

WIESŁAW PILARCZYK^{1,2}**ANNA FRAŚ**²¹ Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych, Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego, Poznań² Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych, Słupia Wielka

Próba określenia reprezentatywnego zbioru miejscowości w serii doświadczeń odmianowych z pszenicą ozimą

Choosing representative subset of locations in series of winter wheat trials

Wnioski dotyczące wartości gospodarczej odmian (WGO) są zazwyczaj podejmowane w oparciu o wyniki serii doświadczeń przeprowadzonych w różnych środowiskach (stacjach doświadczalnych). Liczba takich doświadczeń w Polsce, w zależności od znaczenia gospodarczego gatunku, waha się od kilkudziesięciu dla ważnych gospodarczo gatunków do zaledwie kilku dla gatunków mniej ważnych. Przemiany zapoczątkowane w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku zaowocowały między innymi zmianami w polskiej ocenie odmian. „Racjonalizacja” kosztów doprowadziła do redukcji liczby stacji doświadczalnych i liczby doświadczeń dla praktycznie wszystkich gatunków. W jaki sposób taka redukcja mogła się odbić na wynikach dotyczących badanych odmian zostanie zaprezentowane w oparciu o wyniki serii 65 doświadczeń z pszenicą ozimą z roku 1991.

Słowa kluczowe: interakcja genotypowo-środowiskowa, reprezentatywność miejscowości, seria doświadczeń

Inference on value for cultivation and use (VCU) of new varieties is usually based on results of series of trials performed in different environments (trial stations, locations). The size of series (number of locations) depends on economic importance of species and varies (in Poland) from very few trials for less important species to several dozens for the most important ones. Transformations in Poland during last twenty years caused also changes in official variety testing. Among the results of changes is reduction of the number of trial stations and reduction of size of series of trials performed for VCU purposes for practically all species. How this reduction can influence the results of series of trials and – indirectly – the conclusions on varieties is shown using results of extensive series of trials on winter wheat performed in the year 1991.

Key words: genotype-environment interaction, representativeness of locations, series of trials

WSTĘP

Zagadnieniom związanym z optymalizacją metodyki badań odmianowych w Polsce poświęcone jest wiele prac, m.in. Pilarczyka (1977, 1988, 1990). W opracowaniu z roku

1977 podano między innymi w jaki sposób, wykorzystując estymatory komponentów wariancji, można znaleźć optymalne relacje między liczbą lat badań, liczbą punktów doświadczalnych w latach oraz liczbą replikacji w doświadczeniach pojedynczych. Kluczowym zagadnieniem w analizie serii doświadczeń odmianowych jest interpretacja interakcji odmian ze środowiskiem doświadczalnym. W literaturze przedmiotu można znaleźć setki prac poświęcone temu zagadnieniu. Istnieją trzy główne nurty proponowanych rozwiązań tego zagadnienia. W pierwszym nurcie próbuje się nadać interakcji określony kształt najczęściej zależny od efektów głównych zarówno odmian jak i efektów środowiska. Do tej grupy można zaliczyć wiele prac związanych z tzw. multiplikatywnym modelem interakcji, Gauch (1988), Gauch i Furnas (1991) oraz Piepho (1997). Do drugiego nurtu należą prace wykorzystujące randomizacyjny model obserwacji w serii doświadczeń. Do tej grupy należy między innymi praca Calińskiego i innych (2005). Istnieje też cały szereg propozycji pośrednich. Obszerny przegląd takich modeli można znaleźć w opracowaniu Denis i wsp. (1997). I w końcu, do trzeciego nurtu można zaliczyć prace ukierunkowane na grupowanie odmian, lub środowisk, albo też zarówno odmian, jak i środowisk. Celem tych grupowań jest wyjaśnienie możliwie największej części zmienności efektów interakcji przez interakcję międzygrupową, a poprzez to zredukowanie zmienności efektów interakcji w obrębie grup. Tym zagadnieniom poświęcone są m.in. opracowania Lin (1982), Lin i Binns (1985), Lin i Butler (1988) oraz Pilarczyk (1983).

