

TADEUSZ ŚMIAŁOWSKI¹**MARIA BOGACKA**²**ZYGMUNT NITA**³**EDWARD WITKOWSKI**⁴¹ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie, Zakład Roślin Zbożowych W Krakowie² Hodowla Roślin DANKO, Zakład Hodowli Roślin, Oddział w Dębinie³ Hodowla Roślin Strzelce⁴ Hodowla Roślin Smolice

Wykorzystanie wieloczynnikowej analizy wariacji do oceny przezimowania wybranych rodów pszenicy ozimej*

The use of multifactorial analysis of variance in estimation of winter hardiness of winter wheat strains

Celem pracy było poznanie wpływu różnych czynników ilościowych i jakościowych takich jak; temperatury stycznia i lutego, pochodzenia genetycznego i geograficznego rodów pszenicy ozimej na ich przezimowanie w doświadczeniach polowych w 2009–2010 roku, przeprowadzonych w 3 miejscowościach. W celu wyjaśnienia wpływu badanych czynników na przezimowanie przeprowadzono wieloczynnikową analizę wariacji (ANOVA), która umożliwiła wyjaśnienie skomplikowanych relacji uwzględniających równocześnie wpływ wielu czynników (zmiennych) na konkretną cechę (zmienną). Materiałem badawczym były 2 serie doświadczeń polowych z 133 rodami pszenicy ozimej wysianej jesienią 2009 roku w 7 miejscowościach; Dębinie, Polanowicach, Kobierzycach, Nagradowicach, Smolicach, Strzelcach i Szelejewie. W 3 miejscowościach; Dębinie, Smolicach i Strzelcach wykonano wiosną 2010 roku ocenę przezimowania skali od 1 do 9 stopni, w której 1 oznacza słabe przezimowanie, a 9 — bardzo dobre. Zostały one sklasyfikowane jako zmienna ilościowa zależna. Czynniki objaśniającymi ilościowymi były minimalne wartości temperatury w styczniu i lutym, natomiast zmiennymi klasyfikującymi; podział na 2 serie, pochodzenie genetyczne i geograficzne rodów. Obliczenia wykonano na danych nietransformowanych. Przyjęto mieszany model analizy wariacji. Do obliczeń zastosowano wieloczynnikową analizę wariacji wykorzystując procedurę GLM w Systemie SAS® 9.13. Analiza wariacji ujawniła wysoce istotny średni kwadrat odchylenia dla przyjętego modelu. Stwierdzono istotny wpływ 3 badanych czynników; poziomu temperatury miesiąca lutego, genetycznego (obiekty) i geograficznego (pochodzenia) na poziom przezimowania badanych rodów pszenicy ozimej. Nie stwierdzono istotnej interakcji pomiędzy badanymi czynnikami.

* Praca była prezentowana w ramach I Warsztatów Biometrycznych, które odbyły się w IHAR-PIB w Radzikowie w dniach 14-15 września 2010 r.

Słowa kluczowe: ANOVA, rody, pszenica ozima, przezimowanie, opady, temperatury

The study aimed at recognition in the influence of some quantitative and qualitative factors, viz. temperatures in January and February, genetic and geographical origin, on winter survival of winter wheat strains at three locations in the 2009–2010 season. The applied procedure of multifactorial variance analysis enabled explanation of simultaneous complex relations between the factors and winter hardiness (dependent variable). The analysis based on two series of field experiments with 133 wheat strains sown in 7 locations, the variation was observed in three ones: Dębina, Smolice and Strzelce. The survival was scored with the 1–9 scale (9 was the best). The minimal temperatures of January and February formed the quantitative explanatory variables while the two series and the genetic and geographical origin constituted the classifying variables. The calculations were performed on the non-transformed data, conformably to the mixed-model ANOVA, using the GLM procedure of the SAS® 9.13 system. The mean square deviation for the applied model was highly significant. The influence of three factors: minimum temperature of February, genetic origin (the objects) and geographical origin (breeding stations) proved to be significant. No significant interaction between the factors was stated.

