

WIELOZMIENNA ANALIZA STATYSTYCZNA DWULETNIEGO DOŚWIADCZENIA Z ODMIANAMI *Festulolium*

Danuta Kachlicka¹, Zygmunt Kaczmarek², Iwona Mejza¹, Wojciech Jokś³,
Zbigniew Zwierzykowski²

¹Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych,

Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu

²Instytut Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu

³Hodowla Roślin Szelejewo, Sp. z o.o. w Szelejewie

Wstęp

Gatunki z rodzajów *Lolium* (życica) i *Festuca* (kostrzewa) należą do grupy ważnych traw pastewnych. Odznaczają się wieloma uzupełniającymi się cechami, takimi jak: wysoka jakość żyć oraz trwałość i odporność na stresy środowiskowe kostrzew. Właściwości te poprzez krzyżowanie międzyrodzajowe mogą być łączone w mieszańcach i wykorzystywane do tworzenia nowych odmian. W kompleksie *Lolium-Festuca* szczególnie zainteresowanie hodowców zwrócone jest na mieszańce tetraploidalne *Lolium multiflorum* ($2n = 4x = 28$) \times *Festuca pratensis* ($2n = 4x = 28$), określane nazwą *Festulolium* [= \times *Festulolium braunii* (K. RICHTER) A. CAMUS], [ZWIERZYKOWSKI i in. 1993]. W Europie wyhodowano szereg odmian *Festulolium*, m.in. Elmet w Wielkiej Brytanii, Paulita w Niemczech, Perun w Republice Czeskiej oraz Felopa i Sulino w Polsce [ZWIERZYKOWSKI, NAGANOWSKA 1994; JOKŚ i in. 1998].

Analizowane doświadczenie dotyczy porównania czterech istniejących odmian i dwóch nowych rodów *Festulolium*, pochodzących z międzyrodzajowych mieszańców: *Lolium multiflorum* \times *Festuca pratensis* oraz *L. perenne* \times *F. pratensis*. Ze względu na ograniczoną ilość nasion dwóch odmian zagranicznych (Elmet i Prior) doświadczenie to zostało założone w układzie bloków niekompletnych. Prowadzone było w jednej miejscowości w ciągu dwóch lat pełnego użytkowania. Uzyskane wyniki plonu suchej masy dla czterech pokosów w pierwszym roku pełnego użytkowania poddano analizie statystycznej [KACHLICKA i in. 2000]. Obejmowała ona jednozmienną analizę wariancji opartą na modelu mieszanym oraz analizę szczegółową z wykorzystaniem kontrastów. W niniejszej pracy przedstawiono wielozmienną analizę statystyczną plonu suchej masy doświadczenia po dwóch latach użytkowania z uwzględnieniem poszczególnych pokosów i plonu rocznego [CALIŃSKI i in. 1975; MORRISON 1990].

Materiał i metody

Dwa nowe rody *Festulolium*, określone jako L×F i F×L, były badane w dwuletnim doświadczeniu w Hodowli Roślin Szelejewo i porównane z innymi odmianami *Festulolium*, takimi jak: Paulita, Felopa, Elmet i Prior. W tabeli 1, oprócz identyfikatorów (nazw) rodów/odmian, podano także informację dotyczącą kombinacji mieszańcowych z których powstały i kraje ich pochodzenia.

Tabela 1; Table 1

Odmiany i rody *Festulolium* występujące w doświadczeniu polowym
Festulolium cultivars and strains used in a field experiment