Liczba przeprowadzonych doświadczeń z określonym zestawem genotypów w zasadniczy sposób wpływa na wynik interpretacji interakcji odmian ze środowiskiem. Pełna interpretacja jest czasami możliwa jedynie w sytuacji, gdy liczba doświadczeń przewyższa liczbę badanych odmian. Taka sytuacja bardzo rzadko jest możliwa w praktyce. Jak wspomniano w streszczeniu, liczba doświadczeń przeprowadzanych dla potrzeb polskiej oceny odmian spada. Celem niniejszego opracowania jest pokazanie, przy wykorzystaniu stosunkowo obszernych danych, dotyczących plonu ziarna pszenicy ozimej z doświadczeń rejestrowych przeprowadzonych w roku 1991, jak liczba doświadczeń wpływa na wielkość interakcji odmian ze środowiskiem. Ponieważ szereg stacji doświadczalnych, w których w roku 1991 przeprowadzono doświadczenia, znikło z mapy punktów doświadczalnych, dodatkowo zostanie sprawdzone, czy były to środowiska mające kluczowe znaczenie dla interpretacji interakcji odmian ze środowiskiem, czyli czy ich usunięcie nie pogorszyło reprezentatywności pozostałych miejscowości względem rejonu uprawy pszenicy ozimej w Polsce.

MATERIAŁ DOŚWIADCZALNY

Wszystkie rozważania prowadzone są przy wykorzystaniu wyników serii doświadczeń z pszenicą ozimą, przeprowadzonych w sezonie 1990/1991 w 65 stacjach doświadczalnych polskiej oceny odmian. Przyjmujemy, że te miejscowości są próbą reprezentatywną populacji środowisk tworzących obszar uprawy pszenicy w Polsce. Wszystkie doświadczenia zaplanowano w układzie 1-rozkładalnym o blokach niekompletnych w czterech powtórzeniach. Stosowano bloki niekompletne o pojemności 8 i 7

poletek. Każde poletko miało powierzchnię 15 m² (1,5 m na 10 m). Badano 37 odmian. Po wykonaniu analizy wariancji (w każdym doświadczeniu pojedynczym) dla plonu ziarna, przeliczonego na standardową wilgotność 15% i wyrażonego w q/ha, zestawiono poprawione wartości średnie dla odmian w środowiskach, w dwukierunkowej tabeli odmiany × miejscowości. Wszystkie następne analizy wykonywane są przy wykorzystaniu wyników zamieszczonych w tej tabeli. Ze względu na obszerność wymienionych danych nie są one zamieszczone w niniejszym opracowaniu. Wykaz badanych odmian wraz ze średnim plonem obliczonym ze wszystkich 65 stacji doświadczalnych podany jest w tabeli 1.

Tabela 1

Wykaz badanych odmian w serii 1991
List of varieties in the 1991 series of trials

L.p. No	Odmiana Variety	Średni plon Mean yield	L.p. No	Odmiana Variety	Średni plon Mean yield
1	Begra	63,1	20	Olh 186	69,3
2	Gama	65,8	21	Lad 487	72,1
3	Panda	65,7	22	Olh 387	72,2
4	Weneda	66,4	23	Boa 287	70,0
5	Emika	67,0	24	Roma	71,4
6	Jawa	70,6	25	Jubilatka	72,8
7	Lanca	70,5	26	Olh 689	70,8
8	Koda	67,2	27	And 989	71,7
9	Alba	70,1	28	Kobra	75,3
10	Niwa	65,5	29	Smh 1389	73,2
11	Parada	67,4	30	Milan	68,3
12	Oda	70,4	31	Aleta	72,2
13	Rada	68,3	32	Chd 690	70,7
14	Almari	72,9	33	Ded 490	71,5
15	Kamila	73,7	34	Koc 1789	73,1
16	Nike	68,8	35	Maltanka	72,6
17	Rosa	67,1	36	Mikon	71,9
18	Arda	69,2	37	Elena	72,7
19	Lama	70,9			

Odmiany różnią się od siebie w sposób znaczący, gdyż najniższy średni plon wyniósł 63,1 q/ha dla odmiany Begra, natomiast najwyższy 75,3 q/ha dla odmiany Kobra. Wykaz stacji doświadczalnych, w których przeprowadzono doświadczenia podany jest w tabeli 2. Stacje doświadczalne wyróżnione drukiem pochylonym nie należały do sieci stacji doświadczalnych oceny odmian. Drukiem wytłuszczonym oznaczone są stacje doświadczalne istniejące nadal w roku 2006. Stacje doświadczalne różnią się od siebie w sposób znaczący pod względem poziomu plonowania. Najniższy przeciętny plon był w stacji doświadczalnej Małyszyn (46,7 q/ha), a plon najwyższy otrzymano w stacji doświadczalnej Rychliki (91,7 q/ha). Wykorzystując dane zamieszczone w tabeli 1, wykonano analizę wariancji serii 65 doświadczeń z 37 odmianami, przy ich krzyżowej klasyfikacji. Średni kwadrat dla interakcji odmianowo-środowiskowej (interakcja odmian z miejscowościami) w analizowanej serii doświadczeń wyniósł $MS_{OM} = 21,491$. Hipoteza o braku interakcji

została odrzucona na poziomie $p < 0,01$. Przy testowaniu istotności interakcji wykorzystano tzw. błąd odtworzony z doświadczeń pojedynczych.

