

WITOLD GRZEBISZ ¹
RADOSŁAW MUSOLF ¹
WITOLD SZCZEPANIAK ¹
JACEK DROŹDŹ ²

¹Katedra Chemii Rolnej, Akademia Rolnicza w Poznaniu

²Katedra Ekonomiki Gospodarki Żywnościowej, Akademia Rolnicza w Poznaniu

Wpływ nawożenia potasem na tle zróżnicowanych warunków wodnych na plon i jakość korzeni buraka cukrowego (*Beta vulgaris* L.) Część IV. Ocena efektywności agronomicznej i ekonomicznej

Effect of potassium fertilization under diversified water conditions on yield and quality of sugar beets (*Beta vulgaris* L.) Part IV. An assessment of agronomic and economic efficiency

Czynniki naturalne jak opady, odgrywają podstawową rolę w produkcji buraków cukrowych. Celem tej części badań była ocena efektywności agronomicznej i ekonomicznej głównego czynnika doświadczalnego, dawki potasu oraz symulacji warunków wodnych. Doświadczalnie ustalone sumy wody docierające do powierzchni plantacji buraków cukrowych oraz ich rozkład w okresie wegetacji rośliny, wywarły istotny wpływ na plony buraków cukrowych. Wieloletnia średnia suma opadów w okresie wegetacji oraz produktywność 1 mm wody, w roku 1999, wyjaśniają aż w 97% zmienność uzyskanych plonów korzeni. Warunki wodne definiowały też wielkość dochodu brutto i nadwyżki bezpośredniej. Nawożenie potasem wykazało zmienność sezonową. Większy efekt agronomiczny i ekonomiczny uzyskano w latach o optymalnym rozkładzie opadów, niż w roku suchym.

Słowa kluczowe: buraki cukrowe, nadwyżka bezpośrednia, produktywność potasu, produktywność wody

Precipitation is a basic natural factor in sugar beet production. The objective of the study was to assess agronomic and economic efficiency of applied potassium under diversified (simulated) water conditions. Experimentally established total sums of water reaching surface of plant's canopy and their distribution during vegetation, exerted a significant effect on yield of beet plants. The average, over years, total sum of water, and productivity of 1 mm of the supplied water in 1999, explained in 97% the variability of sugar beet yields. As a result, the obtained values of gross revenue and net return were

determined by the water conditions. Effect of potassium application on all the studied agronomic and economic parameters showed year to year variability. Effects of potassium application were higher in the years with optimal water condition, than in the dry year.

Key words: net return, sugar beet, potassium specific productivity, water specific productivity

WSTĘP

Większość opracowań dotyczących reakcji buraka cukrowego na czynniki agrotechniczne rozpoczyna się od omówienia układu warunków pogodowych, jako głównego czynnika plonotwórczego. Dotyczy to zarówno regionów o dużych sumach opadów, jak i obszarów o mniej korzystnym rozkładzie opadów, przykładowo, Wielka Brytania (Freclتون i in., 1999), Irlandia (Herlichy, 1992), czy też Polska (Rudnicki i in., 1997).

Pojawia się, więc pytanie o środki, konieczne do sezonowej stabilizacji plonów, które należy zainwestować, aby produkcja buraków była bezpieczna ekonomicznie, zarówno dla producenta korzeni, jak i przetwórcy, czyli cukrowni. Zakres zadań, koniecznych do rozwiązania, jest bardzo szeroki i obejmuje:

- nawadnianie,
- optymalizację warunków wzrostu roślin, głównie drogą zrównoważonego nawożenia (Borówczak, 2002; Grzebisz i in., 2002).

Celem tej części badań była ocena efektywności agronomicznej i ekonomicznej nawożenia potasem na tle zróżnicowanych warunków wodnych.

MATERIAŁ I METODY

Schemat i warunki prowadzenia doświadczenia przedstawiono w części I niniejszego opracowania (Musolf i in., 2005). Do oceny produktywności agronomicznej potasu zastosowano następujący algorytm:

$$EA_{\text{brutto}} = \text{plon użytkowy (korzenie)} / \text{dawka } K_2O \text{ w nawozie}$$

Efektywność agronomiczna brutto określa tylko ogólny kierunek działania testowanych systemów nawożenia, lecz nie pozwala wyciągnąć wniosków o rzeczywistej produktywności jednostki zastosowanego składnika. Takiej informacji dostarcza parametr zwany efektywnością agronomiczną netto, który wyliczono z algorytmu:

$$EA_{\text{netto}} = (\text{plon } P_i - \text{plon } P_k) / \text{dawka składnika}$$

gdzie:

- i — testowany wariant nawozowy;
- k — obiekt kontrolny.