Key words: ANOVA, strain, winter wheat, winter hardiness, precipitations, temperature

WSTĘP

Poznanie i ocena wpływu czynników środowiskowych i genetycznych na przezimowanie pszenicy ozimej stanowi jeden z ważnych problemów z jakimi borykają się hodowcy tego cennego gatunku. Istotnym czynnikiem wpływającym na wiele cech a w konsekwencji na plon i jego jakość w naszej szerokości geograficznej jest odporność pszenicy ozimej na warunki zimowe. Liczne badania (Cecarelli, 1996, Gut i in., 1999; 2003, Hömmö, 1994, Kacperska, 1998, Koch i in., 1969, Rajki, 1980, Rybka i in., 1994, Sutka i in., 1986, 1997, Węgrzyn i in., 2002) ujawniły, że za przezimowanie pszenicy odpowiada splot wielu czynników, zwykle losowych trudnych do kontrolowania. Mogą to być zarówno zmienne losowe niekontrolowane (obiektywne) oraz kontrolowane, deterministyczne (subiektywne). Ocena przezimowania pszenicy w warunkach polowych często odbiega od wyników eksperymentów przeprowadzonych w ściślejszych doświadczeniach w warunkach kontrolowanych polegających na przemrażaniu siewek w komorach mrozeniowych (Gut i in., 1987; Gut, 2000; Wójcik, i in., 2007; Thomashow, 1998, 1999). Przyczyną tych różnic jest niezwykle zróżnicowana gama czynników wpływających na przezimowanie. Należą do nich głównie temperatura i jej rozkład w miesiącach zimowych, grubość pokrywy śnieżnej i długość czasu zalegania w miejscu uprawy, rodzaj gleby, nawożenie i sposób uprawy a także pochodzenie obiektów zarówno genetyczne jak i geograficzne. Wiele z tych czynników można skwantyfikować, wówczas stanowią one cenne źródło czynników(zmiennych) przydatnych do statystycznej oceny ich wpływu na inne ważne cechy np. przezimowanie badanych odmian i rodów pszenicy ozimej. Czynniki te klasyfikuje się jako ilościowe, mierzalne (np. temperatura, opad) i jakościowe (pochodzenie genetyczne i geograficzne obiektów). Kierując się tymi przesłankami przyjęto za cel pracy ocenę zależności pomiędzy niektórymi czynnikami ilościowymi, tj. temperaturą (stycznia i lutego), i jakościowymi (pochodzeniem genetycznym i geograficznym, doborem obiektów do serii) a przezimowaniem rodów pszenicy ozimej badanych w doświadczeniach wstępnych w 2009/2010 roku.

METODA

W celu wyjaśnienia wpływu różnych czynników na przezimowanie pszenicy ozimej przeprowadzono wieloczynnikową analizę wariancji (ANOVA). Metoda ta umożliwia wyjaśnienie skomplikowanych relacji w przypadku, gdy chcemy uwzględnić równocześnie wpływ wielu czynników (zmiennych) na jedną konkretną cechę (zmienną) (Karsai i in., 2001).

Przykładowy liniowy model analizy wariancji z dwoma czynnikami ich interakcją ma następującą postać (Frątczak i in., 2005):

$$x_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk},$$

gdzie:

μ — jest średnią ogólną

α_i — jest efektem działania czynnika A na poziomie i ($i = 1, 2, \dots, a$)

β_j — jest efektem działania czynnika B na poziomie j ($j = 1, 2, \dots, b$)

$(\alpha\beta)_{ij}$ — jest efektem interakcji czynników A i B na poziomie α_i, β_j

ε_{ijk} — jest błędem (losowym) związanym z k -tą obserwacją i -tego poziomu czynnika A_i -tego poziomu czynnika B_j .

Zakładamy, że błędy ε_{ijk} mają rozkład normalny o zerowej średniej i wariancji δ^2 dla wszystkich i, j, k .

Dla omawianego modelu można przeprowadzić testowanie różnych hipotez statystycznych (Frątczak i in., 2005; Sokołowski, 2010):

— Test na swoisty efekt czynnika A: Ma on ocenić, czy występują jakieś efekty swoiste dla czynnika A,

$H_0: \alpha_i = 0$ dla wszystkich $i=1 \dots a$,

H_1 : nie dla wszystkich $\alpha_i = 0$

Hipoteza zerowa jest prawdziwa wtedy i tylko wtedy, gdy nie występują różnice między średnimi, wynikającymi z zastosowania czynnika A na różnych poziomach (różnych zabiegach).

— Test na swoisty efekt czynnika B:

— Test na interakcję (AB):

$H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0$ dla wszystkich $i=1, \dots, a$ oraz $j=1, \dots, b$

H_1 : nie dla wszystkich $(\alpha\beta)_{ij} = 0$.

Jest to test na występowanie interakcji między czynnikami. Hipoteza zerowa jest prawdziwa, gdy nie występują związki między efektami oddziaływania dwóch czynników, czyli wtedy gdy efekty są addytywne.

Do weryfikacji hipotez służą algorytmy, na podstawie których można policzyć statystyki.

