

WOJCIECH BUDZYŃSKI**KRZYSZTOF JANKOWSKI**

Katedra Produkcji Roślinnej

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Poziom agrotechniki a struktura i plon nasion rzepaku jarego

Oilseed rape yield and its structure in relation to pest control and nitrogen fertilization levels

W pracy przedstawiono rolę elementów struktury plonu w kształtowaniu plonu nasion rzepaku jarego chronionego i niechronionego przed szkodnikami uprawianego przy różnym poziomie nawożenia azotem. W ocenie związku pomiędzy plonem nasion a komponentami wykorzystano analizę współczynników ścieżek. Ochrona rzepaku jarego przed szkodnikami uratowała średnio 5,9 dt nasion z 1 ha. Nie stwierdzono, aby zwiększenie poziomu nawożenia azotem zwiększało regenerację przez rzepak jary uszkodzeń owadzi. Rzepak zareagował istotnym przyrostem plonu nasion do najwyższej dawki azotu. Efektywność 1 kg azotu była największa w zakresie dawek do $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Przekroczenie tego poziomu obniżyło aż 2-krotnie efektywność 1 kg N. Plon rzepaku chronionego przed szkodnikami owadzi był dodatnio skorelowany z liczbą łuszczyń na 1 m^2 i liczbą nasion w łuszczyńce oraz ujemnie z masą 1000 nasion. W rzepaku niechronionym główną rolę w kształtowaniu plonu odgrywała liczba nasion w łuszczyńce. Przy niskim poziomie odżywienia azotem (dawka $\leq 80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) plon nasion rzepaku jarego kształtowały wszystkie jego składowe (w przypadku masy 1000 nasion współczynnik ścieżki był ujemny). Przy wysokim poziomie nawożenia ($120\text{--}160 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) bezpośredni wpływ na plon nasion rzepaku jarego miała tylko liczba nasion w łuszczyńce.

Słowa kluczowe: rzepak jary, ochrona przed szkodnikami, nawożenie azotem, plon nasion, elementy struktury plonu, analiza współczynników ścieżek

The paper presents a role of yield components in creating spring oilseed rape yield under different conditions of pest control and nitrogen application. The relationships between yield and its components were estimated using the path coefficient analysis. Pest control resulted in saving 5.9 dt of seed per 1 ha. In no case the increasing of nitrogen doses stimulated a compensation of oilseed rape after injuries caused by pests. Rape reacted to increasing nitrogen doses, up to the highest one, by the rise of seed yield. The effectiveness of nitrogen application, as evaluated for 1 kg, was highest at the range up to $80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Higher doses resulted in over 2-fold decrease of the effectiveness. Yield of rape protected against pests was positively correlated with a number of both siliques per 1 m^2 and seeds per silique, whereas it was negatively correlated with 1000 seeds weight. In contrast, the yield of rape that was not protected was substantially affected by a number of seeds per silique. At a low level of nitrogen application ($\leq 80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), rape yield was created by all the components studied (in the case of 1000 seeds weight the path coefficient appeared to be negative). Meanwhile, at large doses of nitrogen (120--

160 kg·ha⁻¹), only the number of seeds per silique was found to have a direct effect on spring oilseed rape yield.

Key words: analysis of path coefficient, nitrogen application, pest control, seed yield, spring rape yield components

WSTĘP

Spośród czynników agrotechnicznych największy wpływ na wykorzystanie potencjału plonotwórczego rzepaku jarego mają nawożenie azotem oraz ochrona przed szkodnikami (Budzyński i Ojczyk, 1996; Ojczyk i Jankowski, 1999). Wysoka pozycja ochrony przed szkodnikami, w kształtowaniu plonu tej formy rzepaku, wynika z małej zdolności roślin do autoregeneracji uszkodzeń owadzych. Nie bez znaczenia jest również fakt lepszego (niż u formy ozimej) dopasowania cyklu rozwojowego szkodników (szczególnie pchełek i gnatarza) do faz rozwojowych rzepaku jarego. Duża rola plonotwórcza azotu w rzepaku jarym wynika z faktu gromadzenia przez ten gatunek znacznych ilości białka i tłuszczu w nasionach, a więc składników, których synteza jest bardzo energochłonna (Budzyński i Ojczyk, 1996). Niestety wysokie wymagania nawozowe tego gatunku nie idą w parze ze stopniem rozwinięcia systemu korzeniowego. Słaby system korzeniowy uzależnia w dużym stopniu plonowanie tej formy rzepaku od łatwo dostępnych mineralnych składników nawozowych, w mniejszym zaś stopniu od zasobności gleby (Dembiński, 1975).

Wpływ ochrony przed szkodnikami oraz nawożenia azotem na plon nasion realizuje się poprzez bezpośrednie oddziaływanie tych elementów agrotechniki na liczbę łuszczyń na 1 m² oraz masę 1000 nasion (Ojczyk i Jankowski, 1999). Liczba nasion w łuszczyń należą do najbardziej stabilnych komponentów plonu nasion rzepaku słabo modyfikowanych poziomem agrotechniki (Jasińska i in., 1997).

Siłę oddziaływania czynników agrotechnicznych na składowe plonu można przedstawić za pomocą np. równań regresji lub/ oraz współczynników korelacji. Jednak wykorzystanie tych instrumentów do oceny roli poszczególnych elementów struktury plonu w jego kształtowaniu może być niezadowalające (Idźkowska i in., 1993). Elementy struktury plonu i plon występują w układzie przyczyno-skutkowym. Jednym z możliwych sposobów opisu takiego układu jest metoda współczynników ścieżek (Konys i Wiśniewski, 1984; Idźkowska i in., 1993). Porównanie współczynników korelacji z współczynnikami ścieżek wykazało, że wielkości te nie tylko mogą różnić się od siebie, ale wręcz mogą mieć przeciwne znaki. Różnice wynikać mogą z faktu, iż współczynniki korelacji, w przeciwieństwie do analizy współczynników ścieżek, nie uwzględniają wpływów pośrednich zmiennych na analizowaną cechę. Jeżeli by przy analizie wpływów ograniczyć się jedynie do współczynników korelacji, to wnioskowanie może nie odzwierciedlać rzeczywistych zależności pomiędzy badanymi cechami (Konys i Wiśniewski, 1984). Współczynniki ścieżek oddając ilościowy stopień wpływu poszczególnych składowych plonu (zmienne niezależne) na plon nasion (zmienna zależna) mogą być porównywane w celu zwaloryzowania znaczenia poszczególnych składowych w kształtowaniu plonu nasion.

