

KINGA STUPER-SZABLEWSKA¹

ANNA OSTROWSKA¹

TOMASZ GÓRAL²

ANNA MATYSIAK¹

JULIUSZ PERKOWSKI¹

¹ Uniwersytet Przyrodniczy, Katedra Chemii, Poznań

² Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Fitopatologii, Radzików

Porównanie aktywności przeciwutleniającej różnych odmian pszenicy ozimej naturalnie porażonej i inokulowanej grzybami z rodzaju *Fusarium**

Comparison of the antioxidant activity of different varieties of winter wheat naturally infected and inoculated with fungi of the genus *Fusarium*

Celem niniejszych badań było określenie aktywności antyoksydacyjnej ekstraktów z ziarna 30 odmian pszenicy ozimej oraz zawartości w nich polifenoli ogółem. Niniejszy cel realizowano poprzez analizę prób naturalnie porażonych określanych, jako kontrolne wzrastających w warunkach bez ochrony chemicznej oraz prób inokulowanych grzybami z rodzaju *Fusarium*. Stwierdzono, iż ekstrakty otrzymane z 30 odmian pszenicy wykazują zróżnicowaną aktywność antyutleniającą. Analiza statystyczna wyników wykazała wyższą aktywność prób inokulowanych mierzoną za pomocą zdolności do wygaszania wolnego rodnika ABTS* w porównaniu do prób kontrolnych. Zawartość polifenoli ogółem natomiast nie różniła się istotnie między próbkami kontrolnymi i inokulowanymi. W czasie niniejszych badań nie stwierdzono istotnej zależności pomiędzy zawartością polifenoli w ekstraktach, a aktywnością przeciwutleniającą.

Słowa kluczowe: polifenole, pszenica, właściwości antyoksydacyjne

The aim of this study was to determine the antioxidant activity and total polyphenol content of the grain extracts of 30 varieties of winter wheat. This aim was achieved by analyzing samples naturally infected and non-treated with fungicides, described as control and samples inoculated with fungi of the genus *Fusarium*. It was found that the polyphenol extracts obtained from 30 wheat cultivars had an antioxidant activity. Statistical analysis of the results showed a higher activity in the inoculated samples

* Praca powstała w wyniku realizacji projektu badawczego onr 2012/07/B/N29/02385 finansowanego ze środków Narodowego CentrumNauki
Praca przedstawiona na konferencji IHAR — PIB, Zakopane, 3 lutego 2015 roku

Redaktor prowadzący: Danuta Boros

as measured by the ability to quench free radical ABTS* compared to the controls. In contrast the total polyphenol content in the control and inoculated samples was not significantly different. There was no significant correlation between the content of polyphenols in the extracts and antioxidant activity.

Key words: polyphenols, wheat, antioxidant capacity

WSTĘP

Wśród substancji wykazujących biologiczną aktywność istotną grupę stanowią substancje o działaniu antystresowym w stosunku do roślin. Jednym z czynników stresogennych jest infekcja grzybicza (Góral i Walentyn-Góral, 2014; Wiśniewska i in., 2014 a). W ostatnim czasie znacząco wzrasta zainteresowanie kompleksowym spojrzeniem na mechanizmy odpornościowe roślin, w których jak donosi przedmiotowa literatura coraz większe znaczenie przywiązuje się do procesów przeciwutleniających (Adom i in., 2003; Ciołek i Makarska, 2004).

Tabela 1

Zawartość związków fenolowych w ekstraktach z różnych roślin uprawnych (Hodziec i in., 2009)
The total phenolics content in various crop extracts (Hodziec et al., 2009)

Rodzaj rośliny uprawnej Type of crop	Związki fenolowe ogółem (mg GA/L) Total phenolics (mg GA/L)	FRAP ($\mu\text{molFe}^{\text{II}}/\text{L}$) FRAP ($\mu\text{molFe}^{\text{II}}/\text{L}$)
Gryka — Buckwheat	20,35	385,71
Ryż — Rice	18,00	338,12
Owies — Oat	17,10	329,59
Jęczmień — Barley	13,56	279,40
Kukurydza — Corn	11,29	233,35
Pszemica — Wheat	8,46	190,26

mgGA/L — miligramy kwasu galusowego na litr ekstraktu (jednostka wyrażająca zawartość związków fenolowych ogółem w przeliczeniu na kwas galusowy); milligrams of gallic acid per 1 liter of extract (a unit expressing total phenolics content as the amount of gallic acid)