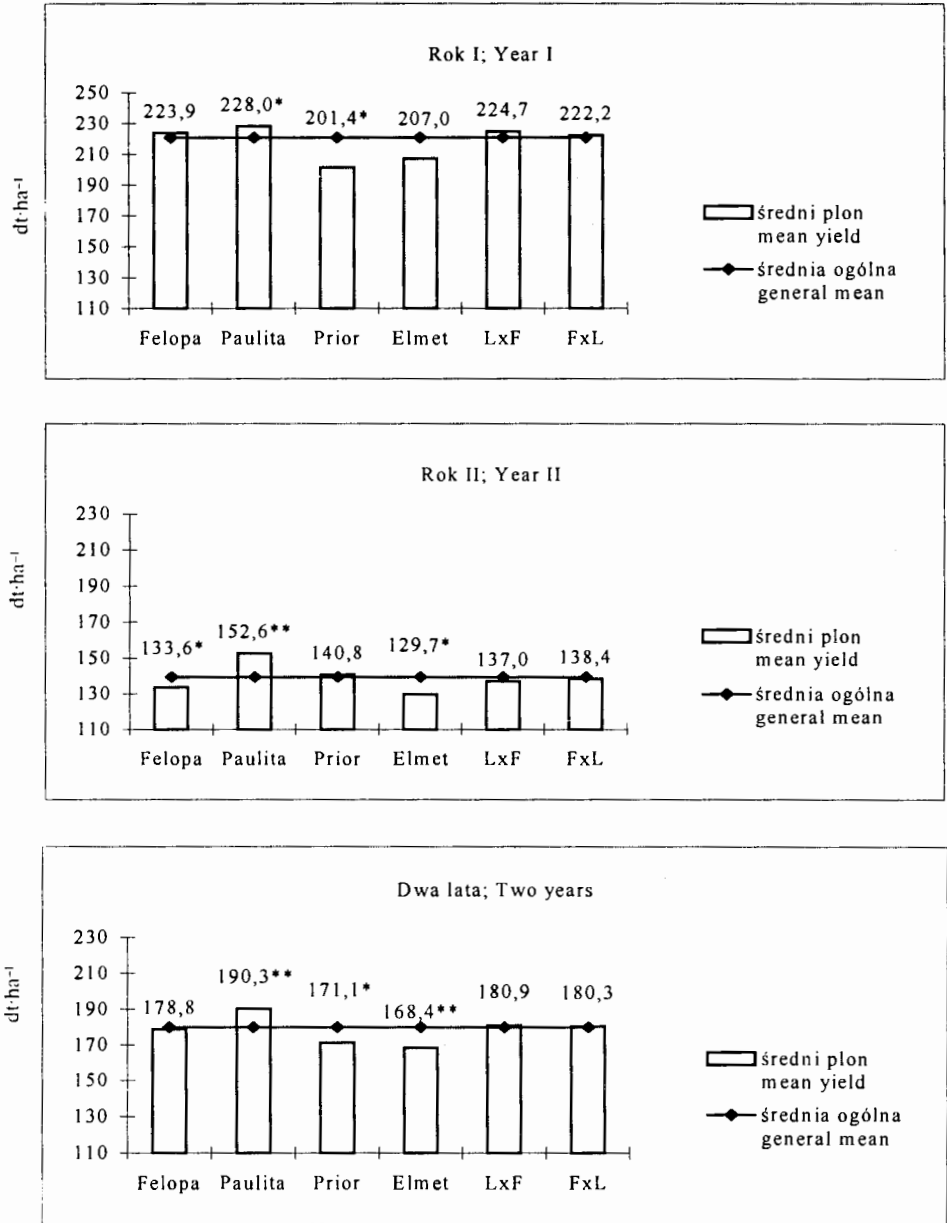
Nr No.	Odmiany/rody Cultivars/strains	Kombinacja mieszańcowa Hybrid combination	Kraj Country
1	L×F	<i>L. multiflorum</i> × <i>F. pratensis</i>	PL
2	F×L	<i>F. pratensis</i> × <i>L. multiflorum</i>	PL
3	Felopa	<i>F. pratensis</i> × <i>L. multiflorum</i>	PL
4	Paulita	<i>F. pratensis</i> × <i>L. multiflorum</i>	D
5	Prior	<i>L. perenne</i> × <i>F. pratensis</i>	GB
6	Elmet	<i>L. multiflorum</i> × <i>F. pratensis</i>	GB

Doświadczenie zostało założone w sierpniu 1998 roku w układzie o blokach niekompletnych z 6 obiektami (odmiany/rody *Festulolium*) rozmieszczonymi w czterech blokach, z których każdy zawierał 5 poletek o wielkości 10 m². W doświadczeniu tym cztery obiekty: L×F, F×L, Felopa i Paulita wystąpiły w czterech replikacjach, a pozostałe odmiany: Prior i Elmet w dwóch. Zarówno w 1999 roku – pierwszym roku pełnego użytkowania, jak i w 2000 roku – drugim roku użytkowania, zebrano cztery pokosy (pierwszy pokos na początku kłoszenia, a następnie co 4–5 tygodni). Obserwowano plon świeżej masy i suchej masy (dt·ha⁻¹).