Celem podjętych badań było skwantyfikowanie roli poszczególnych składowych plonu w kształtowaniu plonu rzepaku jarego uprawianego w warunkach zróżnicowanej ochrony przed szkodnikami oraz nawożenia azotem.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy

Podstawą pracy są wyniki ścisłych badań polowych realizowanych w latach 1998–2000 na polach Stacji Badawczej w Bałcynach należącej do Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Doświadczenia założono w układzie długich parcel zmodyfikowanych przez Elandt, w 4 replikacjach. Zastosowano następujący układ zmiennych:

- czynnik I: sposób ochrony przed szkodnikami — 1. pełna ochrona; 2. brak ochrony,
- czynnik II: nawożenie azotem ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) — a. bez azotu; b. 40; c. 80; d. 120; e. 160.

Doświadczenie lokalizowano na glebie płowej typowej, wytworzonej z gliny średniej bądź lekkiej, klasy bonitacyjnej III a, kompleksu pszenno dobrego lub żytniego bardzo dobrego, o odczynie lekko kwaśnym (tab. 1).

Tabela 1

Charakterystyka warunków glebowych
Description of soil conditions

Wyszczególnienie Specification	Lata Years		
	1998	1999	2000
Typ gleby Soil type	gleba płowa typowa soil lessives typical		
Gatunek gleby Soil species	głina średnia medium clay	głina lekka light clay	głina średnia medium clay
Odczyn gleby Soil pH (1 M KCl) ¹	6,4	6,1	6,4
Klasa bonitacyjna Soil valuation class	R-IIIa		
Kompleks przydatności rolniczej Soil suitability complex	pszenno dobry good wheat	żytni bardzo dobry rye very good	pszenno dobry good wheat
Zwartość przyswajalnych składników ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby) Content of nutrients ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ soil)			
— P_2O_5 ²	22,7	17,5	20,2
— K_2O ³	20,0	20,0	15,0
— Mg ⁴	9,0	8,5	8,4

Oznaczenia chemiczne wykonano wg: PN ISO 10390¹; PN-R-04023²; PN-R-04023³; PN-R-04020⁴

Chemical analyses were done according to: PN ISO 10390¹; PN-R-04023²; PN-R-04023³; PN-R-04020⁴

Zasobność gleby w fosfor była wysoka i bardzo wysoka, w potas średnia, zaś w magnez wysoka. Przedplonem były zboża ozime (1998, 2000) bądź mieszanka zbożowo-strączkowa (1999). Po zbiorze przedplonu wykonano podorywkę i orkę przedzimową na głębokość 20–22 cm. Wiosną, przedsięwzię pod agregat uprawowy, zastosowano $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ P_2O_5 (superfosfat potrójny) oraz $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ K_2O (sól potasowa 57%). Azot w dawkach do $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ aplikowano jednorazowo przed siewem, wyższą dawkę ($160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) aplikowano dwukrotnie: $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ przed siewem i $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w pełni pąkowania.

Nasiona odmiany Star corocznie wysiewano w ostatniej dekadzie kwietnia, w ilości 150 kielkujących, zaprawionych nasion na 1 m² poletka o powierzchni 12 m². Po siewie nasion zastosowano metazachlor w dawce 1 200 g·ha⁻¹. Na części doświadczenia z intensywnym zwalczaniem szkodników stosowano 5-krotnie insektycydy. W obiektach niechronionych nie stosowano insektycydów. Pasy izolacyjne pomiędzy obiektami chronionymi a niechronionymi wynosiły 15 m.

W dojrzałości technicznej dokonano pomiarów biomorfometrycznych roślin rzepaku uwzględniających elementy struktury plonu, tj. liczbę łuszczyń na 1 m² (liczba roślin na 1 m² × liczba łuszczyń na 1 roślinie), liczbę nasion w łuszczyńce oraz masę 1000 nasion. Po zbiorze roślin określono plon nasion z poletka — przeliczając go na 1 ha przy stałej 13% wilgotności.

Statystyczne opracowanie wyników badań

Wyniki plonowania oraz pomiarów biometrycznych roślin plonujących opracowano metodą analizy wariancji w sposób zgodny z metodą założenia doświadczenia. W ocenie istotności efektów głównych i interakcyjnych zastosowano test *F*. Wartości funkcji testowej *F*_{emp.} z analizy wariancji badanych cech przedstawiono w tabeli 2. Średnie wartości z kombinacji dla badanych cech porównano testem Duncana.