Tabela 2

Wykaz stacji doświadczalnych

List of trial stations

Nr. No.	Miejscowość Location	Średni plon Mean yield	Nr. No.	Miejscowość Location	Średni plon Mean yield	Nr. No.	Miejscowość Location	Średni plon Mean yield
1	Prusim	57,0	23	Śrem	77,2	45	Kochcice	79,8
2	Rarwino	58,3	24	Kościelna W.	66,6	46	Pawłowice	77,2
3	Przelewice	84,2	25	Kościelec	71,3	47	Słupia	73,1
4	Białogard	59,3	26	Chrzastowo	71,7	48	Bogusławice	83,4
5	Dąbrówka	61,7	27	Fałęcin	88,1	49	Węgrzce	67,5
6	Wyczechy	69,9	28	Głębokie	54,9	50	Czesławice	56,2
7	Karżniczka	62,6	29	Głodowo	61,9	51	Bezek	72,7
8	Lisewo	67,2	30	Opiesin	85,0	52	Przeclaw	82,5
9	Stare Pole	74,5	31	Lućmierz	54,3	53	N. Lubliniec	60,5
10	Dębina	67,7	32	Masłowice	77,1	54	Zadąbrowie	73,1
11	Radostowo	72,4	33	Sulejów	70,5	55	Jelenia Góra	63,2
12	Rychliki	91,7	34	Kawęczyn	63,7	56	Bukówka	71,1
13	Wróćkowo	83,0	35	Seroczyn	75,5	57	Szczawno Zd.	64,8
14	Garbno	82,2	36	Marianowo	86,1	58	Kłodzko	73,2
15	Ruska Wieś	63,4	37	Krzyżewo	81,9	59	Nowy Dwór	76,2
16	Wysoka	66,4	38	Cicibór Duży	65,9	60	Grabownica	70,2
17	Świebodzin	81,4	39	Tomaszów B.	52,2	61	Dukla	68,5
18	Grabik	73,2	40	Krościna M.	85,4	62	Małyszyn	46,7
19	Nowa Wieś U.	70,5	41	Kwietno	70,1	63	Jasienica	69,5
20	Bobrowniki	76,4	42	Tarnów	76,5	64	Sędziszów	50,6
21	Słupia Wielka	85,6	43	Nysa	73,6	65	Nienaszów	30,1
22	Bojanowo	59,4	44	Głubczyce	66,5			

METODA

Do analizy danych opisanych w poprzednim paragrafie zastosowano metodę opisaną w pracy Lin (1982). Analiza ukierunkowana jest na znalezienie odpowiedzi na pytanie, czy wszystkie z 65 miejscowości, w których przeprowadzono doświadczenia są niezbędne do opisu interakcji odmian ze środowiskiem oraz które z miejscowości są najbardziej odpowiednie do zachowania w przypadku ich redukcji. Odpowiedzi na takie pytanie można szukać analizując wszystkie możliwe podzbiory miejscowości zaczynając od liczebności 2, a na 65 kończąc oraz obliczając dla każdego podzbioru średni kwadrat dla interakcji odmian ze środowiskiem. Wybór możliwie najmniejszego podzbioru miejscowości, gwarantującego w przybliżeniu taką samą wartość średniego kwadratu dla interakcji, jaki obliczono z całego zbioru danych, wydaje się być intuicyjnie dobrym rozwiązaniem. Jednakże liczba możliwych podzbiorów miejscowości jest tak duża (tu większa niż $36,8 \times 10^{18}$), że praktycznie nie jest możliwe przeanalizowanie ich wszystkich. Praktycznie możliwe do zastosowania rozwiązanie tego problemu zostało zaproponowane przez Lin (1982), który zauważył, że średni kwadrat dla interakcji $MS(1,2,\dots,n)$ obliczony w dwuwymiarowej tablicy danych o n wierszach, odpowiadających miejscowościom i m kolumnach, odpowiadających odmianom, można wyrazić poprzez średnie kwadraty dla

