

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa

Natalia Gierasimiuk

Numer albumu 14429

Kierunek studiów: Rolnictwo

**WPŁYW TERMINU SIEWU I POZIOMU NAWOŻENIA AZOTEM
NA PLONOWANIE ORAZ JAKOŚĆ ZIARNA ODMIAN SORGO
ZWYCZAJNEGO (*Sorghum bicolor* Moench)**

**THE INFLUENCE OF SOWING DATE AND NITROGEN FERTILIZATION
ON YIELD AND QUALITY OF GRAIN SORGHUM VARIETIES
(*Sorghum bicolor* Moench)**

Praca doktorska wykonana w Katedrze Agrotechnologii

Opiekun: dr hab. inż. Marek Bury

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Anna Jaroszewska,
prof. ZUT

Szczecin 2020

*Składam najserdeczniejsze podziękowania dla Promotora,
za cenne porady merytoryczne, okazane wsparcie i poświęcony mi czas.
Dziękuję Promotorowi Pomocniczemu za pomoc przy pisaniu pracy.
Pragnę podziękować również wszystkim pracownikom Katedry,
za przekazywanie wszechstronnej wiedzy i za życzliwość wobec mojej osoby.
Panu Prof. dr. hab. inż. S. Stankowskiemu,
za pomoc, wsparcie i życzliwość
podczas pisania niniejszej pracy
serdecznie dziękuję*

Autorka

| Spis treści | str. |
|--|-------------|
| Streszczenie | 7 |
| Wstęp | 15 |
| 1. Przegląd literatury | 16 |
| 1.1. Charakterystyka sorgo | 17 |
| 1.2. Morfologia i podział użytkowy form roślin sorga | 20 |
| 1.3. Wartość żywnościowa ziarna sorgo | 23 |
| 1.4. Zagospodarowanie plonu | 24 |
| 1.5. Agrotechnika | 27 |
| 2. Materiał i metody | 32 |
| 2.1. Opis doświadczenia i metody badań | 32 |
| 2.2. Pomiary polowe i laboratoryjne | 33 |
| 2.3. Charakterystyka odmian | 36 |
| 2.4. Analiza statystyczna wyników | 37 |
| 2.5. Warunki doświadczenia | 38 |
| 2.5.1. Warunki glebowe | 38 |
| 2.5.2. Warunki meteorologiczne | 39 |
| 3. Wyniki badań | 49 |
| 3.1. Wysokość roślin | 49 |
| 3.2. Średnica łodygi | 52 |
| 3.3. Średnica dokłosa | 53 |
| 3.4. Długość wiechy | 55 |
| 3.5. Liczba rozgałęzień pierwszego rzędu wiechy | 56 |
| 3.6. Indeks zieloności liści (SPAD)..... | 57 |
| 3.7. Indeks pokrycia liściowego (LAI)..... | 59 |
| 3.8. Elementy struktury plonu | 60 |
| 3.8.1. Obsada roślin | 61 |
| 3.8.2. Obsada wiech | 62 |
| 3.8.3. Masa pojedynczej wiechy | 63 |
| 3.8.4. Masa ziaren z wiechy | 64 |
| 3.8.5. Liczba ziaren z wiechy | 66 |
| 3.8.6. Masa tysiąca ziaren | 66 |

| | |
|--|------------|
| 3.9. Plon ziarna | 68 |
| 3.10. Jakość ziarna sorgo | 71 |
| 3.10.1. Liczba opadania | 72 |
| 3.10.2. Badania jakości ziarna na Amylograph-E Brabender | 74 |
| 3.10.2.1. Początkowa temperatura kleikowania | 74 |
| 3.10.2.2. Końcowa temperatura kleikowania | 75 |
| 3.10.2.3. Maksymalna lepkość zawiesiny | 76 |
| 3.11. Zależności korelacyjne plonu ziarna | 77 |
| 4. Dyskusja | 79 |
| 5. Stwierdzenia i wnioski | 99 |
| 6. Piśmiennictwo | 102 |
| 7. Spis tabel | 121 |
| Aneks | 124 |

Streszczenie

Celem pracy była ocena wpływu trzech terminów siewu (wczesny, optymalny i późny) oraz czterech poziomów nawożenia mineralnego azotem (40, 80, 120 i 160 kg·ha⁻¹ N) na plonowanie i jakość ziarna pięciu odmian sorgo zwyczajnego: Arfrio, Balto CS, Capello CS, Friggo i Iggloo, uprawianych w celu uzyskania ziarna (sorgo ziarnowe). Sorgo zwyczajne (*Sorghum bicolor* Moench), a zwłaszcza jego odmiany ziarnowe, jest „nowym” gatunkiem roślin w Polsce, do tej pory nieuprawianym (tylko kilkadziesiąt hektarów w latach 2014-2019). Sorgo ziarnowe nie było i nie jest uprawiane w województwie zachodniopomorskim. Powodem tego są m.in. duże wymagania cieplne tego gatunku oraz brak zaaklimatyzowanych i zarejestrowanych odmian w Polsce. Trzyletnie doświadczenie zostało przeprowadzone w latach 2014-2016 w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Lipniku koło Stargardu (53°20'35.8"N, 14°58'10.8"E, 21 m n.p.m.), należącej do Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Badania obejmowały ocenę parametrów budowy morfologicznej roślin sorgo, elementów struktury plonu i określenie wielkości plonu ziarna, a po zbiorze - analizę budowy wiechy poszczególnych odmian oraz ocenę wartości technologicznej ziarna (mąki z pełnego przemiału).

Uzyskane wyniki potwierdziły, że sorgo ziarnowe może być uprawiane z powodzeniem na Nizinie Szczecińskiej. O wielkości plonu ziarna i kształtowaniu się elementów struktury plonu decydowały przede wszystkim warunki meteorologiczne występujące w poszczególnych latach oraz termin siewu. Największe plony ziarna, tj. 8,2 t·ha⁻¹, uzyskano w roku o korzystniejszych warunkach meteorologicznych (w 2014 roku), natomiast niższe o ok. 22% plony ziarna (ok. 6,4 t·ha⁻¹) uzyskano w roku charakteryzującym się dłuższymi okresami suszy (w 2015 roku).

Najkorzystniejszym w warunkach Niziny Szczecińskiej okazał się termin wczesny, tj. wysiew pod koniec kwietnia / na początku maja, pod wpływem którego uzyskano największy plon ziarna wynoszący ok. 9 Mg·ha⁻¹, niezależnie od pozostałych czynników doświadczenia. W miarę opóźnienia terminu siewu plon ziarna istotnie zmniejszał się i wysiew sorga w terminie późnym, tj. w końcu maja / w pierwszej dekadzie czerwca spowodował zmniejszenie plonu o ok. 32%, tak że średni plon ziarna wynosił tylko 5,06 Mg·ha⁻¹. O wielkości plonu ziarna decydowały istotnie mniejsza obsada roślin i większa liczba wiech na jednostce powierzchni, większa masa

pojedynczej wiechy oraz większa liczba i masa nasion w pojedynczej wieszce. Termin siewu nie miał wpływu na jakość ziarna.

Zastosowane nawożenie mineralne azotem wpływało istotnie na plon ziarna i na wartości indeksu zieloności liści oraz jakość ziarna (liczba opadania, początkowa temperatura kleikowania i maksymalna lepkość zawiesiny). Zwiększenie dawki nawożenia mineralnego azotem z 40 do 120 kg·ha⁻¹ N, średnio z lat badań, spowodowało istotny wzrost plonu ziarna o ok. 15% z ok. 6,5 do 7,5 Mg·ha⁻¹, niezależnie od pozostałych czynników doświadczenia. Dalsze zwiększenie nawożenia mineralnego do 160 kg·ha⁻¹ N wpłynęło na niewielkie obniżenie plonu ziarna. Działanie nawożenia mineralnego było niejednakowe w poszczególnych latach badań. W pierwszym (2014r.) i trzecim roku badań (2016r.) największy plon ziarna uzyskano po zastosowaniu największej dawki nawożenia mineralnego azotem, tj. 160 kg·ha⁻¹ N, natomiast w roku 2015 największy plon uzyskano po zastosowaniu dawki 120 kg·ha⁻¹N.

Reakcja badanych odmian na nawożenie mineralne azotem była niejednakowa. W przypadku odmiany Balto CS stwierdzono istotne zwiększenie plonu po zastosowaniu azotu już w dawce 80 kg·ha⁻¹ N, natomiast dalsze zwiększenie poziomu nawożenia mineralnego spowodowało sukcesywny spadek plonu ziarna. W przypadku odmiany Capello CS i Friggo zwiększanie poziomu nawożenia mineralnego azotem z 40 do 120 kg·ha⁻¹ N spowodowało istotny wzrost plonu ziarna, a dalsze zwiększenie dawki azotu do 160 kg·ha⁻¹ N spowodowało niewielkie obniżenie plonu ziarna odpowiednio o ok. 6 i 4%. Odmiany Arfrio i Iggloo reagowały sukcesywnym zwiększeniem plonu ziarna w miarę zwiększania dawek nawożenia mineralnego azotem i najwyższe plony uzyskano z poletek nawożonych dawką 160 kg·ha⁻¹ N. Uzyskany plon był większy średnio o ok. 13% dla odmiany Arfrio i o 30% w przypadku odmiany Iggloo w porównaniu do plonu ziarna uzyskanego pod wpływem nawożenia dawką 40 kg·ha⁻¹ N.

Wraz ze wzrostem dawki nawożenia mineralnego azotem zwiększała się wartość indeksu zieloności liści i największe wartości SPAD stwierdzono u roślin nawożonych azotem w dawce 160 kg·ha⁻¹ N (o ok. 6,8%) w porównaniu do wartości indeksu zieloności liści zanotowanych przy dawce 40 kg·ha⁻¹ N. Zastosowane nawożenie mineralne azotem wpłynęło na jakość ziarna i spowodowało obniżenie liczby opadania z ok. 300 s po zastosowaniu 40 kg·ha⁻¹ N do ok. 275 s po zastosowaniu

największej dawki azotu mineralnego ($160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$), co może świadczyć o niskiej aktywności α -amylazy. Zwiększenie nawożenia mineralnego azotem spowodowało zwiększenie początkowej temperatury kleikowania z $77,3^\circ\text{C}$ do $78,8^\circ\text{C}$ oraz istotny spadek (o 12%) maksymalnej lepkości zawiesiny mąki z pełnego przemiału z wodą z 1980 ($40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$) do ok. 1736 AU ($160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$), co może świadczyć o dobrej jakości ziarna sorga i jego przydatności dla przemysłu zbożowo-młynarskiego i piekarskiego jako dodatek poprawiający wartość produktu końcowego.

W przeprowadzonych eksperymentach doświadczalnych badane odmiany istotnie różniły się budową morfologiczną (średnica łodygi, średnica dokłosa, długość wiechy), elementami struktury plonu (liczba nasion w wieszce, masa tysiąca ziaren) oraz jakością ziarna i mąki (liczba opadania i początkowa temperatura kleikowania). Najmniejszą średnicą łodygi cechowały się rośliny odmiany Balto CS (13,2 mm), a największą Capello CS (15,6 mm), zaś najmniejszą długością wiechy odznaczały się rośliny odmiany Arfrio, a największą - rośliny odmiany Capello CS (o około 20%). Odmiana Capello CS odznaczała się także największą liczbą nasion w wieszce, która była większa o 41% od liczby nasion odmiany Balto CS. Odmiany różniły się również pod względem wielkości wykształconego ziarna. Największą masę tysiąca ziaren wykształciła odmiana Arfrio, której MTZ wynosiła 22,9 g, a istotnie mniejszą MTZ o ok. 19% cechowała się odmiana Capello CS. Pozostałe odmiany nie różniły się istotnie masą tysiąca ziaren. Zaobserwowano także, że wraz z większą dawką zastosowanego nawożenia mineralnego azotem masa tysiąca ziaren zwiększała się z 20,6 g po zastosowaniu nawożenia w dawce $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$ do 21,5 g po zastosowaniu dawki $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$, co stanowiło wzrost o 4,4%. Termin siewu nie wpływał istotnie na masę tysiąca ziaren, natomiast stwierdzono tendencję, że odmiany sorgo wysiane w terminie optymalnym wykształciły największą masę tysiąca ziaren, natomiast zarówno siew we wczesnym terminie, a zwłaszcza opóźnienie siewu o dwa tygodnie w porównaniu do siewu w terminie optymalnym, spowodowało istotne zmniejszenie MTZ.

Najlepiej plonującymi odmianami sorga w warunkach Niziny Szczecińskiej okazały się odmiany Capello CS, której potencjał plonowania był największy we wszystkich latach badań, a średni plon ziarna wyniósł ok. $7,9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ oraz odmiana Iggloo, którą cechował wyrównany plon we wszystkich latach, a średni plon ziarna wyniósł ok. $7,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Mniejszy plon ziarna wydały odmiany Balto CS i Arfrio – ok. $6,9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a najmniejszy plon we wszystkich latach badań uzyskano z odmiany

Friggo – ok. $6,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nie mniej jednak różnice w wielkości plonu ziarna nie były udowodnione statystycznie.

Oceniając jakość ziarna na podstawie parametrów jakościowych stwierdzono, że najniższą wartość liczby opadania charakteryzowała się odmiana Arfrio (270 s), natomiast największą - odmiana Capello CS (306 s). Początkowa temperatura kleikowania była najniższa w próbkach pochodzących z ziarna odmiany Capello CS ($75,8^{\circ}\text{C}$), zaś najwyższa – w próbkach odmiany Balto CS ($79,5^{\circ}\text{C}$). Różnica ta wynosiła prawie 5%.

Wpływ terminu siewu, nawożenia mineralnego azotem i reakcja odmian nie były jednakowe w poszczególnych latach, co wyraziło się w wielu omówionych w pracy istotnych interakcjach.

W pracy przedstawiono również wyniki analizy współzależności pomiędzy plonem ziarna sorgo a cechami takimi jak: wysokość roślin, średnica łodygi, średnica dokłosa, długość wiechy, indeks zieloności liści oraz indeks pokrycia liściowego (LAI), obsada roślin, obsada wiech na jednostce powierzchni, masa wiechy, liczba rozgałęzień I-go rzędu wiechy, liczba i masa ziaren w wieszce oraz masa tysiąca ziaren liczba opadania, początkowa i końcowa temperatura kleikowania, maksymalna lepkość zawiesiny. Najsilniejszą pozytywną korelację z plonem ziarna w badanych latach i duży wpływ bezpośredni stwierdzono dla elementów struktury plonu takich jak obsada wiech na jednostce powierzchni, masa wiechy, liczba i masa ziaren w wieszce. Istotny wpływ na plonowanie miały też liczba rozgałęzień I-go rzędu wiechy oraz masa tysiąca ziaren. Stwierdzono natomiast ujemną zależność plonu ziarna od obsady roślin na jednostce powierzchni, co oznacza, że im mniejsza była obsada roślin, tym większy był plon ziarna. To może świadczyć o tym, że trzeba podjąć badania dotyczące optymalnego rozmieszczenia i zagęszczenia roślin sorgo ziarnowego w łanie.

Słowa kluczowe: sorgo ziarnowe, odmiany: Arfrio, Balto CS, Capello CS, Friggo, Iggloo, termin siewu, nawożenie mineralne azotem, plon, elementy struktury plonu i jakość ziarna

Abstract

The aim of the study was to evaluate the effect of three sowing dates (early, the optimum and late) and four levels of mineral nitrogen fertilization (40, 80, 120 and 160 kg·ha⁻¹ N) on the grain yield and grain quality of five varieties of sorghum: Arfrio, Baltio CS, Capello CS, Friggo and Iggloo grown for grain (grain sorghum). Sorghum (*Sorghum bicolor* Moench) and especially its grain varieties, is a "new" species of crops in Poland, so far uncultivated (only a few dozen hectares in the period 2014-2019), and in particular was not and it is not cultivated in Western Pomerania. The reasons are, among others, high thermal requirements of this species and the lack of acclimatized and registered varieties in Poland. The three-year experiment was carried out in the years 2014-2016 at the Agricultural Experimental Station in Lipnik near Stargard (53°20'35.8"N, 14°58'10.8"E, 21 m above sea level), belonging to the West Pomeranian University of Technology in Szczecin. The research included the assessment of the morphological traits of sorghum plants, the grain yield and their components and after harvest - an analysis of the panicle architecture of each varieties and assessment of technological value of grain (whole meal flour).

The obtained results confirmed that grain sorghum could be grown successfully in the Szczecin Lowlands. The grain yield and the yield components were determined mainly by the meteorological conditions occurring in respective years and the sowing date. The highest grain yields (ca. 8.2 Mg·ha⁻¹) were obtained in a year with favorable meteorological conditions (in 2014), while smaller grain yields by about 22% (6.4 Mg·ha⁻¹) were obtained in a year characterized by longer periods of drought (in 2015). The most preferred sowing date in the conditions of the Szczecin Lowlands was early, i.e. sowing at the end of April / beginning of May, as a result of which the highest grain yield was obtained, amounting to ca. 9 Mg·ha⁻¹, regardless of other experimental factors. As the sowing date was delayed, the grain yield decreased significantly and sowing sorghum at a late date, i.e. at the end of May / in the first decade of June, reduced the yield by approx. 32%, so that the average grain yield was only 5.1 Mg·ha⁻¹. The grain yield was determined by the significantly smaller plant density and the greater number of panicles per area unit, the greater weight of a single panicle and the greater number and weight of seeds in a single panicle. The sowing date did not affect the quality of the grain.

The applied mineral nitrogen fertilization significantly influenced the grain yield and the values of the leaf greenness index and grain quality (falling number, initial gelatinization temperature and maximum suspension viscosity). Increasing the dose of nitrogen fertilization from 40 to 120 kg·ha⁻¹ N resulted in significant increase of grain yields, in average of years of study, of approx. 15% from 6.5 to 7.5 Mg·ha⁻¹, independently of the other experiment factors. Further increase of fertilization to 160 kg·ha⁻¹ N lead to a slight decrease of the grain yield. But the effect of mineral fertilization varied in years of study. In the first (2014) and the third year of research (2016), the highest grain yield was obtained after applying the highest dose of mineral nitrogen fertilization, i.e. 160 kg·ha⁻¹ N, while in 2015 the highest yield was obtained after applying the dose of 120 kg·ha⁻¹ N.

Each of studied varieties reacted in different way to the mineral nitrogen fertilization. In the case of the Balto CS variety, a significant increase of the yield was found by application of nitrogen at a dose of 80 kg·ha⁻¹ N, while a further increase of mineral fertilization resulted in a gradual decrease of the grain yield. In the case of the varieties Capello CS and Friggo, increasing of mineral fertilization from 40 to 120 kg·ha⁻¹ N caused a significant increase of the grain yield, and a further increase to 160 kg·ha⁻¹ N resulted in a slight reduction of the grain yield by approx. 6 and 4%, respectively. The varieties Arfrio and Iggloo reacted with a progressive increase of the grain yield along with increasing of the doses of mineral fertilization and the highest yields were obtained by fertilization with the dose of 160 kg·ha⁻¹ N. They were higher on average by approx. 13% for the Arfrio variety and by approx. 30% in the case of the Iggloo variety compared to the grain yield obtained by fertilizing with a dose of 40 kg·ha⁻¹ N.

With the increase of nitrogen fertilization, the value of the leaf greenness index increased and the highest SPAD values were obtained by fertilization with the dose of 160 kg·ha⁻¹ N (by approx. 6,8%) compared to the leaf greenness index recorded by 40 kg·ha⁻¹ N. The mineral fertilization caused a decrease of the falling number from ca. 300 s after the application of 40 kg·ha⁻¹ N to about 275 s after the application of the highest dose of mineral fertilization (160 kg·ha⁻¹ N). The nitrogen fertilization increased in the initial pasting temperature from 77.3°C to 78.8°C. Moreover, the increase of nitrogen fertilization resulted in a significant decrease (by 12%) in the maximum viscosity of the sorghum flour suspension with water from 1980 (40 kg·ha⁻¹

N) to ca. 1736 AU ($160 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$), which may indicate good quality sorghum grains and its good baking properties.

The tested varieties differed significantly in morphological traits (stem diameter, culm (axis) diameter, panicle length), yield components (number of seeds in a panicle, the thousand grains weight) and the quality of grain and flour (falling number and initial gelatinization temperature). The smallest stem diameter was characteristic for plants of the Balto CS variety (13.2 mm), and the largest diameter - by Capello CS variety (15.6 mm), while the smallest panicle length was characteristic for plants of the Arfrio variety, and the largest panicle length - for the Capello CS variety (by about 20%). Capello CS was also characterized by the highest number of seeds in the panicle, which was 41% higher than that of the Balto CS variety. The cultivated sorghum varieties varied significantly in terms of the grain weight. The Arfrio variety produced the largest weight of thousand grains (TGW), and the Capello CS variety - significantly smaller TGW, by about 19%. Other varieties differed not significantly in terms of thousand grain weight. It was also observed that with the higher dose of the-mineral nitrogen fertilization, the TGW increased from 20.6 g with the fertilization-of $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$ to 21.5 g with the dose of $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$, which meant an increase of 4.4%. The sowing date did not significantly affect the TGW (thousand grain weight), although it was found that the sorghum cultivars sown in the optimal term developed the largest TGW (thousand grain weight), and the delay in sowing by two weeks resulted in a significant decrease of the TGW.

The best-yielding variety in the conditions of the Szczecin Lowlands turned out to be Capello CS the yielding potential of which was the highest in all research years and the average grain yield was ca. $7.9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nevertheless Iggloo variety had a stable yield in all study years, and the average grain yield was about $7.5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. The varieties Balto CS and Arfrio had a lower yield - ca. $6.9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, and the lowest yield in all years was obtained from the variety Friggo – ca. $6.5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Despite this fact, the differences in the grain yields have not been statistically proven.

In the case of the quality parameters, the lowest falling number was found in wholemeal flour from variety Arfrio (270 s), while the highest falling number - in wholemeal flour from variety Capello CS (306 s). The initial gelatinization temperature was the lowest in the samples from grain of variety Capello CS ($75,8^{\circ}\text{C}$), and the highest - in the samples of the Balto CS variety ($79,5^{\circ}\text{C}$). The difference was almost 5%.

The influence of the sowing date and four levels of mineral nitrogen fertilization on yielding of sorghum and the reaction of sorghum varieties on these factors were different in particular years of the study, which was reflected in many significant interactions discussed in this doctoral thesis.

The paper also presents the results of the analysis of the correlation between the yield of sorghum grain and traits such as: plant height, stem diameter, culm diameter, panicle length, leaf greenness index and leaf area index (LAI), plant density and panicle density per unit area, panicle weight, number of 1st order branches of panicle, number and weight of grains in the panicle and weight of one thousand grains, falling number, initial and final gelatinization temperature, maximum suspension (gel) viscosity. The strongest positive correlation in the studied years were found between the yield and yield structure components, such as density of panicles per area unit, panicle weight, number and weight of grains in panicle. The number of 1st order branches of the panicle and the mass of a thousand grains also had a significant influence on the yield. A negative correlation was found between the grain yield and the plant density per unit area, which means that the lower the plant density, the greater the grain yield. This may indicate that it is necessary to undertake research into the optimal plants distribution on the area surface and density of sorghum plants in the canopy.

Key words: grain sorghum, varieties: Arfrio, Balto CS, Capello CS, Friggo, Iggloo, sowing date, mineral nitrogen fertilization, yield, yield components and grain quality

Wstęp

Rolnictwo, jako jeden z działów gospodarki, w ostatnich kilkunastu latach odznacza się dużą dynamiką zmian. Dotyczą one przede wszystkim zwiększenia udziału zbóż i spadku roślin pastewnych w strukturze zasiewów oraz poszukiwania nowych źródeł dochodu poprzez uprawę tzw. roślin energetycznych, będących źródłem biomasy dla energetyki i surowców do przemysłu paliwowego. Podstawą efektywności produkcji rolniczej jest spełnianie kilku istotnych warunków. Są to m.in. dobór odmiany zgodnie z kierunkiem produkcji, dostosowanie uprawy do właściwości agronomicznych siedliska, racjonalne gospodarowanie nawozami, a także odpowiednia ochrona łąn przed szkodnikami czy chorobami, co warunkuje uzyskanie wysokich plonów o dobrej jakości. Kolejnym ważnym czynnikiem z punktu widzenia uprawy polowej są zmieniające się warunki klimatyczne w okresie wegetacji roślin, a zwłaszcza występowania suszy. Zmiany te są na tyle nieprzewidywalne, że nawet przy opracowaniu dokładnej technologii uprawy wraz z ustaleniem terminów wykonywania poszczególnych prac agrotechnicznych nie gwarantuje to powodzenia. Spadek plonu przy niemalejącym nakładzie pracy i kosztów z tym związanych naraża rolników na straty. Alternatywnym rozwiązaniem takiej sytuacji jest przekwalifikowanie produkcji skłaniając się ku roślinom, które słabiej reagują na skutki suszy i mogą stanowić zastępstwo lub uzupełnienie aktualnie uprawianych gatunków.

Sorgo zwyczajne jest stosunkowo nowym gatunkiem uprawianym w Europie, zarówno w uprawie na ziarno, na zieloną masę, do bezpośredniego skarmiania, jak i w uprawie na kiszonkę ze względu na narastające problemy w uprawie kukurydzy (m.in. zwiększającym się jej udziałem w strukturze zasiewu i problemem ze szkodami powodowanymi przez omacnicę prosowiankę, zachodnią stonkę kukurydzianą i dziki). Sorgo zaliczane jest do jednej z najstarszych i najważniejszych roślin zbożowych zajmując piąte miejsce w uprawie zbóż na świecie po pszenicy, kukurydzy, ryżu i jęczmieniu. Z powodzeniem uprawiane jest w Afryce, Azji, Ameryce Północnej i Południowej. Przy występujących coraz częściej okresowych niedoborach wody, uprawa sorgo stanowi alternatywne rozwiązanie w momencie, gdy plonowanie kukurydzy jest zawodne. Jest to szczególnie dobre przedsięwzięcie w uprawach usytuowanych na słabszych glebach. Sorgo w porównaniu z kukurydzą oszczędniej gospodaruje wodą, stwarzając przy tym szansę na uzyskanie stabilnego plonu.

1. Przegląd literatury

Przeszło czterdzieścia lat temu struktura zasiewów w Polsce była zdominowana przez żyto, owies i ziemniaki. Duży udział tych gatunków związany był z warunkami glebowymi występującymi w Polsce. Od transformacji ustrojowej powierzchnia zajmowana przez te gatunki zmniejszyła się. W tym samym czasie nastąpiło zaś znaczne zwiększenie powierzchni zasiewów kukurydzy. Wielokrotnie uprawa tego gatunku prowadzona jest na glebach lekkich, gdzie plony zależne są od dostępności wody oraz kultury gleby. Gleby lekkie, słabe lub bardzo słabe o niekorzystnych właściwościach wodnych stanowią około jednej trzeciej powierzchni gruntów rolnych w Polsce. Długotrwałe okresy suszy wywierają silny wpływ na vegetację roślin, zwłaszcza na stanowiskach gleb lekkich. Potwierdzają to badania Sulewskiej i in. (2007), którzy uzyskali małe plony ziarna kukurydzy uprawianej na glebie lekkiej, klasy IVb, kompleksu 5 – żytniego dobrego w latach 2005-2006. Wynosiły one średnio $3,80 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ dla obiektu kontrolnego, nawożonego nawozami mineralnymi $\text{N}_{110}\text{P}_{80}\text{K}_{120}$. W pracy stosowana jest zamiennie jednostka Megagram (Mg) zgodnie z systemem SI i tona (t), ponieważ ta jednostka jest powszechnie stosowana w literaturze rolniczej. Książak i in. (2012a) dodają, że na glebach słabszych kukurydza często uprawiana jest w monokulturze. Przy niskim wskaźniku waloryzacji gleb kukurydza jest podstawową rośliną paszową (Kruczek 2002). Obok pszenicy, rzepaku czy jęczmienia, kukurydza jest również rośliną o znaczeniu towarowym. Jednak rosnąca powierzchnia jej uprawy, zarówno w Europie, jak i w świecie oraz duża intensywność zabiegów agrotechnicznych mobilizuje do poszukiwania innych roślin, które mogłyby być uzupełnieniem kukurydzy lub nawet mogły ją zastąpić. Uprawa takich gatunków roślin powinna uwzględniać zmiany, jakie zachodzą w okresie vegetacyjnym, które często warunkują wielkość i jakość uzyskanego plonu, a także, co bardzo ważne z punktu widzenia produkcji, opłacalność ekonomiczną takich upraw.

Zmieniający się klimat w najbliższych latach spowoduje konieczność zmiany struktury zasiewów. Jedną z roślin, która potrafi sprostać problemom okresów bezdeszczowych jest sorgo. W warunkach Niziny Szczecińskiej częstym zjawiskiem meteorologicznym występującym w miesiącach od maja do drugiej połowy września są susze trwające około czterech tygodni. Od 1990 roku pojawiają się one mniej więcej, co 3-4 lata (Czarnecka i in. 2010). W trakcie okresu vegetacji plonowanie roślin zależy w dużej mierze od warunków pogodowych, których to każde odchylenie od

przeciętnego przebiegu wpływa na produkcję rolniczą. Niedobór lub nadmiar opadów, wahania temperatury powietrza w dużym stopniu decydują o stabilności plonowania roślin uprawnych (Hopkins 2003). Ocieplający się klimat w sposób pośredni, jak i bezpośredni oddziałuje na parametry pogody, takie jak: wielkość i rozkład opadów, występowanie susz czy niekorzystnych warunków pogodowych (nawalne deszcze, gradobicia, wichury, itp.) wraz z ich intensywnością i częstotliwością pojawiania się (Farre i Faci 2006). Pogarszające się warunki pogodowe oraz duża ich zmienność w trakcie okresu wegetacji stwarzają konieczność do podejmowania decyzji o uprawie roślin, które cechuje większa tolerancja na czynniki stresowe. Podczas okresu braku opadów lub ich niewielkiej ilości występują susze glebowe (Skrzypczak i in. 2009). Podsiadło i in. (2013) zaznaczają, że w takich warunkach ruń trwałych użytków zielonych, jak i kukurydza, nie są w stanie zabezpieczyć zapotrzebowania bydła na paszę objętościową. Sytuacja ta stwarza rolnikom wiele problemów nie tylko pod względem utrzymania zwierząt, ale również powoduje straty finansowe, jakie ponoszą na nawadnianie upraw, czy zakup paszy z innych źródeł. Sorgo jest to roślina, która może stanowić alternatywne rozwiązanie wobec wymienionych problemów. Właśnie z uwagi na te właściwości, przy powtarzających się w naszym kraju długotrwałych okresach bezdeszczowych (zwłaszcza w okresie letnim), wielu rolników widzi w uprawie sorga szansę na zabezpieczenie odpowiedniej ilości paszy objętościowej (kiszonki) dla krów, gdyż w takich warunkach zarówno kukurydza, jak i trwałe użytki zielone nie są w stanie zapewnić właściwego plonu (Podkówka i Podkówka 2016).

1.1. Charakterystyka sorgo

Jak podaje Molski (2014) sorgo to roślina z rodziny wiechlinowatych, która naturalnie występuje w pasie obejmującym Afrykę Równikową, Amerykę Środkową, Indie, Chiny i Południowo-Wschodnią Azję. Rośliny z rodzaju *Sorghum* charakteryzuje wysoki współczynnik wykorzystania promieniowania słonecznego oraz wykorzystania ciepła (Sowiński i Kuta 2015). Grupę zbóż z rodziny wiechlinowatych i podrodziny prosowych (*Panicoidae*) wg Ogbonna (2011) poza kukurydzą uprawną i trzciną cukrową stanowią także inne gatunki zaliczane do plemion: sorgowe (*Andropogoneae*), prosowe (*Panicaceae*) i ryżowe (*Oryzaceae*). Potwierdzają to Dahlberg i in. (2011) i Lewandowski i Ryms (2013).

Sorgo zaliczane jest do roślin typu C4 (Jat i in. 2012, Lewandowski i Ryms 2013). Odznacza się między innymi zdolnością do szybkiej akumulacji biomasy oraz dużą wydajnością fotosyntezy (Almodares i Darany 2006, Aghaalikhani i in. 2012, Sawargaonkar i in. 2013). Rodzaj sorgo obejmuje od 21 do 60 gatunków i jest uprawiane do celów spożywczych, paszowych i rzemieślniczych. Z nasion produkowana jest mąka, kasza, krochmal i napoje alkoholowe, a także syropy, z których pozyskiwany jest cukier (Szempliński 2012). Ziarno stanowi dobry surowiec paszowy, a w Chinach również wyrabiane są produkty użytkowe z rośliny sorga typu: szczotki, miotły. Matyka i Madej (2015) uzupełniają także zagospodarowanie plonu sorgo o wykorzystanie w celach energetycznych. W porównaniu do kukurydzy sorgo pod względem warunków uprawy odznacza się większą odpornością na suszę, a także niższym współczynnikiem transpiracji. Zdaniem Sulewskiej i in. (2013) kukurydza w przypadku okresowych niedoborów wody reaguje istotnie zmniejszeniem plonu ziarna, szczególnie przy większej gęstości wysiewu. Możliwość uzyskania wysokich plonów przy mniejszych wymaganiach dotyczących uprawy i doboru stanowiska decyduje o tym, że sorgo uprawiane jest często celem uzupełnienia kiszzonek z kukurydzy (Godwin i in. 2000, Sowiński i Liszka-Podkowa 2008, Kozłowski i in. 2009, Galbas i in. 2010). Berenji i Dahlberg (2004) podkreślają również istotne cechy trawy sudańskiej i jej mieszańców z sorgiem, a mianowicie szybkie tempo wzrostu, gęste ulistnienie oraz zdolność do odrastania. Ostatnia cecha uwarunkowana jest poprzez wytwarzanie merystemów interkalarnych. Rośliny te mogą być użytkowane wielokośnie, a także stanowić dodatek do paszy objętościowej.

Wśród odmian sorgo występują takie, które zostały wyselekcjonowane z uwagi na wysoki potencjał produkcyjny, niewielką wrażliwość na stres termiczny i wodny oraz odporność na zasolenie gleb i zdolność do uprawy na glebach słabych (Rooney i in. 2007, Geressu i Gezagegne 2008). Dodatkowo uprawę sorgo cechuje produkcja biomasy i ziarna o dobrej jakości, a także możliwość wielokośnego użytkowania. Zapewnia to jednocześnie wysokie plony zielonej masy i wiele możliwości zagospodarowania plonu przy stosunkowo niskim nakładzie pracy (Almodares i Sharif 2007, Almodares i in. 2008a, Venuto i Kindiger 2008). Są to główne atuty, które skłaniają producentów rolniczych do zainteresowania się taką uprawą (Węglarzy i Podkówka 2010, Kołodziej 2012).

Intensywne prace hodowlane przyczyniły się do tego, że w naszych warunkach klimatycznych sorgo jest zdolne do wytworzenia nasion (Szumiło i in. 2015, Frankowski i Burczyk 2016). Sorgo fizjologiczną dojrzałość ziarna uzyskuje w okresie ok. 50 dni po zapyleniu (Waniska 2000). W warunkach naturalnych sorgo występuje w pasie międzyzwrotnikowym: w Afryce, Ameryce Środkowej, Indiach i Azji Południowo-Wschodniej (Dicko i in. 2006). W związku z jego pochodzeniem wymagania są także specyficzne. Laidlaw i Godwin (2009) wskazują, że nawet w krajach wysoko rozwiniętych sorgo uprawiane jest na terenach tzw. marginalnych rolniczo tj. na obszarach o zbyt suchych i gorących warunkach dla uzyskania stabilnego plonowania kukurydzy lub innych roślin uprawnych.

W polskich uprawach spotkać można między innymi gatunki zbóż z płemion sorgowe i prosowe. Najczęstszym kierunkiem ich użytkowania jest pozyskiwanie paszy w postaci zielonki. Jej największa wartość pokarmowa przypada na fazę pojawiania się wiech.

Roślina sorgo jest odporna na czasowe niedobory wody między innymi ze względu na niski współczynnik transpiracji, a także nalot woskowy pokrywający liście i łodygę, który uniemożliwia stratę wody spowodowaną procesem parowania (Machul i Książak 2004, Hołubowicz-Kliza 2007). Dzięki mocnemu systemowi korzeniowemu w okresie dłuższego okresu suszy roślina wchodzi w stan uśpienia, tak by wraz ze wzrostem poziomu wilgotności ponownie wznówić wegetację i kontynuować dalszy rozwój (Książak i in. 2012a).

Sorgo ziarnowe nie jest wysokie, jest natomiast odporne na wyleganie i nadaje się do zbioru mechanicznego, który przeprowadzany jest kombajnem tradycyjnym tzw. zbożowym bez konieczności stosowania dodatkowych przystawek. W okresie dojrzewania organy wegetatywne sorga charakteryzują się zielonym zabarwieniem, co może wpływać na zwiększenie zawartości wody w momencie zbioru (Bovey i in. 1999). W warunkach optymalnych podczas zbioru ziarno ma zazwyczaj około 20% wilgotności, lecz często oscyluje w granicy 30-40%, zwłaszcza dla ziarna zbieranego z terenów klimatu umiarkowanego (McNeill i Montross 2003). Sorgo doceniane jest na obszarach o występujących suszach wiosenno-letnich, w regionach o dużej koncentracji chowu bydła (Ashbell i Weinberg 1999, Śliwiński i Brzóska 2006) oraz w miejscach i warunkach, które nie sprzyjają uprawie kukurydzy (Prażak 2016).

Plonowanie sorgo również zależy od warunków środowiskowych między innymi od temperatury, opadów i warunków glebowych. Duże znaczenie odgrywa także technologia uprawy, gdzie czynnikiem, który w przeważającej części decyduje o plonowaniu jest poziom nawożenia azotem (Sowiński i Liszka-Podkowa 2008, Sowiński 2009, Kordas i in. 2012, Księżak i in. 2012b). Potencjał plonotwórczy uprawianej rośliny polega na stworzeniu w łanie warunków dla efektywnego przetworzenia energii słonecznej w biomasę, a w efekcie końcowym - na plon użytkowy. Jest to szczególnie ważne w początkowych fazach rozwoju rośliny. Czynnikiem krytycznym w tych fazach stanowi suma ciepła. Jednocześnie wielkość powierzchni asymilacyjnej odpowiadającej za szybki wzrost roślin określa ich stan zaopatrzenia w wodę i azot. Racjonalne gospodarowanie azotem, stosowanie nawozu w fazach, w których to roślina wykazuje na niego największe zapotrzebowanie sprzyja optymalnemu wykorzystaniu tego pierwiastka, jak i maksymalizuje przetworzenie pobranego składnika w plon użytkowy (Grzebisz 2011).

1.2. Morfologia i podział użytkowy form roślin sorga

Sorghum bicolor (L.) Moench obejmuje wszystkie jednoroczne formy uprawne. Natomiast *Sorghum halepense* L. i *Sorghum propinquum* L. to formy dzikie oraz chwasty. Berenji i Dahlberg (2004) podkreślają fakt, że formy należące do rodzaju *Sorghum* wykazują duże zdolności produkcyjne i adaptacyjne. Sorgo jest to roślina jednoroczna jara, której cechy morfologiczne zbliżone są do prosa (Lewandowski i Ryms 2013). W porównaniu do prosa sorgo osiąga większy wzrost o bardziej masywnym pokroju (Szempliński 2012). W zależności od odmiany osiąga wysokość od 0,5 do 4 metrów (Kołodziej 2012). Szempliński (2012) dodaje, że wysokość roślin jest zależna przede wszystkim od cech odmianowych.

W obrębie rodzaju *Sorghum* występuje wiele form i mieszańców, których nieznaną może przyczynić się do ryzyka produkcji i zawodności plonowania. Najistotniejszy jest wybór właściwej odmiany czy reprezentanta z odpowiedniej grupy odmian. Najważniejsze grupy odmian i formy sorga to:

1. Sorgo cukrowe - odmiany wysokie (nawet do 3,5 m), o dużej zawartości cukrów rozpuszczalnych w wodzie; cukry te głównie gromadzone są w łodygach, a w plonie biomasy dominujący jest udział łodygi; zbiór następuje w wegetatywnym okresie wzrostu przed osiągnięciem pełnej dojrzałości. Sorgo cukrowe

wykorzystywane jest w celach paszowych oraz do produkcji biopaliw (Bujanowicz i in. 2000, Węglarzy i Podkówka 2010, Sałagan i in. 2013, Popescu i in. 2014).