FRAP — ferrum reducing antioxidant power

$\mu\text{molFe}^{\text{II}}/\text{L}$ — liczba określająca zdolność badanej próbki do redukcji mikromoli jonu żelaza II w jednym litrze ekstraktu; a number of micromoles of iron ions that are reduced by one liter of the tested extract

Ilość i aktywność związków o charakterze antyoksydacyjnym obecnych w ziarnie zbóż, zależy w istotny sposób od rodzaju zboża (tab. 1), odmiany oraz adaptacji rośliny do warunków środowiskowych podczas wzrostu i rozwoju. Wśród zbóż uprawianych w strefie klimatu środkowoeuropejskiego istotną rolę odgrywają infekcje grzybami z rodzaju *Fusarium*, takimi jak: *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. avenaceum* (Wiśniewska i in., 2014 b). Zaburzają one naturalną równowagę roślin uprawnych. Podczas infekcji grzybiczej dochodzi do stanu zaburzenia równowagi pomiędzy zachodzącymi w warunkach fizjologicznych procesami utleniania, będącymi podstawą procesów życiowych, a procesami przeciwutleniającymi. Dochodzi wówczas do dominacji reakcji wolnorodnikowych o charakterze utleniającym. Za taki stan w komórkach roślinnych, nazywany stresem oksydacyjnym, odpowiedzialne są reaktywne formy tlenu, których nadmiar powstaje na skutek ich wzmożonej produkcji z endogennych źródeł organizmu roślinnego oraz środowiskowych czynników zewnętrznych. Ilość i aktywność przeciwutleniaczy obecnych w tkankach roślinnych zależy od wielu czynników m.in.

od przystosowania roślin do warunków środowiskowych podczas wzrostu i rozwoju. W prawidłowych warunkach fizjologicznych w komórkach organizmu utrzymuje się względna równowaga pomiędzy poziomem wytworzonych rodników tlenowych, a aktywnością przeciwutleniaczy. W następstwie zachwiania homeostazy komórek zachodzącego w stanach stresu, stanach zapalnych czy zaburzeń fizjologicznych wzrasta produkcja wolnych rodników, prowadząc bezpośrednio do stresu oksydacyjnego. (Silverman i in., 2005), podczas którego rośliny wykształcają antyoksydacyjny mechanizm obronny: enzymatyczny i nieenzymatyczny (Khan i in., 2009). Drugi rodzaj obronności rośliny opiera się na zwiększonej syntezie niskocząsteczkowych przeciwutleniaczy, do których należą głównie związki fenolowe (Gumul i in., 2005).

Celem niniejszych badań było określenie aktywności antyoksydacyjnej oraz zawartości polifenoli ogółem w ekstraktach z ziarna 30 odmian pszenicy ozimej. Niniejszy cel realizowano poprzez analizę prób naturalnie porażonych określonych, jako kontrolne wzrastające w warunkach bez ochrony chemicznej oraz prób inokulowanych grzybami z rodzaju *Fusarium*.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie infekcyjne

Do badań wybrano 30 odmian pszenicy zwyczajnej ozimej (*Triticum aestivum* L.) opisanych w pracy Góral i in. (2015). Odmiany te znajdują się w Krajowym Rejestrze Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU). Zostały one wprowadzone do rejestru w okresie od 1998 (Mewa) do 2009 (Belenus, Kampana). Odmiany pszenicy ozimej różniły się pod względem cech morfologicznych, odporności na choroby oraz pochodzenia.

Doświadczenia polowe zostały założone w układzie split-plot. Odmiany wysiano na poletkach o powierzchni 1 m² w trzech powtórzeniach w dwóch kombinacjach. Pierwsza stanowiła kontrolę, niechronioną fungicydami oraz nieinokulowaną. Druga kombinacja inokulowana była izolatami *Fusarium culmorum*. Dystans pomiędzy blokami wynosił 5 m. Bloki oddzielone zostały pasami szerokości 1 m obsianymi długosłomą odmianą pszenżyta ozimego.