Zdefiniowane są one w sposób następujący:

x_{ijk} — jest k -tym wynikiem obserwacji przy poziomie i czynnika A oraz poziomie j czynnika B

\bar{x} — jest średnią ogólną,

\bar{x}_{ij} — jest średnią w klasie ij ,

\bar{x}_i — jest średnią wszystkich wyników obserwacji przy poziomie czynnika A,

\bar{x}_j — jest średnią wszystkich wyników obserwacji przy poziomie czynnika B.

Na mocy tych definicji zachodzą następujące równości:

$$\sum\sum\sum(x_{ijk} - \bar{x})^2 = \sum\sum(\bar{x}_{ij} - \bar{x})^2 + \sum\sum\sum(x_{ijk} - \bar{x}_{ij})^2$$

$$SST = SSTR + SSE$$

gdzie suma SSTR może być rozkładana na mniejsze składowe wg modelu:

$$\sum\sum\sum(x_{ijk} - \bar{x})^2 = \sum\sum\sum(\bar{x}_{ij} - \bar{x})^2 + \sum\sum\sum(x_{ijk} - \bar{x}_{ij})^2$$

gdzie:

$$\sum\sum\sum(\bar{x}_{ij} - \bar{x})^2 = \sum\sum\sum(\bar{x}_i - \bar{x})^2 + \sum\sum\sum(\bar{x}_j - \bar{x})^2 + \sum\sum\sum(\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i - \bar{x}_j + \bar{x})^2$$

gdzie:

$$SST = SSA + SSB + SS(AB) + SSE,$$

SSA — suma kwadratów odchyłeń wynikająca z działania czynnika A,

SSB — suma kwadratów odchyłeń wynikająca z działania czynnika B,

SS(AB) — suma kwadratów odchyłeń wynikająca z interakcji czynników A i B.

Ostateczny schemat dwuczynnikowego modelu ANOVA przedstawiony w tabeli 1 jest następujący;

Tabela 1

Schemat dwuczynnikowego modelu ANOVA
The two-way ANOVA model

Źródło zmienności Source of variability	Suma kwadratów odchyłeń SS	Liczba stopni swobody Df	Średnie kwadratów odchyłeń MS
Czynnik A Factor A	SSA	a-1	$MSA = \frac{SSA}{a-1}$
Czynnik B Factor B	SSB	b-1	$MSB = \frac{SSB}{b-1}$
Interakcja Interaction	SS(AB)	(a-1)(b-1)	$MS(AB) = \frac{SS(AB)}{(a-1)(b-1)}$
Błąd Error	SSE	ab(n-1)	$MSE = \frac{SSE}{ab(n-1)}$
Suma (zmienność całkowita) Total variability	SST	abn-1	-

A.D. Aczel, 2000, cyt. z podręcznika Frątczak i in. 2005

Eksperymenty badające jednoczesne działanie 2 czynników nazywa się dwuczynnikowymi albo eksperymentami o klasyfikacji dwukierunkowej. W przypadku 3 czynników mówimy o eksperymencie trójczynnikowym albo o eksperymencie o klasyfikacji trójkiernkowej; analogicznie — dla większej liczby czynników. Przykładowy model z trzema czynnikami klasyfikującymi i ich interakcją ma następującą postać:

$$x_{ijkl} = m + a_i + b_j + g_k + (ab)_{ij} + (ag)_{ik} + (bg)_{jk} + (abg)_{ijk} + e_{ijkl}.$$

Oprócz składników opisujących działanie poszczególnych czynników i ich interakcje w parach, pojawił się składnik $(abg)_{ijk}$, opisujący współdziałanie łącznie wszystkich trzech czynników.

Obliczona całkowita suma kwadratów dla wszystkich obserwacji jest dzielona na 8 części: 3 sumy kwadratów dla efektów głównych, 3 dla interakcji dwóch czynników,

