

JAN BOCIANOWSKI¹, PIOTR SZULC², MAGDALENA RYBUS-ZAJĄC³

¹Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

²Katedra Agronomii
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

³Katedra Fizjologii Roślin
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

WIELOCECHOWA ANALIZA EFEKTÓW RÓŻNYCH METOD APLIKACJI MAGNEZU U MIESZAŃCA KUKURYDZY LG 2244

MULTIVARIABLE ANALYSIS OF EFFECTS OF VARIOUS METHODS
OF MAGNESIUM APPLICATION OF LG 2244 MAIZE HYBRID

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki wielozmiennych badań nad oceną zmienności cech ilościowych po zastosowaniu siedmiu metod aplikacji magnezu w uprawie mieszańca kukurydzy (*Zea mays* L.) typu „stay-green”. Obserwacje dotyczyły 13 cech: plonu ziarna, wilgotności ziarna, masy tysiąca nasion, suchej masy pojedynczej rośliny, plonu suchej masy, pobrania azotu, pobrania fosforu, pobrania potasu, pobrania magnezu, pobrania wapnia, zawartości chlorofilu *a*, zawartości chlorofilu *b* oraz zawartości chlorofilu *a+b* w trzech latach (2006-2008). Analizę statystyczną uzyskanych wyników przeprowadzono za pomocą metod wielowymiarowych. Analiza zmiennych kanonicznych (przeprowadzona w każdym roku niezależnie) okazała się skutecznym narzędziem do czytelnej oceny zróżnicowania wpływu metod aplikacji magnezu na wiele cech jednocześnie. Najbardziej zróżnicowanymi metodami były: C i E (w 2006 r.), A i F (w 2007 r.) oraz B i G (w 2008 r.). Najbardziej podobnymi metodami (pod względem 13 cech traktowanych łącznie) były: B i C (w 2006 r.), D i E (w 2007 r.) oraz C i E (w 2008 r.). Odległości Mahalanobisa pomiędzy poszczególnymi metodami rozpatrywane w poszczególnych latach prowadzenia obserwacji nie były istotnie statystycznie skorelowane.

Słowa kluczowe: analiza zmiennych kanonicznych, kukurydza, magnez, odległości Mahalanobisa

Wstęp

Wyniki badań nad efektywnością dolistnej metody nawożenia roślin uprawnych charakteryzują się dużą rozpiętością, głównie dotyczy to stosowania mocznika w uprawie kukurydzy (KRUCZEK i SZULC 2000, KRUCZEK 2001). Wskazują na wzrost plonowania roślin uprawnych w wyniku takiej metody aplikacji nawozu (ALTMAN i IN. 1983), na spadek wielkości plonu (HARDER i IN. 1982) oraz na brak jakiegokolwiek wpływu na wielkość uzyskanego plonu (SESAY i SHIBLES 1980). Literatura krajowa, jak i zagraniczna jest bardzo uboga w doniesienia dotyczące dolistnej metody stosowania magnezu w uprawie kukurydzy (FAZEKAS i IN. 1994, SZULC i IN. 2010).

Wcześniejsze badania przeprowadzone przez SZULCA i IN. (2011 b) dotyczące różnych metod stosowania magnezu w uprawie kukurydzy wykazały silny wpływ lat ($P < 0,001$) na wartości wszystkich rozpatrywanych cech. Jednocześnie zaobserwowano, iż metody aplikacji magnezu różnicowały większość obserwowanych 13 cech (SZULC i IN. 2011 b). Ocena efektów różnych metod aplikacji magnezu na podstawie pojedynczych cech może być niewyczerpująca pod względem wnikliwości wnioskovania.

Interesujące wydawałoby się przeanalizowanie zróżnicowania mieszańca kukurydzy LG 2244 typu „stay-green” pod względem wszystkich 13 obserwowanych cech traktowanych łącznie pod wpływem różnych sposobów aplikacji magnezu, dlatego obok statystycznych jednowymiarowych metod oceny wyników doświadczeń wskazane jest stosowanie metod wielowymiarowych uwzględniających skorelowanie badanych cech (BOCIANOWSKI i WARZECHA 2012).

Celem pracy była wielocechowa charakterystyka zróżnicowania fenotypowego mieszańca kukurydzy LG 2244 typu „stay-green” w wyniku zastosowania kilku metod aplikacji magnezu. Z badań przeprowadzonych przez SZULCA i IN. (2012) wynika, że indeks remobilizacji, przemieszczania magnezu dla odmiany będącej w typie „stay-green” był ujemny. Świadczy to o tym, że źródłem akumulacji tego makroelementu w fazie wzrostu generatywnego (reprodukcyjnego) są wyłącznie zasoby glebowe, stąd też w przypadku odmian typu „stay-green” powinno się implikować system stosowania nawozów charakteryzujących się wolnym działaniem lub stosować takie techniki aplikacji składnika, które zapewnią prawidłowe odżywienie roślin kukurydzy w tej fazie rozwojowej. W przypadku magnezu taką metodą aplikacji jest nawożenie dolistne. Zastosowano metodę analizy zmiennych kanonicznych (CAMUSSI i IN. 1985, GÓRCZYŃSKI i MĄDRY 1988, ADUGNA i LABUSCHAGNE 2003, YEATER i IN. 2004) opartą na modelu wielozmiennej analizy wariancji (MANOVA) dla obserwacji cech w doświadczeniu założonym w układzie o blokach kompletnych.

