

Zmienność cech morfologicznych i plonu nowych, polskich form hodowlanych sorgo zwyczajnego (*Sorghum bicolor* L.)

Variability of morphological and yield traits of new Polish breeding forms of common sorghum (*Sorghum bicolor* L.)

Danuta Martyniak , Dariusz R. Mańkowski 

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Radzików, 05-870 Błonie

✉ d.mankowski@ihar.edu.pl

W pracy przedstawiono charakterystykę dwóch form hodowlanych sorgo zwyczajnego. Formy sorgo porównywano pod względem poziomu wybranych cech morfologicznych oraz cech charakteryzujących plonowanie. Uzyskane wyniki uzasadniały przeznaczenie gospodarcze materiału uzyskanego z tych form. Zaprezentowane wyniki analiz świadczyły również o wysokiej wartości hodowlanej tych form jako materiału wyjściowego do wyprowadzenia nowych polskich odmian sorgo dwubarwnego.

Słowa kluczowe: formy hodowlane, sorgo, cechy morfologiczne, plon, zmienność, *Sorghum bicolor* L.

The paper presents the characteristics of two breeding forms of common sorghum. These forms were compared based on selected morphological traits and yield-related features. The results obtained support the agronomic potential of the material derived from these forms. The presented results of analyses also indicated the high breeding value of these forms as the starting material for developing new Polish varieties of common sorghum.

Key words: breeding forms, sorghum, morphological features, yield, variability, *Sorghum bicolor* L.

Wstęp

Sorgo zwyczajne, dwubarwne (*Sorghum bicolor* L.) jest rośliną tropikalną należącą do rodziny wiechlinowatych (*Poaceae*), blisko spokrewnioną z kukurydzą. Pochodzi z Afryki, gdzie do dziś występuje w formie dzikiej. Obecnie jest uprawiane w rejonach o klimacie tropikalnym i podzwrotnikowym, a także w rejonach o klimacie umiarkowanym (*Sorghum bicolor* L. Moench, strona www, 2009). Sorgo zwyczajne znajduje się w czołowej piątce zbóż uprawianych na świecie, wraz z pszenicą, kukurydzą, ryżem, jęczmieniem i owsem (Business Standard, 2023). Ze względu na szerokie możliwości wykorzystania tego zboża, sorgo zwyczajne jest bardzo atrakcyjną rośliną uprawną z punktu widzenia żywieniowego, paszowego i energetycznego.

Postępujące ocieplenie klimatu Polski i rosnący deficyt wody sprawiają, że zainteresowanie uprawą sorgo zwyczajnego w naszym kraju z dużym prawdopodobieństwem będzie wzrastać. Prognozuje się, że w przyszłości może stać się ceną alternatywą dla kukurydzy, a także innych gatunków zbóż (Żurek i in., 2019; Stachowiak i in., 2022). Mimo że sorgo zwyczajne ma stosunkowo małe wymagania glebowe i wodne, uprawa jego w Europie, a zwłaszcza w Polsce jest marginalna. Łączna powierzchnia uprawy sorgo w krajach Unii Europejskiej w okresie od lipca 2022 do czerwca 2023 wyniosła 138 tys. ha, a największymi producentami ziarna były Francja i Włochy.

Wzrastał również areal uprawy w Austrii, na Węgrzech i w Hiszpanii (Wolska, 2021; Stachowiak i in., 2022). Sorgo, ze względu na swoje pochodzenie, ma wysokie wymagania termiczne. Jest wrażliwe na chłodny klimat i przymrozki wiosenne. Dlatego też w Polsce należy je wysiewać po 15 maja, gdyż siewki podczas wschodów są najbardziej wrażliwe na chłód. Postępujące ocieplenie klimatu w Polsce, a także pogłębiające się niedobory wody (okresowe susze) sprawiają, że zainteresowanie uprawą sorgo zaczyna wzrastać.