W pracy są prezentowane wyniki plonu suchej masy. Do ich opracowania zastosowano statystyczne metody wielowymiarowe, w których pokosy z kolejnych lat traktowane są jako zmienne. Dla danych z dwóch czteropokosowych doświadczeń przeprowadzono wielowymiarową analizę wariancji (MANOVA) dla układu doświadczalnego o blokach niekompletnych [CERANKA i in. 1976], która stanowiła podstawę do testowania wielu hipotez, w szczególności hipotez dotyczących odmian/rodów, pokosów, lat oraz interakcji odmian z latami i pokosami [CALIŃSKI i in. 1976].

Wyniki i dyskusja

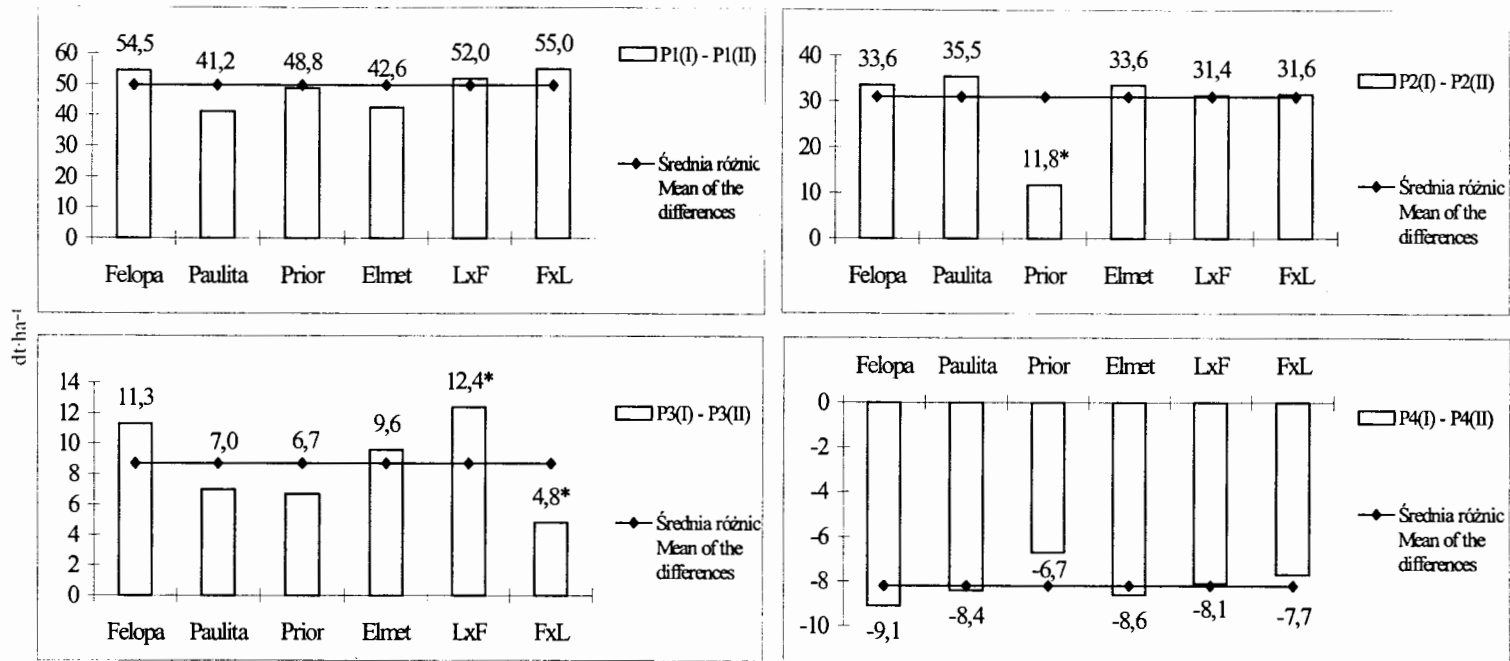
Podane niżej tabele i wykresy przedstawiają wyniki analizy plonu suchej masy w przeprowadzonym doświadczeniu. Punktem wyjścia do obliczeń prowadzących do weryfikacji różnych hipotez są poprawione, ze względu na układ doświadczalny, średnie plony suchej masy uzyskane z czterech lub dwóch powtórzeń dla każdego pokosu, roku i dwóch lat badań. Ponieważ wszystkie hipotezy ogólne zostały odrzucone, co najmniej na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, interesujące jest weryfikowanie różnych hipotez szczegółowych.