Material i metody

Doświadczenie polowe wykonano w Katedrze Agronomii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, na polach Zakładu Dydaktyczno-Doświadczalnego w Swadzimiu, w latach 2006-2008, z siedmioma wariantami aplikacji dawek magnezu w układzie losowych bloków w czterech powtórzeniach. Badano następujące warianty aplikacji magnezu (MgO): A – 0 kg/ha, B – 5 kg/ha doglebowo, C – 5 kg/ha dolistnie w fazie 4-5

liści (BBCH 14-15), D – 10 kg/ha doglebowo, E – 10 kg/ha dolistnie, po 5 kg/ha w fazie 4-5 liści (BBCH 14-15) i w fazie 5-6 liści (BBCH 15-16), F – 5 kg/ha z podziałem na 2,5 kg/ha doglebowo i 2,5 kg/ha dolistnie w fazie 4-5 liści (BBCH 14-15), G – 10 kg/ha z podziałem na 5 kg/ha doglebowo i 5 kg/ha dolistnie w fazie 4-5 liści (BBCH 14-15). Magnez stosowano doglebowo przed siewem kukurydzy w formie siarczanu magnezu (kizeryt), natomiast dolistnie – w formie siedmiowodnego siarczanu magnezu (sól gorzka). Na całym polu doświadczalnym stosowano takie samo nawożenie NPK w ilości: 100 kg N na 1 ha w formie mocznika, 80 kg P₂O₅ na 1 ha w formie polifoski 6, 120 kg K₂O na 1 ha w formie soli potasowej 60-procentowej. W doświadczeniu wysiano mieszańca kukurydzy LG 2244 typu „stay-green”. W trakcie badań zebrano dane dotyczące plonu ziarna, wilgotności ziarna, masy tysiąca ziaren, suchej masy pojedynczej rośliny, plonu suchej masy, zawartości chlorofilu *a*, *b* i *a+b* oraz zawartości składników mineralnych (azotu, fosforu, potasu, magnezu i wapnia) w suchej masie roślin kukurydzy w fazie 7-8 liści.

Zawartość chlorofilu *a*, *b* i *a+b* oznaczono w fazie 7-8 liści (BBCH 17-18) za pomocą poniższych wzorów (ARNON 1949):

$$\begin{aligned} \text{chlorofil } a &= (12,7 \times A_{663} - 2,7 \times A_{645}) \times V \times (1000 \times W)^{-1} \\ \text{chlorofil } b &= (22,9 \times A_{645} - 4,7 \times A_{663}) \times V \times (1000 \times W)^{-1} \\ \text{suma } a+b &= (20,2 \times A_{645} + 8,02 \times A_{663}) \times V \times (1000 \times W)^{-1} \end{aligned}$$

gdzie: A_{663} i A_{645} – absorbancja przy danej długości fali, V – całkowita objętość ekstraktu (cm³), W – masa próbki (g).

Analizę zawartości składników mineralnych w suchej masie roślin kukurydzy w fazie 7-8 liści (BBCH 17-18) wykonano w laboratorium Katedry Agronomii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu według metod powszechnie stosowanych.

W niniejszym opracowaniu akumulację poszczególnych makroskładników z plonem suchej masy roślin w fazie 7-8 liści (BBCH 17-18) obliczono według wzoru:

$$\text{pobranie (kg/ha)} = [\text{plon suchej masy (kg/ha)} \times \text{zawartość makroskładników (g/kg)}] / 1000$$

Warunki termiczne i wilgotnościowe podczas wegetacji w latach prowadzenia badań opisano we wcześniejszej pracy autorów (SZULC i IN. 2011 b).

Do analizy danych doświadczalnych zastosowano wielozmienną analizę wariancji (CHATFIELD i COLLINS 1986, RENCHER 1998), która pozwala testować wielozmienne hipotezy: o braku różnic efektów pomiędzy latami, o braku różnic efektów pomiędzy metodami aplikacji magnezu oraz o braku interakcji: aplikacje magnezu \times lata. Na podstawie danych z każdego roku obliczono odległości Mahalanobisa (MAHALANOBIS 1936) pomiędzy badanymi metodami aplikacji magnezu dla rozpatrywanych cech oraz odległości krytyczne Mahalanobisa D^2_{kr} (na poziomie istotności $\alpha = 0,05$). W celu graficznego przedstawienia zróżnicowania wielocechowego badanego mieszańca, będącego wynikiem stosowania metody aplikacji magnezu, posłużono się analizą zmiennych kanonicznych (RENCHER 1998), która umożliwia graficzne przedstawienie metryki odległości Mahalanobisa pomiędzy różnymi metodami aplikacji magnezu. W ten sposób może ona ułatwić grupowanie i charakterystykę wielocechową tych metod aplikacji. Redukcja wymiarowości przestrzeni dyskryminacyjnej polega na jej transformacji w taki sposób, aby otrzymać nową przestrzeń, w tym wypadku dwuwymiarową, zapewniającą w danej liczbie nowych wymiarów możliwie najbardziej dokładne odtworzenie

odległości Mahalanobisa. Przestrzeń liniową o takich właściwościach określają zmienne kanoniczne, które są funkcjami liniowymi cech oryginalnych. Zmienne kanoniczne pozwalają określić względny udział każdej cechy oryginalnej w wielo cechowym zróżnicowaniu badanych obiektów w kategoriach odległości Mahalanobisa. W tym celu obliczono współczynniki korelacji prostej między wartościami dwu pierwszych zmiennych kanonicznych a wartościami poszczególnych cech oryginalnych w celu określenia względnego udziału każdej cechy oryginalnej w wielo cechowym zróżnicowaniu mieszańca pod wpływem badanych metod aplikacji magnezu. Wszystkie obliczenia w analizie danych metodą wielozmiennej analizy wariancji oraz analizy zmiennych kanonicznych wykonano za pomocą pakietu statystycznego GenStat v. 7.1 (PAYNE i IN. 2003).