interakcji z tablic o 2 wierszach i m kolumnach, czyli przez $MS(i,i')$, (gdzie i -oznacza miejscowość i -tą, a i' , miejscowość i' -tą) przy użyciu wzoru:

$$MS(1,2,\dots,n) = 2 \sum_{1 \leq i < i'}^n MS(i,i') / [n(n-1)] \quad (1)$$

Równanie to w łatwy sposób daje się przekształcić do postaci:

$$MS(1,2,\dots,n) = \frac{(n-2)}{n} MS(1,2,\dots,n-1) + \frac{2}{n(n-1)} SR(n) \quad (2)$$

gdzie $SR(n) = \sum_{k=1}^n MS(n,k)$.

Równanie to pokazuje, że na średni kwadrat dla interakcji przy n miejscowościach składają się dwie części. Pierwsza część jest, przemnożonym przez $(n-2)/n$, średnim kwadratem dla interakcji obliczonym z tablicy o $(n-1)$ wierszach, zatem przy wyłączeniu jednej miejscowości, np. miejscowości n -tej. Druga część jest sumą średnich kwadratów dla interakcji, przemnożoną przez $2/n(n-1)$, obliczonych dla wszystkich par miejscowości z miejscowością n -tą. A to z kolei oznacza, że jeśli $MS(1,2,\dots,n)$ jest średnim kwadratem dla interakcji dla całego zbioru danych, to największy średni kwadrat dla interakcji wśród wszystkich możliwych podzbiorów o liczebności $(n-1)$ miejscowości gwarantuje podzbiór z którego usunięto miejscowość o indeksie k , dla której otrzymano najmniejszą wartość $SR(i)$, $i = 1, 2, \dots, n$. Zatem postępowanie rozpoczyna się od obliczenia średniego kwadratu dla interakcji dla całego zbioru danych, a następnie na obliczeniu wartości $SR(i)$. W następnych krokach usuwane są po kolei ze zbioru miejscowości te, dla których stwierdzono najmniejsze wartości $SR(i)$, za każdym razem obliczając wartości (największego z możliwych) średniego kwadratu dla interakcji, dla $n-1, n-2, \dots, 3, 2$ miejscowości. Na podstawie tych wartości można przedstawić graficznie zależność średniego kwadratu dla interakcji od liczby doświadczeń i na jego podstawie podjąć decyzję ile i jakie miejscowości są konieczne dla reprezentatywnej oceny interakcji odmian ze środowiskiem i wiarygodnej oceny adaptacji odmian w rejonie uprawy. Analizy doświadczeń pojedynczych wykonano przy wykorzystaniu stosowanego w polskiej ocenie odmian programu Adoj a wszystkie pozostałe obliczenia przy użyciu arkusza kalkulacyjnego Excel.

WYNIKI

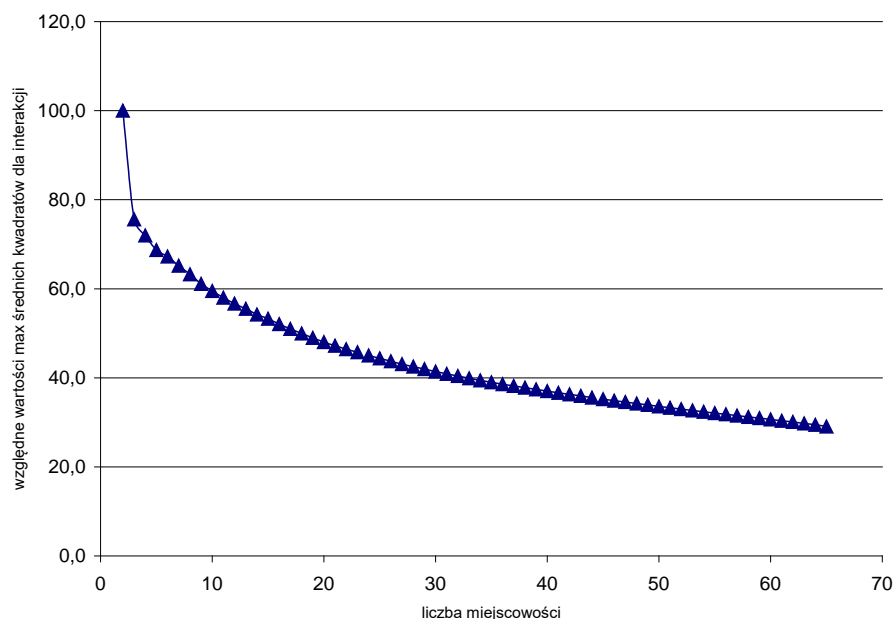
Wykorzystując średnie poprawione otrzymane za pomocą analizy wariancji danych z doświadczeń pojedynczych dla 65 stacji doświadczalnych i 37 badanych odmian, obliczono największe wartości średnich kwadratów dla interakcji dla kolejnych liczb doświadczeń od 65, przez 64, ..., aż do 2. Otrzymane wartości zestawione są w tabeli 3.