Do produkcji inokulum zastosowano trzy izolaty *Fusarium culmorum* produkujące deoksyniwalenol (KF846 — chemotyp DON), niwalenol (KF350 — chemotyp NIV) i zearalenon (ZFR 16 — chemotyp DON). Izolaty należące do chemotypu DON pochodziły z Radzikowa i zostały wyizolowane z kłosów pszenicy (Wiśniewska i Kowalczyk, 2005; Ochodzki i Góral, 2006). Izolat o chemotypie NIV pochodził z Holandii (oznaczony, jako IPO348) i został wyizolowany z kłosa pszenicy (Snijders i Perkowski, 1990).

Izolaty były inkubowane na autoklawowanym ziarnie pszenicy w szklanych kolbach przez około 4 tygodni, a następnie naświetlane ciągłym światłem UV przez 4 do 7 dni w temperaturze 18°C. Ziarno skolonizowane przez *F. culmorum* było następnie suszone i przechowywane w lodówce w temperaturze 4°C do momentu użycia.

W dniu, kiedy wykonywana była inokulacja, ziarno z grzybnią i zarodnikami *F. culmorum* namaczano w wodzie przez około 2 godziny i następnie filtrowano w celu

uzyskania zawiesiny zarodników. Stężenie zawiesin zarodników poszczególnych izolatów ustalono na około 5×10^5 zar./ml za pomocą hematokrytu. Zawiesiny zostały zmieszane w równych proporcjach.

Kłosa pszenicy w fazie kwitnienia opryskiwano zawiesiną zarodników w ilości około 100 ml zawiesiny na 1 m². Inokulacja prowadzona była oddzielnie na każdym poletku na początku kwitnienia i powtarzana około 3 dni później w fazie pełni kwitnienia. W fazie tej pszenica jest najbardziej wrażliwa na infekcje kłosa przez *Fusarium*. Inokulacje prowadzone były w godzinach wieczornych, kiedy wzrastała względna wilgotność powietrza.

W czasie żniw zebrano ręcznie po 100 kłosów z każdego poletka. Kłosa młócone były młocarnią laboratoryjną o słabym nawiewnie w celu zapobieżenia utracie lekkich porażonych ziarniaków.

Przygotowanie ekstraktów

Do analizy polifenoli oraz aktywności przeciwutleniającej pobrane zostały próby ziarna o masie 50 g. Próby wysuszono do osiągnięcia suchej masy. Próby ziarna zmielono za pomocą młynka laboratoryjnego (WŻ-1). Masa ziarna do analizy wynosiła 10 g. Ekstrakcję wykonano w trzech powtórzeniach. Ekstrakcję prowadzono początkowo 40 cm³ 0,16 M HCl w 80% metanolu (v/v) przez 2 godz., z delikatnym mieszaniem w wytrząsarce z łaźnią wodną o temp. $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Następnie próbki wirowano ($4000 \times \text{g}$), supernatant zachowano, a osad ponownie ekstrahowano w podanych warunkach 40 cm³ 70% wodnego roztworu acetonu (v/v). Po odwirowaniu oba ekstrakty łączono i przechowywane w temperaturze -20°C . Przed przystąpieniem do analiz ekstrakty rozpuszczano w 100 ml MeOH (HPLC) i dzielono na 2 części.

Ogólna zawartość wolnych kwasów fenolowych (FPA — z ang. free phenolic acids)

Całkowitą zawartość związków fenolowych w ekstraktach oznaczono metodą z zastosowaniem odczynnika Folina-Ciocalteu (Singleton i Rossi, 1965).