Wyniki i dyskusja

Przeprowadzona wielozmienna analiza wariancji (MANOVA) pozwoliła odrzucić testowane hipotezy dotyczące braku przeciętnych różnic wielo cechowych pomiędzy latami badań ($P < 0,001$), braku przeciętnych różnic wielo cechowych pomiędzy metodami aplikacji magnezu ($P < 0,001$) oraz braku interakcji metody aplikacji magnezu \times lata ($P < 0,001$). W związku z powyższym oraz z faktem istotności efektów poszczególnych cech rozpatrywanych indywidualnie (SZULC i IN. 2011 b) następane analizy przeprowadzono dla poszczególnych lat niezależnie. Istotne statystyczne korelacje między obserwowanymi cechami mieszańca kukurydzy (*Zea mays* L.) LG 2244 typu „stay-green” przedstawiono we wcześniejszej pracy (SZULC i IN. 2011 a).

Poszczególne cechy mają różne znaczenie oraz różny udział w łącznym zróżnicowaniu wielo cechowym. Badanie zróżnicowania wielo cechowego dla różnych sposobów aplikacji magnezu obejmuje także identyfikację najważniejszych cech w wielo cechowym zróżnicowaniu obiektów. Statystycznym narzędziem umożliwiającym rozwiązanie tego problemu jest analiza zmiennych kanonicznych. Wyniki analizy zmiennych kanonicznych dla siedmiu metod aplikacji magnezu przedstawiono w tabeli 1.

Na podstawie obserwacji z 2006 roku stwierdzono, iż dwie pierwsze zmienne kanoniczne wyjaśniają w sumie 70,20% ogólnej zmienności między obiektami (tab. 1, rys. 1). Na rysunku 1 przedstawiono zróżnicowanie cech mieszańca LG 2244 typu „stay-green” kukurydzy dla metod aplikacji magnezu w układzie dwu pierwszych zmiennych kanonicznych w pierwszym roku prowadzenia obserwacji. Na wykresie współrzędnymi punktu danej metody aplikacji magnezu są wartości, odpowiednio, pierwszej i drugiej zmiennej kanonicznej. Największy, istotny, związek liniowy z pierwszą zmienną kanoniczną miały: pobranie fosforu, sucha masa pojedynczej rośliny, pobranie potasu oraz plon suchej masy (zależności ujemne) (tab. 1). Druga zmienna kanoniczna była istotnie ujemnie skorelowana z plonem ziarna oraz masą 1000 nasion (tab. 1). Największym zróżnicowaniem pod względem wszystkich cech łącznie (mierzonym odległościami Mahalanobisa) charakteryzowały się metody aplikacji magnezu oznaczone symbolami C i E (odległość Mahalanobisa między nimi wynosiła 14,213). Najbardziej podobne zachowanie mieszańca było pod wpływem metod B i C (5,190). Wartości odległości Mahalanobisa dla wszystkich par metod aplikacji magnezu przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Współczynniki korelacji między dwiema pierwszymi zmiennymi kanonicznymi a cechami mieszańca kukurydzy (*Zea mays* L.) LG 2244 typu „stay-green” pod wpływem siedmiu metod aplikacji magnezuTable 1. Correlation coefficients between the two first canonical variables and the characteristics of “stay-green” type of maize (*Zea mays* L.) LG 2244 hybrid after using the seven methods of magnesium application

| Cecha Trait | 2006 | | 2007 | | 2008 | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Z ₁ | Z ₂ | Z ₁ | Z ₂ | Z ₁ | Z ₂ |
| Plon ziarna Grain yield | -0,364 | -0,854* | 0,105 | 0,463 | 0,125 | 0,381 |
| Wilgotność ziarna Moisture of grain | 0,347 | -0,371 | 0,291 | -0,591 | 0,160 | 0,106 |
| Masa 1000 nasion 1000 grain weight | -0,299 | -0,801* | -0,088 | 0,372 | -0,102 | 0,507 |
| Sucha masa pojedynczej rośliny Dry matter of a single plant | -0,848* | -0,355 | 0,418 | 0,501 | 0,109 | 0,792* |
| Plon suchej masy Dry matter yield | -0,820* | -0,320 | 0,416 | 0,502 | 0,106 | 0,794* |
| Pobranie azotu Uptake of nitrogen | -0,581 | -0,363 | 0,569 | 0,456 | 0,007 | 0,829* |
| Pobranie fosforu Uptake of phosphorus | -0,851* | -0,285 | 0,804* | 0,691 | 0,152 | 0,850* |
| Pobranie potasu Uptake of potassium | -0,827* | -0,480 | 0,303 | 0,290 | 0,120 | 0,740 |
| Pobranie magnezu Uptake of magnesium | -0,380 | 0,015 | 0,516 | -0,194 | -0,126 | 0,776* |
| Pobranie wapnia Uptake of calcium | 0,392 | -0,067 | 0,228 | -0,149 | -0,231 | 0,877** |
| Chlorofil <i>a</i> Chlorophyll <i>a</i> | 0,004 | -0,261 | 0,558 | 0,216 | -0,149 | 0,924** |
| Chlorofil <i>b</i> Chlorophyll <i>b</i> | -0,205 | -0,299 | 0,526 | 0,354 | 0,149 | 0,842* |
| Chlorofil <i>a+b</i> Chlorophyll <i>a+b</i> | -0,027 | -0,267 | 0,555 | 0,242 | -0,114 | 0,926** |
| Wartości własne Eigenvalues | 26,437 | 12,504 | 467,8 | 289,2 | 114,25 | 96,42 |
| Procent wyjaśnianej wielo- cechowej zmienności Percentage of elucidated multiva- riate variability | 47,66 | 22,54 | 45,74 | 28,27 | 40,56 | 34,23 |

Z₁ – pierwsza zmienna kanoniczna, Z₂ – druga zmienna kanoniczna.

