

MAŁGORZATA GOŁĘBIEWSKA¹EDWARD WRÓBEL²¹ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin Radzików, Oddział w Młochowie² Katedra Agrotechnologii i Zarządzania Produkcją Roślinną, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Wpływ nawożenia azotem na plonowanie kukurydzy*

The effect of nitrogen fertilization on yielding of maize

Podstawę opracowania stanowią wyniki trzyletnich, ścisłych badań polowych nad wpływem zróżnicowanego nawożenia azotem: 0 (kontrola), 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270 kg N·ha⁻¹ na plonowanie dwóch odmian kukurydzy: Junak i Boruta. W pracy uwzględniono wpływ stosowanych dawek azotu na plon ziarna kukurydzy, plon energii netto i białka ogółem. Ponadto określono efektywność rolniczą 1 kg azotu. Zastosowanie odpowiednio zwiększonego nawożenia azotem wpłynęło na wzrost plonu ziarna odmiany Junak z 64,4 dt·ha⁻¹ w obiekcie kontrolnym do 93,4 dt·ha⁻¹ po zastosowaniu dawki 270 kg N·ha⁻¹. Plon ziarna odmiany Boruta wzrósł odpowiednio z 70,3 dt·ha⁻¹ do 93,3 dt·ha⁻¹. Wysoką efektywność rolniczą 1 kg azotu u kukurydzy uzyskano przy dawce 30 kg N·ha⁻¹. Przy wyższych dawkach N, produktywność jednostkowa azotu znacznie się zmniejszała. Plon białka wahał się od 5,0 dt·ha⁻¹ do 10,7 dt·ha⁻¹ w zależności od dawki nawozu i odmiany. Najwyższy plon białka oraz wartość energetyczną plonu ziarna z 1 ha uzyskano stosując azot w dawce 240 kg N·ha⁻¹.

Słowa kluczowe: kukurydza, nawożenie azotem, odmiana, plon ziarna, plon energii netto i białka ogółem

The results were obtained in the 3-years field trials aimed to evaluate the effects of different doses of nitrogen: 0 (the control), 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270 kg N·ha⁻¹ on yielding of two maize cultivars: Junak and Boruta. The effects of nitrogen on grain yield net energy and a total protein were assessed. Agricultural efficiency of 1 kg of nitrogen was assessed. The application of nitrogen fertilization increased grain yield of the cultivar Junak from 64,4 dt·ha⁻¹ (control) to 93,4 dt·ha⁻¹ at the dose of 270 kg N·ha⁻¹. Grain yield of the cultivar Boruta increased from 70,3 dt·ha⁻¹ to 93,3 dt·ha⁻¹, respectively. High agricultural efficiency of the applied nitrogen was found for the dose of 30 kg N·ha⁻¹. At higher nitrogen doses the efficiency was lower. The protein yield ranged from 5,0 dt·ha⁻¹ to 10,7 dt·ha⁻¹, depending on the N-dose and cultivar. The highest yield of protein and the highest energy value of the yield were recorded at the dose of 240 kg N·ha⁻¹.

Key words: cultivar, grain yield, nitrogen fertilization, maize, yield of total protein, net yield of energy

* Plon ziarna i białka oraz zawartość białka ogółem w ziarnie kukurydzy opisali również Bogucka i wsp. (2008)

WSTĘP

W Polsce istnieją olbrzymie przyrodnicze i ekonomiczne możliwości zwiększenia produkcji ziarna paszowego kukurydzy, co mogłoby ograniczyć jego import (Sulewska 1997). Według wielu ekonomicznych opracowań, uprawa kukurydzy na ziarno jest obok pszenicy najbardziej opłacalna spośród wszystkich gatunków roślin rolniczych uprawianych w Polsce (Graff, 1997; Kwaczyńska, Cieślak, 1997; Rynek zbóż stan..., 2007). Na wysokość i jakość zbieranego plonu w 70% wpływa agrotechnika, a w 30% warunki klimatyczne (Dubas, 1988).

Kukurydza jest rośliną o dużym potencjale plonotwórczym i znacznych potrzebach pokarmowych. Na wytworzenie 1 dt ziarna wraz z odpowiednią ilością słomy kukurydza pobiera 2,9 kg N, 0,57 kg P, 2,74 kg K, 0,57 kg Ca oraz 0,54 kg Mg (Dubas, 2003). Duże wymagania pokarmowe sprawiają, że znaczny wpływ na wielkość jej plonów wywiera nawożenie, szczególnie azotem (Bober, Błażej 1991; Gonet, Stadejek, 1990; Grzebisz i in., 1993; Fotyma, 1994; Jankowiak i in., 1997; Rabikowska, 1999).

Zwiększenie wielkości plonów ziarna przez intensyfikację nawożenia azotem można stymulować tylko do pewnego poziomu, po przekroczeniu którego może nastąpić jego obniżenie (Fotyma, 1988). Optymalizując nawożenie azotem należy wziąć pod uwagę efektywność rolniczą (produktywność), która jest miarą skuteczności nawożenia, rozumianą jako przyrost plonu na jednostkę azotu (1 kg) zastosowanego w nawozach (Kruczek, 2000).

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu różnych dawek azotu na plon ziarna dwóch odmian kukurydzy oraz na plon energii netto i białka ogółem.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem badawczym była kukurydza (*Zea mays* L.), uprawiana w ściśłym doświadczeniu polowym przeprowadzonym w latach 2003-2005 w Bałcynach k. Ostródy. Eksperyment założono metodą losowanych podbloków (split-plot) w czterech powtórzeniach. Badanymi czynnikami były dwie mieszańcowe odmiany kukurydzy różniące się wczesnością dojrzewania (FAO): wczesna — Junak (FAO 210–220) i średnio wczesna — Boruta (FAO 230–240) oraz 9 poziomów nawożenia azotem na tle kontroli (bez nawożenia azotem):

- obiekt nienawożony azotem (kontrola),
- 30 kg N·ha⁻¹: przedsiewnie,
- 60 kg N·ha⁻¹: przedsiewnie,
- 90 kg N·ha⁻¹: przedsiewnie,
- 120 kg N·ha⁻¹: przedsiewnie
- 150 kg N·ha⁻¹: 120 kg N·ha⁻¹ przedsiewnie+30 kg N·ha⁻¹ pogłównie w fazie 6 liści kukurydzy (BBCH 16),
- 180 kg N·ha⁻¹: 120 kg N·ha⁻¹ przedsiewnie +60 kg N·ha⁻¹ pogłównie w fazie (BBCH 16),

- 210 kg N·ha⁻¹: 120 kg N·ha⁻¹ przedsiewnie +90 kg N·ha⁻¹ pogłównie w fazie (BBCH 16),
- 240 kg N·ha⁻¹: 120 kg N·ha⁻¹ przedsiewnie +120 kg N·ha⁻¹ pogłównie w fazie (BBCH 16),
- 270 kg N·ha⁻¹: 120 kg N·ha⁻¹ przedsiewnie +150 kg N·ha⁻¹ pogłównie w fazie (BBCH 16).