Tabela 3

Średnie kwadraty dla interakcji (MS) w zależności od liczby miejscowości
Mean squares for interaction (MS) related to the number of locations

Krok Step	L. miejsc. No of loc.	MS	Zbiór miejscowości (numery są podane w tabeli 2) Set of locations (numbers are given in table 2)														
			1	65	21,491	24	28	27	59	60	26	14	39	40	10	55	15
			20	57	3	53	62	42	54	65	44	7	64	51	30	31	13
			11	33	41	46	2	4	18	61	52	1	35	17	23	6	43
			12	9	58	22	16	8	56	38	21	50	32	48	34	49	36
			25	47	29	45	37										
11	55	23,716	24	28	27	59	60	26	14	39	40	10	15	55	63	19	5
			20	57	53	62	3	42	54	65	7	44	64	51	30	13	33
			31	11	46	41	2	18	52	35	4	1	61	6	17	23	12
			9	43	58	22	56	16	8	38	21	50					
21	45	26,023	24	28	27	59	60	26	14	39	40	10	55	15	63	5	20
			19	57	62	53	42	3	65	54	7	64	44	51	30	13	31
			33	11	41	46	18	2	1	61	4	35	52	17	23	9	43
31	35	28,820	24	28	27	59	60	26	14	39	40	10	55	15	63	5	20
			57	19	62	53	42	65	54	7	3	64	44	51	13	30	33
			31	35	18	41	2										
41	25	32,778	24	28	59	27	14	60	26	39	15	40	10	55	63	5	62
			57	20	42	53	65	7	19	54	64	3					
51	15	39,377	24	28	59	27	39	60	14	26	15	55	5	10	63	40	62
52	14	40,074	24	59	28	27	39	14	60	15	26	5	63	55	10	40	
53	13	41,010	24	59	28	27	39	26	60	14	15	5	55	63	10		
54	12	41,878	24	59	28	27	39	14	60	26	15	5	55	63			
55	11	42,864	24	59	28	27	14	39	60	15	26	5	55				
56	10	43,968	24	59	28	39	27	14	60	15	26	5					
57	9	45,142	24	59	39	28	60	14	15	27	26						
58	8	46,752	24	59	28	39	27	60	14	15							
59	7	48,181	59	24	39	28	60	14	27								
60	6	49,691	59	24	28	14	60	39									
61	5	50,777	59	24	14	28	60										
62	4	53,173	24	59	28	14											
63	3	55,845	59	24	28												
64	2	73,899	24	59													

I tak np. maksymalny średni kwadrat dla interakcji przy 15 miejscowościach wyniósł 39,377, 45,142 przy 9 miejscowościach oraz 73,899 przy 2 miejscowościach. Ze względu na obszerność danych, zestawiono wartości najpierw z krokiem 10, a od liczby doświadczeń 15 z krokiem 1. Wartości te wyrażono następnie w procentach wartości średniego kwadratu dla interakcji dla dwóch miejscowości (Kościelna Wieś i Nowy Dwór) i przedstawiono graficznie na rysunku 1. Można zauważyć, że od liczby doświadczeń około 15, krzywa łącząca kolejne punkty jest prawie płaska, co oznacza, że taka liczba doświadczeń jest bliska liczbie optymalnej. Porównanie zestawu miejscowości tworzących ten podzbiór z wykazem z tabeli 2 pokazuje, że jest wśród nich osiem stacji doświadczalnych, które z różnych względów znikły z mapy punktów doświadczalnych polskiej oceny odmian oraz siedem nadal działających stacji doświadczalnych.



