian i dopuszczony do obrotu handlowego. Tak określany i oceniany postęp hodowlany może być przydatny hodowcom roślin, ale nie musi mieć praktycznego znaczenia rolniczego.

Ocena postępu hodowlanego roślin uprawnych jest potrzebna, ponieważ jest on zgodnie uznawany za wysoce skuteczny, stosunkowo tani czynnik wzrostu produkcji roślinnej i poprawy jakości produktów roślinnych (Szymczyk, 1973; Runowski, 1997; Duczmał, 2003; Malepszy, 2004). Mackay i in. (2011) wykazali, że w Wielkiej Brytanii zwiększenie plonów zbóż od 1982 roku wynika co najmniej w 88% z poprawy genetycznej odmian. Istnieje wiele metod oceny postępu hodowlanego roślin uprawnych, a ich przegląd dokonali m.in. Krzymuski (1991), Krzymuski i in. (1993), Arseniuk i in. (2003), Szymczyk (2006), Mańkowski (2009). Doszli oni do wniosku, że każda z dotychczas stosowanych metod ma zalety, ale też istotne wady i ograniczenia. Konkludując taki wniosek Szymczyk (2006) twierdzi, że „mimo wielu podejmowanych prób, praktycznie nie udało się opracować uniwersalnych, a zarazem prostych metod, które umożliwiłyby dokonywanie całościowych szacunków efektywności hodowli”. Podobny pogląd wyrażają Arseniuk i in. (2003) twierdząc, że „nie ma jednoznacznej miary, którą można zmierzyć efekt postępu biologicznego”, a zwłaszcza „znaleźć uniwersalną miarę wspólną dla różnych gatunków”.

Należy jednak zauważyć metodę jaką zastosował Kaczyński (2011). Wykonał on serię doświadczeń z 10 odmianami pszenicy ozimej, wyhodowanymi w różnych okresach (między rokiem 1912 a 1989) na 3 poziomach agrotechniki. Dane z tych doświadczeń posłużyły do oceny postępu hodowlanego, pod względem plonowania i kilku innych cech użytkowych pszenicy, jaki miał miejsce w okresie 79 lat. Te wyniki są wielce wartościowe. Mankamentem metody jest jednak jej duża praco- i kosztochłonność oraz konieczność ograniczenia zakresu doświadczeń do niewielkiej liczby arbitralnie wybieranych odmian.

Brak skutecznych metod wynika z obiektywnych trudności oceny efektów hodowli roślin. Te trudności wynikają z:

- zwykle dużej zmienności cech roślin w kolejnych latach w reakcji na warunki meteorologiczne, co powoduje nieporównywalność danych z kolejnych lat;
- występowania interakcji genotypowo – środowiskowej odmian roślin, przez co postęp może ujawniać się w różnym stopniu w odmiennych warunkach przyrodniczych i agrotechnicznych;
- zmian w agrotechnice roślin, co utrudnia wydzielenie efektów postępu hodowlanego z całości efektów uprawy roślin;
- braku możliwości analiz porównawczych nowych odmian ze stałym wzorcem lub nawet ze wzorcem pomostowym (skreślenia odmian, zmiana ich właściwości w czasie), a zmiana wzorca zmienia także punkt odniesienia w ocenach odmian;
- pomiaru cech w różnych jednostkach miary (jednostki fizyczne, oceny bonitacyjne);
- konieczności posiadania pełnych i wiarygodnych danych z doświadczeń lub/i produkcji (rodzaj i zakres danych warunkuje możliwość i sposób oceny postępu).

Powyższe trudności sprawiają, że dotychczas oceny postępu hodowlanego były dokonywane zwykle tylko pod względem plonu danego gatunku rośliny uprawnej, a sporadycznie pod względem innych cech gospodarczych i udziału w postępie poszczególnych odmian.

Szczególnie trudne są wielocechowe oceny postępu hodowlanego, ponieważ brak jest obiektywnych kryteriów ustalania znaczenia poszczególnych cech w całościowej ocenie odmian. Różne też są kierunki użytkowania, kategorie wczesności, poziomy agrotechniki zmieniające te kryteria. W takim przypadku konieczny jest udział gremiów eksperckich.

Poszukiwanie nowych metod oceny postępu hodowlanego jest ciągle aktualne. To stanowiło inspirację do podjęcia takich prac, a w niniejszym artykule zawarto ich efekt jako propozycję nowej wskaźnikowej metody oceny postępu hodowlanego wnoszonego przez poszczególne odmiany. Przykład zastosowania metody do oceny odmian pszenżyta ozimego zawierają prace autora metody (Rudnicki, 2014 a, 2014,b).

METODA

Postulatami wyjściowymi do opracowania metody szacowania postępu hodowlanego były:

- możliwe powinno być dokonywanie oceny postępu wnoszonego przez poszczególne odmiany danego gatunku rośliny uprawnej;
- oceny postępu wnoszonego przez poszczególne odmiany powinny być możliwe po względnie krótkim czasie od ich zarejestrowania;
- metoda powinna umożliwiać ocenę postępu ujawniającego się w różnych cechach roślin danego gatunku, tak aby oceny te były porównywalne;

— powinno być możliwe dokonywanie oceny postępu hodowlanego na podstawie danych uzyskiwanych z systemu rutynowych doświadczeń odmianowych, tj. bez generowania dodatkowych kosztów.

Uznano, że postulaty takie może spełnić metoda polegająca na wyznaczaniu wskaźników postępu, wyrażonych liczbami niemianowanymi. Z kolei wiarygodnymi danymi źródłowymi do takiej oceny postępu hodowlanego w naszym kraju są wyniki doświadczeń rejestrowych i porejestrowych Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU). Dlatego szacunki postępu hodowlanego mogą być dokonywane w zakresie odmian znajdujących się w polskim rejestrze odmian, które podlegają wieloletnim badaniom.

Opracowano 4 wskaźniki postępu wnoszonego przez poszczególne odmiany, pod względem danej cechy:

- postępu hodowlanego wnoszonego przez odmianę (PHO);
- użytecznego postępu hodowlanego wnoszonego przez odmianę (UPHO);
- użytecznej trwałości odmiany (UTO);
- wartości odmiany pod względem danej cechy (WOC).

Powyższe wskaźniki dla danej cechy są wyznaczone po przekształceniu jej wartości rzeczywistych według wzoru:

$$x_{ij} = \bar{C}_3 + (c_{ij} - \bar{c}_j) \quad (1)$$

gdzie: x_{ij} — przekształcona wartość cechy i -tej odmiany w j -tym roku; c_{ij} — rzeczywista wartość cechy i -tej odmiany w j -tym roku; $\bar{c}_j$ — średnia wartość cechy wszystkich odmian występujących w j -tym roku; $\bar{C}_3$ — średnia wartość cechy z 3 pierwszych lat uwzględnionych w analizie.

Takie przekształcenie normalizuje dane sprowadzając je do porównywalnych wartości poprzez eliminację różnic między latami, ale z zachowaniem różnic między odmianami w poszczególnych latach. Znormalizowane dane nie zniekształcają efektów odmianowych, a przez dodanie wartości średniej cechy z 3 pierwszych lat objętych analizą wszystkie mają wartości dodatnie. Uznano, że średnia z 3 pierwszych lat badań wystarczająco charakteryzuje początkowy (wyjściowy) poziom cechy gatunku i ta wartość nie zmienia się wraz z uzupełnianiem zbioru danych z kolejnych lat. Przykład normalizacji danych zawiera tabela 1. Po normalizacji plony średnie we wszystkich latach są takie same, natomiast różnice plonów normalizowanych między odmianami w poszczególnych latach są identyczne jak przed normalizacją. Taka normalizacja danych pozwala porównywać odmiany między sobą bez zakłócającego wpływu wahań danej cechy w latach. Pozwala także wyznaczać wskaźniki ilorazowe cechy, ponieważ wartości cechy są sprowadzone do jednakowego rzędu wielkości we wszystkich latach objętych analizą.

Wyznaczając wskaźnik postępu hodowlanego wnoszonego przez daną odmianę (PHO) przyjęto, że odmiana wnosi taki postęp jeśli wartość danej cechy tej odmiany, w 4 pierwszych latach jej badania, jest większa (korzystniejsza) niż wartość tej cechy u najlepszej odmiany, wśród wcześniej zarejestrowanych, w tych samych 4 latach. Wskaźnik wyznaczono wg wzoru:

$$PHO_i = \frac{\sum_{l=1}^4 x_{il}}{\sum_{l=1}^4 xn_l} \quad (2)$$

gdzie: PHO_i — wskaźnik postępu hodowlanego wnoszonego przez i -tą odmianę; $x_{i,l}$ — normalizowana wartość cechy i -tej odmiany w l -tym roku; xn_l — normalizowana wartość cechy odmiany najlepszej pod względem tej cechy, wcześniej zarejestrowanej niż i -ta odmiana w l -tym roku; l — indeks lat badań i -tej odmiany.

Odmianą najlepszą wcześniej zarejestrowaną (xn) jest jedna odmiana, ta która w okresie 4 porównywalnych lat jest najlepsza spośród wszystkich odmian wcześniej rejestrowanych niż odmiana dla której wyliczany jest wskaźnik PHO. Wskaźnik PHO oscyluje wokół wartości 1,0. Gdy jest większy od tej wartości to świadczy o postępie hodowlanym wnoszonym przez daną odmianę, a gdy jest mniejszy lub równy 1,0 to wskazuje na brak takiego postępu.

Tabela 1

Rzeczywiste ($dt \cdot ha^{-1}$) i normalizowane plony ziarna 10 odmian pszenżyta ozimego w latach 1982–1988
Real ($dt \cdot ha^{-1}$) and normalized yields of grain of 10 cultivars of the winter triticales in years 1982–1988

Odmiana Cultivar	Rok rejestracji Year of registration	Rok oceny plonu Year of yield evaluation						
		1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Dane rzeczywiste — plony (dt·ha ⁻¹) Real data — yields (dt·ha ⁻¹)								
Lasko	1982	31,0	55,2	54,7	47,3	55,7	56,4	59,5
Grado	1984	47,0	59,1	55,8	50,8	56,2	53,2	55,3
Dagro	1985		60,4	57,4	50,8	58,3	55,1	54,1
Bolero	1986			57,4	51,8	55,7	55,4	57,8
Largo	1986			54,7	49,3	55,0	53,0	53,4
Malno	1987				51,8	59,5	58,5	57,5
Ugo	1988					62,4	62,5	60,1
Presto	1989						59,9	60,1
Almo	1989						60,0	60,6
Moniko	1990							59,8
Średnia — Average		39,0	58,2	56,0	50,3	57,5	57,1	57,8
s*		—	2,71	1,36	1,73	2,68	3,29	2,68
Dane normalizowane Normalised data								
Lasko	1982	43,1	48,0	49,8	48,1	49,2	50,4	52,8
Grado	1984	59,1	51,9	50,9	51,6	49,7	47,2	48,6
Dagro	1985		53,2	52,5	51,6	51,8	49,1	47,4
Bolero	1986			52,5	52,6	49,2	49,4	51,1
Largo	1986			49,8	50,1	48,5	47,0	46,7
Malno	1987				52,6	53,0	52,5	50,8
Ugo	1988					55,9	56,5	53,4
Presto	1989						53,9	53,4
Almo	1989						54,0	53,9
Moniko	1990							53,1
Średnia — Average		51,1	51,1	51,1	51,1	51,1	51,1	51,1
s*		—	2,71	1,36	1,73	2,68	3,29	2,68

* s — Odchylenie standardowe; Standard deviation

Przykład 1:

Wyznaczany jest wskaźnik postępu hodowlanego (PHO) jaki wniosła odmiana pszenżyta ozimego ‘Malno’ pod względem plonu ziarna. Plon tej odmiany był oceniany począwszy od 1985 roku (tab. 2). Średni normalizowany jej plon z pierwszych 4 lat (1985–1988) wyniósł $52,2 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$, a suma plonów z tych lat $208,9 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$. Średni plon odmiany najlepszej wcześniej zarejestrowanej (‘Bolero’) wyniósł, w tych samych latach, $50,6 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$, a suma plonów $202,3 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wskaźnik PHO można wyliczać na sumach z 4 lat (jak we wzorze 2), lub na średnich wartościach cechy z tych lat, uzyskując ten sam wynik. Stąd PHO dla odmiany ‘Malno’ wynosi:

$$PHO_{Malno} = \frac{208,9}{202,3} = 1,03 \quad \text{lub} \quad PHO_{Malno} = \frac{52,2}{50,6} = 1,03$$

Wartość $PHO > 1,0$ wskazuje, że odmiana ‘Malno’ wniosła postęp w zakresie plonowania w porównaniu z najlepszą (a zatem każdą) odmianą wcześniej od niej zarejestrowaną.

Jako użyteczny postęp hodowlany wnoszony przez odmianę (UPHO) przyjęto poprawę danej cechy u ocenianej odmiany w porównaniu do średniej wartości tej cechy u wszystkich odmian wcześniej wpisanych do krajowego rejestru odmian roślin uprawnych, w porównywalnych latach. Uznano, że odmiana wnosi użyteczny gospodarczo postęp, pod względem danej cechy gdy, w 4 pierwszych latach jej badania, jest lepsza od średniej wartości tej cechy u odmian starszych. Dlatego wskaźnik UPHO jest wyznaczany przez porównanie wartości danej cechy odmiany ocenianej i średniej wartości tej cechy u wszystkich odmian wcześniej rejestrowanych uczestniczących w doświadczeniach. Wskaźnik UPHO, podobnie jak PHO, można wyliczać na sumach z 4 lat (wzór 3), lub na średnich wartościach cechy z tych lat.

$$UPHO_i = \frac{\sum_{l=1}^4 x_{il}}{\sum_{l=1}^4 \bar{x}w_l} \quad (3)$$

gdzie: $UPHO_i$ — wskaźnik użytecznego postępu hodowlanego wnoszonego przez i -tą odmianę; $\bar{x}w$ — średnia wartość cechy u wszystkich odmian zarejestrowanych wcześniej niż i -ta odmiana w porównywalnych latach; x_{il} — jak we wzorze 2.

Tabela 2

Normalizowane plony ziarna 6 odmian pszenżyta ozimego w latach 1985–1988
Normalised grain yields of 6 cultivars of the winter triticale in years 1985–1988

Odmiana Cultivar	Rok rejestracji Year of registration	Rok oceny plonu Year of yield evaluation				Suma Sum	Średnia Average
		1985	1986	1987	1988		
Lasko	1982	48,1	49,2	50,4	52,8	200,5	50,1
Grado	1984	51,6	49,7	47,2	48,6	197,1	49,3
Dagro	1985	51,6	51,8	49,1	47,4	199,9	50,0
Bolero	1986	52,6	49,2	49,4	51,1	202,3	50,6
Largo	1986	50,1	48,5	47,0	46,7	192,3	48,1
Malno	1987	52,6	53,0	52,5	50,8	208,9	52,2

Przykład 2:

Wyznaczany jest wskaźnik UPHO dla odmiany ‘Malno’, na podstawie danych z tabeli 2. Średni normalizowany jej plon z 4 lat (1985–1988) wyniósł 52,2 dt·ha⁻¹. Średni plon odmian wcześniej zarejestrowanych, w tych samych 4 latach, wyniósł 49,6 dt·ha⁻¹. Stąd UPHO dla odmiany ‘Malno’ wynosi:

$$UPHO_{Malno} = \frac{52,2}{49,6} = 1,05$$

Wniosek: Odmiana ‘Malno’, pod względem plonowania, wniosła postęp użyteczny gospodarczo.

Jako użytecznie trwała przyjęto odmianę, która w latach jej użytkowania (badań) jest lepsza, pod względem danej cechy, od średniej wartości tej cechy u wszystkich pozostałych odmian (starszych i nowszych) w porównywalnych latach. Przyjęto też, że wskaźnik UTO można wyznaczać gdy dana odmiana jest badana, pod względem danej cechy, co najmniej przez 5 lat.

Wskaźnik UTO dla danej odmiany wyliczany jest w następujących krokach:

1. Obliczenia średnich wartości cechy wszystkich odmian badanych w poszczególnych latach, z wyłączeniem z tej średniej odmiany dla której wyliczany jest wskaźnik UTO:

$$\bar{x}p_l = \frac{1}{n_l - 1} \cdot [(\sum_{i=1}^{n_l} x_{il}) - x_{ol}] \quad (4)$$

gdzie: $\bar{x}p_l$ — średnia wartość normalizowanej cechy wszystkich odmian w l-tym roku z wyłączeniem z tej średniej odmiany ocenianej; x_{il} — normalizowana wartość cechy i-tej odmiany w l-tym roku; n_l — liczba odmian w l-tym roku; x_{ol} — normalizowana wartość cechy odmiany ocenianej w l-tym roku; l — indeks lat badań i-tej odmiany (1, 2, 3...).

2. Obliczenia wskaźnika q w poszczególnych latach:

$$q_{il} = \frac{x_{il}}{\bar{x}p_l} \quad (5)$$

gdzie: q_{il} — iloraz normalizowanych wartości cechy i-tej odmiany ocenianej i średniej wartości cechy pozostałych odmian w l-tym roku; pozostałe oznaczenia jak we wzorze nr 4.

3. Obliczenie sumy wskaźników q z wszystkich lat badań i-tej ocenianej odmiany (sq_i):

$$sq_i = \sum_{l=1}^{L_i} q_{il} \quad (6)$$

gdzie: L_i — liczba lat badań ocenianej i-tej odmiany.

4. Obliczenia sumy wskaźników q z lat, w których ich wartość dla ocenianej odmiany jest większa od 1,0 ($sq1_i$):

$$sq1_i = \sum_{k=1}^{L1_i} q_{ik} \quad (7)$$

gdzie: $L1_i$ — liczba lat w których wskaźnik q jest większy od 1,0; k — indeks lat w których wartość q dla ocenianej odmiany jest większa od 1,0.

5. Wyznaczanie szacowanej liczby lat użytecznej trwałości ocenianej i-tej odmiany (LT_i):

$$LT_i = \frac{sq_i \cdot sq1_i}{L_i} \quad (8)$$

6. Wyznaczanie wskaźnika 5-letniej użytecznej trwałości ocenianej i-tej odmiany (UTO_i):

$$UTO_i = LT_i \div 5 \quad (9)$$

Przykład 3:

Oceniana jest użyteczna trwałość odmiany ‘Malno’ pod względem plonów ziarna. Odmiana ta była badana w doświadczeniach COBORU przez 15 lat (1985–1999). Jej normalizowane plony w tych latach i normalizowane plony średnie pozostałych odmian, w analogicznych latach zawiera tabela 3. Suma wskaźników q dla tej odmiany wynosi $sq = 14,566$, suma wskaźników q z 4 lat (1985, 1986, 1987, 1989), w których były one większe od 1,0, wynosi $sq1 = 4,101$. Na podstawie wartości sq , $sq1$ i liczby lat badań odmiany (L) szacowana jest liczba lat użytecznej trwałości (LT) odmiany ‘Malno’:

$$LT_{Malno} = \frac{14,566 \cdot 4,101}{15} = 4,0$$

Wskaźnik użytecznej 5-letniej trwałości (UTO) odmiany ‘Malno’ wynosi:

$$UTO_{Malno} = 4,0 / 5 = 0,80.$$

Wnioski: Odmiana ‘Malno’ wniosła wprawdzie postęp hodowlany ($PHO = 1,03$) i użyteczny postęp hodowlany ($UPHO = 1,05$), ale trwałość tego postępu była mała ($UTO = 0,80$) i w okresie 15 lat badań tej odmiany tylko przez 4 lata jej plonowanie było lepsze niż średnio pozostałych odmian. Ta niska trwałość wynika z wprowadzenia do rejestru i badań, w następnych latach, odmian lepiej od niej plonujących, np. ‘Ugo’, ‘Presto’, ‘Bogo’, ‘Marko’, ‘Lamberto’. Małą trwałość odmiany ‘Malno’ potwierdza także trend jej rzeczywistych plonów w latach 1985–1999, który jest wprawdzie dodatni ($0,7 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$), zapewne wskutek postępu agrotechnicznego i warunków atmosferycznych, ale wyraźnie mniejszy niż pozostałych odmian ($1,27 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) w tych samych latach.

Tabela 3

Szacowanie wskaźnika użytecznej trwałości plonowania (UTO) pszenżyta ozimego odmiany ‘Malno’
Calculation of the indicator of useful durability of yielding (the UTO) of the winter triticale of variety ‘Malno’

Rok Year	Plon odmian* Yields of cultivars		Iloraz (q_{ii}) Quotient (q_{ii})
	‘Malno’	pozostałych — others	
1985	53,78	51,98	1,035
1986	53,91	52,05	1,036
1987	53,51	52,15	1,026
1988	51,96	52,32	0,993
1989	52,50	52,26	1,005
1990	52,28	52,28	1,000
1991	51,82	52,33	0,990
1992	52,20	52,29	0,998
1993	51,06	52,40	0,974
1994	51,18	52,37	0,977
1995	48,89	52,54	0,930
1996	48,66	52,54	0,926
1997	46,98	52,59	0,893
1998	45,94	52,58	0,874
1999	47,67	52,50	0,908
Suma; Sum	—	—	14,566
Suma; Sum >1,0	—	—	4,101
$LT_{Malno} = 14,566 \cdot 4,101 / 15 = 4,0$			$UTO_{Malno} = 4,0 / 5 = 0,80$

* Plony normalizowane; Normalised yields

Wskaźnik wartości odmiany pod względem danej cechy (WOC), jest wyznaczany jako średnia postępu hodowlanego (PHO), użytecznego postępu hodowlanego (UPHO) i użytecznej jej trwałości (UTO). Wskaźnik ten syntetycznie charakteryzuje wartość odmiany pod względem danej cechy, ponieważ odmiana może wносить postęp, ale jest on nietrwały (jak w przypadku odmiany 'Malno') lub odwrotnie. Dla odmiany 'Malno' wskaźnik WOC wynosi:

$$WOC_{\text{Malno}} = (1,03 + 1,05 + 0,80)/3 = 0,96.$$

OMÓWIENIE METODY

Proponowana metoda pozwala poznać efekty hodowli roślin, których nośnikami są odmiany. Wskaźnikowy sposób wyrażenia tych efektów pozwala ją stosować do oceny postępu ujawniającego się (lub nie) w różnych cechach mierzalnych, w tym średnich wartości z wielu ocen bonitacyjnych. Konstrukcja tych wskaźników uwalnia ich wartości od zmienności danej cechy w latach badań, poprzez przyjęty sposób normalizacji danych (wzór nr 1). Ma to zasadnicze znaczenie przy wyznaczaniu wskaźników ilorazowych, ponieważ wartość ilorazu zależy w dużym stopniu od wartości dzielnika. Toteż po normalizacji dane z wszystkich lat objętych analizą mają podobny rząd wielkości dzielników i dzielników. Ten rząd wielkości nie zmienia się także gdy zbiór danych jest powiększany poprzez uwzględnienie następnych lat badań.

Opracowując wskaźniki dążono do ich porównywalności, pomimo różnych lat badań poszczególnych odmian i różnej liczby lat ich badania. W przypadku wyznaczenia wskaźników PHO i UPHO uzyskano to poprzez przyjęcie stałej liczby danych normalizowanych z 4 pierwszych lat badań ocenianej odmiany. Wartości tych wskaźników oscylują wokół 1,0, większe od 1,0 wskazują na wnoszony przez daną odmianę postęp, a mniejsze od 1,0 na brak takiego postępu. Mnożąc te wskaźniki przez 100 i odejmując 100 uzyskuje się wynik wyrażony w procencie.

Wskaźnik użytecznej trwałości danej odmiany (UTO) jest wyznaczany na podstawie całego okresu, w którym była ona badana. Uznano jednak 5 lat badań danej odmiany jako minimalnie konieczny do oceny jej trwałości. Konstruując ten wskaźnik przyjęto, że odmiana jest trwała jeśli w latach, w których jest ona użytkowana (badana) wartością przedmiotowej cechy przewyższa ona średnie wartości tej cechy pozostałych odmian badanych w tych latach. Jest to odpowiedź na pytanie: czy i w jakim stopniu dana odmiana jest konkurencyjna względem innych odmian, zarówno wcześniej jak i później od niej rejestrowanych? Wyliczony wskaźnik użytecznej trwałości odmiany (UTO) przyjmuje wartości od zera wzwyż. Wartość zerową ma on wówczas, gdy pod względem cechy dana odmiana w żadnym roku nie jest lepsza od średniej wartości tej cechy u pozostałych odmian. Wskaźnik UTO przyjmuje wartość 1,00 jeśli dana odmiana przez 5 lat jej użytkowania (badania) dorównuje średniej wartości tej cechy u pozostałych odmian, a wartość powyżej 1,00 gdy ponad 5 lat jest lepsza od pozostałych. Ponieważ wskaźnik UTO wyraża 5-letnią trwałość danej odmiany, to jego wartość mnożona przez 5 wyznacza oszacowaną liczbę lat użytecznej trwałości danej odmiany (LT). Jest to liczba lat, spośród

wszystkich lat badań odmiany, w których dana odmiana jest lepsza od średniej wartości danej cechy u pozostałych odmian, w tych samych latach.

W danej analizie, obejmującej określoną liczbę lat, wskaźniki postępu hodowlanego (PHO) oraz użytecznego postępu hodowlanego (UPHO), wyznaczone po 4 latach badań danej odmiany, są niezmiennie niezależnie od liczby dalszych lat badań tej odmiany. Wskaźnik użytecznej trwałości odmiany (UTO) także ma wartość stałą dla odmian, które zostały skreślone z rejestru odmian i/lub zaprzestano dalszego ich badania. W przypadku natomiast odmian, które są nadal użytkowane i badane może się on zmieniać wraz z uwzględnianiem danych z następnych lat. W takim przypadku jego przydatność polega na informacji o dotychczasowej trwałości odmiany i może sugerować celowość jej dalszego badania (gdy po 5 latach badań wskaźnik UTO jest większy niż 1,0 lub bliski tej wartości), albo rezygnacji z dalszych badań (gdy UTO jest znacznie mniejszy od 1,0).

Proponowana metoda spełnia zakładane postulaty. Pozwala wskazać odmiany cenne użytkowo pod względem danej cechy (wskaźnik WOC). Wykonanie analizy dla różnych cech pozwala poznać wielkość postępu wnoszonego przez odmianę w poszczególnych cechach i te wartości wskaźników postępu (lub jego braku) są porównywalne. Takie informacje mogą być przydatne gremiom eksperckim do wielo cechowej oceny odmian, na przykład przy ustalaniu list odmian danego gatunku rośliny uprawnej zalecanych do uprawy. Ocena odmiany jest możliwa po względnie krótkim czasie od jej zarejestrowania, zwłaszcza wówczas gdy wykorzystane są dane z badań rejestrowych (zwykle 2 lata) i porejestrowych. W takim przypadku ocena następuje po 2-3 latach od wpisania odmiany do rejestru.

Należy zauważyć, że wskaźniki PHO, UPHO, UTO, WOC charakteryzują wnoszony postęp hodowlany i wartość użytkową danej odmiany w określonym czasie. Wraz z rejestrowaniem nowych odmian, zwłaszcza lepszych pod względem danej cechy, zmienia się wartość tej cechy jako punktu odniesienia dla odmian rejestrowanych w późniejszych latach. Toteż wraz z postępującą poprawą cechy coraz trudniejsze jest uzyskiwanie dużego postępu hodowlanego w dalszych latach.

Dotychczasowe metody indeksowej oceny postępu wnoszonego przez odmiany rośliny uprawnej (Feyerherm i in., 1984; Silvey, 1986; Oleksiak, 2002; Oleksiak i in., 2004; Mańkowski, 2009) polegają zwykle na porównaniach plonów poszczególnych odmian z wzorcami (stałym, zbiorowym lub pomostowym), niekiedy ważonymi jeszcze udziałem poszczególnych odmian w produkcji. Utworzenie jednak uniwersalnego wzorca jest trudne i często obarczone arbitralnością. W proponowanej natomiast metodzie wzorce są zbędne, a zastępuje je zastosowana normalizacja danych (wzór nr 1), eliminująca ich wahania w latach z zachowaniem rzeczywistych efektów odmianowych. Proponowana metoda pozwala też wyznaczać wskaźniki postępu wnoszonego przez odmiany na różnych poziomach agrotechniki, z zachowaniem ich porównywalności. W odniesieniu do bardziej sformalizowanych statystycznych metod oceny postępu hodowlanego, opartych zwykle na regresji prostej, krzywoliniowej lub wielokrotnej (Krzymuski i Laudański, 1996; Mackay, 2011; Ustun i in., 2001; Trethowan i in., 2002), zaletą niniejszej metody jest możliwość jej stosowania zarówno dla dużych zbiorów danych źródłowych (np. kilkadziesiąt lat

i kilkadziesiąt odmian), jak i dla zbiorów mało licznych (kilka lat i kilka odmian), a także prosty sposób wyznaczania wskaźników postępu.

Obliczenia proponowanych wskaźników do oceny odmian roślin uprawnych, po opracowaniu programu komputerowego lub przy użyciu arkusza kalkulacyjnego, nie nastręczają trudności. Pracochłonne jest tylko zgromadzenie, uporządkowanie i opracowanie danych do obliczeń. Opracowanie danych polega często na konieczności sprowadzenia danych do porównywalnych wartości. Tak jest na przykład gdy dane pochodzą z osobno prowadzonych doświadczeń rejestrowych i porejestrowych. Wówczas poprzez wzorce trzeba je przeliczać na wartości porównywalne. Takie przeliczenia są konieczne gdy dana cecha jest wyrażana w różnych jednostkach miary, np. mrozoodporność w punktach skali lub w procencie roślin żywych. Dane źródłowe cechy trzeba też ujmować jako stymulanty.

LITERATURA

- Arseniuk E., Krzymuski J., Martyniak J., Oleksiak T. 2003. Historia hodowli i nasiennictwa na ziemiach polskich. Wyd. ProDruk, Poznań.
- Duczmal K. W. 2003. Wykorzystanie postępu odmianowego w krajowym rolnictwie. *Post. Nauk Rol.* 6: 105 — 113.
- Feyerherm A. M., Paulsen G. M., Sebaugh J. L. 1984. Contribution of genetic improvement to recent wheat field increases in the USA. *Agronomy J.* 76: 985 — 990.
- Kaczyński L. 2011. Pszenica ozima. Ocena postępu hodowlanego dokonanego w Polsce w XX wieku. Część I. *Wiad. Odmianozn.*, z. 87, COBORU Słupia Wielka.
- Kamasa J. 1986. Postęp odmianowy ziemniaka w Polsce. *Wiad. Odmianozn.*, z. 18, COBORU Słupia Wielka.
- Krzymski J. 1989. Potencjalna i rzeczywista efektywność postępu biologicznego w produkcji zbóż w Polsce. *Biul. IHAR*, 171–172: 29 — 38.
- Krzymski J. 1991 a. Postęp odmianowy w produkcji zbóż w Polsce. Cz. I - VI. *Biul. IHAR* 177: 3 — 8.
- Krzymski J. 1991 b. Postęp w hodowli odmian i jego wykorzystanie w produkcji. Cz. I. Zboża, okopowe, oleiste. *Biul. IHAR* 180: 65 — 73.
- Krzymski J., Laudański Z. 1996. Ilościowe wskaźniki postępu genetycznego pszenicy ozimej i żyta. *Biul. IHAR* 200: 47 — 52.
- Krzymski J., Laudański Z., Oleksiak T. 1993. Metody oceny postępu genetycznego. *Zesz. Nauk. AR Wrocław*, 223: 49 — 56.
- Mackay I., Horwell A., Garner J., White J., Mckee J., Philpott H. 2011. Reanalyses of the historical series of UK variety trials to quantify the contributions of genetic and environmental factors to trends and variability in yield over time. *Theor. Appl. Gen.* 122 (1): 225 — 238.
- Malepszy S. 2004. Rola postępu biologicznego w produkcji roślinnej. *Post. Nauk Rol.* 3: 53 — 63.
- Mańkowski D. 2009. Postęp biologiczny w hodowli, nasiennictwie i produkcji ziemniaka w Polsce. Cz. I. Przegląd ilościowych metod oceny postępu hodowlanego i odmianowego. *Biul. IHAR* 251:153 — 173.
- Oleksiak T. 2002. Efekty hodowli pszenicy ozimej. I. Zmiany potencjału plonowania odmian. *Biul. IHAR* 223/224: 67 — 75.
- Oleksiak T., Mańkowski D. R., Laudański Z. 2004. Metoda oceny postępu hodowlanego w warunkach produkcyjnych. *Colloquium Biometr.* 34 a: 109 — 121.
- Rudnicki F. 2014 a. Postęp hodowlany pszenżyta ozimego w latach 1982–2012. I. Plon i niektóre cechy ziarna. *Biul. IHAR* 273: 17 — 33.
- Rudnicki F. 2014 b. Postęp hodowlany pszenżyta ozimego w latach 1982–2012. II. Odporność na czynniki biotyczne i abiotyczne. *Biul. IHAR* 273: 35 — 53.
- Runowski H. 1997. Postęp biologiczny w rolnictwie. Wyd. SGGW, Warszawa.

- Silvey V. 1986. The contribution of new varieties to cereal yields in England and Wales between 1947 and 1983. *J. Natn. Inst. Agric. Bot.* 17: 155 — 168.
- Szymczyk R. 1973. Ruch odmianowy i próba oceny postępu w hodowli jęczmienia jarego w Polsce w latach 1956–1971. *Biul. Oceny Odmian* 4:113 — 123.
- Szymczyk R. 2004. Efektywność hodowli roślin i jej znaczenie dla produkcji rolniczej. *Wiad. Odmianozn.*, z. 79, COBORU Słupia Wielka.
- Szymczyk R. 2006. Odmianoznawstwo i ocena odmian. PWRiL, Poznań.
- Trethowan R. M., van Ginkel M., Rajaram S. 2002. Progress in breeding wheat for field and adaptation In global drought affected environments. *Crop Sci.* 42: 1441 — 1446.
- Ustun A., Allen F. L., English B. C. 2001. Genetic progress in soybean of the U.S. Midsouth. *Crop Sci.* 41: 993 — 998.

FRANCISZEK RUDNICKI

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
Katedra Podstaw Produkcji Roślinnej i Doświadczalnictwa

Postęp hodowlany pszenżyta ozimego w latach 1982–2012

I. Plon i niektóre cechy ziarna

Breeding progress of winter triticales in years 1982–2012

I. Yield and some of grain characteristics

Oceny postępu hodowlanego pszenżyta ozimego w Polsce, w latach 1982–2012, dokonano na podstawie danych z doświadczeń Centralnego Ośrodka Badania Roślin Uprawnych w Słupie Wielkiej. Do oceny postępu zastosowano metody statystyczne (korelacja, regresja), po uprzednich przekształceniach danych. Te przekształcenia pozwoliły wydzielić efekty hodowli i efekty wpływu środowiska z całości efektów postępu. Oceniono postęp hodowlany jaki wniosły poszczególne odmiany pszenżyta stosując metodę wskaźnikową (Rudnicki, 2014). Stwierdzono że, w latach 1982–2012 zwiększały się plony pszenżyta ozimego wskutek postępu hodowlanego i agrotechnicznego. Średnio rocznie zwiększały się o $1,04 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$, głównie (90,4%) dzięki sukcesywnemu postępowi hodowlanemu. Dynamika postępu hodowlanego w plonie ziarna była duża ($1,95 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) w początkowych latach hodowli pszenżyta ozimego (1982–1990) i malejąca w dalszych latach. Spośród 58 ocenianych odmian postęp hodowlany w plonowaniu wniosły 22, ale użyteczny postęp hodowlany aż 57 odmian. Użyteczną trwałość przez ponad 5 lat wykazało 48% odmian. Największą wartość użytkową, pod względem plonu ziarna, wykazały odmiany: ‘Sorento’, ‘Ugo’, ‘Pawo’, ‘Bogo’, ‘Witon’, ‘Presto’, ‘Tewo’, ‘Kazo’, ‘Lamberto’, ‘Tornado’, ‘Moderato’, a także ‘Tulus’, ‘Algoso’, ‘Fredro’, ‘Pizarro’, ‘Grenado’, ‘Borwo’. Dorodność ziarna pszenżyta ozimego nie ulegała kierunkowej zmianie i postęp w zakresie tej cechy był znikomy. Brak też postępu pod względem liczby opadania mąki pszenżyta. Zawartość białka ogólnego w ziarnie wykazała niewielki, ale istotny, regres w latach 1982–2012 i ujemnie korelowała z plonem ziarna w tych latach ($r = -0,71$).

Słowa kluczowe: postęp hodowlany, odmiana, pszenżyto ozime

Evaluation of the breeding progress of winter triticales in Poland, performed in years 1982–2012, used the data from experiments carried out by the Research Centre for Cultivar Testing in Słupia Wielka. The assessment of progress (correlation and regression), after prior transformation of data was used in statistical analyses. These transformations let to exclude the effects of breeding and environmental impacts from the total of estimated progress. Moreover, the breeding progress of each cultivar of winter triticales was calculated based on the indicator method proposed by Rudnicki (2014).

It was found that, in years 1982–2012, yielding of winter triticale increased as a result of the breeding and agronomical progress. Average increase per year was about $1.04 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$, mainly (90.4%) due to gradual breeding progress. Dynamics of the grain yield increase was great ($1.95 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$) in initial years of the winter triticale breeding in Poland (1982–1990) and decreased in subsequent years. Out of 58 assessed varieties 22 brought the breeding progress in yielding, but as many as 57 varieties brought the useful breeding progress. The useful durability of 48% of assessed varieties was above 5 years. In terms of grain yield, varieties that demonstrated the greatest utility were: ‘Sorento’, ‘Ugo’, ‘Pawo’, ‘Bogo’, ‘Witon’, ‘Presto’, ‘Tewo’, ‘Kazo’, ‘Lamberto’, ‘Tornado’, ‘Moderato’, as well as ‘Tulus’, ‘Algośo’, ‘Fredro’, ‘Pizarro’, ‘Grenado’, ‘Borwo’. The lack of trends in years were discovered in case of grain plumpness of winter triticale over the 30 years of breeding, hence the progress in this feature was slight. The falling number of the flour made from triticale also revealed the lack of progress. The content of total protein in grain showed a little, but significant progress through 1982–2012 and negative correlation with the grain yield in these years ($r = -0.71$).

Key words: breeding progress, cultivar, winter triticale

WSTĘP

Hodowla twórcza pszenżyta ozimego ma swe początki w końcu XIX wieku, a pierwszą odmianę ‘Kruszynkowskie’ zarejestrowano w Polsce przed II wojną światową (Arseniuk i in., 2003). W okresie powojennym pierwszą odmianą była ‘Lasko’, zarejestrowana w 1982 roku. Od tego czasu, do 2012 roku, wpisano do krajowego rejestru ponad 60 odmian tego gatunku i formy. W zdecydowanej większości (94%) są to odmiany polskiej hodowli, która w tym zakresie przoduje na świecie. Efekty hodowli były duże, skoro dynamicznie zwiększała się powierzchnia uprawy pszenżyta ozimego w Polsce, przekraczając w ostatnich latach 1,1 mln ha (GUS, 2012). Niemal corocznie wpisywano do krajowego rejestru od 1 do 6 odmian, wycofywano starsze, stąd w 2012 roku rejestr obejmował 38 odmian pszenżyta ozimego.

W minionych latach postęp zachodzący w hodowli pszenżyta ozimego i jego wykorzystanie w produkcji oceniali Pluto (1993), Krzymuski i Laudański (1994), Krzymuski i Oleksiak (1994), Krzymuski i Krzeczowska (1998), Oleksiak (2000). Oceny te były wykonywane różnymi metodami, obejmowały różne przedziały lat, różną liczbę odmian i dotyczyły głównie plonów ziarna. Brak jest natomiast oceny postępu jaki wnosili, lub wnoszą, poszczególne odmiany pod względem różnych cech ważnych gospodarczo. Dlatego celem niniejszej pracy jest dokonanie takich ocen w całym dotychczasowym okresie powojennej hodowli pszenżyta ozimego w Polsce, tj. w latach 1982–2012. Pracę podzielono na dwie części. W pierwszej zamieszczono oceny postępu dotyczącego plonu ziarna i niektórych cech jego jakości (dorodność ziarna, liczba opadania, zawartość białka ogólnego), a w drugiej części efekty hodowli dotyczące odporności roślin na czynniki stresowe (mróz, wyleganie, patogeny).

MATERIAŁ DANYCH ŹRÓDŁOWYCH I METODY

Jako dane źródłowe wykorzystano wyniki rejestrowych i porejestrowych doświadczeń odmianowych pszenżyta ozimego prowadzonych przez Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU) na terenie kraju w latach 1982–2012. Dane te

pozyskiwano z różnych, publikowanych sukcesywnie przez COBORU, wyników doświadczeń z odmianami pszenżyta ozimego, w tym m.in.: „Informacje o wynikach doświadczeń”, „Syntezy wyników doświadczeń odmianowych”, „Syntezy wyników doświadczeń rejestrowych”, „Wyniki porejestrowych doświadczeń odmianowych”, „Listy opisowe odmian”, „Charakterystyki porównawcze odmian pszenżyta ozimego” zamieszczane na stronie internetowej COBORU. Uwzględniono dane będące średnimi wartościami poszczególnych cech odmian z licznych doświadczeń realizowanych na obszarze kraju. W przypadku gdy doświadczenia były prowadzone na 2 poziomach agrotechniki przyjęto dane z poziomu przeciętnego (a1). Tak pozyskane dane uporządkowano chronologicznie względem lat rejestracji odmian i lat w których były one badane. Na podstawie tych danych oceniono postęp hodowlany, postęp będący efektem zmian warunków środowiska i agrotechniki oraz łącznie postęp hodowlano-środowiskowy. Zastosowano metody pozwalające wydzielić efekt postępu hodowlanego i efekt powodowany warunkami środowiskowymi z całości efektów hodowlano-środowiskowych danej cechy rośliny uprawnej, w tym przypadku pszenżyta ozimego.

Postęp hodowlano-środowiskowy (PHS) jest rozumiany jako efekt wpływu wszystkich czynników (odmian, warunków środowiskowych i agrotechnicznych) na wartość cechy rośliny uprawnej. Oceniono go na podstawie rzeczywistych średnich wartości danej cechy pszenżyta w kolejnych latach 1982–2012. Mając jednak na uwadze fakt, że wraz z upływem lat odmiany na ogół częściowo tracą swe pierwotne właściwości, uwzględniono tylko dane z 5 pierwszych lat badań każdej odmiany. Zastosowano metodę regresji prostej lub wielomianowej Π^0 dla zależności wartości danej cechy (zmienna zależna) od lat (zmienna niezależna), i wyrażono jako trend cechy w latach. Analizy takie wykonano dla całego okresu lat 1982–2012 oraz dla wydzielonych podokresów 10-letnich.

Efekt środowiskowy (EŚ), rozumiany tu jako skutek wpływu zmian warunków środowiskowych i agrotechnicznych na wartość cechy pszenżyta, wyznaczano na podstawie danych normalizowanych według wzoru:

$$z_{ij} = \bar{c}_i + (c_{ij} - \bar{c}_i) \quad (1)$$

gdzie: z_{ij} — normalizowana wartość cechy i -tej odmiany w j -tym roku; c_{ij} — rzeczywista wartość cechy i -tej odmiany w j -tym roku; $\bar{c}_i$ — średnia wartość cechy i -tej odmiany z 5 pierwszych lat jej badania; $\bar{c}_i$ — średnia wartość cechy wszystkich odmian uwzględnionych w analizie. Takie przekształcenie eliminuje wpływ postępu hodowlanego na wartość danej cechy, ale zachowuje rzeczywiste różnice wartości cechy poszczególnych odmian w latach ich badania (tab. 1).

Wpływ warunków środowiskowych na plony okazał się duży w poszczególnych latach, ale wykazał nieistotny kierunkowy trend wraz z upływem lat. Dlatego dokonano oszacowania wpływu efektów środowiskowych na plony w poszczególnych latach następująco:

$$e\acute{s}_j = z_j - \frac{\sum_{j=1}^l z_j}{l} \quad (2)$$

gdzie: $e\acute{s}_j$ — efekt środowiskowy w j -tym roku; z_j — średnia normalizowanych plonów wszystkich odmian w j -tym roku; l — liczba lat uwzględnionych w analizie.

Tabela 1

Przykład normalizacji plonów ziarna pszenżyta ozimego w latach 1985–1991 do oceny efektów środowiskowo - agrotechnicznych i postępu hodowlanego

Example of the normalization of winter triticale grain yields in years 1985–1991 for the environmentally - agronomical and the breeding progress evaluation effects

Odmiana Cultivar	Rok oceny plonu Year of yield evaluation							Średnia Average
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	
	Plony rzeczywiste (dt·ha ⁻¹) Original data							
Malno	51,8	59,5	58,5	57,5	64,7			58,4
Ugo		62,4	62,5	60,1	63,6	67,7		63,3
Presto		60,2	59,9	60,1	68,5	69,7		63,7
Almo			60,0	60,6	62,0	65,5	68,6	63,3
Średnia — Average	51,8	60,7	60,2	59,6	64,7	67,6	68,6	61,9
Plony normalizowane Normalised data								
Malno	55,3	63,0	62,0	61,0	68,2			61,9
Ugo		61,0	61,1	58,7	62,2	66,3		61,9
Presto		58,4	58,1	58,3	66,7	67,9		61,9
Almo			58,6	59,2	60,6	64,1	67,2	61,9
Średnia — Average	55,3	60,8	59,9	59,3	64,4	66,1	67,2	61,9
Efekt środowiskowy Environmental effect	-6,6	-1,0	-1,9	-2,6	2,6	4,2	5,3	0,0
Plony średnie poprawione Average yields corrected	58,4	61,7	62,1	62,1	62,1	63,4	63,3	61,9

Przykład 1 (dane z tabeli 1):

Szacowany jest wpływ warunków środowiskowych na plon pszenżyta w 1985 roku. Średni normalizowany plon w tym roku (z_1) wynosi 55,3 a średni z wszystkich 7 lat 61,9. Stąd $e\acute{s}_1 = 55,3 - 61,9 = -6,6 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$. O taką wielkość warunki środowiskowe w 1985 roku wpływały ujemnie na plon w porównaniu z wpływem przeciętnym w latach 1985–1991. W przykładzie tym w roku 1985 występowała tylko jedna odmiana ‘Malno’, natomiast zwykle średnie normalizowane z_j pochodzą z większej liczby odmian.

Aby oszacować wartości postępu hodowlanego, bez wpływów środowiskowych, wyznaczone jak wyżej efekty środowiskowe posłużyły jako poprawki rzeczywistych plonów w poszczególnych latach. W przypadku roku 1985 rzeczywisty plon wynosił 51,8 $\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$, w tym efekt środowiskowy — 6,6 $\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$, więc do oceny postępu hodowlanego plon poprawiony wynosi $51,8 - (-6,6) = 58,4 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 1). Tyle szacunkowo wynosiłby plon w tym roku gdyby nie pomniejszały go niekorzystne warunki środowiskowe. Postęp hodowlany (PH) jest wyznaczany jako zależność plonów poprawionych w latach (zmienna zależna) względem lat (zmienna niezależna).

Do oceny stopnia ujawniania się postępu hodowlanego w poszczególnych latach użyto także współczynników korelacji prostej między wiekiem odmian badanych w danym roku, a wartością danej cechy u tych odmian. Wiek odmian określano liczbą lat począwszy od pierwszego roku ich badania w doświadczeniach, a wartością cechy jest średnia tej cechy u wszystkich odmian z danej kategorii wieku badanych w danym roku. Na podstawie regresji prostej wyznaczono trendy plonów (zmienna zależna) względem wieku odmian (zmienna niezależna) w poszczególnych latach. Współczynniki korelacji i trendy plonu

wyznaczano dla lat, w których występowało 6 lub więcej kategorii wieku odmian. W poszczególnych latach tych kategorii wieku odmian było do 13.

Do oceny postępu hodowlanego wnoszonego przez poszczególne odmiany zastosowano własną metodę (Rudnicki, 2014), polegającą na wyznaczaniu 4 wskaźników: postępu hodowlanego (PHO); użytecznego postępu hodowlanego (UPHO); użytecznej trwałości odmiany (UTO); wartości odmiany pod względem danej cechy (WOC). Takim wskaźnikowym ocenom poddano 59 odmian pszenżyta, które były rejestrowane w latach 1984–2011, i które były badane w doświadczeniach przez 4 lub więcej lat.

Powyższe postępowanie metodyczne zastosowano do wszystkich cech pszenżyta uwzględnionych w tej publikacji.

Wraz z upływem lat użytkowania zmieniają się w różnym stopniu właściwości poszczególnych odmian, zwłaszcza ich plonowania. Dlatego dokonano oceny tempa zmian plonów ziarna poszczególnych odmian pszenżyta ozimego wraz z upływem lat. W tym celu wykonano analizę zależności rzeczywistego plonu ziarna odmiany od kolejnych lat jej badania oraz analogiczną analizę dla plonów normalizowanych według wzoru:

$$x_{ij} = \bar{c}_3 + (c_{ij} - \bar{c}_j) \quad (3)$$

gdzie: x_{ij} — normalizowana wartość cechy i -tej odmiany w j -tym roku; c_{ij} — rzeczywista wartość cechy i -tej odmiany w j -tym roku; $\bar{c}_j$ — średnia wartość cechy wszystkich odmian występujących w j -tym roku; $\bar{c}_3$ — średnia wartość cechy wszystkich odmian z 3 pierwszych lat uwzględnionych w analizie.

Taka normalizacja (kierunkowo odwrotna jak we wzorze nr 1) pozwoliła ocenić zmiany plonu danej odmiany na tle równoległych zmian średnich plonów wszystkich odmian w analogicznych latach, z jednoczesnym wyłączeniem wpływu efektów środowiskowych w tych latach (Rudnicki, 2014). W obu analizach zastosowano regresję prostą plonu ziarna danej odmiany (zmienna zależna) względem kolejnych lat jej badania (zmienna niezależna) i wyznaczono trend plonu w latach. Analizy takie wykonano dla odmian badanych 10 lub więcej lat. Aby jednak wyniki tych ocen były porównywalne, w przypadku każdej odmiany, uwzględniano dane od 1 do 10 roku jej badania.

WYNIKI

Zmiana wartości cech pszenżyta ozimego wraz z upływem lat następuje w wyniku postępu hodowlanego oraz wpływu warunków środowiskowych. Dlatego zmiany te określono jako postęp hodowlano-środowiskowy (PHŚ). W latach 1982–2012 zmieniały się warunki realizacji doświadczeń COBORU z odmianami pszenżyta ozimego. W ostatnich latach tego okresu nawożenie azotem było obfitsze średnio o około $20 \text{ kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$ niż w latach 1983–1988, stosowano skuteczniejsze zaprawy nasienne, doświadczenia lokalizowano na coraz lepszych glebach. Na przykład średnia rolnicza wartość gleb na których realizowano doświadczenia wynosiła w roku 1984 — 64 pkt., a w roku 2012 — 71 pkt. w 100° skali IUNG, natomiast Pluto (1993) stwierdzał m.in. silną reakcję plonu pszenżyta na jakość gleby. Ta zmiana warunków realizacji doświadczeń oraz pogody wpływała na plonowanie pszenżyta w kolejnych latach. Dlatego ocena efektów postępu

hodowlanego musi uwzględniać też równoległy wpływ czynników środowiskowych na plonowanie rośliny, na co zwracają uwagę Piepho i in. (2014).

W okresie 31 lat (1982–2012) sukcesywnie wzrastały plony ziarna pszenżyta ozimego ($r = 0,77$) w doświadczeniach COBORU (tab. 2), jako efekt postępu hodowlanego odmian tego gatunku i warunków środowiskowych (warunki glebowe, nawożenie, dobór pestycydów, itp.). Plony gatunku w tych latach opisuje równanie: $y = 45,7 + 2,518x - 0,0483x^2$; $R^2 = 0,73$, gdzie: x — kolejny rok (1, 2, 3...). Wskazuje ono na postępujący wzrost plonów pszenżyta wraz z upływem lat, choć w tempie stopniowo malejącym. Wpływ warunków środowiskowych na plony ziarna w poszczególnych latach był znaczny, natomiast w wieloleciu nie wykazał istotnego kierunkowego trendu. Na podstawie oszacowanego udziału postępu hodowlanego i warunków środowiskowych w kształtowaniu plonu ziarna pszenżyta stwierdzono, że korzystny wpływ warunków środowiskowych wystąpił w 18 latach, zwłaszcza w 1983, 2004, 2005, 2008 roku. W tych 4 latach względnie korzystne warunki powodowały oszacowany wzrost plonów o 5,8–12,7 $\text{dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ w porównaniu z warunkami przeciętnymi z lat 1982–2012, tj. o 8,8–16,5%. Z kolei relatywnie niekorzystne warunki w 13 latach znacznie ograniczały plonowanie pszenżyta, zwłaszcza w 1982, 1997, 2003, 2006 i 2012 roku. W każdym z tych 5 lat powodowały one zmniejszenie plonów o ponad 8% w porównaniu z warunkami przeciętnymi.

Tabela 2

Średnie wartości cech pszenżyta ozimego w różnych okresach czasu w latach 1982–2012
The averages of winter triticale characteristics in periods of time during 1982–2012

Cecha Feature	Odmiany* Cultivars*	Przedział lat Time period				r^{**} 1982–2012
		1982–1990	1991–2000	2001–2010	1982–2012	
Plon ziarna ($\text{dt} \cdot \text{ha}^{-1}$)	W	56,4	70,1	75,3	68,0	0,77
Yield of grain	NNR	57,6	72,2	79,1	71,2	0,95
Masa 1000 ziaren (g)	W	43,0	42,5	42,9	43,0	0,09
Weight of 1000 grains	NNR	44,0	43,5	45,1	44,7	0,41
Liczba opadania (s)	W	121	136	135	128	-0,13
Falling number	NNR	108	136	160	135	0,27
Zawartość białka (%)	W	11,8	11,5	10,9	11,4	-0,38
Content of protein	NNR	12,1	11,3	11,3	11,6	-0,43

W — wszystkie badane; all examined; NNR — najlepsze spośród nowo rejestrowanych w poszczególnych latach; the best from newly registered in the individual years

**Współczynnik korelacji między wartością cechy a latami; Correlation coefficient between the value of the characteristic and years; czcionka pogrubiona — współczynnik korelacji istotny przy $\alpha = 0,05$; in bold — significant coefficient at $\alpha = 0,05$

Postęp hodowlany, uwzględniający wszystkie odmiany w latach 1982–2012, wraz z równoległymi efektami środowiskowymi, wyniósł średnio $1,04 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, a łącznie w tym okresie o $31,2 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$. Decydująca część tego przyrostu plonu pochodziła z postępu hodowlanego (90,4%), a pozostała niewielka była efektem środowiskowym (tab. 3).

Tabela 3

Postęp plonu ziarna pszenżyta ozimego w latach 1982–2012 ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)
Progress of winter triticale grain yield in 1982–2012 years ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$)

Przedział lat Years interval	Efekt — Effect			Udział hodowlanego Share of breeding (%)
	hodowlany breeding	środowiskowy enviromental	hodowlany i środowiskowy breeding and enviromental	
1982–1990	1,95	0,63	2,58	75,6
1983–1992	2,01	0,38	2,39	84,1
1985–1994	1,86	0,29	2,15	86,5
1987–1996	1,45	0,33	1,78	81,5
1989–1998	0,97	-0,39	0,58	167,2
1991–2000	0,70	0,09	0,79	88,6
1993–2002	0,68	-0,04	0,64	106,3
1995–2004	0,62	0,22	0,84	73,8
1997–2006	0,55	0,32	0,87	63,2
1999–2008	0,46	0,14	0,60	76,7
2001–2010	0,40	0,55	0,95	42,1
2003–2012	0,45	-0,30	0,15	300,0
1982–2012	0,94	0,10	1,04	90,4

Analogiczne oceny w krótszych okresach lat wskazują na duży postęp hodowlany, jak i korzystny efekt środowiskowy, w początkowych latach hodowli i uprawy pszenżyta ozimego, tj. w latach 1982–1990. Wówczas jego plony zwiększały się rocznie aż o $2,58 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Postęp hodowlany był w tym okresie duży ($1,95 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$), a jego udział w przyrostach plonu stanowił 75,6%. W tym czasie doskonalono agrotechnikę pszenżyta, a efektem tego i warunków meteorologicznych był wzrost plonów o $0,63 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. W następnych okresach 10-letnich wzrost plonów pszenżyta postępował, ale jego dynamika była zdecydowanie mniejsza niż w pierwszym podokresie. W latach 1989–1998, 1993–2002, 2003–2012 przyrost plonów pochodził tylko z postępu hodowlanego, natomiast w latach 2001–2010 pochodził w przeważającym stopniu z wpływu coraz korzystniejszych warunków środowiskowych w tych latach (tab. 3). Na ten ostatni wynik silnie rzutowały korzystne warunki atmosferyczne w latach 2008–2010 i zdecydowanie lepsze plonowanie pszenżyta niż w kilku wcześniejszych latach, a jednocześnie postęp hodowlany był względnie mały. Należy zauważyć, że w tabeli 3 postęp w latach 1982–2012 nie jest średnią z podokresów. Wynika to m.in. z nakładania się lat w poszczególnych podokresach.

Powyższe fakty wskazują, że efekty hodowli pszenżyta ozimego pod względem plonu ziarna, w latach objętych niniejszą analizą, były duże i następowały sukcesywnie, choć z szybko malejącą dynamiką. Odmiany rejestrowane w kolejnych latach były, na ogół, coraz plenniejsze. Wskazują na to współczynniki korelacji między wiekiem odmian a ich plonowaniem (tab. 4). Spośród 27 uwzględnionych lat aż w 21 odmiany nowsze plonowały istotnie lepiej od odmian starszych, a w 5 innych latach zaznaczyła się analogiczna tendencja. Na podstawie regresji prostych dla zależności plonów ziarna od wieku odmian wyznaczono przyrosty plonu przypadające na 1 rok wieku odmian. Te trendy plonów, w latach o istotnych współczynnikach regresji, wyniosły od $35 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ wieku odmian⁻¹ w 1999 roku, do $109 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ w 2010 roku (tab. 4).

Tabela 4

Związki niektórych cech pszenżyta ozimego z wiekiem odmian w poszczególnych latach badań
The relationships between some of the characteristics of winter triticale and the age of varieties in individual years of investigations

Rok Year	Trend plonu (kg·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹) Trend of yield (kg·ha ⁻¹ ·year ⁻¹)	Współczynniki korelacji z wiekiem odmian* Correlation coefficients with age of varieties			
		plon ziarna grain yield	masa 1000 ziaren weight of 1000 grains	liczba opadania falling number	zawartość białka content of protein
1986	0,85	0,78	0,13	-0,77	-0,46
1987	—	0,66	—	—	-0,46
1988	—	0,47	0,38	-0,97	-0,55
1989	46	0,90	0,20	-0,39	-0,27
1990	79	0,88	0,06	0,03	-0,30
1991	76	0,75	-0,44	0,20	-0,26
1992	89	0,78	-0,29	0,81	0,28
1993	—	0,27	-0,50	0,82	—
1994	—	0,57	-0,56	-0,08	0,33
1995	57	0,74	-0,23	-0,09	0,06
1996	68	0,85	—	—	—
1997	53	0,65	0,03	-0,39	-0,69
1998	91	0,89	0,65	-0,77	-0,62
1999	35	0,67	0,37	-0,22	-0,40
2000	39	0,69	0,31	0,18	-0,56
2001	63	0,65	0,66	0,27	-0,75
2002	41	0,75	0,50	-0,16	-0,79
2003	49	0,80	0,68	-0,36	0,46
2004	-	0,53	0,35	-0,69	0,84
2005	74	0,66	0,02	-0,12	0,20
2006	63	0,69	0,20	-0,04	-0,21
2007	77	0,70	-0,02	-0,16	-0,59
2008	91	0,89	-0,10	0,19	-0,36
2009	69	0,79	-0,01	-0,08	-0,35
2010	109	0,61	0,34	-0,17	-0,29
2011	72	0,67	0,12	0,30	0,82
2012	—	-0,34	0,04	—	0,79

* Wartości dodatnie świadczą o korzystniejszej wartości danej cechy u odmian nowszych niż starszych; Positive coefficients indicate more profitable value of given characteristic in newer varieties than in the older ones; Czcionka pogrubiona — współczynniki istotne przy $\alpha = 0,05$; In bold — significant coefficients at $\alpha = 0.05$.

Taki kierunkowy trend nie wystąpił jedynie w 2012 roku. Było to skutkiem gorszego przetrzymywania w tym roku niektórych odmian nowszych niż starszych. Należy wyjaśnić, że w tabeli 4 odwrócono znaki przy współczynnikach korelacji i przy wyrazie kierunkowym regresji (trendzie) po to, aby ich wartości dodatnie wskazywały pozytywne efekty hodowli.

W latach 1984–2011 postęp hodowlany w plonowaniu wniosły 22 odmiany (37%), spośród 59 poddanych ocenie i znajdujących się, w przeszłości i/lub obecnie, w krajowym rejestrze odmian pszenżyta ozimego (tab. 5). Zgodnie z przyjętą metodyką odmiana wnosi postęp jeśli wartość danej cechy tej odmiany, w 4 pierwszych latach jej badania, jest większa (korzystniejsza) niż wartość tej cechy u najlepszej odmiany, wśród wcześniej zarejestrowanych, w tych samych 4 latach. Dlatego stwierdzany postęp, lub jego brak, dotyczy określonego czasu, ponieważ nowe odmiany rejestrowane w kolejnych latach wyznaczają punkt odniesienia dla odmian rejestrowanych w dalszych latach.

Tabela 5

Wskaźniki postępu hodowlanego wnoszonego przez odmiany pszenżyta ozimego w plonie ziarna
The indicators of breeding progress brought by cultivars of winter triticale in yield of grain

Odmiana Cultivar	Rok rejestracji Year of registration	Wskaźnik* — Indicator				Liczba lat — Number of years	
		PHO	UPHO	UTO	WOC	badań investigations	trwałości durability
1	2	3	4	5	6	7	8
Grado	1984	1,13	1,13	0,66	0,97	9	3,3
Dagro	1985	1,02	1,05	0,80	0,96	8	4,0
Bolero	1986	0,99	1,01	0,38	0,80	9	1,9
Largo	1986	0,95	0,97	0,00	0,64	5	0,0
Malno	1987	1,03	1,05	0,78	0,95	15	3,9
Ugo	1988	1,04	1,08	1,86	1,32	16	9,3
Presto	1989	1,01	1,07	1,79	1,29	17	9,0
Almo	1989	0,97	1,03	0,60	0,87	10	3,0
Moniko	1990	0,97	1,01	0,79	0,92	9	3,9
Tewo	1991	0,98	1,04	1,58	1,20	14	7,9
Moreno	1992	1,02	1,04	1,01	1,02	11	5,1
Prego	1992	0,97	0,99	0,38	0,78	11	1,9
Vero	1992	1,00	1,02	0,79	0,94	9	4,0
Bogo	1993	1,03	1,06	1,46	1,18	13	7,3
Tornado	1996	1,01	1,05	1,64	1,23	15	9,2
Alzo	1997	0,99	1,05	1,45	1,16	11	7,2
Fidelio	1997	1,01	1,08	0,78	0,95	14	3,9
Marko	1997	1,01	1,08	1,44	1,18	12	7,2
Lamberto	1998	1,05	1,11	1,37	1,18	11	6,8
Prado	1998	1,01	1,06	1,01	1,03	10	5,1
Kitaro	1999	1,00	1,08	1,24	1,11	10	6,2
Pronto	1999	0,95	1,03	0,83	0,93	8	4,1
Janko	2000	0,98	1,06	0,99	1,01	11	5,0
Kazo	2000	0,99	1,08	1,49	1,19	11	7,5
Woltario	2000	0,99	1,08	1,23	1,10	12	6,1
Magnat	2000	0,97	1,04	1,20	1,07	13	6,0
Hewo	2001	0,94	1,01	0,83	0,93	9	4,1
Sekundo	2001	0,93	1,01	0,38	0,77	8	1,9
Krakowiak	2001	0,94	1,00	0,38	0,77	8	1,9
Pawo	2002	0,97	1,05	1,95	1,32	13	9,7
Sorento	2002	0,99	1,07	2,12	1,39	13	10,6
Witon	2002	1,01	1,09	1,70	1,27	13	8,5
Zorro	2002	0,94	1,02	0,56	0,84	8	2,8
Todan	2003	0,96	1,05	1,05	1,02	12	5,2
Moderato	2004	1,00	1,08	1,50	1,19	11	7,5
Aliko	2005	0,97	1,06	1,07	1,03	10	5,3
Hortenso	2005	1,00	1,09	0,61	0,90	8	3,1
Baltiko	2006	0,96	1,04	0,79	0,93	9	4,0
Gniewko	2006	0,95	1,03	0,55	0,85	9	2,8
Algoso	2007	1,01	1,10	1,34	1,15	8	6,7
Grenado	2007	0,97	1,06	1,20	1,08	8	6,0
Trismart	2007	0,99	1,04	0,67	0,90	8	3,3
Alekto	2008	0,98	1,06	0,62	0,89	7	3,1
Borwo	2008	0,97	1,06	0,89	0,98	7	4,5

c.d. Tabela 5

1	2	3	4	5	6	7	8
Leontino	2008	0,96	1,04	0,78	0,93	7	3,9
Pigmej	2008	0,94	1,03	0,85	0,94	7	4,3
Pizarro	2008	0,95	1,05	1,36	1,12	7	6,8
Trigold	2008	0,97	1,06	0,74	0,92	7	3,7
Atletico	2009	0,97	1,01	0,37	0,79	6	1,9
Tulus	2009	1,04	1,12	1,36	1,17	6	6,8
Cerber	2010	1,00	1,08	0,73	0,94	5	3,7
Cyrkon	2010	0,99	1,07	0,55	0,87	5	2,8
Elpaso	2010	0,98	1,10	0,64	0,91	5	3,2
Fredro	2010	1,01	1,13	1,23	1,12	5	6,2
Agostino	2011	0,97	1,11	—	—	4	—
Bereniko	2011	0,90	1,03	—	—	4	—
Borowik	2011	0,99	1,13	—	—	4	—
KWS Trisol	2011	0,94	1,07	—	—	4	—
Maestozo	2011	0,95	1,09	—	—	4	—
Mikado	2011	0,96	1,10	—	—	4	—

*Wskaźniki: PHO — postępu hodowlanego wnoszonego przez odmianę, UPHO — użytecznego postępu wnoszonego przez odmianę, UTO — użytecznej trwałości odmiany, WOC — wartości odmiany pod względem danej cechy; indicators: PHO — of the breeding progress brought in by the cultivar; UPHO — of useful breeding progress brought in by the cultivar; UTO — of useful life of the cultivar; WOC — of cultivar use value

Toteż względnie duży postęp hodowlany pod względem plonowania (wskaźnik PHO = 1,13) wniosła odmiana ‘Grado’, wpisana do rejestru w 1984 roku. Było to możliwe ponieważ wyraźnie przewyższała ona plonem jedyną starszą od niej odmianę ‘Lasko’. Kolejno znacznie już mniejszy postęp wnosili kolejno odmiany: ‘Dagro’, ‘Malno’, ‘Ugo’, ‘Presto’, ‘Moreno’, ‘Vero’, ‘Bogo’, ‘Tornado’, ‘Fidelio’, ‘Marko’, ‘Lamberto’, ‘Prado’, ‘Kitaro’, ‘Witon’, ‘Moderato’, ‘Hortenso’, ‘Algozo’, ‘Tulus’, ‘Cerber’, ‘Fredro’ (tab. 5).

Przyjęto, że dana odmiana wnosi postęp użyteczny gospodarczo jeśli, pod względem danej cechy, w 4 pierwszych latach jej badania, jest lepsza od średniej wartości tej cechy u odmian starszych od niej. Tak rozumiany postęp w zakresie plonu ziarna wniosły niemal wszystkie odmiany uwzględnione w niniejszej ocenie (tab. 5). Największy dotyczy odmian: ‘Grado’, ‘Fredro’, ‘Borowik’, ‘Borwo’, ‘Tulus’, ‘Maestozo’, ‘Lamberto’, ‘Alektio’, ‘Cerber’, ‘Agostino’. Zwraca uwagę, że wśród wymienionych 9 odmian 7 z nich było rejestrowane w ostatnich latach (2008–2011). Jedynie odmiany ‘Largo’ i ‘Prego’ nie wniosły użytecznego postępu w plonowaniu.

Powyższe wyniki oceny postępu hodowlanego i użytecznego postępu hodowlanego wskazują, że w okresie 30 lat nie popełniano istotnych błędów w rejestracji odmian pszenżyta ozimego z punktu widzenia ich plonowania. Wpisywane do rejestru odmiany wprowadzi nie zawsze wniosły postęp hodowlany, ale prawie wszystkie były, w swoim czasie, lepiej plonującymi niż średnio wówczas starsze od nich.

Postęp jaki wnosi dana odmiana nie zawsze jest trwały. Gdy pojawiają się nowe odmiany, o korzystniejszych cechach, to dana odmiana relatywnie traci swe znaczenie gospodarcze, zwłaszcza jeśli w kolejnych latach traci ona też część swoich pierwotnych właściwości. Dobrym przykładem tego jest odmiana ‘Grado’. Wniosła ona duży postęp użyteczny plonowania (UPHO = 1,13), ale jej trwałość okazała się mała (UTO = 0,66),

ponieważ wkrótce po niej pojawiły się odmiany ‘Dagro’, ‘Malno’, ‘Ugo’, ‘Presto’ i inne lepiej od niej plonujące. Dlatego oszacowana trwałość odmiany ‘Grado’ wyniosła 3,3 lat (tab. 5). Przez tyle tylko lat odmiana ta skutecznie konkurowała z innymi odmianami pod względem plonowania. Podobna sytuacja wystąpiła także w przypadku wielu innych odmian jak: ‘Malno’, ‘Almo’, ‘Fidelio’, ‘Hortenso’, ‘Trismart’, ‘Alektó’, ‘Cyrkon’.

Na podstawie wartości wskaźnika użytecznej trwałości odmiany (UTO) można wskazać odmiany o dużej trwałości, jak i nietrwałe pod względem plonowania. Najwyższe wskaźniki UTO, wśród 52 ocenionych pod tym względem, wykazują odmiany ‘Sorento’ i ‘Pawo’ (tab. 5). Odmiany te, badane przez 13 lat, przez około 10 lat plonowały lepiej niż średnio pozostałe odmiany w tych latach. Wśród odmian badanych przez 10 lub więcej lat dużą trwałość ($UTO > 1,4$) wykazały także odmiany: ‘Ugo’, ‘Presto’, ‘Witon’, ‘Tornado’, ‘Tewo’, ‘Kazo’, ‘Moderato’, ‘Bogo’, ‘Alzo’, ‘Marko’, ‘Lamberto’. Spośród odmian nowszych, rejestrowanych po 2005 roku, dotychczasową trwałością wyróżniają się odmiany: ‘Tulus’, ‘Algoso’, ‘Pizarro’, ‘Grenado’, ‘Fredro’. Ta ostatnia, badana przez 5 lat, we wszystkich tych latach plonowała lepiej niż średnio pozostałe odmiany. Wskazuje to na jej duży aktualnie potencjał plonowania, choć nie przesądza jego trwałości w następnych latach. Z kolei trwałość odmian ‘Bolero’, ‘Prego’, ‘Sekundo’, ‘Krakowiak’, ‘Zorro’, ‘Gniewko’, ‘Atletico’ okazała się bardzo mała, i tylko przez 2–3 lata ich plony były większe niż średnie pozostałych odmian, a plony odmiany ‘Largo’ w żadnym roku nie były konkurencyjne pod tym względem (tab. 5). Średnia natomiast oszacowana trwałość wszystkich ocenionych odmian wyniosła 5,2 lata.