Badania przeprowadzono na glebie płowej typowej, wytworzonej z gliny lekkiej, klasy bonitacyjnej IIIa, należącej do 2 kompleksu przydatności rolniczej. Zasobność gleby w składniki pokarmowe i jej kwasowość przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Warunki glebowe w Balcynach
Soil conditions at Balcyny

Lata Years	Zawartość w glebie — Content in soil					pH w KCl pH in KCl
	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Mg	
	mg·kg ⁻¹ gleby — mg·kg ⁻¹ of soil					
2003	17,0	31,0	78,0	145,0	94,0	6,4
2004	13,0	26,0	70,0	146,0	85,0	6,6
2005	16,0	32,0	74,0	154,0	78,0	6,5

W doświadczeniu zastosowano przedsiewnie jednolite nawożenie fosforowo-potasowe w dawce 52,4 kg P·ha⁻¹ w formie superfosfatu potrójnego (46% P₂O₅), 149,5 kg K·ha⁻¹ w formie soli potasowej (60% K₂O). Azot zgodnie ze schematem doświadczenia stosowano w dwóch terminach: przedsiewnie oraz pogłównie (w fazie BBCH 16) w formie mocznika 46%.

Przedplonem była pszenica ozima. W każdym roku badań kukurydzę odmian Junak i Boruta wysiewano w III dekadzie kwietnia. Gęstość wysiewu ustalono w oparciu o parametry jakościowe materiału siewnego, przyjmując obsadę 12 roślin·m⁻² po wschodach. Kukurydzę pielęgnowano chemicznie; przed zwarciem rzędów wykonano oprysk herbicydem Atrasan 500 SC (atrazyna — 500 g/dm⁻³) 2 dm⁻³/ha. Zbiór roślin na ziarno przeprowadzono w fazie pełnej dojrzałości ziarna, plon i masę 1000 ziaren (MTZ) przeliczono przy 15% wilgotności.

Do badań laboratoryjnych jakości ziarna pobrano 100 gramową reprezentatywną próbę, pochodzącą z partii materiału zsypanej z 4 powtórzeń z dwóch pierwszych sezonów wegetacyjnych (lata 2003 i 2004).

Ocenę jakościową plonu przeprowadzono następującymi metodami:

- zawartość azotu oznaczono metodą Kjeldahla (wg PN-EN ISO 5983-1:2006), mnożąc określoną po hydrolizie, destylacji i miareczkowaniu zawartość azotu ogólnego przez odpowiedni przelicznik (6,25), wyrażający średnią zawartość azotu w białkach produktów żywnościowych
- wartość energetyczną netto (koncentrację energii strawnej) oznaczono w kalorymetrze KL 6, poprzez spalanie próbek w tlenie w bombie kalorymetrycznej.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie wykorzystując analizę wariancji, a różnice graniczne oszacowano za pomocą testu T-Duncana dla błędności $\alpha = 5\%$.

Oceniane wskaźniki efektywności nawożenia obliczono według wzoru:

$$E_R = (Y_N - Y_0) \text{ kg N}^{-1},$$

gdzie: E_R = efektywność rolnicza (produktywność netto),

Y_N = plon w obiekcie z danym nawozem, Y_0 = plon w obiekcie kontrolnym

$$E_F = (Y_N - Y_0) (P_N - P_0) \text{ kg N}^{-1},$$

gdzie: E_F = efektywność fizjologiczna (produktywność brutto),

Y_N = plon w obiekcie z danym nawozem, Y_0 = plon w obiekcie kontrolnym,

P_N = pobranie azotu w obiekcie Y_N , P_0 = pobranie azotu w obiekcie Y_0 .

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 2 przedstawiono średnie miesięczne temperatury i sumy opadów, charakteryzujące przebieg warunków pogodowych w okresie wegetacji kukurydzy, zestawione na podstawie zapisów automatycznej stacji meteorologicznej, znajdującej się w Bałcynach.

Tabela 2

Charakterystyka warunków pogodowych w okresie wegetacji w latach 2003–2005 i średnie z wielolecia 1961–2000

Characteristics of climatic conditions of the vegetative periods 2003–2005 and means from 1961–2000

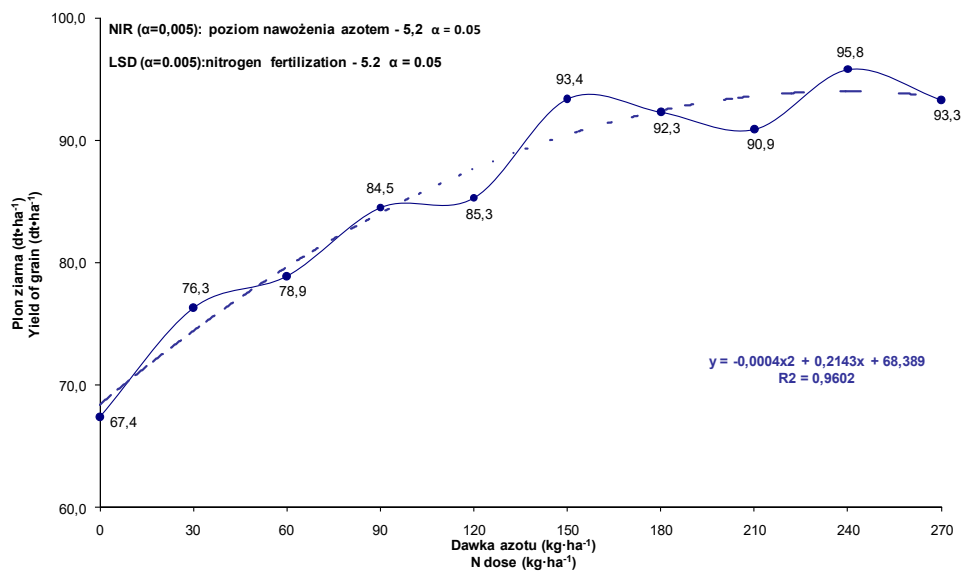
Wyszczególnienie Specification	Rok Year	Miesiące — Months							
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV-X
Średnia dobowa temperatura (°C) The mean daily temperature (°C)	2003	6,1	14,2	16,5	18,9	17,3	13,7	4,8	13,1
	2004	8,9	11,8	15,3	17,0	19,2	14,2	10,5	13,8
	2005	8,2	11,6	14,2	19,7	16,9	18,1	10,5	14,2
Wielolecie (1961 – 2000) Period of (1961 – 2000)		7,0	12,5	15,8	17,2	16,8	12,6	8,1	
Suma opadów (mm) The rainfall sum (mm)	2003	23,6	78,6	60,7	118,2	34,9	19,1	66,1	401,2
	2004	51,5	87,1	90,6	78,8	89,3	41,9	77,6	516,8
	2005	22,0	68,2	35,4	83,9	39,6	17,9	19,3	286,3
Wielolecie (1961 – 2000) Period of (1961 – 2000)		35,4	57,6	69,5	81,6	75,2	59,0	53,5	

Lata badań polowych były dość zróżnicowane pod względem średniej temperatury i sumy opadów. W sezonie wegetacyjnym 2003 roku sprzyjające warunki wilgotnościowo-termiczne wpłynęły korzystnie na cały okres wegetacji kukurydzy. Znalazło to odzwierciedlenie w plonowaniu roślin. W omawianym roku, łączna suma opadów w okresie od siewu do zbioru roślin (24 IV–15 X) kształtowała się na poziomie 354,5 mm, a średnia dobowa temperatura tego okresu wyniosła 15,5°C. Suma opadów i średnia dobowa temperatura od 1 IV do 31 X 2003 roku wyniosła odpowiednio 401,2 mm i 13,1°C.