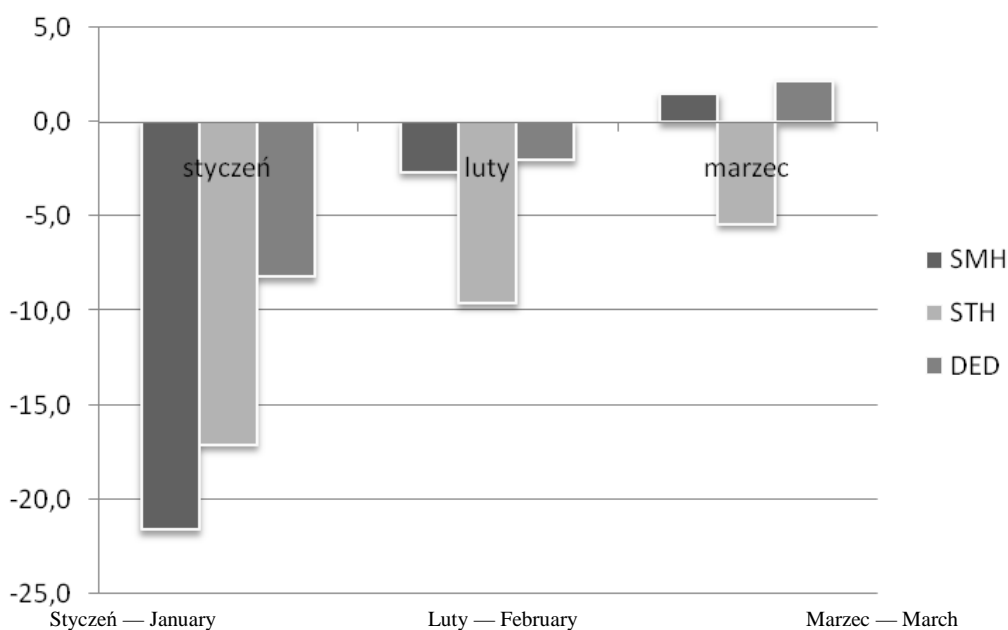
jedna dla interakcji trzeciego rzędu oraz suma kwadratów błędu. Sumy kwadratów, podobnie jak poprzednio, dzielimy przez związane z nimi liczby stopni swobody, aby otrzymać średnie kwadraty, które następnie wykorzystujemy do badania istotności efektów głównych i interakcji. Analiza i interpretacja są tu więc bardziej złożone, jednak podstawowe zasady są takie same. Podobnie będzie dla większej liczby czynników. W praktyce, z powodu trudności interpretacyjnych rzadko stosujemy analizy zawierające więcej niż 3 czynniki (Stanisz, 2010).

MATERIAŁ BADAWCZY

Materiałem badawczym były 133 obiekty pszenicy ozimej (130 rody oraz 3 odmiany wzorcowe —Tonacja, Bogatka i Muszelka). Grupa ta została podzielona na 2 serie po 68 obiektów, następnie wysiana jesienią 2009 roku w doświadczeniach polowych w 3 powtórzeniach na poletkach o powierzchni 10 m² w 7 miejscowościach: Dębinie, Polanowicach, Pustkowie, Nagradowicach, Smolicach, Strzelcach i Szelejewie. Struktura badanych obiektów charakteryzowała się różnorodnością morfologiczną wynikającą z odmiennych indywidualnych dla konkretnej hodowli (stacji) pochodzeń genetycznych, metod hodowlanych, różnic glebowo-klimatycznych. W celu poszukiwania źródeł zmienności czynników mających wpływ na przetrwanie odnotowano temperatury panujące w okresie wegetacji od siewów wykonanych na przełomie września i października 2009 do przełomu lutego i marca w 2010 roku, a więc momentu w którym zaobserwowano zróżnicowanie fenologiczne siewek. W 3 miejscowościach; Debinie, Smolicach i Strzelcach odnotowano wiosną w 2010 roku uszkodzenia polegające na osłabieniu, żółknięciu roślin (siewek) ocenione jako skutki warunków zimowych. Takie objawy przetrwania obiektów oceniono w skali od 1 do 9-stopni, w której 1 oznacza słabe przetrwanie, a 9 — bardzo dobre. Zostały one sklasyfikowane jako zmienna ilościowa zależna. Czynniki ilościowymi (objaśniającymi) były minimalne wartości temperatury w styczniu i lutym, natomiast zmiennymi klasyfikującymi; podział na 2 serie S1, S2, pochodzenie obiektów z 16 hodowli o symbolach (AND, CHD, DED, HRSM, KBH, KBP, KOH, LAD, MIB, MOB, NAD, POB, SMCM, SMH, STH, SZD) oraz 133 badane obiekty. Przyjęto mieszany model analizy wariancji dla którego przeprowadzono wieloczynnikową analizę wariancji wykorzystując procedurę GLM w Systemie SAS® 9.13. (SAS/STAT, 2003). Obliczenia wykonano na danych nietransformowanych.

WYNIKI I DYSKUSJA

Na rysunku 1. przedstawiono warunki przetrwania w trzech miejscowościach: Smolicach, Strzelcach i Dębinie. Krytyczną temperaturą (najzimniejszą lokalizacją) w 2010 roku charakteryzowały się wielkopolskie Smolice, średnią mazowieckie Strzelce i nieco cieplejszą Dębina na Żuławach. Styczeń okazał się najzimniejszym miesiącem w analizowanym okresie (rys. 1).



Rys. 1. Porównanie minimalnych temperatur w 3 środowiskach w okresie 3 miesięcy zimowych w 2010 roku

Fig. 1. The comparison of minimal temperatures in 3 environments in the period of 3 winter months in 2010

Średnie wartości przezimowania okazały się bardzo zbliżone w 3 miejscowościach w obu seriach doświadczeń (tab. 2) pomimo odmiennego składu genetycznego badanych obiektów.