Wskaźnikowa ocena trwałości odmian nie jest tożsama z dynamiką zmian ich plonów w latach. Wskazują na to trendy normalizowanych plonów odmian w 10 początkowych latach badania każdej z nich (tab. 6). Otóż rzeczywiste plony niektórych odmian (zwłaszcza w latach 1985–1996) zwiększały się wraz z upływem lat, co należy przypisać poprawie warunków środowiskowo-agrotechnicznych w tych latach. Po eliminacji natomiast wpływu tych warunków poprzez normalizację (wzór nr 3) plony poszczególnych odmian wykazały na ogół trend malejący względem średnich plonów wszystkich odmian badanych w analogicznych latach. Bardzo dużą dynamikę spadku plonu wraz z upływem lat, na tle pozostałych, wykazały odmiany: ‘Lamberto’, ‘Moderato’, ‘Kitaro’, ‘Witon’, ‘Vero’, ‘Woltario’, a zdecydowanie mniejszą odmiany: ‘Aliko’, ‘Tewo’, ‘Ugo’, ‘Malno’, ‘Magnat’, ‘Tornado’ ‘Pawo’ (tab. 6). To tempo spadku plonu danej odmiany względem pozostałych odmian nie jest równoznaczne z jej trwałością użytkową, ponieważ trend nie uwzględnia początkowego poziomu plonów tej odmiany. Na przykład pomimo dużej dynamiki spadku plonu odmiany ‘Lamberto’ wraz z upływem 10 lat ($1,91 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$), przez 7 lat poziom jej plonów był większy niż średnich plonów pozostałych odmian w analogicznych latach. Dlatego wskaźnik UTO dla tej odmiany jest dość wysoki i wyniósł 1,46, a oszacowana trwałość 7,3 lat (tab. 5). Wynika stąd, że wskaźnik UTO jest lepszym miernikiem trwałości odmian niż trend ich plonów w latach.

Odmiany, które wniosły postęp hodowlany i był (lub jest) on względnie trwały należy uznać jako wartościowe pod względem plonowania. Spośród odmian rejestrowanych przed 2006 rokiem do najbardziej wartościowych można zaliczyć: ‘Sorento’, ‘Ugo’, ‘Pawo’, ‘Bogo’, ‘Witon’, ‘Presto’, ‘Tewo’, ‘Kazo’, ‘Lamberto’, ‘Tornado’, ‘Moderato’, a spośród

nowszych odmian wyróżniają się: ‘Tulus’, ‘Algozo’, ‘Fredro’, ‘Pizarro’, ‘Grenado’ i ‘Borwo’ (tab. 5).

Tabela 6

Trendy plonów ziarna odmian pszenżyta ozimego w okresie 10 lat badań
Tendency of grain yields of winter triticale cultivars in period 10 years

Odmiana Cultivar	Lata Years	Plony rzeczywiste Real yields		Plony normalizowane* Normalised yields	
		trend (dt·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹) tendency (dt·ha ⁻¹ ·year ⁻¹)	r**	trend (dt·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹) tendency (dt·ha ⁻¹ ·year ⁻¹)	r**
Malno	1985–1994	1,74	0,88	-0,31	-0,91
Ugo	1986–1995	1,50	0,94		-0,42
Presto	1987–1996	1,38	0,73		-0,61
Almo	1987–1996	0,83	0,70	-0,74	-0,72
Tewo	1989–1998		0,20		-0,40
Moreno	1990–1999		-0,38	-0,80	-0,78
Prego	1990–1999		-0,30	-0,78	-0,79
Bogo	1991–2000		0,00	-0,64	-0,76
Tornado	1994–2003		0,15	-0,41	-0,67
Alzo	1995–2004		-0,24		-0,44
Fidelio	1995–2004		0,02	-0,88	-0,83
Marko	1995–2004		-0,47	-0,74	-0,65
Lamberto	1996–2005		-0,27	-1,91	-0,88
Prado	1996–2005		0,40	-0,67	-0,76
Kitaro	1997–2006		-0,11	-1,10	-0,77
Janko	1998–2007		-0,01	-1,01	-0,91
Kazo	1998–2007		-0,31	-0,80	-0,73
Woltario	1998–2007		-0,40	-1,03	-0,77
Magnat	1998–2007		0,13		-0,45
Pawo	2000–2009		0,05		-0,57
Sorento	2000–2009		-0,01		-0,55
Witon	2000–2009		-0,17	-1,05	-0,86
Todan	2001–2010		-0,20	-0,66	-0,77
Moderato	2002–2011		-0,34	-1,18	-0,66
Aliko	2003–2012		0,04		0,05

* Normalizacja wg wzoru 2; Normalization according to formula 2

** Współczynnik korelacji; Correlation coefficient; Czcionka pogrubiona — współczynniki istotne przy $\alpha = 0,05$; In bold — significant coefficients at $\alpha = 0.05$

Między wskaźnikami PHO, UPHO, UTO, WOC dla plonu ziarna zachodzą istotne, dodatnie, choć dość słabe korelacje. Odmiany wnoszące postęp hodowlany wnoszą też zwykle użyteczny postęp hodowlany ($r = 0,55$) i na ogół cechuje je znaczny stopień trwałości ($r = 0,32$). Z kolei użyteczny postęp hodowlany koreluje z użyteczną trwałością odmian ($r=0,36$) i ich wartością użytkową ($r = 0,45$).

Związki korelacyjne między wiekiem odmian a dorodnością ziarna, wyrażaną jako masa 1000 ziaren, okazały się słabsze niż w przypadku plonów i kierunkowo zmienne w latach objętych analizą. Zaledwie w 2 latach, spośród 25, nowsze odmiany cechowała większa dorodność ich ziarna niż odmian starszych (tab. 4). Nieliczne są także lata, w których wystąpił istotny związek liczby opadania oraz zawartości białka w ziarnie z wiekiem odmian. Jedynie w 2 latach (1992 i 1993) odmiany nowsze cechowała większa wartość liczby opadania niż odmiany starsze, a w 1988 roku wystąpiła wręcz silna

zależność odwrotna. Pod względem zawartości białka w ziarnie odmiany nowsze jedynie w 2004 i 2011 roku były bardziej zasobne w ten składnik niż odmiany starsze, a w większości lat wystąpiła tendencja odwrotna (tab. 4).

Tabela 7

Wskaźniki postępu hodowlanego wnoszonego przez odmiany pszenżyta ozimego w dorodności ziarna
The indicators of breeding progress brought by cultivars of winter triticale in plumpness of grain

Odmiana Cultivar	Rok rejestracji Year of registration	Wskaźnik* — Indicator			
		PHO	UPHO	UTO	WOC
1	2	3	4	5	6
Grado	1984	1,15	1,15	2,08	1,46
Dagro	1985	1,00	1,07	1,60	1,22
Bolero	1986	0,86	0,89	0,00	0,58
Largo	1986	1,03	1,08	—	—
Malno	1987	0,91	0,98	0,80	0,90
Ugo	1988	0,94	1,01	1,93	1,29
Presto	1989	0,96	1,04	2,32	1,44
Almo	1989	0,99	1,06	1,91	1,32
Moniko	1990	0,99	1,04	1,60	1,21
Tewo	1991	0,90	0,95	0,00	0,62
Moreno	1992	0,86	0,92	0,00	0,59
Prego	1992	0,84	0,89	0,00	0,57
Vero	1992	0,93	0,99	1,98	1,30
Bogo	1993	0,84	0,91	0,00	0,58
Tornado	1996	0,90	0,99	0,00	0,63
Alzo	1997	0,88	1,01	0,00	0,63
Fidelio	1997	1,02	1,16	3,01	1,73
Marko	1997	0,95	1,07	1,01	1,01
Lamberto	1998	0,90	1,03	0,00	0,64
Prado	1998	0,91	1,03	1,01	0,99
Kitaro	1999	1,00	1,11	2,23	1,45
Pronto	1999	0,83	0,92	0,00	0,58
Janko	2000	0,93	1,03	1,65	1,20
Kazo	2000	0,96	1,06	1,88	1,30
Woltario	2000	0,97	1,07	1,27	1,10
Magnat	2000	1,05	1,15	2,95	1,72
Hewo	2001	0,91	1,04	1,22	1,06
Sekundo	2001	0,94	1,07	1,77	1,26
Krakowiak	2001	0,87	0,99	0,20	0,69
Pawo	2002	0,92	1,03	1,84	1,26
Sorento	2002	0,92	1,04	1,24	1,07
Witon	2002	0,83	0,93	0,19	0,65
Zorro	2002	0,95	1,07	1,33	1,12
Todan	2003	1,02	1,02	2,46	1,50
Moderato	2004	0,84	0,92	0,00	0,59
Aliko	2005	0,93	1,02	1,44	1,13
Hortenso	2005	0,93	1,02	0,83	0,93
Baltiko	2006	0,87	0,96	0,00	0,61
Gniewko	2006	0,89	0,98	0,21	0,69
Algoso	2007	0,97	1,08	1,66	1,23
Grenado	2007	0,80	0,89	0,00	0,56
Trismart	2007	1,03	1,14	2,10	1,43
Alekto	2008	0,84	0,95	0,00	0,59
Borwo	2008	0,90	1,01	0,61	0,84

c.d. Tabela 7

1	2	3	4	5	6
Leontino	2008	0,92	1,04	1,28	1,08
Pigmej	2008	0,84	0,95	0,00	0,60
Pizarro	2008	0,88	0,99	0,20	0,69
Trigold	2008	0,92	1,05	1,07	1,01
Atletico	2009	0,91	1,04	1,26	1,07
Tulus	2009	0,95	1,07	1,36	1,13
Cerber	2010	0,85	0,96	0,00	0,60
Cyrkon	2010	0,88	1,00	0,61	0,83
Elpaso	2010	0,77	0,87	0,00	0,55
Fredro	2010	0,94	1,07	1,13	1,05
Agostino	2011	0,86	1,00	—	—
Bereniko	2011	0,79	0,91	—	—
Borowik	2011	1,04	1,20	—	—
KWS Trisol	2011	1,05	1,21	—	—

*Patrz objaśnienia do tabeli 5; See footnote to Table 5

Takie wyniki dotyczące cech ziarna pszenżyta wskazują na niewielki postęp hodowli w tym zakresie, a nieliczne udowodnione związki korelacyjne między wiekiem odmian a wartościami tych cech wynikają z zestawu odmian uczestniczących w badaniach w poszczególnych latach.

Dorodność ziarna pszenżyta ozimego nie ulegała istotnej kierunkowej zmianie wraz z upływem lat więc, biorąc pod uwagę wszystkie badane odmiany, postęp w zakresie tej cechy był znikomy. Jednak uwzględniając tylko odmiany najlepsze, wśród rejestrowanych w poszczególnych latach, zaznacza się stopniowa poprawa (korelacja z latami $r = 0,41$) dorodności ziarna (tab. 2). Na dorodność ziarna około 2-krotnie silniej wpływały warunki środowiskowe w latach niż genetyczne właściwości odmian. Regres hodowlany pod względem masy 1000 ziaren wystąpił w latach 1988–1994, następnie do roku 2002 znaczny postęp (o około 4 g), nieduży spadek do 2008 roku i wzrost w następnych latach do poziomu z 2002 roku. Postęp hodowlany wniosło zaledwie 9 odmian spośród 58 ocenianych (tab. 7). Kolejno były to odmiany: ‘Grado’, ‘Almo’, ‘Fidelio’, ‘Kitaro’, ‘Magnat’, ‘Todan’, ‘Trismart’, ‘Borowik’ i ‘KWS Trisol’. Te odmiany, oraz 28 innych, wносиły użyteczny postęp hodowlany w zakresie tej cechy ($UPHO > 1,0$). Użytecznie trwały postęp, przez ponad 5 lat ($UTO > 1,0$), cechował 29 odmian, a ponadprzeciętną wartość użytkową dorodności ziarna ($WOC > 1,0$) wykazało 53% odmian.

Pszenżyto ozime cechuje niska liczba opadania mąki wyrażana w sekundach, średnio w wieloleciu 128 s, i jest to cecha bardzo zmienna w latach (odchylenie standardowe = 50,0 s). Okazało się, że ta zmienność jest 3-krotnie silniej powodowana warunkami środowiskowymi niż właściwościami odmian. W dotychczasowej hodowli pszenżyta ozimego brak jest istotnego kierunkowego trendu zmian w zakresie liczby opadania mąki (tab. 2). Następowala jednak okresowa poprawa tej cechy u odmian pszenżyta i okresowe jej pogorszenie. Wyraźny postęp hodowlany występował zwłaszcza w latach 1985–1994. W tym czasie nastąpiła poprawa liczby opadania o około 60 s. Między 1994 a 2001 rokiem zachodził regres hodowlany tej cechy o około 50 s.

Tabela 8

Wskaźniki postępu hodowlanego wnoszonego przez odmiany pszenżyta ozimego pod względem liczby opadania

The indicators of breeding progress brought by cultivars of winter triticale in falling number

Odmiana Cultivar	Rok rejestracji Year of registration	Wskaźnik* — Indicator			
		PHO	UPHO	UTO	WOC
Grado	1984	0,47	0,47	0,17	0,37
Dagro	1985	0,78	1,04	1,66	1,16
Bolero	1986	0,68	0,90	0,73	0,77
Largo	1986	0,90	1,18	—	—
Malno	1987	0,50	0,61	0,00	0,37
Ugo	1988	0,61	0,80	0,17	0,53
Presto	1989	0,83	1,00	0,69	0,84
Almo	1989	0,78	0,95	0,18	0,64
Moniko	1990	0,63	0,77	0,00	0,47
Tewo	1991	0,82	1,02	1,50	1,11
Moreno	1992	1,77	2,06	4,11	2,65
Prego	1992	1,31	1,53	2,27	1,70
Vero	1992	1,34	1,57	1,91	1,61
Bogo	1993	0,73	1,13	1,95	1,27
Tornado	1996	0,49	0,50	0,00	0,33
Alzo	1997	0,99	1,21	0,91	1,04
Fidelio	1997	0,42	0,54	0,28	0,41
Marko	1997	0,71	0,87	0,00	0,53
Lamberto	1998	0,82	1,14	1,86	1,27
Prado	1998	0,68	0,94	0,00	0,54
Kitaro	1999	0,55	0,76	0,00	0,44
Pronto	1999	1,27	1,74	2,76	1,92
Janko	2000	0,56	0,93	0,58	0,69
Kazo	2000	0,44	0,72	0,00	0,38
Woltario	2000	0,58	0,95	0,88	0,80
Magnat	2000	0,30	0,50	0,00	0,27
Hewo	2001	0,68	1,22	2,93	1,61
Pawo	2002	0,76	1,03	1,80	1,20
Sorento	2002	0,79	1,07	2,97	1,61
Witon	2002	0,90	1,22	3,39	1,84
Zorro	2002	0,79	1,08	1,22	1,03
Todan	2003	0,59	0,75	0,00	0,45
Moderato	2004	0,57	0,83	0,38	0,59
Aliko	2005	0,63	1,02	1,29	0,98
Hortenso	2005	0,56	0,89	1,19	0,88
Baltiko	2006	0,54	0,87	0,00	0,47
Gniewko	2006	0,51	0,67	0,00	0,39
Algoso	2007	0,70	1,03	0,39	0,71
Grenado	2007	0,76	1,12	0,42	0,77
Trismart	2007	0,92	1,35	1,70	1,32
Alekto	2008	0,94	1,30	1,78	1,34
Borwo	2008	0,40	0,56	0,00	0,32
Leontino	2008	0,65	0,90	0,17	0,57
Pigmej	2008	0,81	1,04	0,22	0,69
Pizarro	2008	1,17	1,50	2,13	1,60
Trigold	2008	0,73	1,01	0,20	0,65
Atletico	2009	0,99	1,47	1,98	1,48
Tulus	2009	0,52	0,85	—	—
Elpaso	2010	1,56	1,94	1,91	1,81
Fredro	2010	1,69	2,10	1,97	1,92

*Patrz objaśnienia do tabeli 5; See footnote to Table 5

Kolejno do 2006 roku nastąpiła jej poprawa i pogorszenie w dalszych latach. Ocenie postępu wnoszonego przez poszczególne odmiany poddano 50 odmian, dla których istnieje dostateczna liczba danych. Postęp hodowlany ($PHO > 1,0$) wniosło zaledwie 7 odmian: 'Moreno', 'Prego', 'Vero', 'Pronto', 'Pizarro', 'Elpaso', 'Fredro' (tab. 8). Należy zauważyć, że 3 pierwsze z nich były rejestrowane w 1992 roku, a 3 ostatnie w latach 2008 i 2010. Odmiany 'Moreno', 'Prego' i 'Vero' wniosły duży postęp względem omawianej cechy, a bezwzględna wartość liczby opadania ich mąki wynosiła średnio około 190 s. Tego poziomu cechy nie osiągały odmiany rejestrowane w późniejszych latach. Dlatego postęp tych nowszych odmian ujawnił się dopiero wówczas, gdy odmiany rejestrowane w 1992 roku zostały skreślone z rejestru odmian. Toteż odmiany 'Pizarro', 'Elpaso', 'Fredro' wniosły wprawdzie postęp w porównaniu z innymi odmianami, ale liczba opadania ich mąki wynosi średnio około 155 s.

Do oceny efektów hodowlanych pod względem zawartości białka ogólnego w ziarnie wykorzystano dane dotyczące 57 odmian pszenżyta rejestrowanych w latach 1982–2012 (łącznie 307 danych). Zawartość tego składnika w ziarnie wykazała niewielki, ale istotny, regres w tych latach (tab. 2) i ujemnie korelowała z plonem ziarna ($r = -0,71$). Warunki środowiskowe w latach tylko nieco silniej wpływały na zawartość białka niż genetyczne właściwości odmian. Wyraźny regres hodowlany pod względem tej cechy wystąpił w latach 1982–1990 (o około 2 pp). W późniejszych latach także brak było efektów hodowlanych, a zawartość białka nieznacznie oscylowała wokół 11,3%.

Zawartość białka w ziarnie odmian pszenżyta ozimego jest określana przez COBORU corocznie, ale w ziarnie danej odmiany zwykle tylko przez 2–3 lata. Dlatego warunek koniecznej liczby lat badań do oceny postępu hodowlanego (4 lata) wnoszonego przez odmiany spełniało tylko część odmian. Z tego względu nie wyliczano wskaźników postępu wnoszonego przez odmiany pod względem tej cechy.

WNIOSKI

1. W latach 1982–2012 zwiększały się plony ziarna pszenżyta ozimego wskutek postępu agrotechnicznego i hodowlanego. Średnio rocznie zwiększały się o $1,04 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$, głównie (90,4%) dzięki sukcesywnemu postępowi hodowlanemu.
2. Dynamika postępu hodowlanego w plonie ziarna była duża ($1,95 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) w początkowych latach hodowli pszenżyta ozimego (1982–1990) i malejąca w dalszych latach.
3. Spośród 59 ocenianych odmian postęp hodowlany w plonowaniu wniosły 22, ale użyteczny postęp hodowlany niemal wszystkie. Średnio odmiany zachowywały użyteczną trwałość plonowania przez 5,2 lat badań, a tylko nieliczne przez ponad 8 lat.
4. Największą wartość użytkową, pod względem plonu ziarna, wykazały odmiany: 'Sorento', 'Ugo', 'Pawo', 'Bogo', 'Witon', 'Presto', 'Tewo', 'Kazo', 'Lamberto', 'Tornado', 'Moderato', a także nowsze: 'Tulus', 'Algoso', 'Fredro', 'Pizarro', 'Grenado', 'Borwo'.
5. Dorodność ziarna pszenżyta ozimego nie ulegała kierunkowej zmianie i postęp w zakresie tej cechy był znikomy. Największą wartość względem dorodności ziarna

- prezentowały odmiany: 'Fidelio', 'Magnat', 'Todan', 'Grado', 'Kitaro', 'Presto', 'Trismart'.
6. Brak było postępu pod względem liczby opadania mąki pszenżyta. Jedynie niektóre odmiany, rejestrowane w różnych latach, wyróżniały się pod tym względem w swoim czasie ($WOC > 1,5$). Były nimi: 'Moreno', 'Pronto', 'Fredro', 'Witon', 'Elpaso', 'Prego', 'Vero', 'Hewo', 'Sorento', 'Pizarro'.
 7. Zawartość białka ogólnego w ziarnie wykazała niewielki, ale istotny, regres w latach 1982–2012 i ujemnie korelowała z plonem ziarna w tych latach ($r = -0,71$).

LITERATURA

- Arseniuk E., Krzymuski J., Martyniak J., Oleksiak T. 2003. Historia hodowli i nasiennictwa na ziemiach polskich. Wyd. ProDruk, Poznań.
- GUS. 2012. Rocznik statystyczny 2012.
- Krzymuski J., Krzeczowska A. 1998. Postęp odmianowy w plonach zbóż w latach 1994–1996. Biul. IHAR 207: 3 — 13.
- Krzymuski J., Laudański Z., 1994. Optymalizacja częstotliwości wymiany odmian i nasion zbóż. III. Postęp odmianowy. Biul. IHAR 189: 133 — 139.
- Krzymuski J., Oleksiak T. 1994. Pszenżyto ozime w doświadczeniach i w produkcji. Zesz. Nauk. AR Szczec., 162:119 — 123.
- Oleksiak T. 2000. Pszenżyto w produkcji — wykorzystanie efektów hodowli. Folia Univ. Agric. Stetin., Agricultura (82): 199 — 204.
- Piepho H. P., Laidig F., Drobek T., Meyer U. 2014. Dissecting genetic and non-genetic sources of long-term yield in German official variety trials. Theor. Appl. Gen. 127 (5): 1009 — 1018.
- Pluto J. 1993. Efektywność hodowli odmian pszenżyta ozimego w Polsce. Wiad. Odmianozn. 51, COBORU Słupia Wielka.
- Rudnicki F. 2014. Metoda wskaźnikowej oceny postępu hodowlanego wnoszonego przez odmiany roślin uprawnych. Biul. IHAR 273: 3 — 16.

FRANCISZEK RUDNICKIUniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
Katedra Podstaw Produkcji Roślinnej i Doświadczalnictwa

Postęp hodowlany pszenżyta ozimego w latach 1982–2012

II. Odporność na czynniki biotyczne i abiotyczne

Breeding progress of winter triticales in years 1982–2012

II. Resistance to biotic and abiotic stresses

W tej pracy dokonano oceny efektów hodowli pszenżyta ozimego pod względem odporności na 10 czynników stresogennych dla roślin. W ocenach uwzględniono odmiany pszenżyta znajdujące się w polskim rejestrze odmian w latach 1982–2012. Zastosowano analogiczne metody jak w I części pracy (Rudnicki, 2014 a, 2014 b). Stwierdzono, że odporność średnia odmian pszenżyta ozimego na większość ocenionych czynników stresowych zmniejszała się wraz z upływem lat. Postęp hodowlany w odporności na poszczególne czynniki stresowe wnosili nieliczne odmiany spośród rejestrowanych. Sukcesem hodowli odpornościowej była zwłaszcza odmiana ‘Fidelio’, wpisana do rejestru odmian w 1997 roku, która wniosła duży i trwały postęp pod względem niemal wszystkich czynników stresowych. Wraz z upływem lat badań wiele odmian, rejestrowanych po 1996 roku, traciło swą początkową odporność na patogeny, zwłaszcza na mączniaka prawdziwego i rdzę brunatną. Utrata tych odporności następowała zwykle tym szybciej im później odmiany były rejestrowane. Przed 2001 rokiem patogeny chorobotwórcze, z wyjątkiem rdzy brunatnej, nie wpływały istotnie na plonowanie pszenżyta ozimego, natomiast w późniejszym okresie ich wpływ był znaczący.

Słowa kluczowe: odmiana, mrozooporność, odporność na patogeny, pszenżyto ozime

The evaluations of breeding progress of winter triticales with regards to the resistance to 10 stress factors have been presented in the paper. The cultivars of triticales in the Polish Registration list between 1982–2012 have been used to assess the progress. Analogous methods were applied as in the first part of the work (Rudnicki, 2014 a, 2014 b). It was found that the resistance of the standard cultivars of winter triticales to most rated stressors decreased over the years. Few cultivars among registered ones brought the breeding progress in resistance to various diseases. Spectacular success in resistance breeding was in case of cv. ‘Fidelio’, that entered to the register of varieties in 1997, and brought a large and sustained progress in resistance to almost all stresses. With the passage of years of research many cultivars, registered since 1996, lost their initial resistance to pathogens, especially to powdery mildew and leaf rust. The loss of resistance usually happened faster for the varieties registered later.

Before 2001 diseases, with the exception of brown rust, had no significant effect on the yield of winter triticale, while in the later period their impact became significant.

Key words: cultivar, frost hardiness, resistance to pathogens, winter triticale

WSTĘP

Efekty produkcyjne uprawy roślin wyraźnie zależą od oddziaływań czynników stresogennych środowiska przyrodniczego oraz od odporności roślin na te oddziaływania. Wiele czynników wywołujących stres u roślin w uprawach polowych nie poddaje się regulacji przez człowieka (np. mróz, wiatr), albo te możliwości są niewielkie lub kosztowne (np. niska jakość gleby, obecność patogenów i szkodników roślin). Dlatego w hodowli odpornościowej roślin uprawnych upatruje się szansy ograniczania szkód powodowanych tymi czynnikami.

Do niedawna pszenżyto było rośliną wysoce odporną na większość chorób. Jednak wraz z rosnącymi rozmiarami jego uprawy pojawiły się patogeny, które dostosowały się do tego gatunku jako żywiciela. Szacuje się, że większość tych patogenów, przy przeciętnym porażeniu roślin, powoduje utratę 10–15% plonu, a przy silnym porażeniu nawet kilkadziesiąt procent (Woś i Strzembicka, 2011). Na ryzyko uprawy pszenżyta ozimego w dużym stopniu wpływa jego mrozoodporność, która jest zwykle nieco większa niż pszenicy ozimej (Tokarski, 2011).

Odporność roślin uprawnych na czynniki stresowe jest oceniana zwykle liczbą punktów w przyjętej skali bonitacyjnej. W badaniach COBORU jest stosowana skala 9-stopniowa. Znaczy to, że poprawa cech odporności może osiągać ograniczoną liczbowo wartość 9°, odpowiadającą pełnej odporności na dany czynnik.

Celem pracy jest poznanie efektów hodowli odpornościowej pszenżyta ozimego w latach 1982–2012 oraz znaczenia odporności odmian na 10 czynników stresogennych dla roślin w kształtowaniu plonu ziarna pszenżyta.

MATERIAŁ DANYCH ŹRÓDŁOWYCH I METODY

Dane wykorzystane w tej pracy pozyskano z tych samych źródeł co w części I (Rudnicki, 2014 b) z tym, że dotyczą takich cech odmian pszenżyta ozimego jak: mrozoodporność, odporność na wyleganie oraz odporność na 8 patogenów chorobotwórczych (łącznie 10 cech). Uwzględniono dane będące średnimi wartościami poszczególnych cech odmian z licznych doświadczeń realizowanych na obszarze kraju. W przypadku, gdy doświadczenia były prowadzone na dwóch poziomach agrotechniki przyjęto dane z poziomu przeciętnego (a1), ponieważ na tym poziomie nie są wykonywane zabiegi fungicydowe (z wyjątkiem zaprawiania ziarna siewnego) oraz zabiegi zapobiegające wyleganiu roślin. Pozyskane dane uporządkowano chronologicznie względem lat rejestracji odmian i lat w których były one badane. Ogólna liczba danych z lat i odmian dla poszczególnych cech wyniosła 540–549, z wyjątkiem pleśni śniegowej (468), rynchosporiozy (433) i fuzariozy kłosów (350). Wszystkie te dane miały rozkład normalny lub bardzo zbliżony do normalnego.

Analizę danych rozpoczęto od wyznaczenia średnich wartości poszczególnych cech odporności pszenżyta w okresie lat 1982–2012 i w 3 podokresach oraz korelacji wartości cech z latami. Wykonano je uwzględniając wszystkie odmiany będące w badaniach oraz osobno odmiany nowo rejestrowane w poszczególnych latach, z pominięciem pozostałych. W tym drugim przypadku wartość cechy dla roku rejestracji odmiany wyliczano jako średnią z 4 pierwszych lat jej badania.

Zmiany odporności pszenżyta na niektóre czynniki stresowe wraz z upływem lat były krzywoliniowe, dlatego dla tych cech wyznaczono równania regresji wielomianowej II^0 . Zmienną zależną była wartość średnia cechy wszystkich odmian badanych w poszczególnych latach, a zmienną niezależną kolejny rok. Na podstawie tych statystycznie istotnych równań oszacowano wartości danej cechy dla lat 1982, 1992, 2002 i 2012.

Do oceny postępu hodowlanego wnoszonego przez poszczególne odmiany pod względem ich odporności na mróz, wyleganie i patogeny zastosowano własną metodę (Rudnicki, 2014 a), polegającą na wyznaczaniu 4 wskaźników: postępu hodowlanego (PHO); użytecznego postępu hodowlanego (UPHO); użytecznej trwałości odmiany (UTO); wartości użytkowej odmiany pod względem danej cechy (WOC). Takim wskaźnikowym ocenom poddano 59 odmian pszenżyta, które były rejestrowane w latach 1984–2011, i które były badane w doświadczeniach przez 4 lub więcej lat.

Wraz z upływem lat użytkowania zmienia się w różnym stopniu odporność roślin poszczególnych odmian na patogeny chorobotwórcze (Silvey, 1978; Mackay i in., 2011). Dlatego dokonano oceny liczby lat po jakich obniża się ta odporność o 0,5, 1, 2, 3 stopnie skali oceny. W tym celu zastosowano regresję wielomianową II^0 , w której zmienną zależną była ocena odporności odmiany na danego patogena, a zmienną niezależną kolejne lata badania tej odmiany.

Wyznaczono zależność plonów pszenżyta od odporności jego odmian na czynniki stresowe. Zastosowano analizę regresji wielokrotnej grzbietowej z krokową eliminacją nieistotnych statystycznie zmiennych niezależnych. Wybór modelu grzbietowego regresji uzasadniały dość liczne istotne korelacje między niektórymi zmiennymi niezależnymi. Tymi zmiennymi niezależnymi były czynniki stresogenne dla roślin (10 cech), a zmienną zależną plon ziarna. W takiej analizie wyrazy równania wskazują oszacowany wpływ każdego z czynników stresowych na plon ziarna, a ten wpływ jest wyrażany zmianą plonu przypadającą na zmianę odporności na dany czynnik stresowy o 1° skali oceny. Całość równania pozwala natomiast szacować łączny wpływ wszystkich, statystycznie istotnych, czynników stresowych na plon. Analizy takie wykonano dla wszystkich odmian badanych w latach 1982–2000, 2001–2012 oraz w całym okresie 1982–2012. Oceny zależności plonu od odporności odmian na czynniki stresowe nie są możliwe na danych rzeczywistych, ponieważ zależności takie silnie modyfikują warunki środowiskowe. Często bywa, że warunki środowiskowe, zwłaszcza meteorologiczne w latach, sprzyjają nasileniu chorób roślin, ale też sprzyjają dobremu plonowaniu. Wówczas wysokie plonowanie zachodzi pomimo obniżonej zdrowotności roślin, a nie dzięki niej. Ponadto plon jest wyrażany w nieograniczonym przedziale otwartym jednostek fizycznych, a odporność roślin na czynniki stresowe w punktach skali 9° przedziału domkniętego. To sprawia, że wraz z upływem lat plony mogą zwiększać się w stopniu względnie nieograniczonym (naturalnie

w pewnym zakresie), a odporności roślin na czynniki stresowe tylko do wartości 9° skali ocen. Dlatego analizy wykonane na danych rzeczywistych prowadzą do fałszywych wyników na przykład takich, że plony maleją wraz z poprawą odporności na dany czynnik stresowy. Aby uniknąć tej wady i wyodrębnić zależność plonu ziarna pszenżyta od odporności odmian na dany czynnik stresowy spośród innych czynników wpływających także na plonowanie dokonano przekształcenia danych według wzoru:

$$x_{ij} = \bar{C} + (c_{ij} - \bar{c}_j),$$

gdzie: x_{ij} — przekształcona wartość cechy i -tej odmiany w j -tym roku; c_{ij} — rzeczywista wartość cechy i -tej odmiany w j -tym roku; $\bar{c}_j$ — średnia wartość cechy wszystkich odmian występujących w j -tym roku; $\bar{C}$ — średnia wartość cechy z lat uwzględnionych w analizie.

WYNIKI I DYSKUSJA

Mrozoodporność pszenżyta ozimego w wysokim stopniu decyduje o jego zimotrwałości i te cechy wykazują wyraźną zbieżność (Pluto, 1993). Znaczenie mrozoodporności odmian ujawnia się w warunkach ostrych zim. Wówczas odmiany i linie hodowlane o większej mrozoodporności plonują istotnie lepiej niż te o mniejszej mrozoodporności (Szelaż i in., 2002). Zdaniem Banaszak i in. (1998) spośród różnych czynników „niedostateczna mrozoodporność w największym stopniu limituje zimotrwałość tego gatunku w naszym kraju”.

W początkowym okresie hodowli pszenżyta ozimego (do 1990 roku) następował zauważalny postęp pod względem mrozoodporności. Wnosiły go zwłaszcza kolejno odmiany ‘Grado’, ‘Bolero’, ‘Largo’, ‘Almo’ (tab. 3). Te i inne odmiany rejestrowane w latach 1984–1990 wykazywały mrozoodporność powyżej 6° w 9° skali ocen, a niektóre (‘Largo’, ‘Almo’) powyżej 7,5°. Ówczesne odmiany pszenżyta ustępowały wprawdzie mrozoodporności żyta, ale przewyższały lub dorównywały mrozoodporności pszenicy ozimej odmiany ‘Grana’ (Pluto, 1993). W dalszych latach postępowało stopniowe obniżanie mrozoodporności pszenżyta ozimego. Świadczą o tym malejące wartości tej cechy w 3 kolejnych podokresach oraz wysoko istotny ujemny współczynnik korelacji z latami ($r = -0,80$). Toteż po 2004 roku średnia mrozoodporność odmian spadła do poziomu poniżej 5° skali (tab. 1 i 2). Trend spadkowy mrozoodporności dotyczy zarówno średniej wszystkich odmian jak i kolejno rejestrowanych odmian najlepszych pod względem tej cechy (tab. 1). W całym okresie lat 1984–2011 postęp hodowlany, pod względem mrozoodporności, wносиło tylko 6 odmian. Uwzględniając wnoszony postęp i jego trwałość do grupy najlepszych pod tym względem można zaliczyć odmiany: ‘Janko’, ‘Prado’, ‘Pawo’, ‘Malno’, ‘Witon’, ‘Almo’, a z nowszych ‘Trismart’, ‘Grenado’, ‘Borwo’, ‘Pigmej’, ‘Pizarro’ (tab. 5).

Tabela 1

Średnie wartości (skala 1–9°) cech pszenżyta ozimego w różnych okresach lat oraz ich korelacje z latami 1982–2012

The averages of characteristics (values in 1–9° scale) of winter triticales in year intervals as well as their correlation with years 1982–2012

Odporność na Resistant to	Odmiany* Cultivars	Przedział lat — Years interval				1982–2012 r**
		1982–1990	1991–2000	2001–2010	1982–2012	
Mróz Frost	W NNR	6,70 6,95	6,30 7,06	5,00 5,42	5,90 6,36	-0,80 -0,65
Wyleganie Lodging	W NNR	6,81 6,84	7,17 7,67	6,96 7,30	7,00 7,36	0,08 0,44
Pleśń śniegową Snow mould	W NNR	8,21 8,29	7,68 7,96	7,71 7,96	7,88 8,10	-0,26 -0,04
Mączniaka prawdziwego Powdery mildew	W NNR	8,18 8,20	8,34 8,36	7,72 8,32	8,04 8,29	-0,53 0,11
Rdzę brunatną Brown rust	W NNR	8,17 8,16	8,32 8,48	7,55 8,29	8,00 8,31	-0,64 0,24
Septoriozę liści Septoria leaf spot	W NNR	7,30 7,28	6,86 7,00	7,06 7,39	7,05 7,27	-0,27 0,23
Septoriozę plew Septoria spikelet glume	W NNR	7,79 7,80	7,45 7,62	7,38 7,73	7,50 7,73	-0,58 0,04
Choroby podstawy źdźbła Take-all diseases	W NNR	7,49 7,53	8,07 8,14	8,00 8,03	7,90 7,94	0,42 0,66
Rhynchosporiozę Rhynchosporium	W NNR	— —	7,78 7,90	7,79 7,90	7,80 7,90	0,06 0,00
Fuzariozę kłosów Ear fusariosis	W NNR	— —	— —	7,90 8,14	7,90 8,14	-0,76 -0,59

* W — średnio wszystkie badane; average for all examined cultivars; NNR — najlepsze spośród nowo rejestrowanych w poszczególnych latach; the best of newly registered cultivars in individual years

** współczynnik korelacji z latami; correlation coefficient with years; czcionka pogrubiona — współczynnik istotny przy $\alpha = 0,05$; in bold — significant coefficient at $\alpha = 0,05$

Tabela 2

Oszacowana regresją II^o odporność pszenżyta ozimego na niektóre czynniki stresowe w latach 1982–2012 (średnie wszystkich odmian; wyniki w skali 1–9°)

Resistance of the winter triticales to some stress factors in 1982–2012 years (averages of all varieties; results in the 1–9° scale) estimated by 2nd degree regression

Odporność na: Resistance to:	Rok — Year				R*
	1982	1992	2002	2012	
Mróz Frost	6,87	6,46	5,60	4,31	0,814
Mączniaka prawdziwego Powdery mildew	8,04	8,35	8,06	7,18	0,708
Rdzę brunatną Brown rust	8,29	8,19	7,92	7,50	0,660
Septoriozę liści Septoria leaf spot	7,61	7,01	6,89	7,24	0,524
Septoriozę plew Septoria spikelet glume	7,90	7,59	7,38	7,27	0,591
Choroby podstawy źdźbła Take-all diseases	7,19	7,88	8,09	7,83	0,610
Fuzariozę kłosów Ear fusariosis	—	—	7,99	7,62	0,783

*Stosunek korelacyjny; Correlational relationship

W całym okresie 31 lat plony ziarna pszenżyta wykazały wprawdzie słabą, ale wysoko istotną korelację dodatnią z mrozoodpornością odmian (tab. 9), a silnie ujawniała się ona zwłaszcza w latach 1997, 1998, 2011, 2012. W tym ostatnim roku, po ostrej zimie 2011/2012, plony odmian pszenżyta były w szczególnie wysokim stopniu związane z ich mrozoodpornością (współczynnik determinacji $r^2 = 0,82$). Oszacowana regresją wielokrotną cząstkową zależność plonu ziarna pszenżyta od mrozoodporności odmian, w całym okresie 31 lat, wykazała wzrost plonu o $0,68 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ wraz ze wzrostem mrozoodporności o 1° (tab. 9). Ten względnie nieduży przeciętny wzrost plonu wynika z faktu, że w większości lat o łagodnych zimach stopień mrozoodporności odmian nie miał wpływu na ich plonowanie, albo wpływ ten był niewielki. Jednak w latach 2011–2012 znaczenie tej właściwości odmian pszenżyta było duże. Współczynnik korelacji wyniósł $r = 0,75$, a plony zwiększały się o $5,04 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ wraz ze wzrostem mrozoodporności odmian o 1° skali oceny.

Zimotrwałość odmian pszenżyta wiąże się z ich mrozoodpornością, ale także z uszkodzeniami roślin przez pleśń śniegową, co zdaniem Szeląga i in. (1998) utrudnia określenie wpływu mrozoodporności na plonowanie. Okazało się, że często odmiany o podwyższonej odporności na tę chorobę wykazują także lepszą mrozoodporność ($r = 0,30$). Toteż, podobnie jak w przypadku mrozoodporności, brak było postępu pod względem odporności odmian na pleśń śniegową (tab. 1). Spośród 50 odmian rejestrowanych w latach 1984–2009 postęp hodowlany pod względem odporności na tę chorobę wniosło zaledwie 5 odmian ('Grado', 'Largo', 'Ugo', 'Fidelio', 'Janko'), a użyteczny postęp 23 odmiany (tab. 3 i 4). Największą wartość użytkową pod względem tej cechy odporności wykazały odmiany: 'Ugo', 'Fidelio', 'Janko', 'Tornado', 'Malno', 'Prado', a z nowszych 'Aliko', 'Baltiko', 'Grenado', 'Pigmej' (tab. 8). Pleśń śniegowa pojawia się głównie w warunkach mroźnych zim z długo zalegającą pokrywą śnieżną. Dlatego uszkodzenia roślin przez tego patogena, w stopniu skutkującym istotnym zmniejszeniem plonu ziarna pszenżyta, stwierdzono tylko w niektórych latach (1984, 1996, 1997, 2003, 2010, 2011). Jednak wpływ odporności odmian na plon pszenżyta ujawnił się także w przedziale lat 2001–2012 oraz w całym okresie lat 1982–2012 ($0,88 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ na 1° odporności). Ta zależność plonu od odporności odmian na pleśń śniegową okazała się nawet nieco silniejsza niż od ich mrozoodporności (tab. 9).

W okresie 31 lat brak było postępu pod względem odporności odmian pszenżyta na patogeny chorobotwórcze, a wręcz regres (z wyjątkiem odporności na zespół chorób podstawy źdźbła). Odporność średnia odmian na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis*) przed 2003 rokiem była duża ($>8,0^\circ$ skali ocen) i nie wykazywała trendu spadkowego, natomiast w późniejszych latach wystąpił wyraźny spadek tej odporności (tab. 1 i 2). Ten spadek odporności sprawił, że wraz z upływem lat porażenie pszenżyta przez tego patogena stało się powszechne i w 2010 roku wystąpiło w 93% doświadczeń COBORU (Tokarski, 2011). Niewielki postęp hodowlany pod względem tej cechy wniosło tylko 7 odmian, kolejno: 'Bolero', 'Ugo', 'Almo', 'Prego', 'Fidelio', 'Grenado' i 'Pizarro' (tab. 3).

Tabela 3

Wskaźniki postępu hodowlanego (PHO) wnoszonego przez odmiany pszenżyta ozimego w cechach odporności na czynniki stresowe
The indicators of breeding progress (PHO) brought in resistance to stress factors by winter triticale cultivars

Odmiana Cultivar	Cecha odporności na: Resistance to:									
	mróz frost	wyleganie lodging	pleśń śniegową snow mould	mączniaka prawdziwego powdery mildew	rdzę brunatną brown rust	septoriozę liści septoria leaf spot	septoriozę plew septoria spikelet glume	ryncho- sporiozę rhyncho- sporium	choroby podst żdźbła take-all diseases	fuzariozę kłosów ear fusariosis
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Grado	1,24	1,17	1,03	0,98	1,01	0,91	0,92	—	1,02	—
Dagro	1,00	1,07	0,99	1,00	1,00	0,90	0,95	—	1,04	—
Bolero	1,01	0,80	0,98	1,01	0,98	1,01	1,03	—	0,95	—
Largo	1,27	0,93	1,02	1,00	0,99	0,97	1,02	—	0,97	—
Malno	0,91	0,95	1,00	0,98	0,98	0,92	0,99	—	1,01	—
Ugo	1,00	0,77	1,01	1,01	1,01	0,96	0,98	1,08	0,89	—
Presto	0,84	0,84	0,97	0,99	1,00	0,96	0,92	0,94	0,90	—
Almo	1,03	0,80	0,98	1,01	0,99	0,95	0,98	—	0,95	—
Moniko	0,88	1,04	0,98	0,97	0,97	0,93	0,94	—	0,98	—
Tewo	0,93	0,89	0,91	0,96	0,93	0,91	0,95	0,96	0,97	—
Moreno	0,82	0,99	0,94	0,96	0,92	0,93	0,96	0,95	0,97	—
Prego	0,96	1,02	0,96	1,01	0,98	1,04	0,93	0,97	1,00	—
Vero	0,86	0,94	0,98	0,98	0,97	0,94	0,92	0,95	0,97	—
Bogo	0,89	0,98	0,96	0,98	1,00	0,98	0,92	0,97	0,99	—
Tornado	0,94	0,86	0,96	0,98	0,97	0,91	0,96	0,95	0,98	0,98
Alzo	0,76	0,87	0,93	0,98	0,99	0,99	0,93	0,97	0,99	1,00
Fidelio	0,98	1,14	1,07	1,01	1,01	1,02	1,00	1,00	1,01	0,99
Marko	0,89	0,91	0,90	1,00	0,91	0,92	0,93	0,97	0,97	0,95
Lamberto	0,87	0,86	0,90	0,98	0,98	0,93	1,01	0,97	0,96	1,00
Prado	1,14	0,70	0,97	0,99	0,97	0,97	1,00	0,98	0,97	1,01
Kitaro	0,67	0,96	0,96	0,97	0,98	0,93	0,95	0,98	0,96	1,02
Pronto	0,90	0,81	0,90	0,97	0,99	0,91	0,94	0,96	0,95	0,98
Janko	1,06	0,88	1,01	0,98	0,91	0,92	0,93	0,96	0,96	0,97
Kazo	0,92	0,85	0,94	0,97	0,96	0,89	0,99	0,94	0,95	1,01
Woltario	0,91	1,06	0,84	0,98	0,95	0,92	0,87	0,95	0,92	0,95
Magnat	0,59	1,00	0,79	0,96	0,99	0,90	0,88	0,91	0,95	0,98
Hewo	0,81	0,80	0,90	0,97	0,89	0,91	0,92	0,95	0,90	0,94
Sekundo	0,77	0,80	0,89	0,95	0,75	0,83	0,94	0,93	0,93	0,96
Krakowiak	0,86	0,75	0,86	0,98	0,97	0,92	0,92	0,96	0,90	0,95
Pawo	0,89	0,73	0,93	0,97	0,99	0,96	0,95	0,96	0,92	0,99
Sorento	0,71	0,86	0,90	0,98	0,98	0,92	0,95	0,98	0,90	0,96
Witon	0,85	0,92	0,91	0,96	0,90	0,97	0,95	0,96	0,94	0,89
Zorro	0,66	1,02	0,80	0,99	0,96	0,95	0,89	0,94	0,92	0,96
Todan	0,79	0,72	0,96	0,93	1,01	0,93	0,97	0,94	0,96	1,00
Moderato	0,75	0,76	0,99	0,99	1,08	1,02	1,04	0,97	0,95	0,95
Aliko	0,86	0,76	0,95	0,86	0,89	0,90	0,90	0,91	0,93	0,93
Hortenso	0,86	0,76	0,97	0,96	0,88	0,91	0,99	0,93	0,96	0,96
Baltiko	0,74	1,00	0,97	0,96	0,80	0,85	0,94	0,97	0,95	0,93
Gniewko	0,72	1,00	0,94	1,00	0,94	0,94	0,87	0,93	0,92	0,90
Algoso	0,80	0,82	0,86	0,79	0,88	0,84	0,93	0,89	0,97	0,96
Grenado	0,93	0,90	0,99	1,01	0,99	1,00	0,98	0,94	0,99	0,99
Trismart	0,93	0,74	0,93	0,90	0,69	0,79	0,94	0,92	0,96	0,98
Alekto	0,77	1,02	0,91	0,91	0,90	0,94	0,90	0,98	0,95	1,05
Borwo	0,88	0,97	0,91	0,91	1,01	1,00	1,03	0,99	1,03	1,08

c.d. Tabela 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Leontino	0,71	0,90	0,95	0,96	0,91	0,96	0,98	0,96	0,95	1,02
Pigmej	0,83	0,97	0,95	0,96	0,98	0,95	0,97	0,99	1,01	1,07
Pizarro	0,83	0,80	0,88	1,01	0,99	1,05	0,96	1,01	1,01	0,96
Trigold	0,59	0,85	0,94	0,90	0,98	0,96	0,91	0,98	0,99	1,02
Atletico	0,84	1,02	0,97	0,88	0,96	0,89	0,88	0,96	0,94	0,90
Tulus	0,80	0,91	0,97	0,93	0,99	0,93	0,98	0,99	0,99	0,98
Cerber	0,74	0,86	—	0,89	0,95	0,90	0,83	0,98	0,96	0,88
Cyrkon	0,72	0,85	—	0,87	0,97	0,90	0,92	0,97	0,97	0,86
Elpaso	0,80	0,87	—	0,84	0,94	0,86	1,00	0,90	0,96	0,99
Fredro	0,82	0,91	—	0,89	0,99	0,93	1,05	0,97	0,98	1,00
Agostino	0,76	0,97	—	0,91	1,00	0,96	0,98	0,99	0,98	0,98
Bereniko	0,70	0,81	—	0,96	0,97	0,97	0,93	0,98	1,01	1,00
Borowik	0,83	0,97	—	0,91	0,97	0,97	0,91	0,97	1,01	0,97
KWS Trisol	0,67	0,85	—	0,94	0,97	0,90	0,89	0,97	0,99	0,95
Maestozo	0,80	0,79	—	0,91	1,00	0,98	0,93	0,98	1,00	0,94

Tabela 4

Wskaźniki użytecznego postępu hodowlanego (UPHO) wnoszonego przez odmiany pszenżyta ozimego w cechach odporności na czynniki stresowe

The indicators of useful breeding progress (UPHO) brought in resistance to stress factors by winter triticale cultivars

Odmiana Cultivar	Cecha odporności na: Resistance to:									
	mróz frost	wyleganie lodging	pleśń śniegową snow mould	maćznia prawdziwego powdery mildew	rdzę brunatną brown rust	septoriozę liści septoria leaf spot	septoriozę plew septoria spikelet glume	ryncho- sporiozę rhyncho- sporum	choroby podst. żdźbła take-all diseases	fuzariozę kłosów ear fusariosis
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Grado	1,24	1,17	1,03	0,98	1,01	0,91	0,92	—	1,02	—
Dagro	1,08	1,18	1,00	1,01	1,00	0,95	0,97	—	1,05	—
Bolero	1,07	0,89	1,00	1,02	0,99	1,09	1,06	—	0,98	—
Largo	1,34	1,03	1,07	1,01	1,00	1,04	1,06	—	1,00	—
Malno	1,10	1,08	1,05	0,98	0,98	0,97	1,03	—	1,06	—
Ugo	1,16	0,85	1,07	1,01	1,01	1,02	1,02	1,08	0,94	—
Presto	0,98	0,96	1,02	1,01	1,02	1,02	0,95	0,98	0,96	—
Almo	1,20	0,91	1,04	1,02	1,01	1,00	1,02	—	1,00	—
Moniko	1,00	1,18	1,00	0,99	1,00	0,97	0,98	—	1,03	—
Tewo	1,07	1,06	0,94	0,98	0,96	0,95	0,99	1,00	1,01	—
Moreno	0,91	1,14	0,97	0,97	0,95	0,97	0,99	0,99	0,99	—
Prego	1,06	1,17	0,99	1,03	1,02	1,09	0,97	1,02	1,02	—
Vero	0,95	1,08	1,01	1,00	1,00	0,98	0,96	0,99	0,99	—
Bogo	1,01	1,08	0,99	1,00	1,03	1,05	0,96	1,02	1,01	—
Tornado	1,04	0,97	1,01	1,00	1,01	0,95	1,01	0,99	1,00	0,98
Alzo	0,83	1,02	1,00	0,99	1,03	1,04	0,98	1,02	1,01	1,00
Fidelio	1,08	1,36	1,11	1,02	1,05	1,08	1,05	1,05	1,03	1,00
Marko	0,99	1,09	0,94	1,01	0,94	0,98	0,98	1,02	0,99	0,96
Lamberto	0,96	1,12	0,99	0,99	1,03	1,01	1,09	1,01	1,00	1,02
Prado	1,26	0,91	1,07	1,01	1,02	1,05	1,07	1,03	1,01	1,03
Kitaro	0,83	1,23	1,01	0,98	1,03	1,00	1,02	1,02	1,01	1,04
Pronto	1,12	1,04	0,95	0,98	1,05	0,97	1,01	0,99	0,99	1,00
Janko	1,34	1,11	1,08	1,00	0,96	0,99	1,00	1,00	1,01	1,00
Kazo	1,16	1,02	1,01	0,98	1,02	0,96	1,06	0,97	1,01	1,04

c.d. Tabela 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Woltario	1,14	1,27	0,90	0,99	1,01	1,00	0,94	0,98	0,97	0,98
Magnat	0,74	1,27	0,84	0,98	1,05	0,97	0,95	0,95	0,99	1,01
Hewo	1,06	0,97	1,00	0,98	0,94	0,99	1,00	0,99	0,95	0,99
Sekundo	1,00	0,98	0,99	0,97	0,80	0,91	1,02	0,96	1,01	1,00
Krakowiak	1,13	0,92	0,95	1,01	1,02	1,00	1,00	0,99	0,97	0,98
Pawo	1,15	0,89	1,02	1,01	1,08	1,04	1,01	0,99	0,98	1,03
Sorento	0,92	1,04	0,99	1,02	1,06	1,00	1,02	1,02	0,97	1,00
Witon	1,10	1,12	1,00	1,00	0,97	1,06	1,01	1,00	1,01	0,94
Zorro	0,85	1,23	0,88	1,02	1,04	1,03	0,95	0,98	0,99	1,00
Todan	1,03	0,87	1,05	1,03	1,11	1,03	1,03	1,04	1,00	1,04
Moderato	0,98	0,90	1,08	1,10	1,17	1,11	1,10	1,05	0,98	1,02
Aliko	1,07	0,90	1,05	0,97	1,05	1,00	0,99	1,01	0,95	1,01
Hortenso	1,07	0,88	1,07	1,03	1,03	1,02	1,08	0,95	0,99	1,02
Baltiko	0,89	1,19	0,99	1,02	0,89	0,95	1,04	0,99	0,99	1,00
Gniewko	0,87	1,20	0,96	1,10	1,10	1,05	0,95	0,99	0,96	0,95
Algoso	0,98	0,98	0,89	0,88	1,01	0,93	1,01	0,95	1,01	1,00
Grenado	1,14	1,08	1,02	1,12	1,15	1,10	1,05	1,01	1,02	1,03
Trismart	1,14	0,93	0,96	0,96	0,77	0,85	1,01	0,96	0,98	1,01
Alekto	0,92	1,25	0,97	1,02	1,02	1,02	0,95	1,02	0,96	1,07
Borwo	1,06	1,19	0,97	1,02	1,15	1,07	1,09	1,03	1,05	1,10
Leontino	0,85	1,11	1,02	1,08	1,04	1,03	1,04	1,00	0,97	1,03
Pigmej	0,99	1,21	1,01	1,06	1,10	1,03	1,03	1,03	1,04	1,10
Pizarro	0,99	1,00	0,94	1,12	1,12	1,14	1,02	1,04	1,04	1,00
Trigold	0,71	1,04	1,00	1,01	1,12	1,03	0,96	1,02	1,01	1,04
Atletico	1,03	1,23	1,05	0,99	1,07	1,01	0,92	0,99	0,99	0,98
Tulus	0,93	1,11	1,06	1,05	1,10	1,05	1,02	1,01	1,01	1,06
Cerber	0,85	1,05	—	0,98	1,05	1,00	0,87	1,00	1,00	0,96
Cyrkon	0,83	1,03	—	0,96	1,07	1,00	0,96	1,00	1,00	0,95
Elpaso	0,93	1,04	—	0,95	1,04	0,95	1,04	0,93	0,98	1,06
Fredro	0,95	1,09	—	1,00	1,11	1,03	1,09	1,01	1,01	1,06
Agostino	0,92	1,13	—	1,04	1,11	1,08	1,06	1,02	1,02	1,03
Bereniko	0,85	0,93	—	1,10	1,08	1,08	1,01	1,02	1,05	1,04
Borowik	1,01	1,13	—	1,05	1,08	1,08	0,99	1,01	1,05	1,02
KWS Trisol	0,81	0,99	—	1,08	1,07	1,01	0,97	1,01	1,03	1,00
Maestozo	0,98	0,94	—	1,05	1,11	1,09	1,01	1,01	1,04	0,99

Tabela 5

Wskaźniki użytecznej trwałości odmian (UTO) pszenżyta ozimego pod względem odporności na czynniki stresowe
Indicators of the useful durability of winter triticale varieties (UTO) with regard to resistance to stress factors resistance

Odmiana Cultivar	Cecha odporności na: Resistance to:									
	mróz frost	wyleganie lodging	pleśń śniegową snow mould	mączniaka prawdziwego powdery mildew	rdzę brunatną brown rust	septoriozę liści septoria leaf spot	septoriozę plew septoria spikelet glume	ryncho- sporiozę rhyncho- sporium	choroby podst. żdźbła take-all diseases	fuzariozę kłosów ear fusariosis
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Grado	0,50	2,33	1,04	0,39	1,23	0,00	0,00	—	0,81	—
Dagro	0,19	2,34	1,02	0,41	0,82	0,00	0,00	—	1,09	—
Bolero	0,19	0,00	0,81	1,24	0,20	2,04	1,97	—	0,42	—
Largo	1,53	1,11	—	0,81	0,61	0,84	1,08	—	0,43	—
Malno	3,18	2,35	1,66	0,00	0,00	0,20	3,25	0,20	1,97	—

c.d. Tabela 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ugo	1,94	0,00	2,90	1,21	3,24	2,84	2,87	1,32	2,06	—
Presto	0,00	0,00	1,23	1,22	3,46	2,96	0,00	0,79	0,19	—
Almo	2,60	0,18	1,23	0,82	1,22	0,21	1,92	—	1,24	—
Moniko	0,39	2,31	1,49	0,20	1,03	0,00	1,03	—	1,43	—
Tewo	1,77	1,01	0,39	1,01	0,18	0,19	1,22	0,59	1,43	—
Moreno	0,00	2,30	0,39	0,60	0,00	0,00	1,23	0,20	1,00	—
Prego	2,15	2,17	1,50	1,27	2,09	2,29	0,20	0,84	1,24	—
Vero	0,82	1,61	1,20	1,03	1,66	0,41	0,00	0,20	0,40	—
Bogo	2,75	2,56	1,53	1,22	2,35	2,45	0,00	1,45	1,84	—
Tornado	2,56	0,38	2,00	1,29	1,87	0,39	0,41	1,04	0,81	0,59
Alzo	0,00	0,00	1,58	1,07	1,98	1,80	0,83	1,49	2,23	—
Fidelio	2,76	3,54	2,40	2,62	2,35	3,00	3,11	2,73	2,98	0,81
Marko	0,36	1,46	0,40	1,49	0,00	0,19	0,59	0,82	1,02	0,42
Lamberto	0,80	1,79	1,69	0,54	1,43	1,42	2,03	1,55	0,81	0,82
Prado	3,06	0,00	1,64	0,80	1,46	1,51	2,03	1,26	1,70	0,42
Kitaro	0,00	2,62	1,34	0,37	0,96	1,01	0,81	0,99	1,85	1,28
Pronto	1,94	0,81	1,01	0,64	1,55	0,40	1,25	1,02	0,41	0,84
Janko	3,95	2,50	2,16	1,07	0,00	0,61	0,61	1,27	1,67	0,40
Kazo	2,73	0,61	1,34	0,59	0,84	0,00	2,19	0,79	1,66	1,28
Woltario	2,70	3,20	0,39	0,58	1,45	0,81	0,00	0,20	0,39	0,19
Magnat	0,00	3,21	0,00	1,51	0,96	0,19	0,00	0,66	1,22	1,09
Hewo	1,79	0,40	1,08	0,81	0,19	1,68	1,01	1,65	0,20	0,61
Sekundo	1,43	0,20	0,39	0,61	0,00	0,00	1,02	0,60	1,04	0,83
Krakowiak	2,31	0,38	0,41	0,38	1,49	0,60	0,39	0,78	0,60	0,85
Pawo	3,54	0,00	1,03	1,69	2,37	2,56	1,23	2,09	1,44	1,27
Sorento	0,18	1,44	1,50	2,77	1,88	0,20	1,02	2,11	0,63	1,23
Witon	3,17	2,62	1,51	0,60	0,17	1,05	1,02	0,59	2,30	0,19
Zorro	0,00	2,15	0,00	0,77	1,33	1,04	0,00	0,38	0,40	0,80
Todan	2,38	0,00	1,26	1,71	2,23	2,09	0,62	1,92	1,45	1,05
Moderato	1,96	0,18	1,36	1,52	2,72	2,10	1,82	1,32	0,80	1,69
Aliko	2,43	0,00	1,85	0,00	0,81	0,20	0,40	1,24	0,39	0,60
Hortenso	1,91	0,00	1,10	0,62	0,39	0,60	1,60	0,80	0,40	0,81
Baltiko	0,18	1,81	1,56	0,61	0,18	0,00	1,05	0,41	0,80	0,41
Gniewko	0,00	2,46	0,59	1,62	1,09	1,05	0,00	0,82	0,58	0,39
Algoso	0,39	0,38	0,21	0,00	0,38	0,00	0,84	0,39	0,62	0,60
Grenado	2,08	1,19	1,31	2,03	1,64	1,34	1,49	1,04	1,04	0,83
Trismart	2,22	0,00	0,83	0,81	0,00	0,00	0,21	0,20	0,20	0,41
Aleko	0,00	1,53	0,83	0,43	0,42	0,42	0,00	1,03	0,39	0,88
Borwo	1,71	1,41	0,40	0,64	1,45	1,35	1,38	1,05	1,29	1,36
Leontino	0,00	1,04	0,82	0,88	0,62	0,42	1,07	0,80	0,00	1,04
Pigmej	1,49	1,75	1,05	1,30	1,62	1,04	0,64	0,84	1,05	1,35
Pizarro	1,49	0,00	0,38	1,79	1,67	1,78	1,51	1,28	1,48	0,41
Trigold	0,00	0,39	0,41	0,22	1,13	0,42	0,00	0,43	0,41	0,43
Atletico	1,26	1,61	—	0,41	1,36	0,22	0,00	0,21	0,20	0,39
Tulus	0,00	0,90	—	1,30	1,36	1,07	0,62	0,83	0,61	0,87
Cerber	0,00	0,21	—	0,40	0,87	0,41	0,00	0,83	0,42	0,00
Cyrkon	0,00	0,20	—	0,20	1,12	0,21	0,19	0,21	0,42	0,00
Elpaso	0,19	0,61	—	0,21	0,41	0,00	0,87	0,00	0,00	0,67
Fredro	0,40	0,46	—	0,22	0,90	0,64	1,19	0,20	0,62	1,12

Uwzględniając także postęp użyteczny, i jego trwałość, ponadprzeciętną wartość użytkową wykazało 20 odmian, a wśród nich zwłaszcza: ‘Sorento’, ‘Fidelio’, ‘Grenado’, ‘Pizarro’, ‘Gniewko’, ‘Todan’, ‘Pawo’. Odmiany rejestrowane przed 2009 rokiem wykazywały na ogół dobrą odporność na mączniaka w czasie rejestracji, ale większość

pośród nich traciła tę odporność wraz z upływem lat. Nie dotyczy to jednak odmian rejestrowanych przed 1997 rokiem. Pierwszą odmianą, u której stwierdzono statystycznie istotną utratę odporności, była 'Fidelio' rejestrowana w 1997 roku. Jednak spadek jej odporności był niewielki (o 0,5°) i nastąpił dopiero po 13 latach badań tej odmiany, tj. w roku 2008 (tab. 6).

Tabela 6

Oszacowana regresją II^o liczba lat po których odmiany pszenżyta ozimego utraciły odporność na mączniaka prawdziwego
Number of years after which varieties of winter triticale lost their resistance to powdery mildew estimated by 2nd degree regression

Odmiana Cultivar	Lat badań Years of investigation	Odporność początkowa* (skala 1–9°) Initial resistance (scale 1–9°)	Stopień utraty odporności (pkt. skali) Degree of resistance lost (points in scale)				R**
			0,5	1	2	3	
			Liczba lat Number of years				
Fidelio	14	8,3	13,1				0,850
Lamberto	11	8,2	6,7	7,5	8,8	9,9	0,902
Prado	10	8,3	7,6	8,8	10,5		0,841
Kitaro	10	8,5	4,7	6,1	8,2		0,922
Kazo	11	8,5	6,0	8,6			0,832
Woltario	11	8,6	5,1	7,4			0,901
Hewo	10	8,5	6,6	9,0			0,793
Krakowiak	9	8,7	4,5	5,8	7,8		0,948
Pawo	13	8,3	6,0				0,619
Sorento	13	8,5	5,5				0,657
Witon	13	8,3	4,7	8,4			0,802
Zorro	7	8,5	3,2	4,2	6,2		0,906
Moderato	11	8,4	7,0	7,9	9,3	10,5	0,889
Aliko	10	7,5	3,6				0,730
Hortenso	8	8,0	5,7	6,5	7,5		0,856
Baltiko	9	8,2	3,9	5,6	8,2		0,835
Leontino	7	8,4	4,3	5,5			0,901
Trigold	7	8,0	2,7	4,2			0,791
Atletico	7	8,0	2,6	3,6			0,824

* Średnio z 3 pierwszych lat badań odmiany; Average from 3 first years of the research on individual cultivar

** Stosunek korelacyjny; Correlational relationship

U 18 odmian później rejestrowanych i badanych przez ponad 6 lat utrata odporności na mączniaka prawdziwego następowała, na ogół, tym szybciej im później były one rejestrowane. Szczególnie duże załamanie tej odporności wystąpiło u odmian 'Lamberto' i 'Moderato', po około 8 latach o 1°, a po 10 latach o 3° skali oceny. Szybko natomiast traciły odporność na mączniaka niektóre odmiany rejestrowane po 2001 roku, zwłaszcza 'Zorro', 'Aliko', 'Baltiko', 'Trigold', 'Atletico' (tab. 6). Powyższe wyniki potwierdzają opinię Wosia i Strzembickiej (2011) o powstaniu po 2000 roku wirulentnych dla pszenżyta ras *B. graminis*, które przełamały jego odporność na tego patogena. Należy jednak zauważyć, że nie dotyczy to wszystkich odmian, ponieważ nie stwierdzono statystycznie istotnego spadku odporności na mączniaka, wraz z upływem lat, u takich odmian jak: 'Marko', 'Janko', 'Magnat', 'Todan', 'Gniewko', 'Grenado', 'Pizarro'. W niektórych latach, poza odpornością odmian, na stopień porażenia roślin pszenżyta przez tego

patogena znacząco wpływały warunki środowiskowe, zwłaszcza meteorologiczne. Te warunki były dla patogena korzystne zwłaszcza w latach 2002 i 2010. Wówczas powodowały one wzrost porażenia roślin przez mączniaka odpowiednio o 0,6 i 1,1 stopnia skali ocen, w porównaniu z porażeniem średnim w wieloleciu.

Do około 2000 roku *B. graminis* w niewielkim stopniu porażał rośliny pszenżyta i nie wpływał istotnie na jego plonowanie (tab. 9). W niektórych latach (1986, 1992) nawet zdarzało się, że odmiany mniej odporne na tego patogena plonowały lepiej niż bardziej odporne (istotne ujemne korelacje). Znaczenie odporności ujawniło się natomiast w latach 2001–2012 oraz w całym okresie 31 lat (1982–2012). Silny dodatni związek korelacyjny plonu ziarna z odpornością odmian na mączniaka wystąpił zwłaszcza w latach 2004, 2005, 2006. Oszacowana zależność plonu od odporności odmian na tego patogena wskazuje, że wraz z poprawą tej odporności o 1° skali oceny można się spodziewać zwiększenia plonu przeciętnie o około 1,13 dt·ha⁻¹, albo jego zmniejszenia o taką samą wielkość wraz ze spadkiem odporności o 1° (tab. 9).

Odporność pszenżyta na *Puccinia triticana*, wywołującego chorobę rdza brunatna, układała się na zbliżonym poziomie jak na *B. graminis*. Zdaniem Strzembickiej i in. (1998) rdza brunatna w uprawach pszenżyta pojawiła się w większym nasileniu na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku. W ostatnich natomiast latach rozpatrywanego okresu rdza brunatna na pszenżycie występowała w ponad 80% doświadczeń COBORU (Tokarski, 2011). Do 2000 roku średnia odporność odmian na tę chorobę, w poszczególnych latach, przekraczała 8° skali oceny, a w późniejszych latach układała się poniżej tej wartości. Ujemna korelacja odporności z latami ($r = -0,64$) wskazuje na brak postępu hodowlanego w zakresie tej cechy (tab. 1 i 2). Taki postęp wniosło zaledwie 7 następujących odmian: 'Grado', 'Ugo', 'Fidelio', 'Todan', 'Moderato', 'Borwo', 'Agostino', ale użyteczny postęp aż 44 odmiany (tab. 3 i 4). Na podstawie wnoszonego postępu i jego trwałości do najlepszych pod względem odporności na rdzę brunatną można zaliczyć odmiany: 'Presto', 'Ugo', 'Moderato', 'Pawo', 'Fidelio', 'Bogo', 'Todan' — rejestrowane przed 2005 rokiem, oraz później rejestrowane 'Grenado', 'Pizarro', 'Pigmej', 'Borwo', 'Tulus' (tab. 8). Odmiany rejestrowane przed 1991 rokiem nie traciły swej, zwykle wysokiej, odporności na tego patogena wraz z upływem lat. Dopiero odmiana 'Tewo', rejestrowana w 1991 roku traciła tę odporność, ale dopiero po 10 latach badań, tj. od roku 2000. U wielu odmian rejestrowanych po 1998 roku utrata odporności na rdzę brunatną ujawniła się już po 3–4 latach badań, tj. po 1–2 latach od zarejestrowania. Szczególnie szybko odporność traciły odmiany 'Magnat', 'Kitaro' i 'Witon' (tab. 7). Wiele jednak odmian utrzymywało tę odporność przez niemal cały okres ich badania i użytkowania. Do takich można zaliczyć zwłaszcza: 'Moderato', 'Bogo', 'Todan', 'Prego', 'Pizarro', 'Pigmej'.

Istotny dodatni związek korelacyjny plonu ziarna z odpornością odmian pszenżyta na rdzę brunatną wystąpił po raz pierwszy w 1991 roku, ale w następnych latach, aż do 2000 roku, był on słaby i poniżej progów istotności. W późniejszych latach choroba ta wpływała na plonowanie odmian, zwłaszcza wyraźnie w latach 2001, 2003, 2006, 2007, 2009, 2010, 2011. Zwiększona o 1° odporność odmian na tego patogena może skutkować przeciętnym zwiększeniem plonu o około 1,33 dt·ha⁻¹ (tab. 9), choć naturalnie niejednakowym w poszczególnych latach. Brak kierunkowo wyraźnego postępu hodowlanego w zakresie

odporności na rdzę brunatną może zwiększyć wpływ tej choroby na plonowanie pszenżyta w następnych latach. Zdaniem Filody (2009) porażenie pszenżyta przez rdzę brunatną zależy w większym stopniu od podatności odmian niż od warunków pogodowych.

