

## REAKCJA BURAKA CUKROWEGO NA DAWKĘ I FORMĘ CHEMICZNĄ SODU NA TLE OBORNIKA CZEŚĆ I. PLON I JAKOŚĆ KORZENI

PRZEMYSŁAW BARŁÓG, WITOLD SZCZEPANIAK, WITOLD GRZEBISZ

*Katedra Chemii Rolnej i Biogeochemii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu*

przembar@up.poznan.pl

**Synopsis.** Badania, przeprowadzone w latach 2001–2003, miały na celu określenie roli sodu w kształtowaniu plonu i jakości buraka cukrowego na tle zastosowanego obornika. Badano następujące czynniki: nawożenie obornikiem (kontrola – bez obornika; 30 t·ha<sup>-1</sup>), dawka sodu (0; 12,5; 25 i 50 kg Na·ha<sup>-1</sup>), rodzaj nawozu z sodem (NaCl; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i NaNO<sub>3</sub>). Z uzyskanych badań wynika, że reakcja buraka cukrowego na nawożenie sodem zależała od dawki i formy chemicznej sodu. Największy przyrost plonu korzeni i cukru uzyskano po zastosowaniu 50 kg Na·ha<sup>-1</sup> w formie NaNO<sub>3</sub>. Spośród testowanych nawozów najgorzej działał NaCl. Generalnie, plon korzeni przyrastał proporcjonalnie do dawki nawozowej sodu, niezależnie od poziomu nawożenia obornikiem. Taka reakcja rośliny wskazuje, że na glebach ubogich w sód, obornik nie pokrywa w pełni zapotrzebowania buraka cukrowego na badany pierwiastek. Czynniki nawozowe nie miały natomiast istotnego wpływu na jakość technologiczną korzeni. Jednakże, w warunkach jednoczesnego stosowania obornika i nawozów mineralnych zaobserwowano trend do wzrostu koncentracji sodu w korzeniach.

**Słowa kluczowe** – *key words*: nawożenie sodem – *sodium fertilization*, plon korzeni – *taproots yield*, jakość korzeni – *taproots quality*, plon cukru – *sugar yield*

### WSTĘP

W tradycyjnej technologii nawożenia buraka cukrowego istotnym źródłem składników mineralnych w glebie są nawozy naturalne, zwłaszcza obornik [Ceglarek i Buraczyńska 2002, Braunschweig i Orlovius 2002, Maćkowiak i Żebrowski 2000]. Spośród szeregu składników mineralnych zawartych w oborniku, pierwiastkiem wymagającym szczególnego wyróżnienia ze względu na potrzeby pokarmowe buraka cukrowego jest sód. Nie należy on do grupy pierwiastków niezbędnych dla życia roślin uprawnych. Pomimo to, niektóre gatunki, w tym burak cukrowy, korzystnie reagują na jego obecność w glebie [Pilon-Smith i in. 2009]. Na tle krajów Europy, większość gleb Polski odznacza się niewielką zawartością sodu. Wynika to przede wszystkim ze skały macierzystej gleb, ubogiej w koloidy mineralne i związki sodu [Grzebisz i Diatta 2012]. Ponadto, większość obszaru kraju leży w dużym oddaleniu od mórz i oceanów, a tym samym dopływ składnika z tego źródła jest stosunkowo mały i mieści się w zakresie 1–3 kg Na·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> [Werner i in. 2011].

Większość badaczy zgadza się z tezą, że nawożenie sodem zwiększa plon korzeni buraka cukrowego [Draycott 1996, Haneklaus i in. 1998]. Jednakże opinie na temat roli sodu w kształtowaniu jakości korzeni są kontrowersyjne i niejednoznaczne [Braunschweig 1983, Römer i in. 2004, Szulc in. 2008]. Obserwowana zmienność reakcji buraka cukrowego na sód wynika

z szeregu czynników. Wśród nich, najważniejszy to przebieg pogody [Barlóg i in. 2002, Milford i in. 2000], właściwości fizyczne i chemiczne gleby [Draycott i Durrant 1976, Wakeel i in. 2010], rodzaj i termin stosowania nawozu [Allison i in. 1994, Henkens 1971, Prośba-Białczyk i Mydlarski 2002], a także genotyp rośliny [Tsialtas i Maslaris 2009]. W niniejszej pracy postawiono hipotezę, że w warunkach ograniczania stosowania obornika zwiększa się plonotwórcza rola sodu w uprawie buraka cukrowego. Ponadto założono, że efekt nawożenia sodem zależy od formy chemicznej składnika w nawozie. Weryfikacja powyższej hipotezy wymagała przeprowadzenia badań, które miały na celu określenie wpływu dawki i związku sodu na plon i jakość korzeni buraka cukrowego na tle nawożenia obornikiem.

## MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w latach 2001–2003, w gospodarstwie rolnym w Czempiniu (52°07' N, 16°45' E). Badano następujące czynniki: nawożenie obornikiem [kontrola – bez obornika (-Ob.) i 30 t·ha<sup>-1</sup> (+Ob.)], dawka sodu [0; 12,5; 25 i 50 kg Na·ha<sup>-1</sup>] oraz rodzaj nawozu [NaCl; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i NaNO<sub>3</sub>]. Doświadczenia przeprowadzono w układzie bloków losowanych, w czterech powtórzeniach, na poletkach o powierzchni 54 m<sup>2</sup>. Przedplonem było pszenżyto jare. Obornik (bydlęco-świński) stosowano jesienią, w roku poprzedzającego doświadczenie. W tym samym terminie wysiewano superfosfat prosty (21 kg P·ha<sup>-1</sup>) oraz sól potasową (120 kg K·ha<sup>-1</sup>). Nawozy zawierające sód stosowano wiosną, 2 tygodnie przed siewem buraka cukrowego (odmiana Kasandra). Dawka azotu wynosiła 120 kg N·ha<sup>-1</sup> (60 kg N·ha<sup>-1</sup> przedsiwnie + 60 kg N·ha<sup>-1</sup> w fazie 4–6 liści, w formie saletry amonowej). W obliczeniach uwzględniono ilość azotu wprowadzoną do gleby z NaNO<sub>3</sub>. W trakcie wegetacji stosowano standardową pielęgnację i ochronę roślin (herbicydy Betanal Progress AM 180 EC + Goltix 70 WP w dawkach 1,5+2,0 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> oraz fungicyd Duett 250 SC – 1,0 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>).

Burak cukrowy zbierano ręcznie w stadium dojrzałości technologicznej (BBCH 49) z powierzchni 10,8 m<sup>2</sup> (początek października). W korzeniach oznaczano zawartość cukru (polaryzacja, SC), azotu  $\alpha$ -aminowego (AmN), potasu (K) i sodu (Na). Ocena jakości korzeni wykonano na autoanalyzerze Venema, w Środziszewie Wlkp (Pfeifer & Langen). Według standardowych równań wyliczono straty cukru do melasy (SML), wydajność procesu (SR), a także plon technologiczny cukru (PTC) [Buchholz i in. 1995].

Doświadczenia prowadzono na glebie lekkiej, klasy bonitacyjnej IVa, zaliczanej według klasyfikacji WRB do grupy Luvisols. W kolejnych latach badań (2001, 2002, 2003), odczyn gleby mierzony w 1 M KCl wynosił odpowiednio 5,3; 5,8 i 7,0. Gleba odznaczała się dużą zasobnością w fosfor (79; 89; 114 mg P·kg<sup>-1</sup>) oraz potas (150; 171; 121 mg K·kg<sup>-1</sup>), oznaczanego metodą Egnera-Riehma. Zawartość sodu przyswajalnego (metoda Schachtschabela) mieściła się w klasie niskiej i średniej zasobności (6,7; 4,3; 9,9 g Na·kg<sup>-1</sup>).

W trakcie prowadzenia badań najmniej sprzyjające warunki pogodowe dla wzrostu i plonowania buraka cukrowego panowały w roku 2003. W roku tym, suma opadów atmosferycznych w sezonie wegetacyjnym (miesiące IV–X) wyniosła tylko 269 mm. W poprzednich latach zanotowano znacznie większe wartości, gdyż od 424 do 505 mm (tab. 1).

Ocenę działania pojedynczych czynników badawczych (rok, obornik, sód), jak również współdziałania między nimi, przeprowadzono przy pomocy trójkierunkowej analizy wariancji. Różnice między średnimi porównywano za pomocą wartości NIR, wyliczonych metodą Tuckey'a, na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . Współzależności między cechami analizowano wykorzystując analizę korelacji oraz regresję wielozmienną. Analizy statystyczne wykonano przy pomocy programu STATISTICA.