Przebieg warunków pogodowych w sezonie wegetacyjnym 2004 roku, różnił się znacznie od średnich wieloletnich (1961–2000) zarówno pod względem średnich miesięcznych wartości temperatury jak i sumy opadów. Trzeci rok badań polowych należał do wyjątkowo ciepłych, a także suchych. Średnia dobowa temperatura w okresie od siewu do zbioru roślin (24 IV–6 X) wyniosła 15,8°C, a suma opadów 247,2 mm (w okresie od 1 IV do 31 X; 14,2°C i 286,3 mm).

Michalski i wsp. (1996) twierdzą, iż istnieje współzależność między poziomem plonowania, a średnią dobową temperaturą w sezonie wegetacyjnym. Najwyższe plony uzyskuje się, gdy temperatura kształtuje się na poziomie 15,5–16,0°C. W okresie badań (2003–2005) warunki pogodowe w Bałcynach były korzystne i sprzyjały rozwojowi kukurydzy, o czym świadczy uzyskany średni plon ziarna na poziomie 85,9 dt·ha⁻¹. W pierwszym roku badań średnia wydajność wynosiła 111,4 dt·ha⁻¹, a w następnych była odpowiednio aż o 40 i 29% niższa. Plon ziarna kukurydzy w kraju w tym czasie (2003–2005) wynosił średnio 55,2 dt·ha⁻¹, czyli na poziomie 64% plonu, uzyskanego w niniejszych doświadczeniach (Faostat, 2006).

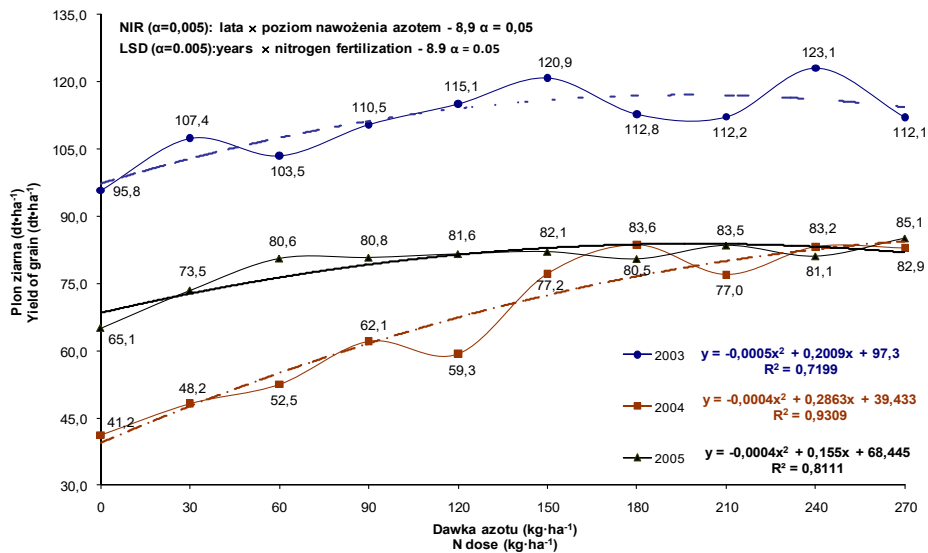
Z badań wielu autorów wynika, iż bardzo ważnym czynnikiem plonotwórczym w uprawie kukurydzy jest nawożenie azotem, które wpływa nie tylko na wielkość plonu, ale i jego jakość (Kruczek, 1997; Kruczek, Szulc 2000; Machul, Borowiecki, 2000; Sądej, Mazur, 2003). Optymalne dawki azotu stosowane pod kukurydzę, podawane w literaturze polskiej przez różnych autorów, wahają się w granicach 90–180 kg N·ha⁻¹ (Borowiecki 1988; Czerniawska 1988; Fotyma, 1994; Gonet, Stadejek, 1992; Kruczek 1988; Pyzik, Bober 1985). Kruczek (1983) za optymalny poziom nawożenia w uprawie kukurydzy na ziarno podaje 100–150 kg N·ha⁻¹.



Rys. 1. Średni plon ziarna kukurydzy odmiany Junak i Boruta (dt·ha⁻¹) w zależności od poziomu nawożenia azotem
Fig. 1. Mean grain yield of the maize of cultivars Junak and Boruta (dt·ha⁻¹) in depending on the nitrogen fertilization

W przeprowadzonych badaniach odnotowano istotne zróżnicowanie plonu ziarna zależnie od stosowanych dawek azotu. Biorąc pod uwagę średnie obiektowe dla nawożenia, regularny wzrost plonu odnotowano do poziomu nawożenia 150 kg N·ha⁻¹. Najwyższy przyrost spowodowała dawka 30 kg N·ha⁻¹; stwierdzono wzrost masy ziarna zbieranego z jednostki powierzchni o 12% w stosunku do obiektów nienawożonych. Przeprowadzony rachunek regresji wykazał, że zależność plonu ziarna od wzrastającego poziomu nawożenia azotem przebiegała zgodnie z wykresem funkcji wielomianowej 2^o, przy wysokim współczynniku determinacji, a optymalna wyliczona z funkcji produkcji dawka azotu dla kukurydzy wyniosła 268 kg·ha⁻¹ (rys. 1).

Działanie azotu nie było jednakowe w poszczególnych latach prowadzenia badań. W każdym cyklu najniższy plon ziarna uzyskano z obiektów kontrolnych (rys. 2). Wyliczona z kwadratowej funkcji optymalna dawka azotu dla kukurydzy w pierwszym roku badań wyniosła 201 kg·ha⁻¹, w trzecim 194 kg·ha⁻¹. W drugim roku badań połowych kukurydza optymalny plon wydałaby przy spodziewanym maksimum nawożenia azotem na poziomie 358 kg ha⁻¹ (parabola delikatnie przechodząca w linię prostą).



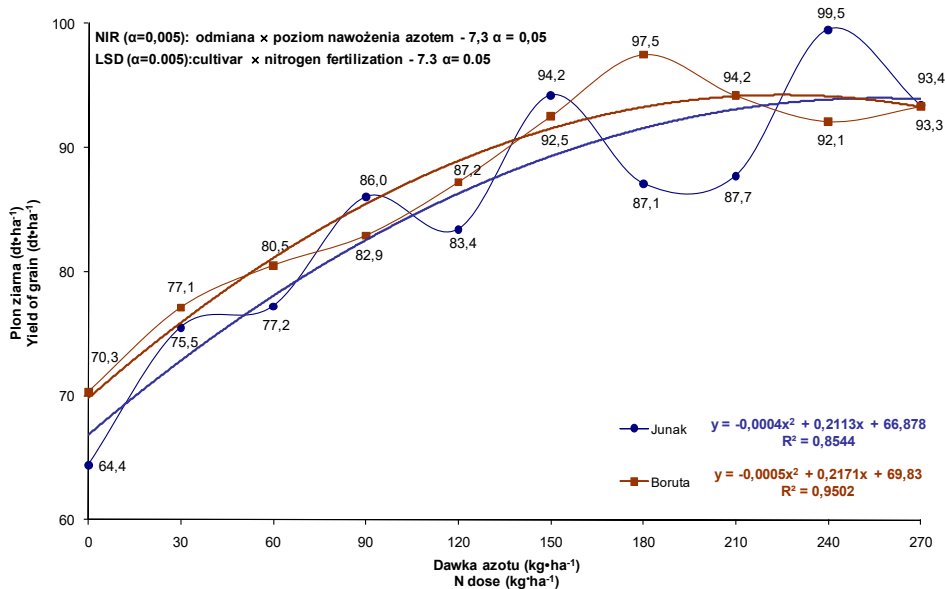
Rys. 2. Funkcja produkcji ziarna kukurydzy w zależności od poziomu nawożenia azotem w latach 2003–2005