Sorgo zwyczajne jest gatunkiem diploidalnym, podobnie jak kukurydza, ale nie wytwarza kolb. Posiada głęboki i dobrze rozwinięty system korzeniowy, dzięki temu znosi niedobory wody. Łodyga zawiera dużą ilość celulozy i hemicelulozy. Kolor nasion sorgo jest różny od ciemnoczerwonego, żółtego do białego. Różnorodność kolorów wynika z różnej ilości polifenoli w ziarnie (Stachowiak i in., 2022). Ziarno sorgo jest źródłem cennych składników odżywczych – witamin (głównie witaminy z grupy B i witaminy E), minerałów, węglowodanów, wielonienasyconych kwasów tłuszczowych oraz licznych substancji bioaktywnych korzystnych dla człowieka (de Moraes Cardoso i in., 2017). Ma niski indeks glikemiczny i ze względu na wolniejsze, niż ma to miejsce u innych zbóż, uwalnianie cukrów jest zalecane dla diabetyków (Frankowski, 2017). Sorgo w formie zielonki, siana lub kiszonki może być stosowane jako pasza dla przeżuwaczy i trzody chlewnej, a dojrzałe ziarno mogą być stosowane w żywieniu drobiu

(Stachowiak i in., 2022). Sorgo ze względu na skład chemiczny, w tym wysoką zawartość skrobi w ziarnie, jest opłacalną rośliną do produkcji biopaliw (w tym bioetanolu) oraz biogazu (Szambelan i in., 2018).

W Krajowym Rejestrze Odmian prowadzonym przez Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych nie ma obecnie żadnej polskiej odmiany sorgo. Intensywne prace badawcze i wstępne prace hodowlane pozwoliły na wytworzenie pierwszych dwóch form hodowlanych sorgo zwyczajnego, które wytwarzają nasiona. Główne kryteria selekcji, to: wczesność, plon, morfologia, odporność na choroby (wirusowe i grzybowe). W wyniku prac hodowlanych przeprowadzonych w Zakładzie Bioenergetyki, Analiz Jakości i Nasiennictwa Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowego Instytutu Badawczego w Radzikowie wytworzono dwie formy hodowlane sorgo dwubarwnego, które są zdolne do wydania nasion w klimacie umiarkowanym, w tym w klimacie Polski (Martyniak, 2014). Celem pracy jest charakterystyka poziomu i zmienności cech morfologicznych i plonu tych form hodowlanych sorgo.

Material i metody

Materiał do badań stanowiły dwie formy hodowlane sorgo zwyczajnego wyhodowane w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowym Instytucie Badawczym w Radzikowie, w Zakładzie Bioenergetyki, Analiz Jakości i Nasiennictwa:

Forma niska - Sorgo RAD-N/z – materiał otrzymano z Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych IHAR-PIB w Radzikowie, pochodzenie materiału wyjściowego – ekotyp, obiekt wywodzący się z Mołdawii, forma miejscowa, nasiona zebrane w 2000 r. W wyniku prac badawczo-hodowlanych wytworzono formę średnio wysoką od 150-160 cm, o dużym ulistnieniu i wyróżniającym się kwiatostanie o zwisających i rozpięchłych wiechach długości do 30 cm. Posiada nasiona koloru ciemnobrązowego o masie tysiąca nasion od 16-18 g i zdolności kiełkowania na poziomie ponad 80%. Biomasa tej formy może być przeznaczona na wielokierunkowe wykorzystanie ze wskazaniem na kiszonkę. Plon biomasy suchej z ha to 16-20 ton, zaś nasion 5-8 ton.

Forma wysoka - Sorgo RAD-W/r – materiał otrzymano z Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych IHAR-PIB w Radzikowie, pochodzenie materiału wyjściowego – obiekt wywodzący się z Mołdawii, forma miejscowa, nasiona zebrane w 2000 r. W wyniku prac badawczo-hodowlanych uzyskano formę o rozpięchłej wieście, nasionach kulistych, połyskliwych ciemnobordowych, cechujących się masą tysiąca ziaren 24,0-25,0 g, o bardzo dobrej zdolności kiełkowania na poziomie ponad 90%. Rośliny wysokie od

250-280 cm. Plon suchej biomasy z ha to 18-22 ton zaś plon nasion około 8-10 ton·ha⁻¹. Biomasa może być przeznaczona na wielokierunkowe wykorzystanie z wskazaniem na energetyczne, paszowe i żywieniowe.

W celu zbadania poziomu i zmienności cech morfologicznych oraz plonowania wytworzonych form hodowlanych sorgo założono doświadczenie polowe w sezonie 2022-2023, w Radzikowie (52° 12'48"N 20°38'33"E). Doświadczenie zostało założone w układzie bloków losowych, w czterech powtórzeniach, na glebie średniozwięzłej kl. IV. Powierzchnia poletek wynosiła 3,2 m². Nasiona sorgo wysiano na głębokość 2 cm, w rozstawie rzędów 80 cm. Norma wysiewu wynosiła 11,2 kg·ha⁻¹ co odpowiada 26 roślinom na 1 m².