*Istotne na poziomie 0,05, **istotne na poziomie 0,01.

Z₁ – first canonical variable, Z₂ – second canonical variable.

*Significant at 0.05 level, **significant at 0.01 level.

Tabela 2. Odległości Mahalanobisa pomiędzy metodami aplikacji magnezu u mieszańca kukurydzy (*Zea mays* L.) typu „stay-green” w 2006 roku (w nawiasach podano wartości *p* dla odległości istotnych statystycznie)

Table 2. Mahalanobis' distances between methods of magnesium application at maize (*Zea mays* L.) hybrid of “stay-green” type in 2006 (in parentheses the *p*-values for statistically significant distances are provided)

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|-------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|---|
| A | 0 | | | | | | |
| B | 6,614 | 0 | | | | | |
| C | 10,785 (0,041) | 5,190 | 0 | | | | |
| D | 10,072 | 9,726 | 13,457 (0,014) | 0 | | | |
| E | 9,281 | 9,883 | 14,213 (0,009) | 7,189 | 0 | | |
| F | 7,283 | 8,258 | 12,470 (0,020) | 10,940 (0,036) | 8,502 | 0 | |
| G | 11,213 (0,029) | 7,352 | 9,889 | 10,148 | 11,138 (0,031) | 7,964 | 0 |

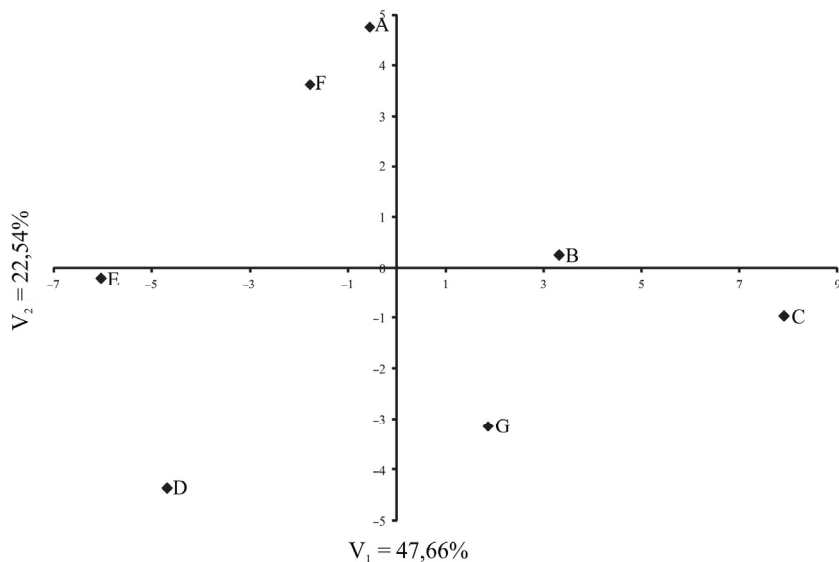
$D_{kr}^2 = 10,730$.

A – 0 kg/ha, B – 5 kg/ha doglebowo, C – 5 kg/ha dolistnie w fazie 4-5 liści (BBCH 14-15), D – 10 kg/ha doglebowo, E – 10 kg/ha dolistnie – po 5 kg/ha w fazie 4-5 liści (BBCH 14-15) i w fazie 5-6 liści (BBCH 15-16), F – 5 kg/ha z podziałem po 2,5 kg/ha doglebowo i dolistnie w fazie 4-5 liści (BBCH 14-15), G – 10 kg/ha z podziałem po 5 kg/ha doglebowo i dolistnie w fazie 4-5 liści (BBCH 14-15).

A – 0 kg/ha, B – 5 kg/ha soil, C – 5 kg/ha foliar in the 4-5 leaf phase (BBCH 14-15), D – 10 kg/ha soil, E – 10 kg/ha foliar – 5 kg/ha in the 4-5 leaf phase (BBCH 14-15) and in the 5-6 leaf phase (BBCH 15-16), F – 5 kg/ha divided into 2.5 kg/ha soil and foliar in the 4-5 leaf phase (BBCH 14-15), G – 10 kg/ha divided into 5 kg/ha soil and foliar in the 4-5 leaf phase (BBCH 14-15).