Do 0,125 ml ekstraktu dodawano 0,5 ml dejonizowanej wody i 0,125 ml odczynnika Folina-Ciocalteu'a, a po 6 min 1,25 ml 7% wodnego roztworu Na₂CO₃ i 1 ml dejonizowanej wody. Po 90 min odczytywano absorbancję przy długości fali $\lambda = 760$ nm wobec wody. Wyniki wyrażano w mg/kg próbki. Próby wykonywano w trzech powtórzeniach, a przedstawione wyniki stanowią wartość średnią. Zastosowano standard w postaci kwasu galusowego.

Metoda ABTS^{•+}

Aktywność przeciwrodnikową badanych ekstraktów oznaczono metodą TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) z kationorodnikiem ABTS^{•+} (2,2-azynobis. (3etylobenzotiazolino-6-sulfonian) korzystając ze zmodyfikowanej metodyki Re i in. (1999) (Gliszczyńska-Świągło i in., 2006).

Zasada oznaczania aktywności antyoksydacyjnej polega na określeniu stopnia zmiatania rodników ABTS^{•+} wytworzonych uprzednio podczas reakcji chemicznych (np. z ditlenkiem manganu, związkiem ABAP oraz nadsiarczanem potasu). Wytworzone podczas reakcji rodniki mają barwę niebieskozieloną, antyoksydanty redukując kationorodnik powodują zanik barwy roztworu, przy czym spadek intensywności

zabarwienia zależy od zawartości przeciwutleniaczy w roztworze. Zmianę rodników śledzono spektrofotometrycznie, przy długości fali 734 nm. Zawartość przeciwutleniaczy wyrażono w μmol TROLOX/100g s.m. Wyniki przedstawiono w mg/kg próbki. Próby wykonywano w trzech powtórzeniach, a przedstawione wyniki stanowią wartość średnią.

Analiza statystyczna

Uzyskane wyniki poddano dwuczynnikowej analizie wariancji (ANOVA). Ocena istotności różnic pomiędzy średnimi została przeprowadzona przy użyciu wielokrotnego testu Duncana dla poziomu istotności $P < 0,05$. Zależność pomiędzy zawartością polifenoli a aktywnością antyoksydacyjną wyrażono w postaci współczynnika korelacji. Dla średnich z wszystkich wyników podano także wartości odchylenia standardowego.

WYNIKI

Zawartość związków fenolowych w analizowanych próbach ekstraktów z ziarna pszenicy naturalnie porażonego oraz inokulowanego grzybami z rodzaju *Fusarium* przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Zawartość ogółem wolnych kwasów fenolowych (FPA) (mg/kg) w ekstraktach z ziarna pszenicy poddanej inokulacji grzybami z rodzaju *Fusarium* (inokulowane) oraz naturalnie porażonej (kontrola)
Content of free phenolic acids (FPA) (mg/kg) in extracts from grain of wheat inoculated with *Fusarium culmorum* (inoculated) and naturally infected (control)

Odmiana Variety	Zawartość fenoli ogółem (FPA) (mg/kg) Content of free phenolic acids (FPA) (mg/kg)		Pojemność przeciwutleniająca (μmol TROLOX/100g s.m.) Antioxidant activity (μmol TROLOX/100g s.m.)	
	kontrola control	inokulowane inoculated	kontrola control	inokulowane inoculated
1	2	3	4	5
Legenda	530	540	1362	1423
Kohelia	532	543	1024	1294
Markiza	522	546	1267	1308
Mewa	543	553	970	1024
Slade	551	556	929	1199
Dorota	530	561	970	1145
Ostroga	532	563	956	1172
Anthus	551	567	1267	1402
Ludwig	546	568	1429	1443
Batuta	543	575	1308	1808
Meteor	540	575	1105	1227
Turkis	557	576	1218	1240
Belenus	552	580	794	1348
Boomer	546	580	1213	1429
Sukces	564	580	848	1240
Akteur	553	585	1673	1849
Bogatka	561	585	1281	1740
Muszelka	585	585	1294	1822
Alcazar	569	588	1592	1781