2. Sorgo ziarnowe - do tej grupy należą odmiany niskie (o wysokości około 1-1,5 m); uprawiane są przede wszystkim w celu zbioru ziarna; głównym materiałem zapasowym jest skrobia, która gromadzona jest w ziarniakach wiech; podobnie jak w uprawie zbóż, słoma jest produktem ubocznym i najczęściej jest pozostawiana na polu; ziarno może być wykorzystywane do celów konsumpcyjnych i paszowych; do tej grupy zaliczane są odmiany o długim okresie wegetacji, które słabo są przystosowane do warunków klimatycznych Polski (Bovey i in. 1999, Sowiński i Szydełko-Rabska 2013, Popescu i in. 2014).
3. Trawa sudańska - to gatunek o cechach typowych dla rodzaju sorgo; podobnie jak sorgo cukrowe trawa sudańska może być wykorzystywana do produkcji biomasy na cele paszowe; porównując z sorgiem cukrowym trawa sudańska jest niższa i ma słabszy skład chemiczny - więcej włókna i mniej cukrów; wartość paszowa jak i technologiczna jest mniejsza; korzystną cechą tego gatunku jest zdolność do odrastania po skoszeniu, a szybki wzrost pozwala na zbiór od dwóch do trzech pokosów w różnych okresach sezonu wegetacyjnego; może to zapewniać paszę w czasie jej niedoboru z innych upraw (Berenji i Dahlberg 2004).
4. Grupa odmian o dwukierunkowym wykorzystaniu (typ dualny) - uprawiane na ziarno lub biomasę z całych roślin - odmiany te osiągają wysokość do 2,0 m i są pod względem okresu wegetacji wcześniejsze od sorga cukrowego, późniejsze zaś od niektórych odmian sorga ziarnowego; często są to odmiany, które w warunkach klimatycznych Polski nie osiągają pełnej dojrzałości.
5. Mieszance sorga z trawą sudańską - jest to połączenie korzystnych cech obu gatunków wyjściowych; mieszance odznaczają się wyższą wartością pokarmową niż trawa sudańska, a jednocześnie po skoszeniu odrastają; ważną cechą zarówno mieszańców jak i trawy sudańskiej jest duża skłonność do rozkrzewiania i samoregulacji gęstości ładu (Śliwiński i Brzóska 2006, Pyś i in. 2008, Śliwiński i Brzóska 2009, Sowiński i Szydełko 2012).
6. Sorgo techniczne - cechuje się wysoką zawartością włókna a małą zawartością cukrów rozpuszczalnych; jest wykorzystywane do produkcji mioteł i szczotek, potencjalnie sorgo techniczne może być wykorzystywane do produkcji papieru (Habyarimana i in. 2004).

Kwiatostan sorgo tworzy wiecha z rozgałęzieniami pierwszego i drugiego rzędu. Na końcach tychże rozgałęzień znajdują się dwa lub trzy kłoski, z czego jeden jest kłoskiem siedzącym płodnym, a pozostałe osadzone na krótkiej osadce są płone. Pławy sorgo są grube, twarde, wypukłe, skórzaste o błyszczącym połysku. Ich barwa jest różna. Może być żółta, biała, czarna i czerwona. Pławy w różnym stopniu okrywają ziarno. Stąd też u form oplewionych ziarno po omłocie jest nadal szczelnie okryte plewami, a ziarno form nagoziarnistych jest ich pozbawione. Płewki górne są cienkie i dość delikatne, dolne - zaś bezostne lub ościste. Kształt ziarniaków jest kulisty lub jajowaty, o lekkim spłaszczeniu. Barwa ziarniaków w przypadku form oplewionych odpowiada barwie plew. Ziarniaki form nagich są najczęściej białe, bądź czerwone. Masa tysiąca ziaren waha się od 28 do 35 gramów (Szempliński 2012). Kierunek wykorzystania plonu sorga ma fundamentalne znaczenie przy doborze jego odmiany (Popescu i in. 2014).

Sorgo jest rośliną odporną na okresowe susze, dzięki temu, że rozwija bardzo mocny system korzeniowy, który pozwala na pobieranie wody z głębokości od 1,5 do 2,5 m (Hołubowicz-Kliza 2007). Korzenie przybyszowe (system korzeniowy wtórny) wytwarzane kilka tygodni po wschodach sięgają do 2 metrów w głąb profilu glebowego, w zależności od poziomu wody gruntowej.

Kolejna korzystna cecha sorgo związana jest ze współczynnikiem transpiracji. Mianem współczynnika transpiracji określa się ogólną ilość wody wytranspirowanej przez roślinę podczas wytwarzania jednostki suchej masy. Współczynnik ten przyjmuje wartości w szerokich granicach (od 200 do 2000 g H₂O na 1 g suchej masy), a różnice w wartościach występują nie tylko w obrębie gatunku, ale też odmiany (Kopcewicz i Lewak 2018). Wśród gatunków uprawnych najmniejszym współczynnikiem transpiracji odznacza się proso, kukurydza i sorgo. Współczynnik transpiracji podstawowych zbóż oscyluje na średnim poziomie. Największym współczynnikiem zaś charakteryzuje się len i wieloletnie rośliny bobowate, takie jak: koniczyna czy lucerna (Wilczek i in. 2003, Kopcewicz i Lewak 2018). Sorgo odznacza się jednym z najmniejszych współczynników transpiracji (250-300 g H₂O na 1 g suchej masy) w stosunku do innych roślin uprawianych w naszej szerokości geograficznej (Kozłowski i in. 2006, Galbas i in. 2010). W przypadku głębokiego niedostatku wody roślina wchodzi w stan uśpienia, aby wraz ze wzrostem poziomu wilgotności ponownie rozpocząć wegetację. Liście i łodygi sorga pokryte są ochronną warstwą wosku, który

zabezpiecza je przed nadmierną ewapotranspiracją. W liściach występują także komórki motoryczne powodujące ich zwijanie i zmniejszenie powierzchni asymilacyjnej podczas okresu suszy (Kacprzak i in. 2012).

1.3. Wartość żywieniowa ziarna sorgo

Sorgo i proso są gatunkami blisko ze sobą spokrewnionymi, przez co ich nasiona wykazują podobieństwa pod względem budowy i składu chemicznego (Dykes i Rooney 2006). Na cele spożywcze przeznaczane jest tylko w pełni dojrzałe ziarno. Jego skład chemiczny zmienia się w zależności od fazy rozwoju (Kruczek 2014a). Główny składnik nasion sorga stanowi skrobia i w zależności od odmiany jej zawartość oscyluje w przedziale od 65 do 80 g na 100 g ziarna. Poza tym nasiona sorgo są również źródłem białka, polisacharydów oraz lipidów (Dicko i in. 2006). Pod względem zawartości skrobi sorgo wykazuje podobieństwo do kukurydzy. Rośliny, które naturalnie cechuje skrobia woskowa, to między innymi jęczmień, szarłat wyniosły, sorgo (Yoo i Jane 2002), a także proso (Choi i in. 2004).

W porównaniu z kukurydzą ziarno sorgo jest bogatsze o jedno- i wielonienasycone kwasy tłuszczowe. Największy udział wg Afify i in. (2012) stanowią kwasy: linolowy (49%), oleinowy (31%), linolenowy (2,7%), a z kwasów tłuszczowych nasyconych kwas palmitynowy (14%) oraz stearynowy (2,1%). Nasiona sorgo są również źródłem wielu witamin, szczególnie witamin z grupy B, a także witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (A, D, E i K) oraz makro- i mikrośladników. Jednakże charakteryzują się one dużą zmiennością pod względem składu chemicznego, w zależności między innymi od miejsca uprawy czy odmiany. Dlatego też sorgo uprawiane w różnych częściach świata może wykazywać różnice w składzie chemicznym oraz wartości odżywczej ziarna (Ebad i in. 2005, Cardoso i in. 2015). Niezależnie od tych różnic, spożywanie ziarna sorgo oraz produktów pochodzących z jego przetwórstwa może wykazywać pozytywny wpływ na zdrowie człowieka. Sorgo jest bowiem źródłem związków polifenolowych, kwasów fenolowych i flawonoidów. Dodatkowo odznacza się wysoką zawartością przeciwutleniaczy. Potrawy przygotowane z odmian sorgo o wysokiej zawartości tanin dłużej zalegają w żołądku przedłużając uczucie sytości (Awika i Rooney 2004).

Poziom zawartości tanin w ziarnie i związków cyjanogennych (diuryna) w pędach oraz liściach nie budzi zastrzeżeń pod względem bezpieczeństwa wytwarzanych

z niego artykułów spożywczych czy paszy (Aba i in. 2005, Showemimo 2007, Siegień 2007). Jednak w pewnych wyjątkach mogą stanowić one przeszkodę w użytkowaniu zwłaszcza przy spasaniu bydła lub wykonywaniu kiszzonek. Taniny pogarszają smakowitość paszy, zaś produkt rozkładu diureny tj. kwas pruski zwłaszcza w młodych roślinach jest toksyczny dla pasących się zwierząt (Siegień 2007, Galbas i in. 2010). Badania Bolsena i in. (2003) dowodzą, że w prawidłowo sporządzonej kiszonce kwas pruski ulega rozkładowi po około trzech tygodniach.

Produkty z sorgo charakteryzują się także niskim indeksem glikemicznym, dlatego polecane są osobom z cukrzycą, czy z zaleconą dietą odchudzającą (Dicko i in. 2006). Ziarno sorgo znajduje także zastosowanie jako nutraceutyk łącząc w sobie wartości lecznicze i żywieniowe (Stefoska-Needham i in. 2015, Frankowski 2017). Z cech jakościowych Agu i Palmer (1997) dodają, że ziarno sorga odznacza się bardzo niską aktywnością amylolityczną. Jest ona bowiem kilkakrotnie niższa od aktywności enzymatycznej ziarna pszenicy czy jęczmienia. Różnorodność związków chemicznych w poszczególnych odmianach roślin sorgo jest niezwykle istotna przy podejmowaniu decyzji o przeznaczeniu uprawy (Sowiński i Liszka-Brandau 2019).

1.4. Zagospodarowanie plonu

Sorgo odznacza się dużą zmiennością genetyczną, co pozwala na hodowlę nowych odmian stwarzających większe możliwości na zagospodarowanie plonu. Roślina ta jest przede wszystkim zbożem konsumpcyjnym z wyłączeniem cech zbóż chlebowych. Ziarno, a także całe rośliny są również wykorzystywane na cele paszowe do bezpośredniego skarmiania oraz jako dodatek energetyczny do pasz treściwych, jako pokarm dla ptactwa ozdobnego i ryb hodowlanych. Jak podaje Hołubowicz-Kliza (2007) w Afryce i Azji sorgo stanowi podstawowy surowiec w żywieniu człowieka. Natomiast w Europie, Australii, w Chinach oraz w Stanach Zjednoczonych plon przeznaczany jest na cele paszowe dla zwierząt hodowlanych, jak i dla drobiu.

Plon ziarna wykorzystywany jest do celów konsumpcyjnych, natomiast cała uprawa dostarcza surowca użytkowanego w żywieniu drobiu hodowlanego i bydła oraz do produkcji mąki, grysu, płatków i krochmalu (Gul i in. 2005). Ziarno sorga ze względu na skład może być wykorzystane również w przemyśle fermentacyjnym do produkcji etanolu (Serna-Saldivar i in. 2012, Chmielewska i in. 2014) oraz do wytwarzania piwa (Godde i Arendt 2003, Lyumugabe i in. 2012, Foszczyńska i in.

2014). Witkowski i in. (2017) podają, że sorgo odmian, zarówno białych, jak i czerwonych, stanowi przydatny surowiec do produkcji alkoholów specjalnych z dodatkiem słodu wędzonego. Ziarno sorga odznacza się jednak dość niską aktywnością diastyczną, co wymaga stosowania preparatów zawierających amylazy, wobec tego proces przetwarzania surowca jest bardziej skomplikowany (Lyumugabe i in. 2012). Dodatkowo kiszonki z zielonki sporządzone z różnych odmian sorgo cechują się właściwościami antybakteryjnymi. Galbas i in. (2015) wskazują na obecność w kiszonkach z sorgo bakterii o antagonistycznych właściwościach przeciwko potencjalnie patogennych enterobakterii *Salmonella* spp., *Shigella* spp. oraz *Escherichia coli*.

Na świecie według Berenji i Dahlberg (2004) sorgo i jego odmiany oraz mieszańce z trawą sudańską wykorzystywane są głównie do celów konsumpcyjnych (ziarno, syrop sorgowy) i paszowych (ziarno i całe rośliny), ale również i budowlanych, a także technicznych (produkcja mioteł i szczotek, różnego rodzaju mat, papieru).

Sorgo na cele pastewne, podobnie jak kukurydza, może być zakiszane. Podczas sporządzania kiszonki z sorgo należy zwrócić szczególną uwagę na wilgotność roślin. Przy dużej wilgotności rośnie ryzyko utraty składników odżywczych poprzez wyciek soku kiszonkowego. W sorgu o niskiej zawartości suchej masy i wysokiej zawartości rozpuszczalnych w wodzie węglowodanów proces fermentacji jest bardzo intensywny, a kiszonki mają wysoką zawartość kwasu mlekowego (Chahrour i in. 2013, Santos i in. 2013). Wykorzystanie kiszonki z sorgo w celach paszowych budziło dawniej obawę związaną z zawartością tanin i durin w paszy. Są to związki antyżywnościowe, które pogarszają jakość i strawność paszy. Gromadzenie tych związków zależne jest od odmiany sorgo, jednak nie stwarzają one żadnego zagrożenia, ponieważ substancje te ulegają dezaktywacji w procesie zakiszania zielonki. Dodatkowe badania dowodzą fakt, że kwas pruski powstający przy rozpadzie duriny rozkłada się kolejno po około dwóch do trzech tygodni po zakiszeniu (Bolsen i in. 2003). Kiszonka z sorgo odznacza się większą zawartością włókna surowego, które ogranicza strawność paszy, a także ma mniejszą energię netto niż kiszonka z kukurydzy (średnio o około 20-30%). Mimo to, wysoki plon suchej masy (10-20 t·ha⁻¹) pozwala zakwalifikować sorgo jako roślinę będącą wartościową alternatywą wobec upraw kukurydzy na kiszonkę (Śliwiński i Brzóska 2006, 2009). Dodatkowo skład chemiczny paszy uzależniony jest od terminu i sposobu zbioru (jedno- i wielokośnie). Wzrost liczby pokosów oraz zbiór we wczesnej

fazie rozwojowej może zwiększać zawartość białka ogólnego, popiołu surowego i składników mineralnych przy jednoczesnym zmniejszeniu udziału bezazotowych związków wyciągowych (Sowiński i Szydełko 2012).

Ograniczanie możliwości użytkowania energii z konwencjonalnych źródeł przyczynia się do zwiększenia znaczenia pozyskiwania energii z odnawialnych źródeł energii (biomasa). Mogą one występować pod różnymi postaciami, a co ważne, są praktycznie niewyczerpalne i do tego są uzupełniane w naturalnych procesach. Największym źródłem energii w tym przypadku są substancje pochodzenia roślinnego i zwierzęcego (Budzyński i Bielski 2004). Węglarzy i Podkówka (2010) podają, że z 1 tony kiszonki z sorgo można uzyskać ok. 110 m³ biogazu o zawartości 54% metanu (CH₄). Matyka i Książak (2012) stwierdzają, że sorgo uprawiane jako substrat do biogazowi może stanowić alternatywę w stosunku do kukurydzy. Jest to tym bardziej korzystne, jeśli uprawy przeprowadzane są w stanowiskach gleb słabych i bardzo słabych.

Słoma sorgo oraz wytloki powstałe po tłoczeniu soku stanowią paliwo stałe, które służy do produkcji biowęgla i pellet. Kurilo i in. (2015) dowodzą, że energia, jaką możemy pozyskać z sorgo z przeznaczeniem na biopaliwa, zależy zarówno od rodzaju, jak i metod uprawy. Stwierdzili oni korzystny wpływ zastosowania nawożenia mineralnego oraz zabiegów herbicydowych przeciwko chwastom. Łodygi i liście sorgo mogą być również wykorzystywane do produkcji paliw, a także biomasy. Kordas i in. (2012) w badaniach własnych dowodzą, że przyspieszony termin siewu oraz zwiększona gęstość siewu sorga korzystnie wpływa na przydatność pozyskanej biomasy do spalania.

Zdaniem Fageria i Moreira (2011) odpowiedni dobór odmian pozwala zwiększyć opłacalność upraw. Różnią się one od siebie wydajnością energetyczną oraz zdolnością plonowania. Wysokoenergetyczne sorgo ziarnowe i cukrowe może być uprawiane z przeznaczeniem na ziarno, ale także i na produkcję biomasy. Mieszance sorga wydają niższy plon, ale w jego udziale większy odsetek stanowi plon słomy o wysokiej zawartości węglowodanów. Szydełko-Rabska i in. (2014) twierdzą, że na jakość biomasy i zawartych w niej mikroelementów wpływa nie tylko dawka nawożenia, ale również forma zastosowanego nawozu.

Kolejne wykorzystanie sorgo obejmuje produkcję ogrodniczą, gdzie jako gatunek okrywowy ogranicza występowanie szkodników wielożernych, między innymi

mątwika. Cheema i in. (2005), Jabran i in. (2010a) oraz Razzaq i in. (2012) dowodzą, że sorgo odznacza się działaniem allelopatycznym. Zastosowana przez nich mieszanina ekstraktów wody z sorgo i słonecznika pozwoliła zwiększyć ochronę pszenicy przy jednoczesnym ograniczeniu stosowania herbicydów o blisko 70%. Efekt tego zastosowania jest wysoce ekonomiczny, co z perspektywy kosztów uprawy jest istotnym aspektem, a ponadto pozwala chronić zarówno stanowisko uprawy, jak i środowisko wokół niego poprzez możliwość zmniejszenia stosowania chemicznej ochrony roślin. Zjawisko allelopatii można wykorzystać w praktyce do zwalczania chwastów w postaci odpowiedniego płodozmianu, upraw współrzędnych oraz stosowania sporządzonych ekstraktów wodnych czy ściółek (Bhowmik i Inderjit 2003, Farooq i in. 2011). Sorgo jest znane ze swoich właściwości allelopatycznych, ponieważ zawiera szereg substancji toksycznych dla chwastów (Jabran i in. 2010b). Zastosowanie ekstraktów z sorgo i wody słonecznikowej zmniejsza biomasę chwastów o 33–53% jednocześnie zwiększając plon pszenicy o średnio 7-14% (Bhatti i in. 2000).

1.5. Agrotechnika

W warunkach klimatycznych Polski, sorgo jako roślina dnia krótkiego, nie tworzy dostatecznie dojrzałych nasion. Aktualnie nie ma odmian zarejestrowanych w Polsce, jednakże istnieje możliwość zakupu i uprawy sorgo, gdyż znajduje się ono w unijnym rejestrze odmian (CCA). Przy zakupie materiału siewnego należy zwrócić szczególną uwagę na wybór odpowiedniej odmiany, ponieważ między poszczególnymi odmianami sorga istnieją bardzo duże różnice, co do długości okresu wegetacji, wysokości roślin, zawartości cukrów oraz suchej masy, a w konsekwencji jego przydatności na różne cele.

Znajomość potrzeb uprawy danej rośliny ułatwia nie tylko wszystkie zabiegi agrotechniczne, ale przede wszystkim pozwala na uzyskanie zadowalającego plonu, zarówno pod względem jakościowym, jak i ekonomicznym. Sorgo, ze względu na duże podobieństwo do kukurydzy, nie różni się zaleceniami uprawy w sposób znaczący. Istotnym zaś jest, by zwrócić uwagę na dobór stanowiska, terminowość wykonywanych zabiegów, ilość stosowanych nawozów oraz ogólną reakcję tej rośliny na warunki panujące w naszym kraju. Plon zielonej masy, jaki sorgo jest zdolne wyprodukować, sięga nawet granicy 100 ton świeżej masy z 1 ha, co daje ok. 20 ton suchej masy z jednostki uprawy (Szumiło i in. 2015).

W porównaniu do kukurydzy, sorgo ma niewielkie wymagania glebowe (Frankowski 2016). Może być uprawiane na glebach lekkich, szybko nagrzewających się, o odczynie lekko kwaśnym (pH 5,6-6,5). W celu zachowania dostępnej dla roślin wody glebowej oraz uniknięcia niszczenia struktury gleby, należy ograniczyć prace agrotechniczne do wymaganego minimum (Christiansen 2008). W doborze stanowiska pod uprawę sorga zaleca się unikać gleb ciężkich i trwale podmokłych.

Głębokość wysiewu zależy od rodzaju gleby. Przyjętym optimum jest 2,5-4 cm. Im gleba jest lżejsza, tym wysiew może być głębszy (Chrisi i Peterson 2019). Do siewu najlepiej używać siewnika punktowego z tarczami wysiewającymi o otworach 2-3 mm. W przypadku suchego podłoża zalecane jest wałowanie po siewie. Optymalna gęstość wysiewu sorga waha się od 180000 do nawet 325000 nasion, co stanowi od ok. 6 do 30kg materiału siewnego na powierzchnię jednego hektara uprawy (Szumiło i in. 2015). Sorgo uprawiane jako surowiec biotechnologiczny lub z przeznaczeniem na paszę, zdaniem Sowińskiego i Liszki-Brandau (2019), powinno być wysiewane w mniejszej gęstości.

Termin siewu uzależniony jest od temperatury gleby, która powinna osiągnąć średnio 12-14°C, a to w warunkach klimatycznych Polski przypada zazwyczaj od końca kwietnia do połowy maja (Śliwiński i Brzóska 2006). Jak dotąd nie stwierdzono jednoznacznie, czy wysiew wczesny czy też późny wpływa na uzyskanie większego plonu ziarna. Ryzyko uprawy sorgo zależy w dużej mierze od warunków pogodowych panujących w okresie wegetacji, zwłaszcza w fazie wschodów. Sowiński i Szydełko-Rabska (2013) badając wpływ terminu siewu na plonowanie sorgo w warunkach klimatycznych Dolnego Śląska dowodzą, że plon ziarna zależał od roku uprawy, bowiem w 2010 roku sorgo wysiane pod koniec kwietnia plonowało istotnie wyżej niż wysiane w I dekadzie maja, natomiast w 2011 roku plon sorgo wysianego w I dekadzie maja był większy.

Odpowiednia rozstawa rzędów zależy od odmiany uprawianego sorga. Szumiło i Rachoń (2014) podają, że zmniejszenie rozstawy rzędów z 75 do 50 i 25 cm zmniejszyło plon odpowiednio o 10,0 i 15,4%. Zmniejszenie plonu wynikało z mniejszej masy 1000 ziaren, mniejszej liczby wiech oraz mniejszej masy ziaren z wiechy. Fernandez i in. (2012) dowodzą, że sorgo pozytywnie reaguje na większą rozstawę rzędów. Zdaniem Baumhardt i in. (2005) i Baumhardt i Howell (2006) sorgo

jest rośliną, która przystosowuje się do warunków wzrostu poprzez dostosowanie liczby wiech do wytworzonych pędów.

Uprawiając sorgo na zielonkę bądź kiszonkę można wykorzystać metodę „mix cropping”. Kozłowski i in. (2006) oraz Hołubowicz-Kliza (2007) wyróżniają następujące metody uprawy kukurydzy i sorga w technologii "mix cropping":

- na glebach dobrych:
 - wysiewane w ten sam rząd na różnej głębokości,
 - sorgo wysiane w rzędzie w odległości 10-15cm od rzędu kukurydzy,
 - wysiew w osobne rzędy
- na glebach lekkich i średnich - sorgo i kukurydza wysiewane są w osobnych rzędach o ustalonych proporcjach:
 - 1:1 - na polu jest jednakowa liczba rzędów kukurydzy i sorga,
 - 1:2 - na polu jest dwukrotnie więcej rzędów sorga niż kukurydzy,
 - 2:1 - na polu jest dwukrotnie więcej rzędów kukurydzy niż sorga.

Przy odpowiednich proporcjach kukurydzy i sorgo można uzyskać większe wartości energii w plonie. Jest to tzw. technologia "mix cropping", czyli uprawa na jednym polu dwóch gatunków roślin. Taki sposób uprawy pozwala efektywnie wykorzystać zalety obu roślin. Sorgo i kukurydza uprawiane w technologii "mix cropping" tworzą wyższe i co istotne stabilne plony, zwłaszcza w latach suchych czy na gorszych stanowiskach. Rośliny lepiej wykorzystują dostępną w glebie wodę i składniki pokarmowe. Taka uprawa stwarza możliwość poprawy jakości parametrów kiszonki (Kozłowski i in. 2006, 2007). Książak i in. (2012c) podkreślają, że na konkurencję między uprawianymi gatunkami oraz ich rozwój wpływają bezpośrednio czynniki agronomiczne, takie jak: poziom nawożenia mineralnego oraz gęstość wysiewu. Michalski i in. (2016) twierdzą, że taka uprawa u niektórych odmian sorgo wpływa na ich mniejsze ulistnienie, co przekłada się zaś na większą liczbę wiech w porównaniu do czystego siewu.

Wpływ nawożenia na wzrost i plonowanie roślin jest powszechnie znany. Spośród trzech podstawowych makroskładników stosowanych w nawożeniu, azot w sposób najbardziej bezpośredni wpływa na procesy rozwojowe zachodzące w roślinach (Fageria i Moreira 2011). Mimo to, zbyt wysokie dawki azotu podnoszą koszty produkcji i negatywnie wpływają na środowisko (Sainju i in. 2006). Koniecznym jest wobec tego dostosowanie dawek nawozu mineralnego do potrzeb żywieniowych

uprawianej rośliny, a także dobór formy nawozu o wolniejszym uwalnianiu składników odżywczych. Z przyrostem biomasy ściśle związane jest tempo pobierania składników pokarmowych. W początkowym okresie wegetacji potrzeby pokarmowe sorga są niewielkie. Gdy rośliny wytworzą wszystkie liście i wegetacja osiągnie około jednej trzeciej pełnego okresu rozwojowego, zaczyna się okres przyrostu łodyg oraz okres intensywnego pobierania składników pokarmowych (Zhao i in. 2005, Marsalis i in. 2010). Drugim, równie ważnym terminem jest faza kwitnienia wiech, przypadająca na mniej więcej dwie trzecie pełnego cyklu rozwojowego. Do tego momentu sorgo powinno pobrać odpowiednio 70, 60 i 80% ogólnej ilości azotu, fosforu i potasu. Zdaniem Rao i in. (2008) nawożenie azotowe i potasowe ma największe znaczenie dla uzyskania wysokiego plonu. W późniejszym terminie, w dojrzałości fizjologicznej sorgo osiąga maksimum nagromadzenia suchej masy.

Optymalne dawki stosowanych nawozów w warunkach upraw prowadzonych w Polsce wynoszą dla sorgo uprawianego na kiszonkę: 90-150 kg·ha⁻¹ N (w dwóch dawkach: 40% przed siewem i 60% w fazie 6-8 liści), 60-80 kg·ha⁻¹ P₂O₅ oraz 120-150 kg·ha⁻¹ K₂O (Sowiński i in. 2016). Najważniejszym składnikiem odżywczym jest azot, który stanowi niezbędny składnik białek, kwasów nukleinowych oraz chlorofilu (Hiell 2012). Azot pobudza wzrost roślin, nadaje zieloną barwę, wpływa na efektywność pobierania potasu, fosforu i innych składników pokarmowych (Bielska i in. 2014).

Dodatkowo w uprawie sorgo, należy uwzględnić aspekty środowiskowe tak, by azot nie akumulował się nadmiernie w glebie po zbiorze plonu (Sowiński i in. 2016). Wpływ nawożenia mineralnego azotem na plon sorgo ziarnowego nie był przedmiotem badań w naszym kraju, badania dotyczyły jedynie sorga pastewnego. Kruczek (2014b) stwierdza istotny wpływ dawki azotu na uzyskany plon suchej masy. Największy plon suchej masy wiech z okresu trwania doświadczenia uzyskał on z poziomu nawożenia 200 kg·ha⁻¹ N, co odpowiada ilości 1,6 t·ha⁻¹ i udziałem wiech w roślinie na poziomie 8,4%. Dodatkowo Kruczek (2014b) dowodzi, że plon suchej masy wiech sorgo był najwyższy w 2011 rok, w którym procentowy udział wiech w całej roślinie wynosił 11,5%, natomiast w 2010 roku zaledwie - 2,4%. Wyniki te potwierdzają, że rozwój roślin sorgo jest ściśle zależny od warunków pogodowych panujących w okresie wegetacyjnym.

Sorgo jest rośliną wrażliwą na działanie herbicydów odpowiadających za niszczenie chwastów prosowatych, a więc należących do tej samej podrodziny roślin,

do której samo się zalicza. W uprawach sorga nie ma natomiast problemu nasilonego występowania chorób i szkodników (Frankowski i Burczyk 2016). Omacnica prosowianka żerująca na kukurydzy przyczynia się do średnich strat plonów w wysokości blisko 15%. Dobrą odporność sorgo na omacnicę prosowiankę wskazuje Bereś (2012). W swoich badaniach udowadnia on, że tylko pojedyncze rośliny sorgo w nieznacznym stopniu, w porównaniu z kukurydzą cukrową, ulegały uszkodzeniom spowodowanym żerowaniem omacnicy. W tym przypadku do ochrony upraw wystarczające były jedynie zabiegi interwencyjne. Christiansen (2008) zwraca uwagę na fakt, że najpoważniejszym czynnikiem ograniczającym plonowanie sorga jest ptactwo, które wyrządza duże szkody w roślinach.

Termin zbioru jest bardzo istotny ze względu na jakość uzyskanego plonu, jak i jego przeznaczenie. W technologii "mix cropping" decyduje o tym przede wszystkim dojrzałość kukurydzy. Zbiory takich upraw powinny się odbyć wówczas, gdy ziarna w kolbach kukurydzy osiągną dojrzałość woskową. Zbiór sorgo z siewu czystego powinien zostać przeprowadzony przed wystąpieniem pierwszych przymrozków (Burczyk 2012). Przyspieszenie zbioru, a tym samym dosychania roślin w łanie jest możliwe dzięki zabiegowi desykacji. Zbyt wcześnie przeprowadzona desykacja przyczynia się do wysokiego udziału niedojrzałych ziaren, co pogarsza parametry jakościowe plonu, natomiast opóźniona desykacja naraża na straty spowodowane przez żerowanie ptactwa (Ockerby i in. 2001, Fonseca i in. 2013). Za optymalny termin zbioru uważa się okres od początku września do pierwszej dekady października.

Sorgo można zbierać jedno- lub dwuetapowo (Sowiński i Kuta 2015). W trakcie zbioru jednoetapowego przeprowadzane jest jednocześnie ścinanie i omłot, polegający na oddzielaniu ziarna od słomy. Na zbiór dwuetapowy składa się faza zbioru, która polega na ścinaniu roślin za pomocą kosiarki. Ścięte rośliny pozostawia się na kilkanaście dni na polu, po czym przeprowadzany jest omłot (Lisowski i in. 2010, Sowiński i Szydełko-Rabska 2013). Zbiór dwuetapowy przyczynia się do spadku wilgotności zbieranego ziarna i poprawy jego jakości. Jednocześnie następuje wzrost kosztów zbioru wynikający z konieczności stosowania dwóch różnych maszyn, a dodatkowym ryzykiem jest czas wynikający z pozostawienia roślin na polu, który może niekorzystnie wpłynąć na jakość plonu, zależną od przebiegu pogody.

2. Materiał i metody

2.1. Opis doświadczenia i metody badań

Badania realizowano w latach 2014-2016 w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Lipniku koło Stargardu (53°20'36.96"N, 14°58'13.908"E), należącej do Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, na glebie lekkiej, brunatno-rdzawej, klasy bonitacyjnej IVb, kompleksu 5 - żytniego dobrego.

Doświadczenie polowe wykonano w układzie split-split-plot w 2 replikacjach. Badano następujące czynniki:

A. Termin siewu:

1. (W) wczesny (29.04.2014r., 04.05.2015r., 13.05.2016r.)
2. (O) zalecany - optymalny (13.05.2014r., 18.05.2015r., 25.05.2016r.)
3. (P) - opóźniony (03.06.2014r., 04.06.2015r., 10.06.2016r.)

B. Nawożenie mineralne azotem [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ N}$]:

1. 40
2. 80
3. 120 (80 + 40)
4. 160 (80 + 80)

C. Odmiana:

1. A – Balto CS
2. B – Capello CS
3. C – Arfrio
4. D – Friggo
5. E – Iggloo.

Siew był wykonywany w dwutygodniowych odstępach czasowych, przy czym przy wyborze terminu optymalnego kierowano się minimalną temperaturą gleby $\geq 12^{\circ}\text{C}$ i brakiem wpływu późnych przymrozków, które w warunkach klimatycznych Niziny Szczecińskiej przypadają na okres 12-15 maja. By wyeliminować efekt brzeżny całe doświadczenie obsiane było sorgiem, odmiany Arsky (tzw. obsiew). Pojedyncze poletka miały standardowe wymiary, przyjęte w badaniach doświadczalnych ze zbożami: 12 m x 1,5m = 18 m² (do siewu), a 10 m x 1,5m=15m² (do zbioru).

Przed założeniem doświadczenia zastosowano jednolite nawożenie potasem i fosforem (60 kg·ha⁻¹ P₂O₅ i 80 kg·ha⁻¹ K₂O) na podstawie oceny zasobności gleby w przyswajalne formy ww. makroskładników, a następnie wymieszano nawozy z glebą z

użyciem rototilera. Sorgo wysiewano precyzyjnym siewnikiem polowym firmy Haldrup z aparatem wysiewającym systemu Øyjord, w rozstawie rzędów, co 45 cm (4 rzędy), na głębokość 3-4 cm. Gęstość siewu wynosiła 35 nasion na 1 m², wysiewano ok. 24-36 g materiału siewnego na poletko w zależności od odmiany. Bezpośrednio po zakończonym siewie zastosowano nawożenie azotem zgodnie ze schematem, z tym, że dawki powyżej 100 kg·ha⁻¹ N (120 i 160 kg·ha⁻¹ N) ze względów ekologicznych i zgodnie z Kodeksem dobrej praktyki rolniczej (2004) podzielono na dwie części: pierwszą po siewie (80 kg·ha⁻¹), a drugą dawkę (odpowiednio 40 i 80 kg·ha⁻¹) wysiano w fazie 4-6 liści sorgo.

Prace pielęgnacyjne mające na celu ograniczenie zachwaszczenia były wykonywane ręcznie. W trakcie wegetacji przeprowadzono liczne lustracje i obserwacje dotyczące przebiegu wzrostu i rozwoju roślin oraz występowania patogenów, by ewentualnie przeciwdziałać ich szkodliwości (Fot. 1-7 Aneks). W latach badań nie stwierdzono występowania żadnych szkodników i chorób mogących wpływać na obniżenie lub pogorszenia jakości plonu, w związku z czym nie stosowano żadnych środków ochrony roślin. Natomiast dużym problemem okazały się ptaki (wróble, szpaki, gołębie i in.), które w okresie dojrzewania ziarna żerowały na sorgu i trzeba było zabezpieczać poletka przed nimi (odstraszacze, strachy, siatka). Krótco przed zbiorem określono parametry fizjologiczne: indeks zieloności liści (w jednostkach umownych zawartości chlorofilu SPAD) za pomocą przenośnego aparatu Chlorophyll Meter SPAD 502Plus (Konica Minolta), a także indeks powierzchni liści - LAI (Leaf Area Index) za pomocą ceptomietru LP-80, firmy Decagon, USA. W momencie zbioru pobrano po 20 roślin sorgo z każdego poletka w celu wykonania dokładnych pomiarów biometrycznych dotyczących budowy morfologicznej roślin.

Zbiór roślin z całego poletka przeprowadzono ręcznie w 2014 i 2015 roku w pierwszej dekadzie września (02.09), natomiast w 2016 roku - w drugiej dekadzie września (12.09), odcinając wiechy sorgo, które następnie młócono w młocarni polowej. Plon ziarna podano w przeliczeniu na 15% wilgotności.

2.2. Pomiary polowe i laboratoryjne

Pomiary polowe dotyczyły obsady roślin i liczby wiech na jednostce powierzchni przed zbiorem (4 x 1m²). Wykonano pomiary dotyczące budowy morfologicznej roślin. Obejmowały one: wysokość roślin, mierzoną od szyjki korzeniowej do końca wiechy, długość wiechy oraz średnicę łodygi i dokłosa (u podstawy wiechy). Długość łodygi i

wiechy mierzone miarą taśmową z dokładnością do ± 1 mm, a grubość łądygi i dokłosa mierzoną przy pomocy suwmiarki elektronicznej z dokładnością do $\pm 0,01$ mm.

Pobrane wiechy zostały zważone, a następnie poddano je dalszej analizie, która polegała na określeniu liczby gałązek (rozgałęzień wiechy) pierwszego rzędu, które wyrastały z osi głównej kwiatostanu groniastego. Następnie wiechy wymłócono i określono masę nasion z wiechy.

Masę tysiąca ziaren (MTZ) określono za pomocą elektronicznego licznika nasion odliczając cztery razy po 250 ziaren z każdego poletka w dwóch powtórzeniach, a następnie ziarno zważono na wadze technicznej, wynik zapisano w gramach. Na podstawie masy nasion z wiechy i masy tysiąca ziaren obliczono liczbę nasion w jednej wieszce.

Ziarno sorga zmielono na młynku młotkowym - śrutownik Perten Lab Mill typ 120, a następnie w śrucie całościarnowej (w mące z pełnego przemiału) oznaczono liczbę opadania metodą Hagberga-Pertena (PN-ISO 3093:2010) w urządzeniu do badania liczby opadania typu SWD (automat). Liczba opadania jest to „całkowity czas w sekundach, począwszy od zanurzenia próbki wiskozymetrycznej we wrzącej wodzie, niezbędny dla działania mieszadła wiskozymetrycznego w określony sposób i następnie umożliwiający opadanie mieszadła, na uprzednio ustaloną odległość w kleiku przygotowanym z wody i mąki lub z całego rozdrobnionego produktu zbożowego umieszczonego w próbówce wiskozymetrycznej i podlegającego upłynnieniu (Anonim 10). Liczba opadania zbóż i ich przetworów jest miernikiem aktywności enzymu alfa amylazy, który w ziarnach dojrzałych i prawidłowo zebranych występuje w niewielkich ilościach. Natomiast w zbożach o podwyższonej wilgotności (>15%) i wilgotnych występuje uaktywnienie α -amylazy, powodującej groźne w skutkach uszkodzenia skrobi. Produkty z takich zbóż nabierają niekorzystnych właściwości fizykochemicznych, niegwarantujących otrzymania dobrej jakości pieczywa. Dzięki znajomości liczby opadania można ziarna zbóż przeznaczyć np. na cele paszowe, do sporządzania specjalnych mieszanek, tj. zbóż uszkodzonych z nieuszkodzonymi przez α -amylazę lub do opracowania indywidualnych procesów technologicznych z dodatkiem „poprawiaczy”, by uniknąć nieoczekiwanych strat.

Przeprowadzono poza tym ocenę wartości wypiekowej mąki z pełnego przemiału na podstawie aktywności enzymów amylolitycznych w aparacie Amylograph Brabender zgodnie z normą PN-ISO 7973. Amylograf firmy Brabender®

to urządzenie laboratoryjne służące do pomiaru i zapisu charakterystyki oraz właściwości kleikowania skrobi w mąkach w zależności od temperatury i czasu. Amylografy są stosowane w laboratoriach młynarskich i dużych zakładach piekarskich. Ze względu na wysoką zawartość skrobi mąki mają właściwość kleikowania w obecności wody i ciepła. Jest to ważne w procesie pieczenia do tworzenia miększu ciasta. Metoda wykonania badania opierała się na sporządzeniu zawiesiny mąki z pełnego przemiału z wodą, którą następnie ogrzewano w zbiorniku amylografu w sposób ciągły (1,5°C na minutę) i mieszało. Podczas badania na amylografie określono następujące parametry:

- początkowa temperatura kleikowania [°C] – oznacza temperaturę wzrostu lepkości kleiku badanej mąki,
- końcowa temperatura kleikowania [°C] – wskazuje na temperaturę, przy której następuje spadek lepkości zawiesiny,
- maksymalna lepkość zawiesiny [AU] – określa maksimum lepkości zawiesiny, jaką próbki mąki osiągnęły w końcowej temperaturze kleikowania.

Oznaczenie amylograficzne rozpoczyna się od temperatury 30°C. W początkowym etapie badania, ze względu na stałą lepkość zawiesiny wykres (amylogram) przebiega na jednym poziomie. W momencie, gdy temperatura osiągnie 55-65°C następuje gwałtowny wzrost lepkości zawiesiny. Spowodowane jest to silnym pęcznieniem i kleikowaniem skrobi. Krzywa amylogramu zaczyna rosnąć i następuje odczyt początkowej temperatury kleikowania. Początkowa temperatura kleikowania wynosi dla mąki żytniej ok. 56°C, a dla mąki pszennej jest wyższa – ok. 60°. Dalsze podwyższanie temperatury powoduje rozkład skrobi i zmniejsza lepkość zawiesiny. Następnie krzywa amylografu po osiągnięciu maksimum opada. W tym momencie następuje odczyt końcowej temperatury kleikowania, która dla mąki żytniej wynosi średnio 62°C, a dla mąki pszennej - ok. 88°C. Następnie odczytywana jest wartość maksymalnej lepkości zawiesiny, którą wyraża się w umownych jednostkach Brabendera AU = Amylograph Unit lub j-B. - B.U = Brabender Unit (Anonim 9).