- * – efekt główny odmiany/rodu istotny na poziomie $\alpha = 0,05$; main effect of cultivar/strain significant at the level $\alpha = 0,05$
 ** – efekt główny odmiany/rodu istotny na poziomie $\alpha = 0,01$; main effect of cultivar/strain significant at the level $\alpha = 0,01$

Rys. 1. Średnie roczne plony suchej masy badanych odmian/rodów oraz istotność ich efektów głównych

Fig. 1. Annual mean dry matter yields of cultivars/strains and significance of their main effects



- * – porównanie ze średnią istotne na poziomie $\alpha = 0,05$; comparison with mean significant at the level $\alpha = 0.05$
 ** – porównanie ze średnią istotne na poziomie $\alpha = 0,01$; comparison with mean significant at the level $\alpha = 0.01$

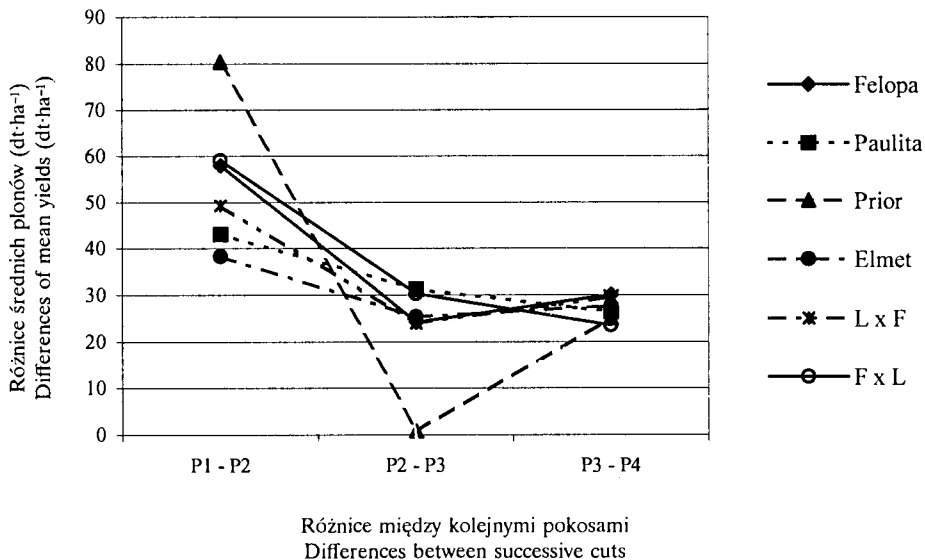
Rys. 2. Wyniki testowania hipotezy o równości odmian pod względem różnic plonów tych samych pokosów w I i II roku badań, $P_i(I) - P_i(II)$, $i = 1, 2, 3, 4$

Fig. 2. Results of testing hypothesis on cultivar/strain equality with respect to difference of the same cut yields in the first and second year of experiment, $P_i(I) - P_i(II)$, $i = 1, 2, 3, 4$