Tabela 7

Oszacowana regresją II⁰ liczba lat, po których odmiany pszenżyta ozimego utraciły odporność na rdzę brunatną

Number of years after which the varieties of winter triticale lost their resistance to brown rust estimated by 2nd degree regression

Odmiana Cultivar	Lata badań Years of investigation	Odporność początkowa (skala 9°) Initial resistance (scale 1–9°)	Stopień utraty odporności (pkt. skali) Degree of resistance lost (points in scale)				R
			0,5	1	2	3	
			Liczba lat Number of years				
Tewo	14	7,9	10,4	11,8	13,9		0,931
Moreno	11	8,0	8,5	9,9			0,924
Tornado	13	8,3	10,4	13,0			0,891
Fidelio	14	8,6	8,7	10,9			0,901
Marko	10	7,7	4,6	7,1			0,779
Lamberto	11	8,3	7,0	8,3	10,2		0,916
Kitaro	10	8,6	4,0	5,4	7,5	9,2	0,956
Janko	10	8,1	4,6	7,6			0,892
Kazo	11	8,5	4,4	7,3			0,881
Woltario	11	8,4	5,0	8,4			0,960
Magnat	12	8,7	3,7	5,2	7,9	10,5	0,938
Hewo	11	8,0	3,5	7,5			0,825
Krakowiak	9	8,5	5,1	9,0			0,937
Pawo	13	8,4	4,7				0,809
Sorento	13	8,3	5,0	9,9			0,850
Witon	13	7,6	3,3	4,8			0,882
Gniewko	9	8,2	4,2	8,5			0,744

*Patrz objaśnienia do tabeli 6; See footnote to Table 6

Odporność pszenżyta na patogena *Septoria tritici*, sprawcę choroby septorioza liści, w całym okresie 31 lat, układała się na poziomie poniżej 8° skali ocen i wykazywała nieznaczną tendencję spadkową (tab. 1 i 2). Postęp hodowlany w zakresie tej cechy wniosło zaledwie 5 odmian, kolejno: ‘Bolero’, ‘Prego’, ‘Fidelio’, ‘Moderato’, ‘Pizarro’ (tab. 3). Na podstawie poziomu odporności na septoriozę liści i jej trwałości do najlepszych można zaliczyć odmiany: ‘Fidelio’, ‘Presto’, ‘Ugo’, ‘Pawo’, ‘Bogo’, ‘Prego’, ‘Moderato’, a spośród rejestrowanych po 2004 roku ‘Pizarro’, ‘Grenado’ i ‘Borwo’ (tab. 8). Na ogół odmiany nie traciły znacząco swej odporności na septoriozę liści wraz z upływem lat. Istotne, ale niewielkie (o 0,5°), obniżenie tej odporności wystąpiło tylko u 3 odmian po 5–6 latach (‘Bolero’, ‘Prego’, ‘Gniewko’), oraz u następnych 5 odmian po 8–10 latach.

Istotna korelacja dodatnia odporności odmian pszenżyta na septoriozę liści z plonem ziarna wystąpiła po raz pierwszy w 2001 roku, a następnie w latach 2003, 2006, 2007, 2010, 2012. Pomimo, że odporność odmian na tego patogena istotnie dodatnio koreluje z ich plonami ($r = 0,30$), to stosując wielokrotną analizę regresji nie udało się określić jego wpływu na plonowanie (tab. 9). Wynika to z faktu dość silnej korelacji odporności odmian na tego patogena z odpornością na rdzę brunatną ($r = 0,65$), a także istotnej z odpornością

na rynchosporiozę i na mączniaka. Dlatego dokonano oszacowania wpływu średniej odporności na te 4 patogeny, jako jednej ze zmiennych w regresji wielokrotnej, na plony. Okazało się, że zwiększenie o 1° odporności średniej na septoriozę liści, rdzę brunatną, rynchosporiozę i mączniaka skutkowało wzrostem plonu ziarna o 4,01 dt·ha⁻¹, a dodatkowy wpływ miały także mrozoodporność, odporność na wyleganie, na septoriozę plew i na pleśń śniegową.

Odporność pszenżyta na *Septoria nodorum*, powodującego chorobę septorioza plew, była na nieco wyższym poziomie jak na *Septoria tritici*, ale z istotnym trendem spadkowym w latach (tab. 1 i 2). Postęp hodowlany pod względem odporności na septoriozę plew wniosło w swoim czasie zaledwie 6 odmian: 'Bolero', 'Largo', 'Lamberto', 'Moderato', 'Borwo', 'Fredro' (tab. 3). Pod względem wnoszonego postępu i jego trwałości pozytywnie wyróżniają się odmiany starsze: 'Malno', 'Fidelio', 'Ugo', 'Kazo' oraz nowsze: 'Grenado', 'Pizarro', 'Borwo', 'Fredro' (tab. 8). U większości odmian nie stwierdzono utraty odporności na septoriozę plew wraz z upływem lat. Niewielką utratę odporności stwierdzono tylko u 6 odmian i następowała ona po 5–8 latach.

Wpływ odporności odmian względem septoriozy plew na ich plonowanie wystąpił dopiero po 2000 roku, a wyraźnie ujawnił się zwłaszcza w latach 2001, 2005, 2006, 2010, 2011, 2012. Okazało się, że spośród 8 jednostek chorobowych analizowanych w tej pracy, septorioza plew w największym stopniu wpływała na plonowanie pszenżyta ozimego, zwłaszcza w latach 2001–2012 (tab. 9).

Sprawcami zespołu chorób podstawy źdźbła zbóż są 4 rodzaje patogenów grzybowych. Pod względem odporności pszenżyta na ten zespół chorób zauważalny jest nieduży postęp wraz z upływem lat, zwłaszcza wnoszony przez najlepsze pod tym względem odmiany nowo rejestrowane (tab. 1 i 2). Toteż postęp hodowlany w zakresie tej cechy wniosło zwłaszcza 10 odmian, rejestrowanych zarówno dawniej jak i w ostatnich latach. Tymi odmianami były kolejno: 'Grado', 'Dagro', 'Malno', 'Prego', 'Fidelio', 'Borwo', 'Pigmej', 'Pizarro', 'Bereniko', 'Borowik' (tab. 3). Poziom odporności i jej trwałości wskazują, że pod tym względem najlepszymi były/są odmiany: 'Fidelio', 'Alzo', 'Witon', 'Malno', 'Ugo', 'Bogo', a także 'Pizarro' i 'Borwo' (tab. 8).

Przez większość lat analizowanego okresu stopień odporności na choroby podstawy źdźbła nie wpływał istotnie na plonowanie pszenżyta i ujawnił się dopiero w kilku ostatnich latach, zwłaszcza w 2010 roku. Z tego powodu korelacja między tą odpornością odmian a plonami ziarna jest bardzo słaba ($r = 0,116$), choć statystycznie istotna przy dużej (541) liczbie próby. Słabe oddziaływanie chorób podstawy źdźbła na plonowanie wynika częściowo z faktu lokowania doświadczeń COBORU z pszenżytem ozimym w stanowiskach po bardzo dobrych lub dobrych przedplonach i dopiero w ostatnich latach zwiększył się do około ¼ udział przedplonów zbożowych.

Występowanie *Rhynchosporium secalis* na roślinach pszenżyta ozimego jest, w doświadczeniach COBORU, oceniane od 1995 roku. Odporność odmian na tego sprawcę rynchosporiozy nie przekracza zwykle 8° skali oceny i nie wykazuje kierunkowej zmiany wraz z upływem lat (tab. 1). Niemal brak jest postępu hodowlanego w tym zakresie. Tylko 3 odmiany ('Ugo', 'Fidelio', 'Pizarro'), spośród 53 ocenianych, wniosło w swoim czasie niewielki postęp (tab. 3). Po uwzględnieniu także trwałości odmian do najlepszych można

zaliczyć: ‘Fidelio’, ‘Sorento’, ‘Pawo’, ‘Todan’, ‘Hewo’, ‘Pizarro’ (tab. 8). Plony odmian w latach 1995–2012 korelowały dodatnio z ich odpornością na rynchosporiozę ($r = 0,271$), ale nie ujawniło się to w oszacowaniach regresją wielokrotną, z powodu jak w przypadku septoriozy liści. Dokonano więc oszacowania wpływu odporności na *Rhynchosporium secalis* na plon pszenżyta poprzez uwzględnienie w regresji wielokrotnej jako zmiennych niezależnych mrozoodporności, odporności na wyleganie, na rynchosporiozę oraz odporności średniej na pozostałe 7 patogenów. Stwierdzono wysoko istotną zależność, z której wynika, że zwiększona o 1° odporność na *Rhynchosporium secalis* może skutkować wzrostem plonu przeciętnie o 1,39 dt·ha⁻¹.

Fuzariozę kłosów powoduje kilka gatunków grzybów rodzaju *Fusarium*. Od 2000 roku rozpoczęto, w doświadczeniach COBORU, oceniać porażenie pszenżyta przez zespół tych patogenów. W tych pierwszych latach ówczesne odmiany wykazywały znaczą odporność na fuzariozę kłosów (powyżej 8°) i była ona średnio większa niż odmian pszenicy ozimej o około 30% (Góral, 2009). W dalszych latach następowało obniżenie tej odporności, o czym świadczy jej ujemny współczynnik korelacji z latami ($r = -0,76$). Na ten spadek odporności średnio wszystkich odmian składała się utrata odporności przez niektóre odmiany, jak i rejestrowanie niektórych odmian o względnie niskiej odporności na fuzariozę, jak: ‘Witon’, ‘Gniewko’, ‘Atletico’, ‘Cerber’, ‘Cyrkon’. Utratę odporności w stopniu istotnym statystycznie stwierdzono w przypadku 8 odmian badanych przez 7 lub więcej lat. Najwcześniej obniżyła się o 0,5° odporność odmiany ‘Grenado’, bo już po 4 latach badań (2 lata po zarejestrowaniu). Po 5 lub 6 latach wystąpiło to u odmian ‘Kazo’, ‘Aliko’, ‘Hortenso’, ‘Baltiko’, a po 7 lub 8 latach u ‘Woltario’, ‘Pawo’ i ‘Magnat’. Równocześnie wśród 46 ocenionych odmian postęp hodowlany w zakresie tej odporności wniosło 10, zwłaszcza: ‘Kitaro’, ‘Borwo’, ‘Pigmej’, ‘Alektio’, ‘Leontino’, ‘Trigold’ (tab. 3). Odporność odmian na porażenie kłosów i ziarna przez *Fusarium sp.* wykazała tylko nieznaczny związek z plonami ziarna ($r = 0,147$).

Odporność pszenżyta ozimego na wyleganie w początkowych latach jego hodowli i uprawy była względnie mała i nie przekraczała zwykle 7° skali oceny (tab. 1). Na tle mało odpornej, pierwszej zarejestrowanej w Polsce odmiany ‘Lasko’, znaczny postęp wniosły odmiany ‘Grado’ i ‘Dagro’ rejestrowane w 1984 i 1985 roku, a następnie odmiany ‘Moniko’ i ‘Prego’. W późniejszych latach postęp w zakresie tej cechy wносиły jedynie odmiany krótkosłome. Pierwsza z nich ‘Fidelio’, zarejestrowana w 1997 roku, wniosła duży postęp (PHO = 1,14) i był to postęp trwały (tab. 3 i 5), na poziomie około 8° skali oceny. Ten poziom odporności na wyleganie nieco poprawiła odmiana ‘Woltario’, a następne odmiany krótkosłome dorównywały jej pod względem tej cechy. Łącznie w latach 1984–2011 postęp hodowlany wniosło 10 odmian, a uwzględniając także jego trwałość do najlepszych pod względem odporności na wyleganie można zaliczyć wszystkie odmiany krótkosłome, zwłaszcza: ‘Fidelio’, ‘Woltario’, ‘Magnat’, ‘Gniewko’ oraz ‘Pigmej’, ‘Atletico’, ‘Alektio’, a spośród długosłomych: ‘Grado’, ‘Dagro’, ‘Moniko’, ‘Bogo’, ‘Kitaro’, ‘Witon’ (tab. 8).

Tabela 8

Wskaźniki wartości użytkowej odmian pszenżyta ozimego (WOC) pod względem cech odporności na czynniki stresowe

Indicators of the usefulness of winter triticale varieties (WOC) with regard to stress factors resistance

Odmiana Cultivar	Cecha odporności na: Resistance to:									
	mróz frost	wyleganie lodging	pleśń śniegową snow mould	mączniaka prawdziwego powdery mildew	rdzę brunatną brown rust	septoriozę liści septoria leaf spot	septoriozę plew septoria spikelet glume	ryncho- sporiozę rhyncho- sporium	choroby podst żdźbła take-all diseases	fuzariozę kłosów ear fusariosis
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Grado	0,99	1,56	1,03	0,78	1,09	0,61	0,61	—	0,95	—
Dagro	0,76	1,53	1,00	0,81	0,94	0,62	0,64	—	1,06	—
Bolero	0,75	0,56	0,93	1,09	0,72	1,38	1,36	—	0,79	—
Largo	1,38	1,02	—	0,94	0,87	0,95	1,05	—	0,80	—
Malno	1,73	1,46	1,24	0,65	0,65	0,69	1,76	—	1,35	—
Ugo	1,37	0,54	1,66	1,08	1,75	1,61	1,62	1,16	1,30	—
Presto	0,61	0,60	1,07	1,07	1,83	1,65	0,62	0,91	0,68	—
Almo	1,61	0,63	1,08	0,95	1,07	0,72	1,30	—	1,06	—
Moniko	0,76	1,51	1,16	0,72	1,00	0,63	0,98	—	1,15	—
Tewo	1,26	0,99	0,75	0,98	0,69	0,68	1,05	0,85	1,14	—
Moreno	0,58	1,48	0,77	0,84	0,63	0,63	1,06	0,71	0,99	—
Prego	1,39	1,45	1,15	1,11	1,36	1,47	0,70	0,94	1,09	—
Vero	0,88	1,21	1,06	1,00	1,21	0,78	0,63	0,71	0,79	—
Bogo	1,55	1,54	1,16	1,06	1,46	1,49	0,63	1,15	1,28	—
Tornado	1,51	0,74	1,32	1,09	1,28	0,75	0,79	0,99	0,93	0,85
Alzo	0,53	0,63	1,17	1,02	1,33	1,28	0,91	1,16	1,42	—
Fidelio	1,61	2,01	1,53	1,55	1,47	1,70	1,72	1,59	1,67	0,94
Marko	0,75	1,15	0,75	1,17	0,62	0,70	0,83	0,94	0,99	0,78
Lamberto	0,88	1,26	1,19	0,83	1,15	1,12	1,38	1,18	0,92	0,94
Prado	1,82	0,54	1,23	0,93	1,15	1,18	1,37	1,09	1,23	0,82
Kitaro	0,50	1,61	1,10	0,77	0,99	0,98	0,92	1,00	1,27	1,11
Pronto	1,32	0,88	0,95	0,86	1,20	0,76	1,06	0,99	0,78	0,94
Janko	2,12	1,50	1,42	1,01	0,63	0,84	0,85	1,08	1,21	0,79
Kazo	1,60	0,83	1,09	0,85	0,94	0,61	1,42	0,90	1,21	1,11
Woltario	1,58	1,84	0,71	0,85	1,14	0,91	0,60	0,71	0,76	0,71
Magnat	0,44	1,83	0,54	1,15	1,00	0,68	0,61	0,84	1,05	1,03
Hewo	1,22	0,72	0,99	0,92	0,67	1,19	0,97	1,19	0,68	0,85
Sekundo	1,07	0,66	0,76	0,84	0,52	0,58	0,99	0,83	1,00	0,93
Krakowiak	1,44	0,68	0,74	0,79	1,16	0,84	0,77	0,91	0,82	0,93
Pawo	1,86	0,54	0,99	1,22	1,48	1,52	1,06	1,35	1,11	1,10
Sorento	0,60	1,11	1,13	1,59	1,31	0,71	1,00	1,37	0,83	1,07
Witon	1,71	1,55	1,14	0,85	0,68	1,02	0,99	0,85	1,42	0,68
Zorro	0,50	1,47	0,56	0,93	1,11	1,00	0,61	0,77	0,77	0,92
Todan	1,40	0,53	1,09	1,23	1,45	1,35	0,88	1,30	1,14	1,03
Moderato	1,23	0,62	1,14	1,20	1,66	1,41	1,32	1,11	0,91	1,22
Aliko	1,45	0,55	1,28	0,60	0,92	0,70	0,76	1,05	0,76	0,85
Hortenso	1,28	0,55	1,05	0,87	0,77	0,84	1,22	0,89	0,79	0,93
Baltiko	0,60	1,33	1,17	0,86	0,63	0,60	1,01	0,79	0,91	0,78
Gniewko	0,53	1,55	0,83	1,24	1,04	1,01	0,61	0,91	0,82	0,75
Algoso	0,72	0,73	0,65	0,56	0,76	0,59	0,93	0,74	0,87	0,86
Grenado	1,38	1,06	1,11	1,39	1,26	1,15	1,17	1,00	1,01	0,95

c.d. Tabela 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Trismart	1,43	0,56	0,90	0,89	0,49	0,55	0,72	0,69	0,71	0,80
Alekto	0,56	1,27	0,90	0,79	0,78	0,79	0,62	1,01	0,77	1,00
Borwo	1,22	1,19	0,76	0,86	1,20	1,14	1,16	1,03	1,12	1,18
Leontino	0,52	1,02	0,93	0,98	0,86	0,80	1,03	0,92	0,64	1,03
Pigmej	1,10	1,31	1,00	1,10	1,23	1,01	0,88	0,95	1,03	1,17
Pizarro	1,10	0,60	0,74	1,31	1,26	1,32	1,17	1,11	1,18	0,79
Trigold	0,43	0,76	0,79	0,71	1,08	0,80	0,62	0,81	0,80	0,83
Atletico	1,04	1,28	—	0,76	1,13	0,71	0,60	0,72	0,71	0,76
Tulus	0,58	0,97	—	1,09	1,15	1,02	0,87	0,94	0,87	0,97
Cerber	0,53	0,70	—	0,76	0,96	0,77	0,57	0,94	0,79	0,62
Cyrkon	0,52	0,69	—	0,68	1,05	0,70	0,69	0,73	0,79	0,61
Elpaso	0,64	0,84	—	0,67	0,80	0,60	0,97	0,61	0,65	0,91
Fredro	0,72	0,82	—	0,70	1,00	0,87	1,11	0,73	0,87	1,06

Odporność lub podatność odmian pszenżyta na wyleganie miała wpływ na ich plonowanie, zwłaszcza przed 2001 rokiem. Istotne dodatnie korelacje tej odporności z plonem ziarna stwierdzono wprawdzie tylko w nielicznych latach, zwłaszcza silne w 1996, 1998, 2000 roku, ale przeciętnie w całym okresie lat 1982–2012 większej odporności odmian na wyleganie o 1° towarzyszył wzrost plonów o 0,85 dt·ha⁻¹ (tab. 9).

Tabela 9

Zależność plonu ziarna pszenżyta ozimego od odporności jego odmian na czynniki stresowe
Relationships between grain yield and the resistance to stress factors of winter triticale varieties

Odporność pszenżyta na: Resistance of the triticale to:	Przedział lat Interval of years					
	1982–2000		2001–2012		1982–2012	
	r ¹	regresja ² regression	r ¹	regresja ² regression	r ¹	regresja ² regression
Mróz Frost	0,236*	0,76	0,156*	0,71	0,145*	0,68
Wyleganie Lodging	0,314*	1,12	0,128*	0,67	0,184*	0,85
Rdzę brunatną Brown rust	0,208*	1,71	0,226*	1,26	0,224*	1,33
Mączniaka prawdziwego Powdery mildew			0,183*	1,14	0,167*	1,13
Pleśń śniegową Snow mould			0,169*	1,08	0,137*	0,88
Septoriozę plew Septoria spikelet glume			0,233*	2,78	0,173*	1,90
Wyraz wolny równania Constant of equation	—	37,23	—	4,1	—	10,4
Współczynnik korelacji wielokrotnej Multiple regression coefficient	0,429*	—	0,531*	—	0,484*	—
Liczba przypadków Number of cases	219		330		549	

* Istotność na poziomie p = 0,01; significant at p = 0.01

¹ Współczynniki korelacji cząstkowej między odpornością pszenżyta ozimego na czynnik stresowy a plonem ziarna; Partial correlation coefficients between the resistance of the winter triticale to the stress factor and the grain yield

² Współczynniki regresji wielokrotnej dla zależności plonu od czynników stresowych; Multiple regression coefficients for the relation between stress factors and yielding

Poza, przedstawionym powyżej, szacowaniem zależności plonu ziarna od odporności odmian na poszczególne patogeny, dokonano oceny wpływu zespołu 8 jednostek chorobowych na plonowanie pszenżyta. W regresji wielokrotnej krokowej uwzględniono jako zmienne niezależne mrozoodporność, odporność na wyleganie oraz odporność średnią każdej z odmian na zespół 8 chorób. Z takiego oszacowania wynika, że obniżenie odporności średniej na te patogeny o 1° może skutkować redukcją plonu ziarna o 7,96 dt·ha⁻¹.

Należy zauważyć, że oszacowania regresją wielokrotną zależności plonu ziarna pszenżyta od odporności jego odmian na czynniki stresowe wyjaśniają tylko część zmienności plonów pszenżyta. Wprawdzie równania regresji wielokrotnej są wysoko istotne, ale odporności odmian na czynniki stresowe wyjaśniają tylko 18–30% całej zmienności plonów ($r^2 = 0,184–0,297$). Pozostała część tej zmienności pochodzi z wpływu innych czynników plonotwórczych, jak reakcja na warunki glebowe, przedplony, nawożenie, przebieg pogody, itp.

Pod względem łącznej odporności na zespół wszystkich 10 uwzględnionych czynników stresowych pozytywnie wyróżniają się zwłaszcza odmiany: ‘Fidelio’, ‘Ugo’, ‘Bogo’, ‘Pawo’, ‘Moderato’, ‘Prado’, a spośród nowszych: ‘Grenado’, ‘Borwo’ i ‘Pigmej’.

WNIOSKI

1. Odporność średnia odmian pszenżyta ozimego, znajdujących się w polskim rejestrze odmian, na większość ocenionych czynników stresowych zmniejszała się wraz z upływem lat w przedziale 1982–2012.
2. Postęp hodowlany w odporności na poszczególne czynniki stresowe wnosili nieliczne odmiany spośród rejestrowanych.
3. Sukcesem hodowli odpornościowej była zwłaszcza odmiana ‘Fidelio’, wpisana do rejestru odmian w 1997 roku, która wniosła duży i trwały postęp pod względem niemal wszystkich czynników stresowych.
4. Wraz z upływem lat badań i użytkowania wiele odmian rejestrowanych po 1996 roku traciło swą początkową odporność na patogeny, zwłaszcza na mączniaka prawdziwego i rdzę brunatną. Utrata tych odporności następowała zwykle tym szybciej im później odmiany były rejestrowane.
5. Przed 2000 rokiem patogeny chorobotwórcze (z wyjątkiem rdzy brunatnej) nie wpływały istotnie na plonowanie pszenżyta ozimego, natomiast w późniejszym okresie ich wpływ był znaczący.

LITERATURA

- Banaszak Z., Marciniak K., Brykczyńska L. 1998. Ocena metod badania mrozoodporności materiałów hodowlanych pszenżyta w DANKO. Biul. IHAR 205/206: 213 — 218.
- Filoda G. 2009. Zagrożenie upraw pszenżyta ozimego przez rdze. Progress in Plant Protection/Post. w Ochr. Rośl. 49 (2): 623 — 626.
- Góral T. 2009. Odporność odmian pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyb *Fusarium culmorum*. Biul. IHAR 254: 41 — 50.

- Pluto J. 1993. Efektywność hodowli odmian pszenżyta ozimego w Polsce. Wiad. Odmianozn., 51, COBORU Słupia Wielka.
- Mackay I., Horwell A., Garner J., White J., McKee J., Philpott H. 2011. Reanalyses of the historical series of UK variety trials to quantify the contributions of genetic and environmental factors to trends and variability in yield over time. Theor. Appl. Genet., 122 (1): 225 — 238.
- Rudnicki F. 2014 a. Metoda wskaźnikowej oceny postępu hodowlanego wnoszonego przez odmiany roślin uprawnych. Biul. IHAR 273: 3 — 15.
- Rudnicki F. 2014 b. Postęp hodowlany pszenżyta ozimego w latach 1982–2012. I. Plon i niektóre cechy ziarna. Biul. IHAR 273: 17 — 33.
- Silvey V. 1978. The contribution of new varieties to increasing cereal yield in England and Wales. J. Natn. Inst. Agric. Bot. 14: 385 — 400.
- Strzembicka A., Węgrzyn S., Grzesik H. 1998. Ocena rodów hodowlanych pszenżyta pod względem odporności na rdzę brunatną (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*). Biul. IHAR 205/206: 273 — 277.
- Szeląg J., Maćkowiak W., Szeląg B., Woś H. 1998. Mrozoodporność a zimotrwałość pszenżyta ozimego. Biul. IHAR 205/206: 205 — 211.
- Szeląg J., Szeląg B., Cichy H. 2002. Problem mrozoodporności pszenżyta ozimego. Biul. IHAR 221: 17 — 25.
- Tokarski P. 2011. Dobór odmian dla potrzeb integrowanej ochrony pszenżyta. W: Metodyka integrowanej ochrony pszenżyta ozimego i jarego. IOR — PIB Poznań: 51 — 58.
- Woś H., Strzembicka A. 2011. Znaczenie hodowli odpornościowej w integrowanej ochronie pszenżyta. W: Metodyka integrowanej ochrony pszenżyta ozimego i jarego. IOR — PIB Poznań: 27 — 49.

KRYSTYNA RYBKA¹**ZYGMUNT NITA**²¹ Zakład Biochemii i Fizjologii Roślin

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin IHAR — PIB, Radzików

² Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR

Nowoczesne fenotypy zbóż do uprawy na obszarach zagrożonych suszą*

Modern phenotypes of cereals for growing in areas endangered with drought

Rosnące zapotrzebowanie na żywność jak również uwarunkowania ekonomiczne stawiają przed hodowlą wymagania ciągłego podnoszenia produktywności odmian wprowadzanych do uprawy. Zielona rewolucja zaowocowała wprowadzeniem form karłowatych i na półwiecze zdeterminowała mechanizmy podnoszenia plonowania przez zwiększanie indeksu plonowania (HI), które wraz z wysoką kulturą rolną pozwoliły na osiągnięcie plonów pszenicy wyższych niż 10 t/ha. Osiągnięto optymalną wielkość HI (dla pszenicy $\approx 0,64$), tak więc potencjał plonowania związany z tym parametrem został wyczerpany i w związku z tym pojawiło się pytanie jakie fenotypy zbóż zagwarantują dalszy wzrost plonów w nadchodzących dekadach, dla których prognozowane jest zjawisko pogłębiającej się suszy glebowej. W artykule przedstawiono wyniki modelowania ideotypów pszenicy wygenerowanych w ośrodku badawczo-hodowlanym w Rothamsted (UK) przy użyciu mechanistycznego modelu Sirius rozszerzonego o algorytm ewolucyjny (GA-SA) i prognozy klimatyczne (HadCM3). Zarysowano biochemiczne i fizjologiczne uwarunkowania odporności roślin na suszę oraz poruszono zagadnienie efektywnego wykorzystania wody przez rośliny uprawne.

Słowa kluczowe: fenomika, hodowla, plon, pszenica, *Triticum aestivum*

The increasing food demand and economic conditions force constant increase of crop yield. Green revolution introduced dwarf forms and for five decades determined mechanisms of yield growth by increasing harvest index (HI) which, combined with advances in agricultural practices, resulted in wheat grain yield greater than 10 t/ha. The optimal HI level was reached (≈ 0.64 for wheat) thus exhausting yield potential related to this parameter. This initiated a search for new crop phenotypes which would guarantee continuing yield increase in the future decades in the prospect of increasing soil drought. In this article, the results of wheat ideotypes simulation generated by mechanistic Sirius model enhanced by evolutionary algorithm (GA-SA) and climate scenarios (HadCM3) are presented. They are discussed in the context of selection priorities in crop breeding in Poland. The biochemical and

*Pracę zrealizowano w ramach grantu NCN #304267540

physiological factors determining plant drought resistance and efficient water use by cereal crops are also presented.

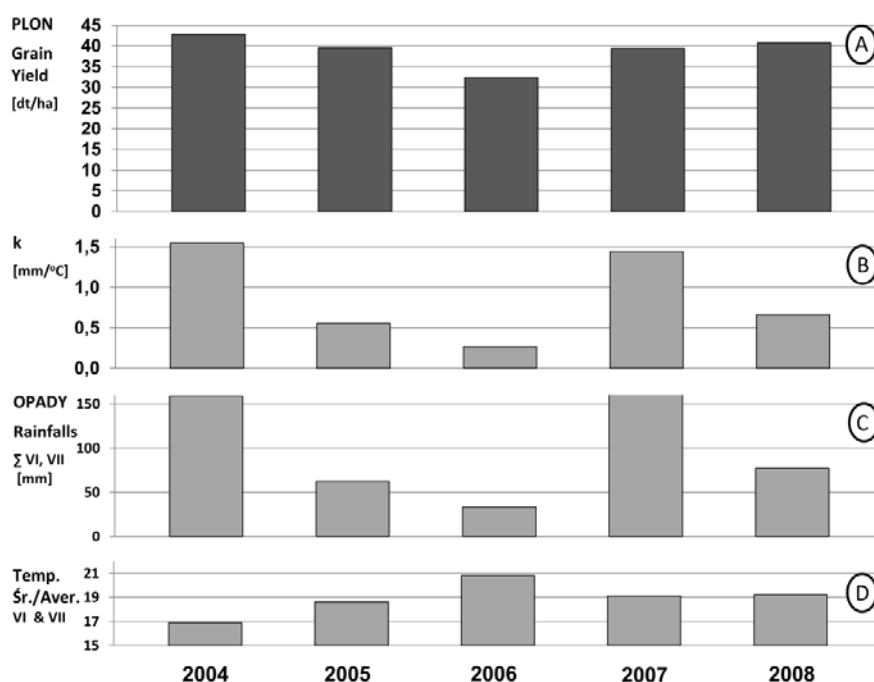
Key words: breeding, phenomics, *Triticum aestivum*, wheat, yield

WSTĘP

Wzrost plonu zbóż w ciągu ostatnich 50 lat był, w dużej mierze, skutkiem ‘zielonej rewolucji’ Borlauga polegającej na równoległym do postępu technicznego i chemizacji rolnictwa wprowadzaniu do uprawy odmian karłowatych, u których systematycznie podnoszono indeks plonowania (HI, ang. Harvest Index) poprzez skracanie długości źdźbła (Anioł, 2010; Borlaug, 2007). W latach 90. ubiegłego stulecia nastąpiła wyraźna stagnacja wzrostu plonów ziarna w krajach o wysokiej kulturze rolnej i intensywnym sposobie gospodarowania, a w niektórych latach nawet ich zauważalne obniżenie w porównaniu z wartościami prognozowanymi, np. w Wielkiej Brytanii gdzie plony z hektara wynoszą ok. 10 t zarówno w doświadczeniach hodowlanych, jak i w gospodarstwach produkcyjnych (Rybka, Nita, 2014). Plonowanie pszenicy na poziomie ponad 10 t/ha wynika w dużej mierze z optymalizacji HI; obserwowana stagnacja związana jest z osiągnięciem tej wartości ($\approx 0,64$) (Austin, 1999; Foulkes i in., 2011; Spink i in., 2009 za: Jaggard i in., 2010).

W Polsce średni plon ziarna pszenicy ozimej wzrósł od 1,28 t/ha w 1960 r. do 4,43 t/ha w roku 2013 (Oleksiak, 2013), z zauważalnymi spadkami, do których m.in. w roku 2006 przyczyniły się susze glebowe w czasie formowania kłosa i wypełniania ziarna, faz krytycznych dla wielkości plonowania pszenicy (rys. 1) (Craufurd i in., 2013). W Polsce nie obserwujemy jeszcze stagnacji plonów, gdyż w gospodarstwach produkcyjnych są one około dwukrotnie mniejsze niż w doświadczeniach COBORU. Potencjał plonowania polskich odmian jest bardzo wysoki i np. w Kombinacie Rolnym Kietrz w woj. opolskim (50.0833N, 18.0000 E), pszenica ozima (odmiany Bamberka, Muszelka) plonują powyżej 110 dt/ha, na obszarze ponad 2000 ha (Nita, informacja własna). Niższy średni plon w małych gospodarstwach rolnych wynika ze słabszej agrotechniki i mniejszych nakładów na uprawę. W dużych kombinatach rolnych, takich jak np. Kietrz, stosuje się precyzyjne dawkowanie nawozu w oparciu o znajomość zasobności gleb. Informacje wprowadzane są do komputera w postaci mapy zasobności gleby w składniki mineralne oraz sumaryczną ilość składników mineralnych jaka ma równomiernie występować na każdym m² pola. W oparciu o te mapy za pomocą GPS wysiewane są precyzyjne dawki nawozu. W dużych gospodarstwach stosuje się też pełną ochronę roślin.

HGCA, agenda brytyjskiej Rady Rozwoju Rolnictwa i Produkcji Warzywnej (ang. AHDB — Agriculture and Horticulture Development Board), finansowana przez producentów rolnych bez udziału rządu i korporacji, jako dodatkowe (prócz HI) przyczyny zahamowania wzrostu plonów wymienia: zmieniające się warunki pogodowe, a szczególnie nasilający się niedobór wody w glebie, wzrost promieniowania UV-B, kompaktację i zakwaszenie gleby, odwadniające systemy melioracyjne, ceny kwalifikowanego materiału siewnego (Knight i in., 2012).



Rys. 1. Wpływ suszy na plonowanie pszenicy w Polsce w latach 2004–2008

Okres wybrano dla pokazania spadku plonów wywołanych suszą w 2006 roku. A) Średnie plony pszenicy w gospodarstwach rolnych (T. Oleksiak, informacja własna); B) współczynnik hydrotermiczny Sielanianowa (**k**) wiążący opady ze średnią temperaturą w określonym przedziale czasu, wyliczony ze wzoru $k=10 \cdot P/T$, gdzie P — suma opadów badanego okresu w [mm], T — suma średnich temperatur dobowych badanego okresu [°C] (Stachowski, 2010); C) Suma opadów atmosferycznych w miesiącach czerwiec-lipiec [mm]; D) średnie temperatury dobowe w czerwcu i lipcu [°C]. Dane ze stacji meteorologicznej w Radzikowie podano jako ilustrację warunków pogodowych w omawianym okresie

Fig. 1. The impact of drought on the wheat yield in Poland in the years 2004–2008

This period was chosen to show yield reduction related to drought in 2006. A) average yields [dt/ha] of wheat in agricultural holdings; B) hydrothermal Sielanianov Index (**k**) calculated for June and July. It is linking sum of rainfalls with an average temperature and calculated as $k=10 \cdot P/T$, P- sum of rainfalls [mm], T— sum of average day temperatures [°C] (Stachowski, 2010); C) Sum of precipitation [mm] in June and July; D) the average daily temperatures in June and July. Data from the meteorological station in Radzików are given as an illustration of the weather conditions during the period of interest

Utrzymanie tempa wzrostu produkcji żywności proporcjonalnego do wzrostu liczby ludzi na świecie jest wielkim zadaniem i wyzwaniem dla hodowli. Jest ono możliwe do utrzymania „dzięki lepszemu wykorzystaniu potencjału biologicznego, a więc postępu w hodowli wydajnych odmian roślin uprawnych” (Anioł, 2010). W niniejszym artykule skupimy uwagę na implikacjach, które dla hodowli niosą zmieniające się warunki pogodowe, szczególnie pogłębiający się niedobór wody słodkiej. Przedstawimy je na tle zarysu osiągnięć w dziedzinie biochemii, fizjologii i genetyki roślin by pokazać, że nowe metody hodowli roślin, wykorzystujące osiągnięcia biologii molekularnej, dla skutecznego zastosowania wymagają dobrze zdefiniowanych fenotypów docelowych, które mogą być generowane w ramach modelowania statystycznego ideotypów przyszłości. Kierunki

selekcji wyznaczane przez praktyków-hodowców zostaną przedstawione w podsumowaniu artykułu.

ZJAWISKO SUSZY GLEBOWEJ

W naszej strefie klimatycznej susza glebowa wynika głównie ze zmiany charakteru opadów atmosferycznych, z opadów ciągłych na konwekcyjne, w dużej mierze wynikających ze wzrostu temperatury (Easterlink i in., 1997; Sillmann, Roeckner, 2008; Trenberth i in., 2003). Easterlink i in. (2000) zestawili światowe dane pogodowe, w których dla europejskiej części Rosji, na podstawie danych z lat 1936–1994 wyznaczył liniowy trend rosnący liczby dni z ulewnymi deszczami z przyrostem 3,9% na każde dziesięciolecie przy jednocześnie malejącej ilości opadów (1% rocznej sumy opadów/10 lat). Dla Niemiec przewidywany jest wzrost ilości ulewnych deszczy o 6,5% dla każdego stopnia wzrostu temperatury (Tomassini, Jacob, 2009). Maleje rolnicza efektywność opadów (Zawora, Ziernicka-Wojtaszek, 2008), gdyż ulewne deszcze są w mniejszym stopniu zatrzymywane w warstwie ornej gleby (Łabędzki, 2006). W Polsce susze rolnicze są monitorowane przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, IUNG — PIB, w Puławach (Doroszewski i in., 2012). Według kryteriów ONZ uważa się, iż kraj jest zagrożony suszą, gdy roczne wykorzystanie wody słodkiej przekracza 20% zasobów, zaburzając ich naturalną odnawialność. W Polsce wykorzystuje się 26% zasobów, co plasuje nas na 5. miejscu pod względem zagrożenia niedoborami wody, zaraz po Macedonii, Niemczech, Hiszpanii i Bułgarii (FAO, 2003). Te uwarunkowania zmuszają do postawienia pytania ogólnego, jak chronić zasoby wód słodkich oraz szczegółowego: jakie fenotypy zbóż będą zapewniały stabilne i wysokie plonowanie na obszarach zagrożonych suszą. Presja stałego wzrostu plonów wynika z konieczności wyżywienia pokoleń przyszłości: prognozowanych 9-ciu miliardów ludzi w roku 2050 (Anioł, 2010).

Zagadnienie wymagań fenotypowych nowoczesnych odmian zbóż zostanie omówione ze szczególnym uwzględnieniem pszenicy, której uprawy dominują w Europie i zajmują średnio 46% areалу uprawnego zbóż EU, a w Polsce 28% (GUS, 2013).

BIOCHEMICZNE I FIZJOLOGICZNE WSKAŹNIKI TOLERANCJI SUSZY PRZEZ ROŚLINY

Literatura dotycząca biochemicznych i fizjologicznych badań odporności na suszę jest systematycznie podsumowywana w pracach przeglądowych publikowanych zarówno przez wiodące jak i mniej znane zespoły badawcze (Foyer, Noctor, 2009; Jogaiah i in., 2013; Labudda, Azam, 2014; Langridge i in., 2006; Lipiec i in., 2013; Reynolds, Tuberosa, 2008; Shao i in., 2009).

Deficyt wody w komórkach i tkankach indukuje zaburzenia funkcji życiowych roślin, prowadząc do zahamowania wzrostu i rozwoju, a w przypadku długotrwałego braku wody do zamierania tkanek. Na poziomie biochemicznym rośliny o podwyższonej odporności na suszę charakteryzują się: i/ sprawniejszym rozpoznawaniem i długodystansowym przekazywaniem sygnałów (w tym ABA) (Cutler i in., 2010; Kim i in., 2010; Miyazano i in., 2009); ii/ wydajniejszym systemem naprawy lub/i proteolizy uszkodzonych białek

(Grudkowska, Zagdańska, 2004; Miazek, Zagdańska, 2008); *iii/* lepszą ochroną błon komórkowych przez osmoprotektanty (Iturriaga i in., 2009; Zhang i in., 2009); *iv/* występowaniem, oddziałujących głównie z trehalozą, białek LEA (ang. Late Embryogenesis Abundant) (Caramelo, Iusem 2009; Hussain i in., 2012); *v/* stabilniejszą fotosyntezą (Jaleel i in., 2009; Pinheiro, Chaves, 2011); *vi/* stabilniejszym metabolizmem mitochondriów (Atkin, Macherel, 2009; Skirycz, i in., 2010; Zagdańska, 1997) oraz *vii/* stabilniejszym potencjałem oksydacyjno-redukcyjnym tkanek, utrzymywanym dzięki mechanizmom hamującym powstawanie wolnych rodników oraz ich wydajną inaktywację (Miller i in., 2010).

Na poziomie molekularnym w tkankach roślin o podwyższonej odporności na suszę zidentyfikowano: geny kodujące metabolity i białka ochronne LEA, Hsp (ang. Heat shock proteins), prolinę, betainę glicynową; geny osmoprotektantów cukrowych: mannitolu i trehalozy; geny białek warunkujących prawidłową strukturę błon komórkowych: np. desaturaz ω -3 i Δ -6; geny enzymów modyfikujących białka: proteinazy i proteazy a także fosfatazy; geny enzymów degradujących cząsteczki ROS (ang. Reactive Oxygen Species) i warunkujących prawidłowy potencjał oksydacyjno-redukcyjny w komórce: dysmutazy, katalazy, peroksydazy, reduktazy; czy wreszcie geny transporterów komórkowych: akwaporyn. Wśród genów kodujących przekaźniki sygnałów: geny kinaz oraz czynników transkrypcyjnych kodujących białka z rodzin: DREB (ang. Dehydration Response Elements Binding), ERF (ang. Ethylene Responsive Transcription Factor), WRKY (czynniki transkrypcyjne o konserwatywnej sekwencji aminokwasów: WRKYGQK), MYB (ang. MYeloBlastosis), bHLH (ang. basic Helix Loop Helix), bZIP (ang. basic Leucine Zipper Domain), NAC (czynniki transkrypcyjne o domenie wspólnej dla genów białek Nam, Ataf1 oraz Cuc2), geny kodujące rodzinę białek palca cynkowego (Gosal i in., 2009; Somvanshi, 2009). Jako zaangażowane w regulację odporności na stresy zostały również zidentyfikowane geny szlaków syntezy oraz przekazywania sygnałów zależnych od fitohormonów: ABA i giberelin, kwasu jasmonowego, brasinosteroidów (Fleury i in., 2010; Shinozaki, Yamaguchi-Shinozaki, 2007; Hu, Xiong, 2014; Zhou i in., 2014).

Szczegółowe dane dotyczące mechanizmów odpowiedzi roślin na stresy środowiskowe zarówno z zakresu metabolomiki jak i genomiki, oparte na wieloletnich badaniach biochemicznych i genetycznych ciągle są niewystarczające do całkowitego zrozumienia procesów determinujących odporność (Rybka, 2009; 2011). Różnorodność fenotypów powstających pod wpływem złożonych oddziaływań pomiędzy rośliną a środowiskiem jest trudna do opisu ze względu na wielość zmiennych w kombinacji oddziaływań 'genotyp-środowisko' (Houle i in., 2010). Nowego znaczenia nabierają więc obserwacje fenotypowe.

Mechanizmy adaptacyjne indukują w tkankach roślinnych: *i/* redukcję potencjału wody i aktywności komórkowej; *ii/* spadek turgoru i zmniejszenie objętości komórek oraz zwiększenie stężenia osmoprotektantów; *iii/* zmiany struktury makromolekuł oraz stosunków przestrzennych między kompartmentami komórkowymi; *iv/* spowolnienie wzrostu (Kacperska, 2002 b; Maseda, Ferniez, 2006; Richards i in., 2010; Shao i in. 2008). Zmianom tym towarzyszy ograniczenie transpiracji i najczęściej redukcja plonu, co z ekonomicznego punktu widzenia jest nieakceptowalne. Dla rolnictwa ważne są formy

dobrze plonujące w warunkach ograniczonego dostępu wody a nie jedynie przeżywające w warunkach suszy. Dlatego też wiele nowoczesnych odmian o czasowo podwyższonej odporności na suszę charakteryzuje się wzmoczoną transpiracją, pozwalającą na utrzymanie pełnego turgoru, co przeciwdziała zahamowaniu wzrostu i spadkowi plonu w krótkotrwałych okresach suszy. Transpiracji towarzyszy lepsze pobieranie oraz przewodzenie wody przez rozwinięty system korzeniowy i naczynia przewodzące o szerszym przekroju (Shao i in., 2009; Vadez i in., 2013 b). Usprawnienie pobierania i przewodzenia wody przez rośliny prowadzi co prawda do wydłużenia czasu życia roślin w warunkach suszy, jednakże przyczynia się również do wzrostu całkowitej ilości wody transpirowanej przez roślinę i może wpływać na pogłębienie suszy glebowej (Kholova i in., 2010; Vadez i in., 2014).

Równoległe z mechanizmami adaptacyjnymi, jako skutek selekcji naturalnej bądź hodowlanej, wykształciły się systemy unikania stresu suszy, wśród których istotną rolę odgrywają: i/ koordynacja czasowa dostępności wody i zapotrzebowania na nią (w Polsce — wczesność, kiełkowanie w warunkach suszy glebowej); ii/ szybkie kiełkowanie i krzewienie w celu zacienienia gleby; iii/ krótki okres wegetacji (rośliny kończą wegetację zanim nastąpi susza), bądź przeciwnie — długi okres wegetacji (rośliny te zazwyczaj mają dłuższy system korzeniowy); iv/ szczelność blaszki liściowej (woski), by transpiracja zachodziła jedynie przez aparaty szparkowe, gdyż parowanie poza aparatami szparkowymi jest bezproduktywne dla fotosyntezy; v/ zasychanie liści i tym samym zmniejszenie zapotrzebowania na wodę (Zagdańska, Kozdój, 1994; Żurek 2000; 2004).

Inną formę czasowego unikania skutków suszy posiadają fenotypy kumulujące biomasę w tkankach wegetatywnych i alokujące asymilaty głównie do ziarna w fazie jego wypełniania, pomimo braków wody w glebie (Starck, 2009; Vadez i in., 2013 a).

Ocena fenotypów jest obecnie wąskim gardłem w poznawaniu interakcji genotyp-środowisko (Yang i in., 2013); na przykład mapowanie oparte na 20 populacjach składających się z 200 linii z których wybieranych jest po 5 pojedynczych roślin wymaga wykonania 20 tysięcy ocen pojedynczej cechy fenotypowej w jednej lokalizacji (White i in., 2012). Odpowiedzią na tę sytuację jest rozwój fenomiki pozwalającej na gromadzenie wieloparametrowych danych dotyczących całej rośliny, wielu fenotypów jednego genotypu, w wielu środowiskach, na podstawie masowych, zautomatyzowanych pomiarów (Houle i in., 2010). Zdefiniowane cele i uwarunkowania ułatwiają analizę tak gromadzonych danych (Liu i in., 2010).

SUSZA A EFEKTYWNE WYKORZYSTANIE WODY PRZEZ ROŚLINY UPRAWNE

Nestor hodowli odpornościowej roślin, profesor Abraham Blum (Blum, 2009), wykazał, że współczesne kryteria selekcyjne w kierunku poprawy odporności na suszę przyczyniają się do mimowolnej promocji fenotypów charakteryzujących się większą transpiracją i jednocześnie mniejszą efektywnością wykorzystania wody, parametru wyrażanego w litrach wody potrzebnych do wytworzenia 1 kg biomasy. Jest to w warunkach niedoborów wody niepożądane i szkodliwe dla środowiska. Argumentację tej tezy Blum wywodzi z wykorzystywanego i dziś przez wielu hodowców (Reynolds,

Tuberosa, 2008) równania Passioura: $Y = WU \times WUE \times HI$, w którym Y (ang. Yield) oznacza plon, WU (ang. Water Use) – ilość zużytej wody [dm^3], WUE (ang. Water Use Efficiency) – wydajność wykorzystania wody przez roślinę [ilość kg suchej masy wytworzonej przez roślinę przy transpiracji 1 dm^3 wody], HI (ang. Harvest Index) – indeks plonowania. Rozwiązując to równanie i przyjmując, że $WUE = B/WU$ (B – biomasa) dochodzimy do zależności $Y = B \times HI$. Po podstawieniu w miejscu B algorytmu de Wita: $B = mT/E_0$, gdzie „ m ” to stała wartość liczbowa, T – transpiracja, E_0 – wartość liczbowa (entalpia parowania wody), otrzymujemy wprost proporcjonalną zależność wielkości plonu od transpiracji ($Y \propto T$), co jest zgodne z tezą Bluma i ją udowadnia (Blum, 2009). WUE odnosi się do produkcji suchej masy i zużycia wody przez roślinę w czasie sezonu wegetacyjnego natomiast chwilowe zmiany zużycia wody na jednostkę zasymilowanego CO_2 na poziomie liścia opisuje współczynnik TE (ang. transpiration efficiency), zależny od dynamicznej równowagi pomiędzy aktywnością fotosyntetyczną liści, stężeniem CO_2 w tkance a indukowanym przez bodźce środowiskowe stopniem rozwarcia aparatów szparkowych (Blum, 2009; Kacperska, 2002 a).

Wyniki eksperymentalne potwierdzają tezę Bluma, że współczesne genotypy charakteryzują się mniejszą efektywnością wykorzystania wody. Diploidalne i tetraploidalne formy dzikie owsa charakteryzują się transpiracją o połowę mniejszą w porównaniu z komercyjnymi odmianami heksaploidalnymi oraz ok. dwukrotnie niższą niż poliploidalne linie hodowlane (dane własne, niepublikowane). Na fakt, iż współczesne odmiany roślin uprawnych mniej efektywnie wykorzystują wodę wpłynęło bez wątpienia stosowanie niższej temperatury ładu jako wskaźnika wyższego plonowania (Amani i in., 1996; Feng i in., 2009), pomimo nielicznych doniesień o zaobserwowanej odwrotnej korelacji (Pinter i in., 1990). Niższa temperatura ładu jako marker selekcyjny w hodowli jednocześnie wskazuje na formy odporniejsze na stresy biotyczne (Eyal, Blum, 1989). Jest powszechnie stosowana do szacowania plonu na podstawie zdjęć lotniczych i satelitarnych (Costa i in., 2013).

Wzrost efektywności wykorzystania wody przez rośliny uprawne jest kluczowy dla utrzymania poziomu plonowania oraz do jego dalszego podnoszenia w warunkach prognozowanej suszy. Poprawa pobierania wody pod koniec cyklu wegetacyjnego i minimalizacja transpiracji pozaszparkowej jest sposobem podejścia do tego problemu, wdrażanym już do programów hodowlanych na terenach półpustynnych (Kholova i in., 2013; Vadez i in., 2013 b; Vadez i in., 2014). Istnieje możliwość prowadzenia selekcji w kierunku obniżenia transpiracji przy jednoczesnym utrzymaniu odpowiedniej wysokości plonu, gdyż w materiałach hodowlanych musi występować wysoka zmienność tej cechy związana z faktem, że transpiracja nie była dotychczas wykorzystywana jako kryterium selekcyjne. Rzeczywiście teza ta znajduje potwierdzenie w danych literaturowych. Fish i Earl (2009) zestawiają współczynniki zmienności transpiracji u różnych gatunków: 30% – bawełna, 41% – orzeszki ziemne; 25% – sorgo, 32% oraz 17% – pszenica; 18% – soja; 11% – groch. Przegląd danych literaturowych dokonany przez Kemaniana i in. (2005) wskazuje na prawie dwukrotną rozpiętość TE u odmian jęczmienia i trzykrotną u odmian pszenicy. Także u kukurydzy, gatunku o typie fotosyntezy C_4 , a więc z natury gatunku „oszczędniejszego” w gospodarowaniu wodą stwierdzono współczynnik

zmienności TE > 50% (Du i in., 2005). Dane literaturowe (Baćławska-Krzemińska, 1973; Condon i in., 2004; Fish, Earl, 2009; Jarecka, 1973; Skośkiewicz, 1973; Strebeyko, 1973) ukazują potencjał wewnątrzgatunkowej zmienności, który można wykorzystać w selekcji odmian oszczędnie gospodarujących wodą. Dopóki nie zostaną wprowadzone nowe metody eksperymentalne, pomiary za pomocą zmodernizowanych metod lizymetry cznych (Vadez i in., 2008), wydają się być skuteczne w badaniach efektywnego wykorzystania wody przez rośliny uprawne i w selekcji roślin lepiej tolerujących suszę (Vadez i in., 2014). Omówiona literatura wskazuje wyraźnie, że „w poszukiwaniu metod poprawy plonowania pojawia się konieczność bardzo ścisłej integracji badań na różnych poziomach organizacji życia roślin”. Dotyczy to ścisłego współdziałania: genetyków, biochemików i fizjologów roślin oraz hodowców i statystyków (Starck, 2009).

MODELOWANIE FENOTYPÓW ZBÓŻ JAKO NARZĘDZIE WSPOMAGAJĄCE HODOWLĘ

Złożone uwarunkowania genetyczne/biochemiczne odporności na suszę i określone scenariusze pogodowe warunkują wysokość plonowania. Rosnące zapotrzebowanie na żywność zmusza do poszukiwania nowych rozwiązań metodycznych w hodowli roślin. Jedną z metod wspomagających decyzje, nie tylko w hodowli, jest prognozowanie oparte na modelach statystycznych: empirycznych bądź mechanistycznych (Tardieu, 2010). Dla celów hodowli, algorytmy empiryczne konstruowane są w oparciu o statystyczne dopasowanie wielkości plonu do danych meteorologicznych, natomiast w modelach mechanistycznych wykorzystywane są mierzalne parametry istotne dla opisu faz rozwojowych roślin: rozwoju wegetatywnego i generatywnego, w konkretnych warunkach polowych. Coraz powszechniej uważa się, że modelowanie statystyczne umożliwi sprzężenie danych fenotypowych z danymi generowanymi przy użyciu platform genomicznych i metabolomicznych, w sposób rentowny dla hodowli (Hammer i in., 2004; Hammer i in., 2010).

Ponieważ w praktyce jest wykorzystywanych wiele modeli, o różnym poziomie istotności uzyskiwanych wyników, w październiku 2010 zostało zawiązane konsorcjum w celu porównania i poprawy modeli prognostycznych dla rolnictwa (ang. Agricultural Models Intercomparison and Improvement Project — AgMIP), z uwzględnieniem scenariuszy pogodowych i prognozowanej sytuacji gospodarczej (Anonim, 2014). Prace są prowadzone niezależnie dla: pszenicy, kukurydzy, ryżu, sorga i prosa, soi, ziemniaków, buraka cukrowego i orzeszków ziemnych. W grupie pszenicy porównywanych jest 27 modeli (Rosenzweig i in., 2013; 2014), wśród których znajdują się: CERES wygenerowany w Michigan State University (Ritchie i in., 1998), EPIC — przez USDA, AquaCrop przez FAO (Gassman i in., 2004) oraz APSIM wygenerowany przez CSIRO w Australii (Hammer i in., 2010). W niniejszym artykule poświęcimy uwagę rezultatom modelowania fenotypów pszenicy uzyskanym z mechanistycznego modelu symulacyjnego — Sirius (Brooks i in., 2001; Jamieson i in., 1998). Model ten został skalibrowany dla współczesnych odmian pszenicy, a prawidłowość prognozowania została zweryfikowana eksperymentalnie w szerokim zakresie warunków środowiskowych Europy, Nowej Zelandii, Australii i Stanów Zjednoczonych. W roku 2010 do modelu tego został dołączony samoadaptacyjny algorytm

genetyczny/ ewolucyjny (GA-SA), umożliwiający optymalizację ideotypów pszenicy dla środowisk docelowych (Semenov, Stratonovitch, 2013).

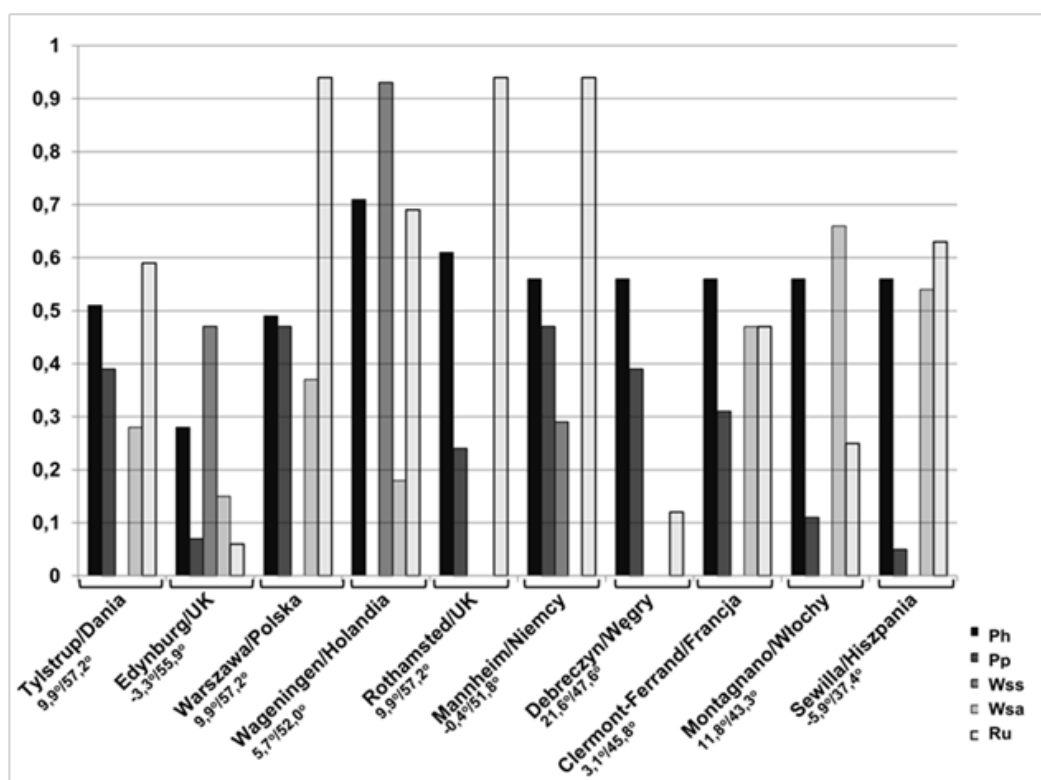
Zastosowanie algorytmów genetycznych w modelach prognostycznych jest skuteczne w sytuacjach, gdy cel modelowania jest dokładnie sprecyzowany i znany jest sposób oceny końcowej lecz metoda prowadzenia symulacji jest bardzo złożona ze względu na dużą ilość zdarzeń, które mogą decydować o rezultacie końcowym. Koncepcję algorytmów genetycznych opracował John H. Holland bazując na teorii ewolucji i powstających losowo (nieukierunkowane) mutacjach, podlegających ściśle ukierunkowanej presji środowiska na określony/optimalny fenotyp (Koza i in., 2003). Optymalizacje bazujące na podejściu ewolucyjnym wymagają opracowania właściwego algorytmu, a następnie zaprojektowania sposobu kodowania rozwiązań oraz podania funkcji oceny i celu, co jest kluczowe dla skuteczności obliczeń. W najprostszych przypadkach nie trzeba wprowadzać zmian do samego algorytmu w czasie realizacji symulacji. Podejmowanie decyzji i prognozowanie w oparciu o różne modele statystyczne staje się powszechne; na oficjalnej stronie U.S. Federal Science przez hasło „yield prediction model” znaleziono 2174 odnośników (Science.gov, 2014).

W modelach przeznaczonych dla hodowli wielkość plonu jest końcowym miernikiem a główne, złożone zdarzenia wpływające na jego wysokość to warunki atmosferyczne oraz stresy środowiskowe. W statystycznym prognozowaniu ideotypów pszenicy dla upraw do roku 2050 z wykorzystaniem modelu Sirius modelowano 5 grup parametrów obejmujących 9 cech fizjologicznych. Zakresy wartości każdego z parametrów zostały wyliczone i skalibrowane na podstawie doświadczeń prowadzonych na całym świecie (He i in., 2012; Semenov, 2009; Semenov i in., 2014).

1. Parametr charakteryzujący fotosyntezę: wydajność konwersji światła (L), jednostka bezwymiarowa w zakresie 1–1,1. Modelowanie wskazało na możliwość wzrostu wydajności asymilacji węgla o 10% przy zachowaniu aktywności Rubisco na obecnym poziomie przy wzroście stężenia CO₂ w atmosferze w przyszłości.
2. Parametry charakteryzujące fenologię rośliny, czyli odpowiedź cyklu rozwojowego na zmiany klimatyczne: ‘phyllochron’ (Ph), cecha opisującą dynamikę wzrostu przez definicję czasu pojawienia się 1. i następnych liści, w zakresie 70–140 [°C × dni] (McMaster, 2005); reakcja na fotoperiod (Pp) w zakresie 0,05–0,7 [ilość liści × długość dnia w h⁻¹] oraz czas wypełniania ziarna (Gf) w zakresie 500–900 [°C × dni]. Modyfikacje długości trwania oraz terminów zachodzenia poszczególnych faz rozwojowych w zależności od sezonowych zmian jakości i natężenia promieniowania słonecznego a także w zależności od sezonowej dostępności wody mają kluczowe znaczenie dla wielkości plonu (Akkaya i in., 2006; Richards, 2006). W modelu Sirius są optymalizowane zgodnie ze scenariuszami pogodowymi. Wcześniejsze kwitnienie i dłuższy czas wypełniania ziarna mogą wpłynąć na wzrost plonu.
3. Parametry charakteryzujące łan: stosunek powierzchni liści do powierzchni gleby (A) w zakresie 0,003–0,010 [m² powierzchni liści/m² powierzchni gleby] oraz cechę ‘stay green’ (S) o wartościach 1–2 [bezwymiarową]. Przez modelowanie powierzchni liści jest zmieniana wartość wskaźnika pokrycia gleby przez listowie (LAI, ang. Leaf Area Index) co wpływa na efektywność wykorzystania światła oraz na transpirację a przez

- to na dynamikę wzrostu. Opóźnienie starzenia liści wydłuża okres asymilacji i przez to podnosi plon.
4. Parametry charakteryzujące tolerancję na suszę: odpowiedź fotosyntezy na stres wodny (Wsa) w zakresie 0,10–0,21 [bezwymiarowe] oraz przyspieszenie maksymalnego tempa starzenia się liści (Wss) o wartościach 1,2–1,9 [bezwymiarowe]. Zarówno wytwarzanie biomasy związane z wydajnością fotosyntezy jak i tempo starzenia liści są proporcjonalne do tolerancyjności na suszę, tak więc wpływają dodatnio na wysokość plonu.
 5. Parametr charakteryzujący pobór wody przez korzenie: tempo poboru wody (Ru) w zakresie 1–7 [%]. Jest to parametr trudny do pomiaru, jednakże stwierdzono, że w warunkach suszy wolniejsze pobieranie wody przez korzenie może finalnie przełożyć się na dłuższy okres dostępności wody w glebie i *de facto* na wyższe plony w warunkach niedoborów wody (Manschadi i in., 2006).

Celem modelowania ideotypów pszenicy było wyznaczenie takich wartości względnych dla rozpatrywanych parametrów fizjologicznych, które zapewniłyby maksymalizację plonu w perspektywie do roku 2050 w każdej z 10 wybranych lokalizacji w Europie różniących się warunkami klimatycznymi. Prognozy klimatyczne generowano w modelu HadCM3 (Meehl i in., 2007 za: Semenov i in., 2014). Dla wszystkich lokalizacji przyjęto jeden rodzaj gleby o wodnej pojemności połowej 177 mm. Już podczas pierwszych iteracji, przy użyciu algorytmu GA-SA, wyszukującego lokalne maksima w wieloparametrowych bazach, parametry czasu wypełniania ziarna (Gf), maksymalnej powierzchni liści (A) oraz 'stay green' (S) uzyskały maksymalną, dopuszczoną wartość, czyli ich względna wartość wyniosła 1 (rys. 2). Po przyjęciu tych maksymalnych wartości dla ideotypów pszenicy przyszłości w dalszych cyklach iteracyjnych zauważono konwergencję parametrów charakteryzujących fenologię roślin: phyllochronu (Ph) dla szerokiego obszaru od 37,4 °N do 49,5 °N i -5,9 °W do 21,6 °E oraz odpowiedzi na fotoperiod (Pp) w lokalizacjach Tylstrup i Debreczyn oraz dla Warszawy i Mannheim. Parametry opisujące odpowiedź roślin na stres suszy: przyspieszenie tempa starzenia się liści (WSS) i reakcja fotosyntezy na suszę (WSA), wykazały zbieżność tylko w tych lokalizacjach, gdzie ograniczenia ilości wody mogłyby mieć istotny wpływ na plon ziarna. WSS wykazało konwergencję dla: Warszawy, Rothamsted i od Debreczyna po Sewillę; przyjmując wartość zero, co oznacza że przyspieszenie starzenia liści (WSS) jest niewskazane w tych lokalizacjach. WSA przyjęło wartość 0 dla Rothamsted, Mannheim i Debreczyna. Dla Warszawy, Rothamsted i Mannheim przewidziano konieczność utrzymania parametru poboru wody przez korzenie na poziomie 94% założonej we wstępnym modelowaniu wartości maksymalnej, co wskazuje na znaczenie tego parametru w ideotypie pszenicy wygenerowanym przez Sirius dla warunków polskich (Semenov i in., 2014).



Rys. 2. Znormalizowane parametry (w zakresie 0–1) opisujące fenotypy pszenicy dla przyszłych scenariuszy pogodowych w perspektywie do 2050 r. obliczone w modelu Sirius (za: Semenov i in., 2014, zmodyfikowano)

Ph — phyllochron (ang. phyllochron); Pp — reakcja na fotoperiod (ang. day length response); Wss — przyspieszenie tempa starzenia się liści (ang. acceleration of leaf senescence); Wsa — odpowiedź fotosyntezy na stres wodny (ang. water stress answer); Ru — tempo poboru wody przez korzenie (ang. rate of water uptake). Na wykresie nie zamieszczono współczynników, których wartości znormalizowane osiągnęły wartość 1: Gf — czas wypełniania ziarna (ang. Grain filling); A — stosunek powierzchni liści do powierzchni gleby (ang. area index; S — 'stay green' (ang. stay green)

Fig. 2. Normalized parameters (range 0–1) describing the phenotypes of wheat for future weather scenarios towards 2050 horizon calculated in Sirius model (after: Semenov et al., 2014, modified)

Ph — phyllochron, Pp — day length response, Wss — acceleration of leaf senescence, Wsa — water stress answer; Ru — rate of water uptake. The graph contains no coefficients that, when normalized, were equal to 1: Gf — grain filling; A — ratio of leaf to soil areas, S — stay green

Ocena fenotypowa procesów pobierania wody przez korzenie jest trudna do realizacji na skalę masową i przez to rzadko wykorzystywana jako technika markerowa (Harb i in., 2010). Również współczynnik transpiracji jest cechą trudną do pomiaru w polowych testach przesiewowych (Gao i in., 2014). Jednakże konieczność podnoszenia odporności na suszę u roślin uprawnych równoległe z koniecznością ochrony zasobów wodnych nie budzą wątpliwości (Hiscock i in., 2002). Istnieje potrzeba opracowania nowych metod testowych wykorzystania wody przez rośliny uprawne do monitorowania zjawiska na skalę masową. Równoległe do dużych przedsięwzięć zautomatyzowanych szklarni z całkowicie

zautomatyzowanym systemem monitoringu testowanych roślin (HTPPs, ang. High-Throughput Phenotyping Platform), podejmowane są prace nad wprowadzeniem nowych masowych metod oceny fenotypów w warunkach polowych (Araus, Carins, 2014; Vadez i in., 2008). Duże nadzieje budzi interpretacja zdjęć termalnych pod kątem odporności roślin na stresy (Costa i in., 2013).

PRAKTYCZNE ASPEKTY NOWOCZESNEJ SELEKCJI

Obecnie rolnictwo znajduje się w punkcie zwrotnym (Anioł 2010). By nowoczesne techniki markerowania były skuteczne, o modyfikacjach genetycznych nie wspominając, muszą być dobrze określone ideotypy roślin.

Modelowanie ideotypów zbóż dla przyszłych dziesięcioleci z uwzględnieniem zmian klimatycznych jest pewną formą wyznaczania priorytetów, jednakże dopiero konsensus uzyskiwanych wyników teoretycznych z praktycznymi obserwacjami wyznacza perspektywę dla hodowli roślin. Potrzebne jest krytyczne odniesienie się praktycznej hodowli do teoretycznych wyników modelowania. Dane literaturowe wskazują, że ośrodek w Rothamsted zbiera dane na temat zmienności cech zgodnie z priorytetami wynikającymi z modelu Sirius (Driever i in., 2014; Khattak i in., 2014). W Polsce ideotypy zbóż definiowane są w oparciu o cechy morfologiczne (wysokość roślin, długość kłosa, położenie i powierzchnia liści flagowych), cechy fenologiczne (termin rozpoczęcia wegetacji po okresie spoczynku zimowego, terminy kłoszenia i dojrzewania). Ważnym elementem oceny jest odporność na choroby. Z obserwacji podczas prac hodowlanych wynika, że nowoczesna odmiana powinna charakteryzować się: późniejszym kłoszeniem, gdyż rośliny mają więcej czasu na wytworzenie większej ilości zawiązków kłosa; szybkim wypełnianiem ziarna, co jest szczególnie ważne w okresie suszy; szybkim przemieszczaniem asymilatów z liści do ziarna; krótszym i sztywnym źdźbłem (można wtedy zwiększyć obsadę roślin na m^2 bez obawy wylegania); większą masą 1000 ziaren a także wysoką ich gęstością w stanie zsylnym; odpornością na porastanie i tolerancją na choroby. Potrzebna jest interdyscyplinarna, krytyczna dyskusja o wynikach modelowania z perspektywy praktycznej hodowli.

Przedstawione powyżej priorytety bezpośrednio nie uwzględniają aspektów związanych z efektywnością wykorzystania wody przez rośliny uprawne. Jednakże sądząc po szybko rosnącej liczbie publikacji (Gago i in., 2014; Tallec i in., 2013) problem jest coraz szerzej dyskutowany w środowisku naukowców współpracujących z hodowlą. W warunkach polskiego rolnictwa i sposobu finansowania nauki należy wiązać nadzieję na rozwój i wdrożenie masowych polowych metod selekcyjnych opartych na analizie obrazu (Cabrera i in., 2012). Pozwoli to na opracowanie i wprowadzenie markerów związanych z efektywnością wykorzystania wody przez rośliny uprawne. Zapewnienie wzrostu plonów w nadchodzących latach wymaga nie tylko stałego postępu w hodowli lecz również dalszego rozwoju agrotechniki. Wykorzystanie osiągnięć badań podstawowych pozwoli na zdefiniowanie newralgicznych problemów oraz na opracowanie metod ich rozwiązania.