W każdym roku wykonano analizę gleby przed rozpoczęciem prac polowych. Przeprowadzone analizy pobranych próbek glebowych polegały na oznaczeniu odczynu metodą potencjometryczną, zgodnie z Polską Normą (PN) w 1M KCl i H₂O (PN-ISO 10390). Wykonano również analizy na zawartość następujących pierwiastków metodami:

- a) azotu ogólnego - metodą Kjeldahla (PN-ISO 11261:2002),
- b) węgla organicznego - metodą kolorymetryczną Westerhoffa (PN –ISO 14235:2003),
- c) fosforu przyswajalnego - kolorymetrycznie metodą Egnera-Riehma (PN-R-04022/Az1),
- d) potasu przyswajalnego – metodą fotometrii płomieniowej (PN- R-04022/Az1),
- e) magnezu przyswajalnego - PN-R-04020/Az1.

Podczas procesu wyżarzania gleby oznaczono procentowy udział substancji organiczej.

2.3. Charakterystyka odmian

Przy wyborze odmian sorga ziarnowego kierowano się przede wszystkim wczesnością odmian uprawianych w Europie (bardzo wczesne i wczesne), dostępnością materiału siewnego na rynku europejskim oraz możliwością uzyskania materiału siewnego od hodowców. Posiłowano się odmianami zarejestrowanymi na europejskiej liście odmian z katalogu CCA (Wspólny Katalog Roślin Rolniczych – Anonim 1-3), Badane odmiany sorgo pochodziły z trzech firm hodowlanych: a) Caussade Semences: Balto CS (Anonim 4) i Capello CS (Anonim 5), b) Euralis Semences: Arfrio (Anonim 6) oraz c) RAGT Semences (Francja): Friggo (Anonim 7) i Iggloo (Anonim 8). Niewiele jest dostępnych informacji na temat tych odmian i poziomu ich plonowania. Na stronach internetowych hodowców były tylko bardzo skąpe charakterystyki badanych odmian. Informacja o MTZ dotyczy materiału siewnego otrzymanego od ww. firm.

Odmiana Balto CS jest odmianą o dużych (MTZ = 36 g), brązowych ziarnach. Zdaniem hodowcy (Caussade Semences) jest to odmiana wczesna, którą cechuje szybki wzrost, stabilne plonowanie oraz odporność na niekorzystne warunki uprawy. Warunkiem opłacalności jest przestrzeganie zasad odpowiedniego wysiewu (gleba nagrzana do ok. 12-15°C) oraz gęstości siewu (300-400 tys. nasion na powierzchnię 1 hektara).

Odmiana Capello CS – to odmiana o drobniejszym ziarnie (MTZ = 28 g), o czerwonym zabarwieniu. Jest odmianą średniowczesną wg hodowców z Francji, której optymalna ilość wysiewu wynosi 250-350 tys. nasion na 1 hektar. Dodatkowo rośliny sorgo odmiany Capello CS, zdaniem hodowcy, cechują się dobrą adaptacją do warunków siedliska, na jakim są uprawiane oraz dobrym poziomem plonowania.

Odmiana Arfrio to odmiana bardzo wczesna o drobnych ziarnach barwy pomarańczo-fioletowej (MTZ = 24 g). Uchodzi wg hodowcy (Euralis Semences) za jedną z najbardziej produktywnych odmian sorga. Odznacza się silną łodygą i jest przystosowana do warunków klimatu kontynentalnego.

Friggo jest to odmiana wczesna o dość dużych ziarnach (MTZ = 32 g) barwy od pomarańczowej do czerwonej. W doświadczeniach przeprowadzonych we Francji w latach 2011-2012 plonowała na poziomie 7,6 t·ha⁻¹.

Odmiana Iggloo to odmiana bardzo wczesna o ziarnie dużym (MTZ = 34 g), koloru pomarańczowego. Wg firmy RAGT Semences jest to odmiana o dużym potencjale plonowania.

2.4. Analiza statystyczna wyników

Wyniki badań opracowano statystycznie wykorzystując analizę wariancji przy pomocy procedury ANOVA z doświadczenia pojedynczego trójczynnika w układzie losowanych podbloków z każdego roku oraz analizę wariancji danych z doświadczenia wielokrotnego trójczynnika (synteza). Półprzedziały ufności wyliczono stosując test Tukey'a na poziomie istotności $\alpha \leq 0,05$. Do analizy statystycznej wykorzystano program FR ANALWAR 5.3 F. Rudnickiego z Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy.

Poza tym wykonano korelację prostą (liniową) Pearsona pomiędzy badanymi parametrami ilościowymi w programie Statistica 10.1 (Dell Technologies, Round Rock, TX, USA), a współczynniki korelacji r przedstawiono w postaci macierzy. Następnie zbadano istotność obliczonych współczynników korelacji przy poziomie istotności $\alpha \leq 0,001$, $\alpha \leq 0,01$ i $\alpha \leq 0,05$. Współczynnik korelacji r Pearsona służy do sprawdzenia czy dwie zmienne ilościowe są powiązane ze sobą związkiem liniowym oraz pozwala ocenić kierunek zmian, np. czy zwiększenie wartości jednej z cech powoduje proporcjonalne zmiany (wzrost lub spadek) średnich wartości drugiej cechy. Wynik r Pearsona może wahać się od -1 do $+1$. Wartości skrajne (-1 i $+1$) oznaczają idealną korelację między zmienną A i zmienną B. Natomiast wynik równy "zero" oznacza brak współwystępowania wartości dwóch zmiennych w naturze (brak korelacji). Siłę związków korelacyjnych za Nowak-Brzezińską (2009) oceniono następująco:

- poniżej 0,2 - korelacja słaba (praktycznie brak związku),

- 0,2 – <0,4 - korelacja niska (zależność wyraźna),
- 0,4 – <0,6 - korelacja umiarkowana (zależność istotna),
- 0,6 – <0,8 - korelacja wysoka (zależność znaczna – wysoce istotna),
- 0,8 – <0,9 - korelacja bardzo wysoka (zależność bardzo duża),
- 0,9 – 1,0 - zależność praktycznie pełna.

2.5. Warunki doświadczenia

2.5.1. Warunki glebowe

Doświadczenia polowe przeprowadzono w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Lipniku koło Stargardu na glebie lekkiej należącej do gleby podtypu brunatno-rdzawej, klasy bonitacyjnej IVb, kompleksu 5 - żytniego dobrego.

Gleby należące do podtypu gleb brunatno-rdzawych zaliczane są do typu gleb rdzawych i rzędu gleb bielicoziemnych (Mocek 2015). Skałę macierzystą gleb rdzawych mogą tworzyć piaski zwałowe, sandrowe lub inne utwory piaszczyste o słabym przesortowaniu lub niewielkim stopniu przemycia. Odczyn gleb rdzawych jest kwaśny i oscyluje najczęściej w przedziale pH = 3,5-5,0. Stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadowymi kationami nie przekracza zazwyczaj 30% (Marcinek i in. 2011).

Na podstawie przeprowadzonych analiz próbek gleby przed założeniem doświadczeń można stwierdzić, że gleba wytworzona została z piasku gliniastego lekkiego pylastego (tab.1).

Tabela 1. Skład granulometryczny i kategoria agronomiczna poziomu próchnicznego z pól doświadczalnych

| Lata | Piasek 1-0,1% | Pył 0,1-0,02% | Części spławiane poniżej 0,02 % | Grupa granulometryczna | Kategoria agronomiczna |
|------|------------------|------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 2014 | 60,5 | 26,2 | 13,4 | pglp ¹ | Lekka |
| 2015 | 59,5 | 28,2 | 12,3 | pglp | Lekka |
| 2016 | 61,6 | 26,0 | 12,4 | pglp | Lekka |

¹ pglp – piasek gliniasty lekki pylasty

W 2014 roku gleba przed siewem odznaczała się odczynem kwaśnym, o czym świadczyła wartość pH (5,20 w H₂O i 4,40 w KCl), oznaczona zarówno w wodzie, jak i w KCl (tab. 2). W roku 2015, będącym drugim rokiem prowadzenia doświadczenia polowego, wartość pH wynosiła 5,52 w H₂O i 4,79 w KCl, co klasyfikuje odczyn takiej

gleby jako kwaśny (tab. 2). W trzecim roku doświadczenia (2016) pH gleby przed siewem określony w H₂O wynosił 5,22, zaś w KCl - pH=4,52, co wskazuje również, że gleba miała odczyn kwaśny (tab. 2).

Tabela 2. Odczyn gleby, zawartość substancji organicznej, ogólnych form azotu i węgla oraz przyswajalnych form P, K i Mg w glebie przed siewem sorgo

| Lata | pH | | Substancja organiczna [%] | N ogólny [g·kg ⁻¹] | C org. [g·kg ⁻¹] | P [mg·kg ⁻¹] | K [mg·kg ⁻¹] | Mg [mg·kg ⁻¹] |
|------|------------------|------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | H ₂ O | KCl | | | | | | |
| 2014 | 5,20 | 4,40 | 1,86 | 0,26 | 9,3 | 43,0 | 68,2 | 18,6 |
| 2015 | 5,52 | 4,79 | 1,74 | 0,38 | 9,1 | 35,8 | 66,7 | 17,8 |
| 2016 | 5,22 | 4,52 | 1,87 | 0,37 | 9,6 | 58,6 | 70,4 | 22,2 |

Gleba na przestrzeni trzyletniego doświadczenia charakteryzowała się średnią zawartością materii organicznej na poziomie od 1,74 do 1,87% oraz azotu ogólnego od 0,26 do 0,38 g·kg⁻¹ s.m., zaś zawartość węgla organicznego wynosiła średnio ok. 9,3 g·kg⁻¹ s.m (tab. 2). Zasobność gleby w przyswajalne formy fosforu była na średnim poziomie i wynosiła 45,8 mg·kg⁻¹ s.m., zawartość potasu określono jako niską (68,4 mg·kg⁻¹ s.m), a magnezu – jako bardzo niską (19,5 mg·kg⁻¹ s.m).

2.5.2. Warunki meteorologiczne

Dane meteorologiczne dotyczące temperatury powietrza na wysokości 2 m, sumy opadów atmosferycznych, sumy usłonecznienia rzeczywistego oraz temperatury gleby na głębokości 5 cm ze stacji w Lipniku uzyskano z Katedry Meteorologii i Kształtowania Terenów Zieleni ZUT w Szczecinie. Brakujące dane dla miesiąca wrzesień i październik 2014 roku otrzymano z Zachodniopomorskiego Ośrodka Doradztwa Rolniczego w Barzkowicach. Analizując dane meteorologiczne w latach trwania doświadczenia skupiono się na zinterpretowaniu podstawowych parametrów meteorologicznych w rejonie uprawy. Dzięki parametrom średniej temperatury powietrza i sumy opadów atmosferycznych dla danych miesięcy okresu wegetacyjnego określono także współczynnik hydrotermiczny Sielianiowa, który pozwala na pełniejszą ocenę warunków wilgotnościowych poszczególnych miesięcy.

Temperatura powietrza

Temperatura powietrza dla roku 2014 w porównaniu z danymi dla wielolecia 1961-2004 była wyższa dla okresu wegetacyjnego sorgo (V-IX) o 1,4°C, mimo tego w sierpniu i październiku odnotowano niższe temperatury powietrza niż w wieloleciu

(tab. 3). Najcieplejszym miesiącem w 2014 roku był lipiec, którego średnia wartość miesięczna wynosiła 21,8°C. Natomiast najniższe temperatury odnotowano w kwietniu 11,1°C.

W drugim roku doświadczenia (2015r.) wartości średniej miesięcznej temperatury dla kwietnia, maja, czerwca, lipca, września i października były niższe w porównaniu do tego samego okresu roku 2014, ale mimo tego rok ten był cieplejszy od wielolecia o 0,9°C. Najcieplejszym miesiącem był sierpień, którego średnia wartość wynosiła 21,1°C. Najniższe temperatury miesięczne odnotowano w kwietniu (7,9°C) i październiku - 8,5°C (tab. 3).

W 2016 roku najchłodniejszymi miesiącami był kwiecień i październik, dla których odnotowano temperaturę na poziomie odpowiednio 7,9°C i 8,1°C. Ostatnia dekada kwietnia 2016 roku była wyjątkowo zimna, bo średnia temperatura wynosiła zaledwie 6,1°C (tab. 3). W związku z tym przesunięto pierwszy termin siewu sorgo o dwa tygodnie, by rozpocząć siewy przy temperaturze powyżej 12°C. Najcieplejszym miesiącem był lipiec (18,5°C), co w odniesieniu do poprzednich lat doświadczenia stanowiło najniższą wartość. Ogólnie ten rok był najcieplejszym spośród badanych lat, a średnia temperatura sezonu wegetacyjnego (V-IX) wynosiła 17,2°C i była o 2°C wyższa niż temperatura w wieloleciu 1961-2004 (tab. 3).

Suma opadów atmosferycznych

W 2014 roku w porównaniu z danymi dla wielolecia 1961-2004 wielkość opadów osiągnęła zdecydowanie wyższy poziom (tab. 4). Największe sumy opadów przypadały na maj (100,5 mm) i wrzesień 2014 (80,9 mm), podczas gdy w okresie wielolecia dla tych miesięcy odnotowano 51,1 i 46,8 mm opadu.

Drugi rok doświadczenia tj. 2015, został określony jako suchy. Wystąpiły duże niedobory wody w kwietniu, maju i czerwcu oraz stwierdzono skrajną suszę w sierpniu. Suma opadów wszystkich pięciu miesięcy okresu wegetacyjnego sorgo w 2015 roku wynosiła 228,3 mm opadu. Dla porównania w roku 2014 w tym samym przedziale czasowym suma opadów atmosferycznych osiągnęła wartość 344,1 mm.

Suma opadów z całego okresu wegetacyjnego sorgo w 2016 roku wynosiła 238,7 mm, z czego najwięcej opadów odnotowano w czerwcu (79,9 mm), a najmniej we wrześniu (13,3 mm).

Usłonecznienie rzeczywiste

Usłonecznienie jest liczbą godzin słonecznych, wyrażonych w godzinach w ciągu dekady, miesiąca lub roku, podczas których na powierzchnię Ziemi padają bezpośrednio promienie słoneczne. Suma usłonecznienia rzeczywistego związana jest z występowaniem dni słonecznych w danym miesiącu, ale przede wszystkim z położeniem geograficznym, długością dnia i zachmurzeniem. Suma usłonecznienia w wieloleciu 1961-2004 dla okresu od maja do września wynosiła ok. 944 h. Jej rozkład zmieniał się rosnąco w kolejnych miesiącach od ok. 140 h w kwietniu do ok. 212 h w lipcu, kiedy suma osiągnęła maksimum, a następnie suma usłonecznienia malała osiągając ok. 89 h w październiku (tab. 5).

Sezon wegetacyjny sorgo (V-IX) 2014 roku charakteryzował się większym usłonecznieniem rzeczywistym o ok. 151 h, tj. 16% w porównaniu do wielolecia 1961-2004. Największe usłonecznienie rzeczywiste w sezonie wegetacyjnym 2014 roku odnotowano w lipcu (269,6 h) i sierpniu (249,9 h), a jedynie suma usłonecznienia rzeczywistego w maju była mniejsza o ok. 18 h od średniej z wielolecia 1961-2004 (tab. 5).

Suma usłonecznienia rzeczywistego w drugim roku prowadzenia badań (2015 r.) wynosiła ok. 1038 h i była mniejsza o ok. 5% w porównaniu do roku 2014 (o 56,6 h), natomiast większa w porównaniu do wielolecia 1961-2004 o ok. 10% (94 h). Miesiącem o największym usłonecznieniu rzeczywistym okresu wegetacyjnego 2015 roku był sierpień, w tym miesiącu zarejestrowano najwyższy poziom usłonecznienia rzeczywistego wynoszący 256,7 h (tab. 5), natomiast w maju i czerwcu odnotowano mniej godzin słonecznych w porównaniu do 2014 roku odpowiednio o ok. 22 i 57 h.

W sezonie wegetacyjnym 2016 roku tj. od maja do września stwierdzono, że suma usłonecznienia rzeczywistego wynosiła 1178,9 godzin (tab.5). Była to najwyższa wartość badanego parametru spośród charakteryzowanych okresów wegetacji oraz wielolecia 1961-2004. Największe usłonecznienie rzeczywiste w trzecim roku trwania doświadczenia charakteryzowało miesiąc czerwiec (270,8 h), najniższe zaś - lipiec (199,1 h), a w sierpniu również odnotowano o ok. 50 h mniejszą sumę usłonecznienia.

Tabela 3. Średnie dekadowe i średnie miesięczne temperatury powietrza [°C] panujące w okresie wegetacyjnym sorgo ziarnowego w Lipniku (2014-2016) z uwzględnieniem wielolecia 1961-2004

| Lata | Wyszczególnienie | Miesiące | | | | | | | | | | Średnia V-IX |
|----------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------|-------------|------|--|--------------|
| | | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | | | | |
| 2014 | Dekady | 1. | 9,4 | 11,8 | 18,4 | 21,6 | 20,3 | 14,7 | 12,6 | 17,4 | | |
| | | 2. | 9,8 | 13,3 | 16,7 | 21,1 | 16,4 | 14,7 | 13,1 | 16,4 | | |
| | | 3 | 14,2 | 16,7 | 15,6 | 22,8 | 12,9 | 11,7 | 8,3 | 15,9 | | |
| | Średnie miesięczna | 11,1 | 13,9 | 16,9 | 21,8 | 16,5¹ | 13,7¹ | 11,3 | 16,6 | | | |
| 2015 | Dekady | 1. | 4,8 | 12,1 | 15,3 | 20,7 | 21,1 | 14,3 | 10,5 | 16,7 | | |
| | | 2. | 8,7 | 11,6 | 14,8 | 17,4 | 23,0 | 15,9 | 7,1 | 16,5 | | |
| | | 3. | 10,3 | 11,9 | 15,0 | 17,3 | 19,3 | 11,7 | 7,9 | 15,0 | | |
| | Średnie miesięczna | 7,9 | 11,9 | 15,0 | 18,5 | 21,1 | 14,0 | 8,5 | 16,1 | | | |
| 2016 | Dekady | 1. | 9,5 | 14,7 | 18,2 | 17,3 | 16,8 | 17,7 | 10,0 | 16,9 | | |
| | | 2. | 8,8 | 13,1 | 15,3 | 17,8 | 16,1 | 18,1 | 6,8 | 16,1 | | |
| | | 3. | 6,1 | 18,7 | 20,2 | 20,1 | 19,2 | 14,1 | 7,1 | 18,5 | | |
| | Średnie miesięczna | 8,1 | 15,6 | 17,9 | 18,5 | 17,4 | 16,6 | 7,9 | 17,2 | | | |
| Wielolecie 1961-2004 | Dekady | 1. | 5,9 | 11,1 | 15,5 | 17,1 | 18,3 | 14,7 | 10,7 | 15,3 | | |
| | | 2. | 7,0 | 12,8 | 15,5 | 17,3 | 17,0 | 13,0 | 13,0 | 15,1 | | |
| | | 3. | 8,7 | 13,6 | 16,6 | 17,9 | 15,8 | 11,8 | 11,8 | 15,1 | | |
| | Średnie miesięczna | 7,2 | 12,5 | 15,9 | 17,4 | 17,0 | 13,2 | 13,2 | 15,2 | | | |

¹Miesiące sierpień i wrzesień 2014 – dane dla Barzkowic

Źródło danych: Katedra Meteorologii i Kształtowania Terenów Zieleni ZUT w Szczecinie

Tabela 4. Sumy dekadowe i sumy miesięczne opadów atmosferycznych [mm] występujących w okresie wegetacyjnym sorgo ziarnowego w Lipniku (2014-2016) z uwzględnieniem wielolecia 1961-2004

| Lata | Wyszczególnienie | Miesiące | | | | | | | | | | Suma V-IX |
|----------------------|------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------|--------------|-------|--|-----------|
| | | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | | | | |
| 2014 | Dekady | 1. | 3,3 | 15,6 | 14,3 | 39,3 | 9,2 | 47,0 | 3,4 | 125,4 | | |
| | | 2. | 4,4 | 54,3 | 11,7 | 7,1 | 15,2 | 26,0 | 16,2 | 114,3 | | |
| | | 3 | 3,1 | 30,6 | 17,2 | 17,3 | 30,7 | 8,6 | 9,2 | 104,4 | | |
| | Suma miesięczna | 10,8 | 100,5 | 43,2 | 63,7 | 55,1¹ | 81,6¹ | 28,8 | 344,1 | | | |
| 2015 | Dekady | 1. | 8,1 | 24,7 | 4,4 | 11,2 | 0,0 | 25,3 | 0,0 | 65,6 | | |
| | | 2. | 1,2 | 13,4 | 15,1 | 22,3 | 10,7 | 28,0 | 24,8 | 89,5 | | |
| | | 3. | 6,1 | 6,2 | 27,4 | 30,4 | 8,9 | 0,3 | 0,3 | 73,2 | | |
| | Suma miesięczna | 15,4 | 44,3 | 46,9 | 63,9 | 19,6 | 53,6 | 25,1 | 228,3 | | | |
| 2016 | Dekady | 1. | 0,1 | 0,0 | 0,7 | 27,6 | 15,3 | 12,9 | 17,7 | 56,5 | | |
| | | 2. | 5,8 | 4,9 | 57,2 | 28,4 | 7,9 | 0,0 | 17,4 | 98,4 | | |
| | | 3. | 13,8 | 36,3 | 22,0 | 14,8 | 10,3 | 0,4 | 5,8 | 83,8 | | |
| | Suma miesięczna | 19,7 | 41,2 | 79,9 | 70,8 | 33,5 | 13,3 | 40,9 | 238,7 | | | |
| Wielolecie 1961-2004 | Dekady | 1. | 15,0 | 16,3 | 21,8 | 17,7 | 20,0 | 18,2 | 13,7 | 94,0 | | |
| | | 2. | 9,7 | 17,4 | 20,3 | 25,8 | 18,6 | 14,3 | 13,7 | 96,4 | | |
| | | 3. | 13,1 | 17,4 | 19,2 | 19,7 | 17,5 | 14,3 | 11,5 | 88,1 | | |
| | Suma miesięczna | 37,8 | 51,1 | 61,3 | 63,2 | 56,1 | 46,8 | 38,9 | 278,5 | | | |

¹Miesiące sierpień i wrzesień 2014 – dane z Barzkowic

Źródło danych: Katedra Meteorologii i Kształtowania Terenów Zieleni ZUT w Szczecinie

Tabela 5. Sumy dekadowe i miesięczne usłonecznienia rzeczywistego [h] panujące w okresie wegetacyjnym sorgo ziarnowego w Lipniku (2014-2016) z uwzględnieniem wielolecia 1961-2004

| Lata | Wyszczególnienie | Miesiące | | | | | | | | | | Suma V-IX |
|----------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------|---------------|-------|--|-----------|
| | | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | | | | |
| 2014 | Dekady | 1. | 36,4 | 39,3 | 88,3 | 103,2 | b.d ¹ | b.d | 44,3 | 230,8 | | |
| | | 2. | 61,8 | 59,1 | 73,5 | 89,8 | b.d | b.d | 19,4 | 222,4 | | |
| | | 3 | 79,6 | 89,6 | 53,9 | 76,6 | b.d | b.d | 26,0 | 220,1 | | |
| | Suma miesięczna | 177,9 | 188,0 | 215,6 | 269,6 | 249,9² | 171,4² | 89,7 | 1094,5 | | | |
| 2015 | Dekady | 1. | 56,3 | 63,6 | 91,5 | 98,9 | 75,9 | 58,9 | 57,5 | 388,8 | | |
| | | 2. | 72,1 | 63,0 | 68,2 | 62,3 | 96,5 | 55,5 | 19,8 | 345,5 | | |
| | | 3. | 73,7 | 68,3 | 33,8 | 51,6 | 84,3 | 65,4 | 36,2 | 303,4 | | |
| | Suma miesięczna | 202,1 | 194,9 | 193,5 | 212,9 | 256,7 | 179,9 | 113,5 | 1037,9 | | | |
| 2016 | Dekady | 1. | 66,2 | 119,9 | 118,1 | 59,8 | 51,8 | 85,1 | 18,3 | 434,7 | | |
| | | 2. | 38,9 | 69,0 | 63,3 | 50,7 | 55,3 | 87,3 | 10,9 | 325,6 | | |
| | | 3. | 73,3 | 76,8 | 89,4 | 88,6 | 95,3 | 68,6 | 12,7 | 418,7 | | |
| | Suma miesięczna | 178,4 | 265,7 | 270,8 | 199,1 | 202,4 | 240,9 | 41,9 | 1178,9 | | | |
| Wielolecie 1961-2004 | Dekady | 1. | 39,4 | 63,1 | 69,5 | 74,1 | 68,0 | 46,4 | 38,1 | 321,1 | | |
| | | 2. | 51,6 | 66,0 | 69,8 | 63,8 | 60,5 | 43,0 | 27,1 | 303,1 | | |
| | | 3. | 51,7 | 76,7 | 68,4 | 73,5 | 63,5 | 37,5 | 23,8 | 319,6 | | |
| | Suma miesięczna | 142,7 | 205,8 | 207,7 | 211,5 | 192,0 | 126,9 | 89,1 | 943,9 | | | |

¹b.d - brak danych, ²Miesiące sierpień i wrzesień 2014 – dane dla Szczecina

Źródło danych: Katedra Meteorologii i Kształtowania Terenów Zieleni ZUT w Szczecinie

Współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa

Do oceny warunków termicznych oraz pluwiometrycznych, w trzech analizowanych okresach wegetacyjnych zastosowano współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa (k) za Stachowskim (2010) w postaci:

$$k = \frac{P \cdot 10}{\sum t}$$

gdzie:

P - suma miesięczna opadów atmosferycznych w mm,

$\sum t$ - suma średnich dobowych temperatur > 0 °C.

Charakterystyka wilgotnościowa poszczególnych miesięcy w badanym okresie i w wieloleciu 1961-2004 wraz z interpretacją współczynnika hydrotermicznego została określona za Skowerą i Pułą (2004) następująco:

- skrajnie suchy – $k \leq 0,4$
- bardzo suchy – $0,4 < k \leq 0,7$
- suchy – $0,7 < k \leq 1,0$
- dość suchy – $1,0 < k \leq 1,3$
- optymalny – $1,3 < k \leq 1,6$
- dość wilgotny – $1,6 < k \leq 2,0$
- wilgotny – $2,0 < k \leq 2,5$
- bardzo wilgotny – $2,5 < k \leq 3,0$
- skrajnie wilgotny – $k > 3,0$.

W sezonie wegetacyjnym 2014 roku tj. od maja do września, warunki wilgotnościowe poszczególnych miesięcy były zróżnicowane (tab. 6). Odnotowano okresy skrajnie suche i dość wilgotne, zatem rozpiętość charakterystyki współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa była duża. Kwiecień był miesiącem skrajnie suchym, maj natomiast zakwalifikowano do okresu wilgotnego. Czerwiec, lipiec i sierpień to okresy suszy, zaś wrzesień okazał się miesiącem dość wilgotnym.

W 2015 roku cztery miesiące (maj, czerwiec, lipiec oraz wrzesień) charakteryzowały się warunkami dość suchymi (tab. 6). Kwiecień zakwalifikowano jako miesiąc bardzo suchy ($k=0,65$), październik jako suchy ($k=0,98$). Największe

niedobory wody odnotowano w sierpniu, co pozwoliło zakwalifikować ten miesiąc jako skrajnie suchy ($k=0,31$).

Charakterystyka wilgotnościowa analizowanych miesięcy sezonu wegetacyjnego 2016 roku przeważała w kierunku okresów suszy. Jedynie czerwiec odznaczał się warunkami optymalnymi ($k=1,49$), a warunki panujące w kolejnych miesiącach jedynie potęgowały występującą suszę. Dopiero październik był miesiącem dość wilgotnym ($k=1,71$).

Tabela 6. Charakterystyka wilgotnościowa wybranych miesięcy (IV-X) w trzech analizowanych okresach wegetacyjnych 2014-2016 z uwzględnieniem wielolecia 1961-2004

| Miesiąc | Lata | | | Wielolecie 1961-2004 |
|---------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | |
| | Współczynnik k i ocena wilgotnościowa | | | |
| IV | 0,32; skrajnie suchy | 0,65; bardzo suchy | 0,81; suchy | 1,75; dość wilgotny |
| V | 2,40; wilgotny | 1,24; dość suchy | 0,89; suchy | 1,36; optymalny |
| VI | 0,85; suchy | 1,04; dość suchy | 1,49; optymalny | 1,29; dość suchy |
| VII | 0,97; suchy | 1,15; dość suchy | 1,28; dość suchy | 1,21; dość suchy |
| VIII | 1,11; dość suchy ¹ | 0,31; skrajnie suchy | 0,64; bardzo suchy | 1,10; dość suchy |
| IX | 1,98; dość wilgotny ¹ | 1,28; dość suchy | 0,27; skrajnie suchy | 1,18; dość suchy |
| X | 0,85; suchy | 0,98; suchy | 1,71; dość wilgotny | 1,10; dość suchy |

¹dane z Barzkowic

Temperatura gleby na głębokości siewu

Analizując rozkład temperatury gleby na głębokości 5cm dla poszczególnych dekad (tab. 7), można ocenić czy siew przeprowadzony w danym terminie odbywał się w warunkach optymalnych dla rośliny sorgo, której wymagane minimum wobec tego parametru to 12°C. Pierwszy termin siewu w 2014 roku odbył się w ostatniej dekadzie kwietnia wówczas, gdy temperatura gleby wynosiła 12,7°C. Drugi termin siewu przypadł w drugiej dekadzie maja i temperatura gleby dla tego okresu osiągnęła 12,4°C. Trzeci termin siewu odbył się w pierwszej dekadzie czerwca, gdzie analizowany parametr osiągnął wartość 17,0°C.

Porównując rok 2014 i 2015 pod względem temperatury gleby na głębokości 5cm można zaobserwować, że w całym okresie wegetacyjnym 2015 roku parametr ten osiągał niższe wartości aniżeli w roku 2014. W pierwszym terminie siewu sorgo tj. 4 maja średnia dekadowa temperatura gleby wynosiła 11,6°C. Dla drugiego terminu

siewu (18.05.2015r.) - 12°C, a dla trzeciego (04.06.2015r.) - 13,9°C. Warunki te stanowiły minimum, jakiego wymaga uprawiana roślina.

Analizując temperaturę gleby na głębokości 5cm w odniesieniu do terminów siewu w ostatnim roku trwania doświadczenia (2016) stwierdzono, że w każdym przypadku temperatura ta była wyższa od wymaganego minimum. Dla pierwszego terminu siewu (13.05.2016r.) wynosiła 14,1°C, dla drugiego (25.05.2016r.) - 17,4°C, a dla trzeciego (10.06.2016r.) - 19,6°C. Najwyższą temperaturę dla tej głębokości odnotowano w lipcu, dla pozostałych lat doświadczenia i wielolecia wartości te również były najwyższe w miesiącu lipcu.

Tabela 7. Średnie dekadowe temperatury gleby [°C] na głębokości 5cm panujące w okresie wegetacyjnym sorgo ziarnowego w Lipniku (2014-2016) z uwzględnieniem wielolecia 1961-2004

| Lata | Wyszczególnienie | Miesiące | | | | | | | | | | Średnia V-IX |
|----------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------|------|--|--------------|
| | | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | | | | |
| 2014 | Dekady | 1. | 8,8 | 11,3 | 17,0 | 19,3 | 20,0 | 15,9 | 13,7 | 16,7 | | |
| | | 2. | 9,2 | 12,4 | 17,7 | 22,0 | 17,2 | 16,1 | 13,8 | 17,1 | | |
| | | 3 | 12,7 | 15,5 | 16,2 | 21,3 | 14,3 | 13,9 | 10,9 | 16,2 | | |
| | Średnie miesięczne | 10,2 | 13,2 | 17,0 | 20,3 | 17,2 ¹ | 15,3 ¹ | 12,7 | 16,8 | | | |
| 2015 | Dekady | 1. | 5,8 | 11,6 | 13,9 | 19,8 | 19,2 | 16,4 | 11,8 | 16,2 | | |
| | | 2. | 8,4 | 12,0 | 16,2 | 18,1 | 20,6 | 15,9 | 9,1 | 16,6 | | |
| | | 3. | 9,7 | 12,5 | 15,8 | 18,2 | 18,5 | 13,2 | 8,7 | 15,6 | | |
| | Średnie miesięczne | 8,0 | 12,1 | 15,3 | 18,7 | 19,4 | 15,2 | 9,8 | 16,1 | | | |
| 2016 | Dekady | 1. | 9,0 | 13,3 | 19,6 | 18,7 | 18,7 | 17,3 | 12,7 | 17,5 | | |
| | | 2. | 9,7 | 14,1 | 17,5 | 18,9 | 17,2 | 17,3 | 10,0 | 17,0 | | |
| | | 3. | 8,5 | 17,4 | 19,9 | 20,0 | 18,2 | 14,6 | 9,2 | 18,0 | | |
| | Średnie miesięczne | 9,1 | 15,0 | 19,0 | 19,2 | 18,0 | 16,4 | 10,6 | 17,5 | | | |
| Wielolecie 1961-2004 | Dekady | 1. | 6,4 | 13,7 | 17,9 | 19,6 | 18,4 | 14,9 | 11,2 | 16,9 | | |
| | | 2. | 8,0 | 15,9 | 17,8 | 18,8 | 17,7 | 13,3 | 9,1 | 16,7 | | |
| | | 3. | 10,0 | 17,1 | 19,3 | 18,5 | 16,2 | 12,3 | 6,8 | 16,7 | | |
| | Średnie miesięczne | 8,1 | 15,6 | 18,3 | 19,0 | 17,4 | 13,5 | 9,0 | 16,8 | | | |

¹Miesiące sierpień i wrzesień 2014 – dane dla Barzkowic

Źródło danych: Katedra Meteorologii i Kształtowania Terenów Zieleni ZUT w Szczecinie

3. Wyniki badań

3.1. Wysokość roślin

Wysokość całych roślin badanych odmian należących do typu ziarnowego wynosiła średnio od ok. 80 do 130 cm. Wysokość roślin nie zależała od badanych głównych czynników doświadczenia (terminu siewu, nawożenia mineralnego azotem i odmiany), lecz związana była z przebiegiem warunków pogodowych występujących w poszczególnych latach (tab. 8, 9), a zwłaszcza przebiegiem temperatury, sumy opadów i usłonecznienia, co uwidoczniło się w istotnych interakcjach czynników głównych z latami. Reakcję roślin sorgo na działanie badanych czynników i ich wzajemnych interakcji w poszczególnych latach przedstawiono w tabeli 8 i 9.

Tabela 8. Istotność zróżnicowania wyników wysokości roślin, średnicy łodygi, średnicy dokłosa, długości wiechy, liczby rozgałęzień wiechy oraz parametrów fizjologicznych (Indeks zieloności, LAI)

| Rodzaj zmienności ¹ | Cecha | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|---------------------------|-------------------|------|
| | Wysokość roślin | Średnica łodygi | Średnica dokłosa | Długość wiechy | Liczba rozgałęzień wiechy | Indeks zieloności | LAI |
| A (Termin siewu) | n.i. | n.i. | n.i. | * | * | * | n.i. |
| L x A | * | n.i. | * | * | * | n.i. | n.i. |
| B (Nawożenie N) | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | * | n.i. |
| L x B | * | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | * | n.i. |
| A x B | * | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| L x A x B | * | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| C (Odmiana) | n.i. | * | * | * | n.i. | n.i. | n.i. |
| L x C | * | * | * | * | * | n.i. | * |
| A x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| L x A x C | * | n.i. | * | * | n.i. | n.i. | n.i. |
| B x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| L x B x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| A x B x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| L x A x B x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |

¹ A – termin siewu, B – nawożenie azotowe, C – odmiana, L – lata;

* Istotność przy poziomie $P \leq 0,05$, n.i. – nieistotne

Termin siewu oraz odmiana średnio z lat 2014-2016 nie wpływały istotnie na wysokość roślin (tab. 9, tab. 10). Wpływ terminu siewu w poszczególnych latach był jednak zróżnicowany. W pierwszym roku badań uzyskano najwyższe rośliny w

późnym terminie siewu. W terminie wczesnym i optymalnym były one istotnie niższe. Taki nietypowy układ wysokości roślin sorgo spowodowany był prawdopodobnie większą sumą opadów w lipcu i sierpniu, a zwłaszcza wysokimi temperaturami powietrza oraz o 25% większym usłonecznieniem w lipcu, które przyczyniły się do bujnego wzrostu części nadziemnej.

Tabela 9. Wysokość roślin sorgo [cm] w zależności od terminu siewu i poziomu nawożenia mineralnego azotem w poszczególnych latach

| Lata | (B) Nawożenie N [kg·ha ⁻¹] | (A) Termin siewu ¹ | | | Średnia |
|---------------------|---|-------------------------------|-------|-------|---------|
| | | W | O | P | |
| 2014 | 40 | 104,2 | 89,1 | 136,3 | 109,9 |
| | 80 | 101,0 | 97,7 | 129,8 | 109,5 |
| | 120 | 98,2 | 99,7 | 123,6 | 107,2 |
| | 160 | 106,5 | 95,2 | 128,8 | 110,2 |
| Średnia | | 102,5 | 95,4 | 129,6 | 109,2 |
| NIR _{0,05} | | A= 26,04; B= n.i.; B/A= 9,88 | | | |
| 2015 | 40 | 103,3 | 97,2 | 77,0 | 92,5 |
| | 80 | 94,8 | 100,8 | 72,2 | 89,3 |
| | 120 | 99,0 | 98,7 | 82,4 | 93,4 |
| | 160 | 102,0 | 97,0 | 73,9 | 91,0 |
| Średnia | | 99,8 | 98,4 | 76,4 | 91,5 |
| NIR _{0,05} | | A= 4,22; B= 2,56 ; B/A= 4,44 | | | |
| 2016 | 40 | 122,3 | 114,4 | 94,1 | 110,3 |
| | 80 | 117,0 | 118,1 | 89,8 | 108,3 |
| | 120 | 122,2 | 122,6 | 98,6 | 114,5 |
| | 160 | 125,7 | 114,8 | 91,0 | 110,5 |
| Średnia | | 121,8 | 117,5 | 93,4 | 110,9 |
| NIR _{0,05} | | A= 8,91; B= 1,06; B/A= 1,84 | | | |
| 2014-2016 | 40 | 109,9 | 100,3 | 102,5 | 104,2 |
| | 80 | 104,2 | 105,5 | 97,3 | 102,3 |
| | 120 | 106,5 | 107,0 | 101,5 | 105,0 |
| | 160 | 111,4 | 102,3 | 97,9 | 103,9 |
| Średnia | | 108,0 | 103,8 | 99,8 | 103,9 |
| NIR _{0,05} | | A= n.i. ; B=n.i. ; B/A= 5,73 | | | |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

Sorgo jest rośliną dnia krótkiego i w miarę opóźniania terminu siewu skraca się okres rozwoju wegetatywnego roślin, a więc przyspieszeniu i skróceniu ulegają początkowe fazy rozwoju roślin, tj. kiełkowanie, wschody, krzewienie. Rośliny przechodzą w okres rozwoju generatywnego, przez co wykształcają niższe i krótsze

łodygi. W 2015 i 2016 roku niższe rośliny sorgo stwierdzono w terminie późnym niż w terminie wczesnym i optymalnym. W 2015 roku mogło to być spowodowane suszą występującą w tym roku, zwłaszcza w fazie strzelania w źdźbło sorga. Suma opadów w okresie wegetacji sorgo (V-IX) była niższa o 115,8 mm w porównaniu z rokiem 2014 oraz o 50,2 mm mniejsza niż w wieloleciu 1961-2004 (tab. 4). Zwłaszcza rośliny sorgo wysiane w późnym terminie, tj. o ok. cztery tygodnie później w porównaniu z pierwszym terminem, rosły w okresie ze znacznym niedoborem wody, co skutkowało ich małą wysokością.