Fig. 2. Function of grain production in relation to the level of N fertilization in the years 2003–2005

Reakcja badanych odmian na azot nie była jednakowa. Mieszaniec Junak już na najniższą dawkę azotu zareagował istotnym zwiększeniem plonu ziarna; odmiana Boruta dopiero po zastosowaniu 60 kg N·ha⁻¹ plonowała istotnie wyżej niż rośliny w obiekcie bez azotu. Istotny przyrost plonu ziarna u formy mieszańcowej Junak zaobserwowano również zwiększając nawożenie najbardziej plonotwórczym składnikiem z 60 kg N·ha⁻¹ do 90 kg

$\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$, z $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ do $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ oraz $210 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ do $240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Natomiast u Boruty żadna z aplikowanych dawek azotu, w stosunku do dawki poprzedniej, nie przyczyniła się do udowodnionego statystycznie wzrostu plonu ziarna.

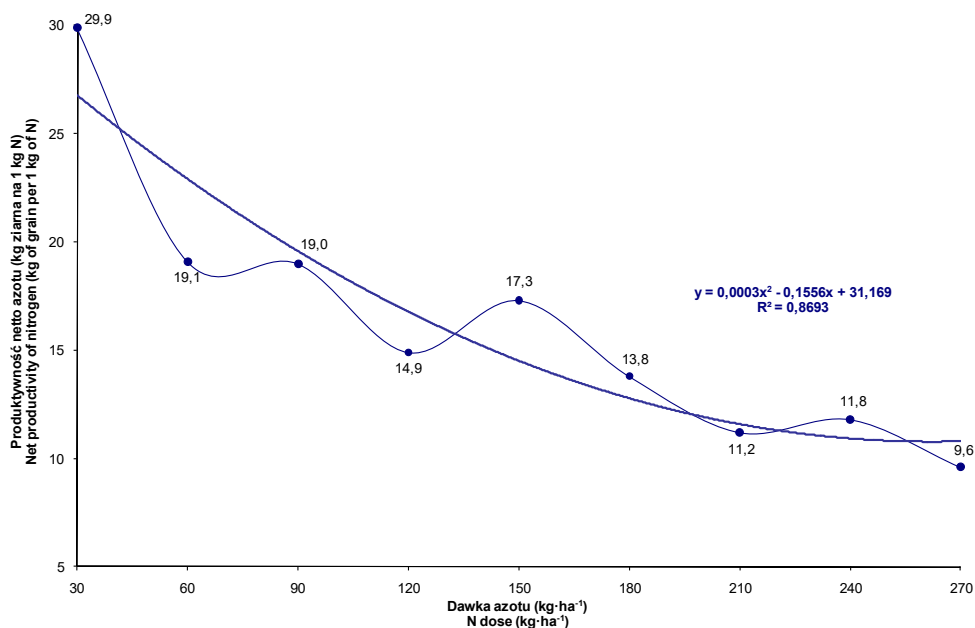
Z zastosowanego w doświadczeniu rachunku regresji wynika, iż optymalna dawka azotu dla odmiany Junak kształtuje się na poziomie $264 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, dla odmiany Boruta $217 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. (rys. 3).



Rys. 3. Plon ziarna odmiany Junak i Boruta ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) w zależności od poziomu nawożenia azotem
Fig. 3. Yield of grain of the cultivars Junak and Boruta ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) in depending on the nitrogen fertilization

W badaniach obliczono dla plonów ziarna efektywność rolniczą (produkcyjną skuteczność nawożenia), czyli przyrost plonu na jednostkę azotu zastosowanego w nawozach.

Efektywność rolnicza liczona dla plonów ziarna kukurydzy malała w miarę wzrostu dawek azotu z $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ do $270 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Według Kruczka (1983) dawka $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ wykazuje efektywność $12,7 \text{ kg}$ ziarna na 1 kg N zastosowanego w nawozach. W badaniach własnych dawka $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ okazała się bardziej efektywna i powodowała przyrost ziarna o $19,0 \text{ kg}$ na 1 kg N . Na podstawie średnich z trzech lat obliczono, że każdy kilogram najmniejszej dawki azotu skutkowało przyrostem plonu wynoszącym średnio, dla obu odmian, $29,9 \text{ kg}$ ziarna kukurydzy. Większe dawki azotu nie powodowały już tak dużych przyrostów plonu, a nawet zaobserwowano regularne zmniejszanie efektywności azotu wraz ze wzrostem dawki (rys. 4).

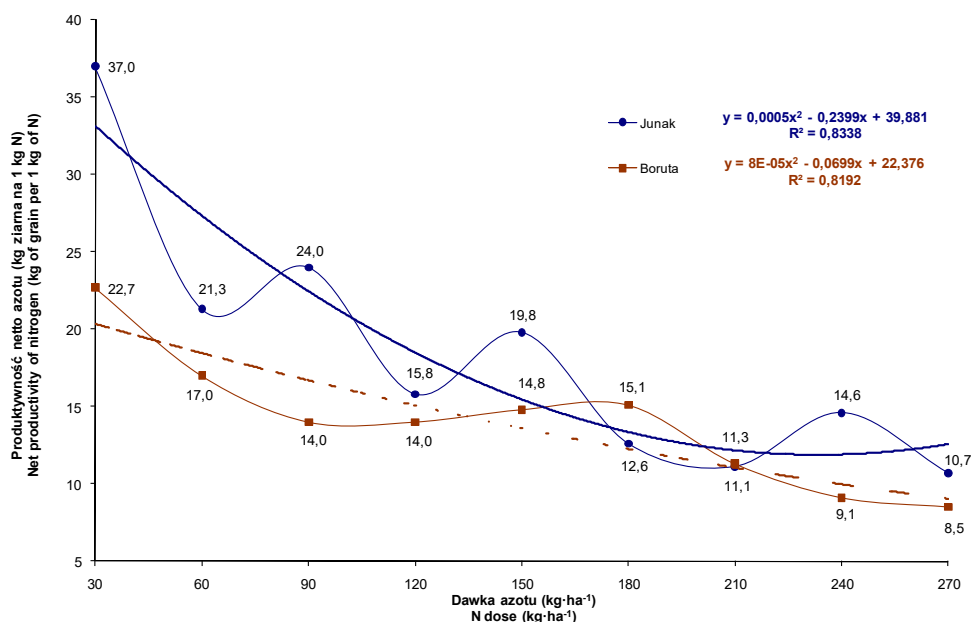


Rys. 4. Średnia produktywność netto azotu (kg ziarna na 1 kg N) w latach 2003–2005
 Fig. 4. Mean net productivity of nitrogen (kg of grain per 1 kg of N) in the years 2003–2005

Fotyma (1994), Kruczek (1996), Panak (1995) twierdzą również, że efektywność nawożenia ulega zmniejszeniu wraz ze wzrostem dawek azotu. Z kolei Borowiecki (1988) najwyższą produktywność (20–15 kg suchej masy kolb na 1 kg N) osiągnął zwiększając intensywność odżywiania azotem do poziomu 60–120 kg N·ha⁻¹. Zbliżone wyniki uzyskali Gonet i Stadejek (1990), którzy zaobserwowali, że w przedziale dawek 90–120 i 120–150 kg N·ha⁻¹ produktywność składnika wynosiła 25–30 kg ziarna na 1 kg N zastosowanego w nawozach. Borowiecki (1987) we wcześniejszych badaniach wykazał, że dawki azotu mieszczące się w przedziale od 60 do 120 kg·ha⁻¹ okazały się najbardziej efektywne.