LITERATURA

- Anioł A. 2010. Wpływ biotechnologii i procesów globalizacji w gospodarce na hodowlę roślin i wspierające ten sektor badania naukowe. Biul. IHAR 256: 3 — 13.
- Anonim. 2014. Crop Modeling Team Highlights web-page www.agmip.org/wp-content/uploads/2012/11/Crop_Modeling_2011-2012_Highlights-web.pdf data ostatniej modyfikacji: 16 05 2014 05:53:53, data dostępu: 29 09 2014.
- Amani I., Fischer R. A., Reynolds M. P. 1996. Canopy Temperature Depression Association with Yield of Irrigated Spring Wheat Cultivars in a Hot Climate. J. Agron. Crop. Sci. 176: 119 — 129.
- Akkaya A., Dokuyucu T., Kara R., Akcura. M. 2006. Harmonization ratio of post- to pre-anthesis durations by thermal times for durum wheat cultivars in a Mediterranean environment. Eur. J. Agron. 24: 404 — 408.
- Araus J. L., Cairns J. E. 2014. Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. Trends Plant Sci. 19: 52 — 61.
- Atkin O. K., Macherel D. 2009. The crucial role of plant mitochondria in orchestrating drought tolerance. Ann. Bot. 103: 58 — 597.
- Austin R. B. 1999. Yield of wheat in the United Kingdom: recent advances and prospects. Crop Sci. 39: 1604 — 1610.
- Bacławska-Krzemińska Z. 1973. Influence of light, water deficit and age of plant on photosynthesis and air passage capacity in leaves of *Brassica oleracea* L. var. capitata alba v. Ditmarska. Plant Breed. Seed Sci. 17: 303 — 328.
- Blum A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crop Res. 112: 119 — 123.
- Borlaug N. 2007. Sixty-two years of fighting hunger: personal recollections. Euphytica 157: 287 — 297.
- Brooks R. J., Semenov M. A., Jamieson P. D. 2001. Simplifying Sirius: Sensitivity analysis and development of a meta-model for wheat yield prediction. Eur. J. Agron. 14: 43 — 60.
- Cabrera-Bosquet L., Crossa J., von Zitzewitz J., Serret M. D., Araus L. J. 2012. High-throughput Phenotyping and Genomic Selection: The Frontiers of Crop Breeding Converge. J. Integr. Plant Biol. 54: 312 — 320.
- Caramelo J. J., Iusem N. D. 2009. When cells lose water: Lessons from biophysics and molecular biology. Prog. Biophys. Mol. Bio. 99: 1 — 6.
- Condon A. G., Richards R. A., Rebetzke G. J., Farquhar G. D. 2004. Breeding for high water-use efficiency. J. Exp. Bot. 55: 2447 — 2460.
- Costa J. M., Grant O. M., Chaves M. M. 2013. Thermography to explore plant environment interactions. J. Exp. Bot. 64: 3937 — 3949.
- Craufurd P. Q., Vadz V., Jagadish S. V. K., Prasad P. V. V., Zaman-Allah M. 2013. Crop science experiments designed to inform crop modelling. Agric. For. Meteorol. 170: 8 — 18.
- Cutler S. R., Rodriguez P. L., Finkelstein R. R., Abrams S. R. 2010. Absciscic acid: Emergence of a core signaling network. Annu. Rev. Plant Biol. 61: 651 — 679.
- Doroszewski A., Jadczyński, J., Kozyra, J., Pudelko, R., Stuczyński, T., Mizak, K., Łopatka, A., Koza, P., Górski, T., Wróblewska, E. 2012. Podstawy systemu monitoringu suszy rolniczej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie 12: 77 — 91.
- Drierer S. M., Lawson T., Andralojc P. J., Raines C. A., Parry M. A. J. 2014. Natural variation in photosynthetic capacity, growth, and yield in 64 field-grown wheat genotypes. J. Exp. Bot. 65: 4959 — 4973.
- Du T., Kang S., Sun J., Zhang X., Zhang J. 2009. An improved water use efficiency of cereals under temporal and spatial deficit irrigation in north China. Agr. Water Manage. 97: 66 — 74.
- Easterling D. R., Evans J. L., Groisman P. Y., Karl T. R., Kunkel K. E., Ambenje P. 2000. Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review. Bull. Am. Meteorol. Soc. 81: 417 — 425.
- Easterling D. R., Horton B., Jones P. D., Peterson T. C., Karl T. R., Parker D. E., Salinger M. J., Razuvayev V., Plummer N., Jamason P., Folland C. K. 1997. Maximum and Minimum Temperature Trends for the Globe. Science 277: 364 — 367.
- Eyal Z., Blum A. 1989. Canopy temperature as a correlative measure for assessing host response to *Septoria tritici* Bloch of Wheat. Plant Dis. 73: 468 — 471.

- FAO, Food and Agriculture Organization, 2003. Review of World Water Resources by Country. Water Reports, FAO, Rome, 23: 127 ss.
- Feng B., Yu H., Hu Y., Gao X., Gao J., Gao D., Zhang S. 2009. The physiological characteristics of the low canopy temperature wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under simulated drought condition. *Acta Physiol. Plant.* 31: 1229 — 1235.
- Fish D. A., Earl H. J. 2009. Water-Use Efficiency is negatively correlated with leaf epidermal conductance in cotton (*Gossypium* spp.). *Crop Sci.* 49: 1409 — 1415.
- Fleury D., Jefferies S., Kuchel H., Langridge P. 2010. Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. *J. Exp. Bot.* 61: 3211 — 3222.
- Foulkes M. J., Slafer G. A., Davies W. J., Berry P. M., Sylvester-Bradley R., Martre P., Calderini D. F., Griffiths S., Reynolds M. P. 2011. Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. *J. Exp. Bot.* 62: 469 — 486.
- Foyer C., Noctor G. 2009. Redox Regulation in Photosynthetic Organisms: Signaling, Acclimation, and Practical Implications. *Antioxidants & Redox Signaling* 11: 861 — 905.
- Gago J., Douthe C., Florez-Sarasa I., Escalona J. M., Galmes J., Fernie A. R., Flexas J., Medrano H. 2014. Opportunities for improving leaf water use efficiency under climate change conditions. *Plant Sci.* (w druku) doi: 10.1016/j.plantsci.2014.1004.1007.
- Gassman P. W., Williams J. R., Benson V. W., Izaurralde R. C., Hauck L. M., Jones C. A., Atwood J. D., Kiniry J. R., Flowers J. D. 2004. Historical Development and Applications of the EPIC and APEX Models ASAE/CSAE Annual International Meeting, Meeting Paper No. 042097 Ottawa, Canada. Iowa State University Working Paper 05-WP 397, June 2005.
- Gosal S. S., Wani S. H., Kang M. S. 2009. Biotechnology and drought tolerance. *J. Crop Improv.* 23: 19 — 54.
- Grudkowska M., Zagdańska B. 2004. Multifunctional role of plant cysteine proteinases. *Acta Biochim. Pol.* 51: 609 — 624.
- GUS 2013. Produkcja Upraw Rolniczych i Ogrodniczych w 2012 r. Materiały źródłowe. ISSN 1509 - 7099 pp. 124
- Hammer G., Chapman S., Oosterom E., Podlich D. 2004. Trait physiology and crop modelling to link phenotypic complexity to underlying genetic systems. *Aust. J. Agric. Res.* 56: 947 — 960.
- Hammer G. L., van Oosterom E., McLean G., Chapman S. C., Broad I., Harland P., Muchow R. C. 2010. Adapting APSIM to model the physiology and genetics of complex adaptive traits in field crops. *J. Exp. Bot.* 61: 2185 — 2202.
- Harb A., Krishnan A., Ambavaram M. M. R., Pereira A. 2010. Molecular and Physiological Analysis of Drought Stress in Arabidopsis Reveals Early Responses Leading to Acclimation in Plant Growth. *Plant Physiol.* 154: 1254 — 1271.
- He J., Le Gouis J., Stratonovitch P., Allard V., Gaju O., Heumez E., Orford S., Griffiths S., Snape J. W., Foulkes M. J., Semenov M. A., Martre P. 2012. Simulation of environmental and genotypic variations of final leaf number and anthesis date for wheat. *Eur. J. Agron.* 42: 22 — 33.
- Hiscock K. M., Rivett M. O., Davison R. M. 2002. Sustainable groundwater development. Geological Society, London, Special Publications 193: 1 — 14.
- Houle D., Govindaraju D. R., Omholt S. 2010. Phenomics: the next challenge. *Nat. Rev. Genet.* 11: 855 — 865.
- Hu H., Xiong L. 2014. Genetic Engineering and Breeding of Drought-Resistant Crops. *Ann. Rev. Plant Biol.* 65: 715 — 741.
- Hussain S. S., Iqbal M. T., Arif M. A., Amjad M. 2012. Beyond osmolytes and transcription factors: drought tolerance in plants via protective proteins and aquaporins. *Biol. Plant.* 55: 40 — 413.
- Iturriaga G., Suárez R., Nova-Franco B. 2009. Trehalose metabolism: from osmoprotection to signaling. *Int. J. Mol. Sci.* 10: 3793 — 3810.
- Jaggard K. W., Qi A., Ober E. S. 2010. Possible changes to arable crop yields by 2050. *Philos. T. Roy. Soc. B.* 365: 2835 — 2851.
- Jaleel C. A., P. Manivannan A. W., M. Farooq, R. Somasundaram, Panneerselvam R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *Int. J. Agric. Biol.* 11: 100 — 105.

- Jamieson P. D., Semenov M., Brooking I., Fracais G. 1998. Sirius: a mechanistic model of wheat response to environmental variation. *Eur. J. Agron.* 8: 161 — 179.
- Jarecka M. 1973. Influence of light, water deficit and age of plant on photosynthesis and air passage capacity in leaves of sugar beet (*Beta vulgaris* var. *Saccharifera*). *Plant Breed. Seed Sci.* 17: 329 — 357.
- Jogaiah S., Govind S. R., Tran L. S. P. 2013. Systems biology-based approaches toward understanding drought tolerance in food crops. *C. R. Biotechn.* 33: 23 — 39.
- Kacperska A. 2002 a. Gospodarka wodna. W: Kopcewicz J., Lewak S. (red.) *Fizjologia roślin*. Warszawa: PWN: 193 — 245.
- Kacperska A. 2002 b. Reakcje roślin na abiotyczne czynniki stresowe. W: Kopcewicz J., Lewak S. (red.) *Fizjologia roślin*. Warszawa: PWN: 612 — 678.
- Kemarian A. R., Stöckle C. O., Huggins D. R. 2005. Transpiration-use efficiency of barley. *Agr. Forest Meteorol.* 130: 1 — 11.
- Khattak G. S. S., Parry M. A. J., Andralojc J., Saeed I., Shams Ur R. 2014. Evaluation of diverse wheat genotypes for potential biomass production through physiological parameters at seedling stage under controlled environment. *Pakistan J. Bot.* 46: 181 — 184.
- Kholova J., Hash C. T., Kakker A., Kocova M., Vadez V. 2010. Constitutive water-conserving mechanisms are correlated with the terminal drought tolerance of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). *J. Exp. Bot.* 61: 369 — 377.
- Kholova J., McLean G., Vadez V., Craufurd P., Hammer G. L. 2013. Drought stress characterization of post-rainy season (rabi) sorghum in India. *Field Crops Res.* 141: 38 — 46.
- Kim T.-H., Bohmer M., Hu H., Nishimura N., Schroeder J. I. 2010. Guard cell signal transduction network: Advances in understanding Abscissic Acid, CO₂, and Ca²⁺ signaling. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61: 561 — 591.
- Knight S., Kightley S., Bingham I., Hoad S., Lang B., Philpott H., Stobart R., Thomas J., Barnes A., Ball B. 2012. Desk study to evaluate contributory causes of the current 'yield plateau' in wheat and oilseed rape. HGCA Report No 502: pp. 225.
- Koza J. R., Keane M. A., Streeter M. J. 2003. Zastosowanie mechanizmów ewolucji w programowaniu komputerowym daje nowatorskie rezultaty. *Świat Nauki* 4(140): 40 — 47.
- Labudda M., Azam F. M. S. 2014. Glutathione-dependent responses of plants to drought: a review. *Acta Soc. Bot. Pol.* 83: 3 — 12.
- Langridge P., Paltridge N., Fincher G. 2006. Functional genomics of abiotic stress tolerance in cereals. *Brief Funct. Genomic Proteomic* 4: 343 — 354.
- Lipiec J., Doussan C., Nosalewicz A., Kondracka K. 2013. Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. *Intern. Agroph.* 27: 463 — 477.
- Liu Z.-Y., Wu H.-F., Huang J.-F. 2010. Application of neural networks to discriminate fungal infection levels in rice panicles using hyperspectral reflectance and principal components analysis. *Comput. Electron. Agr.* 72: 99 — 106.
- Łabędzki L. 2006. Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie Rozprawy naukowe i monografie nr 17.
- Manschadi A. M., Christopher J., Devoil P., Hammer G. L. 2006. The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments. *Funct. Plant Biol.* 33: 823 — 837.
- Maseda P. H., Ferniez R. J. 2006. Stay wet or else: three ways in which plants can adjust hydraulically to their environment. *J. Exp. Bot.* 57: 3963 — 3977.
- McMaster G. S. 2005. Phytomers, phyllochrons, phenology and temperate cereal development. *J. Agr. Sci.* 143: 137 — 150.
- Meehl G. A., Covey C., Delworth T., Latif M., McAvaney B., Mitchell J. F. B. i in. 2007. The WCRP CMIP3 multimodel dataset — a new era in climate change research. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 88: 1383 — 1394.
- Miazek A., Zagdańska B. 2008. Involvement of exopeptidases in dehydration tolerance of spring wheat seedlings. *Biol. Plantarum* 52: 687 — 694.
- Miller G., Suzuki N., Ciftci-Yilmaz S., Mittler R. 2010. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant Cell Environ.* 33: 453 — 467.

- Miyazono K., Miyakawa T., Sawano Y., Kubota K., Kang H., Asano A., Miyauchi Y., Takahashi M., Zhi Y., Fujita Y., Yoshida T., Kodaira K., Yamaguchi-Shinozaki K., Tanokura M. 2009. Structural basis of abscisic acid signalling. *Nature* 462: 609 — 614.
- Oleksiak T. 2013. Stosowanie kwalifikowanego materiału siewnego a plonowanie zbóż ozimych. *Biul. IHAR* 268: 87 — 99.
- Pinheiro C., Chaves M. M. 2011. Photosynthesis and drought: Can we make metabolic connections from available data? *J. Exp. Bot.* 62: 869 — 882.
- Pinter Jr P. J., Zipoli G., Reginato R. J., Jackson R. D., Idso S. B., Hohman J. P. 1990. Canopy temperature as an indicator of differential water use and yield performance among wheat cultivars. *Agric. Water Manage.* 18: 35 — 48.
- Reynolds M., Tuberosa R. 2008. Translational research impacting on crop productivity in drought-prone environments. *Curr. Opin. Plant Biol.* 11: 171 — 179.
- Richards R. A. 2006. Physiological traits used in the breeding of new cultivars for water-scarce environments. *Agric. Water Manag.* 80:197 — 211.
- Richards R. A., Rebetzke G. J., Watt M., Condon A. G., Spielmeier W., Dolferus R. 2010. Breeding for improved water productivity in temperate cereals: phenotyping, quantitative trait loci, markers and the selection environment. *Funct. Plant Biol.* 37: 85 — 97.
- Ritchie J. T., Singh U., Godwin D. C., Bowen W. T. 1998. *Soil Water Balance and Plant Water Stress*. W: Tsuji Y., Tsuji GY, Hoogenboom G, Thornton PK (ed.) *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 83 — 102.
- Rosenzweig C., Elliott J., Deryng D., Ruane A. C., Müller C., Arneth A., Boote K. J., Folberth C., Glotter M., Khabarov N., Neumann K., Piontek F., Pugh T., Schmid E., Stehfest E., Yang H., Jones J. W. 2014. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 111: 3268 — 3273.
- Rosenzweig C., Jones J. W., Hatfield J. L., Ruane A. C., Boote K. J., Thorburn P., Antle J. M., Nelson G. C., Porter C., Janssen S., Asseng S., Basso B., Ewert F., Wallach D., Baigorria G., Winter J. M. 2013. The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): Protocols and pilot studies. *Agric. For. Meteorol.* 170: 166 — 182.
- Rybka K. 2009. TILLING i FOX-hunting: nowe metody analizy funkcjonalnej genów *Post. Biol. Kom.* 36: 539 — 554.
- Rybka K. 2011. Tilling and fox-hunting: new methods for functional analysis of genes. *Adv. Cell Biol.* 3(1): 165 — 180.
- Rybka K., Nita Z. 2014. Physiological requirements for wheat ideotypes in response to drought threat. *Acta Physiol. Plant.* (ACPP-D-14-00754).
- Science.gov [on line] U.S. Federal Science [dostęp 09.05.2014]. Dostępne w internecie „yield prediction model“ <http://www.science.gov/scigov/result-list/fullRecord:yield+prediction+model/>
- Semenov M. A. 2009. Impacts of climate change on wheat in England and Wales. *J. R. Soc. Interface* 6: 343 — 350.
- Semenov M. A., Stratonovitch P. 2013. Designing high-yielding wheat ideotypes for a changing climate. *Food and Energy Security* 2: 185 — 196.
- Semenov M. A., Stratonovitch P., Alghabari F., Gooding M. J. 2014. Adapting wheat in Europe for climate change. *J. Cereal Sci.* 59: 245 — 256.
- Shao H.-B., Chu L.-Y., Jaleel C. A., Manivannan P., Panneerselvam R., Shao M.-A. 2009. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants – biotechnologically and sustainably improving agriculture and the ecoenvironment in arid regions of the globe. *C. R. Biotechnol.* 29: 131 — 151.
- Shao H.-B., Chu L.-Y., Jaleel C.A., Zhao C.-X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C. R. Biol.* 331: 215 — 225.
- Shinozaki K., Yamaguchi-Shinozaki K. 2007. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *J. Exp. Bot.* 58: 221 — 227.
- Sillmann J., Roeckner E. 2008. Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change. *Clim. Change* 86: 83 — 104.

- Skirycz A., De Bodt S., Obata T., De Clercq I., Claeys H., De Rycke R., Iriankaja M., Van Aken O., Van Breusegem F., Fernie A. R., Inze D. 2010. Developmental stage specificity and the role of mitochondrial metabolism in the response of arabidopsis leaves to prolonged mild osmotic stress. *Plant Physiol.* 152: 226 — 244.
- Skośkiewicz K. 1973. Stomatal movements in summer rape Bronowski IHAR (*Brassica napus* L.) in dependence on the age of the leaf, water deficit, light intensity and CO₂ concentration. *Plant Breed. Seed Sci.* 17: 359 — 385.
- Somvanshi V. S. 2009. Patenting drought tolerance in organisms. *Recent Patents on DNA&Gene Sequences* 3: 16 — 25.
- Spink J., Street P., Sylvester-Bradley R., Berry P. 2009. The potential to increase productivity of wheat and oilseed rape in the UK. Report to the Government Chief Scientific Adviser, Professor John Beddington, January 2009 see: <http://dius.gov.uk>: data dostępu 10 05 2014.
- Stachowski P. 2010. Ocena suszy meteorologicznej na terenach pogórnicych w rejonie Konina. *Rocznik Ochrona Środowiska* 12: 587-606. ISSN 1506-218X. Dostępne: http://old.ros.edu.pl/text/pp_2010_034.pdf. Data dostępu: 19. 08. 2014.
- Starck Z. 2009. Dystrybucja asymilatów kluczowym procesem determinującym plon. *Post. Nauk Roln.* 2/2009: 51 — 69.
- Strebeyko P. 1973. Theoretical principles of gas exchange in plants. *Plant Breed. Seed Sci.* 17: 287 — 295.
- Talleg T., Béziat P., Jarosz N., Rivalland V., Ceschia E. 2013. Crops' water use efficiencies in temperate climate: Comparison of stand, ecosystem and agronomical approaches. *Agric. Forest Meteorol.* 168: 69 — 81.
- Tardieu F. 2010. Why work and discuss the basic principles of plant modelling 50 years after the first plant models? *J. Exp. Bot.* 61: 2039 — 2041.
- Tomassini L., Jacob D. 2009. Spatial analysis of trends in extreme precipitation events in high-resolution climate model results and observations for Germany. *J. Geophys. Res.- Atmos.* 114: D12113.
- Trenberth K. E., Dai A., Rasmussen R. M., Parsons D. B. 2003. The Changing Character of Precipitation. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 84: 1205 — 1217.
- Vadez V., Kholova J., Medina S., Kakker A., Anderberg H. 2014. Transpiration efficiency: new insights into an old story. *J. Exp. Bot.*: first published online March 5, 2014.
- Vadez V., Kholová J., Yadav R., Hash C. 2013 a. Small temporal differences in water uptake among varieties of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) are critical for grain yield under terminal drought. *Plant Soil* 371: 447 — 462.
- Vadez V., Kholova J., Zaman-Allah M., Belko N. 2013 b. Water: the most important 'molecular' component of water stress tolerance research. *Funct. Plant Biol.* 40: 1310 — 1322.
- Vadez V., Rao S., Kholová J., Krishnamurthy L., Kashiwagi J., Ratnakumar P., Sharma K., Bhatnagar-Mathur P., Basu P. 2008. Root research for drought tolerance in legumes: Quo vadis? *J. Food Legumes* 21: 77 — 85.
- White J. W., Andrade-Sanchez P., Gore M. A., Bronson K. F., Coffelt T. A., Conley M. M., Feldmann K. A., French A. N., Heun J. T., Hunsaker D. J., Jenks M. A., Kimball B. A., Roth R. L., Strand R. J., Thorp K. R., Wall G. W., Wang G. 2012. Field-based phenomics for plant genetics research. *Field Crop. Res.* 133: 101 — 112.
- Yang W., Duan L., Chen G., Xiong L., Liu Q. 2013. Plant phenomics and high-throughput phenotyping: accelerating rice functional genomics using multidisciplinary technologies. *Curr. Opin. Plant Biol.* 16: 180 — 187.
- Zagdańska B. 1997. Mechanizmy odporności zbóż na suszę glebową: metabolizm energetyczny pszenicy jarej w nabywaniu odporności. (in Polish with English Summary and Legends) *Biul. IHAR* 203: 41 — 55.
- Zagdańska B., Kozdój J. 1994. Water stress-induced changes in morphology and anatomy of flag leaf of spring wheat. *Acta Soc. Bot. Pol.* 63: 61 — 66.
- Zawora T., Ziernicka-Wojtaszek A. 2008. Ekstremalne wartości niedoborów i nadmiarów opadów atmosferycznych w aspekcie współczesnych zmian klimatu na przykładzie województwa podkarpackiego. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 5: 23 — 29.

- Zhang J., Dell B., Conocono E., Waters I., Setter T., Appels R. 2009. Water deficits in wheat: fructan exohydrolase (1-FEH)mRNA expression and relationship to soluble carbohydrate concentrations in two varieties. *New Phytol.* 181: 843 — 850.
- Zhou J., Wang J., Li X., Xia X.-J., Zhou Y.-H., Shi K., Chen Z., Yu J.-Q. 2014. H₂O₂ mediates the crosstalk of brassinosteroid and abscisic acid in tomato responses to heat and oxidative stresses. *J. Exp. Bot.* (w druku, doi: 10.1093/jxb/eru217).
- Żurek G. 2000. Effect of summer 1999 drought on several turf grass species. *Plant Breed. Seed Sci.* 44 (1): 73 — 83.
- Żurek G. 2004. Reakcja wybranych odmian traw gazonowych na naturalną i symulowaną suszę. *Biul. IHAR* 233: 195 — 209.

ARTUR MAKAREWICZ**ANNA PŁAZA****BARBARA GĄSIOROWSKA****MILENA ANNA KRÓLIKOWSKA**

Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

Wybrane cechy konsumpcyjne bulw ziemniaka w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji

Selected quality traits of potato tubers in integrated and organic production systems

W pracy przedstawiono wyniki badań z lat 2006–2009 mające na celu określenie wpływu nawożenia wsiewkami międzyplonowymi na ciemnienie i smakowość bulw ziemniaka w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji. W doświadczeniu badano dwa czynniki. I. Rodzaj i sposób nawożenia: organiczne (różne gatunki wsiewki międzyplonowej przyorane lub pozostawione na zimę w postaci mulczu) i naturalne (obornik). II. System produkcji: integrowany i ekologiczny. Bezpośrednio po zastosowaniu nawożenia wsiewkami międzyplonowymi uprawiano ziemniaki jadalne. W pobranych próbach bulw ziemniaka oznaczono: ciemnienie miąższu surowego (po 4 h) i ugotowanego (po 2 i 24 h) oraz smakowość bulw. Oddziaływanie wsiewek międzyplonowych na analizowane cechy konsumpcyjne bulw ziemniaka było zbliżone do cech konsumpcyjnych bulw ziemniaka nawożonych obornikiem, ale istotnie wyższe od cech konsumpcyjnych bulw ziemniaka pochodzących z obiektu kontrolnego, bez nawożenia wsiewką międzyplonową. Najkorzystniej na omawiane cechy, a zwłaszcza na smakowość bulw, oddziaływało nawożenie nostrykiem białym zarówno przyorany jesienią, jak i pozostawionym do wiosny w formie mulczu. Stopień ciemnienia miąższu surowego i ugotowanego bulw ziemniaka uprawianego w ekologicznym systemie produkcji był istotnie niższy niż w integrowanym systemie produkcji. Natomiast smakowość bulw ziemniaka była wyższa w integrowanym systemie produkcji.

Słowa kluczowe: ciemnienie bulw, mulcz, obornik, smakowość, system produkcji, wsiewki międzyplonowe, ziemniak

The work presents results of studies conducted in 2006–2009 to determine the effect of fertilization with undersown catch crops on the cooking quality characteristics of potato tubers in integrated and organic production systems. Two factors were examined in the experiment: fertilization with the following undersown catch crops (control without undersown catch crop, farmyard manure, white melilot, white melilot + westerwolds ryegrass, westerwolds ryegrass, white melilot applied as mulch,

westerwolds ryegrass + white melilot applied as mulch, westerwolds ryegrass applied as mulch) as well as production system (integrated, organic). Table potatoes were cultivated immediately after fertilization with the undersown catch crops. Tuber samples were taken to determine raw flesh, after-cooking darkening and flavour. The effect of undersown catch crops on the aforementioned table potato characteristics was similar to the impact of farmyard manure. The flesh of raw and boiled organic tubers darkened significantly less than the flesh of tubers produced in the integrated system. On the contrary, the potato tubers produced in the integrated production system had better flavour in comparison with organic potatoes.

Key words: darkening of tubers, farmyard manure, mulch, potato, production system, undersown catch crops, taste

WSTĘP

Ziemniak przeznaczony do bezpośredniego spożycia powinien charakteryzować się odpowiednimi cechami związanymi z właściwościami miąższu. Wartość konsumpcyjna zależy od składu chemicznego i właściwości fizycznych bulw. Z punktu widzenia konsumenta ważne jest, aby produkt charakteryzował się dobrym smakiem, zapachem, a przede wszystkim odpowiednim wyglądem (Grudzińska i Zgórska, 2006). Bardzo ważnymi cechami określającymi jakość jadalnych odmian ziemniaka są: ciemnienie miąższu bulw surowych i ugotowanych (Zgórska i Frydecka-Mazurczyk, 2000). Intensywność ciemnienia zależy od zawartości związków fenolowych i jest w znacznej mierze cechą genetyczną. Ilość tych związków zależy także od warunków edaficznych m. in. od nawożenia (Sawicka, 1991). Badania Płazy i in. (2010) wykazały, że nawożenie międzyplonem istotnie modyfikowało ciemnienie miąższu bulw. Ziemniak uprawiany po międzyplonach, z wyjątkiem gorczycy białej, wykazywał mniejszą tendencję do ciemnienia miąższu surowego i ugotowanego niż bulwy ziemniaka uprawianego na obiekcie kontrolnym. Ceglarek i in. (1998), Różyło (2002) wykazali, że ziemniak uprawiany tylko na nawozach mineralnych charakteryzuje się większym nasileniem barwy szarej niż ziemniak uprawiany na oborniku czy nawozach zielonych. Kształtowanie się cech konsumpcyjnych bulw ziemniaka zależy także od systemu produkcji (Sawicka, 2000; Danilčenko i Trečiokaite-Jarine, 2002; Zarzyńska i Goliński, 2006). W opinii Sawickiej i in. (2006) oraz Zarzyńskiej i Golińskiego (2006) bulwy z systemu ekologicznego, w porównaniu z integrowanym, odznaczają się mniejszym ciemnieniem miąższu surowego i ugotowanego. Hamouz i in. (2005) porównując technologię ekologiczną i konwencjonalną nie zaobserwowali oddziaływania środków ochrony roślin i nawozów na cechy kulinarne bulw ziemniaka. W literaturze krajowej odczuwa się brak badań dotyczących oceny cech konsumpcyjnych bulw ziemniaka po zastosowaniu nawozów zielonych w różnych systemach produkcji. Stąd wyłania się potrzeba prowadzenia tego typu badań.

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu nawożenia wsiewkami międzyplonowymi na kształtowanie się cech konsumpcyjnych bulw ziemniaka w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji.

MATERIAŁ I METODY

Eksperyment polowy przeprowadzono w latach 2006–2009 w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Zawadach należącej do Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Badania prowadzono na glebie płowej wytworzonej z piasku gliniastego mocnego, o odczynie obojętnym, średniej zasobności w przyswajalny fosfor, potas i magnez. Zawartość węgla organicznego wynosiła 0,82%. Doświadczenie założono w układzie split-blok, w trzech powtórzeniach. Badano dwa czynniki. I. Nawożenie wsiewką międzyplonową: obiekt kontrolny (bez nawożenia wsiewką międzyplonową), obornik (nawóz naturalny przyorany jesienią), wsiewka międzyplonowa – biomasa przyorana jesienią (nostrzyk biały, nostrzyk biały + życica westerwoldzka, życica westerwoldzka), wsiewka międzyplonowa – biomasa pozostawiona do wiosny w formie mulczu (nostrzyk biały, nostrzyk biały + życica westerwoldzka, życica westerwoldzka). II. System produkcji: integrowany i ekologiczny.

Doświadczenie założono w stanowisku po owsie. Resztki poźniwne owsa przyorano podorywką. Następnie wykonano kilkukrotne bronowanie i orkę przedzimową. Na wiosnę wsiewki międzyplonowe wsiewano w pszenżyto jare uprawiane na ziarno. W pierwszym roku po nawożeniu wsiewkami międzyplonowymi uprawiano ziemniaki jadalne odmiany Zeus. Jest to odmiana jadalna, średnio późna, dość odporna (7) na wirus Y ziemniaka, średnio odporna na wirus liściozwoju ziemniaka (5), odporna na zarazę ziemniaka (6). W integrowanym systemie produkcji ziemniaka wczesną wiosną rozsiano nawozy mineralne, których ilość w przeliczeniu na 1 ha wynosiła: 90 kg N, 36,9 kg P i 99,6 kg K. Dawki nawożenia mineralnego dostosowano do zasobności gleby i wielkości przewidywanego plonu. Na poletkach, na których jesienią wykonano orkę przedzimową, nawozy mineralne wymieszano z glebą za pomocą kultywatora zagregatowanego z broną. Natomiast na poletkach z mulczem stosowano bronę talerzową i kultywator. W ekologicznym systemie produkcji zamiast nawożenia mineralnego, stosowano obornik w dawce 30 t·ha⁻¹ pod pszenżyto jare uprawiane z wsiewkami międzyplonowymi. Ziemniaki wysadzano w 3. dekadzie kwietnia, a zbierano w 2. dekadzie września. W integrowanym systemie produkcji, na plantacji ziemniaka stosowano pielęgnację mechaniczno-chemiczną. Do wschodów co 7 dni ziemniaki obsypywano i bronowano, a tuż przed wschodami wykonano opryskiwanie mieszką herbicydową Afalon 50 WP + Reglone Turbo 200 SL (1 kg + 1 dm³·ha⁻¹). Stonkę ziemniaczaną zwalczano preparatem Fastac (0,1 dm³·ha⁻¹), a zarazę ziemniaczaną fungicydem Ridomil MZ 72 WP (2 dm³·ha⁻¹). Natomiast w ekologicznym systemie produkcji chwasty zwalczano mechanicznie. Od posadzenia do zwarcia rzędów, co 7 dni stosowano obsypnik z broną. Stonkę ziemniaczaną zwalczano preparatem Novodor (2,5 dm³·ha⁻¹), a zarazę ziemniaczaną fungicydem Miedzian 50 WP (4 kg·ha⁻¹). Podczas zbioru ziemniaka, z każdego poletka pobrano próby bulw w celu określenia cech konsumpcyjnych. Ciemnienie miąższu bulw surowych i po ugotowaniu oceniono według barwnych tablic, w odwróconej 9-stopniowej skali duńskiej; liczbą 9 oznaczono miąższ niezmienny, a liczbą 1 miąższ czarny. Zmiany barwy miąższu surowego bulw oceniono po 4 godzinach od chwili pokrojenia ziemniaka, a ugotowanego po 2 i 24 godzinach. Oceny smakowitości dokonano przy użyciu 9-stopniowej skali, przy czym ocenę 9 przyjęto za

bardzo dobrą, a ocenę 1 za bardzo złą. Próbkę były zakodowane. Badania przeprowadzono na 10 połówkach bulw ziemniaka. Ocenę smakowitości przeprowadziły 4 osoby w wieku od 23 do 50 lat.

Każdą z badanych cech poddano analizie wariancji zgodnie ze schematem układu split-blok. W przypadku istotnych źródeł zmienności dokonano szczegółowego porównania średnich testem Tuckeya.

Lata prowadzenia badań charakteryzowały się znacznym zróżnicowaniem warunków pogodowych. Największą sumę opadów odnotowano w 2008 roku. W tym też roku średnia temperatura była niższa o 0,4°C od średniej temperatury wieloletniej. W 2009 roku suma opadów była niższa niż w 2008 roku, ale wyższa od sumy wieloletniej. Średnia miesięczna temperatura oscylowała wokół średniej wieloletniej. W 2007 roku odnotowano najmniejszą sumę opadów, przy najwyższej temperaturze.

WYNIKI

Ciemnienie mięszu surowego bulw ziemniaka było istotnie modyfikowane przez badane czynniki doświadczenia i ich współdziałanie (tab. 1).

Tabela 1

Ciemnienie mięszu surowego bulw ziemniaka po 4 godzinach w zależności od nawożenia wsiewką międzyplonową i systemu produkcji, skala 9° (średnie z lat 2007–2009)
Darkening of raw tuber flesh determined after 4 hours depending on fertilization with undersown catch crops and production systems, 9-degree scale (means for the years 2007–2009)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown catch crop fertilization	System produkcji Production system		Średnie Means
	integrowany integrated	ekologiczny organic	
Obiekt kontrolny Control object	6,6	7,2	6,9
Obornik Farmyard manure	7,2	7,6	7,4
Nostrzyk biały White melilot	7,4	7,9	7,7
Nostrzyk biały + życica westerwoldzka White melilot + westerwolds ryegrass	7,2	7,6	7,4
Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	6,8	7,2	7,0
Nostrzyk biały — mulcz White melilot — mulch	7,8	8,3	8,1
Nostrzyk biały + życica westerwoldzka — mulcz White melilot + westerwolds ryegrass — mulch	7,6	8,0	7,8
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwolds ryegrass — mulch	7,0	7,4	7,2
Średnie Means	7,2	7,7	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Undersown catch crop fertilization			0,3
System produkcji — Production system			0,1
Interakcja — Interaction			0,4

Na obiektach nawożonych nostrzykiem białym zarówno przyorany jesienią, jak i pozostawionym do wiosny w formie mulczu oraz na obiekcie nawożonym mieszanką nostrzyku białego z życią westerwoldzką stosowaną w formie mulczu odnotowano najniższy stopień ciemnienia miąższu surowego bulw, który istotnie różnił się od stopnia ciemnienia miąższu bulw nawożonych obornikiem. Na pozostałych obiektach nawożonych biomasą wsiewek międzyplonowych, z wyjątkiem życicy westerwoldzkiej przyoranej jesienią stopień ciemnienia miąższu bulw nie różnił się istotnie od odnotowanego na oborniku. Natomiast na obiekcie kontrolnym odnotowano najwyższy stopień ciemnienia miąższu bulw. Był on wyższy (średnio o 0,7 pkt.) od stopnia ciemnienia miąższu bulw ziemniaka nawożonego wsiewkami międzyplonowymi. Ciemnienie miąższu surowego bulw ziemniaka różnicował także system produkcji. W mniejszym stopniu ciemniał miąższ bulw surowych w ekologicznym niż w integrowanym systemie produkcji. Wykazano współdziałanie badanych czynników, z którego wynika, że najniższym stopniem ciemnienia miąższu surowego charakteryzowały się bulwy ziemniaka nawożonego nostrzykiem białym oraz mieszanką nostrzyku białego z życią westerwoldzką stosowanymi w formie mulczu w ekologicznym systemie produkcji, a najwyższym stopniem ciemnienia bulwy ziemniaka zebrane z obiektu kontrolnego w integrowanym systemie produkcji.

Tabela 2

Ciemnienie miąższu ugotowanego bulw ziemniaka po 2 godzinach w zależności od nawożenia wsiewką międzyplonową i systemu produkcji, skala 9° (średnie z lat 2007–2009)
After-cooking darkening of tuber flesh determined after 2 hours depending on fertilization with undersown catch crops and production systems, 9-degree scale (means for the years 2007–2009)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown catch crop fertilization	System produkcji Production system		Średnie Means
	integrowany integrated	ekologiczny organic	
Obiekt kontrolny Control object	7,4	7,9	7,6
Obornik Farmyard manure	7,9	8,3	8,2
Nostrzyk biały White melilot	8,3	8,6	8,4
Nostrzyk biały + życica westerwoldzka White melilot + westerwolds ryegrass	8,1	8,4	8,2
Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	7,7	8,3	7,9
Nostrzyk biały — mulcz White melilot — mulch	8,5	8,9	8,6
Nostrzyk biały + życica westerwoldzka — mulcz White melilot + westerwolds ryegrass — mulch	8,3	8,7	8,4
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwolds ryegrass — mulch	7,9	8,2	8,0
Średnie Means	8,0	8,4	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Undersown catch crop fertilization			0,3
System produkcji — Production system			0,2
Interakcja — Interaction			0,4

Analiza statystyczna wykazała istotny wpływ nawożenia wsiewką międzyplonową, systemu produkcji i ich współdziałania na ciemnienie miąższu ugotowanego bulw ziemniaka po 2 i 24 godz. (tab. 2 i 3). Stopień ciemnienia miąższu ugotowanego bulw ziemniaka na obiektach nawożonych biomasą wsiewek międzyplonowych, z wyjątkiem nostryku białego pozostawionego do wiosny w formie mulczu nie różnił się istotnie od odnotowanego na oborniku. Bulwy ziemniaka nawożone nostrykiem białym stosowanym w formie mulczu były najjaśniejsze. Natomiast najintensywniejsze nasilenie barwy szarej miąższu ugotowanego odnotowano w bulwach zebranych z obiektu kontrolnego zarówno po 2 i 24 h. Ciemnienie miąższu ugotowanego bulw ziemniaka różnicował także system produkcji. Ziemniaki uprawiane w ekologicznym systemie produkcji wyróżniały się niższym stopniem ciemnienia miąższu ugotowanego po 2 i 24 h niż bulwy ziemniaka uprawianego w integrowanym systemie produkcji.

Tabela 3

Ciemnienie miąższu ugotowanego po 24 godzinach w zależności od nawożenia wsiewką międzyplonową i systemu produkcji, skala 9° (średnie z lat 2007–2009)

After-cooking darkening of tuber flesh determined after 24 hours depending on fertilization with undersown catch crops and production systems, 9-degree scale (means for the years 2007–2009)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown catch crop fertilization	System produkcji Production system		Średnie Means
	integrowany integrated	ekologiczny organic	
Obiekt kontrolny Control object	7,2	7,6	7,4
Obornik Farmyard manure	7,7	8,1	7,9
Nostryk biały White melilot	8,0	8,4	8,2
Nostryk biały + życica westerwoldzka White melilot + westerwolds ryegrass	7,8	8,1	8,0
Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	7,4	8,0	7,7
Nostryk biały — mulcz White melilot — mulch	8,2	8,6	8,4
Nostryk biały + życica westerwoldzka — mulcz White melilot + westerwolds ryegrass — mulch	8,0	8,4	8,2
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwolds ryegrass — mulch	7,6	8,0	7,8
Średnie Means	7,7	8,1	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Undersown catch crop fertilization			0,2
System produkcji — Production system			0,1
Interakcja — Interaction			0,4

Ze współdziałania badanych czynników wynika, że najjaśniejszą barwą miąższu ugotowanego zarówno po 2 i 24 h charakteryzowały się bulwy ziemniaka nawożone nostrykiem białym zarówno przyorany jesienią, jak i pozostawionym do wiosny w formie mulczu oraz mieszkanką nostryku białego z życicą westerwoldzką pozostawioną do wiosny w formie mulczu w ekologicznym systemie produkcji, a najintensywniejszym

nasileniem barwy szarej bulwy ziemniaka zebrane z obiektu kontrolnego w integrowanym systemie produkcji.

Smakowitość bulw ziemniaka była istotnie różnicowana przez badane czynniki doświadczenia i ich współdziałanie (tab. 4).

Tabela 4

Smakowitość bulw ziemniaka w zależności od nawożenia wsiewką międzyplonową i systemu produkcji, skala 9° (średnie z lat 2007–2009)
Potato tuber flavour depending on fertilization with undersown catch crops and production systems, 9-degree scale (means for the years 2007–2009)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown catch crop fertilization	System produkcji Production system		Średnie Means
	integrowany integrated	ekologiczny organic	
Obiekt kontrolny Control object	6,2	5,7	6,0
Obornik Farmyard manure	6,9	6,5	6,7
Nostrzyk biały White melilot	8,1	7,6	7,9
Nostrzyk biały + życica westerwoldzka White melilot + westerwolds ryegrass	7,7	7,2	7,5
Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	7,3	6,8	7,1
Nostrzyk biały — mulcz White melilot — mulch	8,4	8,0	8,2
Nostrzyk biały + życica westerwoldzka — mulcz White melilot + westerwolds ryegrass — mulch	8,0	7,5	7,8
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwolds ryegrass — mulch	7,5	7,1	7,3
Średnie Means	7,5	7,1	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Undersown catch crop fertilization			0,3
System produkcji — Production system			0,2
Interakcja — Interaction			0,4

Nawożenie biomasą wsiewek międzyplonowych wpływało korzystnie na smakowitość bulw ziemniaka. Bulwy nawożone wsiewkami międzyplonowymi wyróżniały się lepszą smakowitością, średnio o 0,9 pkt. od bulw nawożonych obornikiem i o 1,6 pkt. od bulw zebranych z obiektu kontrolnego. Najlepszą smakowitością charakteryzowały się bulwy ziemniaka nawożonego nostrzykiem białym zarówno przyorany jesienią, jak i pozostawionym do wiosny w formie mulczu. Smakowitość bulw ziemniaka różnicował także system produkcji. Ziemniaki uprawiane w integrowanym systemie produkcji charakteryzowały się lepszą smakowitością niż w ekologicznym systemie produkcji. Ze współdziałania nawożenia biomasą wsiewek międzyplonowych z systemem produkcji wynika, że najlepszym smakiem wyróżniały się bulwy ziemniaka nawożonego nostrzykiem białym zarówno przyorany jesienią, jak i pozostawionym do wiosny w formie mulczu w integrowanym systemie produkcji, a najgorszym smakiem bulwy zebrane z obiektu kontrolnego w ekologicznym systemie produkcji.

DYSKUSJA

Z punktu widzenia wartości konsumpcyjnej ziemniaka jadalnego istotna jest ocena stopnia ciemnienia miąższu surowego i ugotowanego oraz smakowitość bulw (Zgórska i Frydecka-Mazurczyk, 2000; Grudzińska i Zgórska, 2006). Zdaniem Zgórskiej i Frydeckiej-Mazurczyk (2000) oraz Kaabera i in. (2002) brązowienie (ciemnienie ziemniaków), pomimo, że nie oddziałuje na smak i wartość żywieniową stanowi poważny problem w przemyśle spożywczym. Ciemnienie miąższu bulw surowych ziemniaka nawożonego obornikiem jest skutkiem enzymatycznego utleniania związków fenolowych. Ciemnienie bulw gotowanych jest z kolei procesem nieenzymatycznym. Intensywność ciemnienia zależy od zawartości związków fenolowych i jest w znacznej mierze cechą genetyczną. Ilość tych związków zależy od warunków edaficznych m.in. typu gleby, warunków meteorologicznych okresie wegetacji, nawożenia oraz stopnia dojrzałości bulw, itp. (Sawicka, 1991; Zgórska i Frydecka-Mazurczyk, 2000, Ding i in. 2002). W badaniach własnych nawożenie biomasą wsiewek międzyplonowych istotnie modyfikowało ciemnienie miąższu bulw. Na obiektach nawożonych nostrykiem białym zarówno przyorany jesienią, jak i pozostawiony do wiosny w formie mulczu oraz na obiekcie nawożonym mieszanką nostryku białego z życią westerwoldzką stosowaną w formie mulczu odnotowano najniższy stopień ciemnienia miąższu surowego i ugotowanego bulw ziemniaka. Na pozostałych obiektach nawożonych biomasą wsiewek międzyplonowych, z wyjątkiem życicy westerwoldzkiej przyoranej jesienią stopień ciemnienia miąższu bulw nie różnił się istotnie od odnotowanego na oborniku. Również badania Płazy i in. (2010) wykazały, że ziemniaki uprawiane po międzyplonach, z wyjątkiem gorczycy białej wykazywały mniejszą tendencję do ciemnienia miąższu surowego i ugotowanego niż bulwy ziemniaka uprawianego na obiekcie kontrolnym. Powyższą zależność potwierdzają badania Ceglarka i in. (1998) oraz Różyty (2002), którzy wykazali, że ziemniaki uprawiane tylko na nawozach mineralnych charakteryzowały się większym nasileniem barwy szarej niż ziemniaki uprawiane na oborniku czy nawozach zielonych. Jest to zbieżne z wynikami badań własnych.

System produkcji także istotnie różnicował ciemnienie miąższu bulw surowych. W przeprowadzonym doświadczeniu ziemniaki uprawiane w ekologicznym systemie produkcji wyróżniały się niższym stopniem ciemnienia miąższu surowego i ugotowanego bulw niż ziemniaki uprawiane w integrowanym systemie produkcji. Jest to zbieżne z wynikami badań Sawickiej i Kusia (2002), Danilčenko i Trečioakaite-Jarine (2002), Sawickiej i in. (2006) oraz Zarzyńskiej i Goliżewskiego (2006), którzy wykazali, że bulwy z systemu ekologicznego w porównaniu z integrowanym odznaczały się mniejszym ciemnieniem miąższu surowego i ugotowanego.

Smakowitość uznawana jest za najbardziej subiektywną cechę charakteryzującą ziemniaki jadalne. W omawianym doświadczeniu wykazano, że smakowitość bulw ziemniaka nawożonego biomasą wsiewek międzyplonowych zarówno przyoranych jesienią, jak i pozostawionych do wiosny w formie mulczu dorównywała, a nawet przewyższała smakowitość bulw ziemniaka nawożonego obornikiem. Na szczególne podkreślenie zasługuje tu nostryk biały zarówno przyorany jesienią, jak i pozostawiony

do wiosny w formie mulczu, po zastosowaniu którego ziemniaki charakteryzowały się najlepszym smakiem. Jest to zbieżne z wynikami badań Ceglarka i in. (1998), Różyły (2002) oraz Płazy i in. (2010). Należy tłumaczyć to tym, iż stanowiska dla ziemniaka jadalnego użyźnione roślinami motylkowatymi charakteryzują się lepszym zbilansowaniem składników odżywczych oraz prawidłowym przebiegiem procesu ich udostępniania dla roślin.

System produkcji także różnicował smakowość bulw ziemniaka. W badaniach własnych wykazano, że ziemniaki uprawiane w integrowanym systemie produkcji charakteryzowały się lepszym smakiem niż ziemniaki uprawiane w ekologicznym systemie produkcji. Natomiast wyniki szczegółowych badań prowadzonych w Szwecji (Warman i Havard, 1998) pokazują, że ziemniaki wyprodukowane w gospodarstwach ekologicznych charakteryzowały się wyższą oceną smakową. Badania Zarzyńskiej i Goliszewskiego (2006) również potwierdziły lepszą smakowość bulw pochodzących z upraw ekologicznych. Powyższe rozbieżności wynikają ze zróżnicowanego składu chemicznego bulw ziemniaka.

WNIOSKI

1. Należy nawozić ziemniaki nostrzykiem białym, a także mieszką nostrzyku białego z życią westerwoldzką zarówno przyorany jesienią, jak i pozostawionymi do wiosny w formie mulczu, aby uzyskać najlepsze cechy konsumpcyjne bulw.
2. Najkorzystniej na omawiane cechy, a zwłaszcza na smakowość bulw oddziaływało nawożenie nostrzykiem białym zarówno przyorany jesienią, jak i pozostawionym do wiosny w formie mulczu. Lepiej stosować nostrzyk biały niż obornik.
3. Stopień ciemnienia miąższu surowego i ugotowanego bulw ziemniaka uprawianego w ekologicznym systemie produkcji był istotnie niższy niż w integrowanym systemie produkcji.

LITERATURA

- Ceglarek F., Płaza A., Buraczyńska D., Jabłońska-Ceglarek R. 1998. Alternatywne nawożenie organiczne ziemniaka jadalnego w makroregionie środkowo-wschodnim. Cz. II. Wartość odżywcza i konsumpcyjna ziemniaka. *Rocz. Nauk Rol., Ser. A, T. 113, Zesz. 2–3*: 189 — 201.
- Daniłchenko H., Trečiokaite-Jarine E. 2002. Wpływ ekologicznego i integrowanego systemu produkcji ziemniaków na skład chemiczny bulw i jakość otrzymanych produktów. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 489: 309 — 318.
- Ding C.K., Chachin K., Ueda Y., Wang C.Y. 2002. Inhibition of loquat enzymatic browning by sulfhydryl compounds. *Food Chem.* 76: 213 — 218.
- Grudzińska M., Zgórska K. 2006. Ciemnienie enzymatyczne miąższu bulw ziemniaka w zależności od odmiany. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 511: 579 — 584.
- Hamouz K., Lachman J., Dvořák P., Pivec V. 2005. The effect of ecological growing on the potatoes yields and quality. *Plant Soil Environ.* 51: 397 — 402.
- Kaaber L., Martinsen B.K., Brathen E., Shomer I. 2002. Browning inhibition and textural changes of pre-peeled potatoes caused by anaerobic conditions. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 35 (6): 526 — 531.

- Plaža A., Ceglarek F., Królikowska M.A. 2010: The influence of intercrops and farmyard manure fertilization in changeable weather conditions on consumption value of potato tubers. *J. Centr. Europ. Agric.* 11 (1): 47 — 54.
- Różyło K. 2002. Wstępna ocena walorów konsumpcyjnych odmiany Irga różnie nawożonej na glebie lekkiej i ciężkiej. *Mat. konf. nauk. nt. „Ziemniak spożywczy i przemysłowy oraz jego przetwarzanie. Perspektywy ekologicznej produkcji ziemniaka w Polsce”*, AR Wrocław: 97 — 98.
- Sawicka B. 1991. Próba ustalenia niektórych czynników środowiska i zabiegów agrotechnicznych na ciemnienie miąższu bulw ziemniaka. *Biul. IHAR* 179: 67 — 75.
- Sawicka B. 2000. Wpływ technologii produkcji na jakość bulw ziemniaka. *Pam. Puł.* 120: 391 — 401.
- Sawicka B., Kuś J. 2002. Zmienność składu chemicznego bulw ziemniaka w warunkach ekologicznego i integrowanego systemu produkcji. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 489: 273 — 282.
- Sawicka B., Kuś J., Barbaś P. 2006. Ciemnienie miąższu bulw ziemniaka w warunkach ekologicznego i integrowanego systemu uprawy. *Pam. Puł.* 142: 445 — 457.
- Warman P. R., Havard K. A. 1998. Yield, vitamin and mineral contents of organically and conventionally grown potatoes and seed corn. *Agric. Eco. Env.* 68 (3): 207 — 216.
- Zarzyńska K., Goliszewski W. 2006. Uprawa ziemniaka w systemie ekologicznym i integrowanym a jakość plonu bulw. *Pam. Puł.* 142: 617 — 626.
- Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A. 2000. Wpływ warunków w czasie wegetacji oraz temperatury przechowywania na cechy jakości ziemniaków przeznaczonych do przetwórstwa. *Biul. IHAR* 213: 239 — 251.

WIESŁAW MAŁDRY
ADRIANA DEREJKO

Katedra Doświadczalnictwa i Bioinformatyki
 Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa

Metody statystyczne analizy danych w kompletnej klasyfikacji Odmiana $\times$ Agrotechnika $\times$ Miejscowość $\times$ Rok $(G \times M \times L \times Y)$ z PDOiR

Statistical methods for data analysis in the complete classification Cultivar $\times$ Crop Management $\times$ Location $\times$ Year $(G \times M \times L \times Y)$ from PVTs

Doświadczenia porejestrowe są prowadzone od 1998 roku w ramach Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego i Rolniczego (PDOiR). W tym systemie wykonuje się serie doświadczeń odmianowych i odmianowo-agrotechnicznych. Doświadczenia PDOiR stanowią ostatni etap wdrażania postępu biologicznego do praktyki rolniczej. Pod względem merytorycznym i metodycznym system PDOiR jest koordynowany przez Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych. Realizacja serii doświadczeń w PDOiR odbywa się na terenie całego kraju w środowiskach (stacjach doświadczalnych) dobrze reprezentujących przestrzenną zmienność agro-ekosystemów w najważniejszych rejonach uprawy danego gatunku roślin w Polsce. W niniejszej pracy przedstawione zostały podstawy teoretyczne proponowanych, klasycznych, adaptowanych i adekwatnie rozwiniętych metod statystycznych, tj. łączna analiza wariancji, szczegółowe porównania wielokrotne, analiza AMMI oraz analiza skupień. Ponadto zaprezentowano użyteczność tych metod do wykorzystania ich w analizie danych w kompletnej klasyfikacji Odmiana $\times$ Agrotechnika $\times$ Miejscowość $\times$ Rok, pochodzących z PDOiR.

Słowa kluczowe: model mieszany ANOVA, łączna analiza wariancji, analiza AMMI, analiza skupień, Porejestrowe Doświadczalnictwo Odmianowe i Rolnicze (PDOiR)

Postregistration Experiments are conducted since 1998 as part of the Post-registration Variety Testing System (PVTs). In this system series of varietal and varietal-agronomic experiments are performed. Experiments in PVTs represent the last stage in the implementation of biological progress to agricultural practice. PVTs is coordinated by the Research Centre for Cultivar Testing in terms of design and methodology. The implementation of a series of experiments in PVTs is held throughout the country in environments (Cultivar Testing Stations) representing well the spatial variability of agro-ecosystems in the major growing areas of the particular plant species in Poland. In this paper the

theoretical basis is proposed, as well as classical, adapted and adequately developed statistical methods, i.e. the combined analysis of variance, multiple comparison, AMMI analysis and cluster analysis are presented. Moreover, the usefulness of these methods for analyzing the data in the complete classification of Cultivar $\times$ Crop Management $\times$ Location Year, coming from PVTs is presented.

Key words: mixed linear ANOVA model, combined analysis of variance, AMMI analysis, cluster analysis, Post-registration Variety Testing System (PVTs)

ŁĄCZNA ANALIZA WARIANCJI

Model mieszany łącznej analizy wariancji

Średnie z powtórzeń (tzw. średnie poprawione) badanej cechy rolniczej roślin, zwykle plonu, obliczone na podstawie danych z serii doświadczeń dwuczynnikowych w Porejestrze Doświadczalnictwa Odmianowego i Rolniczym tworzą 4-kierunkową kompletną klasyfikację o postaci Odmiana $\times$ Agrotechnika $\times$ Miejscowość $\times$ Rok ($G \times M \times L \times Y$). Łączna analiza wariancji (ang. combined ANOVA) tych średnich poprawionych może być wykonana na podstawie odpowiedniego modelu liniowego. Taki model jest stosowany w dwustopniowej analizie danych z serii doświadczeń odmianowych lub odmianowo-agrotechnicznych (Smith i in., 2005; Piepho i Möhring 2006; Möhring i Piepho, 2009; Welham i in., 2010). Analizę danych z serii doświadczeń PDOiR w podejściu dwustopniowym przeprowadzimy w dwóch etapach.

W rozpatrywanych badaniach w pierwszym etapie wykonamy oddzielnie dwuczynnikowe analizy wariancji dla surowych danych, pochodzących z doświadczeń pojedynczych, planowanych w niekompletnym układzie split-block w każdej miejscowości i roku oceny odmian. Analiza wariancji danych z doświadczeń pojedynczych PDOiR, oparta na modelu stałym (odmiana i intensywność agrotechniki są traktowane jako czynniki stałe — Welham i in., 2010) dla układu split-block (Elandt, 1964) jest przedstawiona w tabeli 1. Algorytmy średnich kwadratów dla wszystkich źródeł zmienności są opracowane i oprogramowane w pakiecie SERGEN 4.0 (Caliński i in., 1998). Celem tego postępowania jest wyznaczenie średnich poprawionych (estymatorów BLUE) badanej cechy dla kombinacji odmian i intensywności agrotechniki oraz średnich kwadratów dla trzech błędów doświadczalnych w każdym środowisku (Piepho i in., 2008). Średnie poprawione z wielokrotnej serii doświadczeń PDOiR, wykonanej w kilku latach, porządkuje się w postaci klasyfikacji $G \times M \times L \times Y$ przedstawiono w tabeli 1, gdzie: b_{ij} jest liczbą bloków niekompletnych ze względu na odmiany w pojedynczym doświadczeniu wykonanym w i -tym roku oraz j -tej miejscowości, K_{ij} jest liczbą badanych odmian w pojedynczym doświadczeniu w i -tym roku oraz j -tej miejscowości, Λ jest liczbą badanych poziomów intensywności agrotechniki, $v_{e_1(ij)}$ jest liczbą stopni swobody dla błędu 1 w analizie wariancji danych z doświadczenia w i -tym roku oraz j -tej miejscowości, $s_{e_1(ij)}^2$ jest średnim kwadratem błędu 1 w niekompletnym układzie split-block dla i -tego roku oraz j -tej miejscowości, $v_{e_2(ij)}$ jest liczbą stopni swobody dla błędu 2 w analizie wariancji danych z doświadczenia w i -tym roku oraz j -tej miejscowości, $s_{e_2(ij)}^2$ jest średnim kwadratem błędu 2 w niekompletnym układzie split-block dla i -tego roku oraz j -tej miejscowości, $v_{e_3(ij)}$ jest

liczbą stopni swobody dla błędu 3 w analizie wariancji danych z doświadczenia w i -tym roku oraz j -tej miejscowości, $s_{e_{3(ij)}}^2$ jest średnim kwadratem błędu 3 w niekompletnym układzie *split-block* dla i -tego roku oraz j -tej miejscowości.

Tabela 1

Tabela analizy wariancji danych z pojedynczego, w i -tym ($i=1,2, \dots, I$) roku oraz j -tej ($j=1,2, \dots, J$) miejscowości, doświadczenia dwuczynnikowego w Porejestrwym Doświadczalnictwie Odmianowym i Rolniczym, założonego w niekompletnym układzie *split-block*
Analysis of variance, data from a single two-factorial experiment in an incomplete split-block setup, in an i^{th} year ($i = 1, 2, \dots, I$) and j^{th} location ($j = 1, 2, \dots, J$), performed within Post-registration Variety Testing System

Źródła zmienności Sources of variation	Stopnie swobody Degrees of freedom	Średnie kwadraty Mean squares	F _{emp.}
Bloki Blocks	$b_{ij}-1$	$M1_{ij}$	
Odmiana Cultivar	$K_{ij}-1$	$M2_{ij}$	$M2_{ij}/s_{e_{1(ij)}}^2$
Błąd 1 Error 1	$V_{e_{1(ij)}}$	$M3_{ij}=s_{e_{1(ij)}}^2$	
Agrotechnika Agrotechnical procedures	$\Lambda-1$	$M4_{ij}$	$M4_{ij}/s_{e_{2(ij)}}^2$
Błąd 2 Error 2	$V_{e_{2(ij)}}$	$M5_{ij}=s_{e_{2(ij)}}^2$	
Odmiana $\times$ Agrotechnika Cultivar $\times$ Agrotechnical procedures	$(K_{ij}-1)(\Lambda-1)$	$M6_{ij}$	$M6_{ij}/s_{e_{3(ij)}}^2$
Błąd 3 Error 3	$V_{e_{3(ij)}}$	$M7_{ij}=s_{e_{3(ij)}}^2$	

W drugim etapie zastosujemy łączną analizę wariancji średnich poprawionych w klasyfikacji $G \times M \times L \times Y$, opartą na odpowiednim modelu analizy wariancji. W rozpatrywanym przypadku taki model powinien zawierać efekty główne i interakcyjne czynników badanych w wielokrotnych seriach doświadczeń PDOiR w wielu latach (uwzględnionych w omawianej klasyfikacji średnich poprawionych) oraz trzy błędy doświadczalne, odpowiednie dla układu *split-block*. W rozważanej metodyce analizy statystycznej średnich poprawionych, trzy czynniki, tj. odmiana, intensywność agrotechniki i miejscowość traktujemy jako stałe, zaś rok uznajemy jako czynnik losowy (McIntosh, 1983; Annicchiarico i in., 2006, 2010 a). Wobec tego, model mieszany łącznej analizy wariancji (standardowy liniowy model mieszany lub mieszany model ANOVA, ang. ANOVA type mixed model — Smith i in., 2005; Hu i Spilke, 2011) dla rozważanych średnich poprawionych w klasyfikacji $G \times M \times L \times Y$ z serii doświadczeń PDOiR, planowanych w układzie *split-block*, ma następującą postać (McIntosh, 1983; Brancourt-Hulmel i in., 2003; Annicchiarico i in., 2010 a):

$$X_{ijkl} = m + Y_i + L_j + YL_{ij} + G_k + GY_{ik} + GL_{jk} + GLY_{ijk} + e_{1ijk} + M_l + MY_{il} + ML_{il} + MLY_{ijl} + e_{2ijl} + GM_{kl} + GMY_{ikl} + GML_{ljk} + GMLY_{ijkl} + e_{3ijkl} \quad (1)$$

gdzie:

X_{ijkl} — jest średnią poprawioną obserwacji plonu z n powtórzeń dla 4-czynnikowej kombinacji i -tego ($i=1,2, \dots, I$) roku, j -tej ($j=1,2, \dots, J$) miejscowości, k -tej ($k=1,2, \dots, K$) odmiany oraz l -tej ($l=1,2, \dots, L$) intensywności agrotechniki,

m — jest średnią ogólną, Y_i jest losowym efektem głównym i -tego roku, L_j jest stałym efektem głównym j -tej miejscowości, G_k jest stałym efektem głównym k -tej odmiany, M_l jest stałym efektem głównym l -tej intensywności agrotechniki, YL_{ij} jest losowym efektem interakcji podwójnej i -tego roku z j -tą miejscowością, GY_{ik} jest losowym efektem interakcji podwójnej k -tej odmiany z i -tym rokiem, GL_{jk} jest stałym efektem interakcji podwójnej k -tej odmiany z j -tą miejscowością, MY_{il} jest losowym efektem interakcji podwójnej l -tej intensywności agrotechniki z i -tym rokiem, ML_{jl} jest stałym efektem interakcji podwójnej l -tej intensywności agrotechniki z j -tą miejscowością, GM_{kl} jest stałym efektem interakcji podwójnej k -tej odmiany z l -tą intensywnością agrotechniki, GLY_{ijk} jest losowym efektem interakcji potrójnej k -tej odmiany z j -tą miejscowością oraz i -tym rokiem, GMY_{ikl} jest losowym efektem interakcji potrójnej k -tej odmiany z l -tą intensywnością agrotechniki oraz i -tym rokiem, GML_{jkl} jest stałym efektem interakcji potrójnej k -tej odmiany z l -tą intensywnością agrotechniki oraz j -tą miejscowością, MLY_{ijl} jest losowym efektem interakcji potrójnej l -tej intensywności agrotechniki z j -tą miejscowością oraz i -tym rokiem, $GMLY_{ijkl}$ jest losowym efektem interakcji poczwórnej k -tej odmiany z l -tą intensywnością agrotechniki, j -tą miejscowością oraz i -tym rokiem, e_{1ijk} , e_{2ijl} oraz e_{3ijkl} są średnimi (poprzez powtórzenia) błędami w układzie split-block, odpowiednio średnim błędem pierwszym, drugim i trzecim, związanymi z obserwacjami X_{ijkl} .

W mieszanym modelu ANOVA (1) przyjmujemy standardowe założenia, że efekty losowe mają rozkłady normalne i są wzajemnie niezależne z jednakową wariancją, σ^2 , w każdej grupie tych efektów (McIntosh, 1983; Smith i in., 2005; Hu i Spilke, 2011). Zatem, przyjmujemy, że

$$\begin{aligned} Y_i &\sim NID(0, \sigma_Y^2), YL_{ij} \sim NID(0, \sigma_{YL}^2), GY_{ik} \sim NID(0, \sigma_{GY}^2), MY_{il} \sim NID(0, \sigma_{MY}^2), \\ GLY_{ijk} &\sim NID(0, \sigma_{GLY}^2), GMY_{jkl} \sim NID(0, \sigma_{GMY}^2), MLY_{ijl} \sim NID(0, \sigma_{MLY}^2) \text{ oraz} \\ GMLY_{ijkl} &\sim NID(0, \sigma_{GMLY}^2), e_{1ijk} \sim NID(0, \sigma_{e_1}^2), e_{2ijl} \sim NID(0, \sigma_{e_2}^2), \\ e_{3ijkl} &\sim NID(0, \sigma_{e_3}^2) \text{ — (de la Vega i in., 2007 b; Peltonen-Sainio i in., 2009; DeLacy i} \\ &\text{in., 2010; Welham i in., 2010).} \end{aligned}$$

Mieszany model łącznej analizy wariancji (1) dla danych kompletnych w klasyfikacji $G \times M \times L \times Y$ jest podstawą estymatorów typu BLUE dla efektów stałych, funkcji liniowych tych estymatorów (średnich obiektowych oraz różnic tych średnich) i ich błędów standardowych, a także łącznej czteroczynnikowej analizy wariancji.

Tabela łącznej analizy wariancji

Na podstawie modelu mieszanego ANOVA (1), można wysunąć wiele hipotez statystycznych, traktujących o zerowych wartościach poszczególnych rodzajów, merytorycznie ważnych efektów czynnikowych. Każda z tych hipotez jest przypuszczeniem badacza o braku odpowiedniego efektu: jednego, dwóch, trzech lub czterech

czynników. Merytorycznie, najważniejsze są hipotezy dotyczące zerowych wartości efektów głównych, interakcji podwójnej i potrójnej dla odmian, intensywności agrotechniki i miejscowości.

Tabela 2

Łączna analiza wariancji oparta na modelu mieszanym dla średnich poprawionych w klasyfikacji $G \times M \times L \times Y$, obliczonych z danych z serii doświadczeń dwuczynnikowych PDOiR, planowanych w układzie split-block z n powtórzeniami

Overall analysis of variance based on a mixed model for corrected means in classification $G \times M \times L \times Y$, that were calculated using data from a series of two-factorial experiments of PVTs planned in a split-block setup with n replications

Źródła zmienności Sources of variation	Stopnie swobody Degrees of freedom	Średnie kwadraty ⁺ Mean squares ⁺	F _{emp}
Rok — year	I-1	M1	M1/M8
Miejscowość — location	J-1	M2	M2/M3
Rok × Miejscowość — year × location	(I-1)(J-1)	M3	M3/M8
Odmiana — cultivar	K-1	M4	M4/M5
Odmiana × Rok — cultivar × year	(I-1)(K-1)	M5	M5/M8
Odmiana × Miejscowość — cultivar × location	(J-1)(K-1)	M6	M6/M7
Odmiana × Miejscowość × Rok	(I-1)(J-1)(K-1)	M7	M7/M8
Cultivar × location × year	(I-1)(J-1)(K-1)	M7	M7/M8
Łączny średni błąd 1 Overall mean error 1	$\sum_{ij} v_{e1(ij)}$	$M8 = S_{e1}^2$	
Agrotechnika — Agrotechnical procedures	$\Lambda-1$	M9	M9/M10
Agrotechnika × Rok	(I-1)($\Lambda-1$)	M10	M10/M13
Agrotechnical procedures × year	(I-1)($\Lambda-1$)	M10	M10/M13
Agrotechnika × Miejscowość	(J-1)($\Lambda-1$)	M11	M11/M12
Agrotechnical procedures × location	(J-1)($\Lambda-1$)	M11	M11/M12
Agrotechnika × Miejscowość × Rok	(I-1)(J-1)($\Lambda-1$)	M12	M12/M13
Agrotechnical procedures × location × year	(I-1)(J-1)($\Lambda-1$)	M12	M12/M13
Łączny średni błąd 2 Overall mean error 2	$\sum_{ij} v_{e2(ij)}$	$M13 = S_{e2}^2$	
Rok — year	(K-1)($\Lambda-1$)	M14	M14/M15
Miejscowość — location	(I-1)(K-1)($\Lambda-1$)	M15	M15/M18
Rok × Miejscowość — year × location	(J-1)(K-1)($\Lambda-1$)	M16	M16/M17
Odmiana — cultivar	(I-1)(J-1)(K-1)($\Lambda-1$)	M17	M17/M18
Łączny średni błąd 3 Overall mean error 3	$\sum_{ij} v_{e3(ij)}$	$M18 = S_{e3}^2$	

⁺ Średnie kwadraty dla wszystkich efektów czynnikowych oblicza się według klasycznych wzorów dla 4-kierunkowej analizy wariancji danych (tutaj średnich poprawionych) w klasyfikacji kompletnej

⁺ Mean squares for all factorial effects were calculated according to the classical method for 4-factorial analysis of variance in data (here: corrected means) in complete classification

Hipotezy o zerowych wartościach efektów głównych badanych czynników wskazują, że nie wpływały one przeciętnie (poprzez poziomy wszystkich pozostałych, badanych czynników) na daną cechę rolniczą rozważanego gatunku roślin. Natomiast, hipotezy o zerowych wartościach efektów interakcji podwójnej i potrójnej, odpowiednio dwóch lub trzech czynników wskazują, że każdy z nich może wpływać w zróżnicowany sposób na badaną cechę, zależnie od poziomów drugiego i trzeciego czynnika. Omawiane hipotezy mogą być testowane za pomocą testu F w łącznej analizie wariancji na podstawie modelu

mieszanego (1) dla średnich w kompletnej klasyfikacji $G \times M \times L \times Y$ z serii doświadczeń PDOiR. Łączna analiza wariancji oparta na modelu (1) została przedstawiona w tabeli 2. Jest ona odpowiednio zmodyfikowaną postacią podobnej analizy wariancji dla wielokrotnej i wieloletniej serii dwuczynnikowych doświadczeń planowanych w układzie split-plot, podaną przez McIntosh (1983). Ta analiza wariancji została odpowiednio dostosowana do układu split-block tych doświadczeń, zgodnie z teorią statystyczną modelowania analizy danych w takim układzie doświadczalnym (Elandt, 1964; Mejza, 1999; Mintenko i in., 2002).

Testowanie istotności efektów głównych odmian (G), intensywności agrotechniki (M), miejscowości (L) i lat (Y), a także interakcji podwójnych, potrójnych i poczwórnej między tymi czynnikami powinno być odpowiednio dostosowane do układu doświadczalnego, w jakim założono doświadczenia oraz do charakteru statystycznego czynników, tzn. traktowania ich jako stałe lub losowe (Elandt, 1964; Annicchiarico 2002 b; Mintenko i in., 2002; Annicchiarico i in., 2010 a). Testowanie hipotez o braku rozważanych efektów czynnikowych za pomocą testu F, zostało przedstawione w tabeli 2. Istotność efektów głównych dla czynników stałych, tj. odmian, agrotechniki i miejscowości oraz ich efektów interakcji jest testowana za pomocą testu F, w którym statystyki F_{emp} są określone jako ilorazy średnich kwadratów dla każdego z tych efektów oraz średnich kwadratów dla interakcji testowanych efektów z latami, jako czynnikiem losowym (McIntosh, 1983; Elandt, 1964; Annicchiarico, 2002 b; Annicchiarico i in., 2010 a). Do testowania istotności efektów głównych lat i efektów interakcji czynników stałych z latami wykorzystuje się funkcje testowe F_{emp} , które są ilorazami średnich kwadratów dla tych efektów i średnich kwadratów dla odpowiadających im błędów — 1, 2 lub 3 (McIntosh, 1983). W omawianych seriach doświadczeń odmianowo-agrotechnicznych uznanie odmiany, agrotechniki i miejscowości za czynniki stałe, ma swoją konsekwencję metodyczno-statystyczną. Polega ona na odnoszeniu wniosków o plonowaniu badanego gatunku roślin tylko do tych odmian, intensywności agrotechniki i miejscowości, które uczestniczyły w serii doświadczeń PDOiR.

