

STANISŁAW WĘGRZYN

Zakład Roślin Zbożowych

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji. Roślin, Oddział w Krakowie

Wpływ zmniejszonej liczby powtórzeń na skuteczność oceny plonowania rodów pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.)

Effect of reduced number of replications on efficiency of yield estimation of new winter wheat strains (*Triticum aestivum* L.)

Na podstawie 152 doświadczeń wstępnych z rodami pszenicy ozimej przeprowadzonych w latach 1989–1999, dokonano analizy wpływu różnej liczby powtórzeń na ocenę plonowania 618 genotypów. Doświadczenia były zakładane metodą bloków niekompletnych w czterech powtórzeniach. We wszystkich latach liczba miejscowości wynosiła 14, z wyjątkiem ostatniego roku (12 miejscowości). Rozważano trzy kombinacje powtórzeń: cztery (wszystkie), trzy i dwa powtórzenia. W ocenie wpływu liczby powtórzeń posłużono się kilkoma parametrami, a mianowicie: współczynnikiem zmienności błędu (CV), fenotypowymi (PCV) i genotypowymi (GCV) współczynnikami zmienności dla obiektów, procentowym udziałem genotypowego komponentu (G), komponentu interakcji genotypowo-środowiskowej (GE) i komponentu błędu (E). Oszacowano także procentowy wskaźnik postępu genetycznego (PGI) przy określonej liczbie powtórzeń w stosunku do postępu genetycznego ze wszystkich powtórzeń. Ponadto obliczono współczynniki korelacji Pearsona (r_p) i Spearmana (r_s) pomiędzy średnimi plonami przy zmniejszonej liczbie powtórzeń a średnimi plonami ze wszystkich powtórzeń. Uzyskane wyniki wykazały, że ścisłość doświadczenia, mierzona współczynnikiem zmienności błędu, była taka sama dla wszystkich kombinacji powtórzeń i wynosiła 6,1%. Udział komponentu genotypowego w zmienności fenotypowej nieznacznie malał, zaś komponentu błędu wzrastał wraz ze zmniejszaniem się liczby powtórzeń. Natomiast udział komponentu interakcji genotypowo-środowiskowej pozostawał na tym samym poziomie. Wskaźnik postępu genetycznego (GPI), średnio z 11 lat, nieznacznie malał ze spadkiem liczby powtórzeń (98,2% dla trzech i 97,0% dla dwóch powtórzeń). Podobnie minimalnie spadały wartości współczynników korelacji. Wyniki te wskazują, że już dwa powtórzenia mogłyby być wystarczające dla oceny plonowania badanych rodów pszenicy ozimej.

Słowa kluczowe: genetyczne komponenty wariancji, korelacje, postęp genetyczny, powtórzenia, ścisłość doświadczenia, zmienność genetyczna

The data used in this study were obtained from 152 advanced winter wheat strain trials conducted during eleven years. The incomplete block designs with four replications were applied. The standard analysis of variance was performed for each trial. The following genetic parameters were considered: variation coefficient of error, phenotypic (PCV) and genotypic (GCV) coefficients of variation, genotypic (G), genotype-environment interaction (GE) and error (E) components of variation. The

genetic index of gain by selection (GPI) was also estimated. Moreover, the Pearson's (r_p) and Spearman's (r_s) correlation coefficients between yield means with reduced number of replications in relation to those for all replications were analysed. The obtained results show, that two replications were sufficient for yield evaluation of winter wheat strains.

Key words: accuracy trial, genetic components, genetic gain index, correlation, replication, genetic variability, winter wheat