Produktywność netto azotu była silnie zróżnicowana w poszczególnych latach badań. Można przypuszczać, że warunki pogodowe w szerokim zakresie decydowały o efektywności nawożenia azotem. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń należy stwierdzić, że korzystniejsze plonotwórcze działanie azotu wystąpiło w 2004 roku. Jednak najmniejsza stosowana w badaniach dawka azotu (30 kg·ha⁻¹) dawała średnio dla obu odmian w omawianym roku tylko 23,3 kg ziarna na każdy kilogram składnika, podczas gdy w 2003 roku było to 38,6 kg i w 2005 r. 28,0 kg. W 2005 roku efektywność nawożenia azotem przybierała wartości przekraczające 10 kg ziarna na 1 kg azotu do dawki 150 kg N·ha⁻¹. W 2003 roku w zakresie wyżej wspomnianych dawek azotu efektywność była równie wysoka.

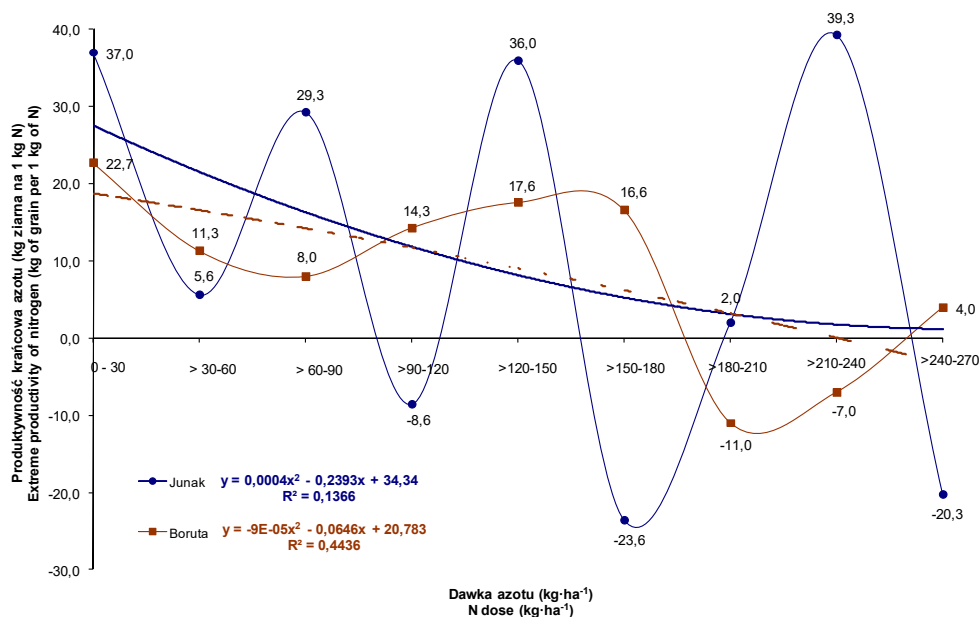
Na wzrastające nawożenie azotem odmiana Junak reagowała najczęściej większym przyrostem plonu niż Boruta (rys. 5). Efekt ten znacznie mocniej zaznaczył się w przypadku mniejszych dawek azotu (30, 60, 90 i 150 kg N·ha⁻¹). Jedynie 180 kg N·ha⁻¹ okazało się bardziej produktywne w przypadku mieszańca Boruta niż Junak, a dawka 210 kg N·ha⁻¹ dawała zbliżony efekt u obydwu form mieszańcowych kukurydzy. W odniesieniu do odmiany Junak 240 kg N·ha⁻¹ zdecydowanie poprawiło omawiany wskaźnik.



Rys. 5. Średnia produktywność netto azotu (kg ziarna na 1 kg N) dla odmiany Junak i Boruta
Fig. 5. Mean net productivity of nitrogen (kg of grain per 1 kg of N) for the cultivars Junak and Boruta

Efektywność krańcowa, czyli przyrost plonu na jednostkę azotu pobranego przez rośliny jest miarą zdolności rośliny do przetwarzania pobranego azotu na plon użytkowy (Kruczek, 2000). W przeprowadzonych trzyletnich badaniach własnych, produktywność krańcowa 1 kg analizowanego składnika nawozowego w poszczególnych latach była silnie zróżnicowana. Znamienne było to, że w pierwszym roku wzrost dawki z 30 do 60 kg N·ha⁻¹ zadziałał bardzo niekorzystnie dając obniżkę plonu ziarna w ilości — 12,9 kg na każdy kilogram wniesionego azotu, średnio dla dwóch badanych odmian. Dalsze zwiększenie nawożenia do 90, 120 i 150 kg N·ha⁻¹ zdecydowanie sprzyjało produktywności, powodując zwiększenie plonu odpowiednio o 23,3; 15,3; 19,3 kg ziarna na 1 kg N. Kolejne dawki azotu (180 i 210 kg N·ha⁻¹) okazały się już mało efektywne i powodowały obniżkę plonu ziarna w ilości — 27,0 i — 2 kg na każdy kilogram wniesionego do gleby azotu. Otrzymana dodatnia i wysoka wartość produkcji krańcowej w zakresie dawki 210–240 kg N·ha⁻¹ (36,6 kg ziarna na 1 kg N) niekoniecznie rekompensowała straty poniesione w przedziale dawek 150–210 kg N·ha⁻¹. W 2004 roku średnia produktywność krańcowa regularnie dodatnie

wartości przybierała do poziomu nawożenia $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ a w 2005 roku do $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. W 2004 roku wzrost dawki od 120 do $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ powodował najwyższą produktywność krańcową składnika w czasie trzyletnich badań ($59,6 \text{ kg}$ ziarna na 1 kg N), a uzasadnione byłoby nawożenie do $180 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Z kolei w 2005 roku wzrost dawki od 150 do $180 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ obniżał plon ziarna o — $5,3 \text{ kg}$ na kilogram zastosowanego składnika. Niskie wartości omawianego wskaźnika, aczkolwiek dodatnie, wystąpiły również w zakresie dawek: $60\text{--}90$, $90\text{--}120$ i $120\text{--}150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, a znaczące wzrosty plonów notowano w przedziale dawek $180\text{--}210$ i $210\text{--}240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$.