Szczegółowa analiza porównawcza średnich

W celu przeprowadzenia wielostronnej analizy statystycznej 4-kieunkowej klasyfikacji danych w postaci Odmiana $\times$ Agrotechnika $\times$ Miejscowość $\times$ Rok, łączna analiza wariancji powinna być uzupełniona o szczegółowe porównanie różnych średnich obiektowych, stanowiących wartości liniowych funkcji estymatorów BLUE dla efektów stałych w modelu (1), tj. średnich dla poziomów niektórych badanych czynników stałych oraz średnich dla kombinacji dwuczynnikowych). Takie postępowanie można przeprowadzić za pomocą odpowiednich metod wielokrotnych porównań średnich. Umożliwia ono szczegółową ocenę:

1. przeciętnego wpływu każdego z badanych czynników (głównie odmian i intensywności agrotechniki) na badaną cechę roślin, za pomocą porównania średnich dla poziomów każdego z tych czynników,
2. zróżnicowania średnich odmianowych (obliczonych poprzez miejscowości i lata) przy każdej intensywności agrotechniki, za pomocą porównania odpowiednich średnich dla odmian przy każdej agrotechnice,

3. reakcji odmian pod względem badanej cechy na intensywność agrotechniki, średnio poprzez miejscowości i lata, za pomocą porównania odpowiednich średnich dla badanych intensywności agrotechniki w odniesieniu do każdej z odmian,
4. reakcji odmian na intensywność agrotechniki, średnio poprzez lata, oddzielnie w różnych grupach środowisk rolniczych, za pomocą porównania odpowiednich średnich dla agrotechniki w odniesieniu do każdej z odmian w grupach miejscowości,
5. przeciętnej reakcji danej cechy roślin rozpatrywanego gatunku (średniej reakcji poprzez odmiany i lata) na intensywność agrotechniki w każdym badanym środowisku rolniczym, za pomocą porównania odpowiednich średnich dla intensywności agrotechniki w każdej z badanych miejscowości.

Istnieje wiele różnych metod wielokrotnych porównań średnich, opartych na różnych procedurach jednoczesnego testowania istotności różnic między średnimi. Często stosowane są metody Tukeya oraz Newman-Keulsa (N-K), stanowiące rozwinięcie zwykłego testu t-Studenta do porównań średnich dla dwóch obiektów (Mądry, 2003; Quinn i Keough, 2003; Steinberg, 2011). Dla obu tych metod najmniejsza istotna różnica (NIR) jest obliczana według tej samej ogólnej zasady, jako iloczyn oceny błędu standardowego różnicy średnich (s_r) i wartości krytycznej, $t_{\alpha, \nu}$, odpowiedniego rozkładu teoretycznego dla stopni swobody, ν , błędu doświadczalnego oraz przy poziomie istotności α , zapewniającym wymagany jednoczesny poziom istotności porównań wielokrotnych średnich, nie mniejszy, niż 0,05. Gdy liczba porównywanych średnich obiektowych wynosi 2, wówczas stosuje się zwykły test t-Studenta (Elandt, 1964; Steinberg, 2011). Jego wykorzystanie w klasyfikacji danych w postaci $G \times M \times L \times Y$ może być uzasadnione przy porównaniu odpowiednich średnich tylko dla dwóch badanych intensywności agrotechniki. Taki przypadek jest typowy dla doświadczeń PDOiR ze zbożami.

Najmniejsza istotna różnica (NIR) do porównania różnych rodzajów średnich dla dwóch badanych intensywności agrotechniki, oparta na teście t-Studenta, ma ogólną postać:

$$NIR_{\alpha} = t_{\alpha, \nu} s_r \quad (2)$$

gdzie:

$t_{\alpha, \nu}$ jest wartością krytyczną rozkładu t-Studenta z ν stopniami swobody dla odpowiedniej interakcji z latami przy poziomie istotności α ,

$s_r = \sqrt{\frac{2M \bullet}{N}}$ jest standardowym błędem różnicy dwóch średnich obliczonych z N obserwacji (średnich poprawionych w klasyfikacji $G \times M \times L \times Y$), $M \bullet$ jest średnim kwadratem odpowiedniej interakcji porównywanych efektów z rokiem, jako czynnikiem losowym, określonym w łącznej analizie wariancji (tab. 2).

Wobec podanych zasad ogólnych, w naszym przypadku NIR_{α} , odpowiednia do porównania średnich dla dwóch intensywności agrotechniki u każdej z badanych odmian, obliczonych poprzez I lat oraz J miejscowości, $\bar{x}_{kl}$, ma postać:

$$NIR_{\alpha, (\bar{x}_{kl=1} - \bar{x}_{kl=2})} = t_{\alpha, v=(I-1)(K-1)(\Lambda-1)} \sqrt{\frac{2M15}{IJ}} \quad (3)$$

gdzie: $t_{\alpha, v=(I-1)(K-1)(\Lambda-1)}$ jest wartością krytyczną rozkładu t-Studenta przy poziomie istotności α , dla liczby stopni swobody, v , średniego kwadratu ($M15$), dotyczącego interakcji odmiana $\times$ intensywność agrotechniki $\times$ rok w łącznej analizie wariancji.

Natomiast NIR_{α} , odpowiednia do porównania średnich dla dwóch intensywności agrotechniki u każdej z badanych odmian, obliczonych poprzez I lat oraz grupę $Z < J$ miejscowości, $\bar{x}'_{kl}$, ma postać:

$$NIR_{\alpha, (\bar{x}'_{kl=1} - \bar{x}'_{kl=2})} = t_{\alpha, v=(I-1)(K-1)(\Lambda-1)} \sqrt{\frac{2M15}{IZ}} \quad (4)$$

(użyte symbole, oprócz Z , mają znaczenie takie, jak w formule (3).

Natomiast, NIR_{α} , odpowiednia do porównania średnich dla dwóch intensywności agrotechniki w każdej z badanych miejscowości, obliczonych poprzez I lat oraz K odmian, $\bar{x}_{jl}$, ma postać:

$$NIR_{\alpha, (\bar{x}_{jl=1} - \bar{x}_{jl=2})} = t_{\alpha, v=(I-1)(J-1)(\Lambda-1)} \sqrt{\frac{2M12}{IK}} \quad (5)$$

gdzie: $t_{\alpha, v=(I-1)(J-1)(\Lambda-1)}$ jest wartością krytyczną rozkładu t-Studenta przy poziomie istotności α , dla liczby stopni swobody, v , średniego kwadratu ($M12$), dotyczącego interakcji intensywność agrotechniki $\times$ miejscowość $\times$ rok w łącznej analizie wariancji.

W celu dokonania wielokrotnych porównań średnich dla liczby obiektów większej, niż 2, można zastosować procedurę Newmana-Keulsa (Wójcik i Laudański, 1989; Mądry 2003; Steinberg, 2011). W rozpatrywanych badaniach jesteśmy zainteresowani wielokrotnym porównaniem średnich odmianowych, $\bar{x}_k$, obliczonych poprzez I lat, J miejscowości oraz Λ (w ogólnym przypadku) intensywności agrotechniki. Najmniejsze istotne różnice w procedurze Newmana-Keulsa do porównania wymienionych średnich, mają postać:

$$NIR_{\alpha, (\bar{x}_k - \bar{x}_k')}^{N-K} = q_{\alpha, s, v=(I-1)(K-1)} \sqrt{\frac{2M5}{IJA}} \quad (6)$$

gdzie: $q_{\alpha, s, v=(I-1)(K-1)}$ jest wartością krytyczną studentyzowanego rozstępu przy poziomie istotności α , dla liczby stopni swobody, v , średniego kwadratu ($M5$), dotyczącego interakcji odmiany $\times$ lata w łącznej analizie wariancji oraz s porównywanych odmian, gdzie $s < K$.

Także, jesteśmy zainteresowani wielokrotnym porównaniem średnich odmianowych, $\bar{x}_{kl}$, oddzielnie dla każdej intensywności agrotechniki, obliczonych poprzez I lat oraz J miejscowości. Wobec tego, w celu porównania wymienionych średnich odmianowych oddzielnie dla dwóch intensywności agrotechniki, najmniejsze istotne różnice w procedurze Newmana-Keulsa mają postać:

$$NIR_{\alpha, (\bar{x}_{kl} - \bar{x}_{k\cdot})}^{N-K} = q_{\alpha, s, v=(I-1)(K-1)} \sqrt{\frac{2M5}{IJ}} \quad (7)$$

gdzie:

$q_{\alpha, s, v=(I-1)(K-1)}$ oraz $M5$ są wartościami odpowiednich parametrów podanych we wzorze (6).

BADANIE REAKCJI ODMIAN NA ŚRODOWISKO ZA POMOCĄ ANALIZY AMMI

Model AMMI dla efektów interakcji Odmiana × Miejscowość

Ważnym celem wnioskowania w doświadczeniach odmianowych i odmianowo-agrotechnicznych jest ocena adaptacyjnej reakcji odmian pod względem cech rolniczych na warunki środowiskowe. W tym badaniu polecanym podejściem jest zastosowanie analizy AMMI oraz wykorzystanie i interpretacja jej wyników, wraz z wynikami ANOVA, w celu efektywnej wizualizacji wymienionej reakcji odmian w postaci wykresu planu nominalnego odmian (Annicchiarico, 2002 b; Gauch i in., 2008; Annicchiarico i in., 2010 a; De Vita i in., 2010; Mądry i in., 2012).

Analiza AMMI stałych efektów interakcji GL_{jk} w liniowym modelu mieszanym ANOVA (1) jest oparta na matematycznym ujęciu tych efektów w postaci multiplikatywnej. Ujęcie to polega na podziale efektów interakcji GL_{jk} na składniki, będące iloczynami odpowiednich parametrów multiplikatywnych dla k -tej odmiany oraz j -tej miejscowości (Annicchiarico, 2002 b; Crossa i in., 2002; Gauch i in., 2008), zgodnie ze stałym modelem AMMI dla efektów interakcji Odmiana × Miejscowość, który ma postać (Annicchiarico, 2009; Annicchiarico i in., 2010 a; De Vita i in., 2010):

$$GL_{jk} = \sum_{t=1}^T \lambda_t u_{tk} v_{tj} \quad (8)$$

gdzie:

GL_{jk} jest stałym efektem interakcji dla k -tej ($k=1,2, \dots, K$) odmiany z j -tą ($j=1,2, \dots, J$) miejscowością, u_{tk} jest odmianowym parametrem multiplikatywnym t -tej ($t=1, \dots, T=\min\{(J-1), (K-1)\}$) interakcyjnej składowej głównej dla k -tej odmiany (ang. genotypic score of the t -th interaction principal component, GIPCT) lub odmianowym parametrem t -tego składnika multiplikatywnego efektów interakcji GL_{jk} , v_{tj} jest środowiskowym parametrem multiplikatywnym t -tej interakcyjnej składowej głównej dla j -tej miejscowości (ang. environmental score of the t -th interaction principal component, EIPCT) lub środowiskowym parametrem t -tego składnika multiplikatywnego efektów interakcji GL_{jk} ,

λ_t — jest parametrem skalującym dla t -tego składnika multiplikatywnego.

Można przyjąć, że parametry skalujące, λ_t , są określone w jednostkach miary badanej zmiennej zależnej (X), natomiast parametry odmianowe u_{tk} i środowiskowe v_{tj} są niemianowane. Zatem, każdy t -ty składnik multiplikatywny efektów interakcji GL_{jk} jest wyrażony w jednostkach miary zmiennej zależnej. Nie ma przeszkód, aby parametry

skalujące λ_t były włączone jednocześnie do parametrów odmianowych, u_{tk} i środowiskowych, v_{tj} . Taki zabieg polega na utworzeniu symetrycznie skalowanych parametrów o następującej postaci: $u'_{tk} = u_{tk}\sqrt{\lambda_t}$ oraz $v'_{tj} = v_{tj}\sqrt{\lambda_t}$ (Annicchiarico 2002 b; Ebdon i Gauch, 2002; Gauch i in., 2008; Paderewski, 2008).

Zatem, model (8) przyjmuje postać:

$$GL_{jk} = \sum_{t=1}^T u'_{tk} v'_{tj} \quad (9)$$

Model mieszany łącznej analizy wariancji (1), z wykorzystaniem multiplikatywnej postaci stałych efektów interakcji GL_{jk} (wzór 8), ma następującą postać:

$$X_{ijkl} = m + Y_i + L_j + YL_{ij} + G_k + GY_{ik} + \sum_{t=1}^T u'_{tk} v'_{tj} + GLY_{ijk} + e_{1ijk} + M_l + MY_{il} + ML_{il} + MLY_{ijl} + e_{2ijl} + GM_{kl} + GMY_{ikl} + GML_{ljk} + GMLY_{ijkl} + e_{3ijkl} \quad (10)$$

Równanie (10) stanowi model addytywno-multiplikatywny (ang. linear-bilinear model) — (Crossa i Cornelius, 2002; Crossa i in., 2002, 2010), który jest podstawą dwóch metod statystycznych, tj. analizy wariancji oraz analizy AMMI. Addytywno-multiplikatywny model (10) może być wykorzystany do konstrukcji modelu i wykresu plonu nominalnego odmian, jako narzędzi do analizy adaptacyjnej reakcji odmian na środowisko, przeciętnie poprzez poziomy intensywności agrotechniki oraz lata, na podstawie danych w klasyfikacji kompletnej o postaci Odmiana $\times$ Agrotechnika $\times$ Miejscowość $\times$ Rok (Ma i in., 2004; Anicchiarico i in., 2010 a; Mohammadi i in., 2011). Jest to jedna z możliwości wnioskowania o ocenie reakcji odmian na środowiska, uzasadniona wtedy, gdy interakcje odmian i miejscowości z agrotechniką, tj. $G \times M$, $L \times M$ oraz $G \times M \times L$, decydujące o zróżnicowanych rodzajach reakcji odmian na środowisko, są nieistotne. Nieistotne interakcje $G \times M$, $L \times M$ oraz $G \times M \times L$ dla plonu ziarna pszenicy zwyczajnej i twardej uzyskali w swoich badaniach Ma i in. (2004), Annicchiarico i in. (2010 a) oraz Mohammadi i in. (2011). Jednakże, częstym i potwierdzonym empirycznie zjawiskiem są także istotne interakcje $G \times M$, $L \times M$ oraz $G \times M \times L$ (Brancourt-Hulmel, 2003; Stiller i in., 2004).

Kiedy wszystkie wymienione interakcje lub co najmniej jedna z nich są istotne, wówczas odpowiednim podejściem do badania reakcji odmian na środowiska jest zastosowanie dwóch metod, tj. analizy wariancji i analizy AMMI, podobnie jak te, oparte na modelu (10), jednakże oddzielnie dla każdej badanej intensywności agrotechniki. Zatem, model łącznej analizy wariancji, z wykorzystaniem multiplikatywnej postaci efektów interakcji $G \times L$, czyli model addytywno-multiplikatywny dla danych w trójczynnikowej klasyfikacji o postaci Odmiana $\times$ Miejscowość $\times$ Rok, oddzielnie dla każdej z badanych intensywności agrotechniki, ma następującą postać:

$$X_{ijk(l)} = m_l + Y_{i(l)} + L_{j(l)} + YL_{ij(l)} + G_{k(l)} + GY_{ik(l)} + \sum_{t=1}^T u'_{tk(l)} v'_{tj(l)} + GLY_{ijk(l)} + e_{1ijk(l)} \quad (11)$$

gdzie: $X_{ijk(l)}$ jest średnią poprawioną obserwacji plonu z n powtórzeń dla 3-czynnikowej kombinacji i -tego ($i=1,2, \dots, I$) roku, j -tej ($j=1,2, \dots, J$) miejscowości oraz k -tej ($k=1,2, \dots, K$) odmiany w obrębie l -tej ($l=1,2, \dots, L$) intensywności agrotechniki, m_l jest średnią ogólną w obrębie l -tej intensywności agrotechniki, $Y_{i(l)}$ jest losowym efektem głównym i -tego roku w obrębie l -tej intensywności agrotechniki, $L_{j(l)}$ jest stałym efektem głównym j -tej miejscowości w obrębie l -tej intensywności agrotechniki, $G_{k(l)}$ jest stałym efektem głównym k -tej odmiany w obrębie l -tej intensywności agrotechniki, $YL_{i(l)j}$ jest losowym efektem interakcji podwójnej i -tego roku z j -tą miejscowością w obrębie l -tej intensywności agrotechniki, $GY_{ik(l)}$ jest losowym efektem interakcji podwójnej k -tej odmiany z i -tym rokiem w obrębie l -tej intensywności agrotechniki,

$GL_{jk(l)} = \sum_{t=1}^T u'_{tk(l)} v'_{tj(l)}$ jest modelem AMMI dla efektów interakcji podwójnej k -tej odmiany

z j -tą miejscowością w obrębie l -tej intensywności agrotechniki, w którym $u'_{tk(l)}$ oraz $v'_{tj(l)}$ są odmianowymi i środowiskowymi parametrami t -tego składnika multiplikatywnego efektów interakcji $G \times L_{(l)}$ w obrębie l -tej intensywności agrotechniki,

$GLY_{ijk(l)}$ jest losowym efektem interakcji potrójnej k -tej odmiany z j -tą miejscowością oraz i -tym rokiem w obrębie l -tej intensywności agrotechniki,

$e_{1ijk(l)}$ jest średnim błędem 1 w układzie split-block, związanym z obserwacjami $X_{ijk(l)}$ w obrębie l -tej intensywności agrotechniki.

Uproszczenie interpretacji efektów interakcji GL_{jk} w modelu (10) oraz $GL_{jk(l)}$ w modelu (11), opartej na ich modelowaniu za pomocą parametrów multiplikatywnych, jest uzasadnione i skuteczne tylko wtedy, gdy efekty te mogą być wystarczająco dobrze przybliżone przez kilka (s) pierwszych istotnych, zwykle jedną lub dwie, spośród T niezerowych interakcyjnych składowych głównych (ang. interaction principal components, IPC) — (van Eeuwijk, 1995; Gauch i Zobel, 1997; Yan i Kang, 2003). Ograniczając się w interpretacji efektów interakcji Odmiana $\times$ Miejscowość za pomocą analizy AMMI, do istotnych interakcyjnych składowych głównych, pozbywamy się tzw. szumu losowego w danych (ang. noise), czyli zakłócających efektów losowych, uwikłanych z pozostałymi, nieistotnymi interakcyjnymi składowymi głównymi (Gauch, 1992, 2006; Gauch i Zobel, 1996, 1997; Annicchiarico, 2002 b, 2009). Wobec tego, dużym walorem analizy AMMI, potwierdzonym w licznych badaniach teoretycznych i empirycznych (Gauch, 2006; Annicchiarico, 2002 a, b, Ebdon i Gauch, 2002), jest poprawa precyzji wnioskowania o reakcji odmian w środowiskach na podstawie poprawionych (odtworzonych) średnich plonów odmian w każdej badanej miejscowości z wykorzystaniem istotnych interakcyjnych składowych głównych (ang. AMMI-adjusted means lub AMMI-modeled means), w porównaniu ze zwykłymi średnimi plonu dla kombinacji Odmiana $\times$ Miejscowość.

Koncepcja wykresu plonu nominalnego

Analiza AMMI dla efektów interakcji GL_{jk} oraz $GL_{jk(l)}$ może posłużyć w celu wykorzystania jej wyników do wizualizacji adaptacyjnej reakcji badanych odmian względem plonu na środowisko w agro-ekosystemach, za pomocą wykresu plonu nominalnego dla tych odmian. Taki wykres odzwierciedla graficznie model plonu

nominalnego odmian. Model plonu nominalnego odmian można rozpatrywać zarówno dla średnich odmianowych poprzez intensywność agrotechniki i lata (opierając się na modelu (10), jak i dla średnich odmianowych poprzez lata, oddzielnie przy każdej intensywności agrotechniki (opierając się na modelu (11)). Do określenia wspomnianych modeli i wykresów plonu nominalnego odmian, posługujemy się wynikami zarówno łącznej analizy wariancji (tab. 2), opartej na modelu (10) lub (11), w celu oceny i testowania istotności (testem F) efektów głównych odmian, jak i analizy AMMI. Jak wiadomo, analiza AMMI efektów interakcji GxL pozwala na estymację skalowanych symetrycznie odmianowych oraz środowiskowych parametrów multiplikatywnych dla pierwszej interakcyjnej składowej głównej, czyli parametrów $\hat{u}'_{1k}$ i $\hat{v}'_{1j}$ oraz $\hat{u}'_{1k(l)}$ i $\hat{v}'_{1j(l)}$ (Gauch i Zobel, 1997; Annicchiarico, 2002 b, 2009; Pinnschmidt i Hovmøller, 2002; Annicchiarico i in., 2010 a, b).

Model plonu nominalnego odmiany jest liniową funkcją regresji jej plonu nominalnego, N_{ij} , czyli odchylen średniej plonu tej odmiany w miejscowościach od oceny głównego efektu środowiskowego, względem ocen środowiskowych multiplikatywnych parametrów pierwszej interakcyjnej składowej głównej, EIPC1 (Gauch i Zobel, 1997; Ebdon i Gauch, 2002; Annicchiarico i in., 2006). Model ten jest rezultatem pewnych przekształceń odpowiedniego modelu addytywno-multiplikatywnego. W naszych badaniach model plonu nominalnego odmiany jest wynikiem przekształceń modelu (10) lub (11). Dla modelu (10) model plonu nominalnego ma postać (Gauch i Zobel, 1997, Annicchiarico, 2002 b, 2009, Samonte i in., 2005):

$$N_{jk} = \hat{m} + \hat{G}_k + (\hat{u}'_{1k} \hat{v}'_{1j}) \quad (12)$$

gdzie:

N_{jk} jest plonem nominalnym dla k -tej odmiany oraz j -tej miejscowości, $\hat{m}$ jest oceną średniej ogólnej, $\hat{G}_k$ jest oceną stałego efektu głównego k -tej odmiany, $\hat{u}'_{1k}$ oraz $\hat{v}'_{1j}$ są symetrycznie skalowanymi, ocenami odpowiednio odmianowych (dla k -tej odmiany) i środowiskowych (dla j -tej miejscowości) parametrów multiplikatywnych dla pierwszej interakcyjnej składowej głównej.

Addytywno-multiplikatywny model (10) może być wykorzystany do konstrukcji modelu i wykresu plonu nominalnego odmian, jako narzędzie do analizy adaptacyjnej reakcji odmian na środowisko, przeciętnie poprzez poziomy intensywności agrotechniki oraz lata, na podstawie danych w klasyfikacji kompletnej o postaci Odmiana $\times$ Agrotechnika $\times$ Miejscowość $\times$ Rok (Ma i in., 2004; Annicchiarico i in., 2010 a, Mohammadi i in., 2011). Natomiast, model (11) łącznej analizy wariancji i analizy AMMI dla efektów interakcji $G \times L_{jk(l)}$ może być wykorzystany do konstrukcji modelu i wykresu plonu nominalnego odmian, oddzielnie dla każdej intensywności agrotechniki. Takie rozwiązanie metodyczne jest uzasadnione wówczas, kiedy zostanie potwierdzona przynajmniej jedna istotna interakcja pomiędzy czynnikami $G \times M$, $L \times M$ lub $G \times M \times L$. Zatem, model plonu nominalnego oddzielnie dla każdej z intensywności agrotechniki ma następującą postać:

$$N_{jk(l)} = \hat{m}_{(l)} + \hat{G}_{k(l)} + (\hat{u}'_{1k(l)} \hat{v}'_{1j(l)}) \quad (13)$$

gdzie:

$N_{jk(l)}$ jest plonem nominalnym dla k -tej odmiany oraz j -tej miejscowości w obrębie l -tej intensywności agrotechniki, $\hat{m}_{(l)}$ jest oceną średniej ogólnej w obrębie l -tej intensywności agrotechniki, $\hat{G}_{k(l)}$ jest oceną stałego efektu głównego k -tej odmiany w obrębie l -tej intensywności agrotechniki, $\hat{u}'_{1k(l)}$ oraz $\hat{v}'_{1j(l)}$ są symetrycznie skalowanymi, ocenami odpowiednio odmianowych (dla k -tej odmiany) i środowiskowych (dla j -tej miejscowości) parametrów multiplikatywnych dla pierwszej interakcyjnej składowej głównej w obrębie l -tej intensywności agrotechniki.

Wykres plonu nominalnego jest oparty jedynie na pierwszej interakcyjnej składowej głównej (IPC1), niezależnie od tego czy pozostałe IPC są istotne (Annicchiarico i in., 2006; Annicchiarico i Iannucci, 2008; Gauch i in., 2008). Jest jasne, że wiarygodność i precyzja wizualizacji adaptacyjnej reakcji odmian w środowiskach rolniczych za pomocą wykresu plonu nominalnego odmian zależy od procentu wyjaśnionej zmienności efektów interakcji $G \times L$ przez IPC1. W badaniach empirycznych autorzy stosują rozpatrywany rodzaj wykresów przy różnym procencie wyjaśnionej zmienności efektów interakcji $G \times L$ przez pierwszą interakcyjną składową główną. W pionierskich badaniach Guacha i Zobela (1997), dotyczących koncepcji i wykorzystania wykresu plonu nominalnego w celu graficznego zobrazowania adaptacyjnej reakcji odmian na warunki środowiskowe, pierwsza interakcyjna składowa główna wyjaśniała 87% całkowitej sumy kwadratów interakcji $G \times L$. Mimo, że często druga interakcyjna główna także była istotna, autorzy zdecydowali się na zobrazowanie graficzne adaptacyjnej reakcji odmian na badane środowiska rolnicze za pomocą wykresu plonu nominalnego, opartego jedynie na IPC1 (Pinnschmidt i Hovmøller, 2002; Samonte in., 2005; Annicchiarico i Iannucci, 2008). W cytowanych badaniach IPC1 wyjaśniała od około 40% (Samonte in., 2005), do około 50% całkowitej zmienności efektów interakcji $G \times L$ (Annicchiarico i in., 2011).

Wykres plonu nominalnego powstaje w układzie współrzędnych prostokątnych w taki sposób, że na osi poziomej podane są środowiskowe parametry multiplikatywne dla pierwszej interakcyjnej składowej głównej (EIPC1), zaś na osi pionowej podane są wartości plonów nominalnych (Annicchiarico, 2002 b; Zhang i in., 2006; Mohamadi i Amri, 2013). Liniowość tego wykresu w znaczący sposób ułatwia porównanie adaptacyjnej reakcji odmian w środowiskach rolniczych, głównie poprzez ocenę rankingu plonu nominalnego odmian oraz jego ilościowego zróżnicowania międzyodmianowego w każdym rozpatrywanym agro-ekosystemie. Zauważmy, że różnice plonu nominalnego odmian w danym środowisku są równe różnicom faktycznej średniej odmian. Jest tak dlatego, że w modelu plonu nominalnego odmian [modele (12) i (13)] wyeliminowane są efekty główne środowiska, które nie zmieniają różnic średniego plonu odmian w każdym środowisku (Gauch, 1992; Annicchiarico i in., 2010 a, 2011). Zatem, na podstawie wykresu plonu nominalnego można wskazać odmiany o relatywnie najwyższym plonie w środowiskach, czyli odmiany relatywnie (wśród badanych) najlepiej przystosowane, inaczej o najlepszej adaptacji, do konkretnych warunków lokalnych (ang. top-ranking cultivars) — (Gauch i Zobel, 1997; Annicchiarico i Iannucci, 2008; Pecetti i in., 2011).

Dlatego, taki sposób oceny relatywnej przydatności rolniczej odmian do różnych warunków środowiskowych nazywany jest adaptacyjną reakcją odmian w środowiskach rolniczych (Pecetti i in., 2011; Annicchiarico i in., 2011). W opisywanych badaniach nad adaptacyjnością można określić każdą odmianę, jako odznaczającą się wąską lub szeroką adaptacją, albo relatywnie nie wykazującą adaptacji w badanym zakresie różnorodności środowisk w agro-ekosystemach (Gauch i Zobel, 1997; Annicchiarico, 2002 a). Ponadto, wykres plonu nominalnego mimo iż oparty jest jedynie na pierwszej interakcyjnej składowej głównej, umożliwia wskazanie odmian o stabilnym plonowaniu w obrębie rozpatrywanych środowisk rolniczych (Gauch, 2006; Annicchiarico i in., 2006; De Vita i in., 2010; Mohamadi i Amri, 2013).

GRUPOWANIE ODMIAN O PODOBNEJ REAKCJI NA ŚRODOWISKO ZA POMOCĄ ANALIZY SKUPIEŃ

Jednym ze sposobów podejścia do analizy danych z wielokrotnych serii wieloletnich doświadczeń odmianowych i odmianowo-agrotechnicznych jest podział odmian na grupy jednorodne, w których zmienność efektów interakcji Odmiana $\times$ Miejscowość jest odpowiednio zmniejszona w stosunku do zmienności tych efektów w całej serii doświadczeń (Gauch i Zobel, 1997; de la Vega i Chapman, 2006). Wobec tego, efekty interakcji $G \times L$ dla odmian w każdej takiej grupie jednorodnej są podobne (Gauch i Zobel, 1997; Annicchiarico, 2002 b). Takie podejście może być bardzo przydatne i efektywne w praktyce hodowli i oceny odmian do badania różnych aspektów reakcji odmian na zmienne warunki środowiskowe (Annicchiarico, 2002 b; Annicchiarico i Iannucci, 2008; Paderewski, 2008). Jednakże, wymienione rozwiązanie nie pozwala sprawnie i skutecznie wydzielić jednorodnych grup odmian pod względem rodzaju reakcji na środowisko, albowiem nie rozpatruje się w nim efektów głównych (średnich badanej cechy) dla odmian, które decydują, obok efektów interakcji $G \times L$, o środowiskowej reakcji odmian. Z drugiej strony, wydzielenie grup odmian o podobnej reakcji na środowiska jest koniecznym postępowaniem w metodyce statystycznej oceny odmian, zalecanym i stosowanym przez wielu biometryków i badaczy odmian (Basford i Cooper, 1998; Cooper i in., 1996). Takie podejście znacząco upraszcza i ułatwia oraz usprawnia graficzną prezentację różnych rodzajów reakcji odmian na środowiska, zwłaszcza w przypadku, kiedy liczba badanych odmian jest dość duża (Sivapalan i in., 2000; Cooper i in., 2001; Zhang i in., 2006; Mądry i in., 2011, 2012).

Kierując się tą dobrą zasadą metodologiczną, a także mając do czynienia z dużą liczbą badanych odmian w PDOiR z pszenicą ozimą oraz z innymi gatunkami roślin, można stosować podział odmian na grupy jednorodne pod względem plonu nominalnego odmian, który określa rodzaj adaptacyjnej reakcji badanych odmian w środowiskach rolniczych. Dlatego, każda taka grupa jednorodna będzie zawierała odmiany o podobnej adaptacyjnej reakcji na środowiska. Do wydzielenia wspomnianych grup jednorodnych odmian stosuje się różne metody statystyczne. Jedną z częściej używanych w podobnych badaniach empirycznych, jest analiza skupień z wykorzystaniem hierarchicznej metody aglomeracji Warda, z odległością Euklidesa lub kwadratem odległości Euklidesa (Cooper i in., 1996;

Zhang i in., 2006; Paderewski i in., 2011). Ta metoda służąca do oszacowania odległości między skupieniami (grupami) oparta jest na podejściu analizy wariancji, zmierzając do minimalizacji sumy kwadratów odchyleń dowolnych dwóch grup jednorodnych, w tym konkretnym przypadku, odmian o podobnej adaptacyjnej reakcji na środowiska. Szczegółowe opisy tej metody znajdują się w pracy Warda (1963), a także między innymi w publikacji Crossa i Franco (2004) i innych opracowaniach monograficznych (Krzanowski, 1988; Johnson i Wichern, 2002).

W każdej analizie skupień rozpatruje się wartości miar niepodobieństwa obiektów pod względem wielu zmiennych jednocześnie. W rozpatrywanych badaniach zmiennymi są plony nominalne danej odmiany w różnych miejscowościach. Zatem, odległość Euklidesa dla każdej pary odmian jest określona jako pierwiastek kwadratowy sumy kwadratów różnic plonów nominalnych tych odmian w poszczególnych miejscowościach. Im ta odległość jest większa, tym większe jest niepodobieństwo odmian pod względem plonów nominalnych w miejscowościach, czyli odmiany odznaczają się bardziej odmienną adaptacyjną reakcją na środowiska. Wobec tego, w grupach jednorodnych powinny znaleźć się odmiany o relatywnie mniejszych wartościach odległości Euklidesa, niż odległości między grupami. Liczba wydzielanych grup obiektów (w tym przykładzie odmian) za pomocą analizy skupień może być różna, jednak powinna ona stanowić kompromis między uzyskaniem małej liczby grup oraz ich dużej zwięzłości (Crossa i Franco, 2004; Paderewski, 2008).

LITERATURA

- Annicchiarico P. 2002 a. Defining adaptation strategies and yield stability targets in breeding programmes In: Kang M. S. (Ed.) Quantitative genetics, genomics and plant breeding. CAB, Wallingford, UK: 165 — 183.
- Annicchiarico P. 2002 b. Genotype-environment interactions: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. FAO Plant Production and Protection Paper No. 174. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Annicchiarico P. 2009. Coping with and exploiting genotype $\times$ environment interactions. In: Ceccarelli S., Guimarães E. P., Weltzien E. (eds). Plant Breeding and Farmer Participation. Food and Agricultural Organization, Rome: 519 — 564.
- Annicchiarico P., Bellah F., Chiari T. 2006. Repeatable genotype $\times$ location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *Eur. J. Agron.* 24: 70 — 81.
- Annicchiarico P., Chiapparino E., Perenzin M. 2010 a. Response of common wheat varieties to organic and conventional production systems across Italian locations and implications for selection. *Field Crops Res.* 116: 230 — 238.
- Annicchiarico P., Scotti C., Carelli M., Pecetti L. 2010 b. Questions and avenues for lucerne improvement. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 46: 1 — 13.
- Annicchiarico P., Iannucci A. 2008. Adaptation strategy, germplasm type and adaptive traits for field pea improvement in Italy based on variety responses across climatically contrasting environments. *Field Crops Res.* 108: 133 — 142.
- Annicchiarico P., Pecetti L., Abdelguerfi A., Bouizgaren A., Carroni A. M., Hayek T., M'Hammadi Bouzina M., Mezni M. 2011. Adaptation of landrace and variety germplasm and selection strategies for lucerne in the Mediterranean basin. *Field Crops Res.* 120: 283 — 291.

- Basford K. E., Cooper M. 1998. Genotype $\times$ environment interactions and some considerations of their implications for wheat breeding in Australia. *Aust. J. Agric. Res.* 49: 153 — 174.
- Brancourt-Hulmel M., Doussinault G., Lecomte C., Berard P., Le Buaec B., Trottet M. 2003. Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992. *Crop Sci.* 43: 37 — 45.
- Bujak H., Tratwa G. 2011. Ocena stabilności plonowania odmian pszenicy ozimej na podstawie doświadczeń porejestrowych w Polsce. *Biul. IHAR* 260/261: 69 — 79.
- Caliniński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P. 1998. SERGEN 4 — Analysis of series of variety trials and plant genetic or breeding experiments. Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Sciences, and Department of Mathematical and Statistical Methods, Agricultural University, Poznań, Poland.
- Cooper, M., DeLacy I. H., Basford K. E. 1996. Relationships among analytical methods used to study genotypic adaptation in multienvironment trials. in M. Cooper and G. L. Hammer (ed.) *Plant adaptation and crop improvement*. CABI, Wallingford, UK: 193 — 224.
- Cooper M., Woodruff D. R., Phillips I. G., Basford K. E., Gilmour A. R. 2001. Genotype-by-management interactions for grain yield and grain protein concentration of wheat. *Field Crops Res.* 69: 47 — 67.
- Crossa J., Cornelius P. L. 2002. Linear-bilinear models for the analysis of genotype-environment interaction In: Kang M.S. (Ed.) *Quantitative genetics, genomics and plant breeding*. CAB, Wallingford, UK: 305 — 322.
- Crossa J., Cornelius P. L., Yan W. 2002. Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype $\times$ environment interaction *Crop Sci.* 42: 619 — 633.
- Crossa J., Franco J. 2004. Statistical methods for classifying genotypes. *Euphytica* 137: 19 — 37.
- Crossa J., Vargas M., Joshi A.K. 2010. Linear, bilinear, and linear-bilinear fixed and mixed models for analyzing genotype $\times$ environment interaction in plant breeding and agronomy. *Can. J. Plant Sci.* 90:561 — 574.
- de la Vega A. J., Chapman S. C. 2006. Defining sunflower selection strategies for a highly heterogeneous target population of environments. *Crop Sci.* 46: 136 — 144.
- De Vita P., Mastrangelo A. M., Matteu L., Mazzucotelli E., Virzi N., Palumbo M., Lo Storto M., Rizza F., Cattivelli L. 2010. Genetic improvement effects on yield stability in durum wheat genotypes grown in Italy. *Field Crops Res.* 119: 68 — 77.
- Derejko A., Mądry W., Gozdowski D., Rozbicki J., Golba J., Piechociński M., Studnicki M. 2011. Wpływ odmian, miejscowości i intensywności uprawy oraz ich interakcji na plon pszenicy ozimej w doświadczeniach PDO. *Biul. IHAR* 259: 131 — 146.
- Ebdon J. S., Gauch H. G. 2002. Additive main effect and multiplicative interactions analysis of national turfgrass performance trials. Interpretation of genotype $\times$ environment interactions. *Crop Sci.* 42: 489 — 496.
- Elandt R. 1964. *Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolniczego*. PWN, Warszawa.
- Gauch H. G. 1992. Statistical analysis of regional yield trials. AMMI analysis of factorial designs. Elsevier Science, New York.
- Gauch H. G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Sci.* 46: 1488 — 1500.
- Gauch H. G., Piepho H.P., Annicchiarico P. 2008. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Sci.* 48: 866 — 889.
- Gauch H. G., Zobel R. W. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: M. S. Kang, H. G. Gauch (Ed.) *Genotype by environment interaction*. CRC Press, Boca Raton: 85 — 122.
- Gauch H. G., Zobel R. W. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Sci.* 37: 311 — 326.
- Johnson R. A., Wichern D. W. 2002. *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA.
- Kang M. S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. *Agron. J.* 85: 754 — 57.
- Kang M. S. 1998. Using genotype-by environment interaction for crop cultivar development. *Adv. Agron.* 62: 199 — 253.

- Kang M. S. 2002. Genotype-environment interaction: Progress and prospects In: Kang M.S. (Ed.), Quantitative genetics, genomics and plant breeding, CAB International Wallingford, UK: 221 — 243.
- Krzanowski W. J. 1988. Principles of multivariate analysis: a users' perspective. Oxford University Press, Oxford.
- Ma B. L., Yan W., Dwyer L. M., Fregeau-Reid J., Voldeng H. D., Dion Y., Nass H. 2004. Graphic analysis of genotype, environment, nitrogen fertilizer, and their interactions on spring wheat yield. *Agron. J.* 96: 169 — 180.
- Mądry W. 2003. Analiza statystyczna miar stabilności na podstawie danych w klasyfikacji genotypy $\times$ środowiska. Część II Model mieszany Shukli i model regresji łącznej. *Coll. Biom.* 33: 207 — 220.
- Mądry W., Paderewski J., Gozdowski D., Drzazga T. 2011. Adaptive yield response of winter wheat cultivars across environments in Poland using joint AMMI and cluster analyses. *Intern. J. Plant Prod.* 5: 299 — 310.
- Mądry W., Paderewski J., Rozbicki J., Gozdowski D., Golba J., Piechociński M., Studnicki M., Derejko A. 2012. Plonowanie odmian pszenicy ozimej w różnych środowiskach- jednoroczna seria PDOiR. *Biul. IHAR* 263:189 — 204.
- McIntosh M. S. 1983. Analysis of combined experiments. *Agron. J.* 75: 153 — 155.
- Mejza I. 1999. Planowanie serii doświadczeń dwuczynnikowych z rozszczepionymi jednostkami i analiza wyników. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, vol. 301.
- Mintenko A. S., Smith S. R., Cattani D. J. 2002. Turfgrass evaluation of native grasses for the Northern Great Plains Region. *Crop Sci.* 42: 2018 — 2024.
- Mohammadi R., Amri A. 2013. Genotype $\times$ environment interaction and genetic improvement for yield and yield stability of rainfed durum wheat in Iran. *Euphytica* 192: 227 — 249.
- Mohammadi R., Sadeghzadeh D., Armion M., Amri A. 2011. Evaluation of durum wheat experimental lines under different climate and water regime conditions of Iran. *Crop Pasture Sci.* 62: 137 — 151.
- Quinn G. P., Keough M. J. 2003. Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge University Press, Cambridge.
- Paderewski J. 2008. Przydatność modelu AMMI do badania reakcji roślin rolniczych na warunki środowiskowe. Praca doktorska, Wydział Rolnictwa i Biologii, SGGW.
- Paderewski J., Gauch H. G., Mądry W., Drzazga T., Rodrigues P. C. 2011. Yield response of winter wheat to agro-ecological conditions using additive main effects and multiplicative interaction and cluster analysis. *Crop Sci.* 51: 969 — 980.
- Pecetti L., Annicchiarico P., Abdelguerfi A., Kallida R., Mefti M., Porqueddu C., Simoes N., Volaire F., Lelievre F. 2011. Response of Mediterranean tall fescue cultivars to contrasting agricultural environments and implications for selection. *J. Agron. Crop Sci.* 197: 12 — 20.
- Pinnschmidt H. O., Hovmöller M. S. 2002. Genotype $\times$ environment interactions in the expression of net blotch resistance in spring and winter barley varieties. *Euphytica* 125: 227 — 243.
- Samonte S. O. Pb., Wilson L. T., McClung A. M., Medley C. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. *Crop Sci.* 45: 2414 — 2424.
- Sivapalan S., O'Brien L., Ortiz-Ferrera G., Hollamby G.J., Barclay I., Martin P.J. 2000. An adaptation analysis of Australian and CIMMYT/ICARDA wheat germplasm in Australian production environments. *Aust. J. Agric. Res.* 51: 903 — 915.
- Smith A. B., Cullis B.R., Thompson R. 2005. The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: an overview of current mixed model approaches. *J. Agric. Sci.* 143: 449 — 462.
- Steinberg W. J. 2011. Statistics Alive. SAGE Publications Inc.: 527 — 529.
- Stiller W. N., Reid P. E., Constable G. A. 2004. Maturity and leaf shape as traits influencing cotton cultivar adaptation to dryland conditions. *Agron. J.* 96: 656 — 664.
- van Eeuwijk F. A., Keizer L. C. E., Bakker J. J. 1995. Linear and bilinear models for the analysis of multi-environment trials: II. An application to data from the Dutch Maize Variety Trials. *Euphytica* 84: 9 — 22.
- Welham S. J., Gogel B. J., Smith A. B., Thompson R., Cullis B. R. 2010. A comparison of analysis methods for late stage variety evaluation trials. *Aust. N. Z. J. Stat.* 52: 125 — 149.
- Wójcik A. R., Ludański Z. 1989. Planowanie i wnioskowanie statystyczne w doświadczałnictwie. PWN.

- Yan W., M.S. Kang. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Zhang Y., He Z., Zhang A., van Ginkel M., Pena R. J., Ye G. 2006. Pattern analysis on protein properties of Chinese and CIMMYT spring wheat cultivars sown in China and CIMMYT. *Austr. J. Agric. Res.* 57: 811 — 822.

ADRIANA DEREJKO**WIESŁAW MAŁY**

Katedra Doświadczalnictwa i Bioinformatyki

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa

Przegląd zastosowań metod statystycznych w analizie danych z serii doświadczeń odmianowych i odmianowo-agrotechnicznych

Overview of applications of statistical methods in the analysis of data from a series of experiments

Wprowadzenie do uprawy nowych odmian związane jest z ryzykiem ich niepowodzenia w produkcji, które zwiększa się wraz z malejącą wiedzą o ich reakcji na zróżnicowane warunki środowiskowe (siedliskowe) i czynniki agrotechniczne. Zatem, proces wdrażania każdej odmiany nie kończy się na etapie badań wstępnych i jej zarejestrowania, lecz obok reprodukcji materiału nasienneho, obejmuje on także ocenę wartości gospodarczej odmiany w wielokrotnych seriach doświadczeń porejestrowych. Stały dopływ do rolnictwa nowo zarejestrowanych odmian nakłada na porejestrowe doświadczalnictwo odmianowe i odmianowo-agrotechniczne, konieczność sprawnej i wiarygodnej weryfikacji ich wartości gospodarczej. Wymienione doświadczenia pozwalają znacząco zmniejszyć ryzyko wprowadzenia do uprawy odmian nieprzydatnych dla rolnictwa, czyli takich, które nie zapewniają wysokich efektów produkcyjnych i ekonomicznych w różnych lub tylko wybranych (specyficznych) warunkach środowiskowych oraz systemach uprawy roślin i agrotechnice. Dane z wymienionych serii doświadczeń wymagają zastosowania specjalistycznej i komplementarnej metodyki statystycznej. W niniejszej pracy przedstawiony został przegląd serii doświadczeń odmianowych i odmianowo-agrotechnicznych wraz z zastosowaną metodyką statystyczną.

Słowa kluczowe: metodyka statystyczna, wielokrotne serie doświadczeń, łączna analiza wariancji

Introduction of new varieties to the cultivation is associated with the risk of failure in the production which increases with decreasing knowledge of their response to different environmental conditions and crop management factors. Thus, the implementation of each variety does not stop at the stage of preliminary tests and its registration, but next to the reproduction of the seed, it also includes an assessment of the economic value of variety in multiple series of post-registration trials. A steady supply to agriculture of newly registered varieties requires from the post-registration experimental variety testing, the efficient and reliable verification of the economic value of tested varieties. These field experiments allow to significantly reduce the risk of introducing the cultivation of varieties unsuitable for agriculture, i.e. those which do not provide high production and economic effects in

different or only selected (specific) environmental conditions and systems of crops and agricultural techniques. Data from these series of experiments require the use of specialized and complementary statistical methodology. In this work, an overview of a series of varietal and agrotechnical experiments is presented and the statistical methodology described.

Key words: statistical methods, multi-environment experimental series, combined analysis of variance

WSTĘP

Głównym celem niniejszej pracy jest przegląd metod statystycznych używanych do analizy danych z serii doświadczeń odmianowych i odmianowo-agrotechnicznych. Zatem, podjęto próbę zebrania oraz opracowania literatury światowej i krajowej przedstawiającej wyniki badań teoretycznych i empirycznych nad skutecznością oraz oceną przydatności metod statystycznych służących do wnioskowania o adaptacyjnej reakcji odmian na podstawie danych kompletnych i niekompletnych z wielokrotnych serii doświadczeń jednorocznych oraz wieloletnich, odmianowych i odmianowo-agrotechnicznych. Metody te są bardzo liczne i różnorodne pod względem treści metodologicznej i matematycznej. Służą głównie zwiększeniu precyzji oceny reakcji odmian na środowiska, grupowaniu odmian pod względem ich reakcji adaptacyjnej, grupowaniu miejscowości podobnych pod względem efektów interakcyjnych $G \times L$ oraz graficznemu przedstawieniu reakcji odmian lub jednorodnych grup odmian na warunki środowiskowe (Gauch, 1992, 2006; Basford i Cooper, 1998; Annicchiarico, 2002 b, 2009; Yan i Kang, 2003). W niniejszej pracy o charakterze przeglądowym została przedstawiona metodyka statystyczna dla wielokrotnych serii doświadczeń odmianowych i odmianowo-agrotechnicznych.

WIELOKROTNE SERIE JEDNOROCZNYCH DOŚWIADCZEŃ ODMIANOWYCH

W procesie badania odmian w Polsce, wielokrotne serie jednorocznych doświadczeń odmianowych prowadzone są w ramach doświadczeń wstępnych oraz rejestrowych (dla mniej ważnych gatunków roślin). Są one wykonywane przez hodowców lub pracowników COBORU. Obejmują doświadczenia z podobnymi zestawami odmian, powtarzane w danym sezonie wegetacyjnym, w kilku do kilkunastu stacjach, należących do hodowców lub COBORU. Stacje te stanowią środowiska rolnicze (agro-ekosystemy), wybrane w sposób losowy w przestrzeni kraju, tak, aby dobrze reprezentowały zmienność przyrodniczą najważniejszych rejonów uprawy badanych gatunków. Wyniki z serii takich doświadczeń dostarczają informacji o przydatności badanych odmian do warunków agro-ekologicznych na podstawie zachowania się tych odmian w wielu środowiskach, ale tylko w jednym sezonie wegetacyjnym. Zatem, ich wartość gospodarcza nie jest sprawdzona pod względem powtarzalności w innych warunkach pogodowych i biotycznych (Annicchiarico, 2002 a, b; So i Edwards, 2009; Anderson, 2010).

Oddziaływanie warunków środowiskowych na cechy odmian jest skomplikowane i trudne do interpretacji. Z licznych doniesień w literaturze wiadomo, że odmiany roślin uprawnych niejednakowo reagują pod względem plonu i innych cech rolniczych na zróżnicowane warunki środowiskowe w miejscowościach (Becker i Leon, 1988; Ma i in.,

2004; Anderson, 2010; Annicchiarico i in., 2010 a; Pecetti i in., 2011). Jest to związane zarówno ze średnimi odmianowymi, jak i interakcją Odmiana $\times$ Miejscowość, w skrócie oznaczaną symbolem $G \times L$. W odniesieniu do reakcji plonowania odmian (lub innych cech odmianowych) na warunki środowiskowe, nazywanej też reakcją adaptacyjną odmian (Anniccharico i in., 2010 b; DeVita i in., 2010), wyróżnia się dwa rodzaje adaptacji odmian tj. adaptację wąską oraz szeroką (Finlay i Wilkison, 1963; Gauch i Zobel, 1997; Annicchiarico, 2002 b, 2009; DeVita i in., 2010). Odmiany plonujące średnio względnie wysoko (w porównaniu z resztą ocenianych odmian) i stabilnie w obrębie danego rejonu uprawy (zakresu środowisk), wykazują szeroką zdolność adaptacyjną do tych środowisk (Kang, 1993, 1998; Basford i Cooper, 1998; Iwańska i in., 2008). Nazywane są one odmianami o szerokiej adaptacji. Odmiany te osiągają relatywnie wysoki plon we wszystkich środowiskach tego rejonu uprawy (DeVita i in., 2010; Mohammadi i in., 2011). Natomiast, odmiany plonujące średnio względnie wysoko w pewnego rodzaju (lub kilku rodzajach) środowisk w obrębie rozpatrywanego rejonu uprawy, tj. w podrejonach, wykazują wąską (lokalną lub specyficzną) adaptację (Gauch i Zobel, 1997; Annicchiarico, 2002 b, 2009; Annicchiarico i in., 2010 b).

Pojęcia wąskiej i szerokiej adaptacji odmian są używane także do oceny plonowania odmian w latach (sezonach wegetacyjnych) lub przy zróżnicowanych poziomach agrotechniki, a także jej głównych czynników, tj. nawożenie, nawodnienie, gęstość siewu (Anniccharico i in., 2010 a; Anderson, 2010; Anderson i in., 2011). Z punktu widzenia oceny wartości gospodarczej odmian, bardzo ważna jest możliwie trafna ocena ich zdolności adaptacyjnej w zmiennych przestrzennie warunkach środowiskowych, a także w różnych warunkach agrotechnicznych (Finlay i Wilkison, 1963; Annicchiarico, 2002 b; Anderson, 2010; Annicchiarico i in., 2010 b). Taka ocena ma ogromne znaczenie w efektywnym wdrażaniu postępu odmianowego do praktyki rolniczej, uczestniczącym w coraz większym stopniu w postępie agronomicznym, decydującym o zwiększeniu produktywności roślin uprawnych teraz i w przyszłości (Anniccharico, 2002 a, b; Smith i in., 2005; DeVita i in., 2010).

Dane z wielokrotnych serii jednorocznych doświadczeń odmianowych stanowią zazwyczaj niekompletną klasyfikację w postaci Odmiana $\times$ Miejscowość. Niekompletność ta wynika z częściowo zróżnicowanego zestawu odmian badanych w różnych środowiskach (stacjach). Ta sama charakterystyka odnosi się do innych rodzajów serii doświadczeń, rozpatrywanych w tym przeglądzie literatury. W dotychczasowej praktyce oceny odmian w rozpatrywanych seriach doświadczeń, zwykle badacze ograniczają się do analizy danych w kompletnych klasyfikacjach Odmiana $\times$ Miejscowość (Anniccharico, 2002 b; So i Edwards, 2009). Badacz, decydując się na kompletną klasyfikację danych, zmuszony jest ograniczyć się do takich odmian, które są badane w każdej z rozpatrywanych miejscowości badawczych (Pinnschmidt i Hovmöller, 2002; So i Edwards, 2009; Crossa i in., 2010). Zwykle, te odmiany mają większą przydatność rolniczą, głównie ze względu na wstępne oznaki wyróżniania się szeroką adaptacją (Pinnschmidt i Hovmöller, 2002; Annicchiarico i in., 2010 a, b). Wymieniona praktyka w ocenie odmian jest uzasadniona możliwością stosowania znacznie prostszej metodyki statystycznej do analizy danych kompletnych z serii doświadczeń (Anniccharico, 2002 b, 2009; Yan i Kang, 2003; So i

Edwards, 2009), w porównaniu do metod opracowanych dla danych niekompletnych, opartych na liniowych i multiplikatywnych modelach mieszanych (Piepho i van Eeuwijk, 2002; Smith i in., 2005; Crossa i in., 2010; Welham i in., 2010).

Metody statystyczne służące do wnioskowania o adaptacyjnej reakcji odmian na podstawie danych kompletnych i niekompletnych z wielokrotnych serii doświadczeń jednorocznych odmianowych, nazwane są metodami analizy i interpretacji interakcji $G \times L$, (Smith i in., 2005; Crossa i in., 2010; Paderewski i Mądry, 2012). Obejmują one metody jednowymiarowe, oparte na stałych lub mieszanych modelach liniowych (modelach analizy wariancji) — (Bastford i Cooper, 1998; Annicchiarico, 2002 b, 2009; Iwańska i in., 2008; Paderewski i Mądry, 2012) oraz metody wielowymiarowe, oparte na stałych lub mieszanych modelach multiplikatywnych (Annicchiarico, 2002 b, 2009; Yan i Kang, 2003; Smith i in., 2005; Crossa i in., 2010). W analizie danych z omawianej serii doświadczeń odmianowych, obserwowane wartości rozpatrywanej zmiennej zależnej opisuje się matematycznie, w liniowym modelu, jako sumę efektów głównych (przeciętnych) odmian (G), efektów głównych miejscowości (L) oraz efektów interakcyjnych $G \times L$, związanych z każdą kombinacją wymienionych czynników (Annicchiarico, 2002 b; Paderewski i Mądry, 2012). Efekt interakcji $G \times L$ określa rezultat jednoczesnego wpływu poziomów obu czynników na badaną zmienną zależną, niewytłumaczony przez sumę ich efektów głównych (Gauch i Zobel, 1997; Kang, 1998, 2002). Efekty interakcji $G \times L$ manifestują się w postaci niejednakowego zróżnicowania odmian w środowiskach i tym samym, jako nierównoległa reakcja odmian w środowiskach. Podstawową metodą statystyczną, służącą do analizy danych z serii jednorocznych doświadczeń odmianowych, jest dwuczynnikowa analiza wariancji.

DWUCZYNNIKOWA ANALIZA WARIANCJI OPARTA NA MODELACH STAŁYCH, LOSOWYCH I MIESZANYCH).

Dla danych kompletnych z wielokrotnej serii jednorocznych doświadczeń odmianowych, przedstawionych w klasyfikacji dwukierunkowej krzyżowej o postaci Odmiana $\times$ Miejscowość, odpowiednie modele liniowe (modele ANOVA) uważane są za podstawowe narzędzia do analizy efektów głównych obu tych czynników i efektów ich interakcji (Annicchiarico, 2002 b; Gauch i in., 2008). Różnorodność modeli ANOVA związana jest z charakterem statystycznym poszczególnych czynników, czyli traktowaniem ich jako czynnik stały (ang. fixed factor), czyli. taki, dla którego poziomy są wybrane świadomie przez badacza lub jako czynnik losowy (ang. random factor), czyli taki, dla którego poziomy są wybierane reprezentatywnie (losowo) przez badacza z wyjściowej populacji tych poziomów. Gdy oba czynniki są uważane jako stałe, to model ANOVA, odpowiedni do danych w klasyfikacji Odmiana $\times$ Miejscowość, jest modelem z efektami stałymi dla poziomów każdego z czynników, nazywanym dwuczynnikowym modelem stałym (ang. two-factor fixed model). Jeśli oba czynniki uznano za losowe, to odpowiedni model ANOVA jest modelem z efektami losowymi dla poziomów każdego z czynników, nazywanym dwuczynnikowym modelem losowym (ang. two-factor random model). Natomiast, jeżeli jeden czynnik jest uznany za stały, a drugi za losowy, wtedy

odpowiednim modelem ANOVA jest dwuczynnikowy model mieszany (ang. two-factor mixed model) — (Caliński i in., 1995, 1998; Annicchiarico, 2002 b; Mądry, 2003; Piepho i in., 2008).

W eksperymentalnych pracach naukowych z wykorzystaniem danych z wielokrotnych serii jednorocznych doświadczeń odmianowych, przyjmuje się trzy rodzaje założeń w modelach ANOVA, dotyczących odmian i miejscowości. W pierwszym rodzaju tych modeli odmianę i miejscowość traktuje się jako czynniki stałe, zaś dla danych przyjmuje się dwuczynnikowy model stały (Gauch, 1992; Caliński i in., 2005, 2009; Paderewski i in., 2011). W innych badaniach tego typu, opartych na mieszanych modelach ANOVA, odmianę traktuje się jako czynnik stały, zaś miejscowość, jako czynnik losowy (Piepho i van Eeuwijk, 2002; Mądry i Kang, 2005; Iwańska i in., 2008). Natomiast, w przypadkach trzeciego rodzaju z zastosowaniem modeli mieszanych, odmianę traktuje się jako czynnik losowy, zaś miejscowość, jako czynnik stały (Smith i in., 2005; So i Edwards, 2009; de la Vega i Chapman, 2010).

Dwuczynnikowy model liniowy analizy wariancji danych w klasyfikacji dwukierunkowej Odmiana $\times$ Miejscowość nie umożliwia przejrzystej i efektywnej merytorycznie interpretacji efektów interakcji $G \times L$, ukierunkowanej na potrzeby hodowli i uprawy roślin (Gauch, 1992; Annicchiarico, 2002 a, b; Ebdon i Gauch, 2002; Yan i Kang, 2003; Crossa i in., 2010). Do bardziej wnikliwej i wiarygodnej oceny odmian, zwłaszcza pod względem ich adaptacji, stosowane są metody oparte na rozszerzonych dwuczynnikowych modelach ANOVA z podanymi wyżej, różnymi, założeniami o własnościach statystycznych czynników i ich efektów (Gauch, 1992; Piepho i van Eeuwijk, 2002; Yan i Kang, 2003; Caliński i in., 2005, 2009; Smith i in., 2005).

ROZWINIĘCIA DWUCZYNNIKOWEGO MODELU LINIOWEGO ANOVA I OPARTE NA NICH METODY.

Większość zaawansowanych metod statystycznych służących do analizy interakcji $G \times L$ została opracowana dla danych stanowiących kompletną klasyfikację dwukierunkową krzyżową Odmiana $\times$ Miejscowość, w której jednym kierunkiem są odmiany, drugim zaś miejscowości. Do najbardziej skutecznych i najczęściej stosowanych metod opartych na różnych modyfikacjach dwuczynnikowego modelu ANOVA, należy analiza regresji łącznej, analiza AMMI (ang. Additive Main Effect and Multiplicative Interaction analysis) i analiza GGE (ang. Genotype main effect and Genotype $\times$ Environment interaction analysis) — (Gauch, 1992; Annicchiarico, 2002 b; Piepho i van Eeuwijk, 2002; Yan i Kang, 2003; Mądry i Kang, 2005). Wymienione metody są oparte na modelach z multiplikatywną interakcją $G \times L$, dlatego są one czasami nazywane modelami upraszczającymi efekty interakcji $G \times L$ (ang. parsimonious models) — (Viele i Srinivasan, 2000; Annicchiarico, 2002 b; Crossa i Cornelius, 2002). Parametry tych modeli są bardziej przydatne (niż parametry modelu ANOVA) do wnioskowania o stabilności plonowania i adaptacji (szerokiej lub wąskiej) odmian w rozpatrywanych środowiskach rolniczych.

Jednym ze sposobów podejścia do analizy danych z wielokrotnej serii jednorocznych doświadczeń odmianowych jest podział odmian lub środowisk na grupy jednorodne, w których zmienność efektów interakcji $G \times L$ jest odpowiednio zmniejszona w stosunku do zmienności tych efektów w całej serii doświadczeń (Gauch i Zobel, 1997; de la Vega i Chapman, 2006). Zatem, w każdej grupie jednorodnej odmian lub miejscowości profile interakcji $G \times L$ są podobne (Gauch i Zobel, 1996; Annicchiarico, 2002 b). Wykorzystanie tego podejścia pozwala sprawnie opisać reakcje odmian na środowiska bez pogorszenia tej oceny w porównaniu z oceną reakcji pojedynczych odmian. Do wydzielenia grup odmian i środowisk jednorodnych pod względem ich efektów interakcyjnych oraz oceny zróżnicowania pomiędzy tymi grupami stosuje się różne metody statystyczne, głównie zaś analizę AMMI i analizę GGE (Gauch i Zobel, 1996; Annicchiarico, 2002 b, 2009; Yan i Kang, 2003).

W badaniu efektów interakcji $G \times L$ możliwa jest poprawa dokładności ich oceny. Estymatory efektów interakcji $G \times L$ można podzielić na składniki powtarzalne (ang. pattern effects) i składniki losowe, nazywane błędem doświadczalnym lub szumem, które są spowodowane czynnikami niekontrolowanymi, czyli niepowtarzalnymi (Gauch i in., 2008; Piepho i in., 2008). Poprawa dokładności oceny efektów interakcji $G \times L$ polega na usunięciu składników losowych z szacowanych efektów interakcji $G \times L$ (Ebdon i Gauch, 2002; Paderewski, 2008; Mądry i in., 2012). Na podstawie tak oszacowanych efektów interakcji $G \times L$ otrzymuje się tzw. poprawione średnie dla kombinacji $G \times L$ (ang. AMMI-adjusted means), które można wykorzystać do dalszej analizy statystycznej z wykorzystaniem różnych metod służących do szczegółowej oceny i interpretacji interakcji $G \times L$ w podany wyżej sposób (Gauch i Zobel, 1996; Annicchiarico, 2002 b, 2009; Paderewski i Mądry, 2012).

Jedną z częściej stosowanych i przydatnych metod jest analiza AMMI, wykorzystująca model AMMI — (Gollob, 1968; Caliński i in., 1983, 1987; Gauch i Zobel, 1997; Annicchiarico, 2002 b). Ta metoda jest szeroko stosowana do opisu reakcji odmian roślin rolniczych na zmienne warunki agro-ekologiczne. Metoda zakłada addytywność efektów głównych odmian i miejscowości, natomiast efekty interakcyjne $G \times L$ wyrażone są za pomocą składników (parametrów) multiplikatywnych (Gollob, 1968; Gauch, 1992, 2006). Zastosowanie analizy AMMI do oceny reakcji odmian na warunki środowiskowe opiera się zwykle na wykorzystaniu składników multiplikatywnych dla dwóch pierwszych interakcyjnych składowych głównych (Gauch, 2006). Składniki multiplikatywne efektów interakcji $G \times L$ są oceniane za pomocą analizy składowych głównych (rozkładu macierzy efektów interakcji $G \times L$ według wartości osobliwych). Mogą być one wykorzystane w celu wizualizacji profili efektów interakcyjnych $G \times L$ na wykresach stanowiących element analizy AMMI. Zastosowanie metody AMMI było prezentowane w nielicznych krajowych pracach naukowych (Caliński i in., 1987; Pilarczyk i Kamiński, 1995; Mądry i in., 2006; Paderewski i Mądry, 2006).

Możliwe jest także łączne zastosowanie wielowymiarowych metod klasyfikacji, czyli grupowanie obiektów za pomocą analizy skupień (ang. clustering methods) oraz analizy AMMI, do badania zróżnicowania i relacji odmian pod względem ich reakcji na środowiska (Annicchiarico i in., 2009; Mądry i in., 2011; Paderewski i in., 2011). W analizie skupień parametry multiplikatywne dla efektów interakcji $G \times L$ są wykorzystywane w celu określenia odległości pomiędzy odmianami lub miejscowościami. Dodatkowo, parametry te stwarzają możliwość praktyczną dość dokładnego przedstawienia charakterystyki podobieństwa i niepodobieństwa pomiędzy obiektami w przestrzeni dwóch pierwszych interakcyjnych składowych głównych (Chapman i in., 1997; de la Vega i Chapman, 2006; Paderewski i Mądry, 2012).

WIELOKROTNE SERIE WIELOLETNICH DOŚWIADCZEŃ ODMIANOWYCH

Wnioskowanie o wartości rolniczej odmian (głównie reakcji odmian na warunki agrokologiczne), oparte na danych z wielokrotnej serii jednorocznych doświadczeń odmianowych, nie jest zwykle wystarczająco wiarygodne (Annicchiarico i Iannucci, 2008; Annicchiarico i in., 2010 a). Zatem, wymagane jest powtórzenie takich wielokrotnych doświadczeń również w kilku latach wegetacji (Annicchiarico i in., 2002 b; De Vita i in., 2010; Welham i in., 2010). W procesie badania odmian w Polsce wielokrotne serie wieloletnich doświadczeń odmianowych przeprowadzane są w ramach doświadczeń rejestrowych oraz porejestrowych (www.coboru.pl). Są one wykonywane przez COBORU w celu oceny adaptacji odmian pod względem plonu i innych cech rolniczych w zmiennych warunkach środowiskowych na przestrzeni kilku lat (Paderewski i in., 2011, www.coboru.pl). Obejmują one doświadczenia ze zróżnicowanym zestawem odmian w obrębie miejscowości i lat przeprowadzanych badań. Zatem, wartość gospodarcza odmian jest sprawdzana pod względem powtarzalności reakcji adaptacyjnej w zróżnicowanych warunkach pogodowych i biotycznych (Annicchiarico, 2002 a, b; De Vita i in., 2010). Zjawisko stopnia powtarzalności reakcji adaptacyjnej odmian jest związane z interakcją potrójną Odmiana $\times$ Miejscowość $\times$ Rok, oznaczana także jako interakcja $G \times L \times Y$.

Z wielokrotnych serii wieloletnich doświadczeń odmianowych otrzymujemy dane (średnie z powtórzeń), stanowiące zwykle niekompletną klasyfikację o postaci Odmiana $\times$ Miejscowość $\times$ Rok, czyli klasyfikację $G \times L \times Y$ (van Eeuwijk i in., 1995; Smith i in., 2005; de la Vega i in., 2007). Niekompletność danych w wymienionej klasyfikacji jest wynikiem zróżnicowanych zestawów odmian w rozpatrywanych miejscowościach oraz latach przeprowadzonych obserwacji (Smith i in., 2005; So i Edwards, 2009; DeLacy i in., 2010 a, b). Dla takich danych można stosować dwa podejścia do analizy statystycznej. Podobnie, jak we wcześniejszym rodzaju serii doświadczeń, można zastosować metodykę statystyczną dla danych niekompletnych w postaci $G \times L \times Y$ lub można zastosować dostępną aktualnie metodykę analizy danych dla kompletnych wielokrotnych serii wieloletnich doświadczeń odmianowych (Pinnschmidt i Hovmoller, 2002; So i Edwards, 2009).

Niektórzy autorzy twierdzą, że nawet przy dużym stopniu niekompletności danych w postaci $G \times L \times Y$ można przeprowadzić skutecznie ich analizę statystyczną oraz odpowiednie wnioskowanie merytoryczne o odmianach i miejscowościach, opierając się na odpowiednim modelu analizy wariancji (Smith i in., 2005; DeLacy i in., 2010 a, b; Welham i in., 2010). W analizie danych w klasyfikacji $G \times L \times Y$, odmiana i miejscowość są uznawane za czynniki stałe, zaś rok jako czynnik losowy (Annicchiarico, 2002 b, 2009; Paderewski i in., 2011) albo też miejscowość i rok są traktowane jako czynniki stałe, a odmiana, jako czynnik losowy (Smith i in., 2005; DeLacy i in., 2010 a, b; Welham i in., 2010) lub odwrotnie, czyli odmiana określona jest jako czynnik stały, a miejscowość i rok jako losowy. Jeszcze inne podejście do określenia charakteru statystycznego badanych czynników zaprezentowali Peltonen-Sainio i in. (2009), którzy rok i odmianę potraktowali jako czynniki stałe, zaś miejscowość jako czynnik losowy. W każdym wymienionym przypadku przyjęty model liniowy łącznej, trójczynnikowej analizy wariancji dla danych był modelem mieszanym. Decydując się na analizę danych w klasyfikacji niekompletnej, do estymacji parametrów modelu mieszanego stosuje się metodę największej wiarygodności REML (Restricted maximum likelihood) — (van Eeuwijk i in., 1995; Smith i in., 2005; Welham i in., 2010). Ta metoda została wdrożona w pakietach statystycznych SAS (SAS Institute, 2001), GenStat (GenStat, 2002) oraz ASReml (Gilmour i in., 1995, 2004; Gogel i in., 2009, www.vsni.co.uk). W badaniach Peltonen-Sainio i in. (2009) doświadczenia odmianowe ich wielokrotnej serie (zwane Official Variety Trials) były założone zarówno w kompletnych, jak i niekompletnych układach blokowych w 3–4 powtórzeniach w zależności od rozpatrywanych miejscowości i lat badań. Liczba badanych odmian była zróżnicowana w obrębie 28 miejscowości w Finlandii, a także na przestrzeni lat 1976–2006. Autorzy zastosowali analizę statystyczną dla danych w klasyfikacji niekompletnej, wykorzystując metodę REML za pomocą procedury MIXED w pakiecie SAS.