WSTĘP

Doświadczenia z nowymi rodami stanowią bardzo ważny etap w hodowli roślin. Od nich w dużej mierze, zależy efektywność i szybkość postępu hodowlanego. Niezwykle ważną właściwością każdego doświadczenia jest możliwie najdokładniejsza ocena potencjału plonowania nowych rodów. Związane to jest z dokładnością przeprowadzenia doświadczeń, doбором właściwej metody założenia doświadczenia i sposobu obliczeń. Dla zwiększenia skuteczności obliczeń statystycznych zaleca się stosowanie metody AMMI, która łączy ocenę addytywnych efektów głównych i wieloczłonowych interakcji, z wykorzystaniem analizy składowych głównych (PCA). Szczegóły tej metody można znaleźć w pracy Bradu i Gabriela (1978). Im większa dokładność oceny potencjału plonowania genotypów, tym skuteczniejsza selekcja, a ze wzrostem tej ostatniej wzrasta prawdopodobieństwo, że wybrany genotyp na podstawie najwyższej średniej jest tym genotypem, który ma faktycznie najwyższą wartość (Gauch i Zobel, 1989). Bardzo ważną rolę w ocenie ścisłości doświadczenia odgrywa liczba powtórzeń. Zdaniem Wricke i Webera (1986) optymalna liczba powtórzeń zależy od stosunku genotypowej do niegenetycznej wariancji i rośnie ze wzrostem tej ostatniej. Ścisłość doświadczenia, zwykle, mierzy się procentową wartością błędu w stosunku do średniej arytmetycznej. Ścisłość ta, tzn. mniejsza wartość współczynnika zmienności, jest związana z liczbą powtórzeń. Im liczba powtórzeń większa, tym współczynnik zmienności mniejszy, a tym samym większa ścisłość doświadczenia, a więc i wzrasta skuteczność selekcji. Niestety, wzrost liczby powtórzeń podnosi koszty prowadzenia doświadczenia. Dlatego zrodziła się potrzeba badań nad minimalizacją liczby powtórzeń, przy której skuteczność selekcji byłaby jeszcze zadawalająca. Chociaż problem jest bardzo ważny, to jednak mało przeprowadzono badań w tym kierunku i są to badania tylko zagraniczne. Powyższe zagadnienie omówiono w kilku publikacjach zagranicznych (Towley-Smith i in., 1973; Bos, 1983; Bhatt, 1984; Gauch i Zobel, 1988 i 1989). W polskiej literaturze nie spotkałem wzmianki na ten temat, co absolutnie nie oznacza, że takich badań nie prowadzono. Jeśli one były, to raczej sporadyczne. Zagadnienie minimalnej liczby powtórzeń jest niezwykle ważne dla doświadczalnictwa hodowlanego, ze względu na dużą liczbę ocenianych rodów. Z tych przyczyn podjęto próbę przynajmniej częściowego rozwiązania tego problemu.

Celem niniejszej pracy jest analiza kilku parametrów i końcowej oceny skuteczności selekcji rodów pszenicy ozimej przy zmniejszonej liczbie powtórzeń.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły doświadczenia wstępne z rodami pszenicy ozimej. Analizą objęto 152 pojedyncze doświadczenia, przeprowadzone w kilku miejscowościach przez 11 lat i obejmowały łącznie 618 genotypów (tab. 1). Doświadczenia były zakładane metodą bloków niekompletnych w czterech powtórzeniach. Powierzchnia poletka do zbioru wynosiła 10 m². Każde pojedyncze doświadczenie było obliczone standardową metodą analizy wariancji. Dla każdego roku wykonano syntezę z poszczególnych miejscowości w trzech wariantach:

- wszystkie powtórzenia,
- trzy powtórzenia,
- dwa powtórzenia.

Nie rozważaliśmy doświadczeń jednopowtórzeniowych, gdyż do wyznaczenia przyjętych parametrów konieczne są przynajmniej dwa powtórzenia, z wyjątkiem współczynników korelacji. Dla wariantu trzech powtórzeń rozważano cztery kombinacje (1 + 2 + 3, 1 + 2 + 4, 1 + 3 + 4 i 2 + 3 + 4 — powtórzenie), zaś dla dwóch powtórzeń sześć kombinacji, odpowiednio (1 + 2, 1 + 3, 1 + 4, 2 + 3, 2 + 4 i 3 + 4). Ponieważ obliczone parametry dla każdej kombinacji nie różniły się między sobą, przeto wyniki uśredniono w ramach wariantów. Dla oceny różnych wariantów liczby powtórzeń przyjęto: ścisłość doświadczenia, mierzoną współczynnikiem zmienności (CV), czyli procentową wartością błędu doświadczenia w stosunku do średniej arytmetycznej, fenotypowe (PCV) i genotypowe (GCV) współczynniki zmienności, procentowy udział genetycznych komponentów zmienności oraz wskaźnik postępu genetycznego (GPI). Wszystkie te parametry zostały oszacowane ze średnich kwadratów odpowiednich składników w analizie wariancji. Ponadto obliczono współczynniki korelacji Pearsona (r_p) i Spearmena (r_s) pomiędzy średnimi plonami dla różnych kombinacji powtórzeń a średnimi plonami ze wszystkich powtórzeń. Współczynnik zmienności dla błędu oszacowano ze wzoru:

$$CV\% = 100 \left(\frac{\sqrt{m3_i}}{\bar{x}_i} \right)$$

Współczynnik zmienności fenotypowej (PCV):

$$PCV\% = 100 \left(\frac{\sqrt{m1_i / r_i s}}{\bar{x}_i} \right)$$

Współczynnik zmienności genotypowej (GCV):