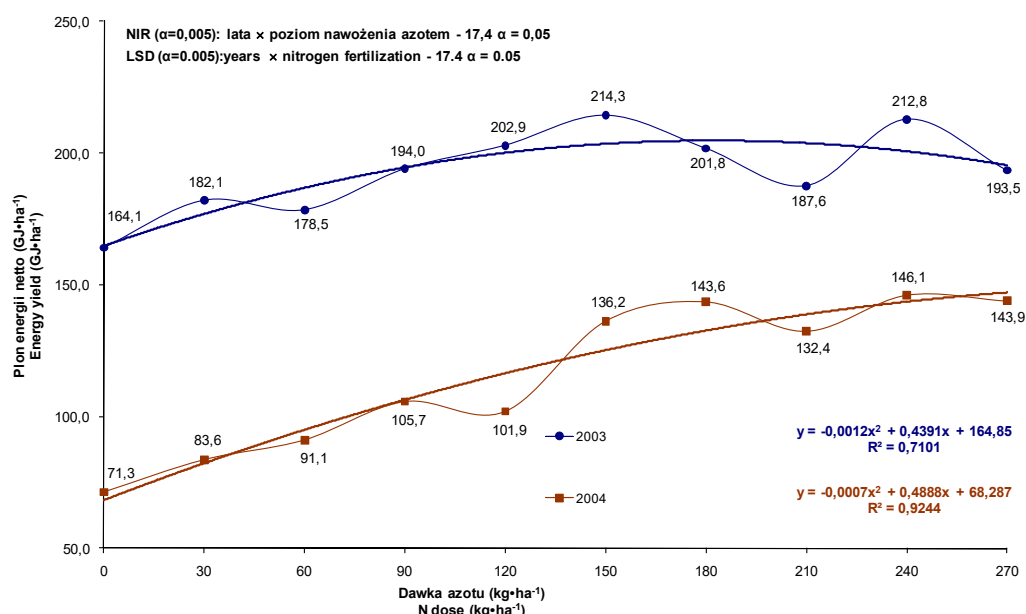
Rys. 6. Średnia produktywność krańcowa azotu (kg ziarna na 1 kg N) dla odmiany Junak i Boruta
Fig. 6. Mean extreme productivity of nitrogen (kg of grain per 1 kg of N) for the cultivars Junak and Boruta

Rachunek przyrostu plonu ziarna do przyrostu dawki azotu, czyli produktywność krańcowa, udowodnił niecelowość aplikacji dawek wyższych niż 30 kg azotu u obu badanych odmian. Przyrost plonu był bowiem bardzo niski, nieregularny, a na części obiektów nie wystąpił w ogóle (rys. 6). Analizując średnie obiektowe dla odmian i nawożenia, należy stwierdzić, że o wiele łatwiej można zaplanować dawkę azotu dla odmiany Boruta, gdyż działanie azotu w zależności od wysokości dawki, w przypadku wspomnianej odmiany było bardziej stabilne niż miało to miejsce w odniesieniu do Junaka.

W warunkach przeprowadzonych badań, plon energii netto w pełni zależał od plonu ziarna kukurydzy. Oszacowany współczynnik korelacji tych cech był na poziomie 1. W pierwszym roku badań średnia wydajność energii wynosiła $194,2 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, a w następnym była aż o 40% niższa (rys. 7).

Spśród badanych czynników jedynie nawożenie azotem wpłynęło na zwiększenie plonu energii netto, co potwierdziło tezę, iż azot jest czynnikiem silnie kształtującym plon, ale odgrywa również podstawowe znaczenie w kształtowaniu jakości uzyskanego plonu. W badaniach Machula i Borowieckiego (2000) najwyższe plony energii netto i jednostek paszowych uzyskano nawożąc rośliny $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ i były one wyższe o 15,4% w porównaniu z plonami pochodzącymi z obiektów nienawożonych (kontrola).

Również w badaniach własnych każda aplikowana dawka azotu skutkowała istotnym przyrostem plonu energii netto w stosunku do nienawożonej kontroli. Najwyższą średnio dla obu odmian wydajność energii w pierwszym roku badań uzyskano na obiektach nawożonych $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($214,3 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), w drugim $240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($146,1 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). Przyrost w porównaniu do obiektów kontrolnych był bardzo duży i wynosił $\sim 31\%$ w pierwszym cyklu badań i aż $\sim 105\%$ w drugim (rys. 7).

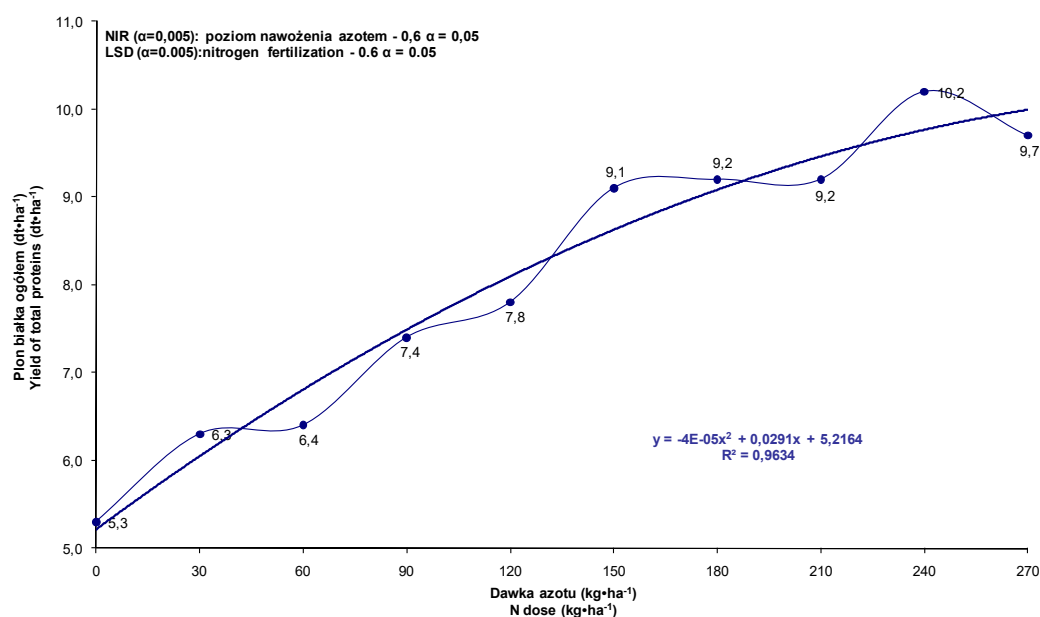


Rys. 7. Wpływ nawożenia azotem na średni plon energii netto ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) w latach 2003 i 2004
 Fig. 7. Effect of nitrogen fertilization on the mean energy yield ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) in the years 2003 and 2004

Plon białka ogółem to funkcja plonu ziarna i zawartości w nim białka. Był on istotnie różnicowany w obu latach badań. W pierwszym roku średnia wydajność wynosiła $10,0 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$, a w następnym była niższa aż o 39%. Obydwie odmiany wydawały plon białka

nieróżniący się statystycznie. Okazało się jednak, że wystąpiły istotne różnice w plonie białka testowanych mieszańców w latach prowadzenia badań (interakcja lata \times odmiana). W pierwszym roku istotnie wyższy plon białka ogólnego wydała odmiana Boruta (10,2 dt·ha⁻¹). Zupełnie odmiennie ukształtowała się ta zależność w 2004 roku – istotnie więcej białka uzyskano z uprawy Junaka (6,4 dt·ha⁻¹). Można domniemywać, iż forma mieszańcowa Junak była bardziej odporna na mniej korzystne warunki pogodowe.

Wpływ azotu na plon białka ogółem był statystycznie istotny. Zastosowanie dawek azotu do 240 kg·ha⁻¹ skutkowało przyrostem plonu białka (rys. 8). Nie zawsze jednak wzrost dawki N powodował statystycznie udowodniony wzrost plonu. Sytuacja taka wystąpiła, gdy dawkę azotu zwiększono z 30 do 60, 90–120, 150–180, 180–240 kg·ha⁻¹. Najwyższa dawka testowanego składnika doprowadziła do nieudowodnionego statystycznie regresu plonu białka.