Obserwacje i pomiary cech morfologicznych przeprowadzono na roślinach w fazie generatywnej wykształconych wiech (faza dojrzewania nasion). Warunki pogodowe panujące w trakcie doświadczenia zostały odczytane z automatycznej stacji meteorologicznej zlokalizowanej w odległości ok. 300 m od pola doświadczalnego. Sezon wegetacyjny dla sorgo trwa się od maja do października. Odnotowane temperatury w trakcie prowadzenia doświadczenia były sprzyjające dla sorgo i wynosiły średnio dobowo 15,7°C w maju oraz 11,3°C w październiku. Natomiast w przypadku opadów warunki były trudne – bardzo mało opadów odnotowano we wrześniu (3,7 mm) zaś w lipcu (63,8 mm) i w październiku (58,3 mm) bardzo dużo.

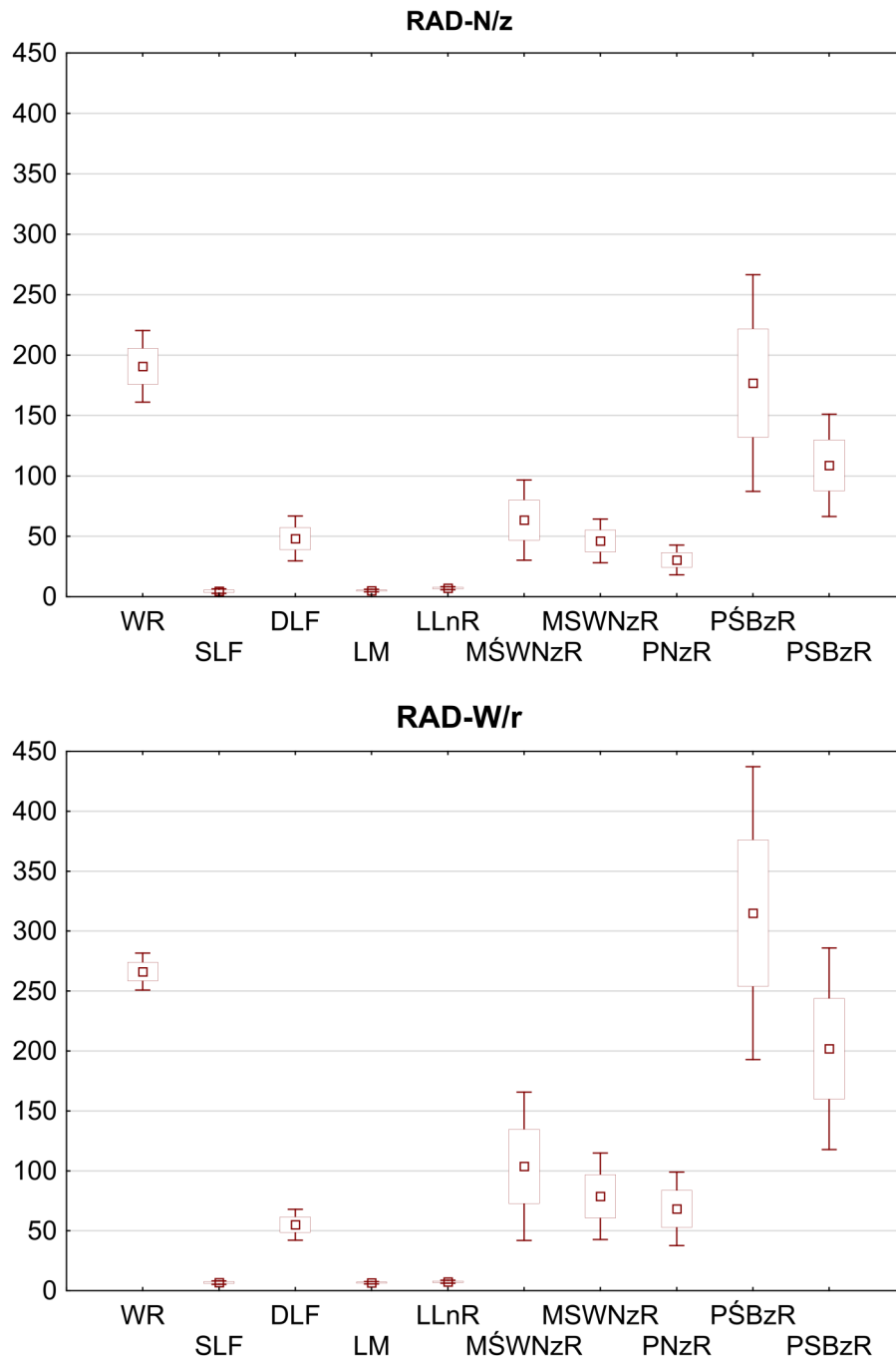
Analiza statystyczna wyników. Wszystkie analizowane zmienne spełniały kryteria określone w twierdzeniu Lindeberga-Lévy'ego, dzięki czemu można było uznać, że ich rozkład był asymptotycznie zbliżony z teoretycznym rozkładem normalnym (Klenke, 2007, Billingsley, 2012, Shiryaev, 2013). Wykonano wstępną analizę opisową, analizę homogeniczności wariancji z wykorzystaniem testu Levene'a (Levene, 1960), i zależnie od wyników tego testu – test F analizy wariancji (Fisher, 1930, 1947) lub analizę wariancji Welcha (Welch, 1951). Grupy jednorodne wyznaczono dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ z wykorzystaniem testu HSD Tukeya (Tukey, 1949). Przeprowadzono również analizę współczynników korelacji liniowej Pearsona (Pearson and Henrici, 1997). Analizy statystyczne wykonano z wykorzystaniem programu Statistica w wersji 13.3 (TIBCO Software Inc., 2017).