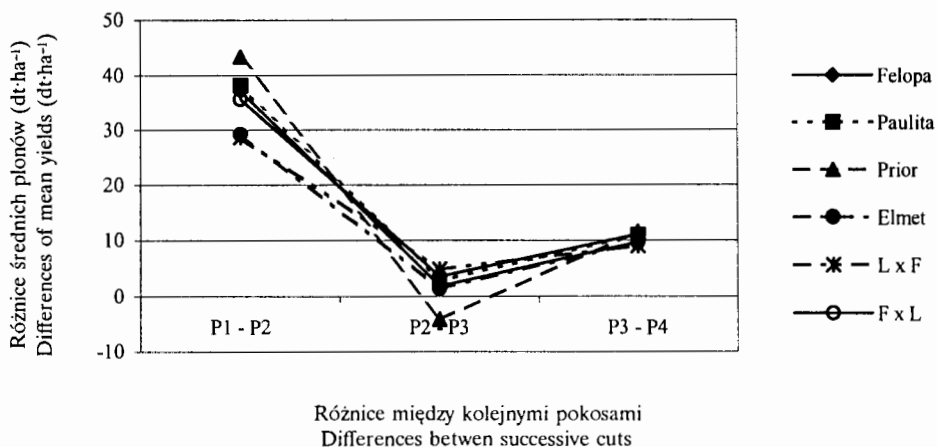
Na rysunku 1 są przedstawione wyniki testowania hipotez dotyczących istotności efektów odmian/rodów pod względem plonu rocznego w pierwszym i drugim roku oraz po dwóch latach badań. W każdym z tych okresów stwierdzono istotne (lub wysoce istotne) zróżnicowanie pomiędzy odmianami/rodami. Na uwagę zasługuje przede wszystkim odmiana Paulita charakteryzująca się w każdym okresie dodatnią oceną efektu głównego, będącego różnicą między średnią dla tej odmiany i średnią ogólną (ze wszystkich odmian/rodów). W przeciwieństwie do odmiany Paulita, która dawała najwyższe średnie plony roczne, odmiany Prior i Elmet charakteryzowały się ujemną oceną efektu głównego prawie w każdym rozważanym okresie. Plony roczne tych odmian były zwykle niższe niż średnia ogólna.

Interesujące okazały się wyniki porównań odmian/rodów pod względem różnic między rocznymi plonami suchej masy w I i II roku oraz między plonem z tych samych pokosów w obu latach. Istotne różnice między obiektami miały miejsce jedynie w wypadku pokosów drugiego i trzeciego. W pokosie drugim istotnie odbiegała od pozostałych odmiana Prior, dla którego różnica w plonie między I i II rokiem była stosunkowo niewielka w porównaniu do pozostałych odmian/rodów (rys. 2). Z kolei w pokosie trzecim najniższą istotną różnicą w plonie między obu latami charakteryzował się ród $F \times L$, natomiast istotnie najwyższą ród $L \times F$ (rys. 2).

Zachowanie się odmian/rodów pod względem wysokości plonów w obu latach oraz w kolejnych pokosach dla poszczególnych lat było podobne z wyjątkiem odmiany Prior, dla której interakcja z pokosami okazała się istotna dla obu lat, przy czym w roku I nawet na poziomie $\alpha = 0,01$. W porównaniu do pozostałych odmian/rodów odmiana Prior uzyskała najwyższe plony w pierwszym pokosie, natomiast najniższe plony w pokosie drugim (rys. 3 i 4).



Rys. 3. Interakcja odmian/rodów z pokosami w I roku badań
Fig. 3. Interaction of the cultivars/strains and cuts in the first year of experiment



Rys. 4. Interakcja odmian/rodów z pokosami w II roku badań
Fig. 4. Interaction of the cultivars/strains and cuts in the second year of experiment

Tabela 2; Table 2

Oceny i wyniki testowania kontrastów między odmianami i rodami
w poszczególnych pokosach w I roku badań

Estimates and results of testing contrasts between cultivars and strains in different cuts
in the first year of experiment