1	2	3	4	5
Smuga	546	588	1254	1321
Nateja	583	591	943	1159
Figura	572	596	1416	1632
Jenga	577	599	1159	1727
Kampana	580	614	1754	1835
Garantus	561	625	1456	1510
Ostka Strzelecka	564	628	1443	1619
Tonacja	572	636	1105	1362
Zyta	567	636	956	1375
Naridana	588	654	1267	1416
Mulan	569	665	1294	1362
Średnia±SD	557 ^a ±17,79	588 ^b ±32,15	1218 ^a ±240,78	1440 ^b ±158,37
Mean±SD				
NIR #		11,81		108,54
LSD#				

±SD odchylenie standardowe

±SD standard deviation

Absorbancja — metoda ABTS+

* Absorbance, ABTS*+ method

a, b — takie same litery w liniach oznaczają brak istotnych różnic na poziomie ufności $p = 0,01$ a, b — identical letters in rows denote a lack of significant differences at a significance level $p = 0.01$

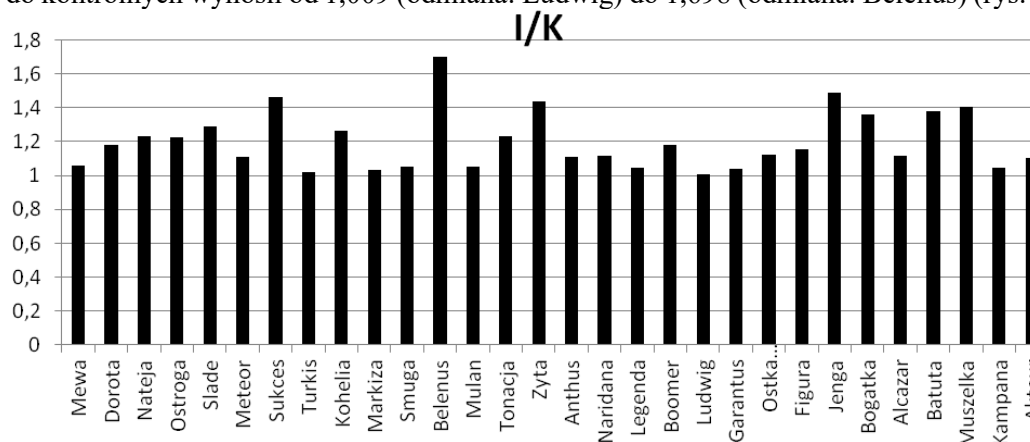
— Dla porównania średnich z dwóch wariantów (kontrola, inokulowane)

— For comparison of means of two variants (control, inoculated)

Stwierdzono, iż największa zawartość tych związków biologicznie czynnych znajduje się w próbach ziarna inokulowanego i wynosi od 540 do 665 (mg/kg). Niższe stężenie polifenoli ogółem wyznaczono w próbach naturalnie porażonych (kontrolnych) od 530 do 569 (mg/kg). Obliczony współczynnik korelacji między populacją prób kontrolnych i inokulowanych był wysoce istotny na poziomie ufności $P < 0,05$ i wyniósł $r = 0,728$. Do odmian zawierających najwięcej polifenoli należały odpowiednio: Kampana, Garantus, Ostka Strzelecka, Tonacja, Zyta, Naridana oraz Mulan. Przeprowadzona analiza wariancji nie wykazała istotnych różnic między badanymi odmianami pod względem zawartości polifenoli ogółem. Porównując wyniki absorbancji i wynikające z nich zawartości polifenoli dla poszczególnych odmian stwierdzono, iż dla wszystkich zawartość bioaktywnych związków jest wyższa w próbach inokulowanych niż w próbach kontrolnych.

Przeprowadzono również badania aktywności antyoksydacyjnej pozyskanych ekstraktów. Uzyskane wyniki zdolności ekstraktów do eliminacji wolnych rodników ABTS*+ prób kontrolnych i inokulowanych 30 odmian pszenicy przedstawiono tabeli 2. Odmiany przedstawiono na wykresie w kolejności od odmian cechujących się najniższym potencjałem antyoksydacyjnym (Mewa, Dorota, Nateja, Ostroga, Slade) do odmian o najwyższym (Alcetar, Batuta, Muszelka, Kampana i Akteur). Obliczony współczynnik korelacji dla potencjału antyoksydacyjnego między populacją prób kontrolnych i inokulowanych był wysoce istotny na poziomie ufności $P < 0,05$ i wyniósł $r = 0,751$. W przypadku aktywności przeciwutleniającej zaobserwowano podobną tendencję, jak w przypadku zawartości polifenoli ogółem stwierdzając, iż zdolność zmiatania wolnych

rodników ABTS jest wyższa w próbach inokulowanych niż w próbach kontrolnych. Obliczony stosunek aktywności przeciwutleniającej w próbach inokulowanych w stosunku do kontrolnych wynosił od 1,009 (odmiana: Ludwig) do 1,698 (odmiana: Belenus) (rys. 1).