Do oceny ekonomicznej działania testowanych czynników zastosowano metodę nadwyżki bezpośredniej, która umożliwia porównanie systemów nawożenia (Kucińska i in., 2002). Analiza ekonomiczna objęła wszystkie warianty doświadczeń wraz z powtórzeniami. Dane dotyczące kosztów pracy maszyn, cen środków ochrony roślin oraz materiału siewnego pozyskano z Cukrowni Kościan S.A, a także z okolicznych punktów wykonujących usługi rolnicze. Ceny nawozów stanowią średnią cenę z trzech punktów sprzedaży na terenie Wielkopolski.

Ocenę statystyczną uzyskanych wyników przeprowadzono metodą analizy wariancji i regresji prostej. Do obliczeń użyto programu komputerowego STATPAKU[®] autorstwa dr. P. Toboły (AR Poznań) oraz Arkusz Kalkulacyjny Excel[®] ver. 97 firmy Microsoft.

WYNIKI I DYSKUSJA

Testowane czynniki doświadczalne, a więc nawożenie potasem i warunki wodne, istotnie kształtowały plony buraków cukrowych (tab. 1). Nie stwierdzono zależności od lat, pomimo że w każdym roku badań zachodziły znaczne różnice w ilości wody docierającej do powierzchni plantacji (tab. 2).

Tabela 1

Plon korzeni buraków cukrowych jako wynik nawożenia potasem na tle zróżnicowanych warunków wodnych, t·ha⁻¹
Yield of taproots of sugar beets as a result of potassium fertilization under diversified water conditions, t·ha⁻¹

Obiekty ¹ Treatments	Lata badań Years of study			Średnia Mean
	1998	1999	2000	
K+	57,86	45,10	59,03	54,00
K-	46,54	37,32	46,76	43,54
NIR _{0,05}	—	—	—	3,719
LSD _{0,05}	—	—	—	—
I	53,80	59,48	63,35	58,87
D ₁	49,37	33,47	42,12	41,65
D ₂	47,30	30,28	50,11	42,56
C	58,32	41,61	56,01	51,98
NIR _{0,05}	—	—	—	4,150
LSD _{0,05}	—	—	—	—

I — Obiekt nawadniany; Irrigated treatment; D₁ — Symulowana susza w lipcu; Drought imposed in July;

D₂ — Symulowana susza w sierpniu, Drought imposed in August; C — Naturalne warunki wodne; Natural water conditions; K +, K - — Obiekty nawożony (+) potasem / Obiekty nienawożone (-) potasem; Main plots fertilized (+) or not (-) Fertilized with potassium

Tabela 2

Łączna ilość wody docierająca do powierzchni plantacji buraka cukrowego, mm
Total amount of water reaching surface of the sugar beet canopy, mm

Obiekty ¹ Treatments	Lata badań years of study			Średnia Mean
	1998	1999	2000	
I	506,3	405,6	403,2	438,4
D ₁	363,1	303,7	229,0	298,6
D ₂	325,2	293,6	251,6	290,1
Suma od IV do IX na poletkach C Sum from IV to IX on C plots	426,3	325,6	323,2	358,4

¹ I — obiekt nawadniany; irrigated treatment; D₁ — symulowana susza w lipcu; drought imposed in July;

D₂ — symulowana susza w sierpniu, drought imposed in August; C — naturalne warunki wodne, natural water conditions;

W ten sposób otrzymano założony efekt doświadczalny działania zmiennych warunków wodnych na plony korzeni buraka cukrowego. Wyniki są interesujące, gdyż w pierwszym

i trzecim roku badań, przy zróżnicowanej sumie opadów, uzyskano plony porównywalne, a w drugim roku badań, z suchym latem, znacznie mniejsze. Według Panek (1993) buraki w Polsce w okresie letniej wegetacji (lipiec, sierpień) wykazują zapotrzebowanie na wodę w ilości 30 mm na dekadę. Oznacza to, że w okresie 6 dekad (lipiec, sierpień) sumaryczny opad powinien wynosić 180 mm. W kolejnych latach badań, to znaczy 1998, 1999, 2000, suma opadów naturalnych wynosiła odpowiednio 92%, 30% i 93% powyższej wartości.

Analiza jednostkowej produktywności wody wykazała duże zróżnicowanie, zarówno w latach, jak i w następstwie działania czynnika wodnego (tab. 3). W kolejnych latach, rozważanych pod względem wzrastającej wielkości plonów, uzyskano następujące szeregi:

1998: $I < C = D_1 < D_2$;

1999: $D_2 < D_1 < C < I$;

2000: $I < C < D_1 < D_2$.