Omówienie wyników i dyskusja

Zobrazowano wyznaczone podstawowe statystyki opisowe dla analizowanych zmiennych badanych obiektów (Rys. 1). Stwierdzono, że największą zmienność odnotowano dla plonu świeżej wiechy z nasionami z rośliny: dla RAD-N/z współczynnik zmienności CV wynosił 26,2%, a dla RAD-W/r 29,8%. Najniższą zmiennością

cechowała się natomiast wysokość roślin – dla RAD-N/z CV = 7,7%, a dla RAD-W/r CV = 2,9%. Porównując obydwie badane formy, można stwier-

dzić, że relatywnie większą zmiennością (wahaniaми) analizowanych zmiennych cechowała się forma niska RAD-N/z.



Rys. 1. Wykresy ramka-wąsy prezentujące wartości średnie i odchylenia standardowe analizowanych zmiennych dla porównywanych form hodowlanych sorga.

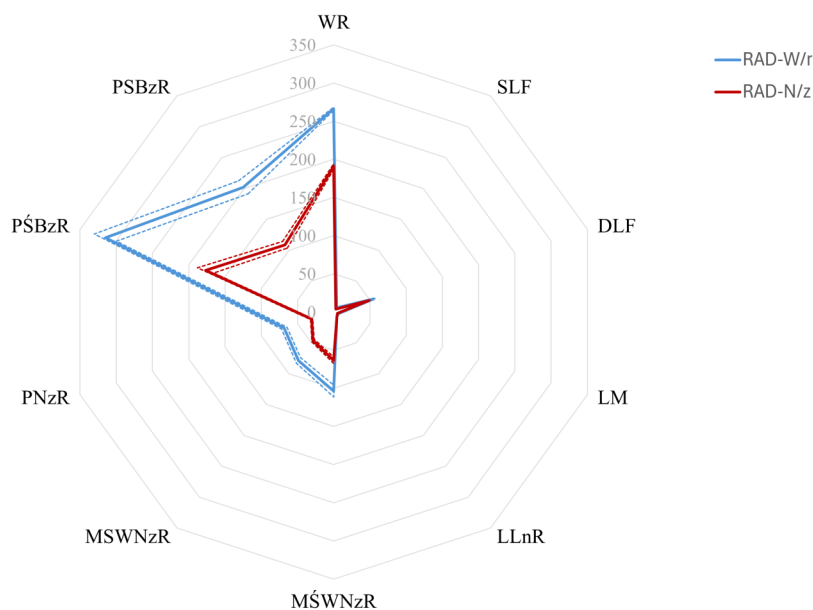
Zmienne: WR – wysokość roślin (cm), SLF – szerokość liścia flagowego (cm), DLF – długość liścia flagowego (cm), LM – liczba międzywęźli, LLnR – liczba liści na roślinie, MŚWNzR – masa świeżej wiechy z nasionami z rośliny (g), MSWNzR – masa suchej wiechy z nasionami z rośliny (g), PNzR – plon nasiona z rośliny (g), PŚBzR – plon świeżej biomasy z rośliny (g), PSBzR – plon suchej biomasy z rośliny (g); kwadrat – wartość średnia, ramka – średnia \pm odchylenie standardowe, wąsy – średnia $\pm 2 \times$ odchylenie standardowe.

Fig. 1. Box-and-whisker plots presenting mean values and standard deviations of the analyzed variables for the compared sorghum breeding forms.