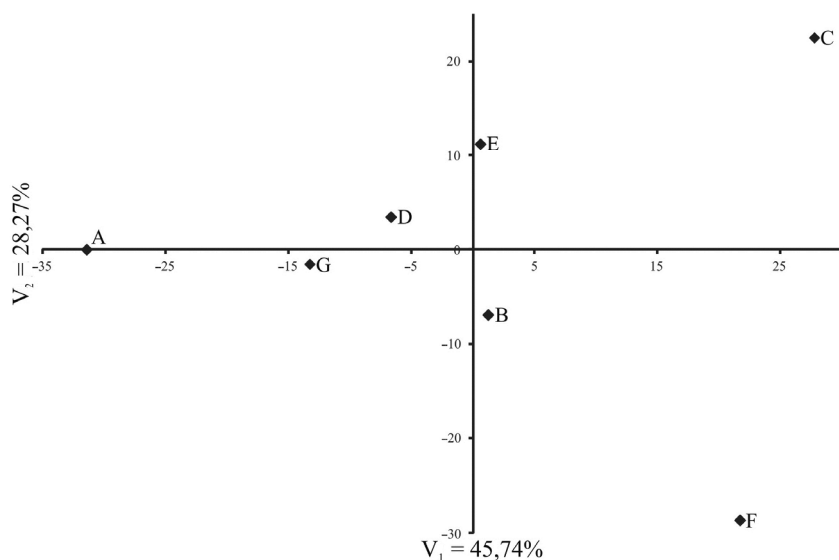
Po przeanalizowaniu danych z doświadczenia przeprowadzonego w 2007 roku stwierdzono, iż dwie pierwsze zmienne kanoniczne wyjaśniały w sumie 74,01% ogólnej zmienności (tab. 1, rys. 2). Położenie metod aplikacji magnezu w układzie dwu pierwszych zmiennych kanonicznych przedstawiono na rysunku 2. Dodatkowo istotne skorelowanie z pierwszą zmienną kanoniczną było jedynie dla pobrania fosforu (tab. 1). Druga zmienna kanoniczna nie była istotnie skorelowana z żadną z obserwowanych cech mieszańca kukurydzy (tab. 1). Najmniej zróżnicowane zachowanie wielocechowe mieszańca kukurydzy stwierdzono dla aplikacji magnezu D i E (12,49), a największe zróżnicowanie stwierdzono dla metod oznaczonych symbolami A oraz F – odległość Mahalanobisa pomiędzy nimi wynosiła 62,45 (tab. 3).

Rozpatrując metody aplikacji magnezem w 2008 roku, stwierdzono, iż dwie pierwsze zmienne kanoniczne wyjaśniają w sumie 74,79% ogólnej zmienności (tab. 1, rys. 3). Na rysunku 3 przedstawiono metody aplikacji magnezem mieszańca LG 2244 typu „stay-green” kukurydzy w układzie dwu pierwszych zmiennych kanonicznych w trzecim (2008) roku prowadzenia obserwacji. Pierwsza zmienna kanoniczna nie była istotnie skorelowana z żadną z obserwowanych cech mieszańca kukurydzy (tab. 1). Druga



Rys. 1. Położenie metod aplikacji magnezu w układzie dwu pierwszych zmiennych kanonicznych w 2006 roku (objaśnienie – jak pod tabelą 2)

Fig. 1. Distribution of methods of magnesium application in the space of the two first canonical variables in 2006 (explanation – as below Table 2)



Rys. 2. Położenie metod aplikacji magnezu w układzie dwu pierwszych zmiennych kanonicznych w 2007 roku (objaśnienie – jak pod tabelą 2)

Fig. 2. Distribution of methods of magnesium application in the space of the two first canonical variables in 2007 (explanation – as below Table 2)

Tabela 3. Odległości Mahalanobisa pomiędzy metodami aplikacji magnezu u mieszańca kukurydzy (*Zea mays* L.) typu „stay-green” w 2007 roku (w nawiasach podano wartości *p* dla odległości istotnych statystycznie)

Table 3. Mahalanobis' distances between methods of magnesium application at maize (*Zea mays* L.) hybrid of “stay-green” type in 2007 (in parentheses the *p*-values for statistically significant distances are provided)

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---|
| A | 0 | | | | | | |
| B | 34,75 | 0 | | | | | |
| C | 63,80 (0,007) | 40,36 (0,048) | 0 | | | | |
| D | 38,26 | 25,06 | 48,56 (0,034) | 0 | | | |
| E | 48,65 (0,035) | 32,35 | 44,72 (0,043) | 12,49 | 0 | | |
| F | 62,45 (0,008) | 30,71 | 53,47 (0,021) | 45,13 (0,041) | 49,17 (0,031) | 0 | |
| G | 32,85 | 24,53 | 52,02 (0,024) | 27,03 | 33,18 | 47,81 (0,038) | 0 |

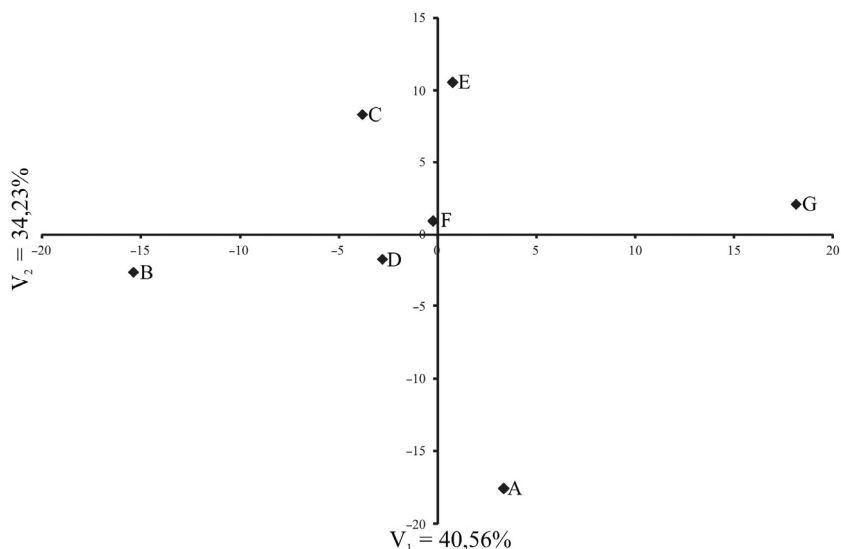
$D_{kr}^2 = 39,901$.

Objaśnienie – jak pod tabelą 2.