Nr No.	Kontrast (porównanie); Contrast (comparison)	Oceny kontrastów dla; Estimates of contrasts for:				F dla 4 pokosów łącznie; F for in total four cuts
		pokosu 1 cut 1	pokosu 2 cut 2	pokosu 3 cut 3	pokosu 4 cut 4	
1	L×F – Felopa	-6,63	2,17	2,38	2,90	2,64
2	L×F – Paulita	0,38	-5,00	2,22	-0,90	1,14
3	L×F – Prior	-4,89	26,32**	3,19	-1,31	5,14
4	L×F – Elmet	12,44	1,43	2,81	1,01	2,44
5	F×L – Felopa	1,80	0,77	-5,40	1,10	2,02
6	F×L – Paulita	8,80	-6,40	-5,55	-2,70	3,64
7	F×L – Prior	3,53	24,92**	-4,58	-3,11	9,20
8	F×L – Elmet	20,87	0,03	-4,97	-0,79	1,81
9	L×F – F×L	-8,42	1,40	7,77**	1,80	4,09
10	L×F – wzorzec	-3,12	-1,41	2,30	1,00	0,89
11	F×L – wzorzec	5,30	-2,81	-5,48	-0,80	2,15
12	Prior – wzorzec	1,79	-27,73**	-0,89	2,31**	8,14
13	Elmet – wzorzec	-15,57**	-2,84	-0,51	-0,01	1,90
14	Prior – Elmet	17,34	-24,89**	-0,39	2,32	5,44
Wartość krytyczna Critical value		F _{0,05} F _{0,01}				3,84 7,01

* – kontrast istotny na poziomie $\alpha = 0,05$; contrast significant at $\alpha = 0.05$

** – kontrast istotny na poziomie $\alpha = 0,01$; contrast significant at $\alpha = 0.01$

wzorzec – średni plon odmian Felopa i Paulita; standard – mean yield of cultivars Felopa and Paulita

Oceny i wyniki testowania, interesujących dla hodowcy, kontrastów między odmianami/rodami w poszczególnych pokosach i w kolejnych dwóch latach badań są podane w tabelach 2 i 3. Porównując, na przykład, przeciętne plony suchej masy rodu L×F i odmiany Prior dla czterech pokosów łącznie stwierdzono istotne różnice zarówno dla pierwszego roku ($F_{\text{obl}} = 5,14 > F_{0,05} = 3,84$), jak i drugiego roku badań ($F_{\text{obl}} = 7,47 > F_{0,01} = 7,01$). Niewątpliwie na wynik ten wpłynął przede wszystkim pokos drugi, w którym to zróżnicowanie w obu latach wystąpiło. Podobne wnioski uzyskano porównując ród F×L z odmianą Prior.

Tabela 3; Table 3

Oceny i wyniki testowania kontrastów między odmianami i rodami
w poszczególnych pokosach w II roku badań

Estimates and results of testing contrasts between strains and cultivars in different cuts
in the second year of experiment

Nr No.	Kontrast (porównanie); Contrast (comparison)	Oceny kontrastów dla; Estimates of contrasts for:				F dla 4 pokosów łącznie; F for total of four cuts
		pokosu 1 cut 1	pokosu 2 cut 2	pokosu 3 cut 3	pokosu 4 cut 4	
1	L×F – Felopa	-4,12	4,35*	1,30	1,92*	2,39
2	L×F – Paulita	-10,40**	-0,95	-3,08**	-1,22	10,52
3	L×F – Prior	-8,09	6,63*	-2,44*	0,05	7,47
4	L×F – Elmet	3,04	3,62	0,09	0,55	0,84
5	F×L – Felopa	1,25	2,82	1,10	-0,27	0,84
6	F×L – Paulita	-5,02	-2,48	-3,28**	-3,42**	14,48
7	F×L – Prior	-2,71	5,10*	-2,64*	-2,15	9,55
8	F×L – Elmet	8,41*	2,09	-0,10	-1,65	2,22
9	L×F – F×L	-5,37	1,52	0,20	2,20*	2,00
10	L×F – wzorzec	-7,26**	1,70	-0,89	0,35	2,79
11	F×L – wzorzec	-1,89	0,18	-1,09	-1,85*	4,39
12	Prior – wzorzec	0,82	-4,93*	1,56	0,30	4,07
13	Elmet – wzorzec	-10,30**	-1,92	-0,98	-0,20	2,64
14	Prior – Elmet	11,12*	-3,01	2,54	0,50	4,18
Wartość krytyczna Critical value		$F_{0,05}$				3,84
		$F_{0,01}$				7,01

* – kontrast istotny na poziomie $\alpha = 0,05$; contrast significant at $\alpha = 0,05$

** – kontrast istotny na poziomie $\alpha = 0,01$; contrast significant at $\alpha = 0,01$

wzorzec – średni plon odmian Felopa i Paulita; standard – mean yield of cultivars Felopa and Paulita