Wyższe rośliny w 2015 roku stwierdzono przy nawożeniu $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$ niż $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$. Różnica między tymi wariantami wynosiła 4,1 cm co stanowiło blisko 5%. W 2016 roku najwyższe rośliny uzyskano po zastosowaniu $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$. Przy pozostałych wariantach różnice były znacznie mniejsze, aczkolwiek stwierdzono istotną różnicę wysokości po zastosowaniu 40 i $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$. Dla wyników średnich z trzech lat stwierdzono zróżnicowaną reakcję sorga na nawożenie mineralne azotem w zależności od terminu siewu. W obrębie wczesnego terminu siewu wyższe rośliny były po zastosowaniu dawki maksymalnej azotu w porównaniu z dawką $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$. W terminie optymalnym lepszy efekt osiągnięto stosując $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$ niż $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$, a w terminie późnym rośliny charakteryzowały się podobną wysokością niezależnie od zastosowanej dawki azotu (tab. 9). W 2014 roku przy wczesnym terminie siewu nie stwierdzono istotnego wpływu nawożenia na wysokość roślin. W przypadku terminu optymalnego rośliny były wyższe po zastosowaniu $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$ niż $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$ (tj. o około 12%), a w terminie późnym korzystniejszą dawką było $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$ niż $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$. W 2015 roku w miarę opóźnienia terminu siewu wymagania co do nawożenia azotem wzrastały. Najwyższe rośliny w terminie wczesnym uzyskano, jeśli stosowano nawożenie w dawce $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$, w terminie optymalnym wymagania wynosiły $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$, a w terminie późnym - $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$. W ostatnim roku doświadczenia najkorzystniejsze oddziaływanie nawożenia na wysokość roślin stwierdzono po zastosowaniu dawki maksymalnej w terminie wczesnym i dawki $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$ w terminie optymalnym i późnym (tab. 9).

Odmiana stanowiła czynnik, który niezależnie od roku badań wpływał istotnie na wysokość roślin sorgo w poszczególnych latach. W 2014 roku najwyższe rośliny wykształciła odmiana Capello CS (121,4 cm), a istotnie niższymi okazały się odmiany Balto CS, Arfrio oraz Iggloo. Również odmiana Friggo była istotnie wyższa od odmian

Balto CS oraz Arfrio. Pozostałe odmiany odznaczały się wysokością roślin na zbliżonym do siebie poziomie. (tab. 10).

W 2015 roku gorsze warunki uprawy nie sprzyjały temu, by rośliny charakteryzowały się wysokimi przyrostami. Najniższe rośliny stwierdzono w przypadku odmiany Iggloo (zaledwie 88,7cm), zaś najwyższe w przypadku odmiany Friggo (94,2cm). Odmiana Friggo była istotnie wyższa od odmiany Balto CS, Capello CS i Iggloo. Również odmiana Arfrio była istotnie wyższa od odmiany Iggloo. W ostatnim roku prowadzenia badań wszystkie odmiany charakteryzowały się wysokością roślin powyżej jednego metra. Najwyższe rośliny stwierdzono dla odmiany Friggo, a pozostałe odmiany miały mniejszą o ok. 5 cm wysokość i nie różniły się między sobą (tab. 10).

Tabela 10. Wysokość roślin [cm] poszczególnych odmian sorgo w kolejnych latach badań

| (C) Odmiana | Lata | | | |
|---------------------|-------|------|-------|-----------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2014-2016 |
| Balto CS | 103,6 | 91,1 | 109,0 | 101,3 |
| Capello CS | 121,4 | 90,7 | 110,2 | 107,4 |
| Arfrio | 99,4 | 92,9 | 110,8 | 101,0 |
| Friggo | 113,8 | 94,2 | 115,2 | 107,7 |
| Iggloo | 107,7 | 88,7 | 109,3 | 101,9 |
| NIR _{0,05} | 7,85 | 2,83 | 2,01 | n.i. |

3.2. Średnica łodygi

W prowadzonych badaniach polowych kolejnym parametrem budowy morfologicznej była średnica łodygi roślin sorgo. Średnica łodygi rośliny sorgo była mierzona u podstawy. Sorgo ziarnowe wykształca niskie i dość grube łodygi (12-18 mm), które są, podobnie jak u kukurydzy, wypełnione gąbczastym mięszem, co powoduje, że ich podatność na wyleganie jest bardzo niewielka. W latach badań nie stwierdzono ani wylegania, ani pochylenia łodyg w okresie wegetacji. Synteza wyników trzyletniego doświadczenia wykazała, że na średnicę łodygi sorga nie miał wpływu ani termin siewu, ani nawożenie mineralne azotem (tab. 8), natomiast istotnie wpływała jedynie odmiana uprawianej rośliny, a pomiędzy badanymi czynnikami nie zachodziła istotna interakcja.

Największą średnicą łodygi cechowała się odmiana Capello CS (15,6 mm), zaś istotnie niższą średnicę łodygi stwierdzono u pozostałych odmian. Odmiana Balto CS wykształciła zaś najcieńsze łodygi. Istotne różnice występowały we wszystkich trzech latach badań (tab. 11).

Tabela 11. Średnica łodygi sorgo [mm] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań

| Czynnik | Wariant | Lata | | | Średnia (2014-2016) |
|---|---------------------|------|------|------|------------------------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | |
| (A) Termin siewu ¹ | W | 15,1 | 11,8 | 14,2 | 13,7 |
| | O | 15,7 | 12,4 | 14,9 | 14,3 |
| | P | 16,2 | 12,2 | 13,5 | 14,0 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| (B) Nawożenie N [kg·ha ⁻¹] | 40 | 15,7 | 12,2 | 14,4 | 14,1 |
| | 80 | 15,8 | 12,4 | 14,1 | 14,1 |
| | 120 | 15,2 | 12,0 | 14,0 | 13,7 |
| | 160 | 16,0 | 12,0 | 14,1 | 14,1 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| (C) Odmiana | Balto CS | 14,7 | 11,3 | 13,6 | 13,2 |
| | Capello CS | 18,0 | 13,7 | 15,1 | 15,6 |
| | Arfrio | 15,6 | 11,4 | 14,3 | 13,8 |
| | Friggo | 15,1 | 12,7 | 14,3 | 14,0 |
| | Iggloo | 15,0 | 11,6 | 14,2 | 13,6 |
| | NIR _{0,05} | 1,98 | 1,82 | 0,73 | 1,14 |
| Średnia | | 15,7 | 12,1 | 14,2 | 14,0 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

3.3. Średnica dokłosa

Analizując szczegółowo wpływ czynników doświadczenia na wartości średnicy dokłosa w latach 2014-2016 stwierdzono, że jedynie odmiana stanowiła czynnik, w obrębie którego stwierdzono istotne różnice (tab. 8). Większą średnicę dokłosa stwierdzono u odmian Capello CS i Iggloo i wynosiły one odpowiednio (7,36 mm) i 6,79 (mm). Pozostałe odmiany Balto CS, Arfrio i Friggo charakteryzowały się mniejszą średnicą dokłosa. W 2014 roku większą średnicę dokłosa stwierdzono w przypadku wysiewu w terminie wczesnym i późnym, a mniejszą w terminie optymalnym. W drugim roku doświadczenia stwierdzono, wyższe wartości badanej cechy u roślin wysianych we wczesnym terminie siewu (7,28 mm), istotnie niższe o 6,7% w przypadku siewu optymalnego (6,71 mm), zaś

najmniejsze (w porównaniu do siewu wczesnego mniejsze o około 23%) - w terminie późnym (5,64 mm). W trzecim roku doświadczenia opóźnienie terminu siewu nie wpływało na średnicę dokłosa.

Tabela 12. Średnica dokłosa [mm] w zależności od terminu siewu i odmiany w poszczególnych latach

| Lata | (C) Odmiana | (A) Termin siewu ¹ | | | Średnia |
|---------------------|-------------|-------------------------------|------|------|---------|
| | | W | O | P | |
| 2014 | Balto CS | 6,40 | 5,65 | 6,58 | 6,21 |
| | Capello CS | 8,20 | 7,73 | 8,45 | 8,13 |
| | Arfrio | 6,64 | 5,96 | 6,45 | 6,35 |
| | Friggo | 6,08 | 6,05 | 6,68 | 6,27 |
| | Iggloo | 7,71 | 7,16 | 6,93 | 7,27 |
| Średnia | | 7,01 | 6,51 | 7,02 | 6,84 |
| NIR _{0,05} | | A= 0,26; C= 0,89; A/C= n.i. | | | |
| 2015 | Balto CS | 6,51 | 6,70 | 5,84 | 6,35 |
| | Capello CS | 7,71 | 7,19 | 6,46 | 7,12 |
| | Arfrio | 7,61 | 6,29 | 5,46 | 6,45 |
| | Friggo | 7,19 | 6,63 | 4,91 | 6,24 |
| | Iggloo | 7,36 | 6,73 | 5,50 | 6,53 |
| Średnia | | 7,28 | 6,71 | 5,63 | 6,54 |
| NIR _{0,05} | | A= 0,27; C= 0,32; A/C= n.i. | | | |
| 2016 | Balto CS | 6,05 | 6,01 | 6,86 | 6,31 |
| | Capello CS | 7,06 | 7,15 | 6,34 | 6,85 |
| | Arfrio | 5,96 | 6,64 | 6,63 | 6,42 |
| | Friggo | 6,71 | 7,15 | 6,61 | 6,83 |
| | Iggloo | 6,91 | 6,33 | 6,48 | 6,57 |
| Średnia | | 6,54 | 6,66 | 6,58 | 6,59 |
| NIR _{0,05} | | A= n.i. ; C= 0,17; A/C=0,45 | | | |
| 2014-2016 | Balto CS | 6,32 | 6,12 | 6,43 | 6,29 |
| | Capello CS | 7,66 | 7,35 | 7,08 | 7,36 |
| | Arfrio | 6,74 | 6,30 | 6,18 | 6,41 |
| | Friggo | 6,66 | 6,61 | 6,07 | 6,45 |
| | Iggloo | 7,33 | 6,74 | 6,30 | 6,79 |
| Średnia | | 6,94 | 6,62 | 6,41 | 6,66 |
| NIR _{0,05} | | A= n.i.; C= 0,71; A/C= n.i. | | | |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

W 2014 roku odmiany Capello CS i Iggloo charakteryzowały się większą średnicą dokłosa niż pozostałe odmiany. W 2015 roku największa średnica dokłosa była u odmiany Capello CS, a u pozostałych odmian była mniejsza. W 2016 roku

największą średnicę dokłosa zaobserwowano u odmian Capello CS i Friggo niższą u Iggloo, a najniższą u Balto CS.

W 2016 roku wystąpiła interakcja pomiędzy terminem siewu a odmianami, co wskazuje na zróżnicowaną reakcję na opóźnienie terminu siewu. Optymalny termin siewu był najbardziej korzystny dla odmian Capello CS, Arfrio i Friggo, dla odmiany Iggloo – wczesny, a dla Balto CS – późny (tab. 12).

3.4. Długość wiechy

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że spośród badanych czynników termin siewu wpłynął istotnie na długość wiechy oraz poszczególne odmiany różniły się pod względem tej cechy między sobą (tab. 8, 13).

Reakcja sorgo na termin siewu była niejednakowa w poszczególnych latach badań (tab. 13). W roku 2014 i 2016 nie stwierdzono istotnego zróżnicowania długości wiechy pod wpływem opóźnienia terminu siewu. Natomiast w 2015 roku, który cechował się najmniejszą sumą opadów atmosferycznych w sezonie wegetacyjnym sorgo oraz skrajnie suchym sierpniem, najdłuższe wiechy stwierdzono u roślin wysianych w terminie wczesnym. Istotnie krótsze wiechy były u roślin wysianych w terminie optymalnym, a istotnie krótsze - u roślin wysianych najpóźniej (tab. 13). Opóźnienie terminu siewu o jeden miesiąc w stosunku do terminu wczesnego spowodowało, że uzyskane wiechy były krótsze średnio o około 27%. Podobną reakcję roślin na opóźnienie terminu siewu stwierdzono dla całego okresu badań (2014-2016). W miarę opóźniania terminu siewu długość wiechy istotnie malała.

Zróżnicowanie długości wiechy poszczególnych odmian było niejednakowe w kolejnych latach badań. We wszystkich latach największą długością wiechy cechowała się odmiana Capello CS i przewyższała pozostałe odmiany. Można też stwierdzić, że odmiana Capello CS pod względem długości wiechy dominowała nad pozostałymi odmianami w 2014 roku i była o ok. 3 cm dłuższa, w 2015 roku – o ok. 1,2 cm, a w 2016 roku - tylko o 0,8 cm (tab. 13).

We wszystkich latach badań i niezależnie od pozostałych czynników najdłuższą wiechę charakteryzowała się odmiana Capello CS (22,7 cm), a istotnie krótszymi odmiany: Arfrio (20,9 cm), Iggloo (20,4 mm) i Friggo (19,0 cm).

Tabela 13. Długość wiechy sorgo [cm] w zależności od terminu siewu i odmiany w poszczególnych latach

| Lata | (C) Odmiana | (A) Termin siewu ¹ | | | Średnia |
|---------------------|-------------|-------------------------------|------|------|---------|
| | | W | O | P | |
| 2014 | Balto CS | 22,6 | 20,6 | 23,7 | 22,3 |
| | Capello CS | 24,5 | 24,3 | 26,2 | 25,0 |
| | Arfrio | 22,7 | 21,1 | 24,7 | 22,9 |
| | Friggo | 19,7 | 18,5 | 19,4 | 19,2 |
| | Iggloo | 23,0 | 20,0 | 20,9 | 21,3 |
| Średnia | | 22,5 | 20,9 | 23,0 | 22,1 |
| NIR _{0,05} | | A= n.i.; C= 1,67; A/C= 3,25 | | | |
| 2015 | Balto CS | 23,4 | 22,1 | 17,2 | 20,9 |
| | Capello CS | 25,6 | 21,8 | 18,8 | 22,1 |
| | Arfrio | 22,0 | 20,7 | 16,1 | 19,6 |
| | Friggo | 20,4 | 19,3 | 15,2 | 18,3 |
| | Iggloo | 22,2 | 19,4 | 15,5 | 19,0 |
| Średnia | | 22,7 | 20,7 | 16,5 | 20,0 |
| NIR _{0,05} | | A= 0,30; C= 0,62; A/C= 0,66 | | | |
| 2016 | Balto CS | 20,1 | 21,1 | 19,8 | 20,3 |
| | Capello CS | 21,7 | 21,5 | 19,9 | 21,0 |
| | Arfrio | 20,8 | 20,2 | 19,6 | 20,2 |
| | Friggo | 18,9 | 19,8 | 19,5 | 19,4 |
| | Iggloo | 19,6 | 20,4 | 22,4 | 20,8 |
| Średnia | | 20,2 | 20,6 | 20,2 | 20,4 |
| NIR _{0,05} | | A= n.i ; C= 0,38; A/C= 1,56 | | | |
| 2014-2016 | Balto CS | 22,0 | 21,3 | 20,2 | 21,2 |
| | Capello CS | 23,9 | 22,5 | 21,6 | 22,7 |
| | Arfrio | 21,8 | 20,7 | 20,1 | 20,9 |
| | Friggo | 19,7 | 19,2 | 18,0 | 19,0 |
| | Iggloo | 21,6 | 19,9 | 19,6 | 20,4 |
| Średnia | | 21,8 | 20,7 | 19,9 | 20,8 |
| NIR _{0,05} | | A= 0,46.; C= 1,65; A/C= n.i. | | | |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

3.5. Liczba rozgałęzień pierwszego rzędu wiechy

Liczba rozgałęzień pierwszego rzędu (gałązek) wiechy zależała jedynie od terminu siewu w latach badań (tab. 8). Opóźnienie terminu siewu skutkowało wyraźnym zmniejszeniem liczby rozgałęzień pierwszego rzędu w wiesze. Liczba rozgałęzień pierwszego rzędu malała wraz z opóźnieniem terminu siewu (tab. 14).

Zastosowane nawożenie mineralne nie zmieniło istotnie liczby rozgałęzień pierwszego rzędu z wyjątkiem ostatniego roku badań. Największą liczbę rozgałęzień zanotowano w roślinach, które zebrano z poletek nawożonych dawką 80 kg·ha⁻¹ N. Średnia liczba rozgałęzień nie różniła się istotnie spośród badanych odmian sorgo w latach 2014-2016. Jedynie w 2015 i 2016 roku wystąpiły istotne różnice. Największą liczbą rozgałęzień cechowała się odmiana Iggloo w 2015 roku, a odmiana Capello CS w 2016 roku.

Tabela 14. Liczba rozgałęzień pierwszego rzędu [szt.] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań

| Czynnik | Wariant | Lata | | | Średnia (2014-2016) |
|---|---------------------|------|------|------|------------------------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | |
| (A) Termin siewu ¹ | W | 31,9 | 29,0 | 30,3 | 30,4 |
| | O | 29,2 | 27,7 | 30,7 | 29,2 |
| | P | 29,8 | 26,2 | 27,2 | 27,7 |
| | NIR _{0,05} | 2,06 | 1,30 | 1,54 | 2,06 |
| (B) Nawożenie N [kg·ha ⁻¹] | 40 | 29,9 | 27,3 | 29,3 | 28,8 |
| | 80 | 31,1 | 28,2 | 30,1 | 29,8 |
| | 120 | 30,1 | 27,8 | 28,7 | 28,9 |
| | 160 | 30,1 | 27,2 | 29,4 | 28,9 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | n.i. | 0,55 | n.i. |
| (C) Odmiana | Balto CS | 30,3 | 27,0 | 30,0 | 29,1 |
| | Capello CS | 33,1 | 27,8 | 30,2 | 30,4 |
| | Arfrio | 29,4 | 26,7 | 29,1 | 28,4 |
| | Friggo | 27,4 | 28,1 | 28,9 | 28,1 |
| | Iggloo | 31,4 | 28,5 | 28,9 | 29,6 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | 1,34 | 0,80 | n.i. |
| Średnia | | 30,3 | 27,6 | 29,4 | 29,1 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

3.6. Indeks zieloności liści (SPAD)

Indeks zieloności liści w jednostkach SPAD jest to parametr, który określa stan odżywienia rośliny uprawnej w azot. Często spotykany jest również pod pojęciem zawartości chlorofilu w liściu flagowym badanej rośliny. Ze względu na to, że jednym z czynników doświadczenia jest poziom mineralnego nawożenia azotem, badanie tego parametru było niezmiernie ważne. Indeks zieloności liści w swoim pomiarze nie posiada jednostki miary, jednostką tego parametru są jednostki umowne SPAD – odczyt z aparatu chlorophyll Meter SPAD 502.

Odmiana sorgo nie miała wpływu na indeks zieloności liści (tab. 8). Indeks zieloności liści uzyskany w poszczególnych terminach siewu (średnia z trzech lat) różnił się istotnie. Najwyższą wartość SPAD stwierdzono we wczesnym terminie siewu, a niższą w optymalnym i późnym terminie siewu. Reakcja sorgo na opóźnienie terminu siewu była zróżnicowana w poszczególnych latach badań. W 2014 roku nie stwierdzono istotnego wpływu tego czynnika na badaną cechę. W dwóch następnych latach 2015 i 2016 indeks zieloności liści zmniejszał się systematycznie wraz z opóźnieniem siewu z terminu wczesnego do optymalnego i późnego (tab. 15).

Tabela 15. Indeks zieloności liści [SPAD] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań

| Czynnik | Wariant | Lata | | | Średnia (2014-2016) |
|---|---------------------|------|------|------|------------------------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | |
| (A) Termin siewu ¹ | W | 51,2 | 50,9 | 50,6 | 50,9 |
| | O | 46,9 | 45,4 | 46,8 | 46,4 |
| | P | 47,5 | 43,1 | 44,8 | 45,1 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | 1,07 | 1,17 | 2,36 |
| (B) Nawożenie N [kg·ha ⁻¹] | 40 | 45,7 | 45,2 | 45,8 | 45,6 |
| | 80 | 49,8 | 45,0 | 46,1 | 46,9 |
| | 120 | 48,6 | 47,7 | 49,5 | 48,6 |
| | 160 | 50,1 | 47,9 | 48,2 | 48,7 |
| | NIR _{0,05} | 2,83 | 1,89 | 1,31 | 1,59 |
| (C) Odmiana | Balto CS | 51,1 | 46,4 | 47,5 | 48,3 |
| | Capello CS | 47,6 | 46,7 | 48,0 | 47,4 |
| | Arfrio | 47,0 | 44,7 | 46,5 | 46,1 |
| | Friggo | 48,1 | 46,8 | 48,1 | 47,6 |
| | Iggloo | 49,0 | 47,7 | 47,1 | 47,9 |
| | NIR _{0,05} | 3,79 | n.i. | 0,63 | n.i. |
| Średnia | | 48,6 | 46,5 | 47,4 | 47,5 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

Wyniki średnie z trzech lat wskazują, że poziom nawożenia mineralnego azotem istotnie wpłynął na indeks zieloności liści. Po zastosowaniu 40 i 80 kg·ha⁻¹ N wartość SPAD była niższa niż przy dawce 120 i 160 kg·ha⁻¹ N. Reakcja sorgo na nawożenie pod względem indeksu zieloności liści była zmienna w kolejnych latach badań. W 2014 roku niższą wartość SPAD stwierdzono po zastosowaniu 40 kg·ha⁻¹ N, a istotnie wyższą przy nawożeniu 80, 120 i 160 kg·ha⁻¹ N. W 2015 i 2016 roku zastosowanie 120 i 160 kg·ha⁻¹ N spowodowało zwiększenie wartości w porównaniu

do wartości uzyskanej przy dwóch pierwszych dawkach (tab. 15). W 2014 i 2016 roku stwierdzono różnice w wartości indeksu zieloności liści dla poszczególnych odmian. W 2014 roku odmiana Balto CS cechowała się najwyższym indeksem zieloności liści, istotnie niższym, o około 8% odmiana Arfrio. Pozostałe odmiany nie różniły się pod wpływem tej cechy. W 2016 roku odmiana Friggo i Capello CS wykształciły istotnie większy indeks zieloności liści w porównaniu do odmiany Arfrio i Iggloo (tab.15).

3.7. Indeks pokrycia liściowego (LAI)

LAI (ang. Leaf Area Index), tzw. wskaźnik pokrycia liściowego jest to parametr, który pozwala określić stopień wykorzystania światła przez uprawiane rośliny. Wskaźnik ten stosuje się również w celu określenia produktywności ekosystemu, która zależy między innymi od wielkości i kształtu oraz położenia i ukierunkowania zielonych organów wegetatywnych rośliny. Przeprowadzone pomiary polowe wraz z wykonaną analizą statystyczną wykazały, że kształtowanie się wskaźnika LAI nie zależało od działania głównych czynników doświadczenia, czyli terminu siewu, nawożenia mineralnego azotem i odmiany (tab. 8).

Tabela 16. Wskaźnik pokrycia liściowego LAI [$m^2 \cdot m^{-2}$] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań

| Czynnik | Wariant | Lata | | | Średnia (2014-2016) |
|---|---------------------|------|------|------|------------------------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | |
| (A) Termin siewu ¹ | W | 3,34 | 3,36 | 3,66 | 3,45 |
| | O | 3,13 | 3,31 | 3,30 | 3,25 |
| | P | 3,29 | 3,22 | 4,04 | 3,51 |
| | NIR _{0,05} | 0,07 | 0,02 | n.i. | n.i. |
| (B) Nawożenie N [kg·ha ⁻¹] | 40 | 3,17 | 3,33 | 3,50 | 3,33 |
| | 80 | 3,25 | 3,29 | 3,64 | 3,39 |
| | 120 | 3,32 | 3,31 | 3,70 | 3,44 |
| | 160 | 3,25 | 3,27 | 3,82 | 3,45 |
| | NIR _{0,05} | 0,07 | 0,01 | n.i. | n.i. |
| (C) Odmiana | Balto CS | 3,31 | 3,24 | 3,75 | 3,43 |
| | Capello CS | 3,27 | 3,12 | 3,64 | 3,34 |
| | Arfrio | 3,27 | 3,32 | 3,61 | 3,40 |
| | Friggo | 3,28 | 3,39 | 3,74 | 3,47 |
| | Iggloo | 3,10 | 3,42 | 3,59 | 3,37 |
| | NIR _{0,05} | 0,07 | 0,06 | n.i. | n.i. |
| Średnia | | 3,25 | 3,30 | 3,67 | 3,40 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

W 2014 i 2015 roku stwierdzono istotny wpływ wszystkich czynników doświadczenia na wartość badanej cechy (tab. 16). W obu tych latach rośliny wysiane w terminie wczesnym reagowały istotnie wyższym wskaźnikiem pokrycia liściowego. W 2014 roku najwyższym wskaźnikiem pokrycia liściowego charakteryzowały się rośliny nawożone dawką 120 kg·ha⁻¹ N, zaś w 2015 roku – nawożone azotem w ilości 40 kg·ha⁻¹ N. W pierwszym roku badań odmiany Balto CS, Friggo, Capello CS i Arfrio miały wyższy wskaźnik pokrycia liściowego niż odmiana Iggloo. Z kolei w 2015 roku najwyższym wskaźnikiem pokrycia liściowego charakteryzowały się odmiany Iggloo i Friggo (tab. 16).

3.8. Elementy struktury plonu

Elementy struktury plonu sorga zależały głównie od terminu siewu, za wyjątkiem masy tysiąca ziaren (tab.17).

Tabela 17. Istotność zróżnicowania wyników elementów struktury plonu, masy tysiąca ziaren i plonu ziarna

| Rodzaj zmienności ¹ | Cecha | | | | | | |
|--------------------------------|---------------|--------------|-------------|-----------------------|-------------------------|------|-------------|
| | Obsada roślin | Liczba wiech | Masa wiechy | Masa ziaren w wieszce | Liczba ziaren w wieszce | MTZ | Plon ziarna |
| A (Termin siewu) | * | * | * | * | * | n.i. | * |
| L x A | n.i. | * | n.i. | n.i. | * | n.i. | * |
| B (Nawożenie N) | n.i. | n.i. | * | n.i. | n.i. | n.i. | * |
| L x B | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | * |
| A x B | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| L x A x B | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| C (Odmiana) | n.i. | n.i. | * | n.i. | * | * | n.i. |
| L x C | n.i. | n.i. | n.i. | * | * | * | * |
| A x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | * | * |
| L x A x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| B x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | * |
| L x B x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| A x B x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| L x A x B x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |

¹ A – termin siewu, B – nawożenie azotowe, C – odmiana, L – lata;

* Istotność przy poziomie P≤0,05, n.i. – nieistotne

3.8.1. Obsada roślin

Obsada roślin na jednostce powierzchni zależy od ilości wysiewu, od energii i zdolności kiełkowania nasion oraz głębokości siewu, a także od warunków termicznych i wilgotnościowych w glebie. Na liczbę roślin po wschodach ma również wpływ przygotowanie roli do siewu. Wschody i zagęszczenie roślin w łanie zależało od warunków termicznych, głównie niskich temperatur powietrza, poniżej 12°C, co dotyczyło głównie sorga wysianego w terminie wczesnym, a w mniejszym stopniu - roślin sorgo wysianych w terminie optymalnym i późnym. W trakcie wegetacji część roślin sorgo wypadło z uprawy. Przyczyną tego były ulewne deszcze, które wymywały siewki roślin, albo susza w okresie po siewie nasion, ale również straty wynikały z udeptywania upraw przez zwierzęta leśne, jak i naloty ptactwa. W konsekwencji końcowa obsada roślin przed zbiorem była mniejsza od ok. 29 do 43% od planowanej, niezależnie od czynników badań i kształtowała się w zakresie 20-25 roślin na 1 m².

Obsada roślin uzależniona była od terminu siewu, pozostałe efekty główne czynnika nawożenie i odmiana nie były statystycznie udowodnione. (tab. 17). Termin siewu (średnia z trzech lat) wpłynął na obsadę roślin. Największą liczbę roślin na 1 m² uzyskano wysiewając nasiona w terminie późnym, mniejszą w terminie optymalnym, a najmniejszą w terminie wczesnym. Średnio z trzech lat obsada roślin na jednostce powierzchni pod wpływem terminu siewu kształtowała się między 21 a 25 roślin na 1 m².

W zależności od terminu siewu liczba roślin na jednostce powierzchni zwiększała się wraz z późniejszym wysiewem (tab. 18).

Tabela 18. Liczba roślin sorgo [szt.·m⁻²] w zależności od terminu siewu w poszczególnych latach

| (A) Termin siewu ¹ | Lata | | | |
|-------------------------------|------|------|------|-----------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2014-2016 |
| W | 20,4 | 20,0 | 22,0 | 20,8 |
| O | 22,1 | 22,0 | 24,3 | 22,8 |
| P | 24,4 | 24,0 | 25,5 | 24,6 |
| NIR _{0,05} | 2,93 | 1,91 | 2,78 | 1,02 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

W 2014 roku następowało zwiększenie obsady roślin pod wpływem opóźnienia terminu siewu. Istotnie wyższą obsadę roślin stwierdzono w siewie późnym niż w siewie wczesnym (tj. o około 20%). W 2015 roku opóźnienie terminu siewu z

wczesnego do optymalnego spowodowało systematyczny i istotny wzrost liczby roślin na 1 m², a najwyższą obsadę roślin stwierdzono na poletkach roślin wysianych w terminie późnym. Z kolei w 2016 roku wysiew w terminie wczesnym spowodował uzyskanie mniejszej obsady roślin niż w terminie optymalnym i opóźnionym, średnio mniejszej o ok. 9,5 i 13,7%.

3.8.2. Obsada wiech

Liczba wiech na jednostce powierzchni związana była z obsadą roślin i zależała, przede wszystkim od terminu siewu (tab. 17). Średnio w latach 2014-2016 występowało sukcesywne zmniejszenie liczby wiech na jednostce powierzchni w miarę opóźnienia terminu siewu. Największą obsadą wiech stwierdzono dla wariantu siewu wczesnego (57,6 szt.·m⁻²), istotnie mniejszą – dla siewu optymalnego (46,8 szt.·m⁻²), a najmniejszą – siewu późnego (35,7 szt.·m⁻²). W pierwszym roku prowadzenia badań (2014r.) stwierdzono, że wraz z opóźnieniem terminu siewu liczba wiech na jednostce powierzchni istotnie zmniejszała się (tab. 19). Podobna prawidłowość występowała w pozostałych latach uprawy. W porównaniu do siewu wczesnego obsada wiech w wariacie siewu późnego w 2014 i 2015 roku była niższa o około 32%. Największy istotny wpływ terminu siewu na obsadę wiech zaobserwowano w 2016 roku, gdzie różnica między maksymalną obsadą wiech z siewu wczesnego, a minimalną z siewu późnego wynosiła aż 31,1 wiechy, co stanowi ok. 47% (tab. 19).

Tabela 19. Liczba wiech sorgo [szt.·m⁻²] w zależności od terminu siewu w poszczególnych latach

| (A) Termin siewu ¹ | Lata | | | Średnia (2014-2016) |
|-------------------------------|------|------|------|------------------------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | |
| W | 53,2 | 54,1 | 65,5 | 57,6 |
| O | 42,6 | 42,6 | 55,2 | 46,8 |
| P | 36,0 | 36,6 | 34,4 | 35,7 |
| NIR _{0,05} | 2,81 | 6,69 | 8,95 | 8,30 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

Sorgo, podobnie do innych zbóż, krzewi się wytwarzając od jednego do kilku źdźbeł produktywnych. Na podstawie liczby źdźbeł produktywnych (wiech) i liczby roślin na jednostce powierzchni obliczono krzewistość produkcyjną sorgo (tab. 20). Rośliny wysiane w terminie wczesnym krzewiły się mocniej i wykształciły ok. trzech źdźbeł produktywnych, te wysiane dwa tygodnie później, w terminie optymalnym,

wykształciły średnio po dwa źdźbła, natomiast rośliny wysiane najpóźniej, w terminie późniejszym o jeden miesiąc, wykształciły średnio ok. 1,5 źdźbła produktywnego.

Tabela 20. Współczynnik krzewistości sorgo [szt.·roślina⁻¹] w zależności od terminu siewu w poszczególnych latach

| (A) Termin siewu ¹ | Lata | | | Średnia (2014-2016) |
|-------------------------------|------|------|------|------------------------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | |
| W | 2,61 | 2,71 | 2,97 | 2,77 |
| O | 1,93 | 1,94 | 2,27 | 2,05 |
| P | 1,48 | 1,53 | 1,35 | 1,45 |
| NIR _{0,05} | 0,33 | 0,41 | 0,39 | 0,32 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

3.8.3. Masa pojedynczej wiechy

Z badanych czynników, którymi były termin siewu, nawożenie azotem i odmiana wszystkie istotnie wpływały na masę wiechy sorgo (tab. 17). W latach 2014-2016 w miarę opóźnienia terminu siewu z terminu wczesnego do optymalnego i późnego masa wiechy istotnie zmniejszała się z 37,3 g do 23,4 g (tj. o ok. 37%). Zmniejszenie masy wiechy pod wpływem opóźnienia terminu siewu od wczesnego do późnego w 2014 roku było najmniejsze i wynosiło 10,8 g (tj. 26,3%), a w 2016 roku największe 17,4 g (tj. 45,9%). Opóźnienie terminu siewu z wczesnego do optymalnego i późnego spowodowało istotne zmniejszenie masy wiechy. Natomiast w roku 2015 i 2016 stwierdzono stopniowe zmniejszenie masy wiechy (tab.21).

Nawożenie mineralne azotem w latach 2014-2016 w dawce 120 kg·ha⁻¹ N zwiększyło masę wiechy, dalsze zwiększenie nawożenia obniżyło nieznacznie masę wiechy. Działanie nawożenia mineralnego na masę wiechy było różne w poszczególnych latach, ale tylko w 2015 i 2016 roku istotnie wpłynęło na badaną cechę. W obu latach stwierdzono istotne zwiększenie masy wiechy sorga po zastosowaniu nawożenia do 120 kg·ha⁻¹ N w porównaniu do dawki 40 i 80 kg·ha⁻¹ N.

Odmiany różniły się masą wiechy. Największą masę wiechy w latach 2014-2016 wykształciła odmiana Capello CS w porównaniu do Arfrio i Iggloo (większą o 10,4%) oraz do odmiany Friggo (większą o 9,7%). Różnice między odmianami pod względem wartości badanej cechy występowały w 2014 i 2016 roku. W obu latach odmiana Capello CS wykształciła największą masę wiech (tab. 21).

Tabela 21. Masa wiechy sorgo [g] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań

| Czynnik | Wariant | Lata | | | Średnia (2014-2016) |
|---|---------------------|------|------|------|------------------------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | |
| (A) Termin siewu ¹ | W | 41,0 | 33,0 | 37,9 | 37,3 |
| | O | 32,3 | 27,6 | 32,1 | 30,7 |
| | P | 30,2 | 19,6 | 20,5 | 23,4 |
| | NIR _{0,05} | 6,63 | 0,89 | 2,72 | 4,43 |
| (B) Nawożenie N [kg·ha ⁻¹] | 40 | 33,2 | 25,5 | 29,4 | 29,4 |
| | 80 | 35,6 | 26,5 | 29,9 | 30,7 |
| | 120 | 34,4 | 28,8 | 32,0 | 31,8 |
| | 160 | 34,8 | 26,0 | 29,4 | 30,1 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | 1,60 | 1,64 | 2,04 |
| (C) Odmiana | Balto CS | 32,7 | 26,6 | 30,9 | 30,1 |
| | Capello CS | 38,2 | 28,0 | 32,2 | 32,8 |
| | Arfrio | 33,6 | 26,4 | 29,5 | 29,8 |
| | Friggo | 32,3 | 27,0 | 30,3 | 29,9 |
| | Iggloo | 35,8 | 25,6 | 27,9 | 29,8 |
| | NIR _{0,05} | 3,78 | n.i. | 3,09 | 2,89 |
| Średnia | | 34,5 | 26,7 | 30,2 | 30,5 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

3.8.4. Masa ziaren z wiechy

Średnia masa ziaren z wiechy wynosiła średnio ok. 21 g, niezależnie od lat badań i czynników doświadczenia. Masa ziaren z pojedynczej wiechy zależała głównie od terminu siewu. Zaś wpływ pozostałych czynników doświadczenia był nieistotny. Stwierdzono również istotną interakcję pomiędzy latami badań a odmianą (tab. 17).

Masa nasion z wiechy malała istotnie wraz z opóźnieniem terminu siewu. Termin siewu wpływał na wyraźne zmniejszenie masy ziaren z pojedynczej wiechy z ok. 27 g przy siewie w terminie wczesnym do ok. 22 g w terminie optymalnym. Dalsze opóźnienie terminu siewu spowodowało dalszy istotny spadek masy ziarna z jednej wiechy do ok. 16 g (tab. 22). Podobne obniżenie masy ziarna z pojedynczej wiechy pod wpływem opóźnienia terminu siewu stwierdzono również w poszczególnych latach badań, z tym jednak, że w 2014 roku zmiany te nie były potwierdzone statystycznie. Natomiast w roku 2015 i w 2016 stwierdzono sukcesywny spadek masy ziaren z pojedynczej wiechy w miarę opóźniania terminu siewu z wczesnego do późnego (tab. 22).

Oddziaływanie terminu siewu i odmiany wyraziło się w zmniejszeniu masy nasion z wiechy w miarę opóźnienia terminu siewu we wszystkich latach badań, co oznacza, że wszystkie badane odmiany wykształciły istotnie mniejszą masę ziarna w wieszce w terminie optymalnym w porównaniu do terminu wczesnego, a dalsze opóźnienie terminu siewu spowodowało dalszy spadek masy ziaren w pojedynczej wieszce.

Odmiana Capello CS charakteryzowała się największą masą nasion w wieszce, w porównaniu do pozostałych odmian.

Tabela 22. Masa ziaren z pojedynczej wiechy [g] w zależności od terminu siewu i odmiany w poszczególnych latach

| Lata | (C) Odmiana | (A) Termin siewu ¹ | | | Średnia |
|---------------------|----------------|-------------------------------|------|------|---------|
| | | W | O | P | |
| 2014 | Balto CS | 31,7 | 23,4 | 20,3 | 25,1 |
| | Capello CS | 35,0 | 27,1 | 23,4 | 28,5 |
| | Arfrio | 27,0 | 22,2 | 25,5 | 24,9 |
| | Friggo | 19,0 | 19,4 | 15,5 | 18,0 |
| | Iggloo | 35,7 | 24,9 | 14,1 | 24,9 |
| Średnia | | 29,7 | 23,4 | 19,7 | 24,3 |
| NIR _{0,05} | | A= n.i.; C= 8,15; A/C= 10,61 | | | |
| 2015 | Balto CS | 20,3 | 18,9 | 16,4 | 18,5 |
| | Capello CS | 27,4 | 21,3 | 12,1 | 20,3 |
| | Arfrio | 26,9 | 17,5 | 16,5 | 20,3 |
| | Friggo | 26,0 | 20,3 | 13,9 | 20,1 |
| | Iggloo | 28,3 | 20,3 | 12,2 | 20,3 |
| Średnia | | 25,8 | 19,7 | 14,2 | 19,9 |
| NIR _{0,05} | | A= 3,25; C= n.i.; A/C= 3,62 | | | |
| 2016 | Balto CS | 21,4 | 25,3 | 13,1 | 19,9 |
| | Capello CS | 34,3 | 24,7 | 13,6 | 24,2 |
| | Arfrio | 21,1 | 23,6 | 15,9 | 20,2 |
| | Friggo | 30,2 | 25,9 | 12,2 | 22,7 |
| | Iggloo | 26,3 | 19,5 | 14,3 | 20,0 |
| Średnia | | 26,6 | 23,8 | 13,8 | 21,4 |
| NIR _{0,05} | | A= 1,97; C= 1,56; A/C = 2,64 | | | |
| 2014- 2016 | Balto CS | 24,5 | 22,6 | 16,6 | 21,2 |
| | Capello CS | 32,2 | 24,4 | 16,4 | 24,3 |
| | Arfrio | 25,0 | 21,1 | 19,3 | 21,8 |
| | Friggo | 25,0 | 21,9 | 13,9 | 20,3 |
| | Iggloo | 30,1 | 21,6 | 13,5 | 21,7 |
| Średnia | | 27,4 | 22,3 | 15,9 | 21,9 |
| NIR _{0,05} | | A= 5,01; C= n.i.; A/C= 5,78; | | | |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

3.8.5. Liczba ziaren z wiechy

Średnia liczba ziaren z wiechy zależała głównie od terminu siewu i odmiany (tab. 17). Średnia liczba nasion z wiechy w całym okresie badań (2014-2016) malała istotnie wraz z opóźnieniem terminu siewu o około 34% (tab. 23). Nawożenie nie różnicowało istotnie liczby nasion w wieszce – liczba nasion kształtowała się w granicach ok. 1100 nasion w pojedynczej wieszce. Natomiast odmiany różniły się pod względem wartości tej cechy. Capello CS miała średnio o 399 nasion więcej (tj. o ok. 41%) niż odmiana Arfrio, która spośród wszystkich badanych odmian wykształciła najmniejszą liczbę nasion (tab. 23).