Variables: WR – plant height (cm), SLF – flag leaf width (cm), DLF – flag leaf length (cm), LM – number of internodes, LLnR – number of leaves per plant, MŚWNzR – fresh panicle mass with seeds per plant (g), MSWNzR – dry panicle mass with seeds per plant (g), PNzR – seed yield per plant (g), PŚBzR – fresh biomass yield per plant (g), PSBzR – dry biomass yield per plant (g); square – mean value, box – mean \pm standard deviation, whiskers – mean $\pm 2 \times$ standard deviation.

Na rysunku 2 przedstawiono średnie wartości poszczególnych cech morfologicznych i plonowania dla porównywanych form sorga. Takie zestawienie pozwala na porównanie profili cech dla porównywanych obiektów. Spośród cech morfologicznych (Rys. 2) prezentowane formy różniły się tylko pod względem wysokości roślin. W przypadku pozostałych cech morfologicznych różnice nie były już takie wyraźne. Cechy powiązane z plonem wyraźnie różnicowały badane formy hodowlane. Forma wysoka RAD-W/r charakteryzowała się wyższą masą wiech z nasionami z rośliny (zarówno świeżą jak i suchą masą) i plonem

nasion z rośliny. Natomiast w przypadku plonu biomasy z rośliny różnice były bardziej znaczące. To zestawienie (Rys. 2) wyraźnie wskazują, że forma RAD-W/r wytwarza znacznie więcej biomasy, więc stanowi bardziej obiecujący materiał roślinny w zastosowaniach w żywieniu zwierząt, czy też do produkcji bioenergii. Forma niska RAD-N/z pomimo mniejszej wytwarzanej biomasy nie różniła się zbyt wiele pod względem morfologii (poza wysokością) od formy wysokiej. Pozwala to na uzyskanie z tej formy wartościowej kiszonki przy relatywnie mniejszej objętości surowca.



Rys. 2. Wykres radarowy prezentujący wartości średnie i błędy standardowe dla analizowanych zmiennych. Zmienne: WR – wysokość roślin (cm), SLF – szerokość liścia flagowego (cm), DLF – długość liścia flagowego (cm), LM – liczba międzywęźli, LLnR – liczba liści na roślinie, MŚWNzR – masa świeżej wiechy z nasionami z rośliny (g), MSWNzR – masa suchej wiechy z nasionami z rośliny (g), PNzR – plon nasiona z rośliny (g), PŚBzR – plon świeżej biomasy z rośliny (g), PSBzR – plon suchej biomasy z rośliny (g); Liniami przerywanymi zaznaczono obszar średnia \pm błąd standardowy

Fig. 2. Radar chart showing mean values and standard errors for the analyzed variables.

Variables: WR – plant height (cm), SLF – flag leaf width (cm), DLF – flag leaf length (cm), LM – number of internodes, LLnR – number of leaves per plant, MŚWNzR – fresh panicle mass with seeds per plant (g), MSWNzR – dry panicle mass with seeds per plant (g), PNzR – seed yield per plant (g), PŚBzR – fresh biomass yield per plant (g), PSBzR – dry biomass yield per plant (g); The dashed lines indicate the mean \pm standard error

W celu szczegółowego zidentyfikowania i opisanie różnic pomiędzy opisywanymi formami hodowlanymi sorga przeprowadzono analizę wariancji w układzie bloków losowych. Zależnie od spełnienia założenia o równości wariancji (homogeniczności) przeprowadzono test F analizy wariancji lub test Welcha analizy wariancji. Wyniki dla danych morfologicznych zebrano w tabeli 1, a dla danych o plonach w tabeli 2. W przypadku cech morfologicznych statystycznie istotne różnice pomiędzy porównywanymi formami sorga stwierdzono dla wszystkich zmiennych z wyjątkiem liczby liści na roślinie (Tab. 1). Dla wysokości roślin, szerokości liścia flagowego, długości liścia flagowego oraz liczby międzywęźli istotnie niższe wartości odnotowano dla formy niskiej sor-

ga RAD-N/z. Natomiast dla plonów statystycznie istotne różnice pomiędzy formami stwierdzono dla wszystkich analizowanych zmiennych (Tab. 2). I w tym przypadku również istotnie niższe wartości zmiennych obserwowano dla formy niskiej RAD-N/z.

W celu określenia współzależności pomiędzy analizowanymi zmiennymi w obrębie porównywanych form przeprowadzono analizę współczynników korelacji liniowych. Wyniki zestawiono w tabeli 3.