Rys. 8. Średni plon białka ogółem (dt·ha⁻¹) w latach 2003 i 2004 w zależności od poziomu nawożenia azotem

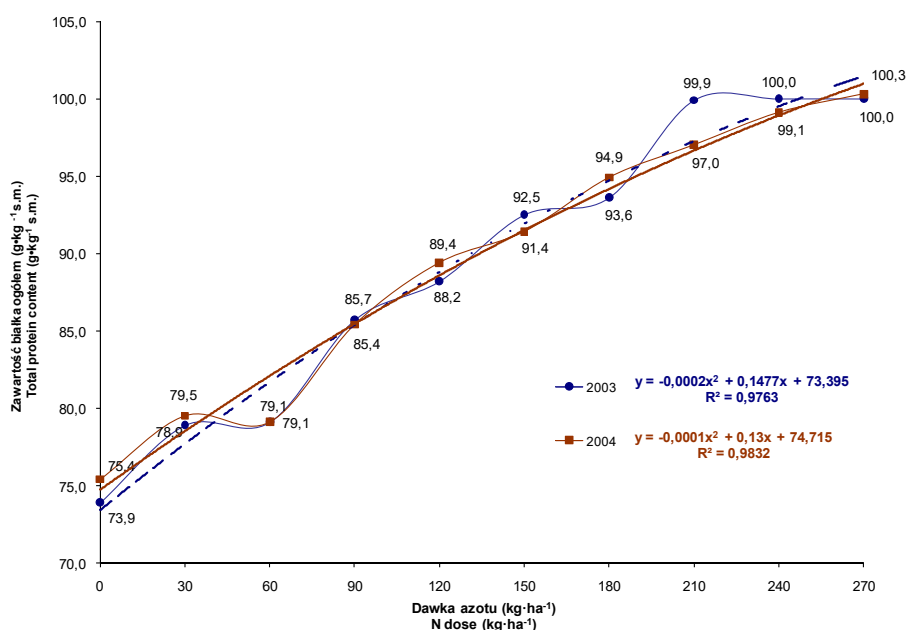
Fig. 8. Mean yield of total protein (dt·ha⁻¹) in the years 2003 and 2004 in depending on the nitrogen fertilization

Jakość ziarna kukurydzy zależy od klasy wczesności roślin wyrażonej liczbą FAO oraz zawartości suchej masy w ziarnie w momencie zbioru. W badaniach własnych mieszańce kukurydzy (Junak i Boruta) charakteryzowały się podobną średnią zawartością białka ogółem w suchej masie ziarna — odpowiednio 89,9 i 90,1 g·kg⁻¹. Obydwie odmiany wydawały taki sam plon białka (8,1 dt·ha⁻¹). W badaniach Korniewicza i wsp. (2000)

zawartość białka była największa w grupie mieszańców wczesnych i wynosiła $105 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, a najmniejsza w grupie średnio późnych ($98 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). We wcześniejszych badaniach prowadzonych przez Korniewicza i Glapsia (1974) wykazano, że zawartość białka w 1 kg suchej masy ziarna krajowych mieszańców kukurydzy wyniosła $102 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Z analiz przeprowadzonych przez Buniaka i wsp. (1996) wynika, że wzrastające dawki azotu powodują w kukurydzy zwiększenie zawartości białka, jednak różnice w stosunku do kontroli (bez azotu) stwierdzono od dawki $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Odmienne wyniki uzyskano w badaniach własnych, gdzie każda badana dawka azotu ($30\text{--}270 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) wpływała na systematyczne zwiększenie zawartości białka ogółem w ziarnie kukurydzy. Na podstawie otrzymanych zależności zawartości białka w ziarnie od dawki N, można domniemywać, że każdy kilogram azotu zastosowany w uprawie kukurydzy dawał przyrost zawartości białka w ziarnie w ilości $0,0745 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Średnio za dwa lata najniższa koncentracja białka wystąpiła w obiekcie kontrolnym ($80,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Nawożenie na najwyższym poziomie ($270 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), w stosunku do kontroli, spowodowało przyrost zawartości składnika w ziarnie o $18,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, czyli o 23,7%. W badaniach Machula i Borowieckiego (2000) kolby pochodzące z obiektów nawożonych dawką $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ charakteryzowały się najwyższą zawartością białka ($89,9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w porównaniu do kolb z roślin nienawożonych azotem ($80,4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$).



Rys. 9. Wpływ nawożenia azotem na zawartość białka ogółem w ziarnie kukurydzy odmiany Junak i Boruta ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)

Fig. 9. Effect of nitrogen fertilization on the total protein content in the maize grain of cultivars Junak and Boruta ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)

Zawartość białka ogółem w ziarnie kukurydzy okazała się zróżnicowana w zależności od lat. W cieplejszym i bardziej suchym 2003 roku koncentracja omawianego składnika, szczególnie aplikowanego w mniejszych dawkach, była niższa niż w roku następnym (rys. 9). Można domniemywać, iż wystąpił tzw. „efekt rozcieńczenia”. Rośliny kukurydzy akumulowały więcej azotu mineralnego w częściach wegetatywnych, co przełożyło się na większy plon ziarna, ale o mniejszej koncentracji białka.

WNIOSKI

1. Najwyższy plon ziarna kukurydza osiągnęła w korzystnym 2003 roku, a więc w warunkach mokrego i ciepłego okresu wegetacyjnego. Rok 2004 pomimo wyższej średniodobowej temperatury i sumy opadów charakteryzował się mniej korzystnym rozkładem tych czynników w całym okresie wegetacyjnym roślin, co przedłożyło się na istotnie niższy plon ziarna w porównaniu z rokiem 2003, ale jednocześnie nieistotnie niższy niż w 2005 roku.
2. Uzyskane w doświadczeniu plony ziarna kukurydzy były wysokie i przewyższały o 36% odpowiednią średnią krajową. Odmiany Junak i Boruta plonowały na podobnym poziomie.
3. Zastosowane nawożenie azotowe wpłynęło korzystnie na plonowanie ziarna kukurydzy. W warunkach agroekologicznych Polski północno-wschodniej, regularny wzrost plonu uzyskano przy wzrastającym nawożeniu azotowym do dawki 150 kg N·ha⁻¹. Dalsze zwiększenie nawożenia do 270 kg N·ha⁻¹ nie różnicowało istotnie plonu ziarna.
4. Na zwiększające się nawożenie azotem odmiana Junak reagowała większym przyrostem plonu niż odmiana Boruta. Efekt ten znacznie mocniej zaznaczył się w przypadku mniejszych dawek azotu.
5. Z zastosowanego w doświadczeniu rachunku regresji wynika, iż optymalna dawka azotu dla odmiany Junak kształtuje się na poziomie 264 kg N·ha⁻¹, dla odmiany Boruta 217 kg N·ha⁻¹.
6. Azot silnie różnicował zawartość białka w ziarnie kukurydzy. Wraz ze zwiększeniem dawek nawożenia następował przyrost koncentracji białka ogółem w ziarnie. Każdy kilogram azotu zastosowany w uprawie kukurydzy dawał przyrost zawartości białka w ziarnie w ilości 0,0745 g·kg⁻¹.
7. Azot wpływał korzystnie na plony energii netto i białka w ziarnie kukurydzy. W stosunku do kontroli (bez azotu), każda aplikowana dawka azotu skutkowała istotnym przyrostem plonu. Załamanie plonu energii netto nastąpiło po nawożeniu 180 kg N·ha⁻¹, a plonu białka po zastosowaniu 270 kg N·ha⁻¹.