Alternatywnym rozwiązaniem jest analiza statystyczna, oparta na danych kompletnych w klasyfikacji Odmiana $\times$ Miejscowość $\times$ Rok. Jej celem jest ocena adaptacyjnej reakcji odmian na warunki środowiskowe w kilku sezonach badań (Annicchiarico, 2002 b; Annicchiarico i in., 2010 a; Mohammadi i in., 2010) oraz wskazanie odmian o szerokiej i wąskiej adaptacji (BASFORD i Cooper, 1998; Gauch i in., 2008). Analiza danych z wielokrotnej serii wieloletnich doświadczeń odmianowych może być wykonana w dwóch etapach, czyli za pomocą procedury dwustopniowej (Annicchiarico, 2002 b; Smith i in., 2005; de la Vega i in., 2007). W pierwszym kroku wykonuje się oddzielne jednoczynnikowe analizy wariancji dla danych pochodzących z doświadczeń pojedynczych w każdym środowisku (miejscowości) i roku, zgodnie z układem polowym wykonanego doświadczenia (zwykle jest to układ bloków niekompletnych). W ten sposób wyznacza się średnie poprawione dla cechy roślin (np. plonu) dotyczące odmian w danej miejscowości i roku oraz średnie kwadraty odchyłeń dla błędu doświadczalnego. Średnie poprawione w kombinacjach $G \times L \times Y$ stanowią odpowiednią klasyfikację trójkierunkową. Drugim etapem jest analiza wariancji średnich poprawionych w tej klasyfikacji, oparta na odpowiednim modelu liniowym łącznej analizy wariancji, zgodnym z ustalonym charakterem badanych czynników. Jednakże, analiza wariancji jest mało skuteczna przy

wnioskowaniu o reakcji cechy odmian na warunki środowiskowe, ponieważ nie umożliwia szczegółowej interpretacji ocen istotnych efektów interakcji $G \times L$ oraz nie pozwala na efektywne badanie podobieństwa i niepodobieństwa rozważanych ocen reakcji odmian (Annicchiarico, 2002 b; Crossa i in., 2010).

Do oceny adaptacji odmian na przestrzeni kilku lat obserwacji stosuje się przeważnie trzy metody, tj. analizę AMMI, łączną analizę skupień i analizę GGE (Gauch i in., 2008; Mohammadi i Amri, 2009; Paderewski i in., 2011). Przy wykorzystaniu metod wielowymiarowych dla danych w postaci $G \times L \times Y$ czasami środowisko (E) określone jest jako kombinacja $L \times Y$. Wówczas dane z klasyfikacji $G \times L \times Y$ tworzą klasyfikację dwukierunkową o postaci $G \times E$ (Annicchiarico 2002 b; Pinnschmidt i Hovmöller, 2002; Mohammadi i in., 2010; Loyce i in., 2011). W takich przypadkach efekty główne odmian i miejscowości w latach mogą być estymowane za pomocą klasycznej dwukierunkowej analizy wariancji, zaś efekty interakcji $G \times E$ mogą być wyrażone za pomocą składników multiplikatywnych otrzymanych metodami wielowymiarowymi, np. metodą AMMI lub GGE. Najbardziej przydatną metodyką okazuje się łączne stosowanie wielowymiarowych metod klasyfikacji, czyli grupowania obiektów za pomocą analizy skupień z metodami ordynacyjnymi służącymi do oceny zróżnicowania obiektów (Chapman i in., 1997; de la Vega i Chapman, 2006; Zhang i in., 2006). Analiza skupień ona narzędziem służącym do eksploracyjnej analizy danych, której celem jest ułożenie obiektów w grupy w taki sposób, aby stopień powiązania obiektów z tej samej grupy był jak największy, a z obiektami z pozostałych grup jak najmniejszy. Wykorzystując tę analizę grupowanie obiektów odbywa się na podstawie przyjętej miary podobieństwa lub niepodobieństwa dla zmiennych opisujących te obiekty. Ponadto należy określić metodę aglomeracji, czyli zasadę łączenia obiektów w grupy i łączenia mniejszych grup w większe. Dlatego istnieje wiele metod analizy skupień, określonych łącznie przez miarę odległości, oraz metodę aglomeracji. Wybór odpowiedniej metody analizy skupień do badań empirycznych jest ważnym krokiem w metodyce tych doświadczeń (Crossa i Franco, 2004).

W analizie skupień najczęściej stosuje się technikę opartą na metodzie Warda (metodę Warda) z odległościami euklidesowymi, która pozwala na wyodrębnienie grup obiektów o dużym podobieństwie wewnętrznym. Modelem z multiplikatywnymi efektami interakcji $G \times E$ jest model AMMI, zaś z efektami głównymi odmian i multiplikatywnymi efektami $G \times E$ jest model GGE. Wykorzystanie parametrów multiplikatywnych dla wymienionych efektów interakcyjnych służy do zwykle dość dokładnego przedstawienia i charakterystyki podobieństwa i niepodobieństwa między obiektami najczęściej w przestrzeni dwóch pierwszych składowych głównych (Ward, 1963; Chapman i in., 1997; Yan i in., 2007; Gauch i in., 2008). Pozwala to na podział odmian na grupy jednorodne reagujące podobnie w rozpatrywanych środowiskach rolniczych. Ma to znaczenie w uproszczeniu wizualizacji reakcji odmian na środowiska przede wszystkim w seriach doświadczeń wykonywanych z dużą liczbą odmian. Przy komplementarnym wykorzystaniu tych metod, możliwa jest skuteczna interpretacja oceny reakcji odmian na zmienne warunki w miejscowościach na podstawie wykresu przedstawiającego oceny parametrów AMMI, czyli efektów głównych odmian (określonych jako odmianowa pierwsza interakcyjna składowa główna GIPC1) i miejscowości, uśrednionych przez lata (określonych jako środowiskowa pierwsza

interakcyjna składowa główna EIPC1) oraz ich efektów interakcyjnych. Stosowanych jest wiele możliwości prezentacji dla ocen parametrów modelu AMMI. Każdy typ wizualizacji wyników obrazuje odpowiednią charakterystykę reakcji cech odmian na środowiska rolnicze (Annicchiarico i Iannucci, 2008; Gauch, 2006; Mohammadi i Amri, 2009). Zarówno parametry odmianowe $GIPC_t$, jak i środowiskowe $EIPC_t$ są wzajemnie ortogonalne, czyli nie zachodzi liniowa zależność parametrów jednej interakcyjnej składowej głównej od pozostałych składowych. Oceny obu rodzajów tych parametrów dla pierwszej lub dwóch pierwszych interakcyjnych składowych głównych mogą być zobrazowane graficznie w postaci wykresu podwójnego w układzie dwóch osi prostokątnych (Gabriel, 1971; Gauch, 1992; Annicchiarico, 2002 b). W celu wizualizacji reakcji odmian na warunki środowiskowe, efekty główne odmian, oszacowane metodą ANOVA oraz parametry multiplikatywne, oszacowane metodą AMMI coraz częściej są wykorzystywane w postaci AMMI-1 plonów nominalnych (ang. AMMI-1 nominal yields) — (Gauch i Zobel, 1997; Annicchiarico, 2002 b). Ta metoda jest szeroko propagowana i polecana przez Paulo Annicchiarico (Annicchiarico i Iannucci, 2008; Annicchiarico i in., 2010 a, 2011).

W procesie badania odmian poza oceną ich reakcji na środowisko, poważne znaczenie rolnicze ma zweryfikowanie wpływu stosowanych zabiegów agrotechnicznych na zachowanie odmian. Do takich badań wymagane jest przeprowadzenie wielokrotnych serii doświadczeń odmianowych z udziałem zróżnicowanej agrotechniki (Ma i in., 2004; Anderson, 2010; Annicchiarico i in., 2010 a).

WIELOKROTNE SERIE JEDNOROCZNYCH DOŚWIADCZEŃ ODMIANOWO-AGROTECHNICZNYCH

Wielokrotne serie jednorocznych doświadczeń odmianowo-agrotechnicznych wykonuje się w ramach Porejstrowego Doświadczalnictwa Odmianowego i Rolniczego (www.coboru.pl). Serie tych dwuczynnikowych doświadczeń są źródłem danych przydatnych do badania adaptacyjnej reakcji odmian na zmienne warunki środowiskowe w rolniczej przestrzeni produkcyjnej całego kraju (seria L) lub w obrębie województw (seria K), przy każdej z dwóch badanych intensywności agrotechniki (Bujak i Tratwał, 2011; Derejko i in., 2011; Mądry i in., 2012, www.coboru.pl). Jednakże, efektywne badanie adaptacyjnej reakcji odmian na środowisko i rodzaj agrotechniki na podstawie danych dla plonu (lub innych cech plonotwórczych roślin) z wielokrotnych, jednorocznych i wieloletnich, serii doświadczeń odmianowo-agrotechnicznych jest trudnym zadaniem metodyczno-statystycznym, ze względu na wielość efektów czynnikowych i wymogi analityczne (Annicchiarico i Iannucci, 2008; Anderson, 2010; Mądry i in., 2012). Dane z wielokrotnych, jednorocznych serii doświadczeń odmianowo-agrotechnicznych tworzą klasyfikację trójkierunkową o postaci Odmiany $\times$ Agrotechnika $\times$ Miejscowości, w skrócie klasyfikacji $G \times M \times L$. Przy analizie danych o postaci $G \times M \times L$, czasami środowisko (E) określane jest jako kombinacja $M \times L$ (Raman i in., 2011; Thangavel i in., 2011). Dodatkowym powodem trudności w analizie rozpatrywanych danych jest ich niekompletność (Smith i in., 2005; So i Edwards, 2009; Mądry i in., 2012). Jednakże,

akceptowalnym podejściem do analizy danych w klasyfikacji $G \times M \times L$, jest skupienie się na możliwie obszernym, kompletnym podzbiorze tych danych (So i Edwards, 2009; Mądry i in., 2012). To podejście pozwala na zastosowanie znacznie prostszej metodyki statystycznej, niż ta, dla danych niekompletnych (Ma i in., 2004; Annicchiarico i in., 2010 a; Crossa i in., 2010). W metodyce badań agronomicznych na podstawie wymienionych danych kompletnych, służącej ocenie wartości gospodarczej odmian, zwraca się uwagę na adekwatne modelowanie statystyczne danych, wykrywanie i interpretowanie różnych reakcji badanych odmian na warunki środowiskowe oraz stosowaną agrotechnikę.

Jeżeli efekty interakcji pomiędzy odmianą, intensywnością agrotechniki i środowiskiem (miejscowością) są istotne, wówczas ocena reakcji odmian, oparta jedynie na ich efektach głównych, nie jest wystarczająco wiarygodna (Basford i Cooper, 1998; Loyce i in., 2008; Anderson, 2010). Czasami podejście statystyczne do analizy danych o postaci $G \times M \times L$ ogranicza się jedynie do użycia ANOVA (Souza i in., 2004; Derejko i in., 2011). Jednakże, kompleksowa metodyka analityczna dla danych kompletnych z wielokrotnych serii jednorocznych doświadczeń odmianowo-agrotechnicznych, powinna składać się z łącznej trójkierunkowej analizy wariancji i metod opartych na modelach multiplikatywnych, a także analizy skupień (Thangavel i in., 2011; Mądry i in., 2012). Różnorodność modeli ANOVA związana jest z charakterem statystycznym poszczególnych czynników, czyli traktowaniem ich jako czynnik stały lub losowy. W pracach naukowych z wykorzystaniem danych z wielokrotnych serii jednorocznych doświadczeń odmianowo-agrotechnicznych, przyjmuje się różne rodzaje założeń w modelach ANOVA, dotyczących odmian, agrotechniki i miejscowości. Częstym podejściem metodycznym jest przyjęcie mieszanego modelu ANOVA, w którym odmiany i agrotechnika określone są jako czynniki stałe, miejscowości zaś jako czynnik losowy (Oscarsson i in., 1998; Schmidt i in., 2001; Souza i in., 2004; Gan i in., 2007). Wspomniane podejście metodyczne do wnioskowania na podstawie danych, pochodzących z wielokrotnej serii jednorocznych doświadczeń PDOiR, zostało zaprezentowane i zilustrowane w pracach Derejko i in. (2011) oraz Mądrego i in. (2012) dla pszenicy ozimej. Kompletność danych uzyskano przez ograniczenie się do zestawu odmian badanych w każdej miejscowości, wybranych z całej serii doświadczeń PDOiR. Metodyka statystyczna stosowana w cytowanej pracy, składa się z trójkierunkowej analizy wariancji opartej na stałym modelu liniowym oraz wielokrotnego testowania średnich obiektowych za pomocą procedury Tukeya. Autorzy, za punkt wyjścia wzięli algorytm McIntosh (1983) dla łącznej analizy wariancji danych z wielokrotnej serii jednorocznych doświadczeń dwuczynnikowych, planowanych w układzie losowanych bloków i split-plot, z odmianami, rodzajami agrotechniki i miejscowościami, traktowanymi jako czynniki stałe. Niektóre inne rodzaje algorytmów analizy wariancji podane w pracy McIntosh (1983) zostały także wykorzystane do wnioskowania w wielokrotnych seriach doświadczeń odmianowo-agrotechnicznych (Schmidt i in., 2001; Geleta i in., 2002; Carr i in., 2003).

Metodyka proponowana dotychczas może być stosowana do klasycznego wnioskowania o efektach głównych odmian, agrotechniki i miejscowości, a także o efektach interakcji tych czynników (Derejko i in., 2011). Jednakże, w celu zwiększenia możliwości wnioskowania o reakcji odmian na środowisko i intensywność agrotechniki używa się metod specjalistycznych, opartych na modelach multiplikatywnych (Ma i in., 2004; Annicchiarico i in., 2011 a; Thangavel i in., 2011; Mądry i in., 2012). W pracy Mądrego i in. (2012) efekty interakcji Odmiana $\times$ Miejscowość analizowano za pomocą metody AMMI. Na wartościach średnich, poprawionych za pomocą analizy AMMI, dla plonu odmian w środowiskach, przeprowadzono analizę skupień metodą Warda, grupującą badane odmiany. W ten sposób uzyskano grupowe reakcje badanych odmian na środowiska, co pozwoliło na sprawne wnioskowanie o adaptacji grup odmian, zamiast opisu reakcji każdej odmiany z osobna.

Zastosowanie wymienionej metodyki statystycznej dla danych kompletnych z wielokrotnej serii jednorocznych doświadczeń odmianowo-agrotechnicznych, może być efektywnym narzędziem do wnioskowania o adaptacyjnej reakcji odmian na warunki środowiskowe i agrotechnikę tylko w jednym sezonie wegetacji. Natomiast, bardziej wiarygodne badania nad reakcją odmian na środowisko i agrotechnikę wymagają powtórzenia serii tych doświadczeń w kilku sezonach wegetacji (Ma i in., 2004; Loyce i in., 2008, 2011; Anderson, 2010). Badania te pozwalają na bardziej trafny dobór odmian zarówno do agrotechniki, jak i do miejscowości, w których osiągają one relatywnie wysoki plon (Brancourt-Hulmel i in., 2003; Ma i in., 2004; Annicchiarico i in., 2010 a).

WIELOKROTNE SERIE WIELOLETNIH DOŚWIADCZEŃ ODMIANOWO- AGROTECHNICZNYCH

W Polsce wielokrotne serie wieloletnich doświadczeń odmianowo-agrotechnicznych są wykonywane w systemie PDOiR (www.coboru.pl). Zarówno w miejscowościach, jak i latach badań liczba i zestaw rozpatrywanych odmian są zróżnicowane. Zatem, wspomniane serie doświadczeń dostarczają danych w niekompletnej klasyfikacji o postaci Odmiana $\times$ Agrotechnika $\times$ Miejscowość $\times$ Rok ($G \times M \times L \times Y$). Autorce niniejszej pracy nie są znane publikacje metodyczno-statystyczne dotyczące analizy niekompletnych danych w klasyfikacji $G \times M \times L \times Y$. Natomiast, dorobek naukowy dotyczący analizy danych kompletnych w tej klasyfikacji jest dość znaczący, zarówno na świecie, jak i w Polsce (Anderson, 2010; Annicchiarico i in., 2010 a; Mohammadi i in., 2011; Mądry i in., 2012). Metodyka statystyczna stosowana w tego typu badaniach, podobnie jak we wcześniej omawianych doświadczeniach, opiera się głównie na łącznej, czteroczynnikowej analizie wariancji. Metoda ta umożliwia oszacowanie i badanie istotności efektów głównych rozpatrywanych czynników, czyli odmian, agrotechniki, miejscowości i lat, a także ich efektów interakcji na rozpatrywane cechy roślin (Loyce i in., 2011; Gan i in., 2010). Sama łączna analiza wariancji, choć stosowana w takich badaniach, nie jest narzędziem wystarczająco efektywnym do szczegółowej oceny reakcji odmian na środowisko i agrotechnikę (Cooper i in., 2001; Brancourt-Hulmel i in., 2003; Derejko i in., 2011).

Określenie statystycznego charakteru czynników, a tym samym rodzaju modeli łącznej analizy wariancji w tych badaniach, jest zróżnicowane. Najczęściej rok uznaje się jako czynnik losowy, natomiast odmianę, agrotechnikę oraz miejscowość jako czynniki stałe (McIntosh, 1983; Anderson, 2010; Anicchiarico i in., 2010 a). Stiller i in. (2004) traktowali odmianę i agrotechnikę (nawodnienie) jako czynniki stałe, zaś miejscowość i rok, jako czynniki losowe. Jednakże, w badaniach zaprezentowanych przez Surprenant i in. (1993) jako czynnik stały określono agrotechnikę oraz rok, pozostałe dwa czynniki jako losowe. Natomiast, w pracy Coopera i in. (2001) miejscowość i rok uznano za czynniki stałe, zaś odmianę i agrotechnikę, za czynniki losowe. Uzasadnieniem takiego podejścia wymienionych badaczy była mała liczba poziomów czynników stałych (3 miejscowości i 2 lata) oraz dążenie do zastosowania estymatora BLUP dla średnich dotyczących kombinacji $G \times M$. Estymator BLUP szacuje dokładniej niż estymator BLUE, stosowany do oceny wymienionych średnich, przy założeniu, że odmiana i agrotechnika są czynnikami stałymi.

Przy analizie danych kompletnych o postaci $G \times M \times L \times Y$, czasami środowisko, nazywane też siedliskiem (ang. site) określane jest jako kombinacja $L \times Y$ (Ma i in., 2004; Gan i in., 2007, 2010; Loyce i in., 2008, 2011) lub jako kombinacja $L \times M$ (Suprenant i in. 1993, Raman i in. 2011). W obu rodzajach podejść do środowisk, są one traktowane jako czynnik losowy. Zatem, w cytowanych pracach łączna analiza wariancji danych o postaci $G \times M \times L \times Y$ była oparta na odpowiednim mieszanym modelu liniowym. Uzupełnieniem łącznej 4-czynnikowej analizy wariancji w rozpatrywanych rodzajach badań jest metoda AMMI lub analiza regresji łącznej dla efektów interakcji $G \times L$ (Ma i in., 2004; Annicchiarico i in., 2010 a; Mohammadi i in., 2011). Te metody pozwalają na skuteczne badanie reakcji odmian na warunki środowiskowe, przeciętnie poprzez rodzaje agrotechniki i lata badań, czyli na podstawie średnich w klasyfikacji $G \times L$ (Ma i in., 2004; Loyce i in., 2008, 2011). Ma i in. (2004) zastosowali metodę AMMI do badania wpływu nawożenia azotem na plon ziarna pszenicy jarej przeciętnie poprzez badane odmiany, oddzielnie w każdym rozpatrywanym środowisku.

Ważnymi publikacjami dla metodyki proponowanej w tej rozprawie są prace Ma i in. (2004) oraz Andersona i in. (2011). W pierwszej pracy wykonano analizę statystyczną danych pochodzących z serii doświadczeń dla 10 odmian pszenicy jarej, 4 dawek nawożenia mineralnego, 11 środowisk (środowisko było rozumiane jako kombinacja $L \times Y$) i 3 lat badań. W pierwszym kroku została wykonana 4-czynnikowa łączna analiza wariancji według modelu mieszanego, a następnie wykorzystano analizę AMMI oraz GGE w celu interpretacji interakcji Nawożenie $\times$ Środowisko oraz Odmiana $\times$ Środowisko. Podwójny wykres AMMI dla średnich dotyczących poziomów obu czynników oraz efektów interakcji Nawożenie $\times$ Środowisko opierał się na pierwszej interakcyjnej składowej głównej, zaś GGE na dwóch interakcyjnych składowych głównych. Dokonano podziału środowisk oraz odmian na grupy jednorodne z wykorzystaniem analizy skupień metodą Warda z odległością euklidesową. Wykorzystane metody były efektywne w graficznym przedstawieniu badanych efektów interakcji. W badaniach Andersona i in. (2011) na podstawie danych z serii doświadczeń, planowanych w układzie split-plot, dla 22 odmian pszenicy, 3 sposobów agrotechniki, 22 miejscowości oraz 3 lat została wykonana łączna

analiza wariancji według modelu mieszanego. Stwierdzono istotną interakcję Agrotechnika $\times$ Środowisko, która wskazuje na odmienną przeciętną reakcję badanych odmian (przeciętną reakcję poprzez odmiany i lata) na agrotechnikę w różnych środowiskach rolniczych. Podobne wnioski sformułowano na podstawie badań Murphy'ego i in. (2007) nad reakcją plonu ziarna 35 linii hodowlanych pszenicy ozimej na technologię uprawy i środowisko, stanowiące kombinację miejscowości z rokiem. Wymienieni badacze oceniali także wpływ rodzaju technologii uprawy (konwencjonalnej i organicznej) na plon ziarna linii, oddzielnie w każdym rozpatrywanym środowisku.

LITERATURA

- Anderson W. K. 2010. Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. *Field Crops Res.* 116: 14 — 22.
- Anderson W. K., Van Burgel A. J., Sharma D. L., Shackley B. J., Zaicou-Kunesch C. M., Miyan M. S., Amjad M. 2011. Assessing specific agronomic responses of wheat cultivars in a winter rainfall environment. *Crop and Pasture Sci.* 62: 115 — 124.
- Annicchiarico P. 2002 a. Defining adaptation strategies and yield stability targets in breeding programmes W: Kang M.S. (Ed.) *Quantitative genetics, genomics and plant breeding*. CAB, Wallingford, UK.: 165 — 183.
- Annicchiarico P. 2002 b. Genotype-environment interactions: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. FAO Plant Production and Protection Paper No. 174. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Annicchiarico P. 2009. Coping with and exploiting genotype $\times$ environment interactions. In: Ceccarelli S., Guimarães E. P., Weltzien E. (eds), *Plant Breeding and Farmer Participation*. Food and Agricultural Organization, Rome: 519 — 564.
- Annicchiarico P., Chiapparino E., Perenzin M. 2010 a. Response of common wheat varieties to organic and conventional production systems across Italian locations and implications for selection. *Field Crops Res.* 116: 230 — 238.
- Annicchiarico P., Scotti C., Carelli M., Pecetti L. 2010 b. Questions and avenues for lucerne improvement. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 46:1 — 13.
- Annicchiarico P., Iannucci A. 2008. Adaptation strategy, germplasm type and adaptive traits for field pea improvement in Italy based on variety responses across climatically contrasting environments. *Field Crops Res.* 108:133 — 142.
- Annicchiarico P., Pecetti L., Abdelguerfi A., Bouizgaren A., Carroni A. M., Hayek T., M'Hammadi Bouzina M., Mezni M. 2011. Adaptation of landrace and variety germplasm and selection strategies for lucerne in the Mediterranean basin. *Field Crops Res.* 120: 283 — 291.
- Basford K. E., Cooper M. 1998. Genotype $\times$ environment interactions and some considerations of their implications for wheat breeding in Australia. *Aust. J. Agric. Res.* 49: 153 — 174.
- Becker H. C., Leon J. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101, 1: 1 — 23.
- Brancourt-Hulmel M., Doussinault G., Lecomte C., Berard P., Le Buaec B., Trottet M. 2003. Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992. *Crop Sci.* 43: 37 — 45.
- Bujak H., Tratwa G. 2011. Ocena stabilności plonowania odmian pszenicy ozimej na podstawie doświadczeń porejestrowych w Polsce. *Biul. IHAR* 260/261: 69 — 79.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P. 1998. SERGEN 4 — Analysis of series of variety trials and plant genetic or breeding experiments. Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Sciences, and Department of Mathematical and Statistical Methods, Agricultural University, Poznań, Poland.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z. 1983. Analiza jednorocznej serii ortogonalnej doświadczeń odmianowych ze szczególnym uwzględnieniem interakcji odmianowo-środowiskowej. 1. Analiza szczegółowa. *Biul. Oceny Odmian* 15: 39 — 60.

- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z. 1987. A model for the analysis of a series of experiments repeated at several places over a period of years. I. Theory. *Biul. Oceny Odmian* 17/18: 7 — 33.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Pilarczyk W. 2005. Analyzing Multi-environment Variety Trials Using Randomization-Derived Mixed Models. *Biometrics* 61 (2): 448 — 55.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Pilarczyk W. 2009. Analyzing the genotype-by-environment interactions under a randomization-derived mixed model. *JABES* 14 (2).
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski I. 1995. SERGEN-A computer program for the analysis of series of variety trials. *Biul. Oceny Odmian* 26–27: 39 — 41.
- Chapman S.C., Crossa J., Edmeades G. O. 1997. Genotype by environment effects and selection for drought tolerance in tropical maize. I. Two mode pattern analysis of yield. *Euphytica* 95: 1 — 9.
- Cooper M., Woodruff D. R., Phillips I. G., Basford K.E., Gilmour A. R. 2001. Genotype-by-management interactions for grain yield and grain protein concentration of wheat. *Field Crops Res.* 69: 47 — 67.
- Crossa J., Cornelius P. L., Yan W. 2002. Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype $\times$ environment interaction *Crop Sci.* 42: 619 — 633.
- Crossa J., Franco J. 2004. Statistical methods for classifying genotypes. *Euphytica* 137: 19 — 37.
- Crossa J., Vargas M., Joshi A. K. 2010. Linear, bilinear, and linear-bilinear fixed and mixed models for analyzing genotype $\times$ environment interaction in plant breeding and agronomy. *Can. J. Plant Sci.* 90: 561 — 574.
- de la Vega A. J., Chapman S. C. 2006. Defining sunflower selection strategies for a highly heterogeneous target population of environments. *Crop Sci.* 46: 136 — 144.
- de la Vega A. J., Chapman S. 2010. Mega-environment differences affecting genetic progress for yield and relative value of component traits. *Crop Sci.* 50: 574 — 583.
- de la Vega A. J., DeLacy I. H., Chapman S.C. 2007. Changes in agronomic traits of sunflower hybrids over 20 years of breeding in central Argentina. *Field Crops Res.* 100: 73 — 81.
- DeLacy I. H., Kaul S., Rana B. S., Cooper M. 2010 a. Genotypic variation for grain and stover yield of dry land (rabi) sorghum in India, 1. Magnitude of genotype $\times$ environment interactions. *Field Crops Res.* 118: 228 — 235.
- DeLacy I. H., Kaul S., Rana R. A., Cooper M. 2010 b. Genotypic variation for grain and stover yield of dryland (rabi) sorghum in India, 2. A characterization of genotype $\times$ environment interactions. *Field Crops Res.* 118: 236 — 242.
- De Vita P., Mastrangelo A. M., Matteu L., Mazzucotelli E., Virzi N., Palumbo M., Lo Storto M., Rizza F., Cattivelli L. 2010. Genetic improvement effects on yield stability in durum wheat genotypes grown in Italy. *Field Crops Res.* 119: 68 — 77.
- Derejko A., Mądry W., Gozdowski D., Rozbicki J., Golba J., Piechociński M., Studnicki M. 2011. Wpływ odmian, miejscowości i intensywności uprawy oraz ich interakcji na plon pszenicy ozimej w doświadczeniach PDO. *Biul. IHAR* 259: 131 — 146.
- Ebdon J. S., Gauch H. G. 2002. Additive main effect and multiplicative interactions analysis of national turfgrass performance trials. Interpretation of genotype $\times$ environment interactions. *Crop Sci.* 42: 489 — 496.
- Finlay K. W., Wilkison G. N. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Sci.* 14.
- Gan Y., Johnston A., Knight D., McDonald C., Stevenson C. 2010. Nitrogen dynamics of chickpea: Effects of cultivar choice, N fertilization, *Rhizobium* inoculation, and cropping systems. *Can. J. Plant Sci.* 90: 655 — 666.
- Gauch H. G. 1992. Statistical analysis of regional yield trials. AMMI analysis of factorial designs. Elsevier Science, New York.
- Gauch H. G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Sci.* 46: 1488 — 1500.

- Gauch H. G., Piepho H. P., Annicchiarico P. 2008. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Sci.* 48: 866 — 889.
- Gauch H. G., Zobel R. W. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: M. S. Kang, H. G. Gauch (Ed.) *Genotype by environment interaction*. CRC Press, Boca Raton: 85 — 122.
- Gauch H. G., Zobel R. W. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Sci.* 37: 311 — 326.
- GenStat 2002. The guide to Genstat. Release 6.1. VSN International. Oxford, UK.
- Gilmour A., Cullis B., Welham S., Gogel B., Thompson R. 2004. An efficient computing strategy for prediction in mixed linear models. *Comput. Stat. Data An.* 44: 571 — 586.
- Gilmour A., Thompson R., Cullis B. R. 1995. Average information REML: An efficient algorithm for variance parameter estimation in linear mixed models. *Biometrics* 51: 1440 — 1450.
- Gogel B. J., Cullis, B. R., Thompson R. 2009. *ASReml UserGuide Release 3.0* VSN International Ltd, Hemel Hempstead, HP1 1ES, UK.
- Gollob H. 1968. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. *Psychometrika* 33: 73 — 115.
- Iwańska M., Mądry W., Drzazga T., Rajfura A. 2008. Zastosowanie miar statystycznych do oceny stopnia szerokiej adaptacji odmian pszenicy ozimej na podstawie serii doświadczeń przedrejestrowych. *Biul. IHAR* 250: 67 — 86.
- Kang M. S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. *Agron. J.* 85: 754 — 757.
- Kang M. S. 1998. Using genotype-by environment interaction for crop cultivar development. *Adv. Agron.* 62: 199 — 253.
- Kang M.S. 2002. Genotype-environment interaction: Progress and prospects. In: Kang M.S. (Ed.), *Quantitative genetics, genomics and plant breeding*, CAB International Wallingford, UK: 221 — 243.
- Loyce C., Meynard J. M., Bouchard C., Rolland B., Lonnet P., Bataillon P., Bernicot M. H., Bonnefoy M., Charrier X., Debote B., Demarquet T., Duperrier B., Felix I., Hedddadj D., Leblanc O., Leleu M., Mangin P., Meausoone M., Doussinault G. 2008. Interaction between cultivar and crop management effects on winter wheat diseases, lodging, and yield. *Crop Protect.* 27: 1131 — 1142.
- Loyce C., Meynard J. M., Bouchard C., Rolland B., Lonnet P., Bataillon P., Bernicot M. H., Bonnefoy M., Charrier X., Debote B., Demarquet T., Duperrier B., Felix I., Hedddadj D., Leblanc O., Leleu M., Mangin P., Meausoone M., Doussinault G. 2011. Growing winter wheat cultivars under different management intensities in France: A multicriteria assessment based on economic, energetic and environmental indicators. *Field Crops Res.* 125: 167 — 178.
- Ma B. L., Yan W., Dwyer L. M., Fregeau-Reid J., Voldeng H. D., Dion Y., Nass H. 2004. Graphic analysis of genotype, environment, nitrogen fertilizer, and their interactions on spring wheat yield. *Agron. J.* 96: 169 — 180.
- Mądry W. 2003. Analiza statystyczna miar stabilności na podstawie danych w klasyfikacji genotypy × środowiska. Część II. Model mieszaný Shukli i model regresji łącznej. *Coll. Biom.* 33: 207 — 220.
- Mądry W., Kang M. S. 2005. Scheffé-Caliński and Shukla models: their interpretation and usefulness in stability and adaptation analyses. *J. Crop Improv.* 14: 325 — 369.
- Mądry W., Paderewski J., Drzazga T. 2006. Ocena reakcji plonu ziarna rodów hodowlanych pszenicy ozimej na zmienne warunki środowiskowe za pomocą analizy AMMI. *Fragm. Agron.* 92: 130 — 143.
- Mądry W., Paderewski J., Gazdowski D., Drzazga T. 2011. Adaptive yield response of winter wheat cultivars across environments in Poland using joint AMMI and cluster analyses. *Intern. J. Plant Prod.* 5: 299 — 310.
- Mądry W., Paderewski J., Rozbicki J., Gozdowski D., Golba J., Piechociński M., Studnicki M., Derejko A. 2012. Plonowanie odmian pszenicy ozimej w różnych środowiskach — jednoroczna seria PDOiR. *Biul. IHAR* 263: 189 — 204.

- McIntosh M. S. 1983. Analysis of combined experiments. *Agron. J.* 75: 153 — 155.
- Mohammadi R., Amri A. 2009. Analysis of genotype $\times$ environment interactions for grain yield in durum wheat. *Crop Sci.* 49: 1177 — 1186.
- Mohammadi R., Sadeghzadeh D., Armion M., Amri A. 2011. Evaluation of durum wheat experimental lines under different climate and water regime conditions of Iran. *Crop Pasture Sci.* 62: 137 — 151.
- Murphy K. M., Campbell K. G., Lyon S. R., Jones S. S. 2007. Evidence of varietal adaptation to organic farming systems. *Field Crops Res.* 102: 172 — 177.
- Paderewski J. 2008. Przydatność modelu AMMI do badania reakcji roślin rolniczych na warunki środowiskowe. Praca doktorska, Wydział Rolnictwa i Biologii, SGGW.
- Paderewski J., Gauch H. G., Mądry W., Drzazga T., Rodrigues P. C. 2011. Yield response of winter wheat to agro-ecological conditions using additive main effects and multiplicative interaction and cluster analysis. *Crop Sci.* 51: 969 — 980.
- Paderewski J., Mądry W. 2012. Zastosowania modelu AMMI do analizy reakcji odmian na warunki środowisk rolniczych. *Biul. IHAR* 263: 161 — 188.
- Pecetti L., Annicchiarico P., Abdelguerfi A., Kallida R., Mefti M., Porqueddu C., Simoes N., Volaire F., Lelievre F. 2011. Response of mediterranean tall fescue cultivars to contrasting agricultural environments and implications for selection. *J. Agron. Crop Sci.* 197: 12 — 20.
- Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L., Laurila I. P. 2009. Cereal yield in northern European conditions. Changes in yield potential and its realisation. *Field Crops Res.* 110: 85 — 90.
- Piepho H. P., Möhring J., Melchinger A. E., Büchse A. 2008. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. *Euphytica* 161: 209 — 228.
- Piepho, H. P., van Eeuwijk F.A. 2002. Stability analyses in crop performance evaluation. In: Kang M.S. [ed.]: *Crop improvement: Challenges in the twenty-first century*. Food Products Press, Binghamton. New York: 307 — 342.
- Pilarczyk W. 1983. Wykorzystanie analizy skupień do podziału stacji doświadczalnych na grupy o małej interakcji odmianowo-środowiskowej. *Colloquium Biometryczne* 13: 133 — 147.
- Pilarczyk W., Kamiński J. 1995. Application of some traditional models and AMMI model for analysis of a series of cereal trials. *Biuletyn Oceny Odmian*. 26–27: 179 — 188.
- Pinn Schmidt H. O., Hovmöller M. S. 2002. Genotype $\times$ environment interactions in the expression of net blotch resistance in spring and winter barley varieties. *Euphytica* 125: 227 — 243.
- Raman A., Ladha J. K., Kumar V., Sharma S., Piepho H. P. 2011. Stability analysis of farmer participatory trials for conservation agriculture using mixed models. *Field Crops Res.* 121: 450 — 459.
- SAS Institute Inc. 2004 SAS OnlineDoc® 9.1.3. Cary, NC.
- Smith A. B., Cullis B. R., Thompson R. 2005. The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: an overview of current mixed model approaches. *J. Agric. Sci.* 143: 449 — 462.
- So Y.S., Edwards J. 2009. A Comparison of mixed-model analyses of the Iowa Crop Performance Test for corn. *Crop Sci.* 49: 1593 — 1601.
- Stiller W. N., Reid P. E., Constable G. A. 2004. Maturity and leaf shape as traits influencing cotton cultivar adaptation to dryland conditions. *Agron. J.* 96: 656 — 664.
- Surprenant J., Drapeau R., Fernet C. 1993. Cultivar by management interactions effects on timothy yield and quality evaluation. *Can. J. Plant Sci.* 73: 445 — 460.
- Thangavel P., Anandan A., Eswaran R. 2011. AMMI analysis to comprehend genotype by environment (G $\times$ E) interactions in rainfed grown mungbean (*Vigna radiata* L.). *Aust. J. Crop Sci.* 5: 1767 — 1775.
- van Eeuwijk F. A., Keizer L. C. E., Bakker J. J. 1995. Linear and bilinear models for the analysis of multi-environment trials: II. An application to data from the Dutch Maize Variety Trials. *Euphytica* 84: 9 — 22.
- Viele K., Srinivasan C. 2000. Parsimonious estimation of multiplicative interaction in analysis of variance using Kullback-Leibler Information. *J. Stat. Plan. Inf.* 84: 201 — 219.

- Ward J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.* 58: 236 — 244.
- Welham S. J., Gogel B. J., Smith A. B., Thompson R., Cullis B. R. 2010. A comparison of analysis methods for late stage variety evaluation trials. *Aust. N. Z. J. Stat.* 52: 125 — 149.
- Yan W., Kang M. S. 2003. *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists.* CRC Press, Boca Raton, FL.
- Yan W., Kang M. S., Ma B., Woods S., Cornelius P. L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype- by- environment data. *Crop Sci.* 47: 643 — 653.
- Zhang Y., He Z., Zhang A., van Ginkel M., Pena R.J., Ye G. 2006. Pattern analysis on protein properties of Chinese and CIMMYT spring wheat cultivars sown in China and CIMMYT. *Austr. J. Agric. Res.* 57: 811 — 822.
- Strongy internetowe:
www.coboru.pl.
www.vsni.co.uk.

BARBARA LUTOMIRSKA**JOANNA JANKOWSKA**Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Agronomii Ziemniaka w Jadwisinie

Oddziaływanie czynników meteorologicznych na występowanie ospowatości bulw ziemniaka

Influence of meteorological factors on occurrence and severity of black scurf on potato tubers

Ospowatość jest jedną z chorób skórki bulw ziemniaka. Spośród wyróżnianych 14 grup anastomozowych (AGs) grzyba *Rhizoctonia solani* sprawcy porażenia, za wykazującą największe możliwości patogeniczne uznawana jest AGs3, charakteryzująca się m.in. łatwością tworzenia sklerocjów na bulwach, których obecność oznacza, że bulwy są ospowate. AGs3 została zidentyfikowana jako dominująca w naszym kraju. Wyniki badań dotyczące nasilenia ospowatości wskazują, że determinuje ją m.in. przebieg pogody. Poglądy dotyczące okresu o istotnym oddziaływaniu czynników meteorologicznych na rozwój sklerocjów na bulwach nie są jednoznaczne. W pracy oceniano wpływ opadów, temperatury powietrza i współczynnika Sielianałowa w pełni wegetacji roślin oraz w okresie 30 dni poprzedzających zbiór, tj. dojrzewania, na udział bulw ze sklerocjami i ich nasilenie. Założono, że uzyskane rezultaty skłonią do modyfikacji opinii, iż występowanie ospowatości bulw jest uzależnione od warunków panujących w fazie dojrzewania ziemniaka. Wykorzystano wyniki uzyskane w trakcie realizacji doświadczeń odmianowych prowadzonych w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Zakład Agronomii Ziemniaka w Jadwisinie, w latach 2007–2013 oraz dane klimatyczne z miejscowego punktu meteorologicznego. Badania wykazały, że czynnikiem najsilniej determinującym udział bulw ze sklerocjami *R. solani* oraz nasilenie tych zmian na bulwach wszystkich odmian są warunki hydrotermiczne w pełni rozwoju roślin. Stwierdzono także istotne zależności pomiędzy poziomem opadów i temperatury powietrza w wymienionej fazie a uwzględnionymi parametrami występowania ospowatości. Wraz ze zwiększaniem się współczynnika Sielianałowa oraz sum opadów nastąpił wzrost udziału bulw ze sklerocjami i ich nasilenie, natomiast w miarę wzrostu temperatury miało miejsce ograniczanie ospowatości. Analiza wpływu czynników meteorologicznych w okresie dojrzewania wykazała istotny wpływ tylko warunków termicznych.

Słowa kluczowe: ziemniak, ospowatość, czynniki meteorologiczne

The black scurf is one of the symptoms which can be caused by *Rhizoctonia solani*. Actually 14 anastomosis groups (AGs) of this fungus are known to exist. The AG3 is considered to be the most pathogenic with the biggest ability to cause black scurf. The AG3 was identified as the dominant one

in our country. The results of the studies on the severity of black scurf occurrence indicate that it is determined by the weather conditions. Opinions, in which period the meteorological factors have the strongest effect on the development of sclerotia on the tubers, are ambiguous. The influence of rainfall, air temperature and the hydrothermal condition (Sielianinov coefficient) in full growth of plants and during the 30 days prior to harvest on the share of tubers with black scurf and degree of infestation were evaluated. The results of the evaluations of the incidence of black scurf in the cultivar trials carried out in Plant Breeding and Acclimatization Institute-NRI, Agronomy Department in Jadwisin, in the years 2007-2013 and meteorological data from the local meteorological point have been used. Studies have shown that the strongest factor determining the share of infected tubers and the degree of tuber infestation in all maturity groups of cultivars is the Sielianinov coefficient in full plant development. A significant influence of the levels of other factors in this growth phase on the occurrence of sclerotia of *R. solani* was also found. Along with the growth of Sielianinov coefficient and total rainfall, the share of tubers with sclerotia and the symptom severity increased. The rise of temperature is limited the black scurf occurrence. Analysis of the role of the above factors in the period of maturation showed a significant effect of thermal conditions only.

Key words: potato, meteorological factors, black scurf

WSTĘP

Ziemniak jest atakowany przez ponad czterdzieści patogenów i szkodników, a uszkodzenia powodowane przez te organizmy mogą występować na wszystkich częściach roślin i prowadzić do strat plonu oraz pogorszenia jego jakości.

Jedną z powszechnie występujących chorób jest rizoktonioza. Jej szkodliwość wynika ze zdolności rozwoju na roślinach oraz bulwach przez cały okres wegetacji (Wnękowski i Błaszczak, 1997). Objawy chorobowe stanowią: nekrozy kielków, próchnienie podstawy łodyg (rak ziemniaka), opilśń łodygowa, ospowatość bulw. Sprawcą choroby jest grzyb *Thanatephorus cucumeris* — forma doskonała, natomiast opisany znacznie wcześniej *Rhizoctonia solani*, od którego pochodzi nazwa choroby, jest formą niedoskonałą (Kochman i Węgorzek, 1997). Źródłem porażenia jest przetrwalnikowa grzybnia występująca na bulwach w postaci ciemnobrunatnych lub czarnych sklerot (określanych jako ospowatość) lub na resztkach roślinnych pozostałych w glebie. Obecność sklerot na bulwach przeznaczonych do sadzenia znacznie zmniejsza ich wartość nasienną, a u bulw oferowanych na cele konsumpcyjne występowanie objawów *R. solani* stanowi wadę estetyczną zmniejszającą wartość rynkową (Nowacki, 2006). Ospowatość ziemniaków przeznaczonych do produkcji chipsów i frytek stwarza konieczność dodatkowego doczyszczania bulw, co zwiększa nakłady i obniża wykorzystanie surowca. Straty ilości i jakości plonu powodowane przez patogena mogą wynosić od kilku do ponad 50% (Häni i in., 1998; Tsrer i Peretz-Alon, 2005). Spośród wyróżnianych 14AGs (anastomosis group — grup patotypowych) tego grzyba za wykazującą największe możliwości patogeniczne uznawana jest AGs3, charakteryzująca się m.in. dużą łatwością tworzenia sklerocjów (Woodhall i in., 2008). AGs3 została zidentyfikowana jako dominująca grupa *R. solani* w naszym kraju (Woodhall i in., 2013).

Wyniki badań dotyczące nasilenia występowania choroby na roślinach i bulwach wskazują, że jest ono determinowane głównie przebiegiem pogody. Czynnikiem, którego rola jest podkreślana najczęściej są opady, chociaż odnotowywano także znaczenie innych

czynników meteorologicznych (Bogucka i Pawińska, 1983; Hide i Firmager, 1989; Wróbel 2003, Lenc, 2006; Panka i in., 2007; Lutomirska i Jankowska, 2013). Jednocześnie poglądy, co do okresu, w którym poziom poszczególnych czynników meteorologicznych w największym stopniu kształtuje wystąpienie sklerocjów na bulwach nie są wyraźnie sprecyzowane.

W pracy oceniano wpływ czynników meteorologicznych w pełni wegetacji roślin oraz w okresie 30 dni poprzedzających zbiór na występowanie ospowatości bulw u odmian różnej wczesności. Stanowi to kontynuację wcześniejszych badań własnych w tym zakresie (Lutomirska, 2007). Założono, że uzyskane wyniki skłonią do weryfikacji powszechniej opinii, zgodnie z którą występowanie ospowatości bulw jest uzależnione od warunków panujących w fazie dojrzewania.

MATERIAŁY I METODY

Wykorzystane w badaniach dane dotyczące ospowatości bulw odmian ziemniaka o zróżnicowanej długości okresu wegetacji są wynikami z doświadczeń odmianowych realizowanych w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Zakład Agronomii Ziemniaka w Jadwisinie. Polowe doświadczenia odmianowe prowadzono w latach 2007–2013 na glebie pseudobielicowej, w technologii standardowej z zachowaniem zbliżonego poziomu zabiegów agrotechnicznych. Zakładanie doświadczeń — sadzenie miało miejsce zawsze tego samego dnia niezależnie od okresu wegetacji odmian danej grupy, natomiast zbiory przeprowadzono po uzyskaniu pełni dojrzałości roślin genotypów zaliczonych do poszczególnych grup wczesności. W trakcie zbiorów wykonywanych ręcznie po wykopaniu kopaczką elewatorową, z każdego powtórzenia polowego pobierano próby (ok. 8 kg) do oceny występowania chorób skórki bulw. Porażenie ospowatością oceniono po ok. 14 dniach od zbioru, w 9-stopniowej skali, w której 1° — oznacza pokrycie sklerocjami ponad 25% powierzchni bulwy, zaś 9° — bulwy zdrowe, bez objawów rozwoju *R. solani* (Metodyka obserwacji..., 1999). Obliczano procentowy udział bulw z ospowatością i indeks porażenia bulw zgodnie z zaproponowanymi przez Townsenda i Heubergera (1943).

Materiał badawczy stanowiły dane dla 17 odmian różnej wczesności, w tym 6 odmian bardzo wczesnych i wczesnych, 6 — średnio wczesnych oraz 5 — średnio późnych i późnych.

Wyniki badań opracowano statystycznie za pomocą programu Sas Enterprise Guide 4.3, istotność różnic testowano testem Tukeya (Mańkowski, 2008). Analizę wpływu czynników meteorologicznych na występowanie ospowatości bulw w plonie ziemniaka przeprowadzono wykorzystując wartości indeksu porażenia i udziału bulw porażonych oraz dane meteorologiczne zgromadzone w punkcie synoptycznym w Jadwisinie. Uwzględnione dane meteorologiczne to: sumy opadów, temperatury powietrza oraz wyliczony na ich podstawie współczynnik hydrotermiczny Sielanianowa [K]

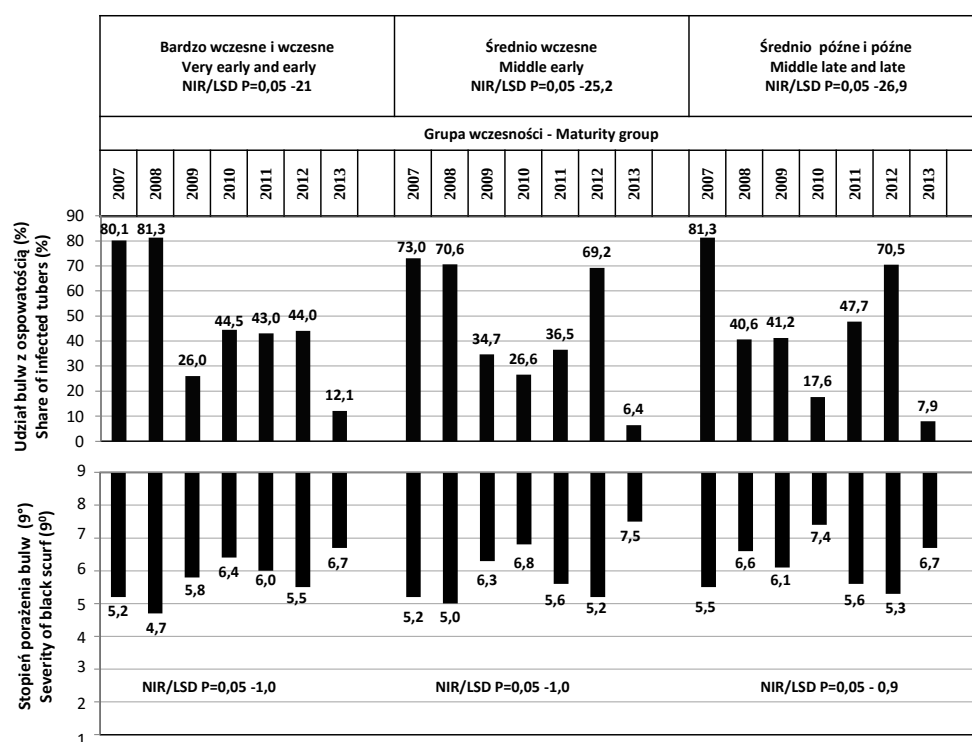
$$K = P \times 10 / \Sigma t$$

gdz: P — suma opadów w dekadzie, Σt — suma średnich dekadowych temperatur powietrza (Molga, 1986).

Dla wymienionych danych wykonano odpowiednie analizy korelacji Pearsona.

WYNIKI

Analizy zgromadzonych danych wykazały istotne zróżnicowania udziału bulw porażonych oraz indeksu porażenia bulw odmian różnej wczesności w latach badań (rys. 1). Nie odnotowano natomiast różnic odmianowych w występowaniu ospowatości, co jest związane z doбором odmian poszczególnych grup wczesności uwzględnionych w badaniu.



Rys. 1. Zróżnicowanie występowania ospowatości bulw ziemniaka na odmianach różnej wczesności w latach badań

Fig. 1. Differences in the incidence and severity of black scurf in cultivars of different maturity groups in years of investigation

Najmniejsze występowanie objawów chorobowych na bulwach zanotowano w roku 2013, w którym udział bulw ospowatych w plonie odmian bardzo wczesnych i wczesnych wyniósł 12,1%, średnio wczesnych 6,4%, a średnio późnych i późnych — 7,9%, przy nasileniu objawów chorobowych odpowiednio: 6,7; 7,5 i 6,7 stopnia (rys. 1).

Największy udział bulw ze sklerocjami u odmian bardzo wczesnych i wczesnych odnotowano w latach 2007 i 2008. Bulwy ospowate stanowiły wówczas ok. 80% plonu, a średnie nasilenie objawów wynosiło 5,2 i 4,7 stop. W grupie odmian średnio wczesnych największy, ok. 70%, udział bulw pokrytych ospowatością stwierdzono w latach 2007, 2008 i 2012. Średnie nasilenie objawów kształtowało się w wymienionych latach w granicach 5,0–5,2 stopnia. W przypadku odmian średnio późnych i późnych najbardziej sprzyjające warunki wystąpienia ospowatości miały miejsce w latach 2007 (udział bulw ze sklerocjami — 81,3%) i 2012 (z 70,5% ich udziałem). Nasilenie sklerocjów na zebranych w tych sezonach bulwach było bardzo zbliżone i wynosiło odpowiednio 5,5 i 5,3 stopnia (rys. 1).

Zmienność występowania bulw z ospowatością w plonach uzyskanych w poszczególnych latach uprawy, przy zachowaniu bardzo zbliżonych warunków glebowych i agrotechnicznych pozwala przyjąć, że jej główne źródło stanowił układ czynników klimatycznych, w jakich miał miejsce rozwój bulw. Zgromadzone dane meteorologiczne dla sezonów wegetacyjnych 2007–2013 wskazują na wyraźne zróżnicowania zarówno temperatur powietrza jak i opadów w kolejnych dekadach miesięcy, w których następuje rozwój i dojrzewanie bulw ziemniaka (tab. 1).

Tabela 1

Średnia temperatura powietrza i suma opadów w okresie rozwoju i dojrzewania ziemniaka w latach 2007–2013
Average air temperature and total rainfall in period of growth and maturing of potato plants in the years 2007–2013

Rok badań	Średnia temperatura powietrza — Average air temperature (°C)											
	II.06	III.06	I.07	II.07	III.07	I.08	II.08	III.08	I.09	II.09	III.09	II/06–II/09
2007	19,4*	15,8	15,5	19,8	17,4	18,0	18,8	16,7	12,7	11,1	12,7	16,5**
2008	15,5	17,5	17,4	17,6	19,3	18,3	19,2	15,7	17,4	8,4	9,0	16,5
2009	15,9	18,9	21,1	21,5	21,3	18,7	16,9	16,6	15,8	14,4	14,2	18,3
2010	15,7	15,6	17,4	19,2	19,3	19,4	20,1	16,0	10,9	11,6	10,7	16,5
2011	16,4	16,8	15,7	18,9	16,4	17,6	17,5	17,6	13,9	14,6	12,4	16,5
2012	16,8	16,7	22,6	15,9	20,1	19,2	15,9	17,1	14,8	13,7	10,2	17,3
2013	18,0	17,2	18,9	17,2	19,8	22,0	17,6	15,3	13,5	11,3	8,2	17,1
Rok badań	Suma opadów — Total rainfall (mm)											
	II.06	III.06	I.07	II.07	III.07	I.08	II.08	III.08	I.09	II.09	III.09	II/06–II/09
2007	13,6	65,6	30,1	6,4	17,6	43,8	17,2	13,3	42,5	49,0	12,2	299,1
2008	2,1	22,5	20,2	38,2	10,4	26,8	37,8	16,3	21,6	10,3	16,9	206,2
2009	17,5	24,7	36,8	20,5	28,3	12,5	48,5	22,1	8,2	4,7	5,9	223,8
2010	11,0	16,0	43,5	12,3	40,9	27,8	31,7	45,8	50,7	6,7	13,9	286,4
2011	18,1	6,3	85,0	65,5	127,6	28,5	10,2	18,5	18,0	0,0	0,5	377,7
2012	41,6	22,1	45,8	35,1	11,3	34,9	24,4	27,9	0,0	19,2	7,7	262,3
2013	0,9	38,3	4,8	5,9	6,4	50,0	12,2	35,5	13,1	76,9	4,0	244,0

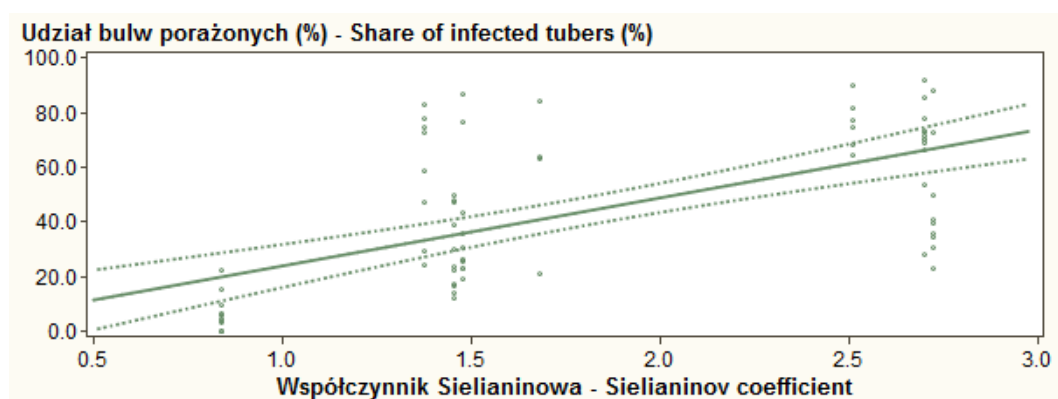
***19,4** — wartość najwyższa — max. value

****16,5** — wartość najniższa — min. value

Najniższą sumę opadów, a także niskie temperatury w okresie wzrostu roślin ziemniaka i kształtowania ilości i jakości plonu, tj. od II dekady czerwca do II dekady września, odnotowano w roku 2008. Najbardziej wilgotny był natomiast wymieniony przedział czasowy w roku 2011, zaś najcieplejszy w 2009 roku. Analiza przytoczonych wartości

dekadowych pozwalała przyjąć, że zróżnicowanie temperatur i opadów, a także wartości współczynnika Sielianinowa w okresach występowania kolejnych faz rozwoju roślin u odmian omawianych grup wczesności były jeszcze wyraźniejsze (tab. 1).

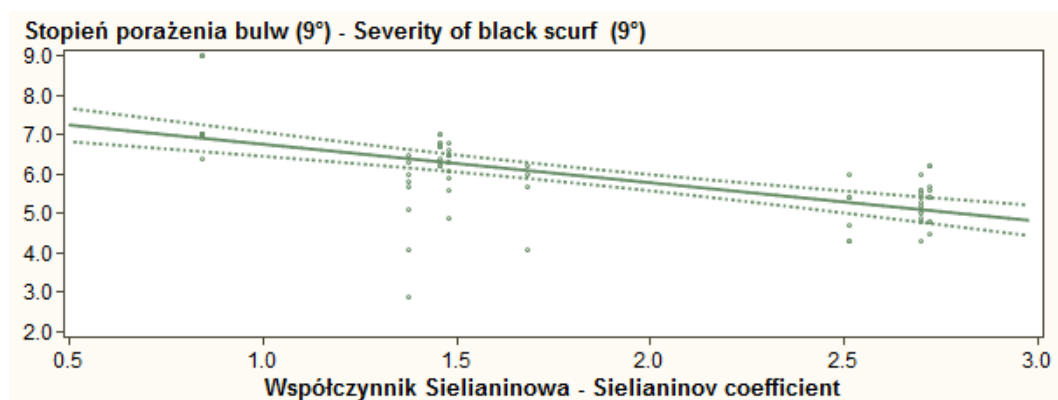
Wyniki analiz zależności pomiędzy temperaturą powietrza, sumami opadów oraz warunkami hydrotermicznymi w pełni rozwoju roślin i bulw a parametrami określającymi ich ospowatość w plonie zbieranym po dojrzeniu wykazały, że wymienione czynniki meteorologiczne stanowią element determinujący tę cechę. Czynnikiem, którego wpływ okazał się najsilniejszy, były warunki hydrotermiczne. Stwierdzono, że pomiędzy charakteryzującym je współczynnikiem Sielianinowa w zakresie od ok. 0,7 do ok. 2,8 (dla odmian bardzo wczesnych, wczesnych i średnio wczesnych) i od 0,8–3,9 (dla odmian średnio późnych i późnych) a udziałem bulw z ospowatością w plonie, a także stopniem nasilenia sklerocjów na bulwach zachodzą istotne korelacje prostoliniowe. Dla udziału bulw z ospowatością są to korelacje dodatnie, a dla stopnia porażenia — ujemne (rys. 2 i 3, tab. 2).



Rys. 2. Zależność pomiędzy współczynnikiem Sielianinowa w pełni rozwoju roślin odmian średnio wczesnych a udziałem bulw z ospowatością w plonie

Fig. 2. Correlation between value of Sielianinov coefficient in full growth of middle early cultivars and the share of infected tubers in crop

Zależności pomiędzy sumami opadów i średnimi temperaturami powietrza w analizowanym okresie a występowaniem ospowatości bulw były w przeważającej liczbie również istotne, choć wartości współczynników korelacji okazały się mniejsze (tab. 3). Wraz ze zwiększaniem się sum opadów, w odpowiednich, właściwych dla pełni rozwoju roślin odmian poszczególnych wczesności zakresach, następował wzrost udziału bulw ze sklerocjami, a u odmian średnio wczesnych także nasilenia sklerocjów na bulwach, czyli zmniejszanie stopnia porażenia bulw. Zmienność średniej temperatury powietrza w zakresie od 16,4°C do ok. 19°C powodowała ograniczenie udziału bulw ospowatych i zmniejszenie pokrycia bulw sklerocjami u odmian średnio wczesnych i późniejszych (tab. 2).



Rys. 3. Zależność pomiędzy współczynnikiem Sielianinowa w pełni rozwoju roślin odmian średnio wczesnych a stopniem ospowatości zbieranych bulw

Fig. 3. Correlation between value of Sielianinov coefficient in full growth of middle early cultivars and the degree of tuber infestation

Tabela 2

Wyniki analizy korelacji — zależności pomiędzy poziomem czynników meteorologicznych w pełni wegetacji roślin a ospowatością bulw
The correlation coefficients — relationships between meteorological factors in the period of full growth and the occurrence of black scurf on potato tubers

Grupa wczesności Maturity group	Temperatura powietrza (°C) Air temperature (°C)		Opady (mm) Rainfall (mm)		Współczynnik Sielianinowa Sielianinov coefficient	
	zakres czynnika range	wartość wsp. korelacji correlation coefficient	zakres czynnika range	wartość wsp. korelacji correlation coefficient	zakres czynnika range	wartość wsp. korelacji correlation coefficient
Udział bulw porażonych (%) — Share of infected tubers (%)						
Bardzo wczesne i wczesne Very early and early	15,5–18,7	r.n.-n.s.	43,5–127,2	0,379	0,6–2,7	0,575
Średnio wczesne Middle early	16,4–18,9	-0,373	49,0–179,5	0,334	0,8–2,7	0,624
Średnio późne i późne Middle late and late	16,4–19,2	-0,606	22,9–302,5	0,335	0,8–3,9	0,575
Stopień porażenia bulw (9°) — Severity of black scurf (9°)						
Bardzo wczesne i wczesne Very early and early	15,5–18,7	0,164	43,5–127,2	r.n.- n.s.	0,6–2,7	-0,445
Średnio wczesne Middle early	16,4–18,9	0,457	49,0–179,5	-0,461	0,8–2,7	-0,629
Średnio późne i późne Middle late and late	16,4–19,2	0,661	22,9–302,5	r.n.- n.s.	0,8–3,9	-0,667

r.n.-n.s. — różnica nieistotna; not significant

Analizy korelacji zarówno pomiędzy sumami opadów, jak i współczynnikiem Sielianinowa w okresie 30 dni poprzedzających zbiory odmian poszczególnych wczesności a występowaniem ospowatości bulw wykazały, że notowana w latach 2007–2013 ich zmienność w zakresie odpowiednio: od ok. 20 mm do ok. 100 mm oraz od ok. 0,7 do 2,7 (3,9) nie determinowały udziału bulw ze sklerocjami oraz nasilenia tych zmian na bulwach

(tab. 3). Czynnikiem mającym istotny wpływ na wymienione cechy była temperatura powietrza. Stwierdzono, że spadek jej średniej wartości w zakresie od ok. 16,5°C do ok. 10°C w czasie dojrzewania bulw odmian średnio wczesnych i późniejszych sprzyjał namnażaniu grzyba *R. solani* na zainfekowanych bulwach, powodując istotne zwiększenie ich pokrycia sklerocjami — zmniejszenie stopnia porażenia bulw (tab. 3).

Tabela 3

Wyniki analizy korelacji — zależności pomiędzy poziomem czynników meteorologicznych 30 dni przed zbiorem a ospowatością bulw

The correlation coefficients — relationships between meteorological factors in 30 days before harvest and the occurrence of black scurf on potato tubers

Grupa wczesności Maturity group	Temperatura powietrza (°C) Air temperature (°C)		Opady (mm) Rainfall (mm)		Współczynnik Sielanianowa Sielianinov coefficient	
	zakres czynnika range	wartość wsp. korelacji correlation coefficient	zakres czynnika range	wartość wsp. korelacji correlation coefficient	zakres czynnika range	wartość wsp. korelacji correlation coefficient
Udział bulw porażonych (%) — Share of infected tubers (%)						
Bardzo wczesne i wczesne Very early and early	16,5–19,3	r.n.–n.s.	71,0–105,5	r.n.–n.s.	0,8–3,9	r.n.–n.s.
Średnio wczesne Middle early	10,2–16,2	0,425	36,5–95,1	r.n.–n.s.	0,7–2,7	r.n.–n.s.
Średnio późne i późne Middle late and late	9,1–16,5	0,395	18,5–95,1	r.n.–n.s.	0,5–2,7	r.n.–n.s.
Stopień porażenia bulw (9°) — Severity of black scurf (9°)						
Bardzo wczesne i wczesne Very early and early	16,5–19,3	r.n.–n.s.	71,0–105,5	r.n.–n.s.	0,8–3,9	r.n.–n.s.
Średnio wczesne Middle early	10,2–16,2	-0,521	36,5–95,1	r.n.–n.s.	0,7–2,7	r.n.–n.s.
Średnio późne i późne Middle late and late	9,1–16,5	-0,548	18,5–95,1	r.n.–n.s.	0,5–2,7	r.n.–n.s.

r.n.–n.s. — różnica nieistotna; not significant

DYSKUSJA

Ograniczona tylko do oddziaływania warunków termicznych rola pogody w okresie poprzedzającym zbiór na występowanie ospowatości bulw, przy wykazanym w aktualnych, a w dużym stopniu także we wcześniejszych badaniach (Lutomirska, 2007) statystycznie udowodnionym bezpośrednim wpływie szerszego zakresu czynników meteorologicznych kształtujących warunki środowiska w pełni rozwoju roślin i bulw, wydaje się upoważniać do stwierdzenia, że jest on istotniejszy dla analizowanego zjawiska. Tym samym powszechnie prezentowana opinia, że do osadzania się i tworzenia sklerocjów grzyba *R. solani* dochodzi dopiero wówczas, gdy bulwy są w stadium dojrzewania bądź już dojrzałe pozostają w glebie (Weber, 1989) wymaga modyfikacji. Jest ono, bowiem uznawane jako jednoznaczne z tym, że o występowaniu ospowatości decyduje układ czynników pogody w czasie zasychania roślin. Badania wykazały, że zdecydowanie ważniejszym dla frekwencji bulw ospowatych i nasilenia na nich sklerocjów jest ich stan w fazie pełni rozwoju roślin, tj. intensywnego narastania bulw.

Na znaczenie pogody w pełni rozwoju roślin dla występowania ospowatości bulw wskazują wyniki Boguckiej i Pawińskiej (1983), które większy udział bulw z ospowatością w zbieranym plonie stwierdzały wówczas, gdy sumy opadów w sierpniu, tzn. w fazie pełni rozwoju większości poddanych ocenie odmian, były wyższe od norm wieloletnich. Z danych prezentowanych przez Wróbla (2003) oraz Zarzecką i in. (2009) także wynika, iż najmniejsze porażenie bulw odmian uwzględnionych w badaniach przez *R. solani* miało miejsce w latach, w których w pełni rozwoju roślin warunki były zbliżone do odnotowanych w badaniach własnych, a udział bulw z ospowatością i jej nasilenie były najmniejsze.

WNIOSKI

1. Udział bulw porażonych oraz stopień porażenia bulw odmian różnych wczesności były silnie zróżnicowane w latach badań.
2. Czynnikiem najsilniej determinującym udział bulw ze sklerocjami *R. solani* oraz nasilenie tych zmian na bulwach odmian analizowanych grup wczesności okazały się warunki hydrotermiczne w pełni rozwoju roślin.
3. Stwierdzono istotne korelacje pomiędzy średnią temperaturą powietrza oraz sumami opadów w pełni rozwoju roślin i bulw a występowaniem ospowatości u odmian średnio wczesnych oraz średnio późnych i późnych.
4. Spośród czynników meteorologicznych kształtujących warunki w okresie 30 dni poprzedzających zbiory na występowanie ospowatości bulw odmian średnio wczesnych a także średnio późnych i późnych istotny wpływ miała tylko temperatura powietrza.
5. Notowane w badaniach zmienności poziomu czynników meteorologicznych w okresie 30 dni przed zbiorem nie determinowały występowania ospowatości bulw w plonach odmian o krótkim okresie wegetacji.
6. Powyższe wyniki badań jak i wcześniejsze upoważniają do stwierdzenia, że powszechnie panujące przekonanie, iż o występowaniu ospowatości bulw decydują warunki w okresie dojrzewania bulw nie potwierdza się, a zatem wskazana jest jego weryfikacja.

LITERATURA

- Bogucka H., Pawińska M. 1983. Występowanie ospowatości bulw ziemniaka w Polsce w latach 1977–1980. Biul. Inst. Ziem. 29: 141 — 150.
- Häni F., Popow G., Reinhard A. 1998. Ochrona roślin rolniczych w uprawie integrowanej. PWRiL, Warszawa: 130 — 131.
- Hide G. A., Firmager J. P. 1989. Effect of soil temperature and moisture on steam canker (*Rhizoctonia solani*) disease of potatoes. Potato Res. 32: 75 — 80.
- Kochman J., Węgorzek W. 1997. Ochrona roślin. Plantpress, Kraków: 525 — 526.
- Lenc L. 2006. Wpływ podkiełkowania sadzeniaków na występowanie *Rhizoctonia solani* Kühn na kielkach i bulwach sześciu odmian ziemniaka uprawianego w systemie ekologicznym. J. Res. App. in Agric. Eng. 51 (2): 104 — 107.

- Lutomirska B. 2007. Wpływ odmiany i czynników meteorologicznych okresu wegetacji na ospowatość bulw ziemniaka. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 47 (2): 173 — 177.
- Lutomirska B., Jankowska J. 2013. Ospowatość bulw zaawansowanych materiałów hodowlanych ziemniaka. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 53 (4): 789 — 795.
- Mańkowski D. R. 2008. System SAS w badaniach rolniczych. Materiały szkoleniowe. Radzików, IHAR, 2008: 114.
- Metodyka obserwacji, pomiarów i pobierania prób w agrotechnicznych doświadczeniach z ziemniakiem. 1999. Praca zbiorowa. Pod redakcją S. Roztropowicz IHAR O/Jadwisin: 50 ss.
- Molga M., 1986. Podstawy klimatologii rolniczej. PWRL, Warszawa, s 544 — 547.
- Nowacki W. 2006. Straty plonu handlowego ziemniaka powodowane przez choroby i szkodniki w 2005 roku. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 46 (1): 193 — 201.
- Panka D., Sadowski C., Rolbiecki S. 2007. Influence of micro irrigation on health status of chosen potato cultivars grown in very light soil. *Proceedings of the IIIrd. Balkan Symposium on Vegetable and Potatoes*: 357 — 360.
- Towsend G.R., Heuberger J.W. 1943. Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *Plant Dis. Rep.* 24: 340 — 343.
- Tsrar (Lahkim) L., Peretz-Alon I. 2005. The influence of the inoculum source of *Rhizoctonia solani* on development of black scurf on potato. *J. Phytopathol.* 153: 240 — 244.
- Weber Z. 1989. Zależności pomiędzy występowaniem ospowatości sadzeniaków, zgnilizny kielków i ospowatości bulw (*Rhizoctonia solani* K.) u 42 odmian ziemniaka. *Zesz. Nauk. ART w Bydgoszczy* nr 159. Rol. 28: 145 — 151.
- Woodhall J. W., Lees A. K., Edwards S. G., Jenkinson P. 2008. Infection of potato by *Rhizoctonia solani*: effect of anastomosis group. *Plant Path.* 57: 897 — 905.
- Woodhall, J. W., Lutomirska B., Wharton P. S. 2013: *Rhizoctonia solani* Anastomosis Group 3 is Predominant in Potato Tubers in Poland. *Plant Dis.* 9/ 9: 1,245.2 — 1,245.2.
- Wnękowski St., Błaszczak W. 1997. Choroby ziemniaka — Rizoktonioza ziemniaka. W: *Ochrona roślin*. Praca zbior. pod red. Kochman J., Węgorek W. Plantpress, Kraków: 525 — 526.
- Wróbel S. 2003. Porażenie bulw ziemniaka parchem zwykłym i rizoktoniozą w zależności od zabiegów stosowanych w nasiennictwie. *Biul. IHAR* 228: 283 — 289.
- Zarzecka K., Gugała M., Rymuza K. 2009. Wpływ metod agrotechnicznych i herbicydów na porażenie przez rizoktoniozę (*Rhizoctonia solani*) bulw ziemniaka odmiany Wiking. *Biul. IHAR* 251: 235 — 241.