W I roku badań zauważono też istotną różnicę w plonowaniu między nowymi rodami dla wszystkich pokosów łącznie, czego nie stwierdzono w następnym roku ($F_{\text{obl}} = 4,09 > F_{0,05} = 3,84$ w tab. 2). Różnica ta wystąpiła w pokosie trzecim, w którym średni plon rodu L×F był istotnie wyższy niż średni plon rodu F×L. Natomiast tylko w II roku badań, biorąc pod uwagę cztery pokosy łącznie, wystąpiło wysoce istotne zróżnicowanie w przeciętnym plonowaniu obu nowych rodów i odmiany Paulita ($F_{\text{obl}} = 10,52 > F_{0,01} = 7,01$ oraz $F_{\text{obl}} = 14,48 > F_{0,01} = 7,01$). W obu porównaniach różnice te wystąpiły przede wszystkim dla pokosu trzeciego.

Interesujące dla hodowcy są również porównania plonów odmian/rodów z

wzorcem, którym był średni plon odmian Felopa i Paulita. Biorąc pod uwagę wszystkie pokosy łącznie, jedynie odmiana Prior zarówno w roku I, jak i w roku II istotnie odbiegała od wzorca (tab. 2 i 3). Istotną różnicę w stosunku do wzorca zauważono też w plonowaniu rodu $F \times L$ w roku II. Jego średni plon był niższy, szczególnie w pokosie czwartym. Pozostałe porównania odmian i rodów z wzorcem okazały się nieistotne.

Nieortogonalność układu doświadczalnego wynikająca z ograniczoności części materiału roślinnego, a także wzajemne skorelowanie wysokości plonu suchej masy uzyskanego w poszczególnych pokosach każdego roku wymusiły konieczność zastosowania określonych metod statystycznych. Ponieważ doświadczenie zostało założone w układzie o blokach niekompletnych (4 bloki po 5 pletek), dokonano w pierwszym rzędzie „poprawienia” średnich odmian/rodów ze względu na ten układ. Wykorzystano tutaj właściwości analizy statystycznej doświadczeń przeprowadzanych w tzw. rozszerzonych układach blokowych. Rozszerzenie polegało na dodaniu do układu podstawowego o blokach kompletnych, obejmującego odmiany Felopa i Paulita oraz rody $L \times F$ i $F \times L$, dodatkowo dwóch odmian Elmet i Prior. Pierwsze cztery obiekty były replikowane czterokrotnie, natomiast pozostałe dwa dwukrotnie. Można pokazać [KACHLICKA i in. 2000], że strata w zakresie efektywności takiego układu w stosunku do układu o blokach kompletnych jest nieistotna.

Z drugiej strony fakt, że doświadczenia prowadzone w obu latach były doświadczeniami czteropokosowymi, nakładał obowiązek zastosowania takiej metody statystycznej, która uwzględniałaby skorelowanie pokosów. Korrelacje te uniemożliwiły bowiem zastosowanie klasycznej analizy wariancji jednej zmiennej. Przydatne okazało się tu wykorzystanie wielozmiennej analizy wariancji (MANOVA), w której zarówno pokosy, jak i lata użytkowania potraktowano jako zmienne. Analizę tę zastosowano do wspomnianego układu doświadczalnego o blokach niekompletnych.

Wnioski

1. Zastosowanie statystycznych metod wielowymiarowych do analizy wielopokosowych doświadczeń o blokach niekompletnych umożliwiło testowanie istotności różnic między plonem suchej masy odmian/rodów w pokosach i latach oraz zbadanie interakcji tych odmian/rodów z pokosami i latami.
2. W dwuletnim doświadczeniu najwyższą plonującą odmianą *Festulolium* była niemiecka odmiana Paulita. Nieco niższe plony suchej masy obserwowano u polskiej odmiany Felopa i dwóch nowych rodów, natomiast najniższe plonowały walijskie odmiany – Elmet i Prior.

Literatura

CALIŃSKI T., DYCZKOWSKI A., KACZMAREK Z. 1976. *Testowanie hipotez w wielozmiennej analizie wariancji i kowariancji*. Roczniki AR w Poznaniu LXXXVI, Algor. biom. i stat., z. 5: 77–113.