Tabela 2

Wartości funkcji testowej *F*_{emp.} z analizy wariancji badanych cech rzepaku jarego
Values of test function *F*_{emp.} from the analysis of variance for evaluated characteristics of spring oilseed rape

Źródło zmienności Source of variation	Plon (dt·ha ⁻¹) Yield	Elementy struktury plonu Yield components		
		liczba łuszczyń na 1 m ² number of siliques per 1m ²	liczba nasion w łuszczyńce number of seeds per silique	masa 1000 nasion (g) weight of 1000 seeds
Lata (L) Years	114,54**	11,87**	177,58**	23,91**
Sposób ochrony przed szkodnikami (I) Method of pest control	38,48**	47,67**	38,43**	11,32**
Dawka azotu (II) Nitrogen dose	23,15**	6,45**	1,01	2,81*
L × I	4,13	1,31	40,92**	3,16
L × II	1,27	1,88	2,20*	1,82
L × I × II	0,83	2,49*	0,88	0,15
I × II	0,85	3,10*	1,44	0,43

* Różnice istotne dla poziomu $\alpha = 0,05$

* Effects Significant at $\alpha = 0.05$

** Różnice istotne dla poziomu $\alpha = 0,01$

** Effects Significant at $\alpha = 0.01$

Do badań związku pomiędzy plonem nasion (zmienna zależna) z jednostki powierzchni (Y) i jego składowymi (zmienne niezależne), tj. liczbą łuszczyń na 1 m² (X₁), liczbą nasion w łuszczyńce (X₂) i masą 1000 nasion (X₃) wykorzystano metody korelacji oraz regresji prostej i wielokrotnej. Częstkowe współczynniki regresji dla zmiennych standaryzowanych (współczynników ścieżek) obliczono wg metody opisanej w pracy Wright (1934). W analizach wariancji, korelacji i regresji wykorzystano pakiet staty-

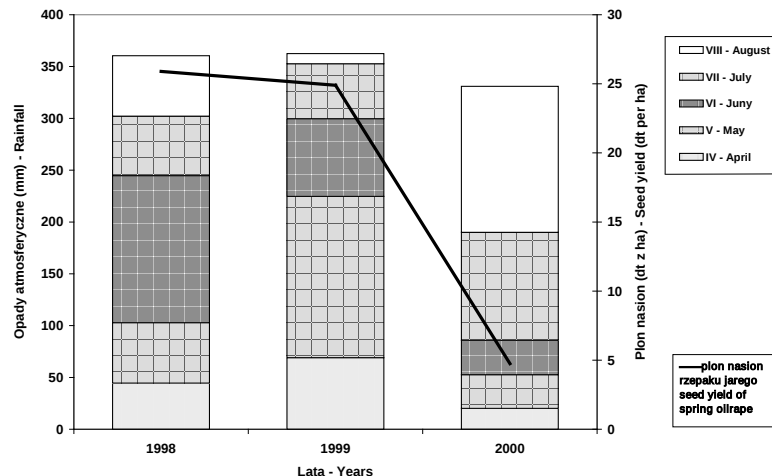
styczny STATISTICA®, natomiast podstawą analizy ścieżkowej był skrypt programu komputerowego zamieszczony w pracy Idzkowskiej i wsp. (1993). W pozostałych obliczeniach wykorzystano arkusz kalkulacyjny EXCEL®.

WYNIKI I DYSKUSJA

Plonowanie rzepaku w latach badań

Rzepak jary jest bardzo wrażliwy na okresowe niedobory opadów i wody w glebie. Zapotrzebowanie wodne tego gatunku w okresie od kwietnia do sierpnia waha się od 350 do 400 mm opadu. Wymagania wilgotnościowe rzepaku jarego są prawie 2-krotnie wyższe niż formy ozimej. Silna, negatywna reakcja rzepaku jarego na stres wodny jest wynikiem słabo rozwiniętego systemu korzeniowego, który ogranicza korzystanie z zasobów wody zgromadzonej w glebie. W takich warunkach nawet stosunkowo krótkie okresy suszy drastycznie obniżają plonowanie tego gatunku (Demiński, 1975).

W badaniach własnych stwierdzono silne uwikłanie plonu nasion z warunkami wilgotnościowymi panującymi w poszczególnych latach badań, a w szczególności z ich rozkładem. W latach o relatywnie wysokim plonowaniu rzepaku (1 i 2 cykl badań) 70–80% ogólnej sumy opadów zanotowano w początkowych 3 miesiącach wegetacji (tj. od wschodów do kwitnienia). W trzecim roku badań rozwój rzepaku jarego do kwitnienia przebiegał w warunkach suszy. W kwietniu, czerwcu i lipcu zanotowano zaledwie 88 mm opadów (tj. 25% ogólnej sumy). Obfite opady (245 mm) wystąpiły dopiero w okresie dojrzewania rzepaku. Niestety rośliny nie zrekomensowały skutków suszy wczesnoletniej i plonowały, w tym cyklu badań, najniżej (1/4 plonu uzyskanego w 1998 i 1999 roku) (rys. 1). Reakcja rzepaku na warunki panujące w latach badań była niezależna od sposobu ochrony — brak istotnej interakcji lata × ten czynnik doświadczenia (tab. 2).



Rys. 1. Plonowanie rzepaku jarego chronionego i niechronionego na tle rozkładu opadów w latach badań

Fig. 1. Yield of rape in relation to pest control on the background of rainfall distribution in years

Wpływ ochrony przed szkodnikami i nawożenia azotem na plon nasion

Analiza statystyczna plonu nasion wykazała brak istotnej interakcji pomiędzy sposobem ochrony przed szkodnikami a poziomem nawożenia azotem — rzepak chroniony chemicznie jak i niechroniony reagował w ten sam sposób na nawożenie azotem. Również nie wykazano, aby oddziaływanie plonotwórcze lub plonochronne badanych czynników było uwikłane w interakcji z warunkami siedliska (interakcja lata × sposób ochrony przed szkodnikami lub dawka azotu była statystycznie nieistotna) (tab. 2). Dlatego też w tabeli 3 ograniczono się do przedstawienia danych dotyczących efektu działania czynników głównych z pominięciem (nieistotnych) efektów interakcyjnych z latami badań.