Tabela 3

Jednostkowa produktywność czynników doświadczalnych
Specific productivity of experimental treatments

Obiekty doświadczalne ¹ Experimental treatments	Lata badań Years of study			Średnia Mean
	1998	1999	2000	
produktywność wody — water productivity (mm ⁻¹)				
korzenie — roots				
I	106,3	146,6	157,1	134,3
D ₁	136,0	110,2	183,9	156,2
D ₂	145,4	103,1	199,2	146,7
Produktywność Productivity	136,8	127,8	173,3	145,0
produktywność potasu — potassium productivity (kg·K ₂ O ⁻¹)				
korzenie — roots				
K +				
EA _{brutto}	385,7	300,7	393,5	360,0
EA _{netto}	75,5	51,9	81,8	69,7

¹ I — Obiekt nawadniany; Irrigated treatment; D₁ — Symulowana susza w lipcu; Drought imposed in July; D₂ — Symulowana susza w sierpniu; Drought imposed in August; C — Naturalne warunki wodne; Natural water conditions; K +, K - — Obiekty nawożone (+) potasem / Obiekty nienawożone (-) potasem; Main plots fertilized (+) or not (-) Fertilized with potassium

Największa, jednostkowa produktywność wody w roku 1999, o najmniejszych plonach, dorównała produktywności wody w wariancie D₂ w roku 1998, będąc jednocześnie niższa od najmniejszej wartości w roku 2000 (wariant nawadniany). Uzyskane zależności wykazały większą produktywność wody na obiektach z symulowaną suszą w latach z letnimi opadami, a depresję w roku z letnią suszą. Jak wynika z przeprowadzonej analizy wariancji i regresji prostej, ilość wody dopływająca do powierzchni roślin buraka w sezonie wegetacyjnym, określiła aż w 97% zmienność uzyskanych plonów korzeni. Taki sam efekt diagnostyczny otrzymano dla efektywności jednostkowej wody w roku 1999. Oznacza to, że dla średnich w omawianym okresie, decydująca okazała się jednostkowa produktywność wody w roku suchym, a nie średnia dla tego okresu. Otrzymane prawidłowości przedstawiają poniższe równania:

$$PK = 0,118 Op + 7,935 \quad R^2 = 0,969 \quad n = 4$$

$$PK = -0,821 EA_{ws} + 168,3 \quad R^2 = 0,81 \quad n = 4$$

$$PK = 0,413 EA_{w1999} - 1,548 \quad R^2 = 0,956 \quad n = 4$$

gdzie:

PK — plon korzeni, t·ha⁻¹

Op — suma opadów, mm

EA_{ws}, 1999 — kg korzeni·l mm⁻¹, odpowiednio dla średniej z lat i roku 1999

Agronomiczna efektywność potasu nawozowego, w każdym roku badań, potwierdziła stymulujący wpływ tego pierwiastka na plony korzeni. Porównywalne efekty plonotwórcze otrzymano w latach 1998 i 2000, a zdecydowanie mniejsze w roku 1999.

Koszty, ponoszone w omawianym doświadczeniu, wykazały różnicę tylko w jednym punkcie, kosztach nawozu potasowego. Zatem, podstawowe pytanie sprowadza się do oceny opłacalności nawożenia plantacji buraków cukrowych potasem. Analiza dochodu brutto wykazała niezależne od lat działanie czynnika wodnego i zależne czynnika nawozowego (tab. 4 i 5).

Tabela 4

Dochód brutto uprawy buraka cukrowego jako wynik nawożenia potasem na tle zróżnicowanych warunków wodnych, PLN·ha⁻¹
Gross revenue of sugar beets as the result of potassium application under diversified water conditions, PLN·ha⁻¹

Potas ¹ Potassium	Warianty wodne Water treatments				Średnia Mean
	I	D ₁	D ₂	C	
K +	6605,6	4742,1	4899,0	5857,4	5526,1
K -	5469,4	4168,3	3763,1	4885,1	4751,5
NIR _{0,05}	—				322,87 ²
LSD _{0,05}					
Średnia Mean	6037,5	4455,2	4331,1	5371,2	
NIR _{0,05}	310,53				
LSD _{0,05}					

¹K +, K - — Obiekty nawożone (+) potasem / Obiekty nienawożone (-) potasem; Main plots fertilized (+) or not (-) Fertilized with potassium

Tabela 5

Dochód brutto uprawy buraka cukrowego jako wynik nawożenia potasem, PLN·ha⁻¹
Gross revenue of sugar beets as the result of potassium application, PLN·ha⁻¹