Tabela 23. Liczba ziaren z jednej wiechy [szt.] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań

| Czynnik | Wariant | Lata | | | Średnia (2014-2016) |
|---|---------------------|-------|-------|-------|------------------------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | |
| (A) Termin siewu ¹ | W | 1043 | 1495 | 1120 | 1340 |
| | O | 1182 | 816 | 1089 | 1029 |
| | P | 1248 | 721 | 677 | 882 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | 81,09 | 90,80 | 382,5 |
| (B) Nawożenie N [kg·ha ⁻¹] | 40 | 1270 | 1005 | 960 | 1078 |
| | 80 | 1364 | 1095 | 1027 | 1162 |
| | 120 | 1221 | 950 | 895 | 1022 |
| | 160 | 1257 | 993 | 967 | 1072 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | 64,39 | 46,19 | n.i. |
| (C) Odmiana | Balto CS | 1162 | 932 | 890 | 995 |
| | Capello CS | 1826 | 1165 | 1152 | 1381 |
| | Arfrio | 1128 | 905 | 912 | 982 |
| | Friggo | 1084 | 948 | 975 | 1002 |
| | Iggloo | 1189 | 1104 | 881 | 1058 |
| | NIR _{0,05} | 546,1 | 171,5 | 62,79 | 276,0 |
| Średnia | | 1278 | 1011 | 962 | 1083 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

3.8.6. Masa tysiąca ziaren

Masa tysiąca ziaren jest jednym z najważniejszych elementów struktury plonu oraz jakości zbóż. Im jest ona większa, tym cenniejszy staje się surowiec. Wielkość tego parametru związana była przede wszystkim z odmianą, ale też na jego wielkość wpływ miała interakcja czynników: termin siewu i odmiana (tab. 17).

Termin siewu oraz nawożenie mineralne azotem nie wpływały istotnie na MTZ. Natomiast odmiany różniły się istotnie pod względem tego parametru (tab. 24).

Wysiane odmiany sorgo w terminie optymalnym wykształciły największą masę tysiąca ziaren (za wyjątkiem odmiany Capello CS). Natomiast dalsze opóźnienie siewu o dwa tygodnie (siew późny) spowodowało istotne zmniejszenie MTZ. Najmniejszą MTZ spośród wszystkich odmian wykształciła odmiana Capello CS wysiana w terminie późnym. Była ona istotnie mniejsza w porównaniu do MTZ roślin z siewu wczesnego. Największą MTZ cechowała się odmiana Balto CS wysiana w terminie optymalnym, a opóźnienie terminu siewu spowodowało zmniejszenie MTZ o około 23%.

Uzyskane w badaniach własnych ziarno wszystkich odmian było wyraźnie drobniejsze niż ziarno materiału siewnego, otrzymanego od firm hodowlanych (tab. 24). W porównaniu do charakterystyki parametru masy tysiąca ziaren podanych przez hodowców, w warunkach klimatycznych Niziny Szczecińskiej uzyskano niższe wartości badanej cechy w przypadku odmiany Balto CS o 39,7 %, odmiany Capello CS o 33,6 %, odmiany Arfrio mniejsze o 18,2 %, odmiany Friggo – 35,3 % oraz odmiany Iggloo – 38,5 %.

Tabela 24. MTZ [g] w zależności od terminu siewu i odmiany w poszczególnych latach

| (C) Odmiana | (A) Termin siewu ¹ | | | Średnia |
|----------------------------|-------------------------------|------|------|---------|
| | W | O | P | |
| Balto CS (36) ² | 21,4 | 24,7 | 19,1 | 21,7 |
| Capello CS (28) | 22,5 | 18,8 | 14,6 | 18,6 |
| Arfrio (24) | 23,3 | 23,9 | 21,5 | 22,9 |
| Friggo (32) | 19,4 | 23,0 | 19,8 | 20,7 |
| Iggloo (34) | 21,0 | 22,3 | 19,5 | 20,9 |
| Średnia | 21,6 | 22,5 | 18,9 | 21,0 |
| NIR _{0,05} | A= n.i., C= 3,39; A/C= 5,38 | | | |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny, ² w nawiasach MTZ materiału siewnego

Na masę tysiąca ziaren istotnie wpływała jedynie odmiana uprawianego sorgo (tab. 25). Średnio z lat 2014-2016 termin optymalny siewu sorgo spowodował zwiększenie MTZ o ok. 5% (o 1 g) w porównaniu do MTZ z terminu wczesnego, a następnie opóźnienie terminu siewu o dwa tygodnie spowodowało zmniejszenie MTZ o ok. 12% (tj z 21,5 do 18,9 g). Zmiany te nie były potwierdzone statystycznie. Zaobserwowano również, że wraz z większą dawką zastosowanego nawożenia

mineralnego azotem masa tysiąca ziaren zwiększała się z 20,6 g przy nawożeniu w ilości 40 kg·ha⁻¹ N do 21,5 g przy dawce 160 kg·ha⁻¹ N, co stanowiło wzrost o 4,4 %. Różnice te nie były statystycznie istotne. Największą masę tysiąca ziaren wykształciła odmiana Arfrio, a istotnie mniejszą, o około 19 %, odmiana Capello CS. Pozostałe odmiany nie różniły się istotnie pod względem masy tysiąca ziaren (tab. 24, tab. 25).

Tabela 25. MTZ [g] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań

| Czynnik | Wariant | Lata | | | Średnia (2014-2016) |
|---|---------------------|------|------|------|------------------------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | |
| (A) Termin siewu ¹ | W | 23,1 | 17,6 | 23,9 | 21,5 |
| | O | 20,8 | 24,9 | 22,0 | 22,5 |
| | P | 15,4 | 20,3 | 20,9 | 18,9 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | 1,60 | 0,02 | n.i. |
| (B) Nawożenie N [kg·ha ⁻¹] | 40 | 18,7 | 20,8 | 22,3 | 20,6 |
| | 80 | 19,5 | 20,4 | 22,3 | 20,8 |
| | 120 | 19,5 | 21,4 | 22,3 | 21,1 |
| | 160 | 21,3 | 21,0 | 22,1 | 21,5 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | n.i. | 0,08 | n.i. |
| (C) Odmiana | Balto CS | 21,9 | 21,2 | 22,1 | 21,7 |
| | Capello CS | 18,2 | 17,3 | 20,3 | 18,6 |
| | Arfrio | 22,2 | 23,9 | 22,7 | 22,9 |
| | Friggo | 16,3 | 22,4 | 23,4 | 20,7 |
| | Iggloo | 20,2 | 19,8 | 22,8 | 20,9 |
| | NIR _{0,05} | 5,10 | 1,60 | 0,13 | 3,39 |
| Średnia | | 19,8 | 20,9 | 22,3 | 21,0 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

3.9. Plon ziarna

Uzyskany plon ziarna sorgo na glebie lekkiej w RSD Lipnik był wysoki i mieścił się w przedziale od ok. 4,4 do 10,4 t·ha⁻¹ w zależności od roku badań i badanych czynników (tab. 26).

Plon ziarna we wszystkich latach badań (średnia 2014-2016) zależał od terminu siewu i poziomu nawożenia mineralnego azotem, natomiast nie stwierdzono różnic pomiędzy odmianami (tab. 17). Wraz z opóźnieniem terminu siewu plon ziarna sorgo zmniejszał się istotnie. Optymalny i późny termin siewu skutkowały obniżeniem plonu sorga kolejno o 17 i 43,7%, w porównaniu do terminu wczesnego (tab. 26).

Zwiększanie dawki nawożenia mineralnego azotem z 40 do 120 kg·ha⁻¹ N spowodowało wzrost plonu ziarna z ok. 6,5 do 7,5 t·ha⁻¹ (tj. o 16%). Dalsze zwiększenie nawożenia wpłynęło na niewielkie obniżenie plonu ziarna.

Poszczególne odmiany plonowały na podobnym poziomie, niezależnie od pozostałych czynników doświadczenia, a wielkość plonu ziarna kształtowała się w granicach od ok. 6,5 do 7,9 t·ha⁻¹ (tab. 26).

Tabela 26. Plon ziarna sorgo [t·ha⁻¹] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań

| Czynnik | Wariant | Lata | | | Średnia (2014-2016) |
|---|---------------------|------|------|------|------------------------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | |
| (A) Termin siewu ¹ | W | 10,4 | 8,08 | 8,49 | 8,98 |
| | O | 7,91 | 6,41 | 8,03 | 7,45 |
| | P | 6,22 | 4,58 | 4,38 | 5,06 |
| | NIR _{0,05} | 1,98 | 2,01 | 0,31 | 1,20 |
| (B) Nawożenie N [kg·ha ⁻¹] | 40 | 7,11 | 6,08 | 6,20 | 6,46 |
| | 80 | 7,93 | 5,61 | 6,99 | 7,24 |
| | 120 | 8,78 | 6,42 | 7,28 | 7,49 |
| | 160 | 8,88 | 6,11 | 7,39 | 7,46 |
| | NIR _{0,05} | 0,76 | 0,76 | 0,72 | 0,63 |
| (C) Odmiana | Balto CS | 8,04 | 6,01 | 6,60 | 6,88 |
| | Capello CS | 10,6 | 6,35 | 6,74 | 7,90 |
| | Arfrio | 8,32 | 6,38 | 6,19 | 6,96 |
| | Friggo | 5,84 | 6,57 | 7,26 | 6,55 |
| | Iggloo | 8,06 | 6,48 | 8,06 | 7,53 |
| | NIR _{0,05} | 1,03 | n.i. | 1,45 | n.i. |
| Średnia | | 8,17 | 6,36 | 6,97 | 7,17 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

Wpływ terminu siewu w poszczególnych latach uwidocznił się w istotnym obniżeniu plonu ziarna w porównaniu do plonu ziarna sorgo wysianego w terminie wczesnym: w 2014 roku istotne zmniejszenie plonu stwierdzono już pod wpływem siewu w terminie optymalnym, w 2015 roku istotne zmniejszenie plonu stwierdzono dopiero pod wpływem siewu w terminie późnym, natomiast w 2016 roku nastąpił istotny sukcesywny spadek plonu wraz z opóźnieniem terminu siewu – plon ziarna sorgo wysianego jeden miesiąc później zmniejszył się o ok. 48% (tab. 26).

Wszystkie badane odmiany zareagowały obniżeniem plonu ziarna wraz z opóźnianiem terminu siewu. Najniższy plon stwierdzono w późnym terminie siewu. Najwyższy plon stwierdzono u odmiany Capello CS wysianej w warunkach siewu wczesnego ($10,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), a istotnie niższy - u odmiany Friggo ($4,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), tj. był on o 59% niższy, czyli różnica w wielkości plonu była ponad dwukrotna (tab. 27).

Tabela 27. Wpływ terminu siewu na wielkość plonu ziarna [$\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$] poszczególnych odmian sorgo w latach 2014-2016

| (C) Odmiana | (A) Termin siewu ¹ | | | Średnia |
|---------------------|-------------------------------|------|------|---------|
| | W | O | P | |
| Balto CS | 7,94 | 7,36 | 5,36 | 6,88 |
| Capello CS | 10,76 | 7,79 | 5,14 | 7,90 |
| Arfrio | 8,14 | 7,10 | 5,64 | 6,96 |
| Friggo | 8,12 | 7,19 | 4,35 | 6,55 |
| Iggloo | 9,96 | 7,83 | 4,82 | 7,53 |
| Średnia | 8,98 | 7,45 | 5,06 | 7,17 |
| NIR _{0,05} | A= 1,20; C= n.i.; A/C= 1,68 | | | |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

Odmiana Friggo nawożona dawką $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N charakteryzowała się najniższym plonem ziarna spośród wszystkich badanych odmian. Poszczególne odmiany różnie reagowały na zwiększający się poziom nawożenia mineralnego azotem. W przypadku odmiany Balto CS stwierdzono istotne zwiększenie plonu po zastosowaniu azotu w dawce $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N w porównaniu do najmniejszej dawki ($40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N), natomiast dalsze zwiększenie poziomu nawożenia mineralnego spowodowało sukcesywny spadek plonu ziarna do ok. $6,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 28).

Tabela 28. Wpływ poziomu nawożenia mineralnego azotem na wielkość plonu ziarna poszczególnych odmian sorgo w latach 2014-2016

| (C) Odmiana | (B) Nawożenie N [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$] | | | | Średnia |
|---------------------|---|------|------|------|---------|
| | 40 | 80 | 120 | 160 | |
| Balto CS | 6,25 | 7,78 | 6,95 | 6,56 | 6,88 |
| Capello CS | 7,02 | 8,20 | 8,45 | 7,93 | 7,90 |
| Arfrio | 6,58 | 6,80 | 7,12 | 7,34 | 6,96 |
| Friggo | 5,80 | 6,53 | 7,10 | 6,81 | 6,55 |
| Iggloo | 6,66 | 6,91 | 7,87 | 8,68 | 7,53 |
| Średnia | 6,46 | 7,24 | 7,49 | 7,46 | 7,17 |
| NIR _{0,05} | B= 0,63; C= n.i.; B/C= 1,10 | | | | |

W przypadku odmiany Capello CS i Friggo zwiększenie poziomu nawożenia mineralnego azotem z 40 do 120 kg·ha⁻¹ N spowodowało istotny wzrost plonu ziarna, a dalsze zwiększenie dawki azotu do 160 kg·ha⁻¹ N spowodowało obniżenie plonu ziarna z 1 ha odpowiednio o ok. 6 i 4%. Odmiany Arfrio i Iggloo reagowały sukcesywnym zwiększeniem plonu ziarna w miarę zwiększania dawek nawożenia mineralnego azotem i najwyższe plony uzyskano z poletek nawożonych dawką 160 kg·ha⁻¹ N. Były one większe średnio o ok. 13% dla odmiany Arfrio i o ok. 30% w przypadku odmiany Iggloo w porównaniu do plonu ziarna uzyskanego pod wpływem nawożenia dawką 40 kg·ha⁻¹ N (tab. 28).

3.10. Jakość ziarna sorgo

Na liczbę opadania istotnie wpływało nawożenie mineralne oraz odmiana. Początkowa temperatura kleikowania zależała od przede wszystkim od nawożenia mineralnego i odmiany, a maksymalna lepkość zawiesiny – tylko od nawożenia. Czynniki doświadczenia nie wpływały na końcową temperaturę kleikowania (tab. 29).

Tabela 29. Istotność zróżnicowania wyników liczby opadania i oceny amylograficznej: początkowa temperatura kleikowania, końcowa temperatura kleikowania, maksymalna lepkość zawiesiny

| Rodzaj zmienności ¹ | Cecha | | | |
|--------------------------------|-----------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| | Liczba opadania | Początkowa temperatura kleikowania | Kończowa temperatura kleikowania | Maksymalna lepkość zawiesiny |
| A (Termin siewu) | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| L x A | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| B (Nawożenie N) | * | * | n.i. | * |
| L x B | n.i. | * | n.i. | * |
| A x B | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| L x A x B | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| C (Odmiana) | * | * | n.i. | n.i. |
| L x C | * | * | n.i. | n.i. |
| A x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| L x A x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| B x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| L x B x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| A x B x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| L x A x B x C | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |

¹ A – termin siewu, B – nawożenie azotowe, C – odmiana, L – lata;

* Istotność przy poziomie P≤0,05, n.i. – nieistotne

3.10.1. Liczba opadania

Liczba opadania wg Konopka i in. (Anonim 9) dla zbóż i przetworów jest miernikiem aktywności enzymu α -amylazy, która w ziarnach dojrzałych i zebranych w suchych warunkach występuje w niewielkich ilościach. W warunkach podwyższonej wilgotności zbóż (>15%), szczególnie przy zbiorach w niesprzyjających warunkach atmosferycznych, występuje uaktywnienie α -amylazy powodującej groźne w skutkach uszkodzenie skrobi. Ciasto z takiego ziarna i mąki z nich uzyskanej nabiera niekorzystnych właściwości fizykochemicznych, niegwarantujących otrzymania dobrego pieczywa. Stąd też znajomość stopnia uszkodzenia zbóż i ich przetworów pozwala na inną kwalifikację i przeznaczenie zbóż (tab. 30).

Tabela 30. Ocena wartości liczby opadania mąki pszennej i żytniej wg ZBPP

| Grupa | Liczba opadania | | Wniosek | Zastosowanie |
|-------|-----------------|-----------|---|--|
| | Mąka | | | |
| | Pszenna | Żytnia | | |
| 1 | < 80 s | < 70 s | Bardzo wysoka aktywność α -amylazy | Mąka nie nadaje się do bezpośredniego wypieku. W małych ilościach można ją mieszać z grupą 4 |
| 2 | 90-150 s | 75-100 s | Wysoka aktywność α -amylazy | Nadaje się do sporządzania mieszanek z grupą 4 |
| 3 | 170-200 s | 125-200 s | Średnia aktywność α -amylazy | Odpowiednia do wypieku |
| 4 | > 300s | >250 s | Niska aktywność α -amylazy | Mąka żytnia nie nadaje się do bezpośredniego wypieku pieczywa o wysokim stopniu ukwaszenia. Należy ją stosować do produkcji pszenno-żytniej, bądź mieszanek z grupą 2 lub 1. W wyjątkowych przypadkach można użyć do gatunków pieczywa z dużymi ilościami cukru. |
| 5 | 60-750 s | 60-400 s | Spotykane wahania wartości | |

Źródło: Anonim 10

Wg kryteriów przedstawionych przez Zakład Badawczy Przemysłu Piekarskiego (ZBPP) (Anonim 10) za dobrą mąkę do wypieku uważa się mąkę żytnią o średniej aktywności amylolitycznej odpowiadającej liczbie opadania w zakresie od 125 do 200

s, a dla pszenicy – w zakresie 170-200 s (tab. 30). Mąka żytnia o liczbie opadania powyżej 250 s, a mąka pszenna powyżej 300 s, charakteryzują się niską aktywnością amylolityczną i wymagają zastosowania dodatku słoju do uzyskania pieczywa dobrej jakości. Liczba opadania poniżej 70 s dla mąki żytniej i poniżej 80 s dla mąki pszennej, wskazuje na bardzo wysoką aktywność amylolityczną i słabą jakość ziarna – może to być ziarno porośnięte i/lub przechowywane w nieodpowiednich warunkach (duża wilgotność). Natomiast brak jest w literaturze, zarówno polskiej, jak i światowej, badań dotyczących liczby opadania sorga. Być może dlatego, że jest to zboże bezglutenowe, które słabo nadaje się do wypieku chleba, jedynie do chleba plackowego.

Tabela 31. Wartości liczby opadania [s] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań

| Czynnik | Wariant | Lata | | | Średnia (2014-2016) |
|---|---------------------|-------|-------|-------|------------------------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | |
| (A) Termin siewu ¹ | W | 325,3 | 285,5 | 215,5 | 275,4 |
| | O | 329,1 | 299,0 | 239,3 | 289,1 |
| | P | 366,2 | 276,7 | 238,1 | 293,7 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| (B) Nawożenie N [kg·ha ⁻¹] | 40 | 361,9 | 289,0 | 246,4 | 299,1 |
| | 80 | 350,8 | 294,6 | 231,6 | 292,3 |
| | 120 | 337,2 | 275,3 | 220,8 | 277,8 |
| | 160 | 310,8 | 289,3 | 225,1 | 275,1 |
| | NIR _{0,05} | 30,42 | n.i. | n.i. | 18,32 |
| (C) Odmiana | Balto CS | 330,0 | 271,3 | 223,0 | 274,8 |
| | Capello CS | 353,5 | 334,4 | 231,3 | 306,4 |
| | Arfrio | 306,3 | 277,8 | 225,7 | 270,0 |
| | Friggo | 369,5 | 273,2 | 246,0 | 296,2 |
| | Iggloo | 341,6 | 278,6 | 228,8 | 283,0 |
| | NIR _{0,05} | 47,48 | 35,21 | n.i. | 35,83 |
| Średnia | | 340,2 | 287,1 | 231,0 | 286,1 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

Liczba opadania dla sorga w badaniach własnych mieściła się w granicach od 220 do 370 s. i nie zależała od terminu siewu, natomiast na jej wielkość wpływało zastosowane nawożenie mineralne azotem oraz odmiana (tab. 31). Zwiększenie mineralnego nawożenia azotowego z 40 do 160 kg·ha⁻¹ N średnio dla wszystkich lat badań, spowodowało istotny spadek liczby opadania o 24 s, tj. o 8,0% (tab. 31). Podobny układ wyników stwierdzono dla roku 2014, natomiast w pozostałych latach badań różnice w liczbie opadania nie były istotne statystycznie.

Liczba opadania w mące z pełnego przemiału (śrucie) odmiany Capello CS była najwyższa i wynosiła 306 s. Była ona wyższa o 13,5% (o 36,4 s) od liczby opadania śruty odmiany Arfrio. Pozostałe odmiany nie różniły się istotnie pod względem badanej cechy.

3.10.2. Badania jakości ziarna na Amylograph-E Brabender

3.10.2.1. Początkowa temperatura kleikowania

Początkowa temperatura kleikowania nie zależała od terminu siewu (tab. 29). Wraz ze wzrostem dawki nawożenia mineralnego azotem temperatura początkowa kleikowania wzrastała (tab. 32).

Tabela 32. Początkowa temperatura kleikowania [°C] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań

| Czynnik | Wariant | Lata | | | Średnia (2014-2016) |
|---|---------------------|------|------|------|------------------------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | |
| (A) Termin siewu ¹ | W | 76,8 | 79,0 | 80,2 | 78,7 |
| | O | 76,8 | 78,8 | 79,8 | 78,5 |
| | P | 74,0 | 79,3 | 76,3 | 76,5 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| (B) Nawożenie N [kg·ha ⁻¹] | 40 | 74,7 | 79,0 | 78,3 | 77,3 |
| | 80 | 75,6 | 78,4 | 78,3 | 77,4 |
| | 120 | 75,8 | 79,2 | 79,3 | 78,1 |
| | 160 | 77,3 | 79,6 | 79,3 | 78,8 |
| | NIR _{0,05} | 2,28 | n.i. | n.i. | 1,42 |
| (C) Odmiana | Balto CS | 77,9 | 80,6 | 80,1 | 79,5 |
| | Capello CS | 73,9 | 76,3 | 77,2 | 75,8 |
| | Arfrio | 78,8 | 80,3 | 78,6 | 79,2 |
| | Friggo | 73,7 | 80,2 | 78,5 | 77,5 |
| | Iggloo | 75,0 | 77,8 | 79,5 | 77,5 |
| | NIR _{0,05} | 3,46 | 1,82 | n.i. | 2,80 |
| Średnia | | 75,9 | 79,0 | 78,8 | 77,9 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

Najwyższą wartość początkowej temperatury kleikowania uzyskano w mące wytworzonej z ziarna roślin nawożonych dawką 160 kg·ha⁻¹ N. W porównaniu do roślin nawożonych dawką 40 kg·ha⁻¹ N wzrost wynosił średnio o 2% (tj. 1,5°C). Spośród badanych odmian najwyższą temperaturę początkową kleikowania miała mąka wyprodukowana z odmiany Balto CS, a najniższą z odmiany Capello CS o 4,7% (tj. 3,7°C).

3.10.2.2. Końcowa temperatura kleikowania

Termin siewu, poziom nawożenia mineralnego azotem i odmiana nie miały wpływu na końcową temperaturę kleikowania (tab. 29).

Końcowa temperatura kleikowania mieściła się w przedziale od 92 do 96°C, niezależnie od badanych czynników doświadczalnych i roku badań (tab. 33). Termin siewu wpłynął na wyraźne obniżenie końcowej temperatury kleikowania jedynie w 2016 roku.

Tabela 33. Końcowa temperatura kleikowania [°C] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań

| Czynnik | Wariant | Lata | | | Średnia (2014-2016) |
|---|---------------------|------|------|------|------------------------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | |
| (A) Termin siewu ¹ | W | 93,4 | 92,5 | 95,8 | 93,9 |
| | O | 94,6 | 92,7 | 94,7 | 94,0 |
| | P | 92,4 | 92,9 | 93,2 | 92,8 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | n.i. | 1,37 | n.i. |
| (B) Nawożenie N [kg·ha ⁻¹] | 40 | 93,6 | 92,3 | 94,8 | 93,6 |
| | 80 | 92,8 | 92,6 | 94,6 | 93,3 |
| | 120 | 93,4 | 92,4 | 94,1 | 93,3 |
| | 160 | 94,1 | 93,4 | 94,7 | 94,1 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | n.i. | 0,53 | n.i. |
| (C) Odmiana | Balto CS | 94,3 | 94,6 | 94,8 | 94,6 |
| | Capello CS | 92,1 | 91,0 | 94,2 | 92,4 |
| | Arfrio | 94,9 | 92,6 | 94,7 | 94,1 |
| | Friggo | 93,0 | 93,1 | 95,0 | 93,7 |
| | Iggloo | 93,1 | 92,2 | 94,0 | 93,1 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| Średnia | | 93,5 | 92,7 | 94,5 | 93,6 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

3.10.2.3. Maksymalna lepkość zawiesiny

Termin siewu i odmiana nie wpływały istotnie na wartość maksymalnej lepkości zawiesiny (tab. 29).

Jedynie nawożenie mineralne azotem różnicowało istotnie wartość maksymalnej lepkości zawiesiny. W miarę zwiększenia dawki nawożenia mineralnego azotem z 40 do 160 kg·ha⁻¹ N następował spadek lepkości zawiesiny z 1980 do 1736 AU, tj. o 12% (tab. 34). Podobne istotne zmniejszenie lepkości zawiesiny pod wpływem wzrastających dawek nawożenia mineralnego azotem stwierdzono w roku 2014 i 2016.

Badane odmiany sorgo różniły się istotnie pod względem maksymalnej lepkości zawiesiny w poszczególnych latach badań, ale nie stwierdzono istotnych różnic dla średniej z wielolecia 2014-2016 (tab. 34).

Tabela 34. Maksymalna lepkość zawiesiny [AU] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań

| Czynnik | Wariant | Lata | | | Średnia (2014-2016) |
|--|---------------------|--------|--------|--------|------------------------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | |
| (A) Termin siewu ¹ | W | 1949,4 | 1661,1 | 1717,9 | 1776,2 |
| | O | 2009,9 | 1912,9 | 1984,3 | 1969,1 |
| | P | 1976,0 | 1605,0 | 2094,6 | 1891,9 |
| | NIR _{0,05} | n.i. | 220,9 | 278,9 | n.i. |
| (B) Nawożenie N [kg·ha ⁻¹] | 40 | 2118,9 | 1795,6 | 2025,4 | 1980,0 |
| | 80 | 2130,3 | 1712,0 | 1926,9 | 1923,1 |
| | 120 | 1919,0 | 1730,6 | 1981,8 | 1877,2 |
| | 160 | 1745,5 | 1667,2 | 1795,0 | 1735,9 |
| | NIR _{0,05} | 155,8 | n.i. | 171,5 | 127,1 |
| (C) Odmiana | Balto CS | 1918,6 | 1648,5 | 1790,3 | 1785,8 |
| | Capello CS | 1964,3 | 1690,3 | 1870,5 | 1841,7 |
| | Arfrio | 1827,8 | 2018,0 | 1936,1 | 1927,3 |
| | Friggo | 2275,8 | 1855,7 | 2054,8 | 2061,7 |
| | Iggloo | 1906,8 | 1419,3 | 2009,7 | 1778,6 |
| | NIR _{0,05} | 272,8 | 262,3 | 249,5 | n.i. |
| Średnia | | 1978,4 | 1726,4 | 1932,3 | 1879,0 |

¹ W – wczesny, O – optymalny, P – późny

3.11. Zależności korelacyjne plonu ziarna

Korelacja prosta Pearsona pozwala na określenie wzajemnego powiązania pomiędzy wybranymi zmiennymi, ale również pomaga ocenić siłę powiązań i ich kierunek. Zależności między ważnymi cechami budowy morfologicznej roślin sorgo i parametrami fizjologicznymi (wysokość roślin, średnica łodygi, średnica dokłosa, długość wiechy, indeks zieloności liści oraz indeks pokrycia liściowego - LAI), elementami struktury plonu (obsada roślin, obsada wiech na jednostce powierzchni, masa wiechy, liczba rozgałęzień I-go rzędu wiechy, liczba i masa ziaren w wieszce oraz masa tysiąca ziaren) oraz parametrami jakości ziarna (liczba opadania, początkowa i końcowa temperatura kleikowania, maksymalna lepkość zawiesiny) a plonem ziarna przedstawiono w tabelach 35-37 i 38-41 w Aneksie.

Na podstawie istotnych współczynników korelacji można stwierdzić, że na wielkość plonu ziarna spośród cech budowy morfologicznej istotnie wpływały wysokość roślin, długość wiechy oraz indeks zieloności liści (tab. 35), natomiast średnica łodygi, średnica dokłosa i wskaźnik pokrycia liściowego (LAI) nie miały wpływu na kształtowanie się plonu ziarna.

Tabela 35. Zależność plonu od parametrów budowy morfologicznej i parametrów fizjologicznych

| Lata | Wysokość roślin | Średnica łodygi | Średnica dokłosa | Długość wiechy | Liczba rozgałęzień I- rzędu wiechy | Indeks zieloności liści | LAI |
|-----------|-----------------|-----------------|------------------|----------------------|------------------------------------|-------------------------|------|
| 2014 | n.i. | n.i. | n.i. | 0,418** ¹ | 0,446** | n.i. | n.i. |
| 2015 | 0,553*** | n.i. | n.i. | 0,667*** | 0,529*** | 0,465** | n.i. |
| 2016 | 0,746*** | n.i. | n.i. | n.i. | 0,591*** | 0,415** | n.i. |
| 2014-2016 | 0,442** | n.i. | n.i. | 0,612*** | 0,632*** | 0,641*** | n.i. |

¹ Istotność współczynników korelacji: *** $\alpha \leq 0,001$, ** $\alpha \leq 0,01$, * $\alpha \leq 0,05$

Objasnienia:

<0,2 - korelacja słaba (praktycznie brak związku), 0,2 – <0,4 - korelacja niska (zależność wyraźna), 0,4 – <0,6 - korelacja umiarkowana (zależność istotna), 0,6 – <0,8 - korelacja wysoka (zależność znaczna – wysoce istotna), 0,8 – <0,9 - korelacja bardzo wysoka (zależność bardzo duża), 0,9 – 1,0 - zależność praktycznie pełna

Zwiększona obsada roślin na jednostce powierzchni wpływała negatywnie na wielkość plonu ziarna, co oznacza, że im większa była obsada roślin sorgo na jednostce powierzchni, tym mniejszy był plon ziarna (korelacja ujemna). Natomiast o wielkości

plonu ziarna decydowały istotnie obsada wiech na jednostce powierzchni, masa pojedynczej wiechy, liczba i masa nasion w jednej wieszce (tab. 36). Wpływ masy tysiąca ziaren na wielkość plonu ziarna był istotny w pierwszym roku badań (2014) i średnio w latach 2014-2016, natomiast w drugim i trzecim roku badań nie stwierdzono zależności pomiędzy MTZ a plonem ziarna. Nie stwierdzono również zależności pomiędzy wielkością plonu a parametrami określającymi jakość ziarna (tab. 37).

Tabela 36. Zależność plonu od elementów struktury plonu

| Lata | Obsada roślin | Obsada wiech | Masa wiechy | Masa ziaren w wieszce | Liczba ziaren w wieszce | MTZ |
|-----------|---------------|--------------|-------------|-----------------------|-------------------------|----------|
| 2014 | -0,531*** | 0,616*** | 0,663*** | 0,727*** | 0,581*** | 0,686*** |
| 2015 | -0,709*** | 0,706*** | 0,759*** | 0,904*** | 0,734*** | n.i. |
| 2016 | -0,633*** | 0,748*** | 0,675*** | 0,714*** | 0,640*** | n.i. |
| 2014-2016 | -0,770*** | 0,812*** | 0,840*** | 0,864*** | 0,729*** | 0,434** |

Objaśnienia jak w tab. 35

Tabela 37. Zależność plonu od parametrów jakości ziarna

| Lata | Liczba opadania | Początkowa temperatura kleikowania | Końcowa temperatura kleikowania | Maksymalna lepkość zawiesiny |
|-----------|-----------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 2014 | -0,478** | 0,408** | n.i. | n.i. |
| 2015 | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| 2016 | n.i. | n.i. | 0,446** | n.i. |
| 2014-2016 | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |

Objaśnienia jak w tab. 35

4. Dyskusja

W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki trzyletnich badań dotyczących wpływu terminu siewu i poziomu nawożenia mineralnego azotem na plonowanie oraz jakość ziarna pięciu odmian sorgo zwyczajnego (*Sorghum bicolor* Moench) w warunkach klimatycznych Niziny Szczecińskiej.

Według Ronkiewicz (2018) pod uprawę sorgo zalecane są gleby lekkie, żyzne, suche, o zdolności do szybkiego nagrzewania się. Roślina ta jest odporna na zasolenie gleby, krótkotrwałe zalewanie, suszę oraz alkalizację, stąd też odczyn gleby może kształtować się w zakresie od pH 5,0 do 8,5. Sorgo nie powinno być uprawiane na glebach ciężkich, podmokłych oraz w zagłębieniach terenu, gdzie tworzą się zastoiska wody. Księżak i in. (2012b) wykazali, że sorgo uprawiane na glebie lekkiej w warunkach mniejszej ilości opadów w miesiącu lipcu uzyskało większy plon suchej masy niż kukurydza. Podobnie Sowiński i Liszka-Podkowa (2008) stwierdzili, że sorgo uprawiane koło Wrocławia na madzie rzecznej bardzo lekkiej, położonej na piasku luźnym i żwirze piaszczystym o odczynie kwaśnym do lekko kwaśnego w warunkach niedoboru opadów lub ich nierównomiernym rozkładzie, plonowało lepiej niż kukurydza. Doświadczenie własne przeprowadzone było na glebie lekkiej, brunatno-rdzawej, należącej do klasy bonitacyjnej IVb, kompleksu 5 - żytniego dobrego. Gleba ta została wytworzona z piasku gliniastego lekkiego pylastego i charakteryzowała się odczynem kwaśnym. W tych warunkach glebowych sorgo plonowało dość dobrze, średnio na poziomie $7,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, a wielkość plonu była znacznie większa od plonu ziarna prosa, odmiany Gierczyckie ($2,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), uprawianego w tych samych warunkach glebowych w RSD Lipnik w latach 2005-2006 (Rolbiecki i in. 2008) oraz jęczmienia jarego ($1,2\text{-}4,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), uprawianego w latach 2011-2013 Wrzesińska i in. (2017), a nawet większa od badanych sześciu ozimych rodów i odmian orkisz ozimego ($2,5\text{-}3,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) i pszenicy ozimej, odmiany Tonacja ($3,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), uprawianych również w RSD Lipnik w latach 2011-2013 (Pużyński i in. 2015).

Trzyletnie badania pozwoliły stwierdzić, że warunki meteorologiczne panujące w latach 2014-2016 miały duży wpływ na wzrost i rozwój roślin sorga, a tym samym na dojrzewanie ziarna i wielkość plonu. Temperatura gleby na głębokości wysiewu nasion w doświadczeniu własnym osiągnęła w przypadku wszystkich terminów siewu w pierwszym roku badań (2014r.) wymagane minimum, tj. 12°C . Najcieplejszym miesiącem w tym roku był lipiec, co pozwoliło na zwiększenie potencjału plonowania

uprawianego sorgo, którego to ziarno uzyskało dojrzałość pełną. Niższe temperatury powietrza odnotowano w kwietniu, jednak nie wpłynęło to na początkowy okres rozwoju roślin, wysianych w terminie wczesnym. Okres suszy w kwietniu (suma opadów wynosiła zaledwie ok. 11 mm) i po siewie sorgo nie spowolniły wschodów, ponieważ sorgo ze wszystkich zbóż potrzebuje niewielkiej ilości wody do skiełkowania (ok. 25% wody w porównaniu do masy nasion), a niedobory wody zostały uzupełnione w maju 2014 r. Był to miesiąc o największej sumie opadów atmosferycznych spośród całego okresu badań. Czerwiec był suchy, na co wskazuje współczynnik Sielianiowa, ale opady, chociaż niewielkie, były w miarę równomiernie rozłożone w poszczególnych dekadach, natomiast lipiec i sierpień cechował się sumą opadów podobną do wielolecia 1961-2004. Uzyskany średni plon ziarna z 1 ha był największy ze wszystkich lat badań i wynosił ok. 8,2 tony.

W drugim roku doświadczenia (2015r.) temperatura gleby również była odpowiednia do przeprowadzenia siewu sorgo. Sezon wegetacyjny w 2015 roku odznaczał się jednak dużym niedoborem wody. Odnotowano bowiem mniejszą sumę opadów o ok. 116 mm w okresie od maja do września niż w pierwszym roku doświadczenia, a ocena wilgotnościowa miesięcy od maja do września, wykonana na podstawie współczynnika hydrotermicznego Sieliniowa, wskazała, że były to miesiące dość suche. Intensywne upały w sierpniu 2015r. przy niedoborze wody nie sprzyjały wegetacji sorgo. Zebrane ziarno było dojrzałe, a rośliny nadal zachowały wigor. Uzyskany plon ziarna był mniejszy o ok. 22% w porównaniu z plonem z 2014 roku i wynosił średnio ok. 6,4 t·ha⁻¹.

W 2016 roku sorgo we wszystkich terminach wysiano w odpowiednio nagrzaną glebę. Mimo to temperatury powietrza początkowych miesięcy wegetacji nie sprzyjały szybkim wschodom i dalszemu rozwojowi roślin. Czerwcowe opady deszczu zaopatrzyły dostatecznie sorgo w wodę, co pozwoliło na lepszy rozwój. Średni plon ziarna uzyskany w tym roku wynosił ok. 7 t·ha⁻¹ i był większy o ok. 9,6% w porównaniu z plonem ziarna z roku 2015, ale mniejszy o ok. 14,7%, w porównaniu do plonu z 2014 roku. Reasumując najkorzystniejszy rozkład temperatur i wielkości opadów atmosferycznych występował w sezonie wegetacyjnym 2014 roku, co zapewniło roślinom w miarę dobry wzrost i dojrzewanie. Natomiast okresy niedoboru wody scharakteryzowane za pomocą wskaźnika Sielianiowa w okresie wegetacyjnym w 2015 i 2016 roku przyczyniły się do obniżenia wartości elementów struktury plonu,

plonu ziarna i jego jakości. Najmniej korzystnym układem warunków meteorologicznych cechował się rok 2015. Zarówno gorsze warunki termiczne, jak i wodne oraz niższy poziom usłonecznienia (zwłaszcza w maju i czerwcu) były między innymi przyczyną uzyskania niskich plonów ziarna sorga.

Podobne wyniki zaprezentowali Sowiński i Szydełko-Rabska (2013). Ich zdaniem ryzyko uprawy sorgo zależne jest od przebiegu pogody w okresie wegetacji, a szczególnie od warunków termicznych w fazie wschodów i dojrzewania. Kruczek i in. (2014b) na podstawie badań prowadzonych w Wielkopolsce stwierdzili, że plonowanie sorga było najniższe w warunkach słabego usłonecznienia, częstych opadów i opóźnionej wegetacji. Również Szumiło i Rachoń (2014) stwierdzili, że najwyższy plon sorgo w warunkach Lubelszczyzny uzyskano z uprawy, której okres wegetacyjny odznaczał się niedoborem opadów i wyższą temperaturą w czerwcu i sierpniu oraz wyższymi opadami i niższą temperaturą w maju i we wrześniu. Jak podają Krieg i Lascano (1990) oraz Camargo i Hubbard (1999), sorgo odznacza się większą odpornością na suszę niż kukurydza, co zdaniem Messke i Bassona (1995) wynika z większej efektywności absorpcji wody glebowej w porównaniu do innych roślin zbożowych, a także wyższym potencjałem plonotwórczym. Jest to związane między innymi z niskim współczynnikiem transpiracji oraz przystosowaniem systemu korzeniowego do pobierania wody z głębszych warstw gleby (Singh i Singh 1995). Odporność na suszę roślin sorgo związana jest również z grubą warstwą wosku, pokrywającego łodygi i chroniącego przed utratą wody, co stwierdzono na wszystkich odmianach uprawianych w RSD Lipnik.

Termin siewu istotnie różnicował wysokość badanych roślin sorgo ziarnowego. Zmienna reakcja roślin na termin siewu była ściśle związana z warunkami, jakie panowały w tych trzech okresach wegetacji, zwłaszcza rozkład opadów atmosferycznych i temperatura powietrza wpływały na polepszenie lub pogorszenie warunków wzrostu, a tym samym na mniejsze i większe przyrosty roślin sorgo w łanie. Kruczek (2014b) w swoim doświadczeniu uzyskał znacznie wyższe rośliny sorga cukrowego, które osiągały wysokość średnio 276 cm. Stwierdził on, że wysokość roślin zależała od przebiegu pogody w okresie wegetacyjnym, zaś badane poziomy nawożenia nie oddziaływały na ten parametr. W badaniach własnych najwyższe rośliny zebrano z poletek wysianych we wczesnym terminie siewu (108,0 cm). Wraz z późniejszym terminem wysiewu wysokość roślin zmniejszała się. W warunkach siewu

optymalnego uzyskano rośliny niższe niż w siewie wczesnym o ok. 4 cm tj. o 4%. Rośliny wysiane w terminie późnym osiągnęły mniejszą wysokość w łanie (średnio 99,8 cm), co w odniesieniu do siewu wczesnego stanowiło różnicę ponad 8 cm (7,6%).