Explanation – as below Table 2.

zmienna kanoniczna była istotnie dodatnio skorelowana z suchą masą pojedynczej rośliny (0,792), plonem suchej masy (0,794), pobraniem azotu (0,829), pobraniem fosforu (0,850), pobraniem magnezu (0,776), pobraniem wapnia (0,877), zawartością chlorofilu *a* (0,924), zawartością chlorofilu *b* (0,842) oraz sumą chlorofilu *a+b* (9,926) (tab. 1). Największym zróżnicowaniem pod względem wszystkich 13 obserwowanych cech traktowanych łącznie charakteryzowały się metody aplikacji magnezu oznaczone symbolami B i G (odległość Mahalanobisa między nimi wynosiła 33,89), natomiast najbardziej podobne były metody C i E (6,59). Wartości odległości Mahalanobisa dla wszystkich par metod aplikacji magnezu przedstawiono w tabeli 4.

Przedstawiona charakterystyka wielozmienna zróżnicowania badanego mieszańca kukurydzy w wyniku różnych metod aplikacji magnezu jest przekonującą ilustracją. W ten sposób wykazano efektywność metody analizy zmiennych kanonicznych. Wynika to z faktu, iż zmienne te wyjaśniały znaczną część całkowitej zmienności (70,20%, 74,01% oraz 74,79% dla doświadczeń przeprowadzonych w, odpowiednio, 2006, 2007 oraz 2008 roku). Jest to więc metoda wiarygodna, czego potwierdzeniem może być jej szerokie stosowanie przez hodowców i genetyków w badaniach nad pszenicą jarą (SHAMSUDDIN 1985), żywicą (HUMPREYS 1991), kiwi (DAOYU i LAWES 2000), kustrzewą trzcinową (VAYLAY i VAN SANTEN 2002), jęczmieniem jarym (BOCIANOWSKI i RYBIŃSKI 2008), chmielem zwyczajnym (BOCIANOWSKI i SKOMRA 2008), rzepakiem ozimym (BOCIANOWSKI i IN. 2009), łubinem (RYBIŃSKI i IN. 2009), owsem (BOCIA-



Rys. 3. Położenie metod aplikacji magnezu w układzie dwu pierwszych zmiennych kanonicznych w 2008 roku (objaśnienie – jak pod tabelą 2)

Fig. 3. Distribution of methods of magnesium application in the space of the two first canonical variables in 2008 (explanation – as below Table 2)

Tabela 4. Odległości Mahalanobisa pomiędzy metodami aplikacji magnezu u mieszańca kukurydzy (*Zea mays* L.) typu „stay-green” w 2008 roku (w nawiasach podano wartości *p* dla odległości istotnych statystycznie)

Table 4. Mahalanobis' distances between methods of magnesium application at maize (*Zea mays* L.) hybrid of “stay-green” type in 2008 (in parentheses the *p*-values for statistically significant distances are provided)

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|------------------|------------------|-------|------------------|-------|------------------|---|
| A | 0 | | | | | | |
| B | 24,08 (0,048) | 0 | | | | | |
| C | 27,00 () | 16,39 | 0 | | | | |
| D | 20,52 | 16,37 | 15,61 | 0 | | | |
| E | 28,44 () | 20,98 | 6,59 | 15,54 | 0 | | |
| F | 24,64 (0,046) | 22,08 | 19,20 | 24,89 (0,043) | 19,78 | 0 | |
| G | 24,78 (0,045) | 33,89 (0,017) | 23,15 | 23,11 | 19,42 | 24,98 (0,039) | 0 |

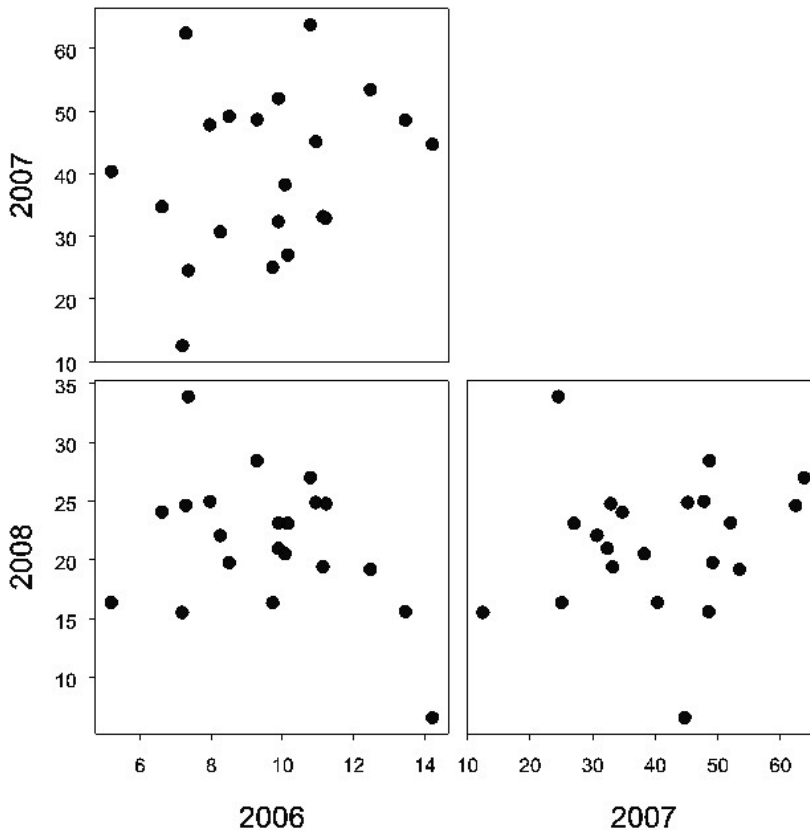
$D_{kr}^2 = 23,556$.