JÓZEFA KAPSA ¹
MAREK MRÓWCZYŃSKI ²
TOMASZ ERLICHOWSKI ¹
HANNA GAWIŃSKA-URBANOWICZ ¹
KONRAD MATYSEK ¹
JERZY OSOWSKI ¹
MARIA PAWIŃSKA ¹
JANUSZ URBANOWICZ ¹
SŁAWOMIR WRÓBEL ¹

¹ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie, Zakład Nasiennictwa i Ochrony Ziemiaka w Boninie

² Instytut Ochrony Roślin w Poznaniu — Państwowy Instytut Badawczy w Poznaniu

Ochrona ziemniaka zgodna z zasadami integrowanej ochrony roślin Część I. Niechemiczne metody ochrony

Potato protection according to the principles of integrated pest management Part I. Non-chemical methods of protection

Od 1. stycznia 2014, wszystkie kraje Unii Europejskiej zobowiązane są do stosowania zasad Integrowanej Ochrony Roślin (IPM), zgodnie z dyrektywą 2009/128/WE oraz rozporządzeniem nr 1107/2009. W pracy omówiono definicje dotyczące integrowanej ochrony roślin i określono różnice między IPM (integrowaną ochroną roślin) a IP (integrowaną produkcją roślin). W ochronie upraw ziemniaka stosuje się więcej fungicydów niż w innych uprawach. Zintegrowana ochrona wymaga zatem połączenie różnych metod postępowania, aby utrzymać niski poziom grzybowych i bakteryjnych patogenów, szkodników i chwastów i jednocześnie zachować dobrą jakość środowiska. Wyniki wieloletnich badań prowadzonych w uprawach ziemniaka przez zespół autorów oraz dane literaturowe pozwoliły uszeregować ważne elementy integrowanej ochrony ziemniaka, wykorzystywane w uprawach ziemniaka na wszystkich etapach jego rozwoju. Działania stosowane w ochronie można podzielić na działania strategiczne i taktyczne. Działania strategiczne (niechemiczne metody) mające na celu zmniejszenie nasilenia i presji agrofagów wykorzystujące elementy, takie jak płodozmian, nawożenie, wybór odmiany i działania ograniczające źródła infekcji zostały przedstawione w tej części pracy.

Słowa kluczowe: agrofagi, definicje IP i IPM, niechemiczne metody w IPM, ochrona roślin, ziemniak

Since 1st January of 2014, all countries of the European Union are under an obligation to apply the principles of Integrated Pest Management (IPM) in accordance with Directive 2009/128/EC and Regulation No 1107/2009. In this paper the definitions relating to the integrated pest management are discussed and the differences between the IPM (integrated plant protection) and the IP (integrated plant production) are defined. More fungicides are applied to protect potato crops than in any other crop. Integrated management therefore requires a combination of management techniques in order to keep fungal and bacterial pathogens, pests and weeds at low levels and at the same time to maintain the quality of the environment. The results of long-term experiments carried out by a team of authors and the literature data allowed to arrange the most important, non-chemical elements of the IPM of applied in potato crops at all stages of its development. Control measures can be divided in strategic and tactical measures. Strategic measures (non-chemical methods), aiming at reducing the occurrence of agrophages and the infection pressure, such as rotation, fertilization, cultivar choice and measures to limit primary inoculum sources, are presented in this part of the work.

Key words: agrophages, IP and IPM definitions, non-chemical methods, plant protection, potato

WSTĘP

Intensywne metody ochrony roślin stosowane od wielu lat w produkcji roślinnej nakierowanej na maksymalizację plonów wywołują wiele skutków ubocznych w stosunku do obiektów, które nie są celem zwalczania (osoby wykonujące zabiegi ochrony roślin, konsumenci, środowisko przyrodnicze), powodują zaburzenia w działaniu naturalnych mechanizmów, które zapewniają samoregulację agroekosystemów, prowadzą do uodparniania się agrofagów na środki chemiczne oraz generują wysokie koszty zabiegów ochrony (Samersov i Trepashko, 1999). Pierwsze próby łączenia różnych metod ochrony opisywano, jako: "Stosowanie zwalczania szkodnika, które łączy i integruje zwalczanie biologiczne i chemiczne, a zwalczanie chemiczne stosuje się w razie konieczności i w sposób, jak najmniej zakłócający zwalczanie biologiczne" (Stern i in. 1959).

Bardziej nowatorska definicja integrowanej ochrony (z ang. Integrated Pest Management, IPM) została po raz pierwszy podana przez Smitha i Reynoldsa (1966) w stosunku do populacji szkodników, jako: *system zwalczania szkodników wykorzystujący wszelkie dostępne techniki pozwalające w kompatybilny sposób na zredukowanie populacji szkodników i utrzymanie ich na poziomie poniżej progu ekonomicznej szkodliwości*.

W latach 70. rozpoczęto prace nad zbudowaniem pełnego systemu ochrony integrowanej, zapewniającego skuteczność i zalety ochrony intensywnej, przy jednoczesnym zmniejszeniu szkodliwych skutków ubocznych (Knipling 1972). Doprowadziło to do opracowania całościowej koncepcji integrowanej ochrony roślin (Bajwa i Kogan, 2002).

W Kodeksie Dobrej Praktyki Rolniczej (MRiRW, 2002) podana jest następująca, uproszczona definicja: *integrowana ochrona roślin polega na łączeniu efektywnych, środowiskowo bezpiecznych i społecznie akceptowanych metod biologicznych, agrotechnicznych i chemicznych, które utrzymują populację agrofagów poniżej progów szkodliwości*.

Z dniem 1 stycznia 2014 weszły w życie przepisy dotyczące obowiązku stosowania metod integrowanej ochrony roślin w krajach członkowskich UE, także w Polsce. Pierwsze sygnały na ten temat pojawiły się już wcześniej, w latach 2008-2009. Czasem pojęcia

integrowanej ochrony roślin (IPM) są mylnie łączone z *integrowaną produkcją roślin (IP)*. Jakże są zatem różnice między dwoma pojęciami IP i IPM?

System **IP** jest to system produkcji wykorzystujący w harmonijny sposób postęp techniczny i biologiczny w uprawie, nawożeniu i ochronie roślin; system, w którym przemysłowe środki produkcji są stosowane w umiarkowanych ilościach, wspomagają one tylko całokształt agrotechnicznych działań rolnika i są efektywnie wykorzystywane w sposób nie zagrażający środowisku naturalnemu. Głównym celem integrowanej produkcji jest więc wytworzenie produktów roślinnych, o wysokiej jakości, bezpiecznych dla zdrowia ludzi, zapewniających konkurencyjność na rynku, ale z jak najmniejszą ingerencją w środowisko. Stosowanie tego typu systemu produkcji to wolny wybór producenta. Natomiast integrowana ochrona roślin **IPM** to sposób ochrony roślin przed organizmami szkodliwymi, polegający na wykorzystaniu wszystkich dostępnych metod ochrony roślin, w szczególności nie chemicznych, w celu zminimalizowania zagrożenia dla zdrowia ludzi, zwierząt oraz dla środowiska. Ten system jest prawnie obowiązkowy (Dz.U. poz. 455 i 505 z 2013 r.).

Obowiązek stosowania zasad integrowanej ochrony roślin wynika z postanowień art. 14 dyrektywy 2009/128/WE oraz rozporządzenia nr 1107/2009. Według ww. dokumentów przyjmuje się, że:

- Ponad chemiczne metody zwalczania organizmów szkodliwych przedkładać należy metody biologiczne, fizyczne i inne metody nie chemiczne, jeżeli zapewniają one ochronę przed organizmami szkodliwymi.
- Zapobieganie występowaniu organizmów szkodliwych powinno być osiągane m.in. przez stosowanie:
 - a) płodozmianu,
 - b) właściwej agrotechniki,
 - c) odmian odpornych lub tolerancyjnych oraz materiału siewnego i nasadzeniowego poddanego ocenie zgodnie z przepisami o nasiennictwie,
 - d) zrównoważonego nawożenia, wapnowania, nawadniania i melioracji,
 - e) środków zapobiegających introdukcji organizmów szkodliwych,
 - f) ochrony i stwarzanie warunków sprzyjających występowaniu organizmów pożytecznych,
 - g) stosowanie środków higieny fitosanitarnej (takich jak regularne czyszczenie maszyn i sprzętu wykorzystywanego w uprawie roślin), aby zapobiec rozprzestrzenianiu się organizmów szkodliwych,
 - h) stosowanie środków ochrony roślin w sposób ograniczający ryzyko powstania odporności u organizmów szkodliwych.

Celem pracy było „uporządkowanie” wiedzy dotyczącej ochrony ziemniaka. Na podstawie wyników wieloletnich badań prowadzonych przez współautorów oraz danych literaturowych przedstawiono działania, stosowane w systemie integrowanej ochrony, które dotyczą także ochrony plantacji ziemniaka.

INTEGROWANA OCHRONA ZIEMNIAKA

Ziemniak, rozmnażany wegetatywnie, jest rośliną szczególnie narażoną na ataki agrofagów. Średnie straty plonu ziemniaka przez nie powodowane szacuje się na 35% (Norris i in., 2003). Działania prowadzone w systemie IPM to przede wszystkim profilaktyka. Zapobieganie występowaniu agrofagów na plantacjach ziemniaka prowadzone jest na wszystkich etapach jego uprawy, a nawet wcześniej przy jej planowaniu (tab. 1). Od sadzenia do końca przechowywania stosuje się obserwacje rozwoju ziemniaka i monitorowanie związanych z nim zagrożeń. Zastosowana agrotechnika oraz zabiegi chemiczne, nawet te zminimalizowane, to interwencja.

Tabela 1

Zabiegi ochronne w systemie IPM, stosowane na różnych etapach uprawy ziemniaka
Protective treatments in IPM system, applied at different stages of the cultivation of the potato

Stadium IPM Stage of IPM	Profilaktyka — Preventive Actions				
	Monitorowanie — Monitoring				
	Interwencja — Intervention				
Etap uprawy The stage of cultivation	planowanie i przygotowanie uprawy planning and preparation of crops	przygotowanie sadzeniaków i sadzenie preparation of seed tubers and planting	okres wegetacji the period of vegetation	przygotowanie do zbiorów i zbiory preparation to harvest and harvesting	przygotowanie bulw i przechowywanie preparation and storage of the tubers
	plodozmian i przedplony rotation and the previous cropping	przygotowanie sadzeniaków preparation of seed tubers	eliminacja źródeł zagrożenia elimination of the sources of threats	sprawdzanie dojrzałości technologicznej confirmation of technological maturity	sortowanie sorting
Najważniejsze elementy i działania uwzględniane w IPM The most important elements and actions included in the IPM	optymalizacja nawożenia optimization of fertilization	opcjonalne wiosenne zaprawianie optional spring seed treatment	optymalizacja nawadniania i nawożenia optimization of irrigation and fertilization	niszczenie naci haulm destruction	kondycjonowanie bulw conditioning of tubers
	uprawki agrotechniczne i zwalczanie chwastów agronomic practices and weed control	termin i technika sadzenia date and planting technique	prognozowanie zagrożeń risk forecasting	odpowiednie warunki zbioru appropriate conditions during harvest	opcjonalne jesienne zaprawianie bulw optional autumn treatment of tubers
	dobór odmiany cultivar choice	formowanie redlin forming of ridges	zrównoważona ochrona chemiczna sustainable chemical protection	unikanie uszkodzeń mechanicznych avoiding of mechanical damages	optymalne warunki przechowywania optimal storage conditions

Wegetatywny sposób rozmnażania ziemniaka przez bulwy sprzyja występowaniu wielu chorób, gdyż większość patogenów oraz niektóre agrofagi, „zimują” w bulwach lub na ich powierzchni i mogą przenosić się na następny sezon z porażonymi sadzeniakami. Są to np. sprawcy chorób bakteryjnych (*Pectobacterium* spp., *Corynebacterium michiganensis* ssp.

sepedonicus), alternariozy (*Alternaria* spp.), rizoktoniozy (*Rhizoctonia solani*), antraknozy (*Colletotrichum coccodes*), wirusów PVY i PLRV, parchów: srebrzystego (*Helminthosporium solani*) i zwykłego (*Streptomyces scabies*), suchej zgnilizny (*Fusarium* spp.), zarazy ziemniaka (*Phytophthora infestans*) i nicieni (*Nematoda*), w tym głównie niszczyka ziemniaczanego (*Ditylenchus destructor*). Występowanie niektórych szkodników glebowych, np. drutowce (*Elateridae*), rolnice (*Noctuidae*) czy nicienie (*Nematoda*) w uprawie ziemniaka trwale wiąże się z uproszczeniami agrotechnicznymi, ugorowaniem i dużym zachwaszczeniem, wadliwym płodozmianem i nieracjonalną ochroną. Podstawowym i jednym z najważniejszych elementów integrowanej ochrony ziemniaka pozostaje kwalifikowany materiał sadzeniakowy („zdrowy sadzeniak”).

Niektóre populacje patogenów przeżywiają, jako saprofity w glebie zanim pojawi się na polu roślina gospodarz (sprawcy rizoktoniozy, antraknozy). Gleba, resztki poźniwne i pozostawione w glebie bulwy są także ważnym rezerwuarem szkodników: mątwika ziemniaczanego (*Globodera rostochiensis*), niszczyka ziemniaczanego (*Ditylenchus destructor*) i innych nicieni (*Nematoda*), rolnic (*Noctuidae*) i drutowców (*Elateridae*), a także nasion chwastów. Celem integrowanej ochrony ziemniaka przed tymi agrofagami jest przede wszystkim redukcja ich występowania, poprzez właściwy dobór stanowiska i następstwa roślin w zmianowaniu, prawidłowe wykonanie jesiennych i wiosennych zabiegów uprawowych, niszczenie chwastów, unikanie uprawy po ugorach lub wieloletnich uprawach, izolacja przestrzenna.

ELEMENTY INTEGROWANEJ OCHRONY ZIEMNIAKA

A. Płodozmian i podstawowe ochronne zabiegi agrotechniczne stosowane w ramach integrowanej ochrony ziemniaka

Podstawowym celem stosowania płodozmianu jest uzyskanie wzrostu żyzności gleby dzięki odpowiedniemu zmianowaniu roślin, co związane jest z poprawą jakości i zwiększeniem plonów. Najlepszymi przedplonami dla uprawy ziemniaka są wieloletnie rośliny bobowate (motylkowate): drobnonasienne (np. koniczyna, lucerna) i ich mieszanki z wiechlinowatymi (trawami) oraz grubonasienne (np. peluszka, łubiny). Dobre przedplony pod ziemniak stanowią także wiechlinowate w uprawie polowej, buraki oraz zboża, po których stosuje się, jako międzyplony rośliny bobowate (motylkowate) lub facelię czy gorczycę (Roztropowicz, 1997; Gruczek, 2001). Przedplony wzbogacają stanowisko pod ziemniaki. Przykładowo facelia potrafi pobierać wymyte składniki pokarmowe z głębszych warstw gleby dzięki głębokiemu, dobrze rozwiniętemu systemowi korzeniowemu i przemieszcza je do swoich organów w części nadziemnej. Inne, np. gorczyca spełniają rolę ochroną na przyszłej plantacji ziemniaka - stymulują rozwój pożytecznych organizmów glebowych, które utrudniają rozwój rizoktoniozy, antraknozy, drutowców (Wharton i in., 2009).

Dopuszczalny udział ziemniaka w zmianowaniu w systemie IPM nie powinien przekraczać 20–25%, czyli ziemniaki powinny wracać na to samo pole dopiero po 4–5 latach. Spowodowane jest to wysokimi wymaganiami fitosanitarnymi tej rośliny. Częste następstwo ziemniaka po ziemniaku zwiększa niebezpieczeństwo występowania wielu

chorób pochodzenia grzybowego i bakteryjnego, np. rizoktoniozy czy antraknozy, których sprawcy mogą przetrwać w glebie, jako saprofity lub zimować w pozostałościach roślinnych oraz szkodników, np. mątwika ziemniaczanego, który w monokulturze szybko zwiększa swoją populację glebową (Scholte, 1992; Honeycutt i in., 1996). Mątwik ziemniaczany, jako obiekt kwarantanny może nie tylko powodować olbrzymie straty plonu, ale także wyeliminować pole z uprawy na wiele lat.

Nie tylko ziemniak uprawiany po ziemniaku jest niekorzystnym następstwem dla jego uprawy. W płodozmianie ziemniaka z warzywami, istnieje ryzyko liczniejszego występowania uszkodzeń powodowanych przez niszczyka ziemniaczaka (nicień) szczególnie, jeśli plantacja jest nawadniana. Ziemniaki po warzywach czy rzepaku nie powinny być sadzone także ze względu na występowanie wspólnych patogenów wywołujących bakteriozy (*Pectobacterium* spp.) czy zgniliznę twardzikową (*Sclerotinia sclerotiorum*). Natomiast ryzyko większych uszkodzeń miąższu bulw przez drutowce (larwy *Elateridae*) związane jest z takimi przedplonami, jak: wieloletnie bobowate (koniczyna z trawami, lucerna) oraz trwałymi zadarnieniami. Do tego dochodzą także błędy i uproszczenia w agrotechnice. W uprawach takich, na których nie są corocznie wykonywane orki, wzrasta zachwaszczenie, zbitość gleby i wilgotność, a zmniejsza się porowatość gleb, co stwarza dobre warunki do rozwoju głównie kolejnych pokoleń drutowców. Należy unikać uprawy ziemniaka po ugorach lub wieloletnich uprawach także ze względu na niebezpieczeństwo występowania wielożernych szkodników glebowych (larwy chrząszczy z rodziny sprężkowatych i żukowatych oraz gąsienice rolnic). Naloty rolnic (motyli z rodzaju *Noctuidae*), szczególnie lokalne oraz pojawy (gradacyjne), związane są z ciepłą, suchą pogodą oraz kwitnącymi chwastami na plantacji ziemniaków, a także coraz częstszym ugorowaniem pól (Erlichowski, Jakubowska, 2013).

Wymagania glebowe ziemniaka są niewielkie pod warunkiem właściwego przygotowania pola i zastosowania odpowiedniego nawożenia organicznego i mineralnego. Na plantacji chronionej wg systemu IPM nawożenie powinno być dostosowane do żyzności gleby (stąd potrzeba corocznych badań jej składu i zasobności) oraz wymagań odmianowych. Należy zwrócić uwagę nie na maksymalizację nawożenia, ale na jego optymalizację. Nadmiar azotu (powyżej wymagań uprawianej odmiany) może spowodować nadmierny rozwój naci, przedłużenie wegetacji i ułatwić dłuższą ekspozycję roślin na zarodniki sprawcy zarazy ziemniaka i rizoktoniozy oraz wirusów. Przy nieznanej zasobności, udział najważniejszych makroelementów w nawożeniu (azotu, fosforu i potasu) stosunek N:P:K dla ziemniaków jadalnych powinien wynosić 1:1:1,5–2, a dla ziemniaków skrobiowych 1:1:1,3–1,5 (Nowacki, 2013).

Najlepsze stanowisko pod ziemniaki to gleby gliniasto-piaszczyste lub słabo gliniaste. Ziemniaki są mniej wrażliwe na pH gleby, tolerują pH w zakresie 4,5–6,5. Na glebach zbyt lekkich, przesuszonych częściej występuje parch zwykły (*Streptomyces scabies*) — Kapsa (1993). Aby uniknąć problemów z tym patogenem potrzebne jest nawadnianie, szczególnie w momencie wiązania bulw. Z drugiej strony, na glebach ciężkich i zlewnych częściej występują rizoktonioza (*Rh. solani*), mokra zgnilizna (*Pectobacterium* spp.) czy zaraza bulw (*P. infestans*).

Ziemniak wymaga gleb starannie odchwaszczonych, szczególnie ważna jest eliminacja uporczywych chwastów rozłogowych w uprawie późniejszej, np. perzu. Na polach wolnych od perzu, jesienią należy wykonać podorywkę i zabiegi pielęgnacyjne, które niszczą chwasty i ograniczają zanieczyszczenie gleby ich nasionami. Wiosną należy wykonać włókovanie lub bronowanie, przerywające parowanie gleby i pobudzające nasiona chwastów do kiełkowania (Nowacki, 2013). Zadaniem wiosennych zabiegów uprawowych jest ograniczenie strat wody, przyspieszenie ogrzewania gleby (zmniejsza zagrożenia infekcji rizoktoniozą z populacji glebowej grzyba), a przede wszystkim zniszczenie chwastów. Na plantacjach ziemniaka spotyka się ponad 100 gatunków chwastów, które stanowią istotną konkurencję w zdobywaniu składników pokarmowych, szczególnie z powodu powolnego tempa rozwoju ziemniaka w początkowym okresie. Chwasty są nie tylko roślinami konkurencyjnymi dla roślin (Gugała i Zarzecka, 2010; Urbanowicz, 2012), ale ich obecność w uprawie zwiększa także ryzyko występowania szkodników glebowych (drutowce, rolnice) oraz zarazy ziemniaka lub zgnilizny twardzikowej (zmienione warunki wilgotnościowe w łanie) — Kapsa (2001), Erlichowski (2007). Ponadto chwasty mogą być miejscem zimowania niektórych agrofagów i źródłem infekcji na wiosnę (wirusy, sprawcy alternariozy).

W ochronie przed patogenami, istotną rolę spełniają także *odpowiednie techniki uprawy*. Prawidłowe obsypywanie i formowanie redlin przy pomocy obsypnika czy profilatora eliminuje kontakt zarodników patogenów z bulwami, chroniąc je w ten sposób przed infekcją.

B. Metoda hodowlana

Jednym z ważniejszych i tańszych elementów integrowanej ochrony roślin jest *metoda hodowlana*, czyli dobór odmiany do uprawy. Niezmiernie ważne jest dobieranie do uprawy takich odmian, które z jednej strony są dostosowane do lokalnych warunków glebowo-klimatycznych, a z drugiej są genetycznie mniej podatne na agrofagi. Odmiany dostosowane do lokalnych warunków to takie, które znajdują się na „Liście odmian zalecanych” do uprawy na terenie danego województwa i są związane z przydatnością gospodarczą odmian dla różnych rejonów kraju i różnych poziomów agrotechniki. Ich rola w profilaktyce zagrożeń występujących na plantacjach ziemniaka jest pośrednia. Rośliny takich odmian, uprawiane w sprzyjających dla siebie warunkach są silniejsze i tym samym trudniejszym celem ataku dla agrofagów (np. sprawców alternariozy — *Alternaria* spp.). Z drugiej jednak strony, na terenach szczególnie zagrożonych występowaniem konkretnych patogenów czy szkodników to przede wszystkim uprawa odmian genetycznie odpornych pozwala zmniejszyć to zagrożenie (Kapsa, 2001, 2002; Gans, 2004; Hansen i in., 2003, 2005; Osowski, 2012). Na odmianach odpornych infekcje np. patogenami ziemniaka rozpoczynają się później, choroby rozwijają się wolniej, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia liczby wykonywanych zabiegów chemicznych (Kapsa, Osowski, 2007; Andrivon i in., 2008 b). Korzyści płynące z uwzględnienia postępu biologicznego są szczególnie spektakularne w odniesieniu do zagrożeń powodowanych przez wirusy (tab. 2), sprawców zarazy (*P. infestans*), czy czarnej nóżki (*Pectobacterium carotovorum* ssp. *carotovorum*). W niektórych przypadkach odporność odmian jest

podstawową bronią w walce z agrofagiem poza kwarantanną, (np. przy zwalczaniu mącznika ziemniaczanego — *Globodera rostochiensis*).

Charakterystyka odporności na wirusy poszczególnych odmian ziemniaka wskazuje, że spośród 122 odmian znajdujących się w 2014 roku w Krajowym Rejestrze, aż 45 odmiany (=37,8%) charakteryzują się podwyższoną (ocena w granicach 7–8) odpornością na najważniejszy z wirusów — PVY; 24 odmiany (=19,6%) są odporne i całkowicie nie porażane tym wirusem (ocena 9 w skali 9-stopniowej) — tabela 2.

Tabela 2

Odmiany ziemniaka o podwyższonej odporności na PVY (w 2014 roku)
Potato varieties with higher resistance to PVY (in 2014)

Grupa wczesności Group of maturity	Odporność podwyższona Higher resistance		Odporne Resistant
	stopień 7 — degree 7	stopień 8 — degree 8	stopień 9 — degree 9
Bardzo wczesne i wczesne Very early and early	Denar, Lord, Miłek, Bila, Gracja, Gwiazda, Hubal, Ignacy, Michalina, Vineta	Aruba,	Owacja
Średnio wczesne Mid-early	<i>Boryna</i> , Gawin, <i>Glada</i> (7,5), <i>Harpun</i> , Ibis (7,5), <i>Ikar</i> (7,5), Irga, <i>Jubilat</i> , <i>Kaszub</i> , Mazur, Otolia, Roxana, Tajfun	Bartek, Bogatka, Jurata, Jurek, Jutrzenka, Lavinia, Malaga, Oberon, Orchestra, Promyk, Sagita, Stasia, <i>Szyper</i> , Tetyda,	Ametyst, Bursztyn, Etiuda, Finezja, Igor, <i>Kuba</i> , Legenda, <i>Pasat</i> , <i>Rumpel</i> , Sante, <i>Zuzanna</i>
Średnio późne i późne Mid-late and late	<i>Bosman Inwestor</i> , <i>Pokusa</i> ,	<i>Pasja Pomorska</i> , Syrena, <i>Gandawa</i> , <i>Sekwana</i> ,	<i>Bzura</i> , <i>Danuta</i> , Gustaw, <i>Hinga</i> , <i>Jasia</i> , <i>Kuras</i> , Zenia, Roko, <i>Rudawa</i> , <i>Skawa</i> , <i>Sonda</i> , <i>Ślęza</i>

Kursywą oznaczono odmiany skrobiowe; in *Italics* type — the starch varieties are marked

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych COBORU; Source: own study based on COBORU data

Tabela 3

Średnio odporne i odporne odmiany ziemniaka na zarzę ziemniaka (w 2014 roku)
Potato varieties moderately resistant and resistant to late blight (in 2014)

Grupa wczesności Group of maturity	Odporność średnia Middle resistance	Podwyższona odporność Higher resistance		
	stopień 5 — degree 5	stopień 6 — degree 6	stopień 7 — degree 7	stopień 8 — degree 8
Bardzo wczesne i wczesne Very early and early	Cyprian			
Średnio wczesne Mid-early	Agnes, Bartek, Bursztyn, Igor, Legenda, Tajfun, Tetyda, <i>Boryna</i> (5,5), <i>Glada</i> , <i>Ikar</i> (5,5), <i>Jubilat</i> , <i>Kaszub</i> , <i>Kuba</i> , <i>Pasat</i> , <i>Rumpel</i> , <i>Szyper</i>	Ametyst		
Średnio późne Mid-late	Cecile, Fianna, Gustaw, Jelly, Syrena, <i>Danuta</i> , <i>Pasja Pomorska</i>		<i>Bosman</i>	
późne late	Zagłoba	<i>Gandawa</i> , <i>Pokusa</i> , <i>Rudawa</i> , <i>Skawa</i>	<i>Hinga</i> , <i>Jasia</i> , <i>Inwestor</i> , <i>Sekwana</i> , <i>Sonda</i>	<i>Bzura</i> , <i>Kuras</i> , <i>Ślęza</i>

Kursywą oznaczono odmiany skrobiowe; in *Italics* type — the starch varieties are marked

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych COBORU; Source: own study based on COBORU data

Gorzej wygląda genetyczna odporność odmian na zarazę ziemniaka, która jest również bardzo ważnym elementem w systemie IPM ziemniaka. Wśród 122 odmian ziemniaka znajdujących się w Rejestrze Odmian w 2014 roku, zaledwie 14 z nich (=10,2%), charakteryzuje się zadowalającą odpornością na zarazę ziemniaka (oceny 6–8 w skali 9-punktowej). Większość z tych odmian to odmiany późniejsze i skrobiowe (Gandawa, Pokusa, Rudawa i Skawa — ocena 6, Bosman, Hinga, Jasia, Investor, Sekwana, Sonda — ocena 7 i Bzura, Kuras i Ślęza — ocena 8 w skali 9-stopniowej). Jedyne wyjątki stanowią średnio wczesna, jadalna odmiana Ametyst (tab. 3).

Odporność odmian jest ważnym elementem także w przypadku chorób bakteryjnych, szczególnie *czarnej nóżki*. W dostępnym w Polsce asortymencie odmian nie można znaleźć wprowadzone odmian odporne na mokrą zgniliznę, ale spotyka się odporniejsze na czarną nóżkę (ocena ≥ 6 w skali 9-punktowej) — tabela 4.

Tabela 4

Odmiany ziemniaka z podwyższoną odpornością na czarną nóżkę
Potato varieties with higher resistance to blackleg

Grupa wczesności Group of maturity	Odporność na czarną nóżkę Resistance to blackleg	
	stopień 6 — degree 6	stopień 7 — degree 7
Bardzo wczesne i wczesne Very early and early	Lord, Augusta, Gracja, <i>Karlina</i> , Latona, Nora, Vineta	
Średnio wczesne Mid-early	<i>Albatros</i> , Ditta, <i>Kuba</i> , <i>Pasat</i> (6.5), <i>Rumpel</i> , Sante, Satina, Victoria, Zebra	Andromeda, Asterix, Bartek (7,5), Bondeville, Cekin, Folva, <i>Glada</i> , <i>Monsoon</i> , Pirol, Raja, Ramos, Redstar, Tajfun, Żagiel
Średnio późne i późne Midlate and late	<i>Jasia</i> , <i>Neptun</i> , Zeus	

Kursywą oznaczono odmiany skrobiowe; in *Italics* type – the starch varieties are marked

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych COBORU; Source: own study based on COBORU data

W przypadku innych chorób, takich jak np. rizoktonioza, szybkość jej rozwoju jest bardziej uzależniona od warunków meteorologicznych niż odporności odmian. W badaniach prowadzonych w Wielkiej Brytanii nie stwierdzano statystycznych różnic w reakcji odmian na porażenie grzybem *Rhizoctonia solani* (Gans, 2004).

Trudno mówić o odporności odmian w przypadku zwalczania stonki ziemniaczanej (*Leptinotarsa decemlineata*) na plantacjach ziemniaka. Od wielu lat obserwuje się jednak pewne preferencje odmianowe w zasiedlaniu odmian przez szkodnika. Wybór odmiany nie zależy od zawartości glikoalkaloidów, grupy wczesności danej odmiany ziemniaka czy zmienności warunków agrometeorologicznych w sezonie. Na podstawie badań prowadzonych w latach 2001–2011, na 76 odmianach ziemniaka stwierdzono zależność pomiędzy zasiedlaniem przez stonkę ziemniaczaną a kolorystyką roślin poszczególnych odmian. Chrzęszcze po przezimowaniu zasiedlały w pierwszej kolejności odmiany o liściach z wyraźną kolorystyką, a nie te z szarymi odcieniami (Pawińska, 2012).

Natomiast w przypadku niektórych szkodników glebowych, np. larw *Elateridae* stwierdza się naturalną odporność odmian na uszkodzenia przez nie powodowane (Neuhoff i in., 2007). Podatność bulw na uszkodzenia powodowane przez drutowce związana jest głównie z zawartością glikoalkaloidów; im wyższa ich zawartość tym odmiana jest bardziej

odporna na uszkodzenie (Jonasson, Olsson, 1994; Kwon i in., 1999). Na podstawie badań prowadzonych w Boninie stwierdzono, że odmiany wczesne i średnio wczesne jadalne (smaczne, o gładkiej skórce) są bardziej narażone na uszkodzenia spowodowane przez drutowce niż odmiany późne, skrobiowe (Erlichowski, 2007).

C. Przygotowanie sadzeniaków i sadzenie w wymaganiach integrowanej ochrony

Jedną z ważniejszych zasad integrowanej ochrony roślin jest usuwanie źródeł infekcji ze środowiska. Praktycznym stosowaniem tej zasady jest m.in. używanie w uprawie wyłącznie zdrowych sadzeniaków, o wysokiej wartości nasiennej, o której decyduje przede wszystkim zdrowotność, czyli stopień porażenia bulw przez sprawców chorób. Porażone sadzeniaki to podstawowe źródło patogenów na plantacjach ziemniaka, szczególnie sprawców chorób bakteryjnych i wirusowych, które mogą pozostawać w bulwie w formie bezobjawowej (latentnej) i ujawniać się dopiero po wysadzeniu bulw w polu i nastaniu sprzyjających warunków meteorologicznych. W przypadku niektórych patogenów, porażone bulwy sadzeniakowe są jedynym źródłem infekcji pierwotnej na polu. Chora bulwa, także z utajoną infekcją jest jedynym źródłem występowania czarnej nóżki na plantacji, a w konsekwencji mokrej zgnilizny w plonie. Rolnik nie może wpłynąć na przebieg warunków meteorologicznych sprzyjających występowaniu choroby (opady, okresowo zalewane pola), ale poprzez stosowanie kwalifikowanego sadzeniaka w znacznym stopniu może wpłynąć na ograniczenie występowania choroby.

Z innych zabiegów agrotechnicznych stosowanych w systemie IPM, związanych z sadzeniakiem i sadzeniem są: odpowiednie przygotowanie bulw, termin i technika sadzenia. Przygotowanie materiału sadzeniakowego należy rozpocząć od usunięcia bulw chorych, tzn. porażonych mokrą lub suchą zgnilizną, ospowatością (w znacznym stopniu), zarazą ziemniaka i uszkodzonych. Wymagania dla sadzeniaków ziemniaka określone dla poszczególnych ocen wg krajowego systemu kwalifikacji (Rozp. Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dn. 1 lutego 2007) dopuszczają 1% bulw z objawami suchej lub mokrej zgnilizny. Jednocześnie obowiązuje zerowa tolerancja na porażenie bulw przez organizmy kwarantannowe, takie jak *Synchytrium endobioticum* — sprawca raka ziemniaka, *Corynebacterium michiganensis* ssp. *sepedonicus* — bakteria odpowiadająca za wywoływanie bakteriozy pierścieniowej ziemniaka, *Ralstonia solanacearum* — sprawca śluzaka, *Phoma exigua* var. *foveata* — wywołujący gangrenę i *Spongospora subterranea* odpowiedzialny za porażenie bulw parchem prószystym w silnym stopniu (powierzchnia porażenia > 1 cm²).

Przy uprawie na wczesny zbiór i w nasiennictwie, obowiązkowym zabiegiem jest podkielkowanie sadzeniaków (długość kiełków do 2 cm). Podkielkowanie sadzeniaków zwiększa odporność roślin ziemniaka na zakażenie chorobami wirusowymi narastającą z wiekiem fizjologicznym; z kolei wcześniejszy zbiór pozwala na niszczenie naci w zalecanym terminie (Rykaczewska, 1997). Przy uprawie na pozostałe kierunki (np. ziemniaki przeznaczone na zaopatrzenie zimowe, do przetwórstwa czy skrobiowe) kiełki powinny być jedynie pobudzone (długość kiełków 1–2 mm). Sadzenie podkielkowanych lub pobudzonych bulw sprzyja szybszemu rozwojowi roślin, wpływając także na ograniczanie zakażenia zarówno sprawcą rizoktoniozy (wrażliwy kiełek krócej przebywa w glebie będąc narażonym na atak grzyba z gleby), jak i zarazy ziemniaka (rośliny,

szczególnie odmian wcześniejszych, zdążą wytworzyć większość plonu przed epidemią i zniszczeniem naci) — Kapsa (2012).

Optymalny termin, głębokość i gęstość sadzenia mogą także wpływać na rozwój chorób. Ziemniaki powinny być sadzone w optymalnym dla rejonu terminie na odpowiedniej głębokości. Termin sadzenia zależy od temperatury gleby na głębokości 10 cm, a optymalna temperatura to 8–10°C. Jeżeli używamy sadzeniaków podkielkowanych termin ten można przyspieszyć i ziemniaki sadzić, gdy temperatura gleby sięga 6–8°C (Nowacki, 2013). Zbyt wczesne sadzenie bulw, w nieogrzaną glebę, może zwiększyć ryzyko wystąpienia rizoktoniozy. Z kolei zbyt późne sadzenie jest niewskazane szczególnie w produkcji integrowanej gdyż przesuwając wegetację na okres mniej sprzyjających warunków pogodowych i większego zagrożenia plantacji zarazą ziemniaka (Kapsa, 2012).

Ziemniaki powinny być sadzone na głębokość odpowiadającą średnicy sadzeniaka, powiększonej o 1–2 cm. Najczęściej ziemniaki uprawiane są w rozstawie 62,5 cm. Wymagania jakościowe stawiane bulwom odmian jadalnych czy przeznaczonych do przetwórstwa wymagają rozstawy międzyrzędzi do 75 cm lub nawet do 90 cm (Nowacki, 2013). Z punktu widzenia ochrony przed zarazą ziemniaka zwiększenie rozstawu nie sprzyja występowaniu choroby, z powodu braku wystarczającej wilgotności do rozpoczęcia procesu infekcyjnego. Z kolei nadmierna gęstość sadzenia podobnie jak zachwaszczenie wpływa na utrzymywanie wysokiej wilgotności w łanie, co sprzyja występowaniu zarazy oraz zwiększa konkurencję w zdobywaniu składników pokarmowych prowadząc do osłabienia roślin i wpływa na ich porażenie przez alternariozę (Kapsa, 2012).

D. Usuwanie źródeł infekcji

Redukcja zagrożenia występowania agrofagów na plantacjach ziemniaka to nie tylko zdrowy materiał do nasadzeń, ale także niszczenie innych ważnych źródeł infekcji (tab. 5). Główne źródła pierwotnych zakażeń ziemniaka sprawcą zarazy na polu to gnijące bulwy, pozostawione po wiosennym sortowaniu na stertach odpadowych oraz niechronione lub niedostatecznie chronione uprawy wczesnych odmian uprawianych w sąsiedztwie (Andrivan i in., 2008 a). Zarodniki patogenu mogą przenosić się z wiatrem na znaczne odległości, nawet 70–80 km.

W przypadku alternariozy główne źródło zakażenia roślin stanowią porażone resztki roślinne pozostawione w glebie po zbiorze. Istotnym elementem niechemicznych działań ochronnych, stosowanym w okresie wegetacji jest więc usuwanie źródeł infekcji, polegające m.in. na zabezpieczaniu stert odpadowych (np. przykrywanie ich czarną folią aby zapobiec kiełkowaniu chorych bulw), ochronie wcześniejszych odmian w okolicy, staranne zbieranie bulw i niszczenie resztek pożywnych. Samosiewy ziemniaka, wyrosłe z pozostawionych jesienią bulw są dodatkowym źródłem pierwotnych zakażeń w następnym roku. W sezonie wegetacyjnym, te niechronione rośliny ziemniaka, wyrosłe w uprawach następczych są swojego rodzaju „chwytnaczami” zarodników patogenów w środowisku (Kapsa, 2012).

Tabela 5

Źródła agrofagów w uprawach ziemniaka i metody eliminacji
The source of pests in potato crops and methods of their elimination

Źródła infekcji (agrofagów i chorób) Source of infections (agrophages and diseases)	Sposób eliminacji Way of eliminations
Porażone sadzeniaki (bakterie, alternarioza, rizoktonioza, antraknoza, PVY, PLRV, parchy, sucha zgnilizna, zaraza ziemniaka, szkodniki glebowe) Infested seed potatoes (bacteria, early blight, rhizoctonia, anthracnose, PVY, PLRV, scabs, dry rot, late blight, soil pests)	Zdrowy sadzeniak, najlepiej kwalifikowany materiał sadzeniakowy Healthy seed tubers preferably certified
Sterty odpadowe (zaraza ziemniaka, czarna nóżka) Dumps (late blight, blackleg)	Zabezpieczanie stert przez np. przykrywanie czarnymi płachtami Securing dumps by, for example, cover with black plastic
Sąsiednie uprawy (zaraza ziemniaka, alternarioza, czarna nóżka, wirusy) Adjacent crops (late blight, early blight, blackleg, viruses)	Ochrona upraw sąsiednich Protection of crops in neighbourhood
Chore rośliny na polu (czarna nóżka, mokra zgnilizna, wirusy, rizoktonioza) Diseased plants in the field (blackleg, soft rot, viruses, rhizoctonia)	Selekcja negatywna — usuwanie chorych roślin Negative selection — removal of diseased plants
Gleba (rizoktonioza, antraknoza, parch zwykły, sucha zgnilizna, zaraza ziemniaka, szkodniki glebowe, mątwik, nasiona chwastów) Soil (rhizoctonia, anthracnose, common scab, dry rot, late blight, soil pests, potato cyst nematode)	Właściwy wybór stanowiska, prawidłowo wykonanie zabiegów uprawowych, zaprawianie bulw lub gleby, nawadnianie, regulacja pH Competent field choice, properly performed agricultural practices, protective treatment of tubers or soil, irrigation, pH regulation
Resztki pożywnie (rizoktonioza, wirusy alternarioza, antraknoza, parch zwykły) Crop residues (rhizoctonia, Viruses, early blight, anthracnose, common scab)	Desykacja, staranny zbiór bulw Desiccation, careful harvesting of the tubers
Owady jako wektory: mszyce, skoczki (wirusy, bakteriozy) Insects as vectors: aphids, leafhoppers (viruses, bacteria)	Niszczenie owadów lub przyspieszanie rozwoju roślin Control of insects or acceleration of plant development
Kontaminowany sprzęt, przechowalnie, bulwy (bakterioza pierścieniowa, mątwik) Contaminated equipments, storehouses, tubers (ring rot, nematodes)	Mycie, odkażanie Washing, decontamination
Chwasty (wirusy, alternarioza, zaraza ziemniaka, mszyce, szkodniki glebowe, nicienie) Weeds (viruses, early blight, late blight, aphids, soil pests, nematodes)	Niszczenie chwastów Control of weeds
Samosiewy w uprawach następnych (zaraza ziemniaka, bakterioza pierścieniowa) Volunteer in follow crops (late blight, ring rot)	Staranny zbiór bulw Careful harvesting of yields

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

E. Przygotowanie plantacji do zbioru, zbior i składowanie

Zbiór plonu ziemniaka jest najtrudniejszym i najbardziej pracochłonnym spośród zabiegów agrotechnicznych stosowanych w jego uprawie, niezależnie od jej kierunku. Wszystkie przeprowadzone wcześniej zabiegi i czynności mają za zadanie stworzyć korzystne warunki do zbioru bulw o wysokiej jakości, ograniczając możliwość powstawania uszkodzeń mechanicznych, strat oraz zanieczyszczeń. Ważnym, decydującym w dużym stopniu o ilości uszkodzeń mechanicznych, elementem przygotowania plantacji

do zbioru jest usunięcie porostu (łąciny, chwasty) tak, aby ich masa nie przekraczała maksymalnie 2–4 t/ha. Zabieg usuwania porostu powinien być przeprowadzony w zależności od stopnia dojrzałości roślin na 1 do 3 tygodni przed zbiorem. Planując termin zbioru należy pamiętać o tym, że powinien on być przeprowadzony po osiągnięciu dojrzałości skórki bulw, w warunkach sprzyjających (temperatura gleby powyżej 10°C, wilgotność do 15%). Należy pamiętać, że obniżenie temperatury oraz wzrost wilgotności wpłynie znacznie na wzrost podatności bulw na uszkodzenia mechaniczne. W zależności od wczesności uprawianej odmiany zbiór ziemniaka należy przeprowadzić w terminie od połowy sierpnia do końca września.

Bulwy ziemniaka w zależności od kierunku uprawy i przeznaczenia są przechowywane przez okres od 1 do 9 miesięcy. Głównym zadaniem przechowywania jest, więc zabezpieczenie zebranego plonu przed wpływem warunków zewnętrznych, ograniczenie do minimum strat w plonie oraz zachowanie cech jakościowych przechowywanych bulw w zależności od kierunku użytkowania (Czerko, 2006).

PODSUMOWANIE

Integrowana ochrona roślin wymaga połączenia kilku metod ochrony tak, aby ograniczyć stosowanie środków ochrony roślin do niezbędnego minimum. Bazując na wiedzy o organizmach szkodliwych dla roślin i ich biologii oraz wykorzystując wszystkie dostępne metody, zwłaszcza metody niechemiczne można w znacznym stopniu ograniczyć lub opóźnić występowanie agrofagów w uprawie ziemniaka, zapobiegając w ten sposób porażeniu i uszkodzeniom roślin oraz stratom bulw w przechowywanym plonie. Większość elementów niechemicznych metod ochrony wykonywana jest przez rolników rutynowo, niejako intuicyjnie. „Uporządkowanie” wiedzy i zwiększenie udziału metod niechemicznych w zabiegach integrowanej ochrony ziemniaka pozwoli rolnikom bardziej świadomie wpływać na środowisko.

LITERATURA

- Andrivan D., Evenhuis B., Schepers H., Gaucher D., Kapsa J., Lebecka R., Nielsen B., Ruocco M. 2008 a. Reducing Primary Inoculum Sources of Late Blight. ENDURE Potato Case Study — Guide Number 1, 4 pp. www.endure-network.eu.
- Andrivan D., Evenhuis B., Schepers H., Gaucher D., Kapsa J., Lebecka R., Nielsen B., Ruocco M. 2008b. Using Cultivar Resistance to Reduce Inputs Against Late Blight. ENDURE Potato Case Study — Guide Number 4, 4 pp. www.endure-network.eu.
- Bajwa, W. I., Kogan, M. 2002. Compendium of IPM Definitions (CID) - What is IPM and how is it defined in the Worldwide Literature? IPPC Publication No. 998, Integrated Plant Protection Center (IPPC), Oregon State University, Corvallis, OR 97331, USA: 15 pp.
- Czerko Z. 2006. Przechowywalność ziemniaków. W: Produkcja ziemniaków (red. Chotkowski J.), Wieś Jutra, Warszawa: 132 — 154.
- Directive 2009/128/Ec of The European Parliament and of the Council (ang.). Official Journal of the European Union. [dostęp 7-03-2013].
- Erlichowski T. 2007. Skład gatunkowy, szkodliwość i zwalczanie drutowców (Coleoptera: Elateridae) w uprawie ziemniaka. Praca doktorska, Bonin 2006: 94 ss.

- Erlichowski T., Jakubowska M. 2013. Monitoring szkodliwości rolnic (*Noctuidae*) w uprawach ziemniaka – zmiany zachodzące w ostatnich latach. *Ziemniak Polski* nr 1: 23 — 28.
- Gans P. 2004. The evaluation of Cultivar Resistance to Tuber Blemish Diseases. (In:) Abstr. EAPR Pathology Section Meeting, Lille 11–16 July 2004-France: 2 pp.
- Gruczek T. 2001. Technologia produkcji ziemniaka jadalnego I dla przetwórstwa spożywczego przy szerokości międzyrzędzi 75 cm. Wyd. IHAR Oddział Jadwisin.
- Gugała M., Zarzecka K. 2010. Porównanie opłacalności produkcji ziemniaka w zależności od sposobów odchwaszczania. *Biul. IHAR*, 257/258: 81 — 86.
- Hansen J. G., Lassen P., Koppel M., Valskyte A., Turka I., Kapsa J. 2003. Web-Blight — regional late blight monitoring and variety resistance information on Internet. DIAS report Plant Production no. 96, December 2003. Ed. Woffhechel H., Danish Institute of Agricultural Sciences. ISSN 1397-9884: 195 pp.
- Hansen J. G., Koppel M., Valskyte A., Turka I., Kapsa J. 2005. Evaluation of foliar resistance in potato to *Phytophthora infestans* based on an international field trial network. *Plant Pathology* 54: 169 — 179.
- Honeycutt C. W., Clapham W. M., Leach S. S. 1996. Crop rotation and N fertilization effects on growth, yield, and disease incidence in potato. *Am. Potato J.* 73: 45 — 61.
- Jonasson T., Olsson K. 2004. The influence of glycoalkaloids, chlorogenic acid and sugars on the susceptibility of potato tubers to wireworm damage. *Potato Research* 37,2: 205 — 216.
- Kapsa J. 1993. Występowanie parcha zwykłego na ziemniaku w Polsce w latach 1986–1992. W: Materiały z Sympozjum na temat: „Biotyczne środowisko uprawne a zagrożenie chorobowe roślin”. PTFit. Olsztyn 1993: 235 — 240.
- Kapsa J. 2001. Zaraza (*Phytophthora infestans* /Mont./de Bary) występująca na łodygach ziemniaka. Monogr. i Rozpr. Nauk. 11. IHAR Radzików: 108 ss.
- Kapsa J. 2002. Varietal resistance of potatoes to late blight and chemical protection strategy. *J. Plant Prot. Res.* Vol. 42, No. 2: 101 — 107.
- Kapsa J. 2012. Ochrona ziemniaka przed chorobami grzybowymi i bakteryjnymi. S: 140-155. W: Produkcja i rynek ziemniaka. (J. Chotkowski, red.). Wyd. Wieś Jutra. 340 ss.
- Kapsa J., Osowski J. 2007. Zastosowanie mieszaniny odmian o zróżnicowanej odporności jako agrotechniczna metoda ochrony ziemniaka przed zarazą ziemniaka. (W:) Konferencja Nauka dla Hodowli Roślin Uprawnych, Zakopane, 29.01.-02.02.2007 r., Streszczenia: 57.
- Knipling E. F. 1972. Entomology and the management of man's environment. *Australian Journal of Entomology* 11: 153 — 167.
- Kwon M., Hahn Y. I., Shin K. Y., Ahn Y. J. 1999. Evaluation of various potato cultivars for resistance to wireworms (Coleoptera: Elateridae). *Am. J. Potato Res.*, 76: 317 — 319.
- MRiRW. 2002. Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej. Urządzenie i zarządzanie gospodarstwem rolnym w rolnictwie zrównoważonym. Dokument elektroniczny, pozyskany 02.10.2006.
- Neuhoff D., Christen Ch., Paffrath A., Schepl U. 2007. Approaches to wireworm control in Organic Potato Production. *Bull. IOBC/WPRS* 30 (1): 65 — 68.
- Norris R. F., Caswell-Chen E. P., Kogan M. 2003. Concepts in Integrated Pest Management. Prentice Hall. Pearson Education, Upper Saddle River, New Jersey.
- Nowacki W. 2013. Uprawa i nawożenie ziemniaka. W: Metodyka integrowanej ochrony ziemniaka dla producentów. (red. Wójtowicz A. i Mrówczyński M.). IOR-PIB, Poznań 2013: 68 ss.
- Osowski J. 2012. Odporność odmian ziemniaka, jako element integrowanej ochrony przed agrofagami. *Biul. IHAR* 266: 261 — 269.
- Pawińska M. 2012. Preferencje odmianowe stonki ziemniaczanej, jako element integrowanej ochrony plantacji ziemniaka spożywczego. W: VII Konferencja Naukowa, Ziemniak spożywczy i przemysłowy oraz jego przetwarzanie, Jugowice, 8–10 maja, UP Wrocław, Streszczenia: 50.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dn. 1 lutego 2007 w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących wytwarzania i jakości materiału siewnego.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dn. 18 kwietnia 2013 r. w sprawie wymagań integrowanej ochrony roślin (Dz. U. poz. 505).
- Roztropowicz S. 1997. Ogólne zasady uprawy ziemniaków. W: Produkcja ziemniaków, Technologia-Ekonomika-Marketing. (red. J. Chotkowski). IHAR Bonin.

- Rykaczewska K. 1997. Podkielkowanie sadzeńiaków. W: Produkcja ziemniaków, Technologia-Ekonomika-Marketing. (red. J. Chotkowski). IHAR Bonin: 85 — 88.
- Rzeźnicki B. 2011. Integrowana produkcja a integrowana ochrona roślin. Prezentacja opracowana przez Departament Hodowli i Ochrony Roślin Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. 8.04.2011.
- Samersov V., Trepashko L. 1999. Principles of development of integrated plant protection systems. In: Perić I., Ivanović M. (Eds.), Proceedings of International Symposium on Integrated Protection of Field Crops. Plant Protection Society of Serbia, Belgrade, Yugoslavia, Electronic PDF version: 29 — 36 pp.
- Scholte K. 1992. Effect of crop rotation on the incidence of soil-borne fungal diseases of potato. Netherlands Journal of Plant Pathology Supplement 2: 93 — 102.
- Smith R. F., Reynolds H. T. 1966. Principles, definitions and scope of integrated pest control. Proc. FAO Symposium on Integrated Pest Control 1: 11 — 17.
- Stern, V. M., R. F. Smith, R. van den Bosch, and K. S. Hagen. 1959. The integrated control concept. Hilgardia 29: 81 — 101.
- Urbanowicz J. 2012. Występowanie chwastów w ziemniaku oraz metody ich zwalczania na terenie Polski w latach 2000–2011. Biul. IHAR 265: 129 — 135.
- Ustawa z dnia 8 marca 2013 r. o środkach ochrony roślin (Dz.U. poz.455).
- Wharton P., Kirk W., Barry D., Snapp S. 2009. Rhizoctonia stem lancet and Black scurf of Potato. <http://www.potatodiseases.org/rhizoctonia.html>.

JÓZEFA KAPSA ¹
MAREK MRÓWCZYŃSKI ²
TOMASZ ERLICHOWSKI ¹
HANNA GAWIŃSKA-URBANOWICZ ¹
KONRAD MATYSEK ¹
JERZY OSOWSKI ¹
MARIA PAWIŃSKA ¹
JANUSZ URBANOWICZ ¹
SŁAWOMIR WRÓBEL ¹

¹ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie, Zakład Nasiennictwa i Ochrony Ziemi w Boninie

² Instytut Ochrony Roślin w Poznaniu — Państwowy Instytut Badawczy w Poznaniu

Ochrona ziemniaka zgodna z zasadami integrowanej ochrony roślin Część II. Metoda zrównoważonej chemicznej ochrony ziemniaka

Potato protection according to the principles of integrated pest management Part II. Sustainable method of chemical potato protection

Działania stosowane w integrowanej ochronie roślin (IPM) można podzielić na działania strategiczne i taktyczne. Działania taktyczne obejmują elementy zrównoważonej ochrony chemicznej, takie jak wybór środka ochrony roślin, liczby aplikacji i wykorzystanie systemów decyzyjnych (DSS) w ochronie przed patogenami czy zastosowanie progów ekonomicznej szkodliwości w zwalczaniu szkodników. Według obowiązujących zasad integrowanej ochrony *metodę chemiczną* można stosować jedynie w razie niezbędnej konieczności, w momencie istotnego zagrożenia lub po przekroczeniu progu ekonomicznej szkodliwości zwalczanego agrofaga. Przed zastosowaniem ochrony chemicznej ważne jest również monitorowanie chronionej uprawy ziemniaka i prognozowanie zagrożeń. W zwalczaniu zarazy ziemniaka ciągłe śledzenie zmian sprawcy i charakteryzowanie inwazyjnych genotypów jest wstępnym i koniecznym warunkiem działań IPM i zrównoważonego stosowania fungicydów. Zmiany w populacjach *P. infestans* wpływają bezpośrednio na możliwość wykorzystania odporności odmian, wiarygodność systemów ostrzegających przed wystąpieniem choroby i skuteczność działania fungicydów. Strategie zwalczania mogą opierać się na harmonogramach zabiegów, wykonywanych z większą lub mniejszą częstotliwością albo bazować na zaleceniach DSS. DSS łączy wszystkie istotne

informacje by wygenerować informację dotyczącą terminu zabiegu, zwiększa skuteczność zwalczania bez zwiększenia ryzyka, może także być użyty by uzasadnić potrzebę zastosowania fungicydu. W pracy przedstawiono także zasady i możliwości właściwego zwalczania szkodników bez zwiększania ilości pestycydów i zmniejszenia skuteczności ochrony (np. wykorzystanie progów szkodliwości, wykorzystanie środków biologicznej ochrony).

Słowa kluczowe: chemiczne zwalczanie, IPM, patogen, szkodnik, ziemniak

Control measures in integrated pest management (IPM) can be divided into strategic and tactical measures. Tactical measures include elements of sustainable chemical protection such as pesticide choice, limiting the number of sprays and use of decision support systems (DSS) in control of pathogens or using economic thresholds of harm in control of pests. According to the obliging principles of integrated pest management, chemical method can be used only in case of necessity, at the time of significant risks or above the threshold of economic harm of controlled agrophages. Before the application of chemical protection, it is also important to monitor the protected potato crop and to forecast risks. In control of potato late blight constant monitoring of populations and characterization of invasive genotypes are prerequisite and necessary for the deployment of IPM measures and sustainable using of fungicides. Changes in *P. infestans* populations directly influence the deployment of resistant cultivars, the reliability of disease warning systems and the efficacy of fungicides. A control strategy can be based on a schedule with more or less fixed intervals or based on recommendation derived from a DSS. DSSs integrate all relevant information to generate spraying advice, increase the efficacy of control without increasing risk and can also be used to justify fungicide inputs. In the paper we also presented the principles and the possibility of proper pest control without a decrease in protection efficacy and increasing of pesticides input into the environment (eg. use of the threshold of economic harm or use of biological products in protection).

Key words: chemical control, IPM, pathogen, pest, potato

WSTĘP

Od 1. stycznia 2014, wszystkie kraje Unii Europejskiej zobowiązane są do stosowania zasad Integrowanej Ochrony Roślin (IPM). Obowiązek stosowania IPM wynika z postanowień art. 14 dyrektywy 2009/128/WE oraz rozporządzenia nr 1107/2009. Artykuł 55 rozporządzenia nr 1107/2009/WE stanowi, że środki ochrony roślin muszą być stosowane zgodnie z ogólnymi zasadami integrowanej ochrony roślin, o których mowa w art. 14 oraz załączniku III do tej dyrektywy. Według obowiązujących zasad integrowanej ochrony metodę chemiczną można stosować jedynie w razie niezbędnej konieczności, w momencie istotnego zagrożenia lub po przekroczeniu progu ekonomicznej szkodliwości zwalczanego agrofaga. Nie wszystkie owady, chwasty i inne organizmy żywe wymagają zwalczania. Wiele z nich jest nieszkodliwych, a niektóre nawet pożyteczne. Z ochroną chemiczną ściśle wiąże się zatem dbałość o pożyteczną entomofaunę zasiedlającą plantacje roślin rolniczych, a także o owady neutralne, rozwijające się na pozostawionych chwastach, czy też poszukujące pokarmu oraz schronienia. Pomimo, że wrogowie naturalni nie są w stanie w sposób ciągły ograniczać liczebności agrofagów do poziomu poniżej progów ekonomicznej szkodliwości, to jednak producenci w ramach integrowanej ochrony muszą podejmować takie decyzje, które w możliwie jak największym stopniu pozwolą wykorzystać potencjał pożytecznej działalności pasożytów i drapieżców. Zwiększenie udziału metod niechemicznych w zabiegach integrowanej ochrony roślin rolniczych

pozwała bardziej ograniczyć negatywny wpływ człowieka na agrocenozy i zmniejszyć chemizację środowiska.

ZRÓWNOWAŻONA OCHRONA CHEMICZNA ZIEMNIAKA — ZASADY OGÓLNE

Metoda chemicznej ochrony roślin zaliczana jest do tzw. działań taktycznych w ramach integrowanej ochrony roślin. Celem integrowanej ochrony nie jest bezwzględna walka z organizmami szkodliwymi, ale takie sterowanie ich liczebnością, które do minimum ograniczy ich wpływ na wysokość i jakość plonu. Przykładowe progi szkodliwości i związane z nimi potencjalne straty w plonie ziemniaka zostały wyliczone doświadczalnie dla drutowców (*Elateridae*) — Erlichowski (2012). W przypadku stosowania pułapek przynętowych (skiełkowane ziarno) mówi się o czterech progach zagrożenia i potencjalnych stratach w plonie bulw (tab. 1).

Tabela 1

Proponowane progi zagrożenia przez drutowce w ziemniaku, na podstawie danych z pułapek pokarmowych (wg Erlichowski, 2012)
Proposed harm threshold for wireworms in potato, based on data from bait traps (acc. Erlichowski, 2012)

Średnia liczba larw przypadająca na jedną pułapkę The average number of larvae per one bait trap	Próg zagrożenia The risk threshold	Potencjalne straty w plonie (% uszkodzonych bulw) Potential losses in yield (% of damaged tubers)
< 1,5	niski — low	5–10
1,6–2,5	średni — average	11–20
2,6–3,5	podwyższony — elevated	21–30
>3,6	wysoki — high	31–50

Zgodnie z zasadami integrowanej ochrony zarejestrowane środki ochrony roślin muszą być wykorzystywane w sposób racjonalny, w oparciu o aktualne progi ekonomicznej szkodliwości, w optymalnych terminach zwalczania i warunkach pogodowych warunkujących ich wysoką skuteczność.

O skuteczności ochrony chemicznej decyduje kilka czynników. Najważniejsze z nich to: monitorowanie i prognozowanie zagrożenia wystąpienia agrofaga, właściwa diagnostyka, określenie optymalnych terminów zabiegów i dobór środków ochrony roślin.

1. Monitorowanie i prognozowanie zagrożenia. Rozpoczęcie zrównoważonej ochrony chemicznej powinno być poprzedzone monitorowaniem (lustracją) uprawy i prognozowaniem zagrożenia wystąpienia agrofagów. W przypadku zwalczania zarazy ziemniaka (*Phytophthora infestans*) ciągle monitorowanie populacji sprawcy i charakteryzowanie inwazyjnych genotypów jest wstępnym i koniecznym warunkiem rozwoju działań IPM i zrównoważonego zastosowania środków ochrony roślin (Kapsa i Hansen, 2004). Zmiany w populacjach *P. infestans* wpływają bezpośrednio na możliwość wykorzystania odporności odmian, wiarygodność systemów ostrzegających przed wystąpieniem choroby i skuteczność działania fungicydów. Pojawiające się w środowisku nowe genotypy czy rasy patogena mogą „przełamywać” odporność odmian, uważanych wcześniej za odporne. Z kolei, nowe źródła infekcji roślin ziemniaka, pochodzące z gleby

(oospory, porażone sadzeniaki) nie zawsze są ujęte w programach prognozujących zagrożenie, ponieważ większość z nich (szczególnie starszych) oblicza je od momentu masowego wystąpienia zarodników w powietrzu i wystąpienia warunków sprzyjających rozwojowi choroby (zwarcie roślin w rzędach).

Lustrowanie plantacji ziemniaka pozwala też określić moment wystąpienia szkodników, określić ich nasilenie i zagrożenie. Stonka ziemniaczana (*Leptinotarsa decemlineata*) jest najbardziej znanym i groźnym szkodnikiem ziemniaka. W zależności od liczebności chrząszczy zimowych i składanych przez nie jaj (płodność samic 600–800 jaj) oraz rozwoju żarłocznych larw, przekroczenie progu szkodliwości gospodarczej na plantacjach niechronionych skutkuje istotną stratą plonu w wyniku zniszczenia liści roślin przez żarłoczne larwy i chrząszcze pokolenia letniego. Szczególnie dotkliwe straty obserwowane są na odmianach bardzo wczesnych i wczesnych, o krótkim okresie wegetacji (straty do 40–60% plonu). Integracja metod ochrony przy zwalczaniu stonki jest dość trudna, ponieważ metody agrotechniczne (uprawki, przedplony, izolacja) nic nie wnoszą z powodu biologii szkodnika; stonka przelatuje wiosną nawet z odległych rejonów w poszukiwaniu pól ziemniaka.

Wskaźniki fenologiczne stonki pomagają jedynie w uchwyceniu i określeniu jej wylotów wiosennych, wystąpienia na plantacji i rozwoju. Pozostaje monitorowanie szkodnika na wiosnę według panujących warunków termicznych i wyznaczenie progu szkodliwości tego owada. Im zimniejsza jest wiosna, tym rozwój stonki jest bardziej rozłożony w czasie. Minimum temperaturowe powietrza dla tego gatunku wynosi średnio +11,5°C (zero fizjologiczne). Poniżej tej temperatury aktywność i składanie jaj przez chrząszcze jest zatrzymane. Także rozwój jaj rozłożony jest w czasie w zależności od panujących temperatur i może trwać od 10 do 19 dni. Suma temperatur efektywnych dla pełnego rozwoju stonki wynosi 390°C (suma średnich dobowych temperatur powyżej zera fizjologicznego). Z kolei, od terminu pojawu chrząszczy letnich zależy ich kondycja i zimowanie oraz przyszłoroczna płodność. Wczesny pojaw, przed 15 lipca, wykazuje ich dużą aktywność; składają wtedy też jaja (rozpoczynając rozwój II pokolenia w roku), osłabiają się i zarazem są gorzej przystosowane do zimowania, przez płytkie zagrzebywanie i mniejszą ilość tłuszczów nagromadzonych w organizmie (warunkujących zimotrwałość). Późne wyloty chrząszczy (koniec lipca) powodują, że są one mniej aktywne, bez składania jaj po krótkim okresie żerowania schodzą w głębsze warstwy gleby na diapauzę (przeżywalność wtedy jest wyższa).

Oprócz czynników klimatycznych ograniczających rozwój stonki pewną rolę odgrywają czynniki biologiczne. Wiele znajdujących się w agrocenozie i okolicy wrogów naturalnych — ptaków (kuropatwa, bażant, szpak), płazów, nicieni owadobójczych w glebie oraz chrząszczy biegaczowatych, kusakowatych, biedronek i grzybów owadobójczych ma wpływ na ograniczenie liczebności stonki. Jednakże przy tak dużej płodności samic, nawet niewielka liczba złożonych przez nie jaj powoduje przekroczenie progu szkodliwości.

Na podstawie lustracji pól i danych z pułapek przynętowych, np. żółtych naczyń, pułapek feromonowych można wyznaczyć termin zwalczania szkodników, w oparciu o progi szkodliwości wyznaczone dla poszczególnych gatunków.

2. Progi szkodliwości. Dla większości ważnych dla ziemniaka szkodników zostały wyliczone doświadczalnie progi szkodliwości:

a. Dla szkodników glebowych (ocena przed sadzeniem):

- drutowce 11–20 larw/m² (Piekarczyk, 1970), ale przy produkcji na cele przetwórstwa spożywczego próg szkodliwości jest niższy — 6–8 larw/m² (badania własne, Erlichowski, 2009, 2012).
- pędraki — 4–5 osobników na 1 m²,
- rolnice — 6 gąsienic na 1 m²,
- mątwik ziemniaczany do 10 jaj z żywymi larwami na 1 g gleby.

b. Dla stonki ziemniaczanej (ocena po wschodach roślin) — 10 złóż jaj na 10 roślin lub 15 larw na 1 roślinie albo 1–2 chrząszcze (zimujące) na 25 roślinach,

c. Dla mszyc jako wektorów chorób wirusowych na plantacjach nasiennych (ocena po wschodach roślin): zabieg interwencyjny należy wykonać w momencie gdy obserwuje się pierwsze uskrzydłone mszyce lub gdy ich liczebność wynosi 5–10 osobników bezskrzydłych na 100 liściach.

Dla sprawców chorób trudno wyznaczyć progi szkodliwości, np. dla sprawcy zarazy ziemniaka progiem szkodliwości może być jedna chora bulwa na stercie odpadowej, czy jedna zainfekowana roślina, które są wystarczającym źródłem, by w sprzyjających warunkach doprowadzić do całkowitego zniszczenia plantacji w ciągu zaledwie kilku dni. Zarodniki sprawcy mają zdolność rozprzestrzeniania się z wiatrem na znaczne odległości (nawet 70–80 kilometrów). Z drugiej jednak strony dla zarazy ziemniaka wyznacza się tzw. krytyczny moment zniszczenia naci. Przyjmuje się, że zniszczenie powierzchni asymilacyjnej w zakresie 50–70% (w zależności od odmiany) powoduje zatrzymanie przyrostu plonu (Kapsa, 2001 za Van der Plank, 1963). Jednak ten moment rozpoczęcia ochrony jest już stanowczo za późny, zarówno w odniesieniu do wielkości plonu jak i przede wszystkim jego zdrowotności. Spóźnione zabiegi chemiczne są także przyczyną ich małej skuteczności lub całkowitego braku efektów ochrony.

Najlepszym momentem rozpoczęcia ochrony przed zarazą ziemniaka jest termin zapewniający profilaktyczną ochronę plantacji. Precyzyjne (dokładne) określenie daty wykonania pierwszego zabiegu często decyduje o skuteczności prowadzonej ochrony. Przy zwalczaniu zarazy ziemniaka, generalnie stosuje się uproszczony system wyznaczania terminu rozpoczęcia ochrony ziemniaka przed zarazą. Na odmianach wczesnych, pierwszy zabieg wykonuje się w momencie zwierania się roślin w rzędach (zaistnienie warunków wilgotnościowych sprzyjających rozwojowi zarazy). Natomiast na odmianach późniejszych pierwsze zabiegi wykonywane są w momencie wystąpienia objawów choroby na odmianach wcześniejszych. Ten uproszczony system jest na pewno lepszy niż rozpoczynanie ochrony w momencie wystąpienia już objawów choroby na roślinach, ponieważ w tym przypadku termin może okazać się zbyt późny.

3. Zastosowanie systemów wspomagających podejmowanie decyzji w ochronie

Najlepsze wyniki prognozowania zagrożenia wystąpienia agrofagów w różnych uprawach roślin daje zastosowanie systemów wspomagających podejmowanie decyzji w ochronie, tzw. systemów decyzyjnych — DSS (Wolny i in., 2004; Been i in., 2009). Spośród wszystkich systemów DSS wykorzystywanych w Europie, najwięcej, bo blisko ¼

z nich stosowana jest w ochronie plantacji ziemniaka przed zarazą (Kapsa, 2009 a, b). W oparciu o matematyczny model rozwoju patogenu i dane pogodowe systemy obliczają zagrożenie wystąpienia infekcji (Kapsa, 2002; Andrivan i in., 2008 a). W Polsce, sporadycznie wykorzystuje się systemy DSS, takie jak NegFry, Plant Plus, Prophy czy Dacom (Kapsa, 2002, 2009 b). Niestety są one mało rozpowszechnione m.in. z powodu braku sieci stacji meteorologicznych, a najbardziej wiarygodne prognozy dotyczą obszarów w promieniu 10–15 km od stacji.

ZRÓWNOWAŻONA OCHRONA CHEMICZNA ZIEMNIAKA — SZCZEGÓŁOWE ZASADY OCHRONY DLA NAJWAŻNIEJSZYCH AGROFAGÓW

Ochrona chemiczna przed **zarazą ziemniaka** (*Phytophthora infestans*) w IPM

Przydatność systemu NegFry w ochronie ziemniaka przed zarazą sprawdzano w latach 2001–2013 w Zakładzie Nasiennictwa i Ochrony Ziemniaka w Boninie. W ciągu dwunastu lat badań (lata 2002–2013), prowadzonych na poletkach doświadczalnych w Boninie system wskazywał datę pierwszego zabiegu 2–27 dni wcześniej przed rzeczywistym wystąpieniem zarazy na plantacji; średnio 12,5 dnia wcześniej. Na ogół wskazania systemu pozwalały wykonać 1–2 zabiegi profilaktyczne, co jest niezmiernie ważne przy zwalczaniu zarazy ziemniaka (Kapsa i in., 2003, 2005; Kapsa, 2012). Ponadto zastosowanie systemu NegFry pozwoliło ograniczyć liczbę zabiegów o 1–3 w porównaniu z ochroną rutynową (aplikacje fungicydów co 7–10 dni), w zależności od roku i odporności odmiany. Czynniki genetyczny uprawianej odmiany ziemniaka, w znacznym stopniu wpływa na liczbę koniecznych zabiegów fungicydowych (Hansen i in., 2005; Kapsa i Osowski, 2007; Andrivan i in., 2008 c).