W przeprowadzonych badaniach wyższe rośliny w 2015 i 2016 roku stwierdzono po zastosowaniu nawożenia mineralnego azotem w dawce $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$. Średnio z trzech lat reakcja sorga na nawożenie mineralne azotem w zależności od terminu siewu była zróżnicowana. W obrębie wczesnego terminu siewu wyższe rośliny uzyskano po zastosowaniu maksymalnej dawki azotu (160 kg) w porównaniu z dawką $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$. W terminie optymalnym lepszy efekt osiągnięto stosując 120 niż $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$, a wysiane w terminie późnym rośliny charakteryzowały się podobną wysokością, niezależnie od zastosowanej dawki azotu. Książak i in. (2012b) badali wysokość roślin sorga cukrowego, odmiany Sucrosorgo 506, z przeznaczeniem na kiszonkę, stosując nawożenie w dawce 80, 120 i $180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ i uzyskując wyniki tego parametru w zakresie od 283 do 353 cm, ale nie stwierdzili istotnego wpływu wielkości dawki azotu na wysokość roślin. Uchino i in. (2013) w przeprowadzonych badaniach w południowo-wschodnich Indiach dowiedli, że mimo braku dużych różnic w wysokości roślin w odniesieniu do lat uprawy, różnice te zaznaczają się pomiędzy zastosowanymi dawkami nawożenia azotowego. Najniższe rośliny sorgo zaobserwowali przy braku nawożenia azotem, wyższe rośliny natomiast po zastosowaniu azotu w dawce od 30 do $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$. Najkorzystniejsza dawka azotu mieściła się w przedziale od 90 do $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$, pod wpływem której rośliny były najwyższe.

Wysokość roślin sorgo w każdym roku doświadczenia zależała istotnie od testowanych odmian. W 2014 roku istotnie wyższe rośliny wykształciła odmiana Capello CS (121,4 cm) oraz Friggo (113,8 cm). W 2015 i 2016 roku najwyższe rośliny stwierdzono w przypadku odmiany Friggo. Heckler (2002) w swoim eksperymencie przeprowadzonym w zachodnim regionie Brazylii z sorgiem ziarnowym stwierdził, że wysokość roślin sorgo, jaką zmierzył wynosiła średnio od 95 do 166 cm. Silva i in. (2009) podają, że wysokość roślin sorgo uprawianego w środkowej części Brazylii mieściła się w zakresie od 100 do 150 cm, co potwierdzają badania Almeida Filho i in. (2014), którzy stwierdzili, że ta sama odmiana mieszańcowa sorgo (1G282) w północno-wschodniej Brazylii była najwyższa spośród pozostałych odmian sorgo.

W badaniach własnych zaobserwowano, że rośliny pochodzące z drugiego terminu siewu (optymalnego) cechowała największa średnica łodygi. Dotychczas nie badano wpływu terminu siewu na średnicę łodygi sorgo ziarnowego w Polsce. Tsuchihashi i Goto (2004) stwierdzili, że średnica łodygi sorgo ziarnowego zależy od pięciu czynników: warunków klimatycznych i glebowych, nawożenia, cech odmianowych rośliny oraz gęstości siewu. May i in. (2016) zwrócili uwagę, że w badaniach prowadzonych we wschodniej Brazylii, średnica łodygi sorgo zależała od roku uprawy oraz od szerokości międzyrzędzi. Grubsze łodygi (o 1,3 mm) wykształcały rośliny uprawiane w szerszej rozstawie 1,1 m niż w rozstawie węższej (0,9 m), jednak różnica ta nie została statystycznie udowodniona. Snider i in. (2012) dowiedli, że w warunkach południowo-wschodniej części Stanów Zjednoczonych większa ilość wysiewu przyczynia się do zwiększenia plonu. Ale rośliny wysiane w większej gęstości były wyższe, co dodatkowo sprzyjało tłumieniu mniejszych roślin oraz ich wyleganiu. Tsuchihashi i Goto (2005) zaobserwowali, że w warunkach klimatu monsunowego Azji Południowo-Wschodniej średnica łodyg roślin sorgo, uprawianych w warunkach suszy, była mniejsza niż sorga uprawianego w porze deszczowej. Dodatkowo łodygi roślin sorgo, w którego okresie wegetacyjnym stwierdzono znaczące niedobory wody, odznaczały się mniejszą masą i mniejszą wysokością.

Badania własne nie dały jednoznacznej odpowiedzi, która dawka azotu najsilniej oddziaływała na średnicę łodygi. Stwierdzono, że po zastosowaniu nawożenia w dawkach 40, 80 i 160 kg·ha⁻¹ N rośliny uzyskały taką samą średnicę łodygi, wynoszącą średnio 14,1 mm. Almodares i in. (2008b) stwierdzili na podstawie przeprowadzonych badań w Isfahan (środkowa część Iranu), że na parametry łodygi sorgo, w tym również średnicę, wpływało istotnie zastosowane nawożenie azotowe, w postaci mocznika. Średnica łodygi wzrastała wraz ze wzrostem nawożenia uzyskując największe wartości w dojrzałości fizjologicznej przy dawce 180 kg·ha⁻¹ N. Bury i in. (2015) w badaniach nad plonowaniem odmiany pastewnej sorgo, Biomass 150, zaobserwowali, że średnica łodygi zwiększała się wraz z rosnącą dawką nawożenia azotowego średnio od 16,1 do 17,6 mm. Przeprowadzone doświadczenie własne dowodzi, że średnica łodygi zależała istotnie jedynie od odmiany uprawianego sorgo. Największe wartości uzyskano w przypadku odmiany Capello CS, której grubość łodygi wynosiła 15,6 mm, a najcieńsze łodygi stwierdzono u odmiany Balto CS (13,2 mm). Podobne wyniki stwierdzono analizując średnicę dokłosa. Jedynie odmiana

stanowiła czynnik, w obrębie którego stwierdzono istotne różnice. Największą średnicę dokłosa stwierdzono u odmiany Capello CS. Wynosiła ona ok. 7,4 mm. Pozostałe odmiany (Arfrio, Iggloo i Friggo) charakteryzowały się mniejszą średnicą dokłosa, a najmniejszą średnicą dokłosa cechowała się we wszystkich latach odmiana Balto CS (ok. 6,3 mm).

Długość wiechy zależała od terminu siewu. Stwierdzono, że w miarę opóźniania terminu siewu długość wiechy istotnie malała. Długość wiechy sorgo zmieniała się pod wpływem terminu siewu też w poszczególnych latach badań. W roku 2014 i 2016 opóźnienie terminu siewu nie różnicowało istotnie długości wiechy, natomiast w 2015 roku istotnie krótszymi wiechami cechowały się rośliny wysiane w terminie optymalnym w porównaniu do roślin wysianych w terminie wczesnym, a dalsze opóźnienie terminu siewu skutkowało dalszym skróceniem pędu generatywnego (wiechy). Natomiast Sowiński i Szydełko-Rabska (2013) w badaniach dotyczących sorga ziarnowego, odmiany 251, stwierdzili, że dłuższymi wiechami (ok. 24 cm w 2010 roku i ok. 29 cm w 2011 roku) charakteryzowały się rośliny wysiane w pierwszej dekadzie maja, aniżeli rośliny wysiane w terminie wcześniejszym, tj. w trzeciej dekadzie kwietnia (ok. 23 cm w 2010 roku i 21 cm w 2011 roku). Długość wiechy związana była ściśle z odmianą sorga, ale była niejednakowa w poszczególnych latach badań. Średnio ze wszystkich lat badań największą długością wiechy cechowała się odmiana Capello CS (ok. 23 cm) i przewyższała pozostałe odmiany. Najkrótsze wiechy wykształcała odmiana Friggo (19 cm). Istotny wpływ odmiany na długość wiechy sorgo potwierdzili również Gebrekorkos i in. (2017). W przeprowadzonych badaniach w północnej Etiopii dowiedli oni, że w zależności od uprawianych odmian rośliny sorgo różniły się między sobą długością wiech. Długość wiechy wahała się od 24,5 do 31 cm. Jak podają inni autorzy badający sorgo w warunkach Etiopii (Wondesen i Tekle 2014), wcześnie dojrzewające odmiany sorgo charakteryzowały się przeważnie mniejszą długością wiechy aniżeli odmiany, które dojrzewają późno. Namoobe i in. (2014) w północnym regionie Indii potwierdzili, że badane odmiany sorgo różniły się pod względem długości wiechy. W przeprowadzonych przez nich pomiarach wartości tego parametru wynosiły w zależności od odmiany: minimalnie 17,6 cm, a maksymalnie 28,4 cm. Spośród badanych odmian sorgo w doświadczeniu własnym stwierdzono podobne długości wiech w porównaniu do powyższych badań w literaturze. Stwierdzono bowiem najmniejszą długość wiechy u roślin odmiany Friggo

(19,0 cm), a najdłuższe wiechy pochodziły z odmiany Capello CS (22,7 cm). Średnia długość wiechy dla wszystkich badanych odmian wynosiła 20,8 cm.

Zawartość chlorofilu w liściach roślin jest kolejno związana z zawartością składników odżywczych, w tym zaopatrzenia rośliny w najważniejszy pierwiastek plonotwórczy, jakim jest azot (Argenta i in. 2001, Zotarelli i in. 2003). Podobnie Uchino i in. (2013) zaobserwowali, że odczyty SPAD są silnie skorelowane z koncentracją azotu w liściach sorgo. Zdaniem Cabangon i in. (2011) indeks zieloności liści jest ważnym wskaźnikiem, który pozwala ocenić właściwy moment na wykonanie nawożenia tak, by rośliny maksymalnie wykorzystały dostarczane składniki pokarmowe, a tym samym obniżyć stratę azotu w uprawie. Lima i in. (2010) stwierdzili, że istotnym czynnikiem wpływającym na wzrost i rozwój roślin, a tym samym na wartości badanych wskaźników, w tym indeksu zieloności liści jest termin siewu, uzależniony od warunków panujących w danym stanowisku. W przeprowadzonym badaniu własnym najwyższą wartość indeksu zieloności liści stwierdzono u roślin wysianych we wczesnym terminie siewu, a niższą - w optymalnym i późnym terminie siewu. Rośliny sorgo różnie reagowały na opóźnienie terminu siewu w poszczególnych latach badań. W 2014 roku nie stwierdzono istotnego wpływu tego czynnika na badaną cechę. W kolejnych latach (2015 i 2016) wartości indeksu zieloności liści zmniejszały się systematycznie wraz z opóźnieniem siewu z terminu wczesnego do optymalnego i późnego. Mogło to być spowodowane zmiennym rozkładem usłonecznienia rzeczywistego w poszczególnych okresach wegetacji, od którego zależy zawartość chlorofilu w badanych liściach. W 2014 roku wartości usłonecznienia rzeczywistego wzrastały od kwietnia od lipca od 177,9 do 269,6 h, po czym systematycznie malały. W 2015 roku w kwietniu odnotowano usłonecznienie rzeczywiste na poziomie 202,1 h, a następnie w maju i w czerwcu poziom tego parametru był niższy. Dopiero w lipcu i sierpniu nastąpił wzrost usłonecznienia, jednak w tych miesiącach roślina sorgo jest w fazie wzrostu generatywnego aniżeli wegetatywnego, co może mieć wpływ na wartość indeksu zieloności liści. W 2016 roku ponownie rozkład usłonecznienia rzeczywistego był zmienny. W kwietniu 2016 roku wartość tego parametru wynosiła 178,4 h, natomiast w maju i czerwcu nastąpił duży wzrost odpowiednio do 266 i 271 h, natomiast w lipcu ponownie zanotowano niższą wartość usłonecznienia (199 h).

Wyniki średnie z trzech lat wskazują, że poziom nawożenia mineralnego azotem istotnie wpłynął na indeks zieloności liści. Po zastosowaniu 120 i 160 kg·ha⁻¹ N wartość SPAD była wyższa niż przy dawce 40 i 80 kg·ha⁻¹ N. Reakcja sorga na nawożenie mineralne w poszczególnych latach pod względem indeksu zieloności liści była zmienna. W 2014 roku wraz z lepszym zaopatrzeniem w azot wzrastała wartość badanej cechy, niższą wartość indeksu zieloności liści (45,7 SPAD) stwierdzono po zastosowaniu 40 kg·ha⁻¹ N, a istotnie wyższą - przy pozostałych dawkach. W 2015 i 2016 roku zastosowanie 120 i 160 kg·ha⁻¹ N spowodowało istotne zwiększenie wartości indeksu zieloności liści o odpowiednio 6 i 5% w porównaniu do wartości uzyskanej przy dwóch pierwszych dawkach. Bury i in. (2015) w swoim doświadczeniu ustalili, że indeks zieloności liści zmieniał się pod wpływem zastosowanego nawożenia. Testowane warianty nawożenia mineralnego wraz z nawożeniem azotowym zwiększały zawartość chlorofilu w liściach sorgo w porównaniu do nawożenia tylko fosforowo-potasowego. Wartości indeksu zieloności liści oscylowały w granicach 33,2 - 39,8 SPAD. Kumari Vinodhana i Ganesamurthy (2010) ustalili w warunkach Indii, że wartości indeksu zieloności liści po okresie kwitnienia wynosiły dla sorgo około 46 jednostek SPAD. Mimo długotrwałego okresu suszy nie zaburzyło to transportu asymilatów w roślinie, co potwierdzili także Awala i Wilson (2005) w południowo-wschodnim regionie Stanów Zjednoczonych. Owuor Oyier i in. (2017) zaobserwowali w Nigerii, że wraz z późniejszymi etapami zbiorów zawartość chlorofilu malała. Haboudane i in. (2002) w pobliżu Montrealu (Kanada) potwierdzili taką zależność, jednak podkreślili, że jest to cecha warunkowana na poziomie genotypu rośliny.

W badaniach własnych odmiany sorgo nie różniły się indeksem zieloności liści. Jedynie w 2014 i 2016 roku stwierdzono istotny wpływ odmiany na wartość indeksu zieloności liści. W 2014 roku odmiana Balto CS cechowała się najwyższym indeksem zieloności liści (51,1 SPAD), a w 2016 roku odmianami tymi były Friggo i Capello CS (odpowiednio 48,1 i 48,0 SPAD).

Duża powierzchnia asymilacyjna roślin (liści i łodyg) w stosunku do powierzchni gleby jest odzwierciedleniem dobrego ich rozwoju. Pomiar transmisji światła w łanie wyrażono parametrem LAI (ang. Leaf Area Index), zwanym indeksem pokrycia liściowego. Zdaniem Spanner i in. (1990) prowadzących badania w zachodniej części Stanów Zjednoczonych, wartość wskaźnika LAI zależała między

innymi od właściwości spektralnych gleby, topografii terenu, na którym znajduje się dana uprawa, warunków atmosferycznych, rodzaju i kąta ustawienia przyrządu pomiarowego, a także skali wykonywania pomiaru i kąta padania promieni słonecznych. Przeprowadzone pomiary polowe wykazały, że wskaźnik LAI wynosił średnio $3,40 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ i wahał się od $3,10$ do $4,04 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$. Nie wpływał istotnie na niego żaden z czynników doświadczenia. Stwierdzono jedynie, że w 2014 i 2015 roku zależał istotnie od wszystkich czynników doświadczenia. W pierwszym roku (2014 r.) badań najwyższy wskaźnik pokrycia liściowego odnotowano w wariancie siewu wczesnego ($3,34 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$), po zastosowaniu dawki nawożenia $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ oraz u roślin odmiany Balto ($3,31 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$). W drugim roku badań (2015 r.) najwyższe wartości badanej cechy stwierdzono również w wariancie siewu wczesnego ($3,36 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$), po zastosowaniu azotu w ilości $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ oraz wśród odmiany Friggo ($3,42 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$). Podobne wyniki uzyskali Kumari Vinodhana i Ganesamurthy (2010) w Indiach, w których doświadczeniach indeks powierzchni liści ocenianych genotypów sorgo wahał się w granicach od $1,60$ do $4,55 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, co ich zdaniem sprzyjało lepszemu wychwytywaniu światła. Natomiast wzrost LAI wraz ze wzrostem liczby roślin zaobserwowali Sangoi i in. (2002) w południowej Brazylii. Ich zdaniem większa obsada roślin wpływała na zwiększenie wartości wskaźnika LAI, co wynikało z większego przechwytywania światła, a to przekładało się na większą wydajność fotosyntezy i kolejno większą produkcję suchej masy. Potwierdzają to badania Bayu i in. (2005), którzy w warunkach Etiopii zaobserwowali, że wzrost wartości indeksu pokrycia liściowego był spowodowany między innymi większą liczbą roślin na jednostce powierzchni. W badaniach Burego i in. (2015) stwierdzono, że nawożenie mineralne z dodatkiem siarki zwiększyło powierzchnię asymilacyjną roślin sorga, odmiany Biomass 150 (odmiana pastewna późna) do ok. $2,6 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, co w porównaniu do badań własnych było wynikiem niższym. Shamme i in. (2016) w swoich badaniach w Etiopii stwierdzili wpływ zastosowanego nawożenia azotowego oraz genotypów sorgo na wskaźnik powierzchni liści. Wyższe wartości indeksu LAI były prawdopodobnie spowodowane lepszym rozwojem liści w roślinach po zastosowaniu optymalnego nawożenia tj. od 90 do $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$. W badaniach własnych nawożenie azotowe nie wpływało istotnie na badaną cechę, ale stwierdzono tendencję, iż wraz ze wzrostem dawek nawozowych wartości LAI zwiększały się systematycznie od $3,33$ do $3,45 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$. Uździcka i in. (2012) wskazali na podstawie badań w Brodach (woj. wielkopolskie), że wobec

omawianego wskaźnika LAI istnieje nadal zbyt mało badań i porównań, by określić najbardziej uniwersalną interpretację uzyskiwanych pomiarów.

Gęstość wysiewu nasion wg zaleceń firm hodowlanych (Euralis Semences, Caussade Semences i RAGT Semences) powinna mieścić się w zakresie od 25 do 40 nasion na 1 m², dlatego w doświadczeniu własnym przyjęto jednolitą gęstość wysiewu wynoszącą 35 szt. na 1 m². Końcowa obsada roślin przed zbiorem była wyraźnie mniejsza od wysianej liczby nasion na 1 m² - od ok. 29 do 43%, niezależnie od czynników badań i kształtowała się w zakresie 20-25 roślin na 1 m². Związane to było głównie z ubytkami roślin po wschodach i wypadaniem roślin podczas wegetacji. Na obsadę roślin sorgo wpływał wyraźnie termin siewu, a wpływ pozostałych czynników – nawożenia mineralnego azotem i odmiany – nie został statystycznie udowodniony. W zależności od terminu siewu liczba roślin na jednostce powierzchni zwiększała się wraz z późniejszym wysiewem od blisko 21 roślin z wariantu siewu wczesnego do 25 roślin na 1 m² przy siewie późnym. Związane to było głównie z lepszymi warunkami termicznymi (wysoką temperaturą gleby wynoszącą ponad 12°C) podczas kiełkowania i wschodów nasion, wysianych w terminie optymalnym i późnym. Inne wyniki uzyskali Sowiński i Szydełko-Rabska (2013) w warunkach Dolnego Śląska, którzy wysiewali tylko 15 ziaren na 1 m². W ich doświadczeniu, termin siewu istotnie różnicował liczbę roślin po wschodach. Obsada roślin sorgo na 1 m² wysianego w terminie wczesnym była większa (wynosiła średnio 8,5 roślin na 1 m²) niż, gdy siew wykonano dwa tygodnie później (7,1 szt.·m²). Jednak jak stwierdzili oni dalej, duże znaczenie w kształtowaniu obsady roślin i wiech na jednostce powierzchni miał wpływ rozkład opadów i temperatury powietrza w danym okresie wegetacji sorgo.

Liczba wiech na jednostce powierzchni, podobnie jak obsada roślin, zależała przede wszystkim od terminu siewu. Reakcja sorgo była jednak odmienna, ponieważ wraz z późniejszym wysiewem rośliny słabiej się krzewiły i wytwarzały mniejszą liczbę wiech. Średnio w latach 2014-2016 występowało sukcesywne zmniejszenie liczby wiech na jednostce powierzchni w miarę opóźnienia terminu siewu. Największą obsadą wiech cechował się wariant siewu wczesnego (57,6 szt.·m⁻²), a najmniejszą – siewu późnego (35,7 szt.·m⁻²). Liczba wiech na jednostce powierzchni związana była z krzewieniem się roślin sorgo. Rośliny wysiane w terminie wczesnym krzewiły się mocniej, wytwarzając więcej źdźbeł produkcyjnych (ok. 3 szt.) niż rośliny wysiane w terminie późnym, które wykształcały tylko ok. 1,5 szt. źdźbeł na jednej roślinie.

Podobne wyniki uzyskali Sowiński i Szydełko-Rabska (2013), którzy zanotowali średnio mniejszą liczbę wiech (o 10,8%) na obiektach wysianych w pierwszej dekadzie maja w porównaniu do obsady wiech z pierwszego terminu siewu w trzeciej dekadzie kwietnia.

Uzyskane wyniki badań własnych dowodzą, że o masie pojedynczej wiechy sorgo istotnie decydowały, zarówno termin siewu, jaki i poziom nawożenia mineralnego azotem oraz odmiana. W latach 2014-2016 w miarę opóźnienia terminu siewu masa wiechy istotnie się zmniejszyła z 37,3 do 23,4 g, niezależnie od pozostałych czynników. W przypadku nawożenia mineralnego azotem zaobserwowano, że po zastosowaniu dawki $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$ uzyskano istotnie większą masę pojedynczej wiechy, aniżeli po zastosowaniu pozostałych testowanych dawek azotu. Spośród badanych odmian największą masę pojedynczej wiechy w latach 2014-2016 wykształciła odmiana Capello CS (32,8 g), a istotnie mniejszą – odmiany Arfrio i Iggloo (29,8 g). Podobne wyniki uzyskali w warunkach północnej Ghany Kugbe i in. (2019), którzy stwierdzili, że na masę pojedynczych wiech wpływało nawożenie azotowe oraz odmiana sorgo ziarnowego. Uzyskane przez nich wyniki wskazują, że wraz ze wzrostem dawek azotu masa wiechy sorgo zwiększała się. Największą masę pojedynczej wiechy stwierdzili u roślin nawożonych azotem w dawce $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$, a niewiele mniejszą masę - po zastosowaniu dawek 90 i $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$. Wykazali oni jednak, że pomiędzy tymi czynnikami nie zachodziła istotna interakcja (Kugbe i in. 2019).

Długość wiechy, masa wiechy i jej budowa ma wpływ na plonowanie sorga. Sorgo w zależności od odmiany może wytwarzać różne typy wiechy: wiechy rozpierschłe (luźne) i skupione (zbite) oraz średnio zbite. Z osi głównej kwiatostanu groniastego wyrastają okółkowo rozmieszczone pojedyncze gałązki (rozgałęzienia pierwszego rzędu) wiechy, z których wyrastają gałązki drugiego i trzeciego rzędu. W badaniach własnych policzono tylko gałązki (rozgałęzienia) wiechy pierwszego rzędu. Liczba rozgałęzień pierwszego rzędu wiechy wynosiła średnio 29 szt. i była dość stabilna w poszczególnych latach. Spośród badanych czynników jedynie termin siewu decydował o liczbie rozgałęzień w wieszce. Opóźnienie terminu siewu spowodowało zmniejszeniem liczby rozgałęzień pierwszego rzędu w wieszce, zwłaszcza wysiew w terminie późnym skutkowało istotnym zmniejszeniem liczby gałązek pierwszego rzędu wiechy w porównaniu do terminu wczesnego z ok. 30 do 28

szt. Zastosowane nawożenie mineralne nie wpłynęło na wielkość tej cechy budowy morfologicznej wiechy. Średnia liczba rozgałęzień pierwszego rzędu wiechy nie różniła się istotnie spośród badanych odmian sorgo w latach 2014-2016 i wahała się w granicach 28-30 szt.

W badaniach własnych średnia masa ziaren z pojedynczej wiechy sukcesywnie i istotnie malała wraz z opóźnieniem terminu siewu z ok. 27 do 16 g. Na badaną cechę nie wpływało zastosowane nawożenie azotowe, a reakcja roślin na testowane dawki nawożenia była zmienna. Wśród odmian stwierdzono, że odmiana Capello CS charakteryzowała się największą masą nasion w wieszce (24,3 g), a najmniejszą - odmiana Friggo (20,3 g), ale różnice te nie były istotne statystycznie. Inne wyniki uzyskali Szumiło i Rachoń (2014), którzy badali wpływ termin wysiewu sorgo na masę ziarna z pojedynczej wiechy. W warunkach klimatycznych Lubelszczyzny, dla testowanej odmiany sorga ziarnowego, Rona-1, korzystniej na masę ziarna z wiech oddziaływał siew przeprowadzony w drugiej dekadzie kwietnia, aniżeli w trzeciej dekadzie kwietnia. Ponadto wykazali oni, że stosowane zabiegi agronomiczne i ich zmiany także wpływają na ten parametr. Zmniejszenie szerokości międzyrzędzi z 75 do 25 cm w ich doświadczeniu spowodowało znaczący spadek masy ziaren z pojedynczej wiechy. Wielu autorów (Gul i in. 2005, Fernandez i in. 2012, Szumiło i Rachoń 2014) podkreśla fakt, że elementy struktury plonu ziarna sorgo zwyczajnego, w tym również masa ziaren z wiechy, istotnie zależały od przebiegu warunków pogodowych w okresie wegetacyjnym poszczególnych lat badań. Wniosek ten znajduje potwierdzenie również w obserwacjach własnych, ponieważ w okresie wegetacyjnym roku 2014, gdy stwierdzono najbardziej korzystne warunki meteorologiczne do rozwoju sorgo, masa ziaren z pojedynczej wiechy była największa, natomiast w drugim roku doświadczenia (2015r.) niekorzystny wpływ warunków pogodowych odzwierciedlał się w niższych wartościach badanej cechy.

Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że średnia liczba ziaren z jednej wiechy zależała przede wszystkim od terminu siewu i odmiany. Wraz z opóźnieniem terminu siewu liczba ziaren sukcesywnie i istotnie malała z 1340 do 882 szt., tj o 34%. Natomiast zastosowane nawożenie mineralne azotem nie różnicowało istotnie liczby ziaren w wieszce. Mimo to największą liczbę ziaren w wieszce stwierdzono po zastosowaniu azotu w ilości $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ (1162 szt.), a najmniejszą przy dawce $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ (1022 szt.). Odmienne wyniki przedstawili Kugbe i in. (2019), którzy

wykazali, że dawka nawozu azotowego istotnie wpłynęła na liczbę nasion w wieszce sorga. W ich doświadczeniu przeprowadzonym w Ghanie rośliny nawożone dawką 0, 30, 60, 120 i 150 kg·ha⁻¹ N wykształciły około 1600 ziaren w wieszce, natomiast pod wpływem 90 kg·ha⁻¹ N liczba nasion w wieszce zwiększyła się prawie dwukrotnie.

Termin siewu w badaniach własnych nie wpływał istotnie na masę tysiąca ziaren (MTZ). Mimo to największą wartość badanej cechy stwierdzono u roślin wysianych w drugim, optymalnym terminie siewu. Podobne wyniki uzyskali Szumiło i Rachoń (2014) w badaniach przeprowadzonych w Gospodarstwie Doświadczalnym Felin koło Lublina, którzy stwierdzili, iż MTZ nie zależała istotnie od terminu wysiewu. Nie mniej jednak wysiew sorgo w drugiej dekadzie maja w porównaniu do trzeciej dekady kwietnia wpłynął korzystnie na MTZ. Wskazali oni poza tym, że parametr ten determinowany był przez szerokość międzyrzędzi. Zmniejszenie szerokości międzyrzędzi skutkowało obniżeniem masy tysiąca ziaren, a w konsekwencji spadkiem plonu. Badania Gebrekorkos i in. (2017) przeprowadzone w Etiopii, sugerują, że MTZ może wynikać nie tylko z cech genotypowych sorgo, ale również z oddziaływania czynników środowiska na roślinę uprawną. Uzyskane przez nich wyniki dotyczące MTZ, w zależności od zastosowanych wariantów nawożenia oscylowały w granicach od ok. 34 do 38 g. Znaczący wpływ na większą masę tysiąca ziaren badanych przez nich roślin sorgo miało zastosowanie mocznika w ilości 61,5 kg wraz ze stałą dawką azotu wynoszącą 100 kg·ha⁻¹ N w mieszaninie z fosforem, siarką i cynkiem. W badaniach własnych nawożenie mineralne azotem nie oddziaływało istotnie na MTZ, natomiast zaobserwowano tendencję do wzrostu masy tysiąca ziaren wraz ze zwiększającą się dawką nawożenia azotowego. Natomiast Salem (2015) w doświadczeniu przeprowadzonym w Egipcie stwierdził, że korzystny wpływ na masę tysiąca ziaren, miało nawożenie azotowe, zastosowane w dawce 100 kg·ha⁻¹ N w porównaniu do dawek mniejszych 60 i 80 kg·ha⁻¹ N.

Odmiany sorgo w badaniach własnych różniły się pod względem tego parametru. Największą masę tysiąca ziaren wykształciła odmiana Arfrio (22,9 g), a istotnie mniejszą - odmiana Capello CS (18,6 g). Pozostałe odmiany wykształciły MTZ w granicach od 20,7 do 21,7g. Podobne wyniki uzyskali Awori i in. (2015) w trakcie trzyletnich badań przeprowadzonych w strefie agroekologicznej Zachodniego Nilu w Ugandzie, których odmiany wykształciły MTZ w zakresie od 17,5 do 20,0 g. Poza tym dowiedli oni, że MTZ istotnie zależała też od rozstawy rzędów. W ich doświadczeniu największą MTZ uzyskano w rozstawie rzędów 45 cm x 20 cm (20,0 g), natomiast

namniejszą - w rozstawie 25 cm x 20 cm (17,5g). Dalej stwierdzili oni, że MTZ jest ważnym parametrem wskazującym na potencjał plonotwórczy poszczególnych odmian (Aвори i in. 2015).

W badaniach własnych stwierdzono, że plon ziarna sorga w latach badań zależał od terminu siewu i poziomu nawożenia mineralnego azotem. Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic w wielkości uzyskanego plonu przez badane odmiany. Wraz z opóźnieniem terminu siewu plon ziarna sorgo zmniejszał się z 8,98 do 5,06 t·ha⁻¹. Optymalny i późny termin siewu skutkowały istotnym obniżeniem plonu sorga o odpowiednio 17 i 44% w porównaniu do terminu wczesnego. Natomiast Szumiło i Rachoń (2014) uzyskali w warunkach Lubelszczyzny odwrotne wyniki. Badając wpływ terminu siewu stwierdzili, że istotnie większy plon ziarna sorga uzyskano wysiewając je w drugiej dekadzie maja w porównaniu do siewu w trzeciej dekadzie kwietnia. Wpływ różnych terminów siewu na produktywność sorgo ziarnowego badali również inni autorzy w innych krajach. Podobne wyniki negatywnego wpływu terminu siewu na plon ziarna uzyskali Baumhardt i Howell (2006) w USA, Marin i in. (2006) w São Paulo, a także Borghi i in. (2013) w Brazylii. Stwierdzili oni, że sorgo wysiane w późniejszych terminach odznaczało się niższą produktywnością, która wynikała przede wszystkim z wystąpienia suszy. Susza w początkowej fazie rozwoju roślin wpływa na spowolnienie wszystkich procesów zachodzących w roślinach. Odmienne wyniki badań uzyskali natomiast Zandonadi i in. (2016) w północno-wschodniej Brazylii. Większość testowanych przez nich odmian sorgo, wysianych w najwcześniejszym terminie siewu, plonowała zdecydowanie niżej (ca. 2,9 t·ha⁻¹) w porównaniu do plonowania tych samych odmian z późniejszych wysiewów (6,2 t·ha⁻¹). Potwierdzają to Silva i in. (2013), którzy testowali uprawę sorgo wysiewanego w okresie letnim w Brazylii, czyli w znacznie opóźnionym terminie siewu w porównaniu do poprzednich autorów. Nie skutkowało to jednak obniżką plonu ziarna, który wynosił średnio 5,2 t·ha⁻¹.

W badaniach własnych poziom plonowania sorga mieścił się w granicach 4,4 - 10,6 t·ha⁻¹, niezależnie od badanych czynników. Natomiast inni autorzy prowadząc badania w korzystnych klimatycznie regionach świata dla uprawy sorga uzyskiwali mniejsze plony. Almeida Filho i in. (2010) w badaniach przeprowadzonych w Brazylii stwierdzili, że uprawiane przez nich sorgo plonowało w granicach od 2,8 do 5,0 t·ha⁻¹, a Zandonadi i in. (2016) donoszą o plonach ziarna w północno-wschodniej Brazylii wynoszących od 2,9 do 6,2 t·ha⁻¹. Różnice w poziomie plonowaniu sorga

wynikają głównie z warunków agroklimatycznych, poziomu nawożenia i testowanych genotypów sorga.

O plonie ziarna decydowało również zastosowane nawożenie mineralne azotem. Zwiększanie dawki nawożenia mineralnego z 40 do 120 kg·ha⁻¹ N w badaniach własnych przyczyniło się do wzrostu plonu ziarna o 15%, tj. z 6,5 do 7,5 t·ha⁻¹. Dalsze zwiększenie nawożenia wpłynęło na niewielkie obniżenie plonu ziarna. Natomiast Sowiński i Liszka-Podkowa (2008) stwierdzili, że nawożenie azotem w zakresie testowanych przez nich dawek 100, 130 i 160 kg·ha⁻¹ N nie wpływało istotnie na plon świeżej i suchej masy sorgo. Odmienne zdanie zaprezentowali Turgut i in. (2005) twierdząc, że w warunkach Turcji sorgo reagowało wzrostem plonu przy zastosowaniu nawożenia azotem do 100 kg·ha⁻¹ N, natomiast plon ziarna znacznie spadł po zastosowaniu wyższego poziomu nawożenia tj. 150 i 200 kg·ha⁻¹ N. Uchino i in. (2013) podkreślili, że największy wpływ na plonowanie sorgo w warunkach Indii miało zwiększenie nawożenia azotowego do poziomu 90-120 kg·ha⁻¹ N, kiedy to plon ziarna był największy. Miko i Manga (2008) dowiedli, że na wysokość plonu ziarna sorgo, uprawianego w warunkach północnej Nigerii, istotnie wpływało zastosowane nawożenie azotowe oraz rozstawa rzędów. Podali oni, że istotnie wyższy plon ziarna uzyskali z poletek nawożonych dawką azotu w ilości 60 i 90 kg·ha⁻¹ N przy rozstawie rzędów wynoszącej 25 cm w porównaniu do poletek nawożonych dawką 0 i 30 kg·ha⁻¹ N przy rozstawie 50 i 75 cm. Określenie optymalnego poziomu nawożenia mineralnego azotem dla sorga ziarniowego jest trudne, ponieważ zależy od wielu czynników, zarówno genotypowych, jak i środowiskowych.

Nie mniej jednak wydaje się, na podstawie przeprowadzonych badań własnych, że dawka 120 kg·ha⁻¹ N była wystarczająca do uzyskania dużego plonu ziarna. W celu optymalizacji procesu nawożenia mineralnego, duże dawki nie powinny być stosowane jednorazowo i należy je podzielić na co najmniej dwie porcje (Kodeks dobrej praktyki rolniczej (2004), co też uczyniono w doświadczeniach w RSD Lipnik Potwierdza to Kruczek (2014b), który stwierdził, że zwiększenie nawożenia azotem przed siewem, stosowanego jednorazowo bez podziału dawki, ogranicza wschody roślin sorga, co skutkować może obniżeniem plonu.

Odmiany, mimo, że należały do różnych grup wczesności (bardzo wczesne: Arfrio i Iggloo, wczesne: Balto CS i Friggo, średnio-wczesne: Capello), nie różniły się istotnie pod względem plonu ziarna, biorąc pod uwagę wartości średnie dla całego

okresu badań, natomiast istotne różnice w wielkości plonu poszczególnych odmian stwierdzono w latach 2014 i 2016. Największym plonem ziarna w 2014 roku cechowała się odmiana Capello, a istotnie mniejszym – pozostałe odmiany. Natomiast w 2016 roku poziom plonowania wszystkich odmian był niższy w porównaniu do 2014 roku. W tym roku największy plon ziarna wydała odmiana Iggloo, a istotnie mniejszy – odmiany Balto i Arfrio.

Największy plon ziarna w badaniach własnych, średnio z lat badań i niezależnie od pozostałych czynników doświadczenia, uzyskano uprawiając odmianę średnio-wczesną Capello CS ($7,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Plon pozostałych odmian był mniejszy i wynosił dla odmian bardzo wczesnych: Iggloo – $7,53 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ i Arfrio – $6,96 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, a dla odmian wczesnych Balto CS – $6,88 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ i Friggo ($6,55 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Ale różnice w wielkości plonu pomiędzy odmianami nie były istotne statystycznie. Podobne wyniki otrzymali Hiltbrunner i in. (2013), którzy przeprowadzili w latach 2009-2011 badania z odmianami sorgo ziarnowego Arfrio, Friggo i Iggloo w Szwajcarii, w dwóch miejscowościach: w regionie Zurychu (Zürich-Affoltern) i Hüntwangen. Odmiany Arfrio, Friggo i Iggloo odznaczały się podobnym poziomem plonowania jak w doświadczeniach w RSD Lipnik. Hiltbrunner i in. (2013) podali poza tym, że plonowanie tych odmian było zależne od roku prowadzenia badań oraz miejsca uprawy, jednak średni plon ziarna odmiany Arfrio mieścił się w zakresie od $7,25$ do $11,28 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, Friggo - od $8,26$ do $9,70 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, a odmiany Iggloo - od $8,83$ do $9,25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Zupełnie odmienne wyniki uzyskał Patil (2007) w przeprowadzonych badaniach w Indiach. Przedstawił on różnice w plonowaniu sorgo w zależności od testowanych odmian, a różnice te kolejno przekładały się na dalsze parametry m.in. na masę 1000 ziaren. Badane przez niego odmiany sorgo odznaczały się masą tysiąca ziaren na poziomie $27,4 \text{ g}$ - $31,1 \text{ g}$, natomiast plony ziarna wahały się w granicach od $0,84$ do $1,42 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Jego wyniki stanowią odmienną wartość do tych, jakie uzyskano w badaniach własnych (większa masa 1000 ziaren, ale zdecydowanie mniejszy plon ziarna). Atokple i in. (2014) w Ghanie wykazali różnice w plonowaniu odmian sorgo, dodając, że badanie wydajności odmian tej rośliny wymaga potwierdzenia w tym zakresie z różnych lokalizacji, ponieważ różnice pomiędzy odmianami są bardzo duże. Potwierdzili to również Bucheyeki i in. (2010) na podstawie badań prowadzonych w Tanzanii (wschodnia Afryka), gdzie w zależności od odmiany i lokalizacji, w jakiej była uprawiana uzyskali plon ziarna sorgo na poziomie od $0,9$ do $3,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Liczba opadania jest parametrem powszechnie stosowanym w przemyśle młynarsko-piekarniczym do określenia jakości ziarna i jego przydatności do produkcji określonych wyrobów piekarniczych, w tym głównie chleba. Liczba opadania jest wskaźnikiem poziomu enzymów amylolitycznych w ziarnie i oznacza się ją za pomocą metody Hagberga-Partena (Rogosińska i Sadkiewicz 2009, Stępniewska 2013). Pozwala ona określić jakość ziarna, a przede wszystkim informuje o jego dojrzałości fizjologicznej, o stopniu porostania ziarna oraz o stanie amylolitycznym mąki i jej zdolności do przechowywania (Jurga 1997, Dojczew i in. 2004). Wartość liczby opadania poniżej 70 sekund dla żyta i 80 sekund dla pszenicy oznacza bardzo wysoką aktywność enzymów amylolitycznych i w związku z tym niską jakość ziarna i uzyskanej z niego mąki (Anonim 10). Taki poziom liczby opadania wskazuje, że ziarno jest fizjologicznie niedojrzałe, bądź porośnięte, lub porażone chorobami grzybowymi, a w ziarnach przebiegają procesy życiowe np. oddychanie, którego wynikiem jest wydzielane ciepło i woda. Kościelniak i Dreczka (2009) stwierdzili, że wysokiej aktywności enzymów amylolitycznych sprzyjają opady deszczu w fazie dojrzewania. Również warunki przechowywania ziarna w magazynach decydują o jego jakości i zdrowotności. Zwłaszcza ziarno przechowywane w warunkach dużej wilgotności może być zainfekowane patogenami grzybowymi, które także wpływają na pogorszenie jakości ziarna. Najkorzystniejsza liczba opadania mieści się w przedziale 170-200 sekund dla pszenicy, a dla żyta 125-200 sekund. Natomiast wysokie wartości tego parametru (powyżej 300 sekund dla pszenicy i 250 dla żyta) wskazują na niską aktywność α -amylazy, co również może niekorzystnie wpływać na jakość wypieku (Anonim 10, Szafrńska 2011).