Objaśnienie – jak pod tabelą 2.

Explanation – as below Table 2.

NOWSKI i STOKŁOSA 2010), lnem włóknistym (PRACZYK i IN. 2010), kminkiem zwy-
czajnym (SEIDLER-ŁOŻYKOWSKA i IN. 2010, SEIDLER-ŁOŻYKOWSKA i BOCIANOWSKI
2012), lędźwianem siewnym (RYBIŃSKI i IN. 2011) i pszenżytem (BOCIANOWSKI i WA-
RZECHA 2012).

Dodatkowo obliczono i testowano współczynniki korelacji między odległościami Mahalanobisa poszczególnych par metod aplikacji magnezu w trzech latach prowadzenia obserwacji. Żaden z trzech współczynników nie był istotny statystycznie (rys. 4): w latach 2006-2007 $r = 0,2495$, $P = 0,2753$, w latach 2006-2008 $r = -0,3767$, $P = 0,0923$, w latach 2007-2008 $r = 0,1093$, $P = 0,6373$. Niezaobserwowanie istotnego statystycznie skorelowania odległości Mahalanobisa wynika z bardzo silnego wpływu lat na wartości obserwowanych cech mieszańca kukurydzy. Otrzymane wyniki potwierdzają, iż przebieg warunków meteorologicznych w sezonie wegetacyjnym kukurydzy w znacznym stopniu decyduje o skuteczności (wyborze) metody aplikacji magnezu.



Rys. 4. Wykres współzależności między odległościami Mahalanobisa ocenianymi w trzech latach badań

Fig. 4. Scatterplot of relationship among Mahalanobis' distances estimated in three years of the study

Wnioski

1. Najbardziej zróżnicowane zachowanie wielocechowe mieszańca LG 2244 typu „stay-green” stwierdzono pod wpływem następujących metod aplikacji magnezu: C i E (w 2006 r.), A i F (w 2007 r.) oraz B i G (w 2008 r.). Najbardziej podobne zachowanie mieszańca stwierdzono pod wpływem metod: B i C (w 2006 r.), D i E (w 2007 r.) oraz C i E (w 2008 r.).

2. Wyniki uzyskane za pomocą metody analizy zmiennych kanonicznych potwierdzają jej przydatność do efektywnej oceny wielocechowego podobieństwa i charakterystyki wielocechowego zachowania badanego mieszańca będącego wynikiem różnych metod aplikacji magnezu.

Literatura

- ADUGNA W., LABUSCHAGNE M.T., 2003. Cluster and canonical variate analyses in multilocation trials of linseed. *J. Agric. Sci.* 140: 297-304.
- ALTMAN D.W., MCCUISTION W.L., KRONSTAD W.E., 1983. Grain protein percentage, kernel hardness, and grain yield of winter wheat with foliar applied urea. *Agron. J.* 75: 87-91.
- ARNON D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24: 1-15.
- BOCIANOWSKI J., LIERSCH A., BARTKOWIAK-BRODA I., 2009. Badanie zmienności fenotypowej mieszańców F₁ CMS *ogura* rzepaku ozimego i ich form rodzicielskich za pomocą statystycznych metod wielowymiarowych. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops* 30: 161-184.
- BOCIANOWSKI J., RYBIŃSKI W., 2008. Wykorzystanie analizy zmiennych kanonicznych do wielocechowej charakterystyki dwurzędowych i wielorzędowych linii DH jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.). *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska Sect. E* 63, 3: 53-61.
- BOCIANOWSKI J., SKOMRA U., 2008. Wykorzystanie analizy zmiennych kanonicznych do wielocechowej charakterystyki odmian chmielu zwyczajnego (*Humulus lupulus* L.). *Pam. Puław.* 148: 107-118.
- BOCIANOWSKI J., STOKŁOSA A., 2010. Ocena kielkowania odmian botanicznych owsa głuchego (*Avena fatua* L.) w różnych warunkach świetlnych i termicznych za pomocą analizy zmiennych kanonicznych. *Nauka Przyr. Technol.* 4, 5, #65.
- BOCIANOWSKI J., WARZECHA T., 2012. Wielocechowa charakterystyka odmian pszenicy (*Triticum* L.) i pszenżyta (*×Triticosecales* Wittm. ex A. Camus) inokulowanych *Fusarium culmorum*. *Nauka Przyr. Technol.* 6, 1, #14.
- CAMUSSI A., OTTAVIANO E., CALIŃSKI T., KACZMAREK Z., 1985. Genetic distances based on quantitative traits. *Genetics* 111: 945-962.
- CHATFIELD C., COLLINS A.J., 1986. Introduction to multivariate analysis (revised edition). Chapman & Hall, London.
- DAOYU Z., LAWES G.S., 2000. Manova and discriminant analysis of phenotypic data as a guide for parent selection in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) breeding. *Euphytica* 114: 151-157.
- FAZEKAS T., SELMECZI B., STEFANOVITS P., 1994. Magnesium in biological systems. Environmental and biomedical aspects. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- GÓRCZYŃSKI J., MĄDRY W., 1988. A study of genetic divergence of plants by multivariate methods. *Genet. Pol.* 29: 341-352.
- HARDER H.J., CARLSON R.E., SHAW R.H., 1982. Corn grain yield and nutrient response to foliar fertilizer applied during grain. *Agron. J.* 74: 106-110.