Tabela 2

Wyniki oceny przezimowania pszenicy ozimej w 3 miejscowościach
The results of estimation of winter hardiness of winter wheat in 3 localities

Miejscowość Localities	Serie Series	Średnia ocena (w skali od 1-9) The mean estimation (in scale 1-9)	Zakres Range		CV (%) Coefficient of variability
			Min	Max	
Dębina	S1	7,1	5,0	8,3	10,5
Smolice	S1	7,2	5,3	8,0	7,53
Strzelce	S1	6,5	4,5	8,5	15,6
Dębina	S2	7,1	5,3	8,3	9,8
Smolice	S2	7,4	6,0	8,0	6,3
Strzelce	S2	6,3	4,5	8,0	13,0

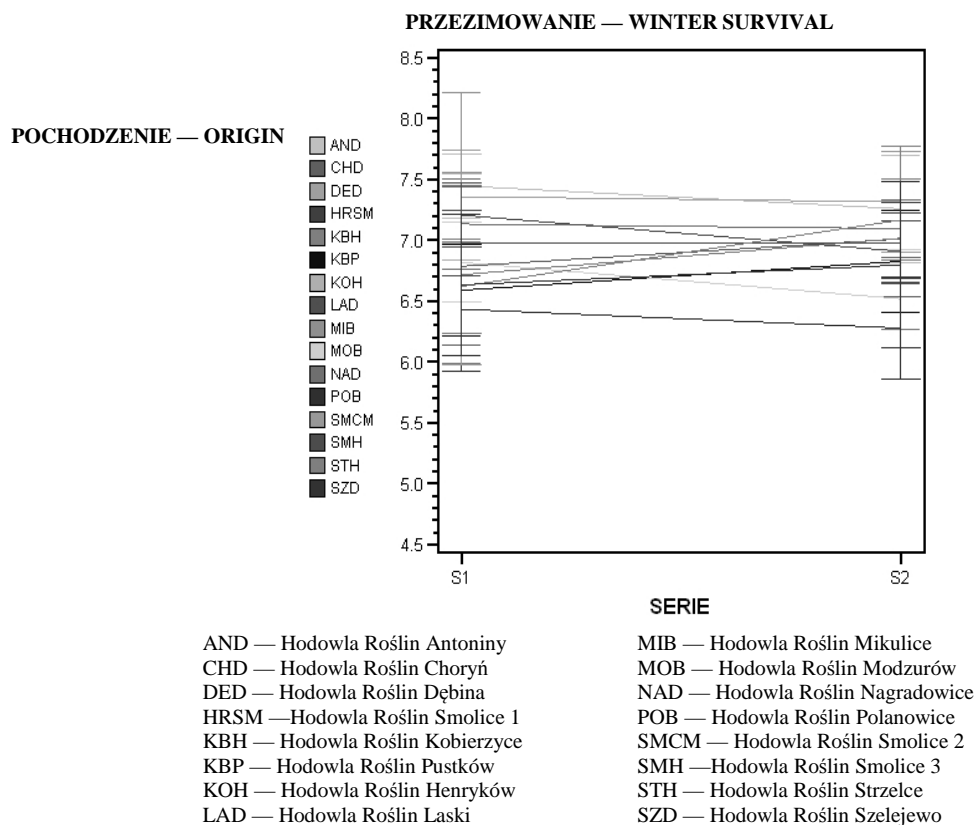
Obliczony współczynnik zmienności wskazuje na niewielkie zróżnicowanie oceny przezimowania w poszczególnych stacjach. Nieznacznie większym zróżnicowaniem przezimowania charakteryzowała się pszenica ozima w Strzelcach, pomimo wyższych temperatur w miesiącach zimowych (tab. 2). Okazało się również, że zróżnicowanie oceny przezimowania zarówno w obu seriach, jak i w 16 grupach utworzonych wg

pochodzenia geograficznego jest bardzo zbliżone. Powyższe spostrzeżenia dokumentują diagramy (rys. 2, 3). Wyniki te świadczą o zbliżonym poziomie przetrzymywania obiektów pszenicy ozimej badanych w obu seriach doświadczeń polowych pomimo odrębnego pochodzenia genetycznego. W celu sprawdzenia zbieżności przetrzymywania pomiędzy miejscowościami obliczono współczynniki korelacji (tab. 3).