Warianty ¹ Treatments	Lata Years		
	1998	1999	2000
K +	5487,3	4448,7	6642,1
K -	4480,2	3653,2	5581,0
NIR _{0,05}	348,52		
LSD _{0,05}			

¹K +, K - — Obiekty nawożone (+) potasem / Obiekty nienawożone (-) potasem; Main plots fertilized (+) or not (-) Fertilized with potassium

W stosunku do kontroli, czyli obiektu z naturalnymi opadami atmosferycznymi, przyjętymi za 100%, rośliny nawadniane przysporzyły dochód brutto wartości 112,4%, natomiast rośliny poddane symulowanej suszy w lipcu 82,9%, a w sierpniu 80,6%. Nawożenie potasem wykazało działanie zależne od lat, a różnica w działaniu potasu na dochód brutto wyniosła w roku 1998 +1000,7 PLN; 1999 +834,5 PLN, a w roku 2000 +1061,1 PLN. Otrzymane zależności przedstawiają poniższe równania:

$$DB = 102,77 PK + 62,95 \quad R^2 = 0,9869 \quad n = 4$$

$$DB = 113,37 PK - 480,1 \quad R^2 = 0,7775 \quad n = 6$$

Działanie obu czynników doświadczalnych wykazało identyczny wpływ na nadwyżkę bezpośrednią. Jak wynika z poniższych równań, plony korzeni na obiektach z potasem, także zależne od lat, w większym stopniu tłumaczą wartość nadwyżki bezpośredniej na obiektach nawożonych, niż na obiekcie kontrolnym.

$$NB = 106,21 PK - 3107,6 \quad R^2 = 0,7362 \quad n = 6$$

$$NB_K^+ = 125,76 PK - 4318,2 \quad R^2 = 0,787 \quad n = 3$$

$$NB_K^- = 149,66 PK - 4844,5 \quad R^2 = 0,695 \quad n = 3$$

Nawożenie potasem, w stosunku do badania kontrolnego pozwoliło osiągnąć w roku 1998 nadwyżkę bezpośrednią wartości +852,1 PLN; w roku 1999 +640,5 PLN a w roku 2000 +906 PLN. Oznacza to, że w każdym roku, niezależnie od warunków pogodowych zastosowany nawóz potasowy, przynosił dochód, pokrywający koszty zakupu i zastosowania nawozu.

Tabela 6

Nadwyżka bezpośrednia w uprawie buraka cukrowego jako wynik nawożenia potasem na tle zróżnicowania warunków wodnych, PLN·ha⁻¹
Net return of sugar beet cultivation as the result of potassium application under diversified water treatments, PLN·ha⁻¹

Potas Potassium	Warianty wodne Water treatments				Średnia Mean
	I	D ₁	D ₂	C	
K +	3550,6	1687,1	1844,0	2802,4	2471,0
K -	2569,4	1268,3	863,1	1985,0	1671,5
NIR _{0,05}	—				
LSD _{0,05}					
Średnia Mean	3060,0	1477,7	1353,6	2393,7	322,87 ²
NIR _{0,05}	310,53				
LSD _{0,05}					

¹K +, K - — Obiekty nawożone (+) potasem / Obiekty nienawożone (-) potasem; Main plots fertilized (+) or not (-) Fertilized with potassium

Przeprowadzone badania wykazały, a jednocześnie potwierdziły, decydujący wpływ warunków wodnych w okresie wegetacji buraków cukrowych na końcowe plony korzeni. Zatem logicznym rozwiązaniem problemu zaopatrzenia buraków w wodę jest nawadnianie, co potwierdza wiele zagranicznych i polskich opracowań (Hill i in., 1990; Borówczak, 2002). Nawadnianie jest jednakże bardzo kosztochłonnym zabiegiem

agrotechnicznym, dlatego poszukuje się innych, tańszych rozwiązań, przykładowo optymalizując nawożenie (Grzebisz i Barłóg, 2002).