$$GCV\% = 100 \left(\frac{\sqrt{(m1_i - m2_i) / r_i s}}{\bar{x}_i} \right)$$

Komponent genetyczny G:

$$G = \frac{m1_i - m2_i}{r_i s}$$

Komponent interakcji genotypowo-środowiskowej: GE

$$GE = \frac{m2_i - m3_i}{r_i}$$

Komponent błędu: E

$$E = m3_i$$

Procentowe udziały komponentów genetycznych w wariancji fenotypowej otrzymano ze wzorów:

a — dla genetycznego (PG),

$$PG\% = 100 * \left(\frac{m1_i - m2_i}{m1_i} \right)$$

b — dla interakcji genotypowo-środowiskowej (PGE),

$$PGE\% = 100 \left(\frac{m2_i - m3_i}{m1_i} \right)$$

c — dla błędu (PE),

$$PE\% = 100 \left(\frac{m3_i}{m1_i} \right)$$

Wreszcie wskaźnik postępu genetycznego (GPI):

$$GPI\% = 100 \left(\frac{(m1_i - m2_i) * m1_i}{(m1_i - m2_i) * m1_i} \right)$$

gdzie $m1_i$, $m2_i$ i $m3_i$ - są średnimi kwadratami z analizy wariancji odpowiednio dla: i-tej kombinacji powtórzeń oraz genotypów, interakcji genotypów z miejscowościami i błędem, zaś $\bar{x}$ — jest średnią arytmetyczną, r = liczbą powtórzeń oraz s = liczbą miejscowości.

WYNIKI I DYSKUSJA

Plony z czterech powtórzeń dla badanych lat wahały się od 68,3 do 86,3 dt/ha, ze średnią 78,7 dt/ha (tab. 1). Współczynniki zmienności dla błędu, charakteryzujące ścisłość doświadczenia, przy różnej liczbie powtórzeń, wahały się od 5,4% do 7,2% w poszczególnych latach (tab. 2). Ważone średnie współczynniki zmienności dla błędu w wariantach liczb powtórzeń miały takie same wartości, które wynosiły 6,1%. Wyniki te są zgodne z badaniami Gaucha i Zobela (1988). Otrzymali oni współczynniki zmienności dla błędu, które miały takie same wartości (5,7%), już od dwóch powtórzeń do pięciu powtórzeń.

Wielkości współczynników zmienności fenotypowej (PCV) i genotypowej (GCV) utrzymywały się na zbliżonym poziomie przy różnych liczbach powtórzeń, a wykazywały nieznaczną tendencję wzrostową wraz ze spadkiem liczby powtórzeń (tab. 3). Jest to zjawisko bardzo korzystne, gdyż ze zmniejszaniem liczby powtórzeń nie ulega redukcji zmienność fenotypowa i genotypowa, co ma duże znaczenie dla selekcji. Podobny obraz

otrzymano dla procentowego udziału komponentów genetycznych w zmienności fenotypowej (tab. 4). Udział komponentu zmienności genotypowej (G) minimalnie malał z redukcją liczby powtórzeń. Jednak udział tego komponentu był bardzo wysoki i przyjmował wartości dla kombinacji 4, 3 i 2 powtórzeń odpowiednio 83,2%, 82,1% i 79,8%. Udział komponentu genotypowego w wariancji fenotypowej jest niczym innym jak genetycznym uwarunkowaniem lub odziedziczalnością cechy.

Tabela 1

Liczba miejscowości, liczba genotypów pszenicy ozimej i ich średni plon ziarna z doświadczeń w latach 1989–1999
Number of localities and strains of winter wheat and their means of grain yield from trials of the period 1989–1999

Rok Year	Liczba miejscowości Number of locations	Liczba genotypów Number of genotypes	Plon ziarna Grain Yields dt/ha
1989	14	44	79,3
1990	14	49	77,7
1991	14	47	80,7
1992	14	49	80,0
1993	14	53	80,2
1994	14	61	86,3
1995	14	63	85,2
1996	14	64	80,0
1997	14	62	68,3
1997	14	59	79,4
1999	12	67	70,6
Razem lub średnia Total or mean	152	618	78,8*

* — Średnia ważona

* — Weighted average

Tabela 2

Współczynniki zmienności dla błędu doświadczenia przy różnej liczbie powtórzeń w doświadczeniach z rodami pszenicy ozimej w latach 1989–1999
Coefficient of variability for experimental error at different numbers of replications in winter wheat trials of the period 1989–1999