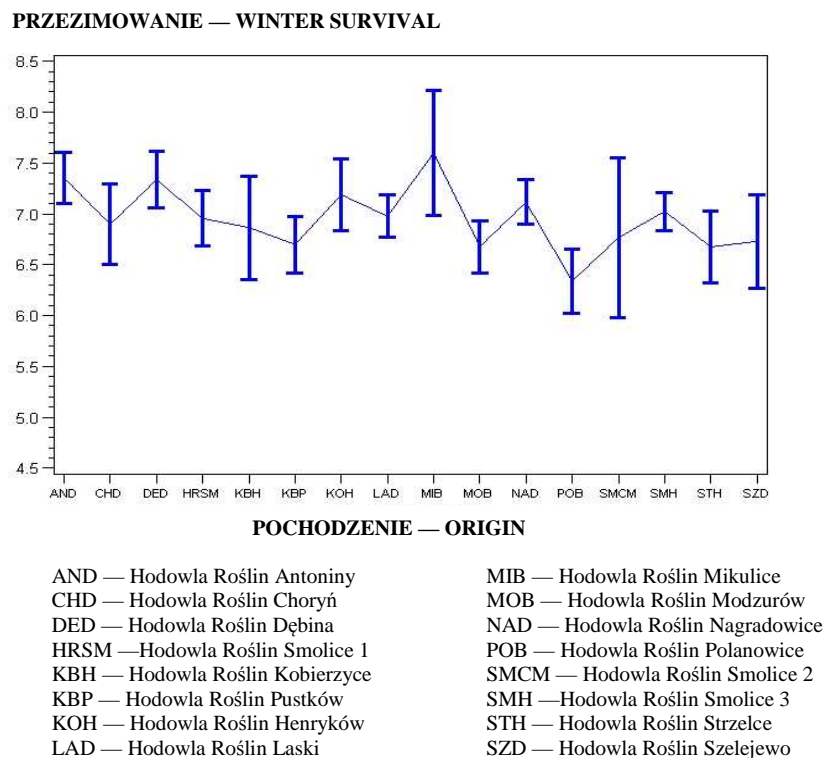
Tabela 3

Macierz współczynników korelacji pomiędzy przetrzymaniem w 3 miejscowościach
Matrix of correlation coefficients for winter hardiness in 3 localities

Miejscowości — Localities	s1 DED	s1SMH	s1 STH
s1 DED	1,000		
s1SMH	0,434	1,000	
s1 STH	0,604	0,293	1,000
Miejscowości — Localities	s2 DED	s2SMH	s2 STH
s2 DED	1,000		
s2SMH	0,472	1,000	
s2 STH	0,566	0,409	1,000



Rys. 2. Relacje średnich ocen przetrzymywania dla 2 serii i pochodzenia geograficznego
Fig. 2. The relations of average estimations of winter hardiness for 2 series and geographical origin



Rys. 3. Relacje średnich ocen przetrzymywania wraz z zakresami zmienności obiektów zgrupowanych pod względem pochodzenia geograficznego

Fig. 3. Average estimations and variation ranges of winter survival for winter wheat grouped in respect of geographical origin

Stwierdzono słabą, ale wprost proporcjonalną dodatnią współzależność badanych rodów pszenicy ozimej pod względem przetrzymywania w 3 miejscowościach dla obu serii. Zatem można przypuszczać, że pomimo sporych różnic pomiędzy miejscowościami, czyli oddziałującymi czynnikami (temperatury, typu gleby, wilgoci, itp.), reakcja rodów pszenicy ozimej była zbliżona w każdej z trzech miejscowości.

W celu ujawnienia statystycznego wpływu wymienianych czynników na ocenę przetrzymywania rodów pszenicy ozimej przeprowadzono wieloczynnikową analizę wariancji. Ujawniła ona wysoce istotny średni kwadrat odchyłeń wg przyjętego modelu liniowego analizy wariancji (tab. 4). Oznacza to, że przynajmniej jeden z czynników powinien istotnie wpływać na przetrzymywanie pszenicy ozimej. Prezentowane w tabeli 5 wyniki analizy wariancji dla badanych czynników wskazują, że 3 zmienne; minimalna temperatura miesiąca lutego, genotypy oraz miejsce hodowli (pochodzenie geograficzne) w sposób istotny wpłynęły na poziom przetrzymywania badanych rodów pszenicy ozimej w 3 miejscowościach. Czynniki, które nie wpływałyby na przetrzymywanie pszenicy ozimej okazały się temperatura stycznia (miesiąca mroźniejszego od lutego), rozłokowanie badanych obiektów w 2 seriach doświadczalnych. Nieistotne statystycznie okazały

się również 4 interakcje; temperatury lutego (minimalne) z pochodzeniem (czynnikiem geograficznym), temperatury lutego (minimalne) z seriami, temperatury lutego (minimalne) z obiektami (czynnikiem genetycznym) oraz serii z pochodzeniem geograficznym (tab. 5).