Tabela 3

**Plon nasion i jego składowe
Seed yield and its components**

Obiekt Treatment	Plon Yield (dt·ha ⁻¹)	Elementy struktury plonu Yield components			
		liczba łuszczyzn na 1 m ² number of siliques per 1 m ²	liczba nasion w łuszczyźnie number of seeds per silique	masa 1000 nasion (g) weight of 1000 seeds	
sposób ochrony przed szkodnikami method of pest control					
Pełna ochrona Pest control	22,9±0,11(*)	2 910±125	22,7±0,8	3,93±0,06	
Bez ochrony No pest control	17,0±0,14	1 935±127	20,0±1,2	4,29±0,05	
NIR — LSD	2,1	319	1,6	0,24	
dawka azotu (kg·ha ⁻¹) nitrogen dose					
0	16,2±0,11	1 985±101	20,5±1,09	4,20±0,07	
40	19,4±0,11	2 348±109	22,1±0,95	4,20±0,07	
80	20,9±0,13	2 557±151	21,6±0,97	4,12±0,06	
120	21,2±0,15	2 553±174	21,6±1,13	4,06±0,08	
160	22,3±0,16	2 671±162	21,1±1,19	3,96±0,04	
NIR — LSD	1,4	299	ns	0,17	
interakcja: sposób ochrony przed szkodnikami × dawka azotu interaction: method of pest control × nitrogen dose					
Pełna ochrona Pest control	0	18,6±0,24	2 278±211	22,3±2,23	4,01±0,36
	40	22,1±0,22	2 636±270	24,3±1,49	3,98±0,15
	80	24,3±0,24	3 176±273	22,4±1,63	3,90±0,14
	120	24,0±0,28	3 094±394	23,0±2,01	3,91±0,19
	160	25,7±0,31	3 367±243	21,7±2,32	3,83±0,09
Bez ochrony No pest control	0	13,8±0,27	1 691±218	18,6±3,02	4,38±0,12
	40	16,6±0,26	2 061±191	19,8±2,50	4,42±0,14
	80	17,4±0,31	1 939±307	20,9±2,66	4,34±0,12
	120	18,4±0,39	2 012±379	20,2±2,99	4,21±0,14
	160	19,0±0,39	1 975±355	20,6±3,05	4,09±0,08
NIR — LSD	ns	423	ns	ns	

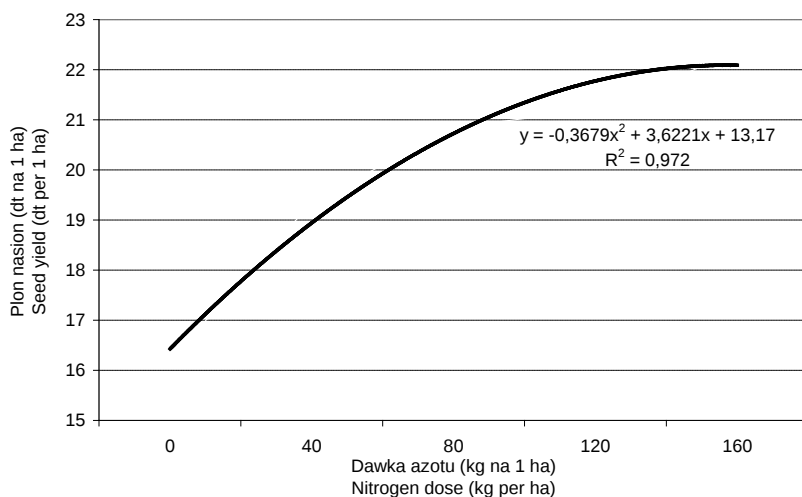
(*) Wartość średnia ± błąd standardowy

(*)Mean value ± standard error

Ochrona insektycydowa rzepaku jarego uratowała ok. 5,9 dt nasion z 1 ha (tab. 3). Wyższe plonowanie rzepaku jarego w warunkach pełnej ochrony przed szkodnikami było wynikiem większej liczby łuszczyń na jednostce powierzchni (+50%) oraz lepszego wypełnienia łuszczyń nasionami (+14%). Jedynie masa 1000 nasion rzepaku chronionego przed szkodnikami owadziimi była mniejsza (o 8%) niż niechronionego (tab. 3).

Efektywność ochrony rzepaku jarego jest silnie modyfikowana całym kompleksem czynników siedliskowych (np. nasilenie występowania szkodników, susza, dostępnością składników pokarmowych w glebie, etc.). Dlatego też w literaturze naukowej plonochronna rola ochrony insektycydowej w rzepaku jarym jest kwantyfikowana bardzo różnie. W badaniach Sądeja i wsp. (1996) oraz Ojczyk i Jankowskiego (1999) brak ochrony przed szkodnikami spowodował spadek plonu nasion rzepaku jarego o $4,8 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$, tj. o 20%. W badaniach Sety i wsp. (1998) utrata plonu na skutek żerowania samego słodyszka sięgała aż $8,2 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tj. 27%).

W badaniach własnych nie wykazano zdolności rzepaku jarego do autoregeneracji uszkodzeń owadzi (plon rzepaku niechronionego był zdecydowanie niższy niż chronionego) (tab. 3). Na małą zdolność do autoregeneracji uszkodzeń owadzi przez rzepak jary wskazują również badania Ojczyk i Jankowskiego (1999). Odmienne wyniki zaprezentowali w swoich pracach Williams i Free (1979) oraz Tatchel (1983). W badaniach autorów rzepak jary kompensował w pełni zredukowane przez słodyszka pąki na pędzie głównym poprzez większe rozgałęzienie i obfitszą butonizację na pędach bocznych.