Rok Year	Liczba powtórzeń Number of replications		
	4	3	2
1989	7,2	7,2	7,1
1999	6,3	6,3	6,3
1991	6,2	6,2	6,2
1992	5,4	5,4	5,4
1993	6,9	6,9	6,8
1994	5,6	5,6	5,6
1995	5,4	5,4	5,5
1996	5,7	5,7	5,7
1997	6,6	6,6	6,6
1998	5,6	5,6	5,6
1999	5,9	5,9	5,9
Średnia Mean	6,1	6,1	6,1

Tabela 3

Fenotypowe (PCV) i genotypowe (GCV) współczynniki zmienności dla różnej liczby powtórzeń w 11-letnich doświadczeniach z rodami pszenicy ozimej
Phenotypic (PCV) and genotypic (GCV) coefficients of variation for different number of replications in eleven years of winter wheat trials

Rok Years	Stopnie swobody Degrees of freedom	Liczba powtórzeń Number of replications					
		4		3		2	
		PCV	GCV	PCV	GCV	PCV	GCV
1989	43	4,63	4,14	4,70	4,18	4,86	4,26
1990	48	4,45	3,93	4,45	3,91	4,52	3,91
1991	46	4,29	3,87	4,34	3,85	4,42	3,90
1992	48	3,21	2,85	3,27	2,88	3,41	2,97
1993	52	4,32	3,92	4,38	3,94	4,51	3,98
1994	60	3,95	6,65	4,00	3,67	4,10	3,72
1995	62	4,21	3,96	4,24	3,96	4,27	3,93
1996	63	4,24	3,83	4,27	3,83	4,31	3,81
1997	61	7,36	7,02	7,38	7,02	7,38	6,97
1998	58	3,52	3,18	3,55	3,17	3,60	3,15
1999	66	4,86	4,53	4,90	4,53	4,94	4,51
Średnia* Mean		4,50	4,12	4,53	4,13	4,60	4,14

* — Średnie ważone

* — Weighted average

Tabela 4

Procentowy udział genetycznych komponentów w zmienności fenotypowej dla trzech kombinacji powtórzeń w doświadczeniach z rodami pszenicy ozimej, w latach 1989–1999
Percentages of genetic components in the phenotypic variation for three combinations in replications of winter wheat trials of the years 1989–1999.

Rok Year	G			GE			E		
	4	3	2	4	3	2	4	3	2
1989	80,2	79,0	76,6	15,5	15,4	15,7	4,3	5,5	7,7
1990	77,8	77,0	74,7	18,6	18,3	18,4	3,5	4,7	6,9
1991	81,3	80,2	77,8	15,0	15,0	15,2	3,7	4,8	7,0
1992	78,9	77,8	75,7	16,1	15,7	15,3	5,0	6,5	9,0
1993	82,4	81,0	78,1	13,1	13,2	13,6	4,5	5,8	8,3
1994	85,5	84,5	82,4	10,9	10,8	10,9	3,6	4,7	6,7
1995	88,2	87,2	84,9	8,8	8,9	9,20	3,0	3,9	5,9
1996	81,4	80,3	78,1	15,4	15,5	15,6	3,2	4,2	6,3
1997	91,0	90,5	89,3	7,6	7,6	7,90	1,4	1,9	2,8
1998	81,3	79,6	76,3	14,2	14,5	15,0	4,5	5,9	8,7
1999	86,6	85,5	83,2	10,3	10,5	10,8	3,1	4,0	6,0
Średnia Mean	83,2	82,1	79,8	13,2	13,2	13,4	3,6	4,7	6,8

G — Komponent wariancji genotypowej

G — Component of genotypic variance

GE — Komponent interakcji genotypowo-środowiskowej

GE — Component of genotype-environment interaction variance

E — Komponent błędu

E — Component of error variance

Ten mały spadek udziału komponentu genotypowego odbywał się kosztem komponentu błędu (E), który nieznacznie wzrastał. Natomiast udział komponentu interakcji genotypowo-środowiskowej pozostawał na tym samym poziomie, pomimo redukcji liczby powtórzeń.

Wskaźniki postępu genetycznego przy zmniejszonej liczbie powtórzeń w stosunku do czterech powtórzeń wahały się od 96,2% do 100,6% w różnych latach i zmiennej liczby powtórzeń (tab. 5). Jedynie rok 1990 odbiegał od tych wartości, gdzie przy trzech i dwóch powtórzeniach wskaźnik wynosił odpowiednio 82,6% i 78,8%. Przypadek ten jest trudny do wytłumaczenia i może wiązać się ze zróżnicowaniem genetycznym materiału.