Tabela 4

Analiza wariancji przezimowania pszenicy ozimej dla całego modelu
The analysis of variance of winter survival of winter wheat for the total model

Źródło zmienności Source of variation	Liczba stopni swobody Df	Suma kwadratów SS	Średnia kwadratów SM	Wartość F Test F	Pr > F P-value
Model	270	224,78	0,83	1,96	<.0001
Błąd Error	136	57,89	0,43		
Razem Total	406	282,67			

Tabela 5

Tabela analizy wariancji dla zmiennych objaśniających przezimowanie pszenicy ozimej
The analysis of variance for explanatory variables of winter survival of winter wheat

Źródło zmienności Source of variation	Liczba st. sw. Df	Suma kwadratów SS	Średnia kwadratów MS	Wartość F Test F	Pr > F P-value
Styczeń — January	1	0,116	0,116	0,270	0,602
Luty — February	1	59,821	59,821	140,530	<.0001
Serie — Series	1	0,086	0,086	0,200	0,654
Pochodzenie — Origin	18	34,799	1,933	4,540	<.0001
Obiekty — Objects	114	101,478	0,890	2,090	<.0001
Interakcje Interaction					
Luty × Serie February × Series	1	0,260	0,260	0,610	0,436
Luty × Pochodzenie February × Origin	18	4,173	0,232	0,540	0,932
Luty × Obiekty February × Objects	114	23,325	0,205	0,480	1,000
Serie × Pochodzenie Series × Origin	2	0,719	0,360	0,840	0,432

Brak interakcji wskazuje, że w tym konkretnym eksperymencie czynniki objaśniające działały niezależnie, zmiana poziomu jednego czynnika nie powodowała zmiany drugiego. Omawiając uzyskane wyniki analizy statystycznej należy stwierdzić, że zimotrwałość pszenicy ozimej jest tym czynnikiem, na który w istotny sposób wpływają zarówno czynniki obiektywne czyli niekontrolowane zmienne losowe jak i subiektywne, czyli deterministyczne zmienne kontrolowane czynniki środowiska. Było do przewidzenia, że ważną rolę w poziomie zimotrwałości odgrywają czynniki losowe deterministyczne, czyli temperatury miesięcy zimowych (istotnym statystycznie okazał się miesiąc luty). Być może w tym miesiącu nastąpiły wczesnowiosenne rozhartowania

siewek pszenicy ozimej osłabiające już ich mrozoodporność. Przeprowadzona ocena wskazuje, że o dobrym przezimowaniu w polu nie tylko decyduje wyłącznie odporność na działanie silnego mrozu ale również inne czynniki genetyczne i środowiskowe (Cecarelli, 1997; Gut, 2003; Kacperska, 1998). Również w tych badaniach okazało się, że istotną rolę w zimotrwałości pszenicy ozimej odgrywał czynnik genetyczny (rody uzyskane jako efekt krzyżowania (mieszańce) odpowiednio dobranych komponentów oraz długotrwałej selekcji i badań). Kolejnym, jak się okazało istotnym, losowym czynnikiem było pochodzenie geograficzne badanych rodów. Na zmienność tego czynnika składała się wiele pośrednich elementów; odmienny dobór komponentów do krzyżowania, różne stosowane metody selekcji rodów (Bedo i in., 1987), odmiennie współdziałające warunki przyrodnicze w miejscu hodowli (Hömmö, 1994, cyt. za Gut, 2003).

WNIOSKI

1. Wieloczynnikowa analiza wariancji okazała się przydatna do oceny wpływu różnych czynników czyli niekontrolowanych zmiennych losowych (temperatury stycznia i lutego) i czynników deterministycznych, kontrolowanych zmiennych losowych (geograficznych, genetycznych) na przezimowanie pszenicy ozimej.
2. Na podstawie wykonanych obliczeń stwierdzono istotny statystycznie wpływ 3 badanych czynników; poziomu temperatury miesiąca lutego (minimalnej), czynnika genetycznego (obiekty) i geograficznego (pochodzenia-miejsca hodowli) na poziom przezimowania badanych rodów pszenicy ozimej. Wykazano, że przezimowanie rodów pszenicy ozimej było istotnie zależne od minimalnych temperatur w miesiącu lutym, wyraźnie cieplejszym od miesiąca stycznia.
3. Nie stwierdzono istotnej interakcji pomiędzy badanymi czynnikami wpływającymi na przezimowanie. Zatem czynniki oddziaływały niezależnie i zmiana jednego czynnika nie powodowała zmiany oddziaływania pozostałych. Oznacza to, że w tym konkretnym eksperymencie zmienność badanych obiektów pod względem tej cechy ujawniła się niezależnie od czynników genetycznych (rodzaju materiału wyjściowego, sposobu hodowli i innych elementów) oraz geograficznych (miejsca selekcji, adaptacji do warunków glebowo-klimatycznych).