Rys. 1. Względne wartości maksymalnych średnich kwadratów dla interakcji dla podzbiorów miejscowości o różnych liczebnościach, wyrażone w procentach średniego kwadratu dla interakcji dla dwóch miejscowości o największej interakcji

Fig. 1. Relative values of maximum mean squares for interaction for subsets of locations of different sizes, expressed in percentages of the mean square for interaction for pair of locations with maximum interaction

DYSKUSJA

Otrzymane wyniki pokazują, że usuwanie stacji doświadczalnych, powodowane często przyczynami ekonomicznymi, może prowadzić do utraty miejscowości wnoszących istotną informację o interakcji odmian ze środowiskiem w skali rejonu uprawy. W prowadzonych tu rozważaniach nie uwzględniano innego aspektu doboru miejscowości, zapewniającego reprezentatywność dla określonego rejonu glebowo-klimatycznego. Może się przecież zdarzyć, że pewne miejscowości, które nie wchodzą do podzbioru miejscowości o różnych liczebnościach, gwarantujących dużą interakcję odmian z miejscowościami, mogą tylko w niewielkim stopniu zmniejszać tę interakcję a jednocześnie mogą lepiej od innych reprezentować warunki panujące w określonym rejonie. Takie rozważania nie były tu prowadzone. W literaturze, patrz np. Lin i Butler (1988), można znaleźć pewne propozycje uwzględnienia także tego aspektu zagadnienia. Jedną z możliwości jest zastosowanie analizy skupień z wykorzystaniem miary odległości między miejscowościami ściśle związanej z interakcją odmian z miejscowościami (odległości te mogą np. być wyliczane przy wykorzystaniu odchyłeń interakcyjnych odmian w miejscowościach). Warto także

wspomnieć, że przeprowadzona tu analiza i wnioski są oparte tylko na wynikach jednorocznych. Jest to dalece niewystarczające dla pełnej wiarygodności wnioskowania. W planowanej drugiej części prowadzonych tu rozważań autorzy zamierzają przeanalizować wyniki trzyletniej serii podobnych doświadczeń i poszerzyć zakres analizy o aspekty związane z podobieństwem miejscowości z punktu widzenia interakcji odmian ze środowiskiem doświadczalnym.

WNIOSKI

Przeprowadzone rozważania pozwalają na stwierdzenie, że:

1. wyniki z dobrze dobranych kilkunastu (do około dwudziestu) miejscowości stanowią wystarczającą dużą próbę, do wnioskowania o zachowaniu się odmian w zróżnicowanym środowisku doświadczalnym;
2. wnioski dotyczące przydatności poszczególnych miejscowości muszą być jednakże potwierdzone wynikami kolejnych lat doświadczeń.

LITERATURA

- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Pilarczyk W. 2005. Analyzing multi-environment variety trials using randomization-derived mixed models, *Biometrics* 61: 448 — 455.
- Denis J. B., Piepho H. P., van Eeuwijk F. A. 1997 Modeling expectation of variance for genotype by environment data, *Heredity* 79: 162 — 171.
- Gauch H. G. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction, *Biometrics* 44:705 — 715.
- Gauch H. G., Furnas R. E. 1991. Statistical analysis of yield trials with MATMODEL, *Agron. J.* 83: 916 — 920.
- Lin C. S. 1982. Grouping genotypes by a cluster method directly related to genotype-environment mean square. *Theor. Appl. Genet.* 62: 277 — 280.
- Lin C. S., Binns M. R. 1985. Procedural approach for assessing cultivar-location data: Pairwise genotype-environment interaction of test cultivars with checks, *Can. J. Plant. Sci.* 65: 1065 — 1071.
- Lin C. S., Butler G. 1988. A data-based approach for selecting locations for regional trials, *Can. J. Plant Sci.* 68: 651 — 659.
- Piepho H. P. 1977. Analyzing genotype-environment data by mixed models with multiplicative effects, *Biometrics* 53: 761 — 766.
- Pilarczyk W. 1977. Optymalizacja wielkości serii doświadczeń w czasie i przestrzeni, *Colloquium Biometryczne*, Tom. 7: 272 — 282.
- Pilarczyk W. 1983. Wykorzystanie analizy skupień do podziału stacji doświadczalnych na grupy o małej interakcji odmianowo-środowiskowej, *Colloquium Biometryczne*, Tom. 13: 133 — 147.
- Pilarczyk W. 1988. Planowanie i analiza doświadczeń — teoria i praktyka. *Wiadomości Odmianoznawcze* 6/28: 3 — 58.
- Pilarczyk W. 1990. Skuteczność różnych metod analizy jednoczynnikowych doświadczeń blokowych, *Wiadomości Odmianoznawcze* 2/39: 1 — 101.