CALIŃSKI T., ŚWIETLICKA-GRALA J., GRALA B. 1975. *Analiza doświadczeń z roślinami wieloletnimi i wielopokosowymi*. Biuletyn Oceny Odmian 1(6): 117–138.

CERANKA B., CHUDZIK H., CZAJKA S., KACZMAREK Z. 1976. *Wielozmienna analiza wa-*

riancji dla układu bloków niekompletnych. Roczniki AR w Poznaniu LXXXVI, Algor. biom. i stat., z. 5: 39–58.

JOKŚ W., NOWAK T., JOKŚ E., ZWIERZYKOWSKI Z. 1998. Charakterystyka botaniczna i rolnicza polskich odmian *Festulolium*. Mat. kraj. konf. „*Festulolium* – osiągnięcia i perspektywy”. Poznań, 15 XI 1998: 6–11.

KACHLICKA D., MEJZA I., JOKŚ W., ZWIERZYKOWSKI Z. 2000. Statistical analysis of a preliminary experiment with new *Festulolium* cultivars laid out in an incomplete block design, w: *Biometrické metody a modely v pôdohospodarskej vede, výskume a výuke*. Nitra: 103–109.

MORRISON D.F. 1990. *Multivariate Statistical Methods*. Mc Graw-Hill, New York: 415.

ZWIERZYKOWSKI Z., JOKŚ W., NAGANOWSKA B. 1993. Mieszance amfitetraploidalne *Festuca pratensis* Huds. x *Lolium multiflorum* Lam. [=x*Festulolium braunii* (K. Richter) A. Camus]. Biuletyn IHAR 188: 61–69.

ZWIERZYKOWSKI Z., NAGANOWSKA B. 1994. The use of *Lolium-Festuca* hybrids in breeding. Genet. Pol. 35A: 11–17.

Słowa kluczowe: doświadczenia wielopokosowe, odmiany *Festulolium*, plon suchej masy, trawy pastwne, wielozmienna analiza statystyczna

Streszczenie

Praca przedstawia zastosowanie wielozmiennej analizy statystycznej do danych uzyskanych z czteropokosowego doświadczenia z sześcioma rodzajami i odmianami *Festulolium* (*Lolium multiflorum* × *Festuca pratensis* i *L. perenne* × *F. pratensis*), przeprowadzonego w jednej miejscowości w dwóch kolejnych latach (1999 i 2000) pełnego użytkowania. Doświadczenie zostało założone w układzie o blokach niekompletnych. Obserwowaną cechą był plon suchej masy. Zastosowane metody obejmują wielozmienną analizę wariacji wraz z testowaniem hipotez ogólnych i szczegółowych. Przeprowadzono weryfikację hipotez o braku różnic między odmianami/rodzajami, pokosami, latami oraz o braku interakcji odmian/rodzajów z pokosami w obrębie lat.

MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS OF A TWO-YEAR EXPERIMENT WITH *Festulolium* CULTIVARS

Danuta Kachlicka¹, Zygmunt Kaczmarek², Iwona Mejza¹, Wojciech Jokś³,
Zbigniew Zwierzykowski²

¹ Department of Mathematical and Statistical Methods,
Agricultural University, Poznań

² Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Sciences, Poznań

³ Szelejewo Plant Breeding Ltd., Szelejewo

Key words: dry matter yield, *Festulolium* cultivars, forage grasses, multicut experiments, multivariate statistical analysis

Summary

Paper proposed a multivariate approach to statistical analysis of the data collected in the four-cut experiment with six cultivars and strains of *Festulolium* (*Lolium multiflorum* × *Festuca pratensis* i *L. perenne* × *F. pratensis*), carried out at the same location over two successive years (1999–2000). The experiment was arranged in an incomplete block design. Dry matter yield was the trait studied. Presented methods consist of univariate and multivariate analysis of variance that takes into account the interrelations between cuts. The hypotheses of no differences between the cultivars/strains, cuts, years and the hypothesis of no cultivars/strains by cuts interaction within the years were verified.

Prof. dr hab. Zygmunt **Kaczmarek**
Instytut Genetyki Roślin PAN
ul. Strzeszyńska 34
60-479 POZNAŃ
e-mail: zkac@igr.poznan.pl