Tabela 7

Nadwyżka bezpośrednia uprawy buraka cukrowego jako wynik nawożenia potasem, PLN·ha⁻¹
Net return of sugar beet cultivation as the result of potassium application, PLN·ha⁻¹

Warianty ¹ Treatments	Lata Years		
	1998	1999	2000
K +	2432,3	1393,7	3587,1
K -	1580,2	753,2	2681,0
NIR _{0,05}	348,52		
LSD _{0,05}			

¹K +, K - — Obiekty nawożone (+) potasem / Obiekty nienawożone (-) potasem; Main plots fertilized (+) or not (-) Fertilized with potassium

Plonotwórcza rola potasu, wynikająca z funkcji, jaką pełni ten pierwiastek w procesach odpowiedzialnych za gospodarkę wodną rośliny i jej metabolizm mineralny, jest nie do przecenienia (Marschner i in., 1996; Grzebisz, 2004). Dodatnią rolę potwierdzają najnowsze wyniki badawcze. Bałróg i wsp. (2001) wykazali, że spośród podstawowych kationów potas w największym stopniu kształtuje plony korzeni. Braunschweig i wsp. (2002) wykazali, w warunkach niemieckich, dodatnią reakcję plonotwórczą buraków na dawkę 300 kg K₂O·ha⁻¹. Autorzy tłumaczą dodatni wpływ nawożenia potasem zarówno postępowaniem biologicznym (nowe, bardziej intensywne odmiany), jak i większą produktywnością gleby nawożonej systematycznie dużymi dawkami potasu. Według Wojciechowskiego i wsp. (2002) optymalizacja nawożenia winna uwzględniać także typ reakcji gleby na nawożenie. W stanowiskach nie reagujących na nawożenie potasem, nadmierne dawki składnika prowadzą do spadku plonów korzeni.

WNIOSKI

1. Doświadczalnie ustalone sumy wody docierającej do powierzchni plantacji buraków cukrowych oraz ich rozkład w okresie wegetacji, istotnie kształtowały plony buraków cukrowych.
2. Zależność czynnika nawozowego od lat potwierdza hierarchiczną dominację czynnika wodnego.
3. Potas, niezależnie od lat, pozwalał uzyskać wartość nadwyżki bezpośredniej, wielokrotnie przekraczającej koszt zastosowanego nawozu.

LITERATURA

- Barłóg P., Lehrke R., Górski D., Paradowski A. 2001. Pobranie potasu, magnezu i sodu przez odmiany buraka cukrowego w zależności od nawozu potasowego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 480: 167 — 176.
- Braunschweig L. Ch. 2002. Effect of different K-supply on sugar beet production and soil fertility in a long-term fertilizer experiment. Biul. IHAR 222: 31 — 38.
- Borówczak F. 2002. Przyrodnicze i agrotechniczne uwarunkowania plonowania buraków cukrowych. W: W. Grzebisz (red.). Nowoczesna uprawa buraków cukrowych. Wyd. AR Poznań: 20 — 28.

- Freckleton R. P., Watkinson A. R., Webb D. J. 1999. Yield in sugar beet in relation to weather and nutrients. *Agric. For. Meteorol.* 93 (1): 39 — 51.
- Grzebisz W., Barłóg P. 2002. Zasady nawożenia. W: W. Grzebisz (ed.) *Nowoczesna uprawa buraków cukrowych*. Wyd. AR Poznań: 62 — 85.
- Grzebisz W. 2004. Potas w produkcji roślinnej. IPI, Bazylea: 88.
- Herlihy M. 1992. Effects of N, P and K on yield and quality of sugar beet. *Irish J. Agric. and Food Res.*, 31: 35 — 49.
- Hills F. J., Winter S. R., Henderson D. W. 1990. Sugarbeet. In: *Irrigation of Agricultural Crops*. Agronomy Monograph 30: 795 — 810.
- Kucińska K., Artyszak A., Ostrowska D. 2002. Wykorzystanie nadwyżki bezpośredniej w ocenie efektywności ekonomicznej uprawy buraka cukrowego. *Biul. IHAR* 222: 49 — 55.
- Marschner H., Kirkby E. A., Cackmak J. 1996. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photo-assimilates and cycling of mineral nutrients. *J. Exp. Botany*: 1255 — 1263.
- Musolf R., Grzebisz W., Szczepaniak W. 2005. Wpływ nawożenia potasem na tle zróżnicowanych warunków wodnych na plon i jakość korzeni buraka cukrowego (*Beta vulgaris* L.). Część I. Reakcja plonotwórcza. *Biul. IHAR* 234: 107 — 114.
- Rudnicki F., Wasilewski P., Urbanowski St. 1997. Zależność plonu buraka cukrowego od warunków opadowo-termicznych w okresie wegetacji. *Biul. IHAR* 202: 97 — 103.
- Tassell L. W., Yang B., Blalock B. 1996. An economic analysis of alternative nitrogen fertilization methods for sugar beets. *J. Prod. Agric.* 9/3: 390 — 394.
- Wojciechowski A., Szczepaniak W., Grzebisz W. 2002. Wpływ nawożenia potasem na plony i jakość technologiczną buraka cukrowego. Część IV. Ilość potasu przyswajalnego a plony cukru. *Biul. IHAR*, 222: 77 — 82.