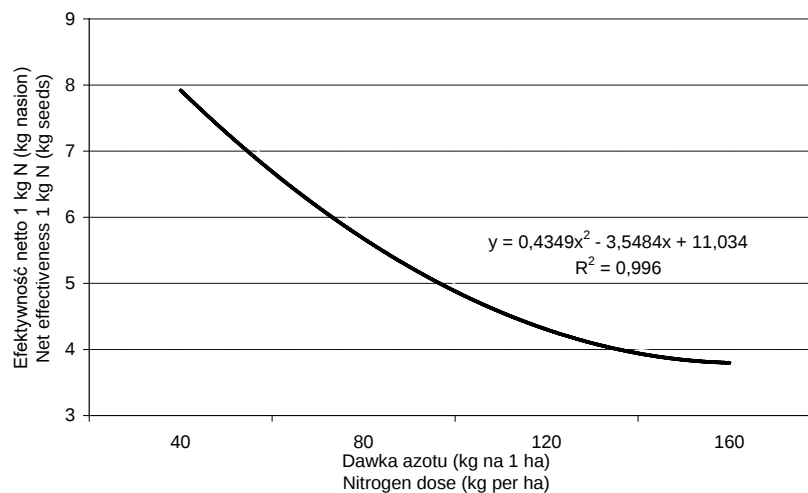
Rys. 2. Związek nawożenia azotem z plonem nasion rzepaku (średnio z 3 lat, niezależnie od sposobu ochrony)

Fig. 2. Relationship between nitrogen application and seed yield of rape (average of 3 years, irrespectively of a method of pest control)

Wysoka wartość współczynnika determinacji ($R^2 = 97\%$) świadczy o silnym związku pomiędzy nawożeniem azotem a plonem nasion (rys. 2). Rzepak jary reagował istotnym

przyrostem plonu nasion aż do najwyższej ($160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) dawki azotu (tab. 3). Należy jednak podkreślić, iż największy przyrost plonu (29% w stosunku do obiektu bez nawożenia) obserwowano do dawki $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Dalszy, istotny, przyrost plonu (o 7%) zaobserwowano dopiero po 2-krotnym zwiększeniu dawki azotu — do poziomu $160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 3). O takim układzie plonu zdecydowała liczba łuszczyń na 1 m^2 (tab. 3). Wartości liczbowe pozostałych elementów struktury plonu były słabo różnicowane przez nawożenie azotem (liczba nasion w łuszczyńce) bądź ulegały obniżeniu w miarę przyrostu dawki (masa 1000 nasion) (tab. 3).

Z danych przedstawionych na rysunku 3 wynika, iż efektywność netto 1 kg azotu w dawkach $>80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ była aż 2-krotnie niższa w stosunku do nawożenia na poziomie $\leq 80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

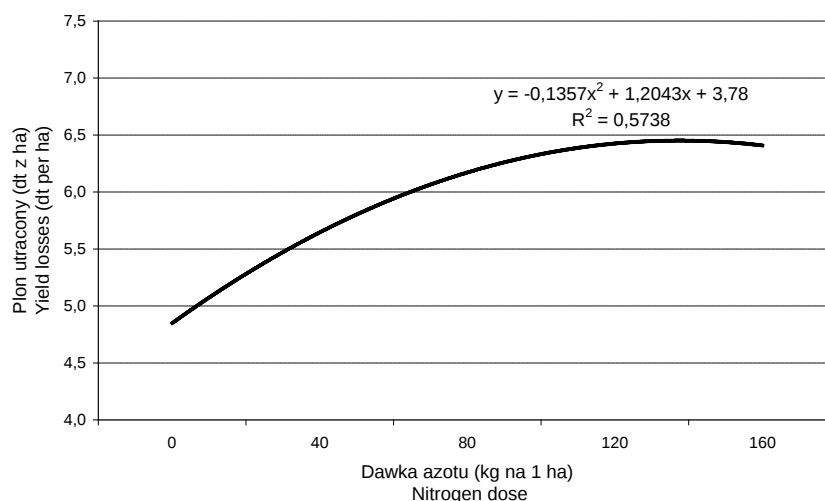


Rys. 3. Efektywność netto 1 kg azotu w rzepaku jarym (średnio z 3 lat, niezależnie od sposobu ochrony)
Fig. 3. Net effectiveness of 1 kg N in kg seeds (average of 3 years, irrespective of a method of pest control)

Badania Jasińskiej i współautorów (1997) wskazują, iż rzepak jary uprawiany po strączkowych efektywnie wykorzystuje nawozy azotowe do poziomu $120\text{--}160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ten układ plonu wynikał z korzystnego oddziaływania azotu na liczbę łuszczyń na roślinie i masy nasion z łuszczyń. Budzyński i Ojczyk (1996), w warunkach gleb lżejszych, zanotowali przyrost plonu po zbożowych do dawki $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, bez pogorszenia produktywności 1 kg N. Odmienne wyniki uzyskali w swoich badaniach Toboła i Muśnicki (2000). Plon rzepaku jarego uprawianego na czarnych ziemiach właściwych wykazywał lekką tendencję wzrostową tylko do dawki $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Również Cheema i wsp. (2001) oraz Hocking i wsp. (1997) podają dawkę $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ jako przyrodniczo-optimalną dla tej formy rzepaku.

W badaniach własnych nie stwierdzono, aby nawożenie azotem rekompensowało straty spowodowane przez szkodniki owadzie. Dane przedstawione na rysunku 4 dowodzą, iż

wolumen plonu utraconego na skutek żerowania szkodników zwiększał się w warunkach lepszego zapatrzenia roślin w azot. Na brak kompensacyjnej roli azotu w obu formach rzepaku wskazują również wcześniejsze wyniki badań Budzyńskiego i Jankowskiego (2000).