- HUMPREYS M.O., 1991. A genetic approach to the multivariate differentiation of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivars. *Heredity* 66: 437-443.
- KRUCZEK A., 2001. Effectiveness of foliar fertilization of maize with nitrogen and micronutrients depending on the level of nitrogen supply. *Sci. Pap. Agric. Univ. Pozn. Agric.* 2: 75-85.
- KRUCZEK A., SZULC P., 2000. Wpływ dolistnego stosowania moczniaka na pobieranie i wykorzystanie azotu przez kukurydzę. *Fragm. Agron.* 67, 3: 18-29.
- MAHALANOBIS P.C., 1936. On the generalized distance in statistics. *Proc. Nat. Inst. Sci. India* 2, 1: 49-55.
- PAYNE R., MURREY D., HARDING S., BAIRD D., SOUTOU D., LANE P., 2003. *GenStat for Windows* (7th edition) – Introduction. VSN Int., Oxford, England.
- PRACZYK M., BOCIANOWSKI J., SILSKA G., 2010. Analiza zmienności wybranych cech ilościowych w kolekcji lnu włóknistego (*Linum usitatissimum* L.). *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 555: 339-345.
- RENCHER A.C., 1998. *Multivariate statistical inference and applications*. Wiley, New York.
- RYBIŃSKI W., SZOT B., BOCIANOWSKI J., RUSINEK R., 2011. Geometric properties of grasspea seeds and their mechanical loads. *Int. Agrophys.* 25: 271-280.
- RYBIŃSKI W., SZOT B., RUSINEK R., BOCIANOWSKI J., 2009. Estimation of geometric and mechanical properties of seed of Polish cultivars and lines representing selected species of pulse crops. *Int. Agrophys.* 23: 257-267.
- SEIDLER-ŁOŻYKOWSKA K., BOCIANOWSKI J., 2012. Evaluation of variability of morphological traits of selected caraway (*Carum carvi* L.) genotypes. *Ind. Crops Prod.* 35: 140-145.
- SEIDLER-ŁOŻYKOWSKA K., KRÓL D., BOCIANOWSKI J., 2010. Zawartość olejku eterycznego i jego skład w owocach pochodzących z kolekcji kminku zwyczajnego (*Carum carvi* L.). *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops* 31: 147-160.
- SESAY A., SHIBLES R., 1980. Mineral depletion and leaf senescence in soya bean as influenced by foliar application during seed filling. *Ann. Bot.* 45: 47-55.
- SHAMSUDDIN A.K.M., 1985. Genetic diversity in relation to heterosis and combining ability in spring wheat. *Theor. Appl. Genet.* 70: 306-308.
- SZULC P., BOCIANOWSKI J., RYBUS-ZAJĄC M., 2011 a. Correlation between traits and their influence on grain yield of “stay-green” maize hybrid (*Zea mays* L.). *Fresenius Environ. Bull.* 20, 8: 2150-2155.
- SZULC P., BOCIANOWSKI J., RYBUS-ZAJĄC M. 2011 b. The reaction of “stay-green” maize hybrid (*Zea mays* L.) to various methods of magnesium application. *Fresenius Environ. Bull.* 20, 8: 2126-2134.
- SZULC P., BOCIANOWSKI J., RYBUS-ZAJĄC M., 2012. Accumulation of N, P, K and Mg nutrient elements and nutrient remobilization indices in the biomass of two contrasting maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Fresenius Environ. Bull.* 21, 8: 2062-2070.
- SZULC P., SKRZYPCZAK W., WALIGÓRA H., 2010. Występowanie chorób na kukurydzy w zależności od sposobu aplikacji magnezu. *Prog. Plant Prot. / Post. Ochr. Rośl.* 50, 2: 752-755.
- VAYLAY R., VAN SANTEN E., 2002. Application of canonical discriminant analysis for the assessment of genetic variation in tall fescue. *Crop Sci.* 42: 534-539.
- YEATER K.M., BOLLERO G.A., BULLOCK D.G., RAYBURN A.L., RODRIGUEZ-ZAS S., 2004. Assessment of genetic variation in hairy vetch using canonical discriminant analysis. *Crop Sci.* 44: 185-189.

MULTIVARIABLE ANALYSIS OF EFFECTS OF VARIOUS METHODS OF MAGNESIUM APPLICATION OF LG 2244 MAIZE HYBRID

Summary. The paper presents a multivariable approach to the estimation of variability for quantitative traits after using the seven methods of magnesium application of the “stay-green” type of maize (*Zea mays* L.) hybrid. The 13 characteristics of LG 2244 hybrid were under consideration in three years (2006-2008): grain yield, moisture of grain, 1000 grain yield, dry matter of a single plant, dry matter yield, uptake of N, uptake of P, uptake of K, uptake of Mg, uptake of Ca, chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and chlorophyll *a+b* content. The obtained results were computed with statistical multivariable methods of application. Canonical variable analysis (in each year independent) has proved to be an effective tool for clear assessing of differences among the studied methods of magnesium application. The most diverse methods were: C and E (in 2006), A and F (in 2007), and B as G (in 2008). The most similar methods (in respect of 13 traits simultaneously) were: B and C (in 2006), D and E (in 2007), and C and E (in 2008). Mahalanobis’ distances between methods of magnesium application in individual years of the study were not significantly correlated.

Key words: canonical variables analysis, maize, magnesium, Mahalanobis’ distances

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Jan Bocianowski, Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań, Poland, e-mail: jboc@up.poznan.pl

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

25.01.2013

Do cytowania – For citation:

Bocianowski J., Szulc P., Rybus-Zajac M., 2013. Wielocechowa analiza efektów różnych metod aplikacji magnezu u mieszańca kukurydzy LG 2244. *Nauka Przyr. Technol.* 7, 1, #21.