Forma niska RAD-N/z charakteryzowała się występowaniem istotnych i dość silnych korelacji pomiędzy masą suchych wiech z nasionami z rośliny a plonem nasion z rośliny oraz masą świeżych wiech z nasionami z rośliny a plonem świe-

Tabela 1
Table 1

Wyniki testu homogeniczności wariancji i analizy wariancji wraz z średnimi i grupami jednorodnymi dla porównania form sorga ze względu na cechy morfologiczne
Results of the variance homogeneity test and variance analysis with means and homogeneous groups for the comparison of sorghum forms with respect to morphological features

	Wysokość rośliny(cm) Plant height (cm)		Szerokość liścia flagowego (cm) Flag leaf width (cm)		Długość liścia flagowego (cm) Flag leaf length (cm)		Liczba międzywęźli Number of internodes		Liczba liści na roślinie Number of leaves per plant	
Statystyka F dla testu Levene'a F-statistic for Levene's test	3,56	NS	1,63	NS	0,13	NS	0,99	NS	1,05	NS
Statystyka F dla porównania form ‡ F-statistic for compar- ison of forms ‡	336,57	**	62,85	**	5,72	*	98,68	**	3,46	NS
MS dla błędów ‡ MSE ‡	136,00		0,61		66,16		0,20		0,23	
RAD-N/z	190,625	A	4,606	A	48,188	A	5,125	A	7,125	A
RAD-W/r	266,250	B	6,794	B	55,063	B	6,687	B	7,438	A

‡ – wartość statystyki F dla testu F analizy wariancji przy statystycznie nieistotnej statystyce testowej dla testu Levene'a (wariancje homogeniczne) lub wartość statystyki F dla testu analizy wariancji Welcha przy statystycznie istotnej statystyce testowej dla testu Levene'a (brak homogeniczności wariancji); NS – brak istotnych różnic; * – istotne przy $\alpha = 0,05$; ** – istotne przy $\alpha = 0,01$; A / B – oznaczenie przynależności do grup jednorodnych

‡ – F statistic value for the F test of analysis of variance with a statistically insignificant test statistic for Levene's test (homogeneous variances) or F statistic value for Welch's analysis of variance test with a statistically significant test statistic for Levene's test (lack of homogeneity of variances); NS – no significant differences; * – significant at $\alpha = 0.05$; ** – significant at $\alpha = 0.01$; A / B – designation of membership in homogeneous groups

Tabela 2
Table 2

Wyniki testu homogeniczności wariancji i analizy wariancji wraz z średnimi i grupami jednorodnymi dla porównania form sorga ze względu na plonowanie
Results of the variance homogeneity test and variance analysis with means and homogeneous groups for the comparison of sorghum forms with respect to yield

	Masa świeżej wiechy z nasionami z rośliny (g) Fresh panicle mass with seeds per plant (g)		Masa suchej wiechy z nasionami z rośliny (g) Dry panicle mass with seeds per plant (g)		Plon nasion z rośliny (g) Seed yield per plant (g)		Plon świeżej biomasy z rośliny (g) fresh biomass yield per plant (g)		Plon suchej biomasy z rośliny (g) dry biomass yield per plant (g)	
Statystyka F dla testu Levene'a F-statistic for Levene's test	11,88	**	18,99	**	22,87	**	1,33	NS	7,33	*
Statystyka F dla porównania form ‡ F-statistic for compar- ison of forms ‡	23,95	**	43,51	**	92,07	**	58,70	**	75,14	**
MS dla błędów ‡ MSE ‡	542,90		194,20		124,61		2600,00		923,30	
RAD-N/z	63,438	A	46,250	A	30,463	A	176,875	A	108,750	A
RAD-W/r	103,750	B	78,750	B	68,331	B	315,000	B	201,875	B

‡ – wartość statystyki F dla testu F analizy wariancji przy statystycznie nieistotnej statystyce testowej dla testu Levene'a (wariancje homogeniczne) lub wartość statystyki F dla testu analizy wariancji Welcha przy statystycznie istotnej statystyce testowej dla testu Levene'a (brak homogeniczności wariancji); NS – brak istotnych różnic; * – istotne przy $\alpha = 0,05$; ** – istotne przy $\alpha = 0,01$; A / B – oznaczenie przynależności do grup jednorodnych

‡ – F statistic value for the F test of analysis of variance with a statistically insignificant test statistic for Levene's test (homogeneous variances) or F statistic value for Welch's analysis of variance test with a statistically significant test statistic for Levene's test (lack of homogeneity of variances); NS – no significant differences; * – significant at $\alpha = 0.05$; ** – significant at $\alpha = 0.01$; A / B – designation of membership in homogeneous groups

żej i suchej biomasy z rośliny. Słabsze i odwrotnie proporcjonalne relacje stwierdzono pomiędzy wysokością roślin a plonem biomasy z rośliny. W przypadku formy wysokiej RAD-W/r istotne i dość silne korelacje stwierdzono dla współzależ-

ności pomiędzy szerokością liścia flagowego a wszystkimi zmiennymi charakteryzującymi plonowanie. Istotne statystycznie i silne korelacje zaobserwowano pomiędzy cechami charakteryzującymi plonowanie tej formy sorga.