Rys. 1. Wykres wartości współczynnika krotności dla zdolności antyoksydacyjnej ekstraktów z ziarna pszenicy poddanej inokulacji grzybami z rodzaju *Fusarium* oraz naturalnie porażonej (kontrola)
Fig. 1. A graph for multiplicity factor values for antioxidant activity of extract from grain of wheat inoculated with *Fusarium* fungi and naturally infected (control)

DYSKUSJA

Zboża uprawiane w warunkach naturalnych narażone są na wpływ niekorzystnych czynników określanych, jako stresy środowiskowe. Należą do nich infekcje zarówno bakteryjne, jak i grzybicze, ochrona chemiczna, stres wodny, mineralny oraz świetlny. W warunkach wymienionych stresów pojawiają się w roślinach mechanizmy obronne, dzięki którym wzrasta ich odporność na niekorzystne czynniki środowiskowe (Metraux, 2001). Przykładem tego typu działań jest m.in. wywołanie u roślin indukowanej odporności nabytej (SAR) (Bi i in., 1995; Clark i in., 2002). W naturalnych warunkach pojawia się ona u roślin w wyniku działania patogenów (Wiśniewska i Kowalczyk, 2005). Jednym z mechanizmów, który odgrywa istotną rolę w odpowiedzi rośliny na czynniki stresogenne jest mechanizm antyoksydacyjny. Bardzo istotną rolę pełnią w nim związki fenolowe. Wyniki licznych badań wykazują, że związki fenolowe mogą opóźniać fazę inicjacji lub przerywać łańcuch reakcji wolnorodnikowych (Ray Narayana i in., 2001; Dykes i Rooney, 2007). W ramach niniejszej pracy przedstawiono wyniki zawartości polifenoli ogółem w ekstraktach pochodzących z 30 odmian pszenicy ozimej. Niezbyt obszerna przedmiotowa literatura wskazuje, iż odporność odmiany na choroby grzybicze związana jest z większą zawartością związków fenolowych (Boutigny i in., 2008). Związki te mogą wpływać na ilość i jakość produkowanych toksyn fuzaryjnych (Bakan i in., 2003; Bily i in., 2003). Przedstawione badania wskazują także na niewielkie różnice w poziomie FPA między poszczególnymi odmianami. Zaobserwowano mianowicie, iż infekcja grzybami z rodzaju

Fusarium spowodowała podwyższenie zawartości polifenoli ogółem w przypadku wszystkich odmian, co do tej pory nie było przedstawiane w światowej literaturze. Jest to związane z uwalnianiem kwasów fenolowych z form związanych, co stanowi jeden z elementów odpowiedzi nieenzymatycznych mechanizmów odpornościowych roślin.

