

## 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>) were obtained in a year with favorable meteorological conditions (in 2014), while smaller grain yields by about 22% (6.4 Mg·ha<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>, independently of the other experiment factors. Further increase of fertilization to 160 kg·ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> N, while in 2015 the highest yield was obtained after applying the dose of 120 kg·ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> N caused a significant increase of the grain yield, and a further increase to 160 kg·ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> N (by approx. 6,8%) compared to the leaf greenness index recorded by 40 kg·ha<sup>-1</sup> N. The mineral fertilization caused a decrease of the falling number from ca. 300 s after the application of 40 kg·ha<sup>-1</sup> N to about 275 s after the application of the highest dose of mineral fertilization (160 kg·ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>



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

## 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>, uzyskano w roku o korzystniejszych warunkach meteorologicznych (w 2014 roku), natomiast niższe o ok. 22% plony ziarna (ok. 6,4 t·ha<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup> N, średnio z lat badań, spowodowało istotny wzrost plonu ziarna o ok. 15% z ok. 6,5 do 7,5 Mg·ha<sup>-1</sup>, niezależnie od pozostałych czynników doświadczenia. Dalsze zwiększenie nawożenia mineralnego do 160 kg·ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> N, natomiast w roku 2015 największy plon uzyskano po zastosowaniu dawki 120 kg·ha<sup>-1</sup>N.

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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> N spowodowało istotny wzrost plonu ziarna, a dalsze zwiększenie dawki azotu do 160 kg·ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> N (o ok. 6,8%) w porównaniu do wartości indeksu zieloności liści zanotowanych przy dawce 40 kg·ha<sup>-1</sup> N. Zastosowane nawożenie mineralne azotem wpłynęło na jakość ziarna i spowodowało obniżenie liczby opadania z ok. 300 s po zastosowaniu 40 kg·ha<sup>-1</sup> N do ok. 275 s po zastosowaniu największej dawki azotu mineralnego (160 kg·ha<sup>-1</sup> N), co może świadczyć o niskiej aktywności  $\alpha$ -amylazy. Zwiększenie nawożenia mineralnego azotem spowodowało zwiększenie początkowej temperatury kleikowania z 77,3°C do 78,8°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°C), zaś najwyższa – w próbkach odmiany Balto CS (79,5°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