Przydatność mąki pszennej i żytniej do produkcji chleba określana jest przez ZBPP (Anonim 10) na podstawie liczby opadania i maksymalnej lepkości zawiesiny mąki z wodą. Mąki pszenne o liczbie opadania poniżej 150 s i lepkości maksymalnej zawiesiny poniżej 250 AU odznaczają się wysoką aktywnością enzymów amylolitycznych. Pieczywo z takiej mąki ma płaski kształt bochenka, a jego miękisz jest wilgotny i lepki. Barwa miękiszu jest zazwyczaj ciemna i nie spełnia wymogów piekarniczych. Natomiast pieczywo uzyskane z mąki pszennej o niskiej aktywności enzymów amylolitycznych (liczba opadania powyżej 300 s i lepkość maksymalna zawiesiny powyżej 1000 AU) posiada kulisty kształt bochenka o suchym, kruszącym się miękiszu. Taka mąka również nie nadaje się do wypieku chleba. Dobrą jakość pieczywa uzyskuje się z mąki pszennej o średniej aktywności enzymów

amylolitycznych (liczba opadania na poziomie 170-200 s) i lepkości maksymalnej zawiesiny w zakresie od 300 do 700 AU (Szafrńska 2011). Natomiast mąka żytnia przeznaczona do produkcji chleba powinna charakteryzować się średnią aktywnością amylolityczną odpowiadającą liczbie opadania w zakresie od 125 do 200 s oraz maksymalną lepkością kleiku skrobiowego w zakresie od 400 do 600 AU i temperaturą końcową kleikowania na poziomie 63-68°C (Słowik 2005). Chleb uzyskany z mąki żytniej o maksymalnej lepkości zawiesiny poniżej 100 AU ma gorszą jakość, tj. wilgotny miękisz o ciemnej barwie oraz skórę, która nie przylega do miękiszu. Maksymalna lepkość zawiesiny przekraczająca 700 AU wskazuje na możliwość uzyskania chleba niskiego o twardym miękiszu (Szafrńska i Słowik 2014).

Ziarno sorga nie zawiera glutenu i w związku z tym jest zbożem bezglutenowym, nienadającym się do wypieku chleba, tylko do produkcji innych wyrobów piekarskich (biszkoptów, krakersów, makaronów) lub wypieku chleba tzw. plackowego. Poza tym może być stosowane jako dodatek polepszający jakość i wartość pieczywa oraz do produkcji żywności funkcjonalnej. Z tego powodu być może dla ziarna sorga niewiele jest informacji, zarówno w literaturze europejskiej, jak i światowej, na temat liczby opadania i do tej pory nie ma określonego przedziału minimalnej i maksymalnej wartości liczby opadania oraz maksymalnej lepkości zawiesiny (AU).

W badaniach własnych stwierdzono, że liczba opadania wynosiła średnio 286 s i istotnie zależała od poziomu nawożenia mineralnego azotem oraz od odmiany. Termin siewu natomiast nie wpływał na wartości badanej cechy. Pomimo tego stwierdzono, że wraz z późniejszym terminem siewu, czyli krótszym okresem wegetacji, liczba opadania systematycznie wzrastała. Zwiększenie nawożenia azotowego z 40 do 160 kg·ha⁻¹ N spowodowało spadek liczby opadania o 8,0%, z 299 do 275 sekund. Liczba opadania w śrucie odmiany Capello CS była najwyższa i wynosiła 306 s, była ona wyższa o 36,4 sekundy, tj. o 13,5%, od liczby opadania odmiany Arfrio. Porównując wartości liczby opadania dotyczące mąki z sorgo z interpretacją wyników liczby opadania proponowaną przez Rogozińską i Sadkiewicza (2009) dla pszenicy i żyta można wywnioskować, że mąka z ziarna sorgo charakteryzowała się w większości średnią lub niską aktywnością enzymu α -amylazy, co świadczy o dobrej jakości ziarna, czyli ziarno było dojrzałe i nie porośnięte, ani uszkodzone. Gadallah i in. (2017) w swoich badaniach stwierdzili, że liczba opadania dla pszenicy wynosiła 332 s, a dla sorga była niższa i wynosiła 309 s. Natomiast dla

mieszanek mąki pszennej z różnym dodatkiem mąki sorgo (od 5 do 20%) liczba opadania zmniejszała się wraz ze zwiększaniem dodatku mąki sorgo i wynosiła: 324 s – z 5% dodatkiem mąki sorgo, 321 s – z 10% dodatkiem mąki sorgo oraz 314 s dla mieszanki z 15 i 20% udziałem mąki sorga. Wraz ze wzrostem dodatku mąki sorgo do mąki pszennej wzrastało upłynnienie kleiku skrobiowego, co wskazywało na wysoką współzależność pomiędzy upłynnieniem kleiku (tj. zmniejszeniem lepkości kleiku) a aktywnością alfa-amylazy w nim zawartej. Gadallah i in. (2017) stwierdzili dalej, że dodatek mąki z sorgo pozwolił na częściowe zastąpienie mąki pszennej (do 15%) w mieszankach mąk służących do produkcji chleba bez wpływu na jego jakość. Siddeeg i in. (2017) dowiedli, że liczba opadania mąki pszennej była niższa niż testowanej mąki z rosnącym udziałem procentowym mąki z sorgo (5, 20, 35, 50%), odmian Tabat i Hageen, dla których wartości tego wskaźnika wynosiły od 502 do 686 s (przy dodatku 50% mąki z sorgo). Wyniki ich badań wykazały, że mąka sorgo obu badanych odmian w mące chlebowej spowodowała zwiększenie zawartości białka, tłuszczu i popiołu, a najlepszy chleb uzyskali z 20% dodatkiem mąki z sorgo. Podobnie Amir i in. (2015) podali, że liczba opadania mąki pszennej z 30% dodatkiem mąki z sorgo wynosiła 315 s i taka mieszanka zapewniała dobrą jakość chleba.

Właściwości amylograficzne mąki uzyskanej z pełnego przemiału ziarna sorga, m.in. początkową i końcową temperaturę kleikowania oraz maksymalną lepkość zawiesiny, oznaczono przy zastosowaniu Amylografu Brabender, który pozwala określić jakość mąki i jej przydatność do różnych zastosowań. Zdaniem Wolskiej i in. (2011) parametry te są ważnym czynnikiem wpływającym na wartość wypiekową mąki, ponieważ pod wpływem wysokiej temperatury skrobia pęcznieje i współzawodniczy z innymi komponentami o dostępną wodę, co umacnia strukturę ciasta. W trakcie kleikowania woda pobierana jest przez skrobię z glutenu. Wówczas obecne w cieście pory gazowe tracą możliwość rozciągania się, tym samym stają się sztywniejsze, a następnie pękają, przez co są przepuszczalne dla gazów, które tworzą się w trakcie wypieku. Zapewnia to odpowiednią strukturę chleba oraz zapobiega jego zapadaniu się podczas chłodzenia (Sandstedt 1961 i Hosoney i in. 1978).

W badaniach własnych początkowa temperatura kleikowania nie zależała od terminu siewu, zaś istotny wpływ na ten parametr miało zastosowane nawożenie mineralne azotem oraz odmiana sorgo. Wraz ze wzrostem dawki nawożenia azotowego początkowa temperatura kleikowania stopniowo wzrastała. Najniższą wartość

uzyskano w wariancie nawożenia 40 kg·ha⁻¹ N (77,3°C), a najwyższą - przy nawożeniu 160 kg·ha⁻¹ N (78,8°C). Spośród badanych odmian najwyższą temperaturę początkową kleikowania miała mąka wyprodukowana z odmiany Balto CS (79,5°C), a najniższą z odmiany Capello CS (75,8°C). Średnia początkowa temperatura kleikowania, jaką uzyskali Sobolewska i in. (2018) była niższa i wynosiła 69,2°C.

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono, że na końcową temperaturę kleikowania nie wpływał istotnie żaden badany czynnik doświadczenia. Mimo to zaobserwowano, że mąka z sorgo charakteryzowała się końcową temperaturą kleikowania na poziomie 93,6°C. Niższe wartości badanej cechy stwierdzili natomiast Sobolewska i in. (2018). Końcowa temperatura kleikowania badanej przez nich mąki z sorgo oscylowała w zakresie od 82,6 do 86,5°C.

Maksymalna lepkość zawiesiny wg Rossel i in. (2001) określa stopień pęcznienia ziaren skrobi przed ich fizycznym rozpadem (odporność podgrzanej mąki i wody na działanie mieszadeł (łopatek) amylografu). Podczas podgrzewania zawiesiny granulki skrobi pęcznieją, przez co zawiesina gęstnieje. Im gęstsza zawiesina, tym mniejsza jest aktywność alfa-amylazy, a to z kolei wpływa na lepszą jakość produktu końcowego. Natomiast wysoka aktywność enzymów przyczynia się do tworzenia ciasta o słabej strukturze, które nie wytworzy oczekiwanego wypieku (Anonim 11). W badaniach własnych wykazano, że termin siewu i odmiana nie wpływały istotnie na wartość maksymalnej lepkości zawiesiny, jedynie nawożenie mineralne azotem różnicowało ten parametr. W miarę zwiększenia dawki nawożenia mineralnego azotem z 40 do 160 kg·ha⁻¹ N następował spadek maksymalnej lepkości zawiesiny z 1980 do 1736 AU. W badaniach Sobolewskiej i in. (2018) wartości tego parametru mieściły się w przedziale od 1969 AU dla odmiany Aron, nawożonej dawką azotu w ilości 120 kg·ha⁻¹ N, do 3034 AU w przypadku odmiany Farmsugro 180 i braku nawożenia azotem. W badaniach własnych średnia wartość maksimum lepkości wszystkich badanych próbek, tj. 1879,0 AU została osiągnięta w temperaturze 93,6°C. Większe wartości maksymalnej lepkości zawiesiny decydują, w przypadku pszenicy, o objętości i strukturze chleba (Fot. 8).



Fot. 8. Wpływ aktywności enzymu alfa-amylazy na jakość chleba (Anonim 8).

5. Stwierdzenia i wnioski

Wyniki trzyletnich badań dotyczących wpływu terminu siewu i poziomu nawożenia mineralnego azotem na plonowanie oraz jakość ziarna pięciu odmian sorgo zwyczajnego pozwalają na sformułowanie następujących stwierdzeń i wniosków:

1. Wzrost i rozwój badanych odmian sorga ziarnowego, uprawianych na Nizinie Szczecińskiej (RSD Lipnik) w latach 2014-2016 przebiegał prawidłowo i rośliny wytworzyły ziarno dojrzałe do zbioru. Wielkość plonu zależała przede wszystkim od warunków pogodowych i największe plony ziarna, tj. $8,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, uzyskano w roku o korzystniejszych warunkach pogodowych (w 2014 roku), natomiast plony o ok. 22% niższe – w roku charakteryzującym się dłuższymi okresami suszy (w 2015 roku), niezależnie od czynników badań.
2. Sorgo plonowało bardzo wysoko, biorąc pod uwagę fakt, że uprawiano je na glebie lekkiej, mało urodzajnej, o odczynie kwaśnym, zakwalifikowanej do klasy IVb i 5 kompleksu żytniego dobrego. Średni plon ziarna ze wszystkich lat badań i niezależnie od pozostałych czynników doświadczenia wynosił $7,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.
3. O wielkości plonu decydował głównie termin siewu. Największy plon ziarna uzyskano wysiewając sorgo w terminie wczesnym (pod koniec kwietnia / na początku maja). Wynosił on średnio ok. 9 t ziarna z 1 ha. Opóźnienie terminu siewu o dwa tygodnie, czyli w terminie zalecanym i optymalnym ze względu na odpowiednią temperaturę gleby i znikome ryzyko wystąpienia późnych przymrozków wiosennych (w połowie maja) spowodowało istotne zmniejszenie plonu o ok. 17%. Natomiast opóźnienie terminu siewu o kolejne dwa tygodnie (siew późny) zdecydowało o dalszym wyraźnym obniżeniu plonu ziarna o ok. 32% w porównaniu do siewu w terminie optymalnym.
4. Zastosowane nawożenie mineralne azotem wpłynęło istotnie na wielkość plonu ziarna. Wraz ze wzrostem poziomu nawożenia następowało zwiększenie plonu ziarna, a największy plon (ok. $7,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) uzyskano po zastosowaniu dawki $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N. Był on większy o ok. 16% od plonu uzyskanego z obiektów nawożonych dawką $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N. Dalsze zwiększenie nawożenia mineralnego azotem do $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N spowodowało niewielkie (nieistotne) zmniejszenie plonu ziarna, niezależnie od pozostałych czynników badań.

5. Reakcja poszczególnych odmian na nawożenie mineralne nie była jednakowa. W przypadku odmiany Balto CS stwierdzono istotne zwiększenie plonu po zastosowaniu azotu w dawce $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$ w porównaniu do najmniejszej dawki ($40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$), natomiast dalsze zwiększenie poziomu nawożenia mineralnego spowodowało sukcesywny spadek plonu ziarna o 16%. Odmiany Capello CS i Friggo na zwiększanie poziomu nawożenia mineralnego azotem z 40 do $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$ reagowały istotnym wzrostem plonu ziarna, a dalsze zwiększenie dawki azotu do $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$ spowodowało obniżenie plonu ziarna z 1 ha, dla odmiany Capello o ok. 6%, a dla odmiany Friggo - o 4%. Natomiast plon odmian Arfrio i Iggloo sukcesywnie zwiększał się w miarę zwiększania dawek nawożenia mineralnego azotem i najwyższe plony uzyskano z poletek nawożonych dawką $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$. Dlatego w uprawie sorga ważne jest dobranie optymalnej dawki nawożenia mineralnego dla potrzeb konkretnej odmiany.
6. Badane odmiany nie różniły się istotnie wielkością plonu ziarna, mimo, że należały one do różnych grup wczesności. Spośród badanych odmian wyróżniała się pod tym względem odmiana średnio-wczesna Capello CS, która wydała 7,9 t ziarna z 1 ha, niezależnie od pozostałych czynników i lat badań. Najmniejszy plon ziarna stwierdzono natomiast dla odmiany wczesnej Friggo, która w tych samych warunkach klimatyczno-glebowych wydała plon o 17% mniejszy.
7. Termin siewu wpływał istotnie na niektóre cechy budowy morfologicznej sorgo (długość wiechy, liczba rozgałęzień pierwszego rzędu wiechy), parametry fizjologiczne (indeks zieloności liści) oraz elementy struktury plonu. Wczesny termin siewu wpływał pozytywnie na zwiększenie długości wiechy, liczby gałązek w wieszce i indeksu zieloności liści oraz większość elementów struktury plonu. Liczba wiech na jednostce powierzchni, masa pojedynczej wiechy, masa i liczba ziaren z pojedynczej wiechy były największe u roślin wysianych w terminie wczesnym, a opóźnienie terminu siewu wpłynęło istotnie na obniżenie ww. elementów struktury plonu. Jedynie obsada roślin na jednostce powierzchni zwiększała się istotnie w miarę opóźnienia terminu siewu, co związane było z lepszymi warunkami termicznymi podczas kiełkowania i wschodów.
8. Nie stwierdzono wyraźnej reakcji MTZ oraz jakości ziarna i mąki z pełnego przemiału tj. liczby opadania, początkowej i końcowej temperatury kleikowania oraz maksymalnej lepkości zawiesiny mąki w wodzie, na termin siewu.

9. Nawożenie mineralne azotem miało istotny wpływ jedynie na indeks zieloności liści oraz cechy jakościowe ziarna tj. liczbę opadania, początkową temperaturę kleikowania oraz maksymalną lepkość zawiesiny. Zwiększenie dawki nawożenia mineralnego azotem z 40 do 160 kg·ha⁻¹ N spowodowało zwiększenie indeksu zieloności liści o blisko 7% oraz istotne zmniejszenie liczby opadania o 8%, z ok. 300 do 275 s i maksymalnej lepkości zawiesiny - o 12%, z ok. 1980 do 1740 AU. Wraz ze wzrostem stosowanego azotu z 40 do 160 kg·ha⁻¹ N zaobserwowano natomiast wzrost wartości początkowej temperaury kleikowania o 1,5°C. Na podstawie tych wyników można stwierdzić, że ziarno sorga charakteryzowało się średnią lub niską aktywnością enzymu α -amylazy, co świadczy o jego dobrej jakości. Ziarno było dojrzałe, nie było porośnięte, uszkodzone ani porażone.
10. Pod względem przydatności do wypieku chleba mąka sorga z pełnego przemiału cechowała się podobną liczbą opadania (275-300s) jak mąka pszenicy o dobrej jakości. W związku z tym mąkę z sorga (mąka bezglutenowa) można wykorzystać jako dodatek do mąk pszennych lub żytnich o wysokiej aktywności α -amylazy (liczba opadania <80 s dla pszenicy i < 70 s dla żyta) w celu polepszenia ich jakości.
11. Sorgo ziarnowe, zwłaszcza odmiany wczesne, może poszerzyć paletę gatunków zbóż jarych uprawianych na Nizinie Szczecińskiej ze względu na wysoki poziom plonowania, niewielkie wymagania glebowe oraz odporność na suszę. Jednak potrzebne są badania nad aklimatyzacją odpowiednich odmian do warunków klimatycznych Polski.
12. W uprawie sorga w RSD Lipnik nie stosowano żadnych zabiegów zwalczających szkodniki i choroby (progi szkodliwości szkodników nie były przekroczone, nie stwierdzono także objawów chorób grzybowych), środków do regulacji ładu (sorgo ziarnowe nie wylega) i desykantów przed zbiorem, co pozwoliło obniżyć koszty agrotechniki. Trudności sprawiało ograniczenie zachwaszczenia w okresie od siewu do zakrycia międzyrzędzi, zwłaszcza przez chwasty z klasy jednoliściennych (podrodziny prosowatych). Problemem w uprawie sorga ziarnowego, oprócz wyboru optymalnego terminu siewu, jest termin zbioru przypadający często na okres późnego lata lub początku jesieni (w zależności od wczesności odmian), czyli w mało korzystnych warunkach pogodowych (opady atmosferyczne, duża wilgotność powietrza i in.).

6. Piśmiennictwo

1. Aba D.A., Abu E., Chindo P.S., Marle P.S., Maigida D.N., Ogungbile A.O. 2005. Characterization of some released sorghum varieties and for food and industrial utilization in Nigeria. *Agric. Trop. Subtrop.* 38 (2), 1-6.
2. Afify A. E.-M. M., El-Beltagi H.S., Abd El-Salam S.M., Omran A.A. 2012. Oil and Fatty Acid Contents of White Sorghum Varieties under Soaking, Cooking, Germination and Fermentation Processing for Improving Cereal Quality. *Not Bot Horti Agrobo*, 40(1). 86-92.
3. Aghaalikhani M.A., Etemadi F., Ajirlo A.F. 2012. Physiological basic of yield difference in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in a semi-arid environmental. *ARPJ. Agric. Biol. Sci.* 7 (7), 488-496.
4. Agu R. C., Palmer, G. H. 1997. Effect of mashing procedures on some sorghum varieties germinated at different temperatures. *Process Biochemistry*, 32(2), 147–158.
5. Almeida Filho JED., Tardin FD., Souza SÂD., Godinho VDP., Cardoso MJ. 2010. Desempenho agrônômico e estabilidade fenotípica de híbridos de sorgo granífero. *Rev Bras Milho e Sorgo*. 9 (01): 51-64.
6. Almeida Filho JED., Tardin FD., Daher RF., Silva KJD., Xavier Neto JB., Bastos E., Beserra de Menezes C. 2014. Avaliação agrônômica de híbridos de sorgo granífero em diferentes regiões produtoras do Brasil. *Rev. Bras. Milho e Sorgo*. 13(1), 82-95.
7. Almodares A., Darany S.M.M. 2006. Effects of planting date and time of nitrogen application on yield and sugar content of sweet sorghum. *J. Environ. Biol.* 27(3), 601-605.
8. Almodares A., Sharif M.E. 2007. Effects of irrigation water qualities on biomass and sugar contents of sugar beet and sweet sorghum cultivars. *J. Environ. Biol.* 28, 213-218.
9. Almodares A., Hadi M.R., Ahmadpour H. 2008a. Sorghum stem yield and soluble carbohydrates under phenological stages and salinity levels. *Afr. J. Biotechnol.* 7, 4051-4055.
10. Almodares A., Taheri R., Chung IM., Fathi M. 2008b. The effect of nitrogen and potassium fertilizers on growth parameters and carbohydrate contents of sweet sorghum cultivars. *J. of Environmental Biology*, 29(6), 849-852.

11. Amir B., Mueen-un-din G., Abrar M., Mahmood S., Nadeem M., Mehmood A. 2015. Chemical composition, rheological properties and cookies making ability of composite flours from maize, sorghum and wheat. *J. Agroalimentary Processes and Technologies* 2015, 21(1), 28-35.
12. Argenta G., Silva PD., Bortolini CG., Forsthofer EL., Strieder ML. 2001. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. *Rev Bras Fisiol Veg.* 13(2), 158-167.
13. Ashbell G., Weinberg Z. G. 1999. Silage from typical cereals and forage crops. In: *Silage making in the tropics with particular emphasis on smallholders*. FAO Production and Protection Paper, 161. Proceed. FAO Electronic Conf. on Tropical Silage, Rome, Italy, 1 September - 15 December 1999 (<http://fao.org/ag>).
14. Atokple I. D. K., Oppong G. K., Chikpah S. K. 2014. Evaluation of Grain and Sugar Yields of Improved Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor*) Varieties in the Guinea Savanna zone of Ghana. *Pinnacle Agricultural Research Management*, Vol. 2 (2), 153, 374- 382.
15. Awala S.K., Wilson J.P. 2005. Expression and Segregation of Stay-Green in pearl millet. *Int. Sorghum and Millets Newsl.*, 46, 97-100.
16. Awika J.M, Rooney L.W. 2004. Sorghum phytochemicals and their potencial impact on human health. *Phytochem*; 65:1199-221.
17. Awori E., Kiryowa M., Basirika A., Dradiku F., Kahunza R., Oriba A., Edonia C., Olupot R., Mukalazi J. 2015. Performance of elite grain sorghum varieties in the West Nile Agro-ecological Zones. *Uganda J. of Agricultural Sciences*, 16 (1), 139-148.
18. Baumhardt R.L., Tolk J.A., Winter S.R. 2005. Seeding practices and cultivar maturity effects on simulated dryland grain sorghum yield. *Agron. J.*, 97, 935-942.
19. Baumhardt R.L., Howell T.A. 2006. Seeding practices, cultivar maturity, and irrigation effects on simulated grain sorghum yield. *Agron. J.* 98, 3, 462-470.
20. Bayu W., Rethman N.F.G., Hammes P.S. 2005. Growth and yield compensation in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) as a function of planting density and nitrogen fertilizer in semi-arid areas of northeastern Ethiopia. *South African J. Plant and Soil*, 22(2), 76-83.

21. Berenji J., Dahlberg J. 2004. Perspectives od Sorghun in Europe. *J. Agron. Crop Sci.* 190, 332-338.
22. Bereś P.K. 2012. Damage caused by *Ostrinia nubilalis* HBN. to fodder maize (*Zea mays* L.), sweet maize (*Zea mays* var. *saccharata* [Sturtev.] L.H. Bailey) and sweet sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) near Rzeszów (south-eastern Poland) in 2008-2010. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 11(3), 3-16.
23. Bhatti M.Q.L., Cheema Z.A., Mahmood T. 2000. Efficacy of sorgaab as natural weed inhibitor in raya. *Pak. J. Biol. Sci.* 3 (7), 1128–1130.
24. Bhowmik P.C., Inderjit. 2003. Challenges and opportunities in implementing allelopathy for natural weed management. *Crop Prot.* 22 (4), 661–671.
25. Bielska A., Kwiatkowska-Malina J., Maciejewska A., Skłodowski P., Szafranek A. 2014. Skład gleby. Systematyka i charakterystyka gleb Polski [w:] Piotr Skłodowski (red.) *Podstawy gleboznawstwa z elementami kartografii gleb.* Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ss. 403.
26. Bolsen K.K., Moore K.J., Coblenz W.K., Siefers M.K., White J.S. 2003. Sorghum silage. [w:] D. Buxton, R. Muck, J. Harrison (red.) *Silage science and technology.* *Agronomy* 42, 609-632.
27. Borghi E., Crusciol CAC., Nascente AS., Sousa VV., Martins PO., Mateus GP., Costa C. 2013. Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. *Eur J Agron.* 51: 130-139.
28. Bovey R.W., Dahlberg J.A., Senseman S.A., Miller F.R., Madera-Torres P. 1999. Desiccation and germination of grain sorghum as affected by glufosinate. *Agron. J.* 91: 373-376.
29. Bucheyeki T.L., Shenkalwa E.M., Mapunda T.X., Matata L.W. 2010. Yield performance and adaptation of four sorghum cultivars in Igunga and Nzege districts of Tanzania. *Communications in Biometry and Crop Science* 5 (1), 4–10.
30. Budzyński W., Bielski S. 2004. Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego. Cz.I. Biokomposty paliw płynnych. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 3(2), 5-14.
31. Bujanowicz B., Matras J., Klebaniuk R., Wojtasik J. 2000. Skład mineralny zielonek w zależności od gatunku i fazy wegetacji roślin. *Roczniki UMCS, XVIII(33)*, Lublin, 257-262
32. Burczyk H. 2012. Przydatność jednorocznych roślin, uprawianych do produkcji biomasy na potrzeby energetyki zawodowej. *Probl Inż Rol.*, 75, 59-68.

33. Bury M., Hury G., Dawidowski A., Opatowicz N., Sobolewska M., Świdorska-Ostapiak M., Bashutska U. 2015. Plonowanie sorgo zwyczajnego, odmiany Biomass 150 w zależności od nawożenia siarką. Науковий вісник НЛТУ України. Вип. 25.9, 117-124.
34. Cabangon R., Castillo E., Tuong T.P. 2011. Chlorophyll meter-based nitrogen management of rice grown under alternate wetting and drying irrigation. Field Crop Research, 121, 136-146.
35. Camargo M.B.P., Hubbard K.G. 1999. Drought sensitivity indices for sorghum crop. J. Prod. Agric., 12, 312-316.
36. Cardoso L.M., Pinheiro S.S., Silva L.L., Menezes C.B., Carvalho C.W., Tardin F.D., Queiroz V.A., Martino H.S., Pinheiro-Sant'Ana H.M. 2015. Tocochromanols and carotenoids in sorghum (*Sorghum bicolor* L.): Diversity and stability to the heat treatment. Food Chem., 172, 900–908.
37. Chahrour W., Merzouk Y., Henni J.E., Haddaji M., Kihal M. 2013. Screening and identification of lactic acid bacteria isolated from sorghum silage processes in west Algeria. Afr. J. Biotech. Vol. 12, 1703–1709.
38. Cheema Z.A., Khichi A.H., Khaliq A. 2005. Feasibility of reducing herbicide dose in combination with sorgaab for weed control in transplanted fine rice (*Oryza sativa* L.). Int. J. Agric. Biol. 7 (6), 892–894.
39. Chmielewska J., Dziuba E., Foszczyńska B., Sowiński J. 2014. Ziarno sorgo jako surowiec do produkcji bioetanolu. Przemysł Chemiczny, 93(8), 1390–1392.
40. Choi H., Kim W., Shin M. 2004. Properties of Korean amaranth starch compared to waxy millet and waxy sorghum starches. Starch/Stärke, vol. 56(10), s. 469-477.
41. Chrisi M., Peterson G. 2019. Sorghum and Millets. [w:] Taylor John R.N., Duodu Kwaku G. (red.) Chemistry, Technology and Nutritional Attributes. Second Edition. ICRISAT, AACC International, 34-45.
42. Christiansen K. 2008. Sorghum & Pearl Millet in Zambia: Production Guide. University of Nebraska - Lincoln, INTSORMIL, 9(30), 1-20.
43. Czarnecka M., Koźmiński Cz., Michalska B., Ratajkiewicz H., Leśny J., Mager P., Kasprowicz T., Farat R., Kuchar L., Łabędzki L. 2010. Zmiany klimatu a rolnictwo w Polsce – wpływ, zagrożenia, działania adaptacyjne [w:] Red. E. Bednorz, L. Kolendowicz, Klimat polski na tle klimatu Europy. Zmiany i ich konsekwencje. St.Pr.Geogr.Geol., Bogucki, Wyd. Nauk. Pozn., 16, 203-218.

44. Dahlberg J., Berenji J., Sikora V., Ltkocić D. 2011. Assessing sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) germplasm for new traits: food, fuels and unique uses. *Maydica*. 56, 85-92.
45. Dicko MH, Gruppen H, Traorè AS, Voragen A.G.J., Van Berkel W.J.H. 2006. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. *Afr J Biotech*; 5, 384-395.
46. Dojczew D., Sobczyk M., Grodzicki K., Haber T. 2004. Wpływ porostu ziarna na wartość wypiekową mąki pszennej, pszenżytniej i żytniej. *Acta Sci. Pol. Technologia Alimentaria* 3(2), 127-136.
47. Dykes L, Rooney LW. 2006. Sorghum and millet phenols and antioxidants. *J. Cereal Sci.*; 44, 236-251.
48. Ebadi, M.R; Pourreza, J. Jamalian, J.; Edris, M.A.; Sami. A.H. and Mirhadi, S.A. 2005. Amino acid content and availability in low, medium and high tannin sorghum grain for poultry. *International Journal of Poultry Science*. 1: 27- 31.
49. Fageria N.K., Moreira A. 2011. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. *Adv. Agron.* vol. 110, 251-331.
50. Farooq M., Jabran K., Cheema Z.A., Wahid A., Siddique K.H.M. 2011. The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Manage. Sci.* 67 (5), 493–506.
51. Farre I., Faci J.M. 2006. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agric. Water Manag.* 8(3), 135-316.
52. Fernandez J.C., Fromme D.D., Grichar W.J. 2012. Grain sorghum response to row spacing and plant populations in the Texas Coastal Bend Region. *Int. J. Agron.*, 1-6.
53. Fonseca P.S.B., De Brito M., De Tutaj J.H., Dos Silva A., De. S. Silva J.A.N. 2013. Sorghum submitted to artificial defoliation, *Revista Verde de Agroecologia e De-senvolvimento Sustentavel. Artigos*, 8(3), 60–64.
54. Foszczyńska B., Dziuba E., Chmielewska J., Sowiński J. 2014. Wykorzystanie słodu sorgo do produkcji piwa. *Przemysł Chemiczny*, 93(8), 1444–1446.
55. Frankowski J. 2016. Sorgo ziarnowe – jednoroczna roślina do produkcji bioetanolu, biogazu, biopaliw stałych. *Mag Biomasa*; 8, 24-27.
56. Frankowski J., Burczyk B. 2016. Biomasa jednorocznych roślin energetycznych jako element dywersyfikacji źródeł energii w Polsce. [W:] Skoczko I, Piekutin J, Drobiszewska M. (red). *Inżynieria środowiska – młodym okiem. Ekoenergetyka*. Ofic Wyd. Politechn. Białost, Białystok, 26, 83-109.

57. Frankowski J. 2017. Właściwości odżywcze i lecznicze sorgo (*Sorghum Moench*). *Post. Fitoter.*; 18(3), 209-214.
58. Gadallah M.G.E., Rizk I.R.S., Elsheshetawy HE., Bedeir SH., Abouelazm AM. 2017. Impact of partial replacement of wheat flour with sorghum or chickpea flours on rheological properties of composite blends, *J. of Agricultural and Veterinary Sciences* 10 (1), 83-98.
59. Galbas M., Selwet M., Dullin P., Porzucek F., Skrzypczak W. 2010. Interakcje występujące pomiędzy mikroorganizmami w kiszonkach z sorgo a bakteriami wyizolowanymi z pysków i odbytów krów. *Nauka Przyr. Technol.* 4(6), 77.
60. Galbas M., Selwet M., Borkowski A., Cłapa T., Porzucek F., Skrzypczak W. 2015. The antibacterial properties of silage from different varieties of sorghum. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech.* 322(36)4, 43-50.
61. Gebrekorkos G., Egziabher YG., Habtu S. 2017. Response of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) varieties to blended fertilizer on yield, yield component and nutritional content under irrigation in Raya valley, Northern Ethiopia. *Inter J. Agri. Biosci.* 6(3), 153-162.
62. Geressu K., Gezaghegne M. 2008. Response of some lowland growing sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) accessions to salt stress during germination and seedling growth. *African J. Agric. Research* 3(1), 44-48.
63. Godwin ID, Gray SJ. 2000. Overcoming productivity and quality constraints in sorghum: the role for genetic engineering in transgenic cereals. [W:] O'Brien, L Henry RJ (eds.). *Transgenic cereals*. AACC, St Paul (USA), 153-77.
64. Goode, D. L., Arendt, E. K. 2003. Pilot scale production of a lager beer from a grist containing 50% unmalted sorghum. *Journal of the Institute of Brewing*, 109(3), 208–217.
65. Grzebisz W. 2011. Technologie nawożenia roślin uprawnych - fizjologia plonowania. Tom 1, 9-10.
66. Gul I., Saruhan V., Basbag M. 2005. Determination of yield components and relationship among the components of grain sorghum cultivars grown as main crop. *Asian J. Plant Sci.* 4, 613-618.

67. Haboudane D., Miller J.R., Tremblay N., Zarco-Tejada P.J., Dextraze L. 2002. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, vol. 81, (2-3), 416–426.
68. Habyarimana E., Laureti D., De Ninno M., Lorenzoni C. 2004. Performances of biomass sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] under different water regimes in Mediterranean region. *Ind. Crop Prod.* 20, 23-28.
69. Heckler J.C. 2002. Sorgo e girassol no outono-inverno, em sistema plantio direto, no Mato Grosso do Sul. Brasil. *Ciênc Rural.* 32(03), 517-520.
70. Hiell D. 2012. Gleba w środowisku. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa, 152-154, 166-177.
71. Hiltbrunner J., Stoll P., Buchmann U., Ramseier H. 2013. Experiences with the planting of *Sorghum bicolor* L (Moench) in Switzerland. *Maydica electronic publication* (58), 254-259.
72. Hołubowicz-Kliza G. 2007. Uprawa sorga cukrowego w technologii „mix cropping”. Puławy, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa PIB, Tom 135, 1-12.
73. Hopkins A. 2003. Potential impacts of climate change for grassland: farming industry perceptions, adaptations and mitigation options. *Grass. Sci. in Eur.* 8, 483-486.
74. Hosene R.C., Lineback D.R., Seib P.A. 1978. Role of starch in baked foods. *The Bakers Digest*, 52, 11-17.
75. Jabran K., Cheema Z.A., Farooq M., Hussain M. 2010a. Lower doses of pendimethalin mixed with allelopathic crop water extracts for weed management in canola (*Brassica napus* L.). *Int. J. Agric. Biol.* 12 (3): 335–340.
76. Jabran K., Farooq M., Hussain M., Rehman H., Ali M.A. 2010b. Wild oat (*Avena fatua* L.) and canary grass (*Phalaris minor* Ritz.) management through allelopathy. *J. Plant Prot. Res.* 50 (1), 32–35.
77. Jat R.A., Craufurd P.Q., Sahrawat K.L., Wani S.P. 2012. Climate change and resilient dryland systems: Experiences of ICRISAT in Asia and Africa. *Curr. Sci.*, 102, 1650–1659.
78. Jurga R. 1997. Przetwórstwo zbóż. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne. Warszawa.

79. Kacprzak A., Michalska K., Romanowska-Duda Z., Grzesik M. 2012. Rośliny energetyczne jako cenny surowiec do produkcji biogazu. Kosmos Problemy Nauk Biologicznych, Tom 61, 2 (295), 281-293.
80. Kodeks dobrej praktyki rolniczej. 2004. Duer I., Fotyma M., Madej A. (red.). Wyd. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Ministerstwo Środowiska, Warszawa, ss. 98.
81. Kołodziej B. 2012. Sorgo dwukolorowe *Sorghum bicolor* (L.) Moench. [w]: B. Kołodziej, M. Matyka (red.) Odnawialne źródła energii. Rolnicze surowce energetyczne, PWRiL, Poznań, 329-367.
82. Kopcewicz J., Lewak S. 2018. Fizjologia roślin, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 229.
83. Kordas L., Giemza-Mikoda M., Jabłońska M. 2012. Ocena wartości energetycznej odmian sorga w zależności od terminu, gęstości siewu i nawożenia. *Fragm. Agron.* 29(3), 114-119.
84. Kościelniak W., Dreczka M. 2009. Nowoczesna uprawa zbóż. Wyd. APRA Polska prasa rolnicza, Poznań, ss.240.
85. Kozłowski S., Zielewicz W., Oliwa R., Jakubowski M. 2006. Właściwości biologiczne i chemiczne *Sorghum saccharatum* w aspekcie możliwości jego uprawy w Polsce. *Łąk. Pol.*, 2006, 9, 101-112.
86. Kozłowski S., Zielewicz W., Lutyński A. 2007. Określenie wartości energetycznej *Sorghum saccharatum* (L.) Moench, *Zea mays* L. i *Malva verticillata* L. *Łąk. Pol.*, 10, 131-140.
87. Kozłowski S., Zielewicz w., Potkański A., Cieślak A., Szumacher-Strabel M. 2009. Effect of chemical composition of sugar sorghum and the cultivation technology on its utilization for silage production. *Acta Agron. Hung.* 57, 67-78
88. Krieg D.R., Lascano R.J. 1990. Sorghum. *Irrigation of Agricultural Crops.* American Society of Agronomy, Madison, USA, 719-740.
89. Kruczek A. 2002. Effect of weather conditions on the development and ripening of maize cultivars of different earliness. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 1(1), 99-109.
90. Kruczek A., 2014a. Skład chemiczny sorga cukrowego w zależności od poziomu nawożenia azotem. *Nauka Przyr. Technol.* 8, 3, #37, 1-9.

91. Kruczek A., Skrzypczak W., Waligóra H. 2014a. Porównanie plonowania kukurydzy i sorga uprawianych różnymi metodami przy dwóch sposobach nawożenia nawozem azotowo-fosforowym. *Nauka Przyr. Technol.* 8, 1, #12, 1-12.
92. Kruczek A., 2014b. Wpływ nawożenia azotem na plonowanie sorga. *Fragm. Agron.* 31(2), 34-45.
93. Kruczek A., Skrzypczak W., Waligóra H. 2014b. Reakcja sorga na zróżnicowaną obsadę roślin i rozstawę rzędów w zależności od terminu siewu. *Nauka Przyr. Technol.* 8, 1, #13, 1-11.
94. Księżak J., Bojarszczuk J., Staniak M. 2012a. Ocena plonowania sorga uprawianego systemem ekologicznym w zależności od sposobu pielęgnacji i dawki nawożenia organicznego. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering.* Vol 57(4), 6-9.
95. Księżak J., Bojarszczuk J., Staniak M. 2012b. Produkcyjność kukurydzy i sorga w zależności od poziomu nawożenia azotem. *Pol. J. Agron.* 8, 20-28.
96. Księżak J., Bojarszczuk J., Staniak M. 2012c. Evaluation of yielding of sorghum growing in organic farming depending on cultivation method and doses of organic fertilization. *J. of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 57(4), 6-9.
97. Kugbe J.X., Ayamba M.M., Agyiri W. 2019. Growth, Yield and Yield Components Response of Local Sorghum Varieties to Nitrogenous Fertilizer Rates in Northern Ghana. *World J Agri & Soil Sci.* 3(5), 1-10.
98. Kumari Vinodhana N., Ganesamurthy K. 2010. Evaluation of morpho-physiological characters in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes under post-flowering drought stress. *Electronic J. of Plant Breeding*, 1(4), 585-589.
99. Kurilo V., Marchuk A., Ivanovs S. 2015. Impact of agrotechnical methods on the energetic productivity of sweet sorghum. *J. of Research and Applications in Agricultural Engineering.* Vol. 60(2), 50-53.
100. Laidlaw H.K., Godwin I.D. 2009. Sorghum. *Compendium of transgenic crop plants.* [w:] Ch. Kole, T.C. Hall (eds.) *Transgenic cereals and forage grasses.* Blackwell Publishing Ltd.: 157-176.
101. Lewandowski W.M., Ryms M. 2013. Biopaliwa. Proekologiczne odnawialne źródła energii. *Wyd Nauk-Techn, Warszawa;* 167-169.