Tabela 5

Procentowe wartości wskaźnika postępu genetycznego (PGI) dla rodów pszenicy ozimej z doświadczeń o zmniejszonej liczbie powtórzeń w latach 1989–1999
Percentage values of relative index of genotypic in gain (GPI) for three and two replications in relation to that for four replications in winter wheat trials of the seven years

Rok Years	Liczba powtórzeń Number of replications	
	3	2
1989	100,2	100,6
1990	82,6	78,8
1991	99,5	98,5
1992	100,6	102,1
1993	99,7	99,1
1994	99,9	99,9
1995	99,4	97,4
1996	99,1	97,5
1997	99,7	98,3
1998	98,8	96,2
1999	99,2	97,6
Średnia Mean	98,2	97,0

Końcowym parametrem oceny średnich genotypów, ze względu na zmniejszającą się liczbę powtórzeń, były współczynniki korelacji Pearsona (r_p) i Spearmana (r_s) pomiędzy średnimi plonami z czterech powtórzeń a średnimi plonami, obliczonymi przy zredukowanej liczbie powtórzeń. Obserwowano bardzo dużą zgodność w uszeregowaniu średnich (tab. 6). Redukcja o jedno powtórzenie, czyli z czterech do trzech praktycznie nie powodowała żadnych zmian w uszeregowaniu genotypów, o czym świadczy wysokość i zgodność obydwóch współczynników korelacji ($r_p = 0,99$ i $r_s = 0,985$). Minimalny spadek wartości współczynników korelacji obserwowano w przypadku dwóch powtórzeń. Współczynniki korelacji przyjmowały wartości odpowiednio $r_p = 0,97$ i $r_s = 0,96$. Uzyskane wyniki pokrywają się z badaniami Bhatta i wsp. (1984). Otrzymali oni współczynniki korelacji dla różnych zestawów genotypów pszenicy za okres 11 lat, od 0,88 do 0,98, ze średnią 0,94.

Biorąc pod uwagę wartości wszystkich oszacowanych parametrów można zasugerować stwierdzenie, że już dwa powtórzenia byłyby wystarczające do oceny genotypów pszenicy ozimej pod względem ich potencjału plonowania.

Tabela 6

Współczynniki korelacji pomiędzy średnimi plonami genotypów z czterech powtórzeń a średnimi plonami z trzech i dwóch powtórzeń dla doświadczeń z rodami pszenicy ozimej w latach 1989–1999
Coefficients of correlation between yield means from four replications and yield means from three and two replications for winter wheat trials of the eleven years

Rok Year	r_p^*		r_s^{**}	
	3	2	3	2
1989	0,984	0,951	0,979	0,944
1990	0,987	0,967	0,984	0,965
1991	0,991	0,971	0,985	0,961
1992	0,981	0,942	0,975	0,929
1993	0,987	0,960	0,980	0,949
1994	0,988	0,964	0,984	0,953
1995	0,994	0,982	0,986	0,965
1996	0,994	0,982	0,992	0,978
1997	0,997	0,991	0,993	0,983
1998	0,992	0,975	0,983	0,957
1999	0,994	0,980	0,989	0,970
Średnia Mean	0,990	0,970	0,985	0,959

* — r_p Współczynnik korelacji Pearsona

* — r_p Pearson's coefficient of correlation

** — r_s Współczynnik korelacji kolejności Spearmana

** — r_s Spearman's (rank) coefficient of correlation

LITERATURA

- Bhatt G.M., Ellison F.W. Marshall D.R. 1984. A case for unreplicated plots for multi-step yield testing in wheat. Aust. J. Agric. Res. 35: 107 — 114.
- Bos I. 1983. The optimum number of replications when testing lines of families on a fixed number of plots. Euphytica 32: 311 — 318.
- Bradu D., Gabriel K. R. 1978. The biplot as a diagnostic tool for models of two-way tables. Technometrics 20: 47 — 68.
- Gauch H.G. jr., Zobel R.W. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. Theor. Appl. Genet. 76: 1 — 10.
- Gauch, H.G. jr., Zobel R.W. 1989. Accuracy and selection success in yield trial analyses. Theor. Appl. Genet. 77: 473 — 481.
- Snedecor G. W., Cochran W. G. 1980. Statistical methods. 7th ed. Iowa State University Press, Ames: 44-45 and 264 — 265.
- Talbot M. 1984. Yield variability of crop varieties in the UK. J.Agric.Sci.102: 315 — 321.
- Townley-Smith T. F., Hurd E. A., McBean D.S. 1973. Techniques of selection for yield in wheat. Proc. 4th Int. Wheat Genetics Symposium. Missouri. Agr. Exp. Sta., Columbia.
- Wricke G., Weber W. E. 1986. Quantitative genetics and selection in plant breeding. Walter de Gruyter, Berlin, New York.