Uzyskane wyniki zawartości wolnych związków fenolowych zostały poszerzone o badanie aktywności przeciwutleniającej ekstraktów z ziarna pszenicy. Zaobserwowane tendencje wzrostu aktywności przeciwutleniającej w wyniku inokulacji dotyczące poszczególnych odmian są bardzo interesujące i nie były do tej pory opisywane. Przedstawiony na rysunku 1 współczynnik krotności zdolności do zmiatania rodnika ABTS^{•+} wykazał, iż odmiany (np.: Belenus) cechujące się niską odpornością na choroby grzybowe wykazują wyższą aktywność antyoksydacyjną podczas zmasowanej infekcji grzybami z rodzaju *Fusarium*, w stosunku do tych, które uważane są za bardziej odporne na infekcje grzybicze. Pomimo, iż nie stwierdzono istotnej korelacji między aktywnością antyoksydacyjną a zawartością polifenoli, zaobserwowane dla całej populacji prób tendencje są podobne i wskazują na aktywację mechanizmu antyoksydacyjnego podczas infekcji grzybami z rodzaju *Fusarium*. Jest to prawdopodobnie związane z faktem, iż na aktywność przeciwutleniającą rośliny składają się nie tylko wolne kwasy fenolowe, ale przede wszystkim kwasy związane, głównie ferulowy, p-kumarynowy oraz wanilina (Stuper-Szablewska i in., 2014). Postuluje się, iż w związku z powyższym przeprowadzenie dalszych prac nad zawartością i aktywnością związków o właściwościach przeciwutleniających w ziarnie pszenicy uprawianej w zróżnicowanych warunkach stresogennych (takich jak działanie środków ochrony roślin, czy jednoczesna inokulacja grzybami z rodzaju *Fusarium* i ochrona chemiczna), które pozwolą na bardziej efektywne wyjaśnienie zagadnienia stresu oksydacyjnego w kontekście odporności roślin.

WNIOSKI

1. Próby inokulowane ziarna pszenicy ozimej charakteryzowały się wyższą w stosunku do prób kontrolnych zawartością polifenoli oraz aktywnością przeciwutleniającą, co wskazuje na inicjację nieenzymatycznych mechanizmów odpornościowych roślin w wyniku infekcji grzybiczej.
2. Znaleziona istotna różnica w aktywności przeciwutleniającej między odmianami wskazuje na zróżnicowaną odpowiedź roślin na infekcję grzybiczą.
3. Zaobserwowano wysoce istotne korelacje między próbami kontrolnymi i inokulowanymi zarówno dla zawartości polifenoli i aktywności przeciwutleniającej.
4. Określone na podstawie analiz chemicznych tendencje dla całej populacji prób wskazują na wzmożoną aktywność procesów antyoksydacyjnych w ziarnie pszenicy podczas infekcji grzybami z rodzaju *Fusarium*.

LITERATURA

- Adom K. K., Sorrells M. E., Liu R. H. 2003. Phytochemical profiles and antioxidant activity of wheat varieties. *J. Agric. Food Chem.* 51: 7825 — 7834.
- Anonim. 2010. Lista opisowa odmian 2010. Rośliny rolnicze. Zbożowe. COBORU, Słupia Wielka.