Rys. 4. Związek pomiędzy nawożeniem N a stratą plonu na skutek żerowania szkodników (średnio z 3 lat)

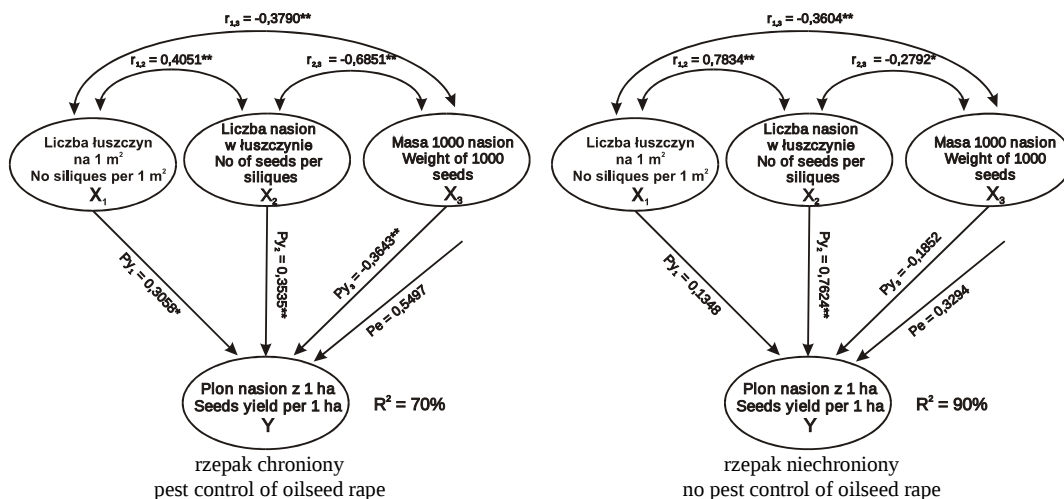
Fig. 4. Relationship between N application and seed losses caused by pest infestation (average of 3 years)

Związek pomiędzy plonem nasion rzepaku jarego a elementami struktury plonu

Na rysunku 5 przedstawiono diagram współczynników ścieżek dla komponentów warunkujących plon nasion rzepaku jarego w zależności od sposobu ochrony insektydowej. Strzałki jednostronne występujące na poniższym diagramie są ścieżkami elementarnymi, natomiast strzałki podwójne oznaczają występowanie korelacji między zmiennymi (elementami struktury plonu). Każdej ścieżce elementarnej podporządkowana jest liczba (współczynnik ścieżki). Współczynnik ścieżki dla przyczyny X_1 (liczba łuszczyń na 1 m²) do skutku Y (plon nasion) na diagramie oznaczono jako Py_1 . Analogicznie oznaczono współczynniki ścieżek dla pozostałych elementów struktury plonu, tj. liczby nasion w łuszczyń (Py₂) oraz masy 1000 nasion (Py₃). Współczynniki korelacji prostej pomiędzy analizowanymi komponentami plonu oznaczono jako $r_{1,2}$; $r_{2,3}$; $r_{1,3}$ (gdzie $r_{1,2}$ oznacza korelację między cechami X_1 i X_2 , etc.).

W niniejszych badaniach równanie regresji wielokrotnej dla plonu nasion rzepaku chronionego, po standaryzacji zmiennych, miało postać: $Y = 0,3058X_1 + 0,3535X_2 - 0,3643X_3$, zaś rzepaku niechronionego, odpowiednio: $Y = 0,1348X_1 + 0,7624X_2 - 0,1852X_3$ (rys. 5). Udział poszczególnych komponentów w kształtowaniu plon nasion rzepaku jarego był silnie różnicowany sposobem ochrony przed szkodnikami owadziemi. Z analizy współczynników ścieżek wynika, iż dominujący wpływ bezpośredni na plon nasion

rzepaku chronionego miały wszystkie jego komponenty. Wskaźnik determinacji plonu rzepaku chronionego wynosił aż 70%. Można więc przyjąć, że analizowane składowe były dobrymi predyktorami plonu (rys. 5). Należy jednak podkreślić, iż w przypadku masy 1000 nasion współczynnik ścieżki miał wartość ujemną ($Py_3 = -0,3643^{**}$). Wynikało to z faktu silnego ujemnego skorelowania tej składowej plonu nasion rzepaku z liczbą łuszczyzn na jednostce powierzchni ($r_{1,3} = -0,3790^{**}$) oraz liczbą nasion w łuszczyźnie ($r_{2,3} = -0,6851^{**}$). Przy takim wzajemnym układzie zmiennych niezależnych uzyskanie dorodnych (o dużej masie) nasion jest możliwe wtedy, gdy pozostałe elementy struktury plonu przyjmują niskie wartości (mała liczba łuszczyzn na jednostce powierzchni i słabe ich wypełnienie nasionami), a więc w warunkach niskiego plonowania rzepaku (rys. 5). W celu uzyskania wysokich plonów rzepaku jarego chronionego przed szkodnikami korzystniej jest ukierunkować zabiegi agrotechniczne na osiągnięcie jak największej liczby łuszczyzn na jednostce powierzchni i liczby nasion w łuszczyźnie (mając świadomość, iż będzie to prowadzić do obniżenia masy 1000 nasion).



Rys. 5. Diagram współczynników ścieżek komponentów warunkujących plon nasion rzepaku jarego chronionego i niechronionego przed szkodnikami (średnio z 3 lat badań, niezależnie od dawki N)
Fig. 5. Diagram of path coefficients for yield components of spring oilseed rape in relation to pest control (average of 3 years, irrespective of nitrogen dose)

Plon nasion rzepaku niechronionego przed szkodnikami owadziemi był jedynie kształtowany poprzez bezpośredni wpływ liczby nasion w łuszczyźnie ($Py_2 = 0,7624^{**}$) (rys. 4). Współczynnik korelacji fenotypowej tej cechy z plonem wynosił aż 0,9197 (był on nieznacznie większy niż współczynnik ścieżki dzięki dodatniemu wpływowi pośredniemu poprzez dwa pozostałe komponenty plonu) (tab. 4). Bezpośrednie oddziaływanie pozostałych elementów składowych na plon nasion rzepaku niechronionego było słabe (nieistotne) (rys. 5). Wysokie (istotne) wartości współczynników korelacji fenotypowej liczby łuszczyzn na 1 m² i masy 1000 nasion z plonem rzepaku niechronionego wynikały

z silnych efektów ich pośredniego oddziaływania (tab. 4). Stwierdzono bardzo silny wpływ pośredni liczby łuszczyń na 1 m² na plon poprzez liczbę nasion w łuszczyń (tab. 4). W przypadku masy 1000 nasion wysoki ujemny współczynnik korelacji fenotypowej wynikał z oddziaływania pośredniego poprzez liczbę nasion w łuszczyń. W przypadku zaniechania ochrony insektycydowej o plonowaniu rzepaku jarego będą decydować zabiegi agrotechniczne stymulujące wypełnienie łuszczyń nasionami.