102. Lima JD., Sakai RK., Aldrighi M., Sakai M. 2010. Arranjo espacial, densidade e época de semeadura no acúmulo de matéria seca e nutrientes de três adubos verdes. *Pesqui Agropecu Trop.* 40(4), 531-540.
103. Lisowski A., Klonowski J., Strużyk A., Nowakowski T., Waszkiewicz Cz. 2010. Technologie zbioru roślin energetycznych [W:] Rakowski J. (red.), *Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy.* Wydawnictwo Instytutu Energetyki, Warszawa, 121-144
104. Lyumugabe F., Gros J., Nzungize J., Bajyana E., Thonart P. 2012. Characteristics of African traditional beers brewed with sorghum malt: a review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 16(4), 509–530.
105. Machul M., Książak J. 2004. Ocena poziomu plonowania sorga w zależności od sposobu siewu i poziomu nawożenia azotem. Sprawozdanie z badań IUNG Puławy, www.nk.com/media/92850/sorgo%20iung.pdf
106. Marcinek J., Komisarek J., Bednarek R., Mocek A., Skiba S., Wiatrowska K. 2011. Część II. Identyfikacja taksonomicznych jednostek glebowych W: *Roczniki Gleboznawcze. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze. Soil Science Annual. Tom LXII, Nr 3*, 69-134.
107. Marin FR., Pandorfi H., Sentelhas PC., Camargo MD., Hernandez FBT. 2006. Perda de produtividade potencial da cultura do sorgo no Estado de São Paulo. *Bragantia.* 65(1), 157-162.
108. Marsalis M.A., Angadi S.V., Contreras-Goeva F.E. 2010. Dry mater yield and nutritive value of corn, forage sorghum, and BMR forage sorghum at different plant populations and nitrogen rates. *Field Crop. Res.* 116, 52-57.
109. Matyka M., Książak J. 2012. Plonowanie wybranych gatunków roślin, wykorzystywanych do produkcji biogazu. *Problemy Inżynierii Rolniczej. I-III, z. 1(75)*, 69-75.
110. Matyka M., Madej A. 2015. Efektywność ekonomiczna uprawy sorgo w zależności od poziomu nawożenia azotem. *Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu (SERiA), Tom 17, Zeszyt 1*, 149-152.
111. May A., Filipe de Souza V., Geraldo de Amaral G., Gonçalves F.P. 2016. Plant population and row spacing on biomass sorghum yield performance. *Cienc. Rural, Santa Maria*, 46(3), 434-439.

112. McNeill S.G., Montross M.D. 2003. Harvesting, drying, and storing grain sorghum (<http://www.ca.uky.edu>). National Sorghum Producers Yield & Management Contest Results 2011 (<http://www.sorghumgrowers.com>).
113. Meeske R., Basson H.M. 1995. Research note; maize and forage sorghum as silage crops under drought conditions. *Afr. J. Range Forage Sci.*, 12, 133-134.
114. Michalski T., Szulc P., Kowalik I. 2016. Plant parts structure and yielding of sorghum intercropped with maize and spaced alternately in every two rows. *J. Research and Applications in Agricultural Engineering*, Vol. 61(4), 58-64.
115. Miko S., Manga A.A. 2008. Effect of intra-spacing and nitrogen rates on growth and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Var. ICSV 400. *PAT*, 4(2), 66-73.
116. Mocek A. 2015. *Gleboznawstwo*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 447-449, s. 216-231, 467-470.
117. Molski M. 2014. *Nowoczesna kosmetologia - detoksykacja, dieta, ruch*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 194-199.
118. Namoobe C., Nanwal R.K., Kumar P. 2014. Productivity and economics of sorghum varieties for grain as influenced by nitrogen levels in sandy loam soil. *Inter J. Nat. Sci. Res*, 2, 5-11.
119. Nowak-Brzezińska A. 2009. *Statystyczne metody analizy danych [w:] Alicja Wakulicz-Deja (red.) Wybrane zagadnienia analizy danych*. Instytut Informatyki Uniwersytetu Śląskiego, Wyd. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT Andrzej Lang, Katowice, e-book, ss. 190.
120. Ockerby S.E., Midmore D.J., Yule D.F. 2001. Timing and height of defoliation affect vegetative growth and floral development in grain sorghum. *Australian J. Agricultural Research* 52(8), 801–808.
121. Ogbonna A. C. 2011. Current developments in malting and brewing trials with sorghum in Nigeria: A Review. *J. Institute of Brewing*, 117(3), 394–400.
122. Owuor Oyier M., Owuoche J.O., Oyoo M.E., Cheruiyot E., Mulianga B., Rono J. 2017. Effect of Harvesting Stage on Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Genotypes in Western Kenya. *The Scientific World Journal*. 1-10.
123. Patil S.L. 2007. Performance of sorghum varieties and hybrids during postrainy season under drought situations in Vertisols in Bellary, India. *J. SAT Agricultural Research* 5(1), 1-3.

124. PN-EN ISO 3093:2010 Pszenica, żyto i mąki z nich uzyskane, pszenica durum i semolina – Oznaczanie liczby opadania metodą Hagberga-Pertena.
125. PN-EN ISO 7973: 2016-01E. Ziarno zbóż i przetwory zbożowe - Oznaczenie lepkości mąki - Metoda z zastosowaniem amylografu.
126. PN-EN ISO 10390: 1997 Jakość gleby – Oznaczenie pH.
127. PN-EN ISO 11261:2002 Jakość gleby -- Oznaczanie azotu ogólnego -- Zmodyfikowana metoda Kjeldahla.
128. PN-EN ISO 14235:2003 Jakość gleby -- Oznaczanie zawartości węgla organicznego przez utlenianie dwuchromianem(VI) w środowisku kwasu siarkowego(VI).
129. PN-R-04020:1994/Az1:2004 Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczanie zawartości przyswajalnego magnezu.
130. PN-R-04022:1996/Az1:2002 Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczanie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych.
131. Podkówka Z., Podkówka L. 2016. Wykorzystanie sorgo cukrowego (*Sorghum saccharatum*) do produkcji biogazu. Nauka Przyr. Technol., 10, 1, #14. DOI: 10.17306/J.NPT.2016.1.14
132. Podsiadło C., Koszański Z., Jaroszewska A., Kowalewska R. 2013. Wpływ nawadniania kroplowego na plonowanie sorgo cukrowego i kukurydzy na glebie lekkiej. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Nr 2/I, 177-186.
133. Popescu A., Condei R. 2014. Some considerations on the prospects of sorghum crop. Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development. Vol. 14, 3, 295-304
134. Prażak R. 2016. Prospects for sorghum cultivation in Poland. Acta Agrobot. 69(2), 1–8.
135. Pużyński S., Stankowski S., Pużyńska K., Iwański R., Wianecki M., Biel W. 2015. Impact of weed control method and sowing density on yielding of selected winter spelt (*Triticum spelta* L.) cultivars. Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech. 2015, 322(36)4, 103–112.
136. Pyś J.B., Borowiec F., Karpowicz A. 2008. Jakość fermentacji, skład chemiczny i stabilność tlenowa kiszonek z sorgo cukrowego sporządzonych z dodatkiem różnych preparatów kiszonkarskich [W:] T. Michalski (red.) Problemy agrotechniki oraz wykorzystania kukurydzy i sorgo. , UP Poznań, 239-241.

137. Rao SS., Elangovan M., Umahanth AV., Seetharama N. 2008. Characterizing phenology of sorghum hybrids in relation to production management for high yields. [w:] Reddy Belum VS, Ramesh S, Ashok Kumar A and Gowda CLL (eds.). Sorghum Improvement in the New Millennium. Patencheru 502324, Andhra Pradesh, India, 16-22.
138. Razzaq A., Cheema Z.A., Jabran K., Mubshar H., Farooq M., Zafar M. 2012. Reduced herbicide doses used together with allelopathic sorghum and sunflower water extracts for weed control in wheat. J. Plant Protection Research, Vol. 52, 2, 281-285.
139. Rogozińska I., Sadkiewicz J. 2009. Wybrane parametry jakościowe zbóż wpływające na jakość pszenicy oraz wartość wypiekową pieczywa. Część I. Właściwości fizykochemiczne ziarna pszenicy i cechy wypiekowe mąki. Inż. Ap. Chem., 48(2), 118-119.
140. Rolbiecki S., Rolbiecki R., Podsiadło C. 2008. Porównanie reakcji prosa odmiany Gierczyckie na deszczowanie i nawożenie azotem. Acta Agrophysica, 2008, 12(1), 153-162.
141. Ronkiewicz M. 2018. Uprawa sorgo. Warmińsko-Mazurski Ośrodek Doradztwa Rolniczego z siedzibą w Olsztynie. Wydanie I, 1-10.
142. Rooney W.L., Blumenthal J., Bean B., Mullet J. E. 2007. Denisrhas a diadbioerfedtck. VBioful Bod. Bioref. 1, 147-157.
143. Rosell C.M., Rojas J.A., Benedito de Barber C. 2001. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread Quality. Food Hydrocolloids, 15(1), 75–81.
144. Sainju U., Whitehead W., Singh B., Wang S. 2006. Tillage, cover crops, and nitrogen fertilization effects on soil nitrogen and sorghum yields. Europ. J. Agron., 25, 372-382.
145. Salem E.M.M. 2015. Response of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to irrigation, nitrogen and plant density under new valley conditions. Egypt. Egyptian J. Desert Res. 65, 11-30.
146. Sałagan P., Dobek T., Kołosowski P. 2013. Potencjał uzysku biogazu z sorgo cukrowego (*Sorghum bicolor*) odmiany Ród J1052. Inżynieria Rolnicza, 4(147) T.1, s. 291-299.

147. Samborski S., Kozak M., Rozbicki J. 2006. Przydatność chlorofilometru SPAD-502 do określenia plonu ziarna pszenżyta ozimego. *Folia Univ. Agric. Stetin, Ser. Agricultura* 247 (100), 157-162.
148. Sandstedt R.M. 1961. The function of starch in the backing of bread. *The Bakers Digest*, 6, 36-44.
149. Sangoi L., Gracieti M.A., Rampazzo C., Bianchetti P., 2002. Response of Brazilia maize hybrids from different eras to changes in plant density. *Field Crops Res.* 79, 39- 51.
150. Santos E.M., Carvalho da Silva T., Macedo C.H.O., Campos F.S. 2013. Lactic Acid Bacteria in Tropical Grass Silages, R&D for Food, Health and Livestock Purposes M. Kongo. Ed. InTech, Rijeka, Croatia, 335–362.
151. Sawargaonkar G.L., Patil M.D., Wani S.P., Pavani E., Reddy B.V.S.R., Marimuthu S. 2013. Nitrogen response and water use efficiency of sweet sorghum cultivars. *Field Crop Res.* 149, 245-251.
152. Serna-Saldivar S., Chuck-Hernandez C., Perez-Carrillo E., Heredia-Olea E. 2012. Sorghum as a multifunctional crop for the production of fuel ethanol: current status and future trends. *Bioethanol*, 51–74.
153. Shamme SK, Raghavaiah CV, Balemi T, Hamza I. 2016. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Growth, Productivity, Nitrogen Removal, N- Use Efficiencies and Economics in Relation to Genotypes and Nitrogen Nutrition in Kellem- Wollega Zone of Ethiopia, East Africa. *Adv Crop Sci Tech* 4 (3), 218, 1-8.
154. Showemimo F.A. 2007. Grain field response and stability indices in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Commun. Biometry Crop Sci.* 2(1), 68-73.
155. Siddeeg A., Salih Z.A., Babikir H.S.E., Ammar A-F., Ali A-O. 2017. Physicochemical and Sensory Characteristics of Wheat Flour Bread Blends with Sorghum Flour *International J. Agriculture Innovations and Research* Volume 6(3), 566-575.
156. Siegień I. 2007. Cyjanogeneza u roślin i jej efektywność w ochronie roślin przed atakiem roślinożerców i patogenów. *Kosmos Problemy Nauk Biologicznych.* 56, 1-2, 274-275, 155-156.
157. Silva AG., Barros AS., Morães EB., Pires R. 2009. Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do Estado de Goiás. *Pesqui Agropecu Tropical.* 39(2), 168-174.

158. Silva KJ., Menezes CB., Tardin FD., Emygdio B., Souza VF., Carvalho GA., Silva MJ. 2013. Seleção de Híbridos de Sorgo Granífero Cultivados no Verão em Três Localidades. *Rev Bras Milho e Sorgo*. 12(1), 44-53.
159. Singh B.R., Singh D.P. 1995. Agronomic and physiological responses of sorghum maize and pearl millet to irrigation. *Field Crops Res.*, 42, 57-67.
160. Skowera B., Puła J. 2004. Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971-2000, *Acta Agrophysica*, nr 3 (1), 171-177.
161. Skrzypczak W., Waligóra H., Szulc P., Kruczek A. 2009. Ocena skuteczności chwastobójczej i fitotoksyczności herbicydów stosowanych w uprawie sorga. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 49(2), s. 832-836.
162. Słowik E., 2005. Właściwości technologiczne i metody oceny żyta. *Prz. Piek. Cukier.*, 53(3), 6-9.
163. Snider J.L., Raper R.L., Schwabb E. B. 2012. The effect of row spacing and seeding rate on biomass production and plant stand characteristics of non-irrigated photoperiod-sensitive sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Industrial Crops and Products*, 37, 527-535.
164. Sobolewska M., Jaroszevska A., Bury M. 2018. Wpływ nawożenia azotem na właściwości amylograficzne mąki z sorgo. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*. 6, 32-33.
165. Sowiński J., Liszka-Podkowa A. 2008. Wielkość i jakość plonu świeżej i suchej masy kukurydzy (*Zea mays* L.) oraz sorga cukrowego (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) na glebie lekkiej w zależności od dawki azotu. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 7(4), 105-115.
166. Sowiński J. 2009. Porównanie plonowania kukurydzy i sorga cukrowego pod wpływem zróżnicowanych dawek nawożenia azotem. *Pam. Puł.* 151, 649-661.
167. Sowiński J., Szydełko E. 2012. Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na skład chemiczny, wydajność oraz pobranie składników mineralnych przez mieszańca sorga z trawą sudańską. *Polish J. Agronomy*, 8, 37–45.
168. Sowiński J., Szydełko-Rabska E. 2013. Możliwości uprawy sorga ziarnowego, odmiany 251 w warunkach Dolnego Śląska – wyniki wstępne. *Fragm. Agron* 30(4), 138–146.
169. Sowiński J., Kuta Ł. 2015. Analiza ekonomiczna uprawy sorgo ziarnowego w zależności od technologii zbioru. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej* nr 110, 191–203.

170. Sowiński J., Kabała C., Karczewska A., Szydełko-Rabska E., Gałka B. 2016. Content of mineral nitrogen in sandy soils after an application of slow-release fertilisers in sweet sorghum cultivation. *Elem.* 21(4): 1127-1139.
171. Sowiński J., Liszka-Brandau A. 2019. Changes in the chemical compositions of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) stem fractions. *J. Elem.*, 24(1): 71-80.
172. Spanner M., Pierce L.L., Peterson D.L., Running S.W. 1990. Remote sensing of temperate coniferous forest leaf area index. The influence of canopy closure, understory vegetation and background reflectance. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 1 s. 95–111.
173. Stefoska-Needham A., Beck E. J., Johnson S. K. & Tapsell L. C. 2015. Sorghum: an underutilized cereal whole grain with the potential to assist in the prevention of chronic disease. *Food Reviews International*, 31 (4), 401-437.
174. Stępniewska S. 2013. Zależność pomiędzy aktywnością enzymów amylolitycznych a cechami reologicznymi ciasta pszennego. *Acta Agrophysica* 20 (3), 463-472.
175. Sulewska H., Koziara W., Panasiewicz K., Jazic P. 2007. Efekty stosowania nawozów naturalnych w uprawie kukurydzy na ziarno i kiszonkę. *J. Research and Applications in Agricultural Engineering*, Vol. 52(4), 75-79.
176. Sulewska H., Koziara W., Śmiatacz K., Szymańska G., Panasiewicz K. 2013. Yielding of maize hybrids from different maturity groups depending on sowing density. *Fragm. Agron.* 30(4), 156–163.
177. Szafrąńska A. 2011. Ocena wartości wypiekowej mąki żytniej. *Postępy Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego*. t. 66, nr 4, 5-18.
178. Szafrąńska A., Słowik E. 2014. Zmiany właściwości wypiekowych mąki żytniej pod wpływem dodatku alfa-amylazy. *Acta Agrophysica*, 21(2), 233-245.
179. Szempliński W. 2012. *Rośliny rolnicze*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, 111-114.
180. Szumiło G., Rachoń L. 2014. Wpływ terminu siewu i rozstawy rzędów na plonowanie sorga zwyczajnego [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] uprawianego na ziarno. *Ann Univ M Curie-Skłodowska, Sect E, VOL. LXIX(4)*, 1-9.
181. Szumiło G., Rachoń L., Ciszewski J. i Kukuryka J. 2015. Plonowanie odmian sorga i mieszańca sorga zwyczajnego z sorgiem sudańskim w zależności od gęstości siewu przy różnej rozstawie rzędów. *Ann Univ M Curie-Skłodowska, Sect E, Agricultura*, 70, 9-18.

182. Szydełko-Rabska E., Kulczycki G., Sowiński J. 2014. Impact of different forms of nitrogen fertilizer on the content and uptake of microelements in sorghum. *J. Elementology* 19(2), 567-576.
183. Śliwiński B.J., Brzóska F. 2006. Historia uprawy sorgo i wartość pokarmowa tej rośliny w uprawie na kiszonkę. *Post. Nauk. Rol.* 1, 25-37.
184. Śliwiński B.J., Brzóska F. 2009. Uprawa sorgo i wykorzystanie kiszonek w żywieniu krów. *Zespół Wydawnictw i Poligrafii IŻ PIB*, s. 3-36.
185. Tsuchihashi N., Goto Y. 2004. Cultivation of Sweet Sorghum (*Sorghum • bicolor* (L.) Moench) and Determination of its Harvest Time to Make Use as the Raw Material for Fermentation, Practiced during Rainy Season in Dry Land of Indonesia, *Plant Production Science*, 7:4, 442-448.
186. Tsuchihashi N., Goto Y. 2005. Internode Characteristics of Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) during Dry and Rainy Seasons in Indonesia. *Plant Prod. Sci.* 8(5), 601-607.
187. Turgut I., Bilgili U., Duman A., Acikgoz E. 2005. Production of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) increases with increased plant densities and nitrogen fertilizer levels. *Acta Agriculture Scandinavica*, 55(3), 236-240.
188. Uchino H., Takeshi W., Karri R., Sahrawat K.L., Marimuthu S., Wani S.P., Ito O. 2013. Effects of nitrogen application on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in the semi-arid tropical zone of India. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 47 (1), 65-73.
189. Uździcka B., Juszczak R., Sakowska K., Olejnik J. 2012. Związek między wskaźnikiem LAI a spektralnymi wskaźnikami roślinności na przykładzie wybranych gatunków roślin uprawnych. *ITP Woda Środ. Obsz. Wiej.* (IV–VI), t. 12 z. 2 (38), 283–311.
190. Venuto B., Kindiger B. 2008. Forage and biomass feedstock production from hybrid forage sorghum and sorghum-sudangrass hybrids. *Grassland Science*, 54(4), 189-196.
191. Waniska RD. 2000. Structure; phenolic compounds; antifungal proteins of sorghum caryopses. [In:] Arun C, Ranajit B, Hall AJ (eds.). *Proceedings of Technical Institutional Options for Sorghum Grain Mold Management*, Patancheru (India), 72-106.

192. Węglarzy K., Podkówa W. 2010. W: (red.) Agrobiogazownia. Instytut Zootechniki, PIB, Zakład Doświadczalny Instytutu Zootechniki, Grodziec Śląski, ss.156.
193. Wilczek M. Jasińska Z., Kotecki A. 2003. Szczegółowa uprawa roślin [w]: Zofia Jasińska i Andrzej Kotecki (red.). Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Tom 2, ss. 157.
194. Witkowski T., Foszczyńska B., Chmielewska J., Sowiński J. 2017. Sorgo jako komponent piw specjalnych. *Acta Sci. Pol. Biotechnol.*, 16 (1–4), 107–114.
195. Wolska R., Ceglińska A., Drabarczyk vel Grabarczyk E. 2011. Wpływ dodatku mąki i płatków z szarłat na jakość chleba pszennego. *Acta Agrophysica*. 17(1), 219-228.
196. Wondesen S., Tekle Y. 2014. Collection, characterization and evaluation of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) landraces from South omo and Segen peoples zone of South Nation Nationality Peoples Region, Ethiopia. *Int Res J Agric Sci. Soil Sci.*, 4, 76-84.
197. Wrzeńska E., Pużyński S., Nurkiewicz G. 2017. Wpływ międzyplonu ścierniskowego na plonowanie jęczmienia jarego. *Fragm. Agron.* 34(2), 115–123.
198. Yoo S.H., Jane J. 2002. Structural and physical characteristics of waxy and other wheat starches. *Carbohydrate Polymers*, 49(3), s. 297-305.
199. Zandonadi CHS., Albuquerque CJB., Soares de Freitas R. 2016. Chlorophyll index (SPAD) and macronutrients relation and productive performance of sorghum hybrids in different sowing dates. *Australian Journal of Crop Science*. 10(4), s. 546-555.
200. Zhao D., Reddy K., Kakani V., Reddy V. 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *Eur. J. Agron.* 22, s. 391-403.
201. Zotarelli L., Cardoso EG., Piccinin JL., Urquiaga S., Boddey RM., Torres E., Alves BJR. 2003. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho. *Pesqui Agropecu Brasi*. 38(9), s.1117-1122.

Źródła internetowe:

Anonim 1 Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej. 2011. Wspólny Katalog Odmian Roślin Rolniczych, C 380A/1 z dnia 29.12.2011, 30. pełne wydanie <http://www.infor.pl/download/site/pl/oj/2011/ca380/ca38020111229p100010671.pdf>

Dostęp: 29.12.2011r.

Anonim 2 Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej. 2012. Wspólny Katalog Odmian Roślin Rolniczych, C 402A/1 z dnia 29.12.2012, 31. pełne wydanie

<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/512848e9-50c5-11e2-9294-01aa75ed71a1/language-en> Dostęp: 29.12.2012r.

Anonim 3 Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej. 2014. Wspólny Katalog Odmian Roślin Rolniczych, C 68A/0 z dnia 7.03.2014, 32. pełne wydanie

<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/65210f9a-a5d1-11e3-8438-01aa75ed71a1/language-en> Dostęp: 7.03.2014r.

Anonim 4 <https://www.caussade-nasiona.pl/sorgo-trawa-sudanska/> Dostęp: 2014r.

Anonim 5 <https://www.caussade-semences.it/file/sorgo/granella/capello.pdf> Dostęp: 2014r.

Anonim 6 <https://euralis-seeds.com/wp-content/uploads/2018/10/Sorghum-Seeds-offer-Euralis-Semences-2018.pdf> Dostęp: 2014r.

Anonim 7

<https://ragt-semences.fr/sites/default/files/public/medias/variety/pdfs/Fiche%20Technique%20LEGGOO.pdf> Dostęp: 2014r.

Anonim 8 <https://ragt-semences.fr/fr-fr/nos-varietes/iggloo-sorgho> Dostęp: 2014r.

Anonim 9 <http://www.uwm.edu.pl/kpichsr/ftp/chemia.pdf> Dostęp:

Anonim10

<http://zbpp.com.pl/files/File/Instrukcje/instrukcje%202010/instrukcja%20obsługi%20liczba%20opadania.pdf> Dostęp: 2014r.

Anonim 11 <https://nebraskawheat.com/wp-content/uploads/2014/01/WheatFlourTestingMethods.pdf> Dostęp: 2016r.

Spis tabel

1. Tabela 1. Skład granulometryczny i kategoria agronomiczna poziomu próchnicznego z pól doświadczalnych
2. Tabela 2. Odczyn gleby, zawartość substancji organicznej, ogólnych form azotu i węgla oraz przyswajalnych form P, K i Mg w glebie przed siewem sorgo
3. Tabela 3. Średnie dekadowe i średnie miesięczne temperatury powietrza [°C] panujące w okresie wegetacyjnym sorgo ziarnowego w Lipniku (2014-2016) z uwzględnieniem wielolecia 1961-2004
4. Tabela 4. Sumy dekadowe i sumy miesięczne opadów atmosferycznych [mm] występujących w okresie wegetacyjnym sorgo ziarnowego w Lipniku (2014-2016) z uwzględnieniem wielolecia 1961-2004
5. Tabela 5. Sumy dekadowe i miesięczne usłonecznienia rzeczywistego [h] panujące w okresie wegetacyjnym sorgo ziarnowego w Lipniku (2014-2016) z uwzględnieniem wielolecia 1961-2004
6. Tabela 6. Charakterystyka wilgotnościowa wybranych miesięcy (IV-X) w trzech analizowanych okresach wegetacyjnych 2014-2016 z uwzględnieniem wielolecia 1961-2004
7. Tabela 7. Średnie dekadowe temperatury gleby [°C] na głębokości 5cm panujące w okresie wegetacyjnym sorgo ziarnowego w Lipniku (2014-2016) z uwzględnieniem wielolecia 1961-2004
8. Tabela 8. Istotność zróżnicowania wyników wysokości roślin, średnicy łodygi, średnicy dokłosa, długości wiechy, liczby rozgałęzień wiechy oraz parametrów fizjologicznych (Indeks zieloności, LAI)
9. Tabela 9. Wysokość roślin sorgo [cm] w zależności od terminu siewu i poziomu nawożenia mineralnego azotem w poszczególnych latach
10. Tabela 10. Wysokość roślin [cm] poszczególnych odmian sorgo w kolejnych latach badań
11. Tabela 11. Średnica łodygi sorgo [mm] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań
12. Tabela 12. Średnica dokłosa [mm] w zależności od terminu siewu i odmiany w poszczególnych latach
13. Tabela 13. Długość wiechy sorgo [cm] w zależności od terminu siewu i odmiany w poszczególnych latach

14. Tabela 14. Liczba rozgałęzień pierwszego rzędu [szt.] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań
15. Tabela 15. Indeks zieloności liści [SPAD] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań
16. Tabela 16. Wskaźnik pokrycia liściowego LAI [$m^2 \cdot m^{-2}$] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań
17. Tabela 17. Istotność zróżnicowania wyników elementów struktury plonu, masy tysiąca ziaren i plonu ziarna
18. Tabela 18. Liczba roślin sorgo [szt. $\cdot m^{-2}$] w zależności od terminu siewu w poszczególnych latach
19. Tabela 19. Liczba wiech sorgo [szt. $\cdot m^{-2}$] w zależności od terminu siewu w poszczególnych latach
20. Tabela 20. Współczynnik krzewistości sorgo [szt. $\cdot roślina^{-1}$] w zależności od terminu siewu w poszczególnych latach
21. Tabela 21. Masa wiechy sorgo [g] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań
22. Tabela 22. Masa ziaren z pojedynczej wiechy [g] w zależności od terminu siewu i odmiany w poszczególnych latach
23. Tabela 23. Liczba ziaren z jednej wiechy [szt.] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań
24. Tabela 24. MTZ [g] w zależności od terminu siewu i odmiany w poszczególnych latach
25. Tabela 25. MTZ [g] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań
26. Tabela 26. Plon ziarna sorgo [$t \cdot ha^{-1}$] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań
27. Tabela 27. Wpływ terminu siewu na wielkość plonu ziarna [$t \cdot ha^{-1}$] poszczególnych odmian sorgo w latach 2014-2016
28. Tabela 28. Wpływ poziomu nawożenia mineralnego azotem na wielkość plonu ziarna poszczególnych odmian sorgo w latach 2014-2016

29. Tabela 29. Istotność zróżnicowania wyników liczby opadania i oceny amylograficznej: początkowa temperatura kleikowania, końcowa temperatura kleikowania, maksymalna lepkość zawiesiny
30. Tabela 30. Ocena wartości liczby opadania mąki pszennej i żytniej wg ZBPP
31. Tabela 31. Wartości liczby opadania [s] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań
32. Tabela 32. Początkowa temperatura kleikowania [°C] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań
33. Tabela 33. Końcowa temperatura kleikowania [°C] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań
34. Tabela 34. Maksymalna lepkość zawiesiny [AU] w zależności od terminu siewu, poziomu nawożenia mineralnego azotem i odmiany oraz lat badań
35. Tabela 35. Zależność plonu od parametrów budowy morfologicznej i parametrów fizjologicznych
36. Tabela 36. Zależność plonu od elementów struktury plonu
37. Tabela 37. Zależność plonu od parametrów jakości ziarna
38. Tabela 38. Zależność plonu od parametrów budowy morfologicznej, elementów struktury plonu i jakości ziarna w roku 2014 (Współczynniki korelacji Pearsona)
39. Tabela 39. Zależność plonu od parametrów budowy morfologicznej, elementów struktury plonu i jakości ziarna w roku 2015 (Współczynniki korelacji Pearsona)
40. Tabela 40. Zależność plonu od parametrów budowy morfologicznej, elementów struktury plonu i jakości ziarna w roku 2016 (Współczynniki korelacji Pearsona)
41. Tabela 41. Zależność plonu od parametrów budowy morfologicznej, elementów struktury plonu i jakości ziarna w latach 2014-2016

Aneks



Fot. 1. Siew sorgo 29.04.2014 rok.



Fot. 2. Sorgo podczas okresu wegetacyjny w 2015 roku.



Fot. 3. Różnice między terminami siewu i odmianami (2015 r.).



Fot. 4. Różnice w pokroju roślin między terminami siewu w 2015 r. (po lewo siew w terminie optymalnym, po prawej – siew późny)



Fot. 5. Pomiar zieloności liści przy pomocy Chlorophyll Meter SPAD 502Plus



Fot. 6. Różnica między optymalnym a późnym terminem siewu w 2016 r.



Fot. 7. Początek kwitnienia sorgo (2016r.).

Tabela 38. Zależność plonu od parametrów budowy morfologicznej, elementów struktury plonu i jakości ziarna w roku 2014 (Współczynniki korelacji Pearsona)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Masa wiechy | Liczba rozgałęzień I-rzędu wiechy | Masa ziaren z wiechy | Liczba ziaren z wiechy | MTZ | Liczba opadania | Początkowa temp. kiełkowa- nia | Końcowa temp. kiełkowa- nia | Maks. lepkość zawiesiny |
|-------------------------------|---|---|------|---------|---------|----------|------|------|-----------|-----------|-------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------|-----------|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Plon ziarna | 1 | | n.i. | n.i. | 0,418** | n.i. | n.i. | n.i. | -0,531*** | 0,616*** | 0,663*** | 0,446** | 0,727*** | 0,581 | 0,686*** | -0,478** | 0,408** | n.i. | n.i. |
| Wysokość roślin | | 1 | | 0,452** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | 0,558*** | -0,535*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | -0,754*** | 0,510*** | -0,635*** | -0,512*** | n.i. |
| Średnica łodygi | | | 1 | | 0,499** | 0,523*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | 0,459** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| Długość wiechy | | | | 1 | | 0,648*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | 0,512*** | 0,460** | 0,627*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| Średnica dokłosa | | | | | 1 | | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | 0,593*** | 0,417** | 0,718*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| Indeks zieloności | | | | | | 1 | n.i. | n.i. | n.i. | 0,440** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| LAI | | | | | | | 1 | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| Obsada roślin | | | | | | | | 1 | -0,814*** | -0,483** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | -0,569*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| Obsada wiech | | | | | | | | | 1 | 0,601*** | 0,546*** | n.i. | 0,546*** | n.i. | 0,648*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| Masa wiechy | | | | | | | | | | 1 | 0,778*** | 0,431** | 0,778*** | 0,609*** | 0,483** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| Liczba gałązek I-rzędu wiechy | | | | | | | | | | | 1 | 0,546*** | 0,546*** | 0,536*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |

Tabela 39. Zależność plonu od parametrów budowy morfologicznej, elementów struktury plonu i jakości ziarna w roku 2015 (Współczynniki korelacji Pearsona)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|--|----------------|-------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|----------------------|---------|------------------|-----------------|----------------|--|----------------------------|------------------------------|------|-------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------|----|
| | Plon ziarna | Wyso- kość roślin | Średnica łodygi | Długość wiechy | Średnica dokłosa | Indeks zieloności | LAI | Obsada roślin | Obsada wiech | Masa wiechy | Liczba rozgałę- zień I- rzędu wiechy | Masa ziaren z wiechy | Liczba ziaren z wiechy | MTZ | Liczba opada- nia | Początko- wa temp. kleikowa- nia | Końcowa temp. kleikowa- nia | Maks. lepkość zawiesiny | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plon ziarna | 1 | 0,553*** | n.i. | 0,667*** | 0,707*** | 0,465** | n.i. | -0,709*** | 0,706*** | 0,759*** | 0,529*** | 0,904*** | 0,734*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | |
| Wysokość roślin | | 1 | n.i. | 0,671*** | 0,557*** | n.i. | 0,443** | -0,718*** | 0,600*** | 0,691*** | n.i. | 0,581*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | |
| Średnica łodygi | | | 1 | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | |
| Długość wiechy | | | | 1 | 0,774*** | 0,436** | n.i. | -0,749*** | 0,802*** | 0,780*** | n.i. | 0,641*** | 0,630*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | |
| Średnica dokłosa | | | | | 1 | n.i. | n.i. | -0,632*** | 0,726*** | 0,796*** | 0,587*** | 0,754*** | 0,762*** | n.i. | n.i. | n.i. | -0,406** | n.i. | |
| Indeks zieloności | | | | | | 1 | n.i. | -0,519*** | 0,532*** | 0,573*** | n.i. | 0,504*** | 0,571*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | |
| LAI | | | | | | | 1 | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | |
| Obsada roślin | | | | | | | | 1 | -0,819*** | -0,783*** | -0,410** | -0,707*** | -0,682*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | |
| Obsada wiech | | | | | | | | | 1 | 0,797*** | n.i. | 0,726*** | 0,790*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | |
| Masa wiechy | | | | | | | | | | 1 | 0,585*** | 0,772*** | 0,696*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | |
| Liczba rozgałęzień I-rzędu wiechy | | | | | | | | | | | 1 | 0,579*** | 0,594*** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | |

Tabela 40. Zależność plonu od parametrów budowy morfologicznej, elementów struktury plonu i jakości ziarna w roku 2016 (Współczynniki korelacji Pearsona)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|--|----------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------|------------------|-----------------|----------------|--|----------------------------|------------------------------|----------|--------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------|
| | Plon ziarna | Wysokość roślin | Średnica łodygi | Długość wiechy | Średnica dokłosa | Indeks zieloności | LAI | Obsada roślin | Obsada wiech | Masa wiechy | Liczba rozgałęzień I-rzędu wiechy | Masa ziaren z wiechy | Liczba ziaren z wiechy | MTZ | Liczba opadania | Początkowa temp. kleikowania | Końcowa temp. kleikowania | Maks. lepkość zawiesiny | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plon ziarna | 1 | 0,746*** | n.i. | n.i. | n.i. | 0,415** | n.i. | -0,633*** | 0,748*** | 0,675*** | 0,591*** | 0,714*** | 0,640*** | n.i. | n.i. | 0,446** | n.i. | | |
| Wysokość roślin | 1 | 1 | 0,431** | n.i. | n.i. | 0,422** | -0,516*** | -0,677*** | 0,849 | 0,759*** | 0,585*** | 0,659*** | 0,623 | n.i. | 0,469** | 0,592*** | -0,405** | | |
| Średnica łodygi | 1 | 1 | 1 | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | 0,426 | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | |
| Długość wiechy | 1 | 1 | 1 | 1 | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| Średnica dokłosa | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| Indeks zieloności | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | n.i. | -0,529*** | n.i. | 0,450** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| LAI | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | n.i. | -0,473** | n.i. | -0,470** | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. | n.i. |
| Obsada roślin | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -0,762*** | -0,623*** | n.i. | -0,482** | n.i. | -0,424** | n.i. | -0,510*** | -0,536*** | 0,476** | |
| Obsada wiech | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,794*** | 0,587*** | 0,706*** | 0,658*** | n.i. | 0,521*** | 0,707*** | -0,562*** | | |
| Masa wiechy | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,611*** | 0,857*** | 0,769*** | n.i. | n.i. | 0,539** | -0,405** | | |
| Liczba rozgałęzień I-rzędu wiechy | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,696*** | 0,688*** | n.i. | n.i. | 0,497** | n.i. | n.i. | |

Tabela 41. Zależność plonu od parametrów budowy morfologicznej, elementów struktury plonu i jakości ziarna w latach 2014-2016

| | Plon ziarna | Wyso- kość roślin | Średnica łodygi | Średnica długość wiechy | Średnica dokłosa zieleności | Indeks zieleności | LAI | Obsada roślin | Obsada wiech | Masa wiechy | Liczba rozgąte- żeń I- rzędu wiechy | Masa ziaren z wiechy | Liczba ziaren z wiechy | MTZ | Liczba opadania | Początko- wa temp. kolekowa- nia | Końcowa temp. kolekowa- nia | Maks. lepkość zawiesiny |
|---|----------------|-------------------------|--------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------|--------|------------------|-----------------|----------------|---|----------------------------|------------------------------|---------|--------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| Plon ziarna | 1 | 0,442** | 0,026 | 0,612*** | 0,575*** | 0,641*** | -0,191 | -0,770*** | 0,812*** | 0,840*** | 0,632*** | 0,864*** | 0,729*** | 0,434** | -0,281* | 0,291* | 0,205 | -0,284* |
| Wysokość roślin | 1 | | 0,293 | 0,297 | 0,404** | 0,362* | 0,008 | -0,523*** | 0,514*** | 0,498*** | 0,307* | 0,437** | 0,516*** | -0,074 | 0,120 | -0,070 | -0,020 | -0,054 |
| Średnica łodygi | 1 | | 1 | 0,325* | 0,475** | -0,141 | -0,246 | 0,187 | -0,095 | 0,013 | 0,091 | 0,113 | 0,351* | -0,352* | 0,561*** | -0,454*** | -0,309* | 0,165 |
| Długość wiechy | | | | 1 | 0,670*** | 0,268 | -0,158 | -0,346* | 0,522*** | 0,601*** | 0,600*** | 0,630*** | 0,710*** | 0,040 | -0,098 | 0,028 | -0,038 | -0,417** |
| Średnica dokłosa | | | | | 1 | 0,264 | -0,197 | -0,285 | 0,417*** | 0,546*** | 0,687*** | 0,623*** | 0,803*** | -0,188 | 0,228 | -0,340* | -0,257 | -0,255* |
| Indeks zieleności | | | | | | 1 | 0,146 | -0,610*** | 0,551*** | 0,591*** | 0,272 | 0,520*** | 0,453*** | 0,210 | -0,294 | 0,301* | 0,177 | -0,383* |
| LAI | | | | | | | 1 | 0,094 | -0,158 | -0,165 | -0,204 | -0,221 | -0,146 | -0,261 | -0,135 | -0,078 | 0,002 | -0,182 |
| Obsada roślin | | | | | | | | 1 | -0,882*** | -0,776*** | -0,426** | -0,698*** | -0,528*** | -0,390* | 0,344* | -0,432*** | -0,308* | 0,186 |
| Obsada wiech | | | | | | | | | 1 | 0,854*** | 0,566*** | 0,805*** | 0,676*** | 0,331* | -0,312* | 0,384* | 0,313* | -0,267 |
| Masa wiechy | | | | | | | | | | 1 | 0,644*** | 0,895*** | 0,789*** | 0,342* | -0,257 | 0,288 | 0,297 | -0,230 |
| Liczba rozgąteń I-rzędu wiechy | | | | | | | | | | | 1 | 0,723*** | 0,751*** | 0,055 | -0,054 | -0,014 | -0,043 | -0,290 |

| c.d. tabeli 41 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
|------------------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----------|--------|-----------|-----------|----------|----|----------|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa ziaren z wiewchy | | | | | | | | | | | | | 1 | 0,881*** | 0,388* | -0,185 | 0,237 | 0,275 | | -0,214 |
| Liczba ziaren z wiewchy | | | | | | | | | | | | | | 1 | -0,062 | 0,065 | -0,147 | -0,026 | | -0,268 |
| MTZ | | | | | | | | | | | | | | | 1 | -0,420*** | 0,724*** | 0,577*** | | 0,165 |
| Liczba opadania | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | -0,654*** | -0,337* | | 0,460*** |
| Początkowa temp. kleikowania | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0,681*** | | -0,172 |
| Końcowa temp. kleikowania | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | -0,046 |
| Maks. lepkość zawiesiny | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |

Objasnienia:

Wartości współczynników: <0,2 - korelacja słaba (praktycznie brak związku), 0,2 – <0,4 - korelacja niska (zależność wyraźna), 0,4 – <0,6 - korelacja umiarkowana (zależność istotna), 0,6 – <0,8 - korelacja wysoka (zależność znaczna – wysoce istotna), 0,8 – <0,9 - korelacja bardzo wysoka (zależność bardzo duża), 0,9 – <1,0 - zależność praktycznie pełna

¹ Istotność współczynników korelacji: *** $\alpha \leq 0,001$, ** $\alpha \leq 0,01$, * $\alpha \leq 0,05$