W doświadczeniach produkcyjnych porównywano także skuteczność ochrony prowadzonej wg wskazań systemu NegFry i ochrony intensywnej, stosowanej w gospodarstwie. Poziom skuteczności ochrony prowadzonej wg NegFry i intensywnej był bardzo podobny. Zastosowania systemu decyzyjnego pozwoliło obniżyć liczbę zastosowanych zabiegów o 3 do 6, a ilość wprowadzanych do środowiska środków ochrony roślin — średnio o 30% (Bernat, Osowski, 2010).

Dobór środków ochrony roślin. Precyzyjne podejście do ochrony polega także na doborze kolejnych fungicydów do zabiegów ochronnych (Kapsa, 2001; Andrivan i in., 2008 b; Kapsa, 2011, 2012;). Dostępne fungicydy oprócz chemicznej substancji aktywnej różnią się swoją mobilnością w roślinie lub na niej. Najczęściej są to mieszaniny różnych substancji, o różnych typach mobilności. Podstawowe grupy mobilności fungicydów to:

- fungicydy powierzchniowe, które nie wnikają do chronionej rośliny; powinny być aplikowane profilaktycznie, aby nie dopuścić do zaistnienia infekcji,
- fungicydy wgłębne lub translaminarne, mające możliwość przemieszczania się w obrębie kilku warstw komórek; mogą wykazywać ograniczone czasowo działanie interwencyjne, do 2–3 dni po infekcji,
- fungicydy układowe lub systemiczne, przenikające z różną prędkością do różnych części rośliny.

Wybór środków do ochrony powinien być dostosowany do fazy rozwojowej roślin na plantacji i cyklu rozwoju zwalczanego patogenu. Rozwój roślin na plantacji w okresie wegetacji można podzielić na cztery główne bloki o różnych potrzebach ochrony i w zależności od nich należy stosować odpowiednie grupy fungicydów (Kapsa, 2011, 2012) — tabela 2.

Tabela 2

Program ochrony w zależności od fazy rozwojowej roślin ziemniaka (wg Kapsa, 2011)
Protection program depending on the development phase of potato plants (acc. Kapsa, 2011)

Etapy rozwoju uprawy Stage of crop development	Kiełkowanie i wschody Germination and emergence	Szybki wzrost roślin The rapid growth of plants	Kwitnienie i stabilizacja wzrostu naci, tuberyzacja Flowering and haulm growth stabilization, forming of tubers	Fizjologiczne starzenie się Physiological senescencing
Zadanie ochrony Protection task	profilaktyczne ograniczanie możliwości infekcji prophylactic restricting of the infection	ochrona nowych przyrostów protection of new growth	utrzymanie ciągłości ochrony maintaining continuity of protection	ochrona bulw protection of tubers
Liczba zabiegów Number of sprays	1–3	2–3	3–4	2–3
Rodzaj fungicydu* Type of fungicide*	P lub W, w zależności od warunków meteo P or W, depending on meteo conditions	zawsze S lub W-S always S or W-S	najczęściej W lub P the most common W or P	fungicydy o działaniu anty sporulacyjnym, niszczące zoospory, fungicides with anti sporulation activity, devastating of zoospores

* Rodzaj fungicydu; Type of fungicide*

P — powierzchniowy; contact, W — wgłębny; translaminar, S — układowy; systemic

W-S — wgłębno-systemiczny; translaminar-systemic

Należy także pamiętać, że wybór fungicydu zależy także od miejsca wystąpienia pierwszych objawów choroby na roślinie. Przy zarazie łodygowej konieczne jest zastosowanie fungicydów układowych lub układowo-wgłębnych, gdyż wybór środka ochrony w tym przypadku uzależniony jest od techniki wykonania zabiegu. Przy tradycyjnej technice nanoszenia środka ochrony pokrywana jest jedynie powierzchnia naci. Jedynie fungicyd przemieszczający się w roślinie może zabezpieczyć łodygi przed infekcją (Kapsa, 2001, 2012).

Chemiczna ochrona przed wirusami w IPM

W produkcji nasiennej priorytetem jest ochrona przed infekcją wirusową. Najczęściej stosowane jest systematyczne zwalczanie mszyc, które są wektorami wirusów. Liczba zabiegów jest porównywalna lub miejscami nawet większa od ochrony fungicydowej. O ile zwalczanie mszyc jest bardzo skuteczne w ochronie przed PLRV, o tyle w przypadku PVY i PVM jest bardzo mało efektywne lub żadne. W praktyce według Milošević i in. (2012) przy wysokiej presji PVY ochrona przed tym wirusem wyłącznie przy użyciu insektycydów jest niemożliwa. Również Hansen i Nielsen (2012) oraz Wróbel (2014) nie

stwierdzili istotnego wpływu neonikotynoidów i insektycydów z innych grup chemicznych w ograniczaniu porażenia PVY, pomimo bardzo skutecznego ograniczania przez te środki liczebności mszyc. Ponadto, w sytuacji występowania wokół zdrowego materiału dużej liczby źródeł infekcji (roślin porażonych wirusami), redukcja liczebności mszyc nie daje gwarancji ochrony zdrowych roślin przed porażeniem (Milošević i in., 2012). Wielu badaczy wskazuje, że zdecydowanie najskuteczniejszym zabiegiem w ochronie ziemniaka przed porażeniem PVY jest stosowanie oleju mineralnego. Wysoką (ponad 50%) skuteczność ochrony ziemniaków przed porażeniem PVY w warunkach polowych wykazywali między innymi Kurppa i Hassai (1989), Milošević (1996), Turska i Wróbel (1999), Rolot i in. (2008), Boiteau i in. (2009), Olubayo i in. (2010), Hansen i Nielsen (2012), Fageria i in. (2014), Wróbel (2006, 2014). Obecnie oleje mineralne są dość powszechnie używane w ochronie ziemniaka w wielu krajach europejskich (Sigvald i Hulle 2004, Ameline i in. 2010, Harrington i in. 1989, Martin i in. 2006), w tym coraz częściej w przypadku odmian podatnych na PVY również w Polsce. Zdaniem Boiteau i in. (2009) jeszcze większą skuteczność ochrony można uzyskać stosując dodatkowo oprócz oleju mineralnego odpowiednią izolację wokół plantacji np. z roślin ziemniaka odpornych na PVY. Natomiast Steinger i in. (2014) stwierdzili, że skuteczność ochrony olejem mineralnym była wyższa w latach o wysokiej presji infekcyjnej lub w przypadku najpodatniejszych odmian ziemniaka. Martín-López i in. (2006) podają, że pomimo braku redukcji liczebności mszyc na roślinach ziemniaka, olej mineralny był zdecydowanie bardziej skuteczny w ograniczaniu porażenia bulw PVY niż cypermetryna, po której zastosowaniu notowano ponad 4-krotnie mniej mszyc. W sytuacji, gdy ograniczenie liczebności mszyc nie zawsze skutkuje niższym porażeniem bulw wirusami, istnieje możliwość rezygnacji z części zabiegów i znacznego ograniczenia stosowanych obecnie insektycydów.

Chemiczna ochrona przed szkodnikami w IPM

Stonka ziemniaczana (*Leptinotarsa decemlineata*)

Zbiór mechaniczny chrząszczy i larw (eliminacja źródeł zagrożenia) na dużych arealach jest praktycznie ograniczony, stąd potrzeba korzystania ze środków ochrony chemicznej lub preparatów opartych na aktywnych czynnikach biologicznych. W integrowanej ochronie, gdzie celem nadrzędnym jest ochrona środowiska rolniczego, do ochrony plantacji przed stonką w pierwszej kolejności stosujemy środki biologiczne oparte na toksynie *Bacillus thuringiensis* (Novodor FS) lub środek oparty na spinosadzie, naturalnym związku powstającym z fermentacji bakterii *Saccharopolyspora spinosa* (Spintor 240 SC). Stosowanie tych środków wymaga jednak pewnej wiedzy na ich temat (patrz poniżej: podrozdział Biologiczne zwalczanie szkodników).

W ostateczności w ochronie przed stonką ziemniaczaną stosuje się insektycydy z różnych grup chemicznych, jako aplikacje nalistne. Pamiętać jednak należy, że związki chemiczne z grupy pyretroidów — działają tylko w temperaturach powietrza poniżej 20°C i przy zachmurzeniu, gdyż w słońcu są one szybko rozkładane i ich skuteczność może być niska. Przy słonecznej pogodzie i wyższych temperaturach należy stosować środki z grupy neonikotynoidów — są odporne na wyższe, zewnętrzne warunki termiczne panujące w okresie letnim.

Szkodniki glebowe

Chemiczne zwalczanie szkodników glebowych w obecnym kształcie w Polsce jest bardzo ograniczone. Jako jedyny środek (do zwalczania drutowców i pędraków) zarejestrowana jest zaprawa insektycydowo-fungicydowa Prestige 370 FS, którą stosuje się w dawce 60 ml/ 100 kg sadzeniaków w trakcie sadzenia. Problem zwalczania gąsienic rolnic jest duży, ponieważ środki chemicznej ochrony, przeznaczone do opryskania gleby, oparte na związkach fosforoorganicznych zostały wycofane z użycia i nie można ich stosować w ochronie ziemniaka. Zwalczanie motyli rolnic i najmłodszego pokolenia gąsienic (które jeszcze żerują na roślinach) wykonuje się przy okazji zabiegów „stonkowych”, ponieważ rozwój tych agrofagów jest zbieżny (Erlichowski, 2014). Istnieje też możliwość śledzenia zmian liczebności populacji rolnic przy pomocy pułapek feromonowych. Pułapki trójkątne z wymienną podłogą lepłą i feromonem instaluje się na wysokości 1 metra nad uprawą ziemniaka, około drugiej połowy maja. Większa liczba odłowionych motyli nocnych, przez okres kolejnych 2–3 dni, mówi o nalocie motyli rolnicy i składaniu przez nie jaj. W przypadku tego szkodnika ważne jest także aby plantacja była wolna od chwastów kwitnących (komosa, żóltlica, rumiany, rdesty) co powoduje stymulowanie przelatujących samic do składania jaj w tej uprawie. Odchwaszczenie i utrzymanie plantacji wolnej od chwastów jest więc ważnym elementem integrowanej metody ochrony przed rolnicami (*Noctuidae*).

Stosowanie zaprawy jest jednak nieodzownym elementem ochrony na stanowiskach (polach) zaniedbanych agrotechnicznie lub po monokulturach rolnych — licznie zasiedlonych przez larwalne stadia szkodników glebowych. Larwy te wcześniej rozpoczynając żerowanie — wraz z końcem kwietnia, więc agrotechnicznym terminem sadzenia bulw powodują trwałe uszkodzenia na bulwie matecznej jak i na młodych bulwach potomnych w postaci — wżerów, jam i kanałów. Uszkodzenia są szczególnie niekorzystne w czasie późniejszego konfekcjonowania ziemniaka jadalnego, przetwórstwie na frytki i chipsy, gdyż uszkodzenia te są umiejscowione także głęboko w miąższu, powodując dodatkowo wtórne porażenie bulw chorobami grzybowymi i bakteryjnymi.

Znaczenie zapraw nasiennych w IPM

Rozwój systemów integrowanej ochrony upraw to zwrócenie uwagi na właściwy dobór środków ochrony roślin, mniej toksycznych i bardziej selektywnych w odniesieniu do owadów pożytecznych w relacji roślina — agrofag — zwalczanie, zgodnie z Ustawą o środkach ochrony roślin z dnia 8 marca 2013. Szczególnie dużą rolę w chemicznej ochronie roślin rolniczych przed chorobami i szkodnikami odgrywa zastosowanie zapraw nasiennych.

W latach 2004–2005 oraz 2008–2011 w IHAR — PIB, ZNiOZ w Boninie, w doświadczeniach polowych badano skuteczność zapraw insektycydowo-fungicydowych w zwalczaniu wielu agrofagów w uprawie ziemniaka. Zakres badań obejmował szkodniki: stonkę ziemniaczaną (*Leptinotarsa decemlineata*), drutowce (*Elateridae*) z rodzaju *Agriotes* spp., larwy chrząszczy żukowatych (pędraki) *Scarabaeidae* i mszyce: *Myzus persicae*, *Aphis nasturtii* i *Aphis frangulae* oraz choroby: ospowatość bulw *Rhizoctonia*

solani, parch zwykły (*Streptomyces scabies*), parch srebrzysty (*Helmithosporium solani*), suchą i mokrą zgniliznę (*Fusarium* spp., *Pectobacterium* spp.).

Jednym z badanych środków i obecnie jedynym środkiem zarejestrowanym do łącznego zwalczania chorób i szkodników ziemniaka jest zaprawa insektycydowo-fungicydowa Prestige Forte 370 FS. Jedną z substancji aktywnych tego preparatu - imidachlopyryd, o działaniu systemicznym w roślinie — zwalcza szerokie spektrum szkodników, od szkodników glebowych (w trakcie i po sadzeniu – larwalne stadia drutowców i pędraków) oraz szkodników nalistnych w okresie wegetacji (stonka, mszyce). Sam sposób i metoda zastosowania zaprawy ma ważne znaczenie w integrowanej metodzie ochrony, ponieważ stosowana jest tu niska dawka środka 60 ml zaprawy na 100 kg sadzonych bulw. Ponadto środek umiejscowiony jest na bulwach (sadzeniakach) w trakcie sadzenia na przenośniku czerpakowym sadzarki, dlatego nie ma tu opryskiwania gleby i ingerencji w inne pożyteczne glebowe organizmy. W okresie wegetacyjnym, kiedy substancja imidachlopyryd krąży systemicznie w roślinie (aktywnie działa do 10–12 tygodni od posadzenia bulw) nie ma potrzeby wykonywania zabiegów nalistnych na stonkę ziemniaczaną oraz mszyce (wektory chorób wirusowych) na plantacjach nasiennych, tym samym chroniąc inne pożyteczne owady znajdujące się w agrocenozie ziemniaka.

Zaprawianie sadzeniaków zaprawą insektycydowo-fungicydową jest ważnym elementem skutecznej ochrony plantacji ziemniaka przed wieloma agrofagami. Stanowi ważny element uzyskania dobrej jakości plonu przy jednoczesnym ograniczeniu liczby zabiegów (Erlichowski, 2012). Użycie zapraw nasiennych traktowane jest, jako zabieg bardziej przyjazny dla środowiska (niskie zużycie środka, precyzyjna aplikacja na bulwie), głównie z uwagi, że preparat chemiczny jest dokładnie odmierzony i zlokalizowany na ściśle określonej powierzchni bulwy, przez co jego oddziaływanie na organizmy niecelowe jest mniejsze, aniżeli w przypadku zabiegów nalistnych. Problem dotyczy głównie środków ochrony o działaniu układowym jak np. imidachlopyryd, jeśli aplikowany on jest bezpośrednio na bulwy w trakcie sadzenia i nie szkodzi biedronkom, złotookom i innym pożytecznym owadom, a zwłaszcza zapylaczom (Erlichowski, 2003, 2012).

Zwalczanie biologiczne szkodników

W przypadku szkodników glebowych i stonki ziemniaczanej skorzystać można z walki biologicznej przy użyciu owadobójczych nicieni (*Steinernema feltiae*, *Heterorhabditis bacteriophora*, *Heterorhabditis megidis*) i grzybów entomopatogenicznych (*Beauveria bassiana* i *Metarhizium anisopliae*). Część tych obiektów została skomercjalizowana i dostępna jest w postaci preparatów w firmach zajmujących się ochroną biologiczną, a część funkcjonuje w postaci zarejestrowanych środków, np. Novodor FC (toksyna *Bacillus thuringiensis*) i SpinTor 240 SC (s.a. spinosad — metabolit fermentacji bakterii glebowej *Saccharopolyspora spinosa*) (Ansari i in., 2009; Dzięgielewska i Erlichowski, 2010; Pawińska, 2012; Erlichowski, 2014). Oba produkty mogą być stosowane na plantacjach ekologicznych. Warto jednak pamiętać, że spinosad działa tylko na najmłodsze stadium wylęgającej się stonki L1-L2. Dodatkowo jest nietrwały przy dużym nasłonecznieniu, a przed użyciem przechowywać go należy w niskiej temperaturze.

Zwalczanie chwastów w IPM

Chwasty można zwalczać w dwóch podstawowych terminach: przed i po wschodach ziemniaka. Obecnie zarejestrowanych do obrotu i stosowania w uprawie ziemniaka w Polsce jest 69 herbicydów zawierających 17 substancji aktywnych. Przy aplikacji przed wschodami stosuje się je po zakończeniu pielęgnacji mechanicznej. Najbezpieczniej jest zakończyć aplikację herbicydów przedwschodowych na 8–10 dni przed wschodami ziemniaka, gdyż zbyt późna ich aplikacja może doprowadzić do wystąpienia objawów fitotoksycznej reakcji roślin. Uzasadnieniem stosowania herbicydów w tym terminie (nie ma jeszcze chwastów na plantacji) jest znajomość historii pola, czyli notatki w dzienniczku zabiegów z lat poprzednich. Aplikacja herbicydów po wschodach jest łatwiejsza, bo wschodzące chwasty można już rozpoznać i dobrać odpowiedni herbicyd do składu gatunkowego chwastów na plantacji. Przy powschodowym stosowaniu herbicydów bardzo ważnym elementem jest także faza rozwojowa roślin ziemniaka, które powinny mieć w czasie aplikacji wysokość od 10 do 15 cm. Herbicyd powinien być zaaplikowany nie później niż do momentu zwierania rzędów, by środek mógł dotrzeć do chwastów, a nie zatrzymywać się na roślinach ziemniaka (Urbanowicz, 2014). Pełna informacja dotycząca zwalczanych, poszczególnych gatunków chwastów, dawek herbicydu, terminu jego stosowania, możliwości mieszania z innymi środkami ochrony roślin jest podana w etykiecie-instrukcji każdego środka ochrony roślin, która powinna być umieszczona na jego opakowaniu (zgodnie z ustawą w języku polskim). Dodatkowo, na stronie internetowej Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi pod adresem: <http://www.minrol.gov.pl> w zakładce „ochrona roślin” można znaleźć wszelkie informacje dotyczące wszystkich dopuszczonych do obrotu i stosowania w Polsce środków ochrony roślin.

Ochrona owadów pożytecznych w IPM

Integrowana Ochrona Roślin (IPM) z założenia stanowi sposób ochrony roślin przed organizmami szkodliwymi, polegający na wykorzystaniu wszystkich dostępnych metod ochrony roślin, w szczególności niechemicznych, w celu zminimalizowania zagrożenia dla zdrowia ludzi, zwierząt oraz dla środowiska. Stosowanie w razie niezbędnej potrzeby, chemicznych środków ochrony roślin nie zwalnia jednak z obowiązku ochrony środowiska m.in. owadów pożytecznych.

Każdy zarejestrowany środek ochrony roślin ma zawartą w etykiecie-instrukcji stosowania opis okresu prewencji dla pszczoł. Dodatkowym „zabezpieczeniem” jest pora wykonania zabiegu, która ze względów pogodowych (intensywny wiatr, zbyt wysoka temperatura powietrza) najczęściej przypada na godziny wieczorne (po oblocie pszczoł) lub wczesne ranne.

W przypadku herbicydów, termin ich stosowania chroni owady pożyteczne przed zagrożeniem. Przed wschodami ziemniaka, herbicydy aplikowane są najczęściej na „czystą” glebę lub wschodzące chwasty (siewki), które jeszcze nie kwitną, więc zastosowany herbicyd nie stanowi zagrożenia dla pszczoł. W integrowanej ochronie najczęściej ten jeden zabieg chwastobójczy jest wystarczający. W sytuacji silnego zachwaszczenia lub pojawienia się nowo wschodzących gatunków chwastów, termin powschodowy jest również bezpieczny, gdyż stosowanie herbicydów ograniczone jest fazą

rozwojową ziemniaka. Najczęściej zabieg wykonywany jest do momentu zwierania rzędów, więc ani ziemniaki, ani też chwasty nie są jeszcze w fazie generatywnej (kwitnienia i owocowania). Z powyższych względów stosowanie herbicydów w tym terminie i zgodnie z zaleceniami oraz „sztuką” nie stwarza zagrożenia dla owadów pożytecznych, w tym pszczół.

PODSUMOWANIE

Wielu rolników jest świadoma konieczności przestrzegania zasad integrowanej ochrony roślin. Natomiast pojawia się ważne pytanie czy są oni przygotowani merytorycznie do ich stosowania w praktyce, szczególnie w przypadku konieczności zastosowania zrównoważonej ochrony chemicznej? Istnieją wprawdzie narzędzia ułatwiające stosowanie IPM, takie jak: metodyki integrowanej ochrony roślin, które umieszczane są sukcesywnie na stronie Ministerstwa Rolnictwa (<http://www.minrol.gov.pl/informacje-branzowe/Produkcja-roslinna/Ochrona-roslin/Integrowana-ochrona-roslin/Metodyki-integrowanej-ochrony-roslin>), czy publikacje IOR-PIB (m.in. Mrówczyński, 2013 a, b), ustalone progi ekonomicznej szkodliwości agrofagów (szczególnie szkodników) określające, kiedy stosowanie chemicznej ochrony staje się ekonomicznie opłacalne, czy systemy wspomagające podejmowanie decyzji w ochronie roślin, wskazujące optymalny termin wykonania chemicznych zabiegów ochrony roślin. Pomimo to potrzebny jest bezpośredni transfer wiedzy od nauki do praktyki, upowszechnianie zasad IPM poprzez szkolenia organizowane w terenie, artykuły w prasie rolniczej, bezpośrednie kontakty specjalistów z rolnikami (regionalne organizacje Dni Pola, Dni Ziemniaka) pomagające „uporządkować” wiedzę rolników o IPM i jednocześnie poznawać nowe jej elementy związane z nowymi rozwiązaniami, stosowanymi w rolnictwie.

LITERATURA:

- Ameline, A., Couty, A., Martoub, M., Sourice, S., Giordanengo, P. 2010. Modification of *Macrosiphum euphorbiae* colonisation behaviour and reproduction on potato plants treated by mineral oil. Entomol. Exp. Appl 135: 77 — 84.
- Andrivan D., Evenhuis B., Schepers H., Gaucher D., Kapsa J., Lebecka R., Nielsen B., Ruocco M. 2008 a. Using Decision Support Systems to Combat Late Blight. ENDURE Potato Case Study — Guide Number 2, 4 pp. www.endure-network.eu.
- Andrivan D., Evenhuis B., Schepers H., Gaucher D., Kapsa J., Lebecka R., Nielsen B., Ruocco M. 2008 b. Fungicides for Tackling Late Blight. ENDURE Potato Case Study — Guide Number 3, 4 pp. www.endure-network.eu.
- Andrivan D., Evenhuis B., Schepers H., Gaucher D., Kapsa J., Lebecka R., Nielsen B., Ruocco M. 2008c. Using Cultivar Resistance to Reduce Inputs Against Late Blight. ENDURE Potato Case Study — Guide Number 4, 4 pp. www.endure-network.eu.
- Ansari M., Evans M., Butt T. 2009. Identification of pathogenic strains of entomopathogenic nematodes and fungi for wireworms control. Crop Prot. 28: 269 — 272.
- Been T., Berti A., Evans N., Gouache D., Gutsche V., Jensen J.E., Kapsa J., Levay N., Munier-Jolain N., Nibouche S., Raynal M., Rydahl P. 2009. Review of new technologies critical to effective implementation of Decision Support Systems (DSS's) and Farm Management Systems (FMS's). Aarhus University, Denmark, 6th March 2009. 128 pp.

- http://www.endure-network.eu/about_endure/all_the_news/dss_helping_farmers_make_smart_decisions.
- Bernat E., Osowski J. 2010. Zastosowanie systemu decyzyjnego NegFry do zwalczania zarazy ziemniaka. Biul. IHAR 256: 153 — 162.
- Boiteau, G., Singh, M., Lavoie J. 2009. Crop border and mineral oil sprays used in combination as physical control methods of the aphid-transmitted potato virus Y in potato. Pest Manag. Sci. 65: 255 — 259.
- Directive 2009/128/Ec of The European Parliament and of the Council (ang.). Official Journal of the European Union. [dostęp 7-03-2013].
- Dzięgielewska M., Erlichowski T. 2010. Wykorzystanie nicieni owadobójczych do biologicznego zwalczania szkodników glebowych w uprawach rolniczych. Ziemn. Pol. ,4: 31-35.
- Erlichowski 2003. Wpływ zaprawy Prestige 290 FS na zdrowotność i plonowanie ziemniaka. Biul. IHAR 228: 225 — 231.
- Erlichowski T. 2007. Skład gatunkowy, szkodliwość i zwalczanie drutowców (*Coleoptera: Elateridae*) w uprawie ziemniaka. Praca doktorska, Bonin 2006, ss.94.
- Erlichowski T. 2009. Nowe metody wykrywania obecności sprząkawkowatych (*Coleoptera: Elateridae*) w uprawach ziemniaka z wykorzystaniem pułapek przynętowych i feromonowych. Prog. Plant Prot./Post. w Ochronie Roślin 49 (4): 1691 — 1699.
- Erlichowski T. 2012. Ochrona ziemniaka przed szkodnikami glebowymi. W: Produkcja i rynek ziemniaka. (J. Chotkowski, red.). Wyd. Wieś Jutra, Warszawa, (340 ss): 163 — 173.
- Erlichowski T. 2014. Możliwości ochrony plantacji ziemniaka przed szkodnikami glebowymi — Komunikat. Ziemn. Pol. 1: 25 — 28.
- Fageria, M.S., Boquel, S., Leclair, G., Pelletier, Y. 2014. The use of mineral oil in potato protection: dynamics in the plant and effect on potato virus Y spread. Am. J. Potato Res.: DOI 10.1007/s12230-014-9377-9.
- Hansen J. G., Koppel M., Valskyte A., Turka I., Kapsa J. 2005. Evaluation of foliar resistance in potato to *Phytophthora infestans* based on an international field trial network. Plant Pathology 54: 169 — 179.
- Hansen L. M., Nielsen, S. L. 2012. Efficacy of mineral oil combined with insecticides for the control of aphid virus vectors to reduce potato virus Y infections in seed potatoes (*Solanum tuberosum*). Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science 62 (2): 132 — 137.
- Harrington R., Barlet E., Riley D. K., Ffrench-Constant R. H., Clark, S. J. 1989. Resurgence of insecticide-resistant *Myzus persicae* on potatoes treated repeatedly with cypermethrin and mineral oil. Crop Prot. 8: 340 — 348.
- Kapsa J. 2001. Zaraza (*Phytophthora infestans* /Mont./ de Bary) występująca na łodygach ziemniaka. Monogr. i Rozpr. Nauk. 11. IHAR Radzików: 108 ss.
- Kapsa J. 2002. Zastosowanie systemów decyzyjnych w ochronie plantacji ziemniaka przed zarazą. Progress Plant Protection — Postępy w Ochronie Roślin 42 (1): 317 — 323.
- Kapsa J. 2006. Ochrona plantacji przed patogenami wywołującymi choroby ziemniaka. W: Produkcja ziemniaków. (J. Chotkowski, red.). Wyd. Wieś Jutra, Warszawa. 154 ss.
- Kapsa J. 2009 a. Identification of 'best parts' of existing DSSs for unification: late blight in potato. http://www.endure-network.eu/international_conference_2008 /proceedings/tuesday_october_14#decision, 4 pp.
- Kapsa J. 2009 b. Zastosowanie systemów decyzyjnych w ochronie roślin. W: Nasiennictwo i Ochrona Ziemniaka. Konferencja naukowo-szkoleniowa. Darłowo, 21–22 maja 2009: 18 — 21.
- Kapsa J. 2011. Problem zwalczania zarazy na plantacjach ziemniaka w Polsce. Ziemn. Pol. 3: 23 — 29.
- Kapsa J. 2012. Ochrona ziemniaka przed chorobami grzybowymi i bakteryjnymi. W: Produkcja i rynek ziemniaka. (J. Chotkowski, red.). Wyd. Wieś Jutra, Warszawa. (340 ss.): 140 — 155.
- Kapsa J., Bernat E., Osowski J. 2005. Efficacy of the NegFry — decision support system in the control of potato late blight in Poland. In: 16th Triennial Conference of the EAPR, Bilbao, Basque Country, July 17–22, Abstracts (II): 825 — 827.
- Kapsa J., Hansen J. G. 2004. Establishment of a monitoring network for potato late blight (*Phytophthora infestans*) in Poland. Plant Breed. Seed Sci. 50: 63 — 70.
- Kapsa J., Osowski J. 2003. Efficacy of some selected fungicides against early blight (*Alternaria* spp.) on potato crops. J. Plant Prot. Res. Vol. 43, No 2: 113 — 120.

- Kapsa J., Osowski J. 2007. Zastosowanie mieszaniny odmian o zróżnicowanej odporności jako agrotechniczna metoda ochrony ziemniaka przed zarazą ziemniaka. W: Konferencja Nauka dla Hodowli Roślin Uprawnych, Zakopane, 29.01.-02.02.2007 r., Streszczenia: 57.
- Kapsa J., Osowski J., Bernat E. 2003. NegFry — decision support system for late blight control in potato crops — results of validation trials in north Poland. J. Plant Prot. Res. Vol. 43, No 2: 171 — 179.
- Kurppa A., Hassai A. 1989. Reaction of four table potato cultivars to primary and secondary infection by potato viruses Y0 and YN. Ann. Agric. Fenniae 28 (4): 297 — 307.
- Martín-López, B., Varela, I., Marnotes, S., Cabaleiro, C. 2006. Use of oils combined with low doses of insecticide for the control of *Myzus persicae* and PVY epidemics. Pest Manag. Sci. 62 (4): 372 — 378.
- Milošević D. 1996. Efficacy of oil and insecticides in potato plant protection against infection by potato virus Y and leaf roll virus (PVY and PLRV). Plant Prot. 47 (4), No 218: 333 — 342.
- Milošević D., Stemenković S., Perić P. 2012. Potential use of insecticides and mineral oil for the control of transmission of major aphid-transmitted potato viruses. Pestic. Phytomed 27 (2): 97 — 106.
- Mrówczyński M. (red.). 2013a. Integrowana ochrona upraw rolniczych. Tom I. Podstawy integrowanej ochrony. PWRiL, Poznań, 153 ss.
- Mrówczyński M. (red.). 2013 b. Integrowana ochrona upraw rolniczych. Tom II. Zastosowanie integrowanej ochrony. PWRiL, Poznań, 286 ss.
- Olubayo F., Kibaru, A., Nderitu J., Njeru R., Kasina M. 2010. Management of aphids and their vectored diseases on seed potatoes in Kenya using synthetic insecticides, mineral oil and plant extract. J. Innov. Dev. Strategy 4 (2): 1 — 5.
- Pawińska M. 2012. Preferencje odmianowe stonki ziemniaczanej jako element integrowanej ochrony plantacji ziemniaka spożywczego. W: VII Konferencja Naukowa, Ziemniak spożywczy i przemysłowy oraz jego przetwarzanie, Jugowice, 8–10 maja, UP Wrocław, Streszczenia: 50.
- Pawińska M. 2012. Stonka ziemniaczana (*Leptonotarsa decemlineata*). W: Produkcja i rynek ziemniaka. (J. Chotkowski, red.). Wyd. Wieś Jutra, Warszawa. (340 ss.): 156 — 162.
- Piekarczyk K. 1970. Metody prognozowania i sygnalizowania występowania szkodników wielożernych. W: Instrukcja dla służb ochrony roślin z zakresu prognoz, sygnalizacji i rejestracji. Wyd. IV, cz. II, IOR Poznań: 5 — 17.
- Rolot J. L., Seutin H., Deveux L. 2008. Effectiveness of paraffinic mineral oil, insecticides and vegetal oil to control Potato virus Y (PVY) spread in potato seeds multiplication fields. Abstracts. 17th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, July 6-10, Braşov, România: 111 — 118.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dn. 18 kwietnia 2013 r. w sprawie wymagań integrowanej ochrony roślin (Dz.U.poz. 505).
- Sigvald R., Hulle M. 2004. Aphid-vector management in seed potatoes: monitoring and forecasting. EAPR Virology 2004, Abstracts. 12th European Association for Potato Research Virology Section Meeting, 13-19 June, Rennes, France: 8 — 11.
- Steinger T., Gilliland H., Hebeisen T. 2014. Epidemiological analysis of risk factors for the spread of potato viruses in Switzerland. Ann. Appl. Biol. 164: 200 — 207.
- Turska E., Wróbel S. 1999. The limitation of PVY spreading in potato by application of oil Sunspray 11 E. Prog. Plant Prot. 39 (2): 841 — 844.
- Urbanowicz J. 2012. Wpływ powschodowego stosowania metrybuzyny na nowo zarejestrowane odmiany ziemniaka. Biul. IHAR 266: 173 — 179.
- Urbanowicz J. 2014. Herbicydy do walki z chwastami na plantacjach ziemniaka. Ziemniak Polski 2: 35 — 41.
- Ustawa z dnia 8 marca 2013 r. o środkach ochrony roślin (Dz.U. poz.455).
- Van der Plank J.E. 1963. Plant disease: Epidemics and control. Academic Press, New York.
- Wolny S., Horoszkiewicz-Janka J., Sikora H., Kapsa J., Zaliwski A., Nieróbca A., Kozyra J., Domardzki K. 2004. Wyniki prac badawczych i adaptacyjnych nad polskim internetowym systemem wspomagania decyzji w ochronie roślin w 2003 roku. Progress Plant Protection (Postępy w Ochronie Roślin) 44 (1): 513 — 522.
- Wróbel S. 2006. The role of mineral oil in potato protection against aphids and viruses infection. (In Polish, with English abstract). Acta Sci. Pol. Agricultura 5 (1): 83 — 92.

Wróbel S. 2014. Efficacy of mineral oil-insecticide mixtures for protection of potato tubers against PVY and PVM. Am. J. Potato Res.: DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-014-9388-6>.

TOMASZ ERLICHOWSKIInstytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB w Radzikowie
Zakład Nasiennictwa i Ochrony Ziemiaka w Boninie

Uszkodzenia miąższu bulw powodowane przez szkodniki glebowe a wartość technologiczna ziemniaków jadalnych i dla przetwórstwa

Damage of tuber flesh by soil pests decreasing the value of table and processing potatoes

Uszkodzenia miąższu bulw powodowane przez szkodniki glebowe, w szczególności drutowce z rodzaju *Agriotes* spp., pędraki (Scarabaeidae) i gąsienice rolnic (Noctuidae), widoczne często po zbiorze, są obecnie dużym problemem. Nasilenie uszkodzeń obserwuje się lokalnie w stanowiskach, w których rozwój larw był ułatwiony (po ugorach i oszczędnej agrotechnice oraz monokulturach). Bulwy z takich plantacji, bez ochrony, na etapie konfekcjonowania lub przetwarzania mają niską jakość wizualną i technologiczną. Głębokość wżerów powodowanych przez larwy (płytkie lub głębokie uszkodzenia miąższu), a szczególnie ich ilość, uzależniona jest od liczebności populacji larw na polu i długości okresu wegetacji. Z zewnątrz uszkodzenia te widoczne są jako otwory o małej średnicy (do 2 mm), na przekroju bulwy jako kanały o nieregularnym kształcie (drutowce) zanieczyszczone odchodami, jak też duże otwory zewnętrzne i głębokie jamy wewnątrz miąższu (pędraki, rolnice). Przy stosowaniu nowoczesnych technologii i w obrocie ziemniakami pożądana jest wysoka jakość produktu, bez wyraźnych pogryzień przez szkodniki i objawów chorobowych. Niska jakość bulw przyczynia się do zmniejszenia sprzedaży na rynku lub dla przetwórstwa, co skutkuje niskim rachunkiem ekonomicznym, a nawet finansową stratą. Uszkodzone silnie bulwy nie nadają się do produkcji frytek, chipsów, talarków, kostki oraz mrożonek. Zakłady przetwórcze podchodzą bardzo restrykcyjnie do wszelkich uszkodzeń bulw (mechanicznych i powodowanych przez szkodniki lub patogeny), gdyż oznaczają one późniejsze problemy w procesie technologicznym. W jesiennej ocenie laboratoryjnej bada się stopień uszkodzeń i jakość bulw, które następnie mają trafić na linię przetwórczą. W zakładach produkujących frytki i chipsy stosowany jest system punktowy za dostarczony produkt, w którym partia bulw poniżej określonej wartości nie jest akceptowana, natomiast bulwy z oceną powyżej średniej są kupowane od producenta z odpowiednią premią.

Słowa kluczowe: drutowce, pędraki, przetwórstwo ziemniaka, rolnice, szkodniki glebowe, uszkodzenia

Damage of tuber flesh by soil pests, in particular wireworms — larvae of genus *Agriotes* spp., grubs (Scarabaeidae larvae) and cutworms (caterpillars of Noctuidae), often observed after the harvest, is an

increasing problem at present. The severe damages occur locally, in the fields where larval development was facilitated (potatoes grown after fallows, insufficient agricultural procedures, monocultures). Tubers harvested from such unprotected fields, are characterized by low visual quality and low technological value. The quantity and density of pits (shallow or deep flesh damage) caused by the larvae depends on the population of larvae in the field and the length of the growing season. The damage appears as holes of small diameter (2 mm), inside the tubers as channels of irregular shape (refers to wireworms), as well as the outer holes and large deep cavities within the parenchyma (refers to grubs and cutworms). When modern technologies are applied and in potato trade, a high quality product is required, without visible injuries caused by pests and without symptoms of diseases. Low-quality of tubers can cause a decrease of sale for the market and for the processing, and low cost-efficiency or even losses. Damaged tubers are not suitable for the production of French fries, crisps, slices, cubes and other frozen products. Processing factories are very restrictive to any damage of tubers (caused mechanically, by pests and pathogens), which can cause problems later in the technological process. During the laboratory evaluation in autumn, a degree of damage and the quality of the tubers for processing is assessed. Potato processing factories are using a point system to evaluate the delivered product, in which the lots below a specified value are rejected, while tubers of above average quality are bought and properly granted.

Key words: cutworms, defects, grubs, potato processing, soil pests, wireworms

WSTĘP

W ostatnim czasie zaszły duże zmiany w strukturze produkcji roślinnej w Polsce. Istotnemu zmniejszeniu uległa liczba gospodarstw zajmujących się produkcją warzyw, ziemniaków, buraków cukrowych, natomiast wzrosła liczba gospodarstw uprawiających rzepak, zboża i kukurydzę (GUS, 2013). Obecna niekorzystna struktura płodozmianowa przyczyniła się do nagromadzenia szkodników wielożernych i stąd wynika wzrost uszkodzeń płodów rolnych, w tym bulw ziemniaka. Szczegółowa analiza funkcjonowania upraw pozwala stwierdzić, że występowanie drutowców i innych szkodników glebowych jest pośrednio związane z przeważającą uprawą zbóż oraz coraz bardziej powszechną uprawą kukurydzy na zielonkę i ziarno (prowadzoną w monokulturach), której areał w kraju wynosi już ponad 1,05 mln ha (Bereś, 2013) i dalej rośnie. W związku z przewagą tych roślin w płodozmianie stanowiska polowe, gdzie stosuje się ograniczenia w uprawie płuźnej i oszczędnej agrotechnikę, są silnie zachwaszczone, a producenci bardzo często mają do czynienia z masowym występowaniem larw szkodników glebowych i szkód przez nie powodowanych (Erlichowski, 2008; Mrówczyński i in. 2006; Nowacki, 2006). Walka z nimi jest często utrudniona ze względu na spóźnioną identyfikację, gdyż żerowanie larw obserwuje się często po posadzeniu bulw w ogrzaną glebę lub dopiero w trakcie zbioru bulw potomnych. Brak środków chemicznych możliwych do wykorzystania w czasie wegetacji w obecnym stanie prawnym ochrony roślin jest dużym problemem w produkcji. Stąd ochrona przed tymi szkodnikami musi być odpowiednio przygotowana i poprzedzona wcześniejszą kontrolą stanu zasiedlenia plantacji (Erlichowski, 2012).

W Polsce straty powodowane żerowaniem larw szkodników glebowych wynoszą obecnie od 5 do 35% (średnio 10–15%), a w skrajnych przypadkach mogą lokalnie przekraczać ponad 50% zebranych bulw, jeśli ziemniaki były uprawiane na stanowisku odłogowanym lub zagospodarowanym użytku zielonym (po pastwisku czy motylkowych z trawami). Uszkodzenia te mają w Polsce charakter lokalny i zależą w dużym stopniu od

warunków glebowych, agrotechnicznych i środowiskowych, technologii uprawy, ochrony, a także odmiany ziemniaka (Erlichowski, 2007, 2012). Uszkodzenia przez szkodniki glebowe bulw odmian jadalnych i dla przetwórstwa są problemem także w innych krajach Europy z intensywną uprawą ziemniaka, np. w Niemczech, jednakże szkody kształtują się tam na dużo niższym poziomie niż w Polsce i wynoszą od 3,5 do maksymalnie 5,5% uszkodzonych bulw (Thiel i Heeren, 2012).

Celem niniejszej pracy jest przegląd, ocena i analiza uszkodzeń powodowanych przez szkodniki glebowe w wybranych agrocenozach na podstawie obserwacji własnych oraz wyników ankiet przesłanych po zbiorze bulw (jesienią).

METODY WALKI ZE SZKODNIKAMI GLEBOWYMI W SYSTEMACH INTEGROWANEJ OCHRONY

Na mocy dyrektywy Parlamentu Europejskiego z roku 2009 wszystkie państwa członkowskie Unii Europejskiej, w tym Polska, zobligowane zostały do wprowadzenia od 1 stycznia 2014 roku zasad integrowanej ochrony roślin. W myśl zasady integrowana ochrona nad stosowanie ochrony chemicznej przedkłada wszystkie inne sposoby walki z agrofagami: agrotechniczne, mechaniczne, fizyczne, hodowlane, genetyczne i biologiczne. Zintegrowany system ochrony roślin przed drutowcami i pędrakami powinien obejmować m.in.: analizę liczebności larw w glebie przed posadzeniem ziemniaków przy użyciu pułapek przynętowych lub odkrywek glebowych, wykorzystanie mechanizmów odporności roślin — tzw. podatności odmian na uszkodzenia (Erlichowski, 2007, 2010), terminowe wykonanie uprawek agrotechnicznych (podorywki, spulchnianie, orki), zwalczanie chwastów rozłogowych oraz kontrolę liczebności dorosłych chrząszczy (Elateridae) za pomocą pułapek feromonowych. Walka ze szkodnikami glebowymi, ze względu na ich specyficzne warunki rozwojowo-bytowe, jest trudna bez udziału środków chemicznych, dlatego tak ważne jest wiosenne zaprawianie bulw środkiem insektycydowo-fungicydowym (Erlichowski, 2003).

Metody agrotechniczne wspomagają walkę z drutowcami i pędrakami, lecz nie spełniają oczekiwań z powodu zbyt małego ograniczenia populacji szkodliwych larw. Metody walki biologicznej są na tym etapie bardzo drogie i wymagają dodatkowo specyficznych warunków potrzebnych do tego, aby czynnik biologiczny zaczął działać, np. dużego uwilgotnienia podłoża w przypadku aktywności nicieni owadobójczych z rodzin Steinernematidae i Heterorhabditidae pasożytujących na pędrakach i larwach (Dzięgielewska i Erlichowski, 2010).

W uprawie ziemniaka wiosną, po ogrzaniu się gleby, w celu określenia bezpośredniego zagrożenia danej plantacji należy szacunkowo policzyć larwy (drutowce, pędraki), ponieważ są one bezpośrednim ogniwem zagrożenia i sprawcami szkód. Ważnymi szkodnikami wielożernymi na plantacjach są zimujące w glebie gąsienice rolnic (Noctuidae) niektórych gatunków. Należy tu monitorować w sezonie (V–VI) letnie naloty motyli rolnic z innych plantacji za pomocą trójkatnych pułapek feromonowych i obserwować tempo rozwoju gąsienic, szczególnie u gatunków o krótkim, rocznym cyklu rozwojowym. Sprzyjające warunki pogodowe (ciepło, sucho, bez opadów) i masowy

rozwój gąsienic może w krótkim czasie w znacznym stopniu wpłynąć na duże straty w postaci jam żerowych na bulwach (Erlichowski i Jakubowska, 2013). W ostateczności można skorzystać z metody chemicznej, czyli wykonać w okresie letnim zabiegi nalistne środkami przeciwko stoncy ziemniaczanej (rozwój tych dwóch szkodników z reguły pokrywa się w czasie), jednakże w przypadku rolnic trzeba to zrobić w godzinach wieczornych, kiedy młode gąsienice żerują na roślinach.

ANALIZA USZKODZEŃ BULW POWODOWANYCH PRZEZ SZKODNIKI GLEBOWE W KRAJU

Uprawa ziemniaka w Polsce jest mocno zróżnicowana. Produkcją zajmuje się ok. 500 tys. gospodarstw rolnych, przy czym areał uprawy w tych gospodarstwach wynosi od 0,1 do nawet 200 ha. Ziemniaki uprawia się w systemach ekstensywnym, integrowanym i intensywnym, przy różnym wykorzystaniu metod i środków, dlatego poziom uszkodzeń ma związek z liczebnością larw owadów nagromadzonych w glebie. Całkowitej wielkości uszkodzeń powodowanych przez drutowce i pędraki nie można określić, ponieważ część produkcji gospodarstwa przeznaczają na samozaopatrzenie i nie jest ona wprowadzana do obrotu rynkowego. Dokładne oszacowanie strat wiązałoby się tu z bardzo dużą liczbą ankiet i obserwacji polowych wykonanych przez ankietatorów. Szacunkowe dane pochodzą więc z punktów, do których mógł dotrzeć autor pracy (gospodarstwo, uprawa) lub przesłano je ze strategicznych miejsc (laboratoria zakładowe, agronomowie dużych gospodarstw, ośrodki doradztwa rolnego), w których jakość bulw lub kontrola uszkodzeń są odnotowywane.

Wyniki badań monitoringowych dotyczące poziomu uszkodzeń powodowanych przez szkodniki glebowe pochodzą z lat 2012–2013, z plantacji gdzie ziemniak jest jeszcze uprawiany w stosunkowo większej koncentracji, np. w Wielkopolsce, Małopolsce, na Mazowszu, Pomorzu, Kujawach i w centralnej Polsce woj. łódzkie i świętokrzyskie (tab. 1). Próbę z każdego pola pobierano w czasie zbioru, wielkość próby stanowił plon 10 roślin, pobierany w 4 losowych miejscach. Większość szkód i ich poziom był zależny od profilu uprawy (ekstensywnej, integrowanej, intensywnej) oraz stanu agrotechnicznego pola. Większość uszkodzeń w kraju powodowana była przez drutowce, które są najliczniej występującymi szkodnikami glebowymi upraw (tab. 2). Polifagiczny sposób ich odżywiania się sprawia, że nie można ograniczyć ich liczebności metodami płodozmianowymi; larwy cechuje wielożerność — uszkadzane są korzenie, stolony, bulwy, węzły krzewienia i inne części podziemne roślin uprawnych. Inne szkodniki, jak np. gąsienice rolnic czy pędraki, występują w Polsce głównie lokalnie i wiąże się to z charakterem siedliska lub występującymi w niektórych latach sprzyjającymi warunkami termicznymi (tab. 2).

OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW

Problem uszkodzeń powodowanych przez drutowce i inne szkodniki glebowe będzie się w kolejnych latach w naszym kraju pogłębiał. Z jednej strony to efekt oszczędnych

sposobów uprawy i złej jakości stanowisk, głównie w skutek stosowania systemów bezorkowych, uprawy roślin w monokulturach, częstej uprawy zbóż po sobie, dużego zachwaszczenia oraz zagospodarowywania ugorów, co potwierdzają badania Sądeja i innych (2003, 2008) oraz Ropek i Frączek (2010). Z drugiej strony zmiany pogodowe i ocieplenie klimatu wpłyną na większą aktywność owadów, szybsze ich przemieszczanie się, wyższą rozrodczość i ilość składanych przez samice jaj. W tabeli 2 przedstawiono uszkodzenia na plantacjach ziemniaka w latach 2012–2013 w różnych rejonach kraju, ze szczególnym wskazaniem uszkodzanych odmian i profilu działalności. Uszkodzenia powodowane przez szkodniki glebowe występowały głównie na plantacjach małych (0,5–2 ha) uprawianych w technologii ekstensywnej. Uprawy te zlokalizowane były głównie w woj. łódzkim, świętokrzyskim, małopolskim, mazowieckim, zachodniopomorskim i pomorskim o rozdrobnionej produkcji. Niski poziom uszkodzeń bulw notowano w gospodarstwach z większym arealem ziemniaków, w tym w gospodarstwach specjalistycznych, powyżej 10 ha, oraz na dużych plantacjach odmian skrobiowych dla przemysłu, na których stosowano wiele środków w ramach ochrony intensywnej (tab. 1).

Tabela 1

Miejsca badań ankietowych obejmujące wybrane plantacje w latach 2012–2013
Locations of surveys covering selected plantations in the years 2012–2013

Województwo Voivodeship	Liczba ankietowanych plantacji Number of surveyed farms	Wielkość plantacji (ha) Field size (ha)	Odmiany najczęściej uprawiane w gospodarstwach Varieties most commonly grown in farms
Wielkopolskie	45	<10	Skawa, Harpun, Rumpel Albatros Kuras — (skrobiowe; starch crops)
Wielkopolskie	335	<5	Vineta, Lord, Denar, Satina, Jelly
Wielkopolskie	229	1–5	Lord, Denar, Bryza, Vineta, Orlik, Satina, Ania, Bzura, Irga
Łódzkie	11	2–5	Lord, Denar, Vineta, Satina
Kujawsko-Pomorskie	59	5	Jasia, Skawa, Rudawa, Kuba — (skrobiowe; starch crops)
Kujawsko-Pomorskie	10	2–5	Lord, Denar
Pomorskie	5	1–5	Bryza, Owacja, Jelly
Pomorskie	8	20–50	Innowator, Asterix
Małopolskie	15	0,5–1	Irga
Mazowieckie	9	1–2	Irga, Vineta
Mazowieckie	2	5	Irga
Świętokrzyskie	10	0,5–1	Irga, Mors, Vineta, Bard
Zachodniopomorskie	20	5–20	Jelly, Viviana, Colette, Owacja
Zachodniopomorskie	5	1–5	Jelly, Denar, Vineta, Bila

Ze względu na specyficzną biologię szkodników glebowych — stadia larwalne zasiedlające glebę rozwijają się w niej kilka lat (drutowce ok. 3–4, pędraki od 1 do 4), należałoby zastosować insektycydy doglebowe. Jednak drastycznie mała liczba środków chemicznych zarejestrowanych do ochrony ziemniaka przed tymi szkodnikami uniemożliwia uzyskiwanie wysokiej jakości bulw w warunkach dużego zasiedlenia gleby przez larwy. Większość substancji aktywnych, m.in. chloropiryfos, fipronil i inne fosforoorganiczne, wycofano z zastosowania doglebowego w związku z ochroną środowiska i wpisaniem do aneksów zabraniających ich wykorzystanie w produkcji rolniczej.

Wycofywanie substancji i ponowne rejestrowanie funkcjonujących środków zaczęło się po wejściu Polski do UE w ramach tworzenia jednolitego rynku środków ochrony (Erlichowski, 2014).

Tabela 2

Uszkodzenia bulw przez szkodniki glebowe w różnych profilach gospodarowania w latach 2012–2013
Damage of tuber by soil pests in the different management profiles in the years 2012–2013

Województwo Voivodeship	Wielkość plantacji (ha) Field size (ha)	Średnie uszkodzenia przez drutowce (% bulw) Mean damage by wireworms (% tubers)		
		1*	2*	3*
	< 10	—	—	2,4
Wielkopolskie	< 5	5	3	2
	1–5	6	3,2	1,2
Łódzkie	2–5	5	3,3	—
Kujawsko-Pomorskie	5	—	—	2,5
	2–5	10	6,5	4
Pomorskie	1–5	12,3	8	—
	20–50	—	—	2,5
Małopolskie	0,5–1	35**	10**	—
Mazowieckie	1–2	12,5	5	—
	5	10	4,5	—
Świętokrzyskie	0,5–1	20**	10**	—
	5–20	—	4,5	3,1
Zachodniopomorskie	1–5	9	5,6	—

1* — Gospodarstwa małe produkujące ziemniaki na własne potrzeby o ekstensywnej technologii uprawy — Small farms producing potatoes for their own use of extensive cultivation technology

2* — Gospodarstwa średniej wielkości produkujące ziemniaki głównie na rynek w średnio intensywnym systemie technologicznym (integrowany) — Medium-sized farms producing potatoes mainly for the market in the medium to intense technological system (integrated)

3* — Gospodarstwa specjalistyczne produkujące ziemniaki wyłącznie na rynek o intensywnej technologii uprawy np. dla przetwórstwa spożywczego — Specialized farms producing potatoes only for the market using intensive cultivation technology for food processing

** Błędy agrotechniczne, uszkodzenia przez rolnice — Agronomic errors, damage by cutworms

Jedynym możliwym na tym etapie sposobem ochrony ziemniaków na plantacjach, na których licznie występują larwalne stadia szkodników, jest wiosenne zaprawianie bulw środkiem insektycydowo-fungicydowym w trakcie sadzenia (Erlichowski, 2014). Zaprawa ta nie chroni jednak przez cały sezon wegetacji ziemniaka. Insektycyd działa systemicznie tylko ok. 12 tygodni od posadzenia, a drutowce mogą intensywnie uszkadzać bulwy w drugiej fazie swojej aktywności, na krótko przed samym zbiorem, szczególnie podczas ciepłej i długiej jesieni (Erlichowski, 2007; Parker i Howard, 2001). Bardzo ważnym zjawiskiem, na które należy zwrócić uwagę w uprawie jest podatność genotypowa odmian na uszkodzenia powodowane przez szkodniki. Wyższa zawartość związków w bulwach takich jak: glikoalkaloidy (solanina, czakonina), kwasy fenolowe wpływa na niższe uszkodzenie bulw odmian posadzonych w tych samych warunkach zasiedlenia gleby przez larwy, co potwierdzają badania Olsson i Jonasson (1995), Johnson i in. (2008) i Erlichowskiego (2010). Zawartość cukrów redukujących w bulwach i smakowość odmian ma natomiast wpływ na wyższe uszkodzenie bulw wg Jonasson i Olsson (1994). Kwon i in. (1999) oraz Erlichowski (2010) uważają, że na stopień uszkodzenia bulw przez larwy Elateridae ma

wpływ także bariera mechaniczna i budowa skórki (jej grubość, porowatość i siateczkowata struktura), co jest charakterystyczne głównie dla odmian skrobiowych ziemniaka i daje odzwierciedlenie w poziomie uszkodzeń bulw w badaniach ankietowych z prezentowanych plantacji (tab. 1 i 2). Innym problemem wymagającym rozwiązania jest zapobieganie wtórnemu porażeniu bulw uszkodzonych przez drutowce i pędraki w okresie przechowywania jesienno-zimowego. Wtórne porażenie chorobami bakteryjnymi i grzybowymi potęguje późniejsze straty w przechowalni (Erlichowski, 2012; Gratwick, 1989). Przy obecnych wymaganiach „wysokiej jakości” produkcji ziemniaków do konsumpcji i przetwórstwa należy w pierwszej kolejności zapewnić odpowiednie stanowisko uprawy oraz wybrać skuteczną strategię ochrony. Wymagania jakościowe w stosunku do ziemniaka jadalnego i przeznaczonego do przetwórstwa spożywczego, zwłaszcza produkcji na frytki i chipsy, stale rosną (Krzysztofik, 2012; Zgórska, 2002).

Tabela 3

Ocena jakościowa ziemniaków. Opis wad i liczby punktów karnych im przypisywanych w wymaganiach Farm Frites Poland w Łęborku*
Qualitative assessment of potatoes. A description of defects and the number of penalty points assigned to them in the requirements FFP in Łębork*

Defekty wewnętrzne bulw Description of the internal defect	Elementy wpływające na ocenę Elements that affect the assessment		
	wielkość defektu size of defect	współczynnik karny penalty coefficient	odmowa przyjęcia bulw refusal to accept the tubers
Kielkowanie Sprouting	dł. 5 mm — 2 cm/ lenght 0.5–2 cm	2	>3%
	dł. powyżej 2 cm/ length >2 cm	5	
Uszkodzenia wywołane przez szkodniki i patogeny (np. drutowce)	głębokość (depth) 2 mm — 1 cm	2	>4%
	głębokość (depth) 1 cm — 3 cm	5	>4
The damage caused by pests and pathogens (e.g., wireworms)	głębokość (depth) > 3 cm	8	>4
Pusty, brązowy i czarny środek Empty brown and black interior of the tuber	—	8	>10%
Inne przebarwienia miąższu (nieregularne, w tym wiązki —TRV, rdzawe plamy)	średnica (diameter) 2 mm — 1 cm	2	>8% dla rdzawych >8% for rust stains
	średnica (diameter) 1 cm — 3 cm	5	>3% dla rdzawych >3% for rust stains
Other discolored flesh (irregular, including bundles of virus TRV, rust stains)	średnica (diameter) >3 cm	8	za 8 pkt karnych for 8 penalty points

* Wymagania jakościowe i zakładowe FFP Łębork w sezonie 2014/2015 i 2015/2016

*Quality requirements, company FFP Łębork season 2014/2015 and 2015/20

Do przetwórstwa na frytki i chipsy uprawiane są obecnie coraz powszechniej odmiany zagraniczne o gładkiej, delikatnej i cienkiej skórce (podatne), w preferowanym kształcie i wielkości, właściwościach fizyko-chemicznych miąższu, ale zarazem podatne na choroby i uszkodzenia powodowane przez szkodniki. Bulwy z różnorodnymi uszkodzeniami zewnętrznymi i wewnętrznymi nie tracą definitywnie przydatności do przetwórstwa, ale pogarsza się ich jakość i zmniejsza wydajność produkcji końcowej (Krzysztofik, 2012). Wzrost wymagań zakładów przetwarzających ziemniaki na frytki i chipsy spowodował opracowanie surowych norm restrykcji i dokładność badań w laboratoriach, które

przyjmują surowiec. W przypadku prezentowanych dwóch wymagań oceny jakości w zakładach przetwórczych ziemniaka łączna suma uszkodzeń powodowanych przez szkodniki i choroby nie może przekroczyć 4%, a współczynnik karny, wyrażony w punktach, związany jest z głębokością uszkodzenia mięszu przez szkodnika. Im głębsze uszkodzenie, tym naliczane punkty karne są wyższe (tab. 3 i 4). Ocena końcowa stanowi sumaryczny zbiór punktów za dostarczony produkt, w którym partia bulw poniżej określonej wartości nie jest akceptowana, natomiast bulwy z oceną powyżej średniej są odpowiednio premiowane.

Tabela 4

Wartość parametrów oceny jakościowej ziemniaków. Dopuszczalne wady przypisywane w wymaganiach FRITAR*

The values of potato quality parameters. Allowed defects in the requirements of FRITAR*

Defekty wewnętrzne bulw Description of the internal defect	Elementy wpływające na ocenę Elements that affect the assessment		
	wielkość defektu size of defect	współczynnik karny penalty coefficient	dopuszczalna wada permitted defects
Plamistość mięszu, przebarwienia, rdzawe plamy Spotted flesh, discolored, rust strains	—	2	<2%
Uszkodzenia wywołane przez szkodniki i patogeny (np. drutowce) The damage caused by pests and pathogens (e.g., wireworms)	głębokość (depth) 1–3 cm	3	<4%
	głębokość (depth) >3 cm	5	<2%
Pustowatość serc Hollow hearts	—	—	<2%
Maksymalna suma wad wewnętrznych Maximum amount of internal defects	wszystkie (all)	—	do 10% dla wszystkich zmian less than 10% of defects altogether

* Wymagania jakościowe, zakłady FRITAR (PL);

* Quality requirements, company FRITAR (Poland)

Odrębne zagadnienie w ocenie surowca na cele konsumpcyjne i przetwórcze wiąże się z brązowieniem wiązek przewodzących w mięszu bulw. Częściowo ma ono związek z chorobą abiotyczną objawiającą się rdzawą plamistością mięszu, a pojawiającą się w latach z nierównomiernym rozkładem opadów, lub także nasilającym się ostatnio zjawiskiem przenoszenia wirusa TRV (czopowatością bulw) przez nicienie wolno żyjące z rodzaju *Trichodorus* sp. i *Paratrachodorus* sp. w uprawie ziemniaka na glebach lekkich. Bulwy z objawami TRV nie nadają się do przetwórstwa, ponieważ wiązki przewodzące układają się w charakterystyczne łukowate zbrązowienia lub plamy. Mięsz w procesie smażenia przybiera mocno brązowy kolor, jest nieefektywny i wręcz dyskwalifikuje z handlu wysmażone frytki i chipsy (Molendijk, 2007; Michalak i Yin, 2013).

WNIOSKI

1. Brak środków chemicznych dostępnych do ochrony plantacji przed larwami glebowymi powoduje, że w Polsce uprawa ziemniaków na cele jadalne i do przetwórstwa powinna ograniczać się tylko do pól utrzymywanych w prawidłowym

- stanie agrotechnicznym, na których liczebność szkodników glebowych utrzymywana jest poniżej progu ekonomicznej szkodliwości.
2. Niska jakość wyprodukowanych bulw związana z wystąpieniem uszkodzeń niesie za sobą ryzyko nieprzyjęcia takiej partii produktu do konfekcjonowania lub przetwórstwa, stanowiąc w efekcie stratę finansową producenta.
 3. Wraz ze wzrostem wymagań rynku konsumenckiego i przetwórstwa spożywczego rosną wymagania w stosunku do wizualnej i technologicznej oceny bulw, którym coraz częściej sprostać mogą tylko specjalistyczne gospodarstwa wykorzystujące zaawansowaną technologię uprawy i ochrony.

LITERATURA

- Bereś P. 2013. Studium nad doskonaleniem integrowanej ochrony kukurydzy przed zachodnią kukurydzianą stonką korzeniową (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) i omacnicą prosowianką (*Ostrinia nubilalis* Hbn). Rozpr. Nauk. IOR — PIB, 29: 183 s.
- Dzięgielewska M., Erlichowski T. 2010. Wykorzystanie nicieni owadobójczych do biologicznego zwalczania szkodników glebowych w uprawach rolniczych. Ziemn. Pol. 4: 31 — 35.
- Dzięgielewska M., Erlichowski T. 2011. Zgrupowania nicieni owadobójczych (Steinernematidae, Heterorhabditidae) i larw sprząkawatych w wybranych agrocenozach. Prog. Plant Prot. 51 (4): 1750 — 1756.
- Erlichowski T. 2003. Wpływ zaprawy Prestige 290 FS na zdrowotność i plonowanie ziemniaka. Biul. IHAR 228: 225 — 231.
- Erlichowski T. 2007. Skład gatunkowy, szkodliwość i zwalczanie drutowców (Col.: Elateridae). Rozpr. dokt., IHAR ZNiOZ Bonin: 94 s.
- Erlichowski T. 2008. Znaczenie gospodarcze oraz czynniki warunkujące rozwój i szkodliwość szkodników glebowych w uprawie ziemniaka. Wieś Jutra 2: 16 — 19.
- Erlichowski T. 2010. Podatność różnych odmian ziemniaka na uszkodzenia bulw powodowane przez drutowce (Elateridae) i wykorzystanie tego zjawiska w uprawie ekologicznej i integrowanej. Prog. Plant Prot. 50 (3): 1230 — 1235.
- Erlichowski T. 2012. Ochrona ziemniaka przed szkodnikami glebowymi. W: Produkcja i rynek ziemniaka, red. J. Chotkowski, wyd. Wieś Jutra (340 s.), Warszawa: 163 — 173.
- Erlichowski T., Jakubowska M. 2013. Monitoring szkodliwości rolnic (Noctuidae) w uprawach ziemniaka — zmiany zachodzące w ostatnich latach. Ziemn. Pol. 1: 23 — 28.
- Erlichowski T. 2014. Ochrona plantacji ziemniaka przed szkodnikami glebowymi. Komunikat. Ziemn. Pol. 1: 25 — 28.
- Górski P. 2014. Ogólne warunki zakupu dla FFP S.A. na sezon 2014/2015 i 2015/2016. Zakup ziemniaków przeznaczonych do wytwarzania produktów ziemniaczanych, z wyłączeniem produkcji płatków. Farm Frites Pol. Lębork, Wyd. 1: 1 — 13.
- GUS. 2013. Wyniki produkcji roślinnej w 2012 r. GUS Warszawa: 112 s.
- Johnson S., Anderson E., Dawson G., Griffiths W. 2008. Varietal susceptibility of potatoes to wireworm herbivory. Agric. And Forest Entomol. 10: 167 — 174.
- Jonasson T., Olsson K. 1994. The influence of glycoalkaloids, chlorogenic acid and sugars on the susceptibility of potato tubers to wireworm damage. Potato Res. 37 (2): 205 — 216.
- Kwon M., Hahm Y. I., Shin K. Y., Ahn Y. J. 1999. Evaluation of various potato cultivars for resistance to wireworms (Coleoptera: Elateridae). Am. J. Potato Res. 76: 317 — 319.
- Krzysztofik B. 2012. Parametry jakościowe ziemniaka oferowanego do przetwórstwa spożywczego. Biul. IHAR 266: 225 — 233.
- Michalak K., Yin Z. 2013. Monitoring wirusa nekrotycznej kędzierzawki tytoniu (TRV) w wybranych rejonach Polski. W: Nasiennictwo i Ochrona ziemniaka. Konf. nauk-szkol. Dźwirzyno, 16–17. 05.2013. IHAR ZNiOZ Bonin: 107 — 109.

- Molendijk L. 2007. Free-living Nematodes. *Potato Res.* 50: 267 — 269.
- Mrówczyński M., Wachowiak H., Pruszyński. 2006. Zagrożenie upraw rolniczych przez szkodniki glebowe. *Prog. Plant Prot.*, vol. 46 (1): 298 — 304.
- Neuhoff D., Christen Ch., Paffrath A., Schepl U. 2007. Approaches to wireworm control in Organic Potato Production. *IOBC/WPRS Bull.* 30 (1): 65 — 68.
- Nowacki W. 2006. Straty plonu handlowego ziemniaków powodowane przez choroby i szkodniki w 2005 roku. *Prog. Plant Prot.*, Vol. 46 (1): 193 — 204.
- Olsson K., Jonasson T. 1995. Genotypic differences in susceptibility to wireworm attack in potato. Mechanisms and implications for plant breeding. *Plant Breed.* 114: 66 — 69.
- Parker W. E., Howard J. J. 2001. The biology and management of wireworms (*Agriotes* spp.) on potato with particular reference to the United Kingdom. *Agric. Forest Entomol.* 3: 85 — 98.
- Ropek D., Frączek K. 2010. Występowanie i szkodliwość szkodników glebowych w uprawie ziemniaka. *Prog. Plant Prot.* 50 (4): 1737 — 1740.
- Sądej W. 2008. Ocena zespołu sprężykowatych (Elateridae) na stanowisku po zlikwidowanym sadzie. *Prog. Plant Prot.*, vol. 48 (3): 952 — 955.
- Sądej W., Rozmysłowicz R., Sądej W. 2003. Populacje sprężykowatych Elateridae gleby płowej ukształtowane różnymi sposobami jej użytkowania. *Prog. Plant Prot.* 43 (2): 904 — 906.
- Thiel W., Heeren F. 2012. Gesamteindruck Gut. Freiwillige Qualitätskontrolle Kartoffeln 2011 in Niedersachsen. *Kartoffelbau* 1/2: 50 — 53.
- Zgórska K. 2002. Jakość ziemniaków jadalnych i do przetwórstwa spożywczego. *Ziemn. Pol.* 4: 14 — 20.

SPIS TREŚCI — CONTENTS

Franciszek Rudnicki	Metoda wskaźnikowej oceny postępu hodowlanego wnoszonego przez odmiany roślin uprawnych Method for evaluation with indicators of the breeding progress introduced by plant cultivars	3
Franciszek Rudnicki	Postęp hodowlany pszenżyta ozimego w latach 1982–2012 I. Plon i niektóre cechy ziarna Breeding progress of winter triticale in years 1982–2012 I. Yield and some of grain characteristics	17
Franciszek Rudnicki	Postęp hodowlany pszenżyta ozimego w latach 1982–2012 II. Odporność na czynniki biotyczne i abiotyczne Breeding progress of winter triticale in years 1982–2012 II. Resistance to biotic and abiotic stresses	35
Krystyna Rybka Zygmunt Nita	Nowoczesne fenotypy zbóż do uprawy na obszarach zagrożonych suszą Modern phenotypes of cereals for growing in areas endangered with drought	55
Artur Makarewicz Anna Płaza Barbara Gąsiorowska Milena Anna Królikowska	Wybrane cechy konsumpcyjne bulw ziemniaka w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji Selected quality traits of potato tubers in integrated and organic production systems	73
Wiesław Mądry Adriana Derejko	Metody statystyczne analizy danych w kompletnej klasyfikacji Odmiana × Agrotechnika × Miejscowość × Rok ($G \times M \times L \times Y$) z PDOiR Statistical methods for data analysis in the complete classification Cultivar × Crop Management × Location × Year ($G \times M \times L \times Y$) from PVTs	83
Adriana Derejko Wiesław Mądry	Przegląd zastosowań metod statystycznych w analizie danych z serii doświadczeń odmianowych i odmianowo-agrotechnicznych Overview of applications of statistical methods in the analysis of data from a series of experiments	100
Barbara Lutomirska Joanna Jankowska	Oddziaływanie czynników meteorologicznych na występowanie ospowatości bulw ziemniaka Influence of meteorological factors on occurrence and severity of black scurf on potato tubers	119
Józefa Kapsa Marek Mrówczyński Tomasz Erlichowski Hanna Gawińska-Urbanowicz Konrad Matysek Jerzy Osowski Maria Pawińska Janusz Urbanowicz Sławomir Wróbel	Ochrona ziemniaka zgodna z zasadami integrowanej ochrony roślin Część I. Niechemiczne metody ochrony Potato protection according to the principles of integrated pest management Part I. Non-chemical methods of protection	129

Józefa Kapsa	Ochrona ziemniaka zgodna z zasadami integrowanej ochrony roślin	145
Marek Mrówczyński	Część II. Metoda zrównoważonej chemicznej ochrony ziemniaka	
Tomasz Erlichowski	Potato protection according to the principles of integrated pest	
Hanna Gawińska-	management	
Urbanowicz	Part II. Sustainable method of chemical potato protection	
Konrad Matysek		
Jerzy Osowski		
Maria Pawińska		
Janusz Urbanowicz		
Sławomir Wróbel		
Tomasz Erlichowski	Uszkodzenia miąższu bulw powodowane przez szkodniki glebowe a	161
	wartość technologiczna ziemniaków jadalnych i dla przetwórstwa	
	Damage of tuber flesh by soil pests decreasing the value of table and	
	processing potatoes	