LITERATURA

- Bober A., Błażej J. 1991. Wpływ nawożenia azotowego na wielkość i jakość plonu kolb kukurydzy przeznaczonych na kiszonkę. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, z. 262, Ses. Nauk. 34: 241 — 249.
- Bogucka B., Szempliński W., Wróbel E. 2008. Nawożenie azotem a plon kukurydzy uprawianej na ziarno w warunkach północno-wschodniej Polski. Acta Sci. Pol., Agricultura 7 (3): 21 — 30.

- Borowiecki J. 1987. Efektywność nawożenia azotem kukurydzy kiszonkowej w zależności od obsady roślin. Mat. z sesji naukowej, IUNG Puławy 2: 32 — 37.
- Borowiecki J. 1988. Biologiczne aspekty uprawy kukurydzy. Mat. z sesji naukowej pt.: „Stan badań nad agrotechniką kukurydzy w Polsce.” IUNG Puławy 1: 9 — 20.
- Buniak W., Dmowski Z., Szyszkowski P. 1996. Plonowanie i skład jakościowy kukurydzy na kiszonkę w warunkach deszczowania Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. 1997. z. 438: 243 — 249.
- Czerniawska A. 1988. Porównanie plonowania i wartości pokarmowej kukurydzy na tle zróżnicowanego nawożenia azotem. Mat. z sesji naukowej pt.: „Stan badań nad agrotechniką kukurydzy w Polsce.” IUNG Puławy, 2: 25 — 31.
- Dubas A. 1988. Obsada roślin a produktywność kukurydzy. Mat. Konf. Obsada a produktywność roślin uprawnych. IUNG i PAN Puławy, cz. I: 112 — 120.
- Dubas A. 2003. Szczegółowa uprawa roślin. Praca zbiorowa pod redakcją Zofii Jasińskiej i Andrzeja Koteckiego. Wrocław 2003, Tom 1.
- Fotyma E. 1988. Reakcja roślin uprawnych na nawożenie azotem. Cz. I. Zboża. Pam. Puł. 93: 37 — 59.
- Fotyma E. 1994. Reakcja roślin uprawy polowej na nawożenie azotem. III Kukurydza, Fragm. Agron. 4 (44), 20 — 35.
- Gonet Z., Stadejek H. 1990. Wpływ nawożenia azotem i ilości wysiewu na plon kukurydzy uprawianej na zielonkę do bezpośredniego skarmiania. Fragm. Agron. 3 (27): 30 — 43.
- Gonet Z., Stadejek H. 1992. Wpływ nawożenia azotem na plon i wartość paszową kukurydzy uprawianej w dużym zagęszczeniu na zielonkę do bezpośredniego skarmiania. Pam. Puł. 101: 135 — 147.
- Graf K. 1997. Kalkulacje rolnicze — styczeń 1997. ODR Sielinko.
- Grzebisz W., Urbański M., Potarzycki J. 1993. Wartość nawozów azotu, fosforu i potasu gnojowicy stosowanej pod kukurydzą uprawianą w monokulturze. Zesz. Nauk. AR w Krakowie. z 278, Ses. Nauk 37, cz. II. 149 — 159.
- Jankowiak J., Kruczek A., Fotyma E. 1997. Efekty nawożenia mineralnego kukurydzy na podstawie wyników badań krajowych. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. z. 450: 79 — 116.
- Korniewicz A., Głapś J. 1974. Porównanie zawartości składników pokarmowych w różnych mieszańcach kukurydzy zależnie od okresu wegetacji. Zesz. Nauk. Inst. Zoot., ZZD Czechnica, ser. A. 7, 3 — 28.
- Korniewicz A., Kosmala I., Czarnik-Matusiewicz H., Paleczek B. 2000. Zawartość podstawowych składników pokarmowych w ziarnie różnych mieszańców kukurydzy. Roczn. Nauk. Zoot. 27. 1: 289 — 303.
- Kruczek A. 1983. Wpływ terminu i sposobu nawożenia azotem na plonowanie kukurydzy w uprawie na ziarno. Pam. Puł. 81: 119 — 130.
- Kruczek A. 1988. Określenie optymalnych dawek, sposobów terminów stosowania nawozów azotowych pod kukurydzą uprawianą na ziarno. mat. z sesji naukowej pt.: „Stan badań nad agrotechniką kukurydzy w Polsce.” IUNG Puławy, 2: 19 — 24.
- Kruczek A. 1996. Ilościowe zależności pomiędzy produkcją suchej masy kukurydzy a zawartością azotu ogólnego. Fragm. Agron. nr 4 (52): 92 — 99.
- Kruczek A. 1997. Wpływ nawożenia azotowego na pobieranie azotu przez kukurydzą i zmiany jego zawartości w glebie. Pr. Komis. Nauk Pol. Leś. t. 83: 69 — 80.
- Kruczek A. 2000. Wpływ wielkości dawki azotu i dolistnego dokarmiania kukurydzy azotem i mikroelementami na wybrane wskaźniki efektywności nawożenia. Fragm. Agron., 3(67): 18 — 29.
- Kruczek A., Szulc P. 2000. Wpływ dolistnego stosowania mocznika na pobieranie i wykorzystanie azotu przez kukurydzą. Fragm. Agron. 3 (67): 18 — 29.
- Kwaczyńska K., Cieślak B. 1997. Kalkulacja opłacalności produkcji wybranych roślin— kwiecień 1997. ODR Bielice.
- Machul M., Borowiecki J. 2000. Wpływ nawożenia azotem na wielkość i jakość plonu kukurydzy uprawianej na kiszonkę z kolb (CCM). Pam. Puł., z.121: 117 — 125.
- Michalski T., Sulewska H., Waligóra H., Dubas A. 1996. Reakcja odmian kukurydzy uprawianej na ziarno na zmienne warunki pogodowe. Roczn. Nauk Rol., Ser. A, t. 112, z. 1-2: 103 — 110.
- Panak H. 1995. Przewodnik metodyczny z chemii rolnej. Olsztyn: 223 — 227.

- Pyzik J., Bober A. 1985. Wpływ nawożenia azotowego na przebieg wegetacji, plon ziarna i niektóre cechy morfologiczne kukurydzy uprawianej na dwóch kompleksach glebowych. Zesz. Nauk. Tow. Nauk. Rzeszów, Prod. Rośl. 2: 39 — 43.
- Rabikowska B. 1999. Oddziaływanie długoletniego nawożenia obornikiem i azotem na plonowanie i zawartość podstawowych makroskładników w kukurydzy. Zesz. Prob. Post. Nauk. Roln. z. 465: 219 — 231.
- Rynek zbóż – stan i perspektywy. Listopad 2007 IER i GŻ.
- Sądej W., Mazur Z. 2003. Ocena wpływu różnych systemów wieloletniego nawożenia na wysokość i jakość plonu kukurydzy. Zesz. Prob. Post. Nauk. Roln. z. 450: 185 — 200.
- Sulewska H. 1997. Środowiskowe i ekonomiczne uwarunkowania uprawy i kierunków użytkowania kukurydzy w Polsce. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. 450: 15 — 29.
- <http://www.faostat> 2006.