Tabela 3
Table 3

Zestawienie współczynników korelacji liniowej Pearsona pomiędzy analizowanymi zmiennymi dla dwóch porównywanych form hodowlanych sorga
Summary of Pearson linear correlation coefficients between analyzed variables for two compared breeding forms of sorghum

RAD-N /z	WR	SLF	DLF	LM	LLnR	MŚWNzR	MSWNzR	PNzR	PŚBzR	PSBzR
RAD-W/r										
WR	1	-0,198	-0,214	0,304	-0,445	-0,294	-0,355	-0,155	-0,574*	-0,507*
SLF	-0,298	1	0,128	0,319	0,427	0,343	0,234	0,171	0,382	0,415
DLF	-0,139	0,544*	1	-0,063	-0,201	-0,078	0,100	0,106	0,102	0,059
LM	0,275	0,221	0,136	1	-0,054	-0,216	0,111	-0,064	-0,249	-0,268
LLnR	0,524*	0,223	0,091	0,263	1	0,409	-0,089	-0,115	0,423	0,445
MŚWNzR	-0,324	0,651**	0,116	0,084	0,047	1	0,569*	0,443	0,727**	0,881**
MSWNzR	-0,077	0,797**	0,213	0,145	0,287	0,863**	1	0,840**	0,545*	0,671**
PNzR	-0,072	0,782**	0,192	0,157	0,273	0,869**	0,997**	1	0,283	0,491
PŚBzR	-0,140	0,680**	0,364	0,125	0,269	0,786**	0,811**	0,801**	1	0,916**
PSBzR	0,022	0,730**	0,151	0,197	0,471	0,799**	0,934**	0,943**	0,855**	1

Zmienne: WR – wysokość roślin (cm), SLF – szerokość liścia flagowego (cm), DLF – długość liścia flagowego (cm), LM – liczba międzywęźli, LLnR – liczba liści na roślinie, MŚWNzR – masa świeżej wiechy z nasionami z rośliny (g), MSWNzR – masa suchej wiechy z nasionami z rośliny (g), PNzR – plon nasiona z rośliny (g); * – istotne przy $\alpha = 0,05$; ** – istotne przy $\alpha = 0,01$
Variables: WR – plant height (cm), SLF – flag leaf width (cm), DLF – flag leaf length (cm), LM – number of internodes, LLnR – number of leaves per plant, MŚWNzR – fresh panicle mass with seeds per plant (g), MSWNzR – dry panicle mass with seeds per plant (g), PNzR – seed yield per plant (g), PŚBzR – fresh biomass yield per plant (g), PSBzR – dry biomass yield per plant (g); * – significant at $\alpha = 0,05$; ** – significant at $\alpha = 0,01$

Podsumowanie

Badane formy sorga zwyczajnego różniły się pod względem cech plonotwórczych (masy świeżej wiechy z nasionami z rośliny, masy suchej wiechy z nasionami z rośliny) oraz morfologicznych (wysokość roślin). Parametry te miały wyższe wartości w przypadku formy wysokiej RAD-W/r. Zarówno plon nasion z rośliny jak i plon świeżej i suchej biomasy były o 48-55% większe w porównaniu z formą niską RAD-N/z. W przypadku długości i szerokości liścia flagowego oraz liczby międzywęźli różnice były już znacznie mniejsze (12-32%), a w przypadku liczby liści na roślinie nieistotne statystycznie. U formy wysokiej, szerokość liścia flagowego korelowała z ce-

chami plonotwórczymi. Istotne korelacje stwierdzono pomiędzy zmiennymi opisującymi plonowanie roślin sorga, zarówno w przypadku formy wysokiej jak i niskiej.