LITERATURA

- Bedo Z., Devay M., Balla L. 1987. Breeding of winter wheat varieties resistant to late winter frost. *Cereal Res. Comm.* 15 (2-3): 131 — 137.
- Cecarelli S. 1996. Adaptation to low/high input cultivation. *Euphytica* 92: 203 — 214.
- Gut M., Struś M., Gołębiewska-Matek H. 1999. Mrozoodporność i zimotrwałość pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) w kolekcji roboczej Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin. *Biul. IHAR* 209: 47 — 55.
- Gut M. 2000. Mrozoodporność i zimotrwałość w hodowli zbóż ozimych — przegląd literatury. Cz. I. Uwarunkowania fizjologiczno-biochemiczne. *Biul. IHAR* 215: 23 — 33.
- Gut M. 2003. Mrozoodporność rodów hodowlanych pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.). Radzików. *Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR* 20.

- Gut M., Witkowski E. 1987. Badania nad mrozoodpornością rodów hodowlanych pszenicy (*Triticum aestivum* L.) w latach 1982–1985. Cz. I. Biul. IHAR 161: 3 — 10.
- Frątczak E., Pęczkowski M., Sienkiewicz K., Skaskiewicz K. 2005. Statystyka od podstaw z systemem SAS. Szkoła Główna Handlowa w Warszawie: 125 — 146.
- Hömmö L. M. 1994. Hardening of some winter wheat (*Triticum aestivum* L.), Triticale (*Triticosecale* Wittmack) and winter barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars during autumn and the final winter survival in Finland. Plant Breeding. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung 112 (4): 285 — 293.
- Kacperska A. 1998. Reakcje roślin na czynniki stresowe. W: Podstawy fizjologii roślin, red. J. Kopcewicz i S. Lewak, PWN, Warszawa.
- Karsai I., Meszaros K., Lang L., Hayes P.M., Bedo Z. 2001. Multivariate analysis of traits determining adaptation in cultivated barley. Plant Breeding 120 (3): 217 — 222.
- Koch M. D., Lehman E. O. 1969. Resistenz eingeschätzten im Gerste und Weizensortiment Gatersleben, 7 Prüfung der Frostresistenzpflanze D.A.I. XJV: 263 — 282.
- Rajki E. 1980. Winter hardiness. Frost resistance. Acta Agron. Acad. Scient. Hung.: 29 — 32.
- SAS/STAT User's Guide, Version 9.13. 2003. SAS Institute, Cary NC.
- Rybka Z., Zagdańska B., Gut M., Witkowski E., 1994. Przydatność metod oceny mrozoodporności materiałów hodowlanych pszenicy ozimej Biul. IHAR 192: 59 — 68.
- Sokołowski A. 2010. Estymacja i testowanie hipotez. Statistica w badaniach naukowych i nauczaniu statystyki. Kraków. StatSoft: 25 — 60.
- Stanisz A. 2010. Analiza wariancji — klasyfikacja wieloczynnikowa. On-line. www.mp.pl/artykuly/index.
- Sutka J., Galiba G., Veisz O., Snape J.W. 1997. Genes and breeding for cold hardiness in cereals. In: Crop development for the cool and wet regions of Europe. Eds. P. Sowiński, B. Zagdańska, A. Anioł, K. Pithan. Res. Progress COST 814-II, IHAR Radzików: 243 — 256.
- Sutka J., Kovacs G., Veisz O. 1986. Substitution analysis of the frost resistance and winter hardiness of wheat under natural and artificial conditions. Cereal Res. Commun. 14: 49 — 53.
- Thomashow M. F. 1998. Role of cold-responsive genes in plant freezing tolerance. Plant Physiol. 118: 1 — 7.
- Thomashow M. F. 1999. Plant cold acclimation: Freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. Ann. Rev. Plant Physiol., Plant Mol. Biol. 50: 571 — 599.
- Węgrzyn S., Wojas T., Śmiałowski T., 2002. Uwarunkowania genetyczne oraz współzależności plonu i wybranych cech użytkowych pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) Biul. IHAR 223/224: 77 — 86.
- Wójcik W., Czerwińska E. 2007. Badanie mrozoodporności pszenicy ozimej i pszenżyta ozimego w chłodni w Laskach. Nauka dla Hodowli Roślin Uprawnych. Nauka dla Hodowli Roślin Uprawnych. Streszczenia prac, Zakopane 2007:166.