Tabela 4

Efekty pośrednie składowych plonu jarego chronionego i niechronionego przed szkodnikami (średnio z 3 lat badań, niezależnie od dawki N)
Indirect effects of oilseed rape yield in relation to pest control (average of 3 years, irrespective of nitrogen dose)

Elementy struktury plonu Yield components	Efekt pośredni poprzez: Indirect effect of:			Korelacja fenotypowa z plonem Phenotypic correlation with yield
	X ₁	X ₂	X ₃	
pełna ochrona pest control				
X ₁	—	0,1432	0,1381	0,5871**
X ₂	0,1239	—	0,2496	0,7270**
X ₃	-0,1159	-0,2422	—	-0,7224**
brak ochrony no pest control				
X ₁	—	0,5973**	0,0668	0,7989**
X ₂	0,1056	—	0,0517	0,9197**
X ₃	-0,0486	-0,2129	—	-0,4467**

X₁, X₂, X₃ — jak na rys. 5/ see fig. 5

Wzajemne relacje pomiędzy elementami struktury plonu przedstawiono za pomocą współczynników korelacji prostej ($r_{1,2}$; $r_{1,3}$; $r_{2,3}$). Szczególnie wysoki współczynnik korelacji prostej wystąpił pomiędzy liczbą łuszczyń na jednostce powierzchni a liczbą nasion w łuszczyń (wzrost liczby łuszczyń powodował przyrost liczby nasion w łuszczyń), co jak wykazała analiza ścieżek korzystnie wpływało na plonowanie rzepaku. Masa 1000 nasion była, podobnie jak w rzepaku chronionym, ujemnie skorelowana z pozostałymi elementami struktury plonu (rys. 5).

Analizie współczynników ścieżek poddano również wyniki pomiarów elementów struktury plonu i plon nasion rzepaku jarego uzyskane przy różnym poziomie odżywienia azotem (tab. 6). Wysokie wartości wskaźników determinacji (80–90%) informują, iż udział komponentów w kształtowaniu plonu rzepaku jarego jest bardzo wysoki (tab. 5).

Poziom plonowania rzepaku nawożonego niskimi dawkami azotu (40–80 kg·ha⁻¹) był bezpośrednio uzależniony od wszystkich jego składowych (tab. 6). Współczynnik ścieżek dla masy 1000 nasion miał wartość ujemną. Dodatni efekt bezpośredni liczby łuszczyń na 1 m² z plonem był potęgowany również dodatnim efektem pośrednim poprzez liczbę nasion w łuszczyń. Przy wyższym poziomie nawożenia azotem (120–160 kg·ha⁻¹) główną rolę w kształtowaniu plonu rzepaku jarego odgrywała tylko liczba nasion w łuszczyń. Wpływ liczby łuszczyń na 1 m² (dodatni) oraz masy 1000 nasion (ujemny) na plon realizował się pośrednio poprzez liczbę nasion w łuszczyń (tab. 6).

Tabela 5

Wartość wariancji resztowej (P_e) oraz wskaźnika determinacji (R^2) w zależności od poziomu nawożenia azotem (średnio z 3 lat badań, niezależnie od sposobu ochrony)
Value of residual variance (P_e) and determination coefficient (R^2) in relation to nitrogen application (average of 3 years, irrespective of pest control)

Dawka azotu ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) Nitrogen dose	Wariancja resztowa (P_e) Residual variation	Wskaźnik determinacji (R^2) Determination coefficient
0	0,4126	83
40	0,4258	82
80	0,5019	80
120	0,3290	89
160	0,3136	90

Tabela 6

Efekty bezpośrednie i pośrednie składowych plonu nasion rzepaku jarego dla różnych poziomów nawożenia azotem (średnio z 3 lat badań, niezależnie od sposobu ochrony)
Direct and indirect effects of yield components of spring oilseed rape at different levels of nitrogen application (average of 3 years, irrespective of pest control)

Elementy struktury plonu Yield components	X_1	X_2	X_3	Korelacja fenotypowa z plonem Phenotypic correlation with yield
bez nawożenia azotem no nitrogen fertilization				
X_1	0,1893	0,4229**	0,0647	0,6769**
X_2	0,1228	0,6518**	0,1074	0,8820**
X_3	-0,0579	-0,3312*	-0,2113	-0,6004**
40 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$				
X_1	0,3031*	0,2894*	0,1437	0,7362**
X_2	0,2188	0,4008**	0,1896	0,8092**
X_3	-0,1118	-0,1951	-0,3896**	-0,6964**
80 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$				
X_1	0,2778*	0,3945**	0,0628	0,7351**
X_2	0,2007	0,5460**	0,0570	0,8037**
X_3	0,0733	-0,1308	-0,2579*	-0,4620**
120 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$				
X_1	0,2482	0,3145*	0,2478	0,8105**
X_2	0,1724	0,4529**	0,2471	0,8724**
X_3	-0,1761	-0,3205*	-0,2493	-0,7459**
160 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$				
X_1	0,1915	0,4836**	0,0291	0,7042**
X_2	0,1227	0,7549**	0,0523	0,9299**
X_3	-0,0396	-0,2798*	-0,1410	-0,4604**

* Różnice istotne dla poziomu $\alpha = 0,05$

* Effects significant at $\alpha = 0.05$

** Różnice istotne dla poziomu $\alpha = 0,01$

** Effects significant at $\alpha = 0.01$

X_1 , X_2 , X_3 — Jak na rys. 5 — See fig. 5

Reasumując o plonie nasion rzepaku nawożonego azotem na poziomie $\leq 80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ decydują zabiegi agrotechniczne sprzyjające wykształceniu przez rośliny jak największej liczby łuszczyń plonujących z dużą liczbą nasion. W rzepaku jarym dobrze odżywionym

azotem ($120\text{--}160\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) preferowane winny być te zabieg agrotechniczne, które ograniczają redukcję nasion, tj. sprzyjają lepszemu wypełnieniu łuszczyń nasionami.