Uzyskane wyniki wskazują na potencjał badanych form dla gospodarki rolnej. Obydwie formy nadają się do wielokierunkowego wykorzystania. U formy wysokiej, RAD-W/r, przeważają cechy sugerujące jej przydatność dla bioenergetyki oraz na cele żywieniowe. Forma niska, RAD-N/z, powinna się dobrze sprawdzić w przeznaczeniu na paszę, głównie w formie kiszonek. Badane formy hodowlane są więc wartościowym materiałem wyjściowym do uzyskania nowych polskich odmian sorga zwyczajnego.

Literatura

- Billingsley, P., 2012. Probability and Measure. John Wiley & Sons.
- Business Standard, 2023. World cereal production projected to reach record high in 2023-2024: FAO [strona WWW]. URL: https://www.business-standard.com/world-news/world-cereal-production-projected-to-reach-record-high-in-2023-2024-fao-123070900066_1.html (weryfikacji 21-08-24).
- de Morais Cardoso, L., Pinheiro, S.S., Martino, H.S.D., Pinheiro-Sant'Ana, H.M., 2017. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.): Nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 57, 372–390.
- Fisher, R.A., 1947. The design of experiments. Oliver and Boyd, Edinburgh, UK.
- Fisher, R.A., 1930. Statistical Methods for Research Workers. Oliver and Boyd, Edinburgh, UK.
- Frankowski, J., 2017. Nutritional and therapeutic properties of sorghum (*Sorghum Moench*). Postępy Fitoter. 209–214. DOI: <https://doi.org/10.25121/PF.2017.18.3.209>
- Klenke, A., 2007. Probability Theory: A Comprehensive Course. Springer Science & Business Media.
- Levene, H., 1960. Robust Tests for Equality of Variances, in: Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling. Stanford University Press, pp. 278–292.
- Martyniak D. 2014. Polskie sorgo (*Sorghum bicolor*) na biogaz i paszę. Biomasa Ogólnopolski Miesięcznik Klasy Biznes. Październik 2014, 12–15. www.magazynb.pl/ ISSN2353-9321biomasa.
- Pearson, K., Henrici, O.M.F.E., 1997. VII. Mathematical contributions to the theory of evolution —III Regression, heredity, and panmixia. Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. Contain. Pap. Math. Phys. Character. 187, 253–318. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.1896.0007>

- Shiryayev, A., 2013. Probability. Springer Science & Business Media.
- Sorghum bicolor* (L.) Moench [strona WWW], 2009. Prota 1 Cereals Pulses Céréales Légumes Secs Affichage Fiche. URL: https://web.archive.org/web/20091021070855/http://database.prota.org/PROTAhtml/Sorghum%20bicolor_Fr.htm (weryfikacji 21-08-24).
- Stachowiak, B., Nowak, J., Szambelan, K., Bajon, A., 2022. Sorgo – potencjał rolniczy i przemysłowy. Zagadnienia Doradz. Rol. 49–61.
- Szambelan, K., Nowak, J., Frankowski, J., Szwengiel, A., Jeleń, H., Burezyk, H., 2018. The comprehensive analysis of sorghum cultivated in Poland for energy purposes: Separate hydrolysis and fermentation and simultaneous saccharification and fermentation methods and their impact on bioethanol effectiveness and volatile by-products from the grain and the energy potential of sorghum straw. *Bioresour. Technol.* 250, 750–757. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.096>
- TIBCO Software Inc., 2017. Statistica (data analysis software system). Version 13. <http://statistica.io>.
- Tukey, J., 1949. Comparing Individual Means in the Analysis of Variance. *Biometrics*. 5, 99–114.
- Welch, B.L., 1951. On the Comparison of Several Mean Values: An Alternative Approach. *Biometrika*. 38, 330–336. DOI: <https://doi.org/10.2307/2332579>
- Wolska, A., 2021. W UE uprawia się coraz więcej sorgo. Przez zmiany klimatyczne [strona WWW]. [www.euractiv.pl](https://www.euractiv.pl/section/rolnictwowpr/news/unia-europejska-sorgo-afryka-zmiany-klimatyczne-ekologia-ziemia/). URL: <https://www.euractiv.pl/section/rolnictwowpr/news/unia-europejska-sorgo-afryka-zmiany-klimatyczne-ekologia-ziemia/> (weryfikacja 21-08-24).
- Żurek, G., Wiewióra, B., Starzycki, M., Nowakowski, M., Nowacki, W., Warzecha, R., Bodzon, Z., Fu Dostatny, D., Martyniak, D., Żurek, M., 2019. Przeciwdziałanie negatywnym skutkom zmian klimatu w rolnictwie - postęp biologiczny i innowacje w agrotechnice. Fundacja na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju, Warszawa.