- Bakan B., Bily A. C., Melcion D., Cahagnier B., Regnault-Roger C., Philogène B. J., Richard-Molard D. 2003. Possible role of plant phenolics in the production of trichothecenes by *Fusarium graminearum* strains on different fractions of maize kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 2826 — 2831
- Bily A. C., Reid L. M., Taylor J. H., Johnston D., Malouin C., Burt A. J., Bakan B., Regnault-Roger C., Pauls K. P., Arnason J. T., Philogène B. J. R. 2003. Dehydromers of ferulic acid in maize grain pericarp and aleurone: resistance factors to *Fusarium graminearum*. *Phytopathology* 93: 712 — 719.
- Bi Y. M., Kenton P., Mur L., Darby R., Draper J. 1995. Hydrogen peroxide does not function downstream of salicylic acid in the induction of PR protein expression. *Plant J.* 8: 235 — 245.
- Boutigny A. L., Richard-Forget F., Barreau C. 2008. Natural mechanisms for cereal resistance to the accumulation of *Fusarium* trichothecenes. *Eur J Plant Pathol.* 121: 411 — 423
- Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych. Rejestracja odmian, weryfikacja: 2015 — <http://www.coboru.pl/>.
- Ciołek A., Makarska E. 2004. Wpływ chemicznej ochrony na aktywność antyoksydacyjną polefenoli i frakcji tokoferoli ziarniaków pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.) *Biul. IHAR* 231: 147 — 156.
- Clark S. F., Guy P.L., Burrit D. J., Jameson P. E. 2002. Changes in the activities of antioxidant enzymes in response to virus infection and hormone treatment. *Physiol. Plant.* 114: 157 — 164.
- Dykes L., Rooney W. 2007. Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. *Cereal Foods World.* 52: 105 — 111.
- Gliszczyńska-Świątło A., Ciska E., Pawlak-Lemańska K., Chmielewski J., Borkowski T., Tyrakowska B. 2006. The changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli upon domestic processing. *Food Addit. Contam.* 23: 1088 — 1098.
- Góral T., Walentyn-Góral D. 2014. Odporność odmian i linii pszenicy jarej na fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyb *Fusarium culmorum*. *Biul. IHAR* 271: 3 — 16.
- Góral T., Stuper-Szablewska K., Buśko M., Boczkowska., Walentyn-Góral D., Wiśniewska H., Perkowski J. 2015. Relationships between genetic diversity and *Fusarium* toxins profiles of winter wheat cultivars. *J. Plant Pathol.* 31 (2): 1 — 19.
- Gumul D., Korus J., Achremowicz B. 2005. Wpływ procesów przetwórczych na aktywność przeciwutleniającą surowców pochodzenia roślinnego. *Żywn. Nauk. Technol. Jakość* 4 (45) Supl.: 41 — 48.
- Hodzic Z., Pasalic H., Memisevic A., Srabovic M., Saletovic M., Poljakovic M. 2009. The influence of total phenols content on antioxidant capacity in the whole grain extracts. *Eur. J. Sci. Res.* 3 (28): 471 — 477.
- Khan W., Rayirath U.P., Subramanian S., Jithesh M. N., Rayorath P., Hodges D. Mark, Critchley A.T., Craigie J. S., Norrie J., Prithviraj B. 2009. Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. *J. Plant Growth Regul.* 28 (4): 386 — 399.
- Metraux J. P. 2001. Systemic acquired resistance and salicylic acid: current state of knowledge. *Europ. J. Plant Pathol.* 13 — 18.
- Ochodzki P., Góral T. 2006. Production of mycotoxins by selected *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* isolates cultured on rice and wheat. *Conference Papers of 28. Mykotoxin-Workshop, Bydgoszcz, 29–31 May 2006:* 73.
- Ray Narayana K., Sripal Reddy M., Chaluvadi M. R., Krishna D. R. 2001. Bioflavonoids Classification, Pharmacological, Biochemical Effects and Therapeutic Potential. *Indian Journal of Pharmacology*, 33: 2 — 16.
- Re R., Pellerini N., Proteggente A., Pannala A. S., Yang M., Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* 26: 1231 — 1231.
- Silverman F. P., Petracek P. D., Heiman D. F., Fledderman C. M., Warrior P. 2005. Salicylate activity. 3. Structure relationship to systemic acquired resistance. *J. Agric. Food Chem.* 53 (25): 9775 — 9780.
- Singleton V. L., Rossi J. A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdc-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16: 144 — 158.
- Snijders C. H. A., Perkowski J. 1990. Effects of head blight caused by *Fusarium culmorum* on toxin content and weight of wheat kernels. *Phytopathol.* 80: 566 — 570.
- Stuper-Szablewska K., Kurasiak-Popowska D., Nawracała J., Perkowski J. 2014. Comparison of phenolic acids contents in various wheat genotypes (Porównanie profile kwasów fenolowych w różnych genotypach pszenicy). *Przem. Chem.* 93/12: 2274 — 2278.

- Wiśniewska H., Góral T., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Kwiatek M., Majka M., Grzeszczak I., Belter J., Banaszak Z., Pojmaj M., Kurlito D., Konieczny M., Budzianowski G., Cicha A., Paizert K., Woś H. 2014 a. Odporność rodów hodowlanych pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów. Biul. IHAR 271: 29 — 43.
- Wiśniewska H., Kowalczyk K. 2005. Resistance of cultivars and breeding lines of spring wheat to *Fusarium culmorum* and powdery mildew. J. Appl. Genet. 46: 35 — 40.
- Wiśniewska H., Stępień Ł., Waśkiewicz A., Beszterda M., Góral T., Belter J. 2014 b. Toxigenic *Fusarium* species infecting wheat heads in Poland. Cent. Eur. J. Biol. 9: 163 — 172.