WNIOSKI

1. Ochrona rzepaku jarego przed szkodnikami uratowała średnio 5,9 dt nasion z 1 ha. Nie stwierdzono, aby zwiększenie poziomu nawożenia azotem zwiększało regenerację przez rzepak jary uszkodzeń owadzych.
2. Rzekpak jary zareagował istotnym przyrostem plonu nasion do najwyższej ($160\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) dawki azotu. Efektywność 1 kg azotu była największa w zakresie dawek do $80\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Przekroczenie tego poziomu obniżyło aż 2-krotnie efektywność 1 kg N.
3. Stwierdzono bardzo silne wzajemne oddziaływanie na siebie głównych komponentów plonu nasion rzepaku. Liczba łuszczyń na 1 m^2 była dodatnio skorelowana z liczbą nasion w łuszczyń, zaś masa 1000 nasion była ujemnie skorelowana z pozostałymi elementami struktury plonu (niezależnie od sposobu ochrony).
4. Plonowanie rzepaku jarego chronionego przed szkodnikami było determinowane przez wszystkie elementy struktury plonu (w przypadku masy 1000 nasion współczynnik ścieżki miał wartość ujemną). W rzepaku niechronionym decydującą rolę w kształtowaniu plonu odgrywała liczba nasion w łuszczyń.
5. Przy niskim poziomie odżywienia azotem (dawka $\leq 80\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) plon nasion rzepaku jarego kształtowały wszystkie jego składowe (w przypadku masy 1000 nasion współczynnik ścieżki był ujemny). Przy wysokim poziomie nawożenia ($120\text{--}160\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) dominujący wpływ na plon nasion rzepaku jarego miała jedynie liczba nasion w łuszczyń.

LITERATURA

- Budzyński W., Jankowski K. 2000. Wpływ azotu na plonowanie rzepaku w warunkach zróżnicowanej ochrony przed szkodnikami. W: Zbilansowane nawożenie rzepaku — aktualne problemy. Red. W. Grzebisz, AR, Poznań.
- Budzyński W., Ojczyk T. (red.). 1996. Rzekpak — produkcja surowca olejarskiego. Wyd. ART. Olsztyn.
- Cheema M. A., Malik M. A., Hussain A., Shsh S. H., Basara S. M. A. 2001. Effects of time and rate of nitrogen and phosphorus application on the growth and the seed and oil yield of canola (*Brassica napus* L.). *Agronomy and Crop Science* 186: 103 — 110.
- Dembiński F. 1975. Rośliny Oleiste. PWN, Warszawa.
- Hocking P. J., Randall P. J., Demarco D., Bamforth I. 1997. Assessment of the nitrogen status of field grown canola (*Brassica napus* L.) by plant analysis. *Aust. J. Exp. Agric.*, 37: 83 — 92.
- Idzkowska M., Gołaszewski J., Koczowska I., Grabowski S. 1993. Analiza współczynników ścieżek u żyta ozimego (*Secale cereale* L.). Cz. I. Analiza współczynników ścieżek w ocenie współzależności cech determinujących masę ziarna z kłosa. *Acta Acad. Agricult. Tech. Olst., Agricultura*, 56: 25 — 30.
- Jasińska Z., Kotecki A., Kozak M. 1997. Wpływ następczy roślin strączkowych i nawożenia azotem na rozwój i plon rzepaku jarego. *Rośliny Oleiste*, XVIII, 1: 199 — 208.
- Konys L., Wiśniewski P. 1984. Analiza ścieżkowa w układach przyczynowo-skutkowych. *Rocz. AR w Poznaniu*, CLIII: 37 — 56.
- Ojczyk T., Jankowski K. 1999. The effects of nitrogen fertilization on yield of protected and unprotected spring rape. *Proc. 10th Intern. Rapeseed Congress, Canberra 26-29.09.1999*. CD-ROM.

- Sądej W., Ciepielewska D., Nietupski M. 1996. Ochrona rzepaku jarego przed szkodnikami. *Rośliny Oleiste*, XVII: 353 — 360.
- Seta G., Drzewiecki S., Mrówczyński M. 1998. Zastosowanie nowych insektycydów w zwalczaniu słodyszka rzepakowego (*Meligethes aeneus* F.) na rzepaku jarym i ich wpływ na plonowanie roślin. *Rośliny Oleiste*, XIX: 301 — 306.
- Tatchell G. M. 1983. Compensation in spring sown oil seed rape (*Brassica napus* L.) plants in response to injury to their flower buds and pods. *J. Agric. Sci., Camb.*, 101: 565 — 573.
- Toboła P., Muśnicki Cz. 2000. Efektywność nawożenia rzepaku jarego azotem. [W:] Zbilansowane nawożenie rzepaku — aktualne problemy. Red. W. Grzebisz, AR Poznań.
- Williams I. H., Free J. B. 1979. Compensation of oil-seed rape (*Brassica napus* L.) plants after damage to their buds and pods. *J. Agric. Sci., Camb.* 92: 53 — 59.
- Wright S. 1934. The method of path coefficients. *Ann. Mathem. Stat.* 5: 161 — 215.