Tabela 1. Warunki pogodowe w okresie wegetacji buraka cukrowego w latach 2001–2003 na tle danych z wielolecia

Table 1. Weather conditions during the growing season of sugar beet in the years 2001–2003 versus long-term data

Miesiące Months	Opady – Rainfalls (mm)				Temperatura – Temperature (°C)			
	2001	2002	2003	1954–2000	2001	2002	2003	1954–2000
IV	43,6	63,9	14,2	36,8	11,8	7,6	8,2	7,8
V	30,7	38,5	36,5	48,3	15,4	14,8	16,8	13,6
VI	91,7	66,5	27,6	62,0	17,7	15,1	18,8	16,6
VII	137,6	64,0	84,8	81,1	16,5	19,9	20,0	18,3
VIII	65,6	49,3	37,7	65,6	18,1	19,1	20,6	17,8
IX	111,6	52,7	26,2	42,5	12,2	11,8	13,3	13,1
X	24,4	89,5	42,2	36,3	11,7	11,5	7,2	8,3
Suma/Średnia Sum/Mean	505,2	424,4	269,2	372,6	14,8	14,3	15,0	13,6

Dane – Data: Hodowla Roślin Strzelce, Oddział Borowo (52°07' N, 16°46' E)

## WYNIKI BADAŃ

Plon korzeni buraka cukrowego (PK) istotnie zależał od czynnika sezonowego ( $F = 351,18$ ;  $p < 0,001$ ), nawożenia obornikiem ( $F = 96,73$ ;  $p < 0,001$ ), a także wariantu nawożenia sodem ( $F = 2,32$ ;  $p < 0,05$ ). Istotne współdziałanie czynników stwierdzono tylko w odniesieniu do sezonu wegetacyjnego i nawożenia obornikiem ( $F = 6,35$ ;  $p < 0,01$ ). Różnica w poziomie plonowania między latami 2001 i 2002 dotyczyła obiektów nawożonych obornikiem (tab. 2). Przyczyną słabego plonowania buraka w roku 2003 były wyjątkowo małe opady atmosferyczne w lipcu i sierpniu. Nawożenie obornikiem w każdym sezonie wegetacyjnym istotnie zwiększało plon korzeni. W kolejnych latach badań stwierdzono następujące przyrosty plonu korzeni: 17,4; 7,2 oraz 18,2%. Badany czynnik dodatnio wpływał również na plon liści buraka cukrowego. Średni przyrost plonu korzeni i liści pod wpływem nawożenia obornikiem wynosił odpowiednio 13,9 oraz 19,8%. W wyniku działania opisywanego czynnika, otrzymano nieznaczny wzrost relacji korzenie/liście (kontrola = 0,43; obornik = 0,44).

Nawożenie sodem dodatnio kształtowało plon korzeni buraka cukrowego. Na obiekcie z NaCl przyrosty plonu korzeni wraz z kolejną dawką sodu wynosiły odpowiednio 0,4; 3,1 i 5,6; dla  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 1,5; 4,8 i 8,6 a dla  $\text{NaNO}_3$  – 4,8; 4,2 i 10,1%. Spośród testowanych nawozów tylko  $\text{NaNO}_3$  w dawce 50 kg  $\text{Na} \cdot \text{ha}^{-1}$  istotnie zwiększył plon korzeni względem kontroli. Nawożenie  $\text{NaNO}_3$  zwiększało również w większym stopniu masę liści niż NaCl i  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Istotną różnicę stwierdzono między wariantem  $\text{NaNO}_3$  w dawce 50 kg  $\text{Na} \cdot \text{ha}^{-1}$  a kontrolnym oraz  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  w dawce 12,5 kg  $\text{Na} \cdot \text{ha}^{-1}$ . W przeprowadzonym doświadczeniu nie stwierdzono istotnego współdziałania „obornik x sól”. Zanotowano tylko trend dodatniego działania  $\text{NaNO}_3$  na obiekcie z obornikiem a  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  na obiekcie bez obornika (tab. 3).

Tabela 2. Plon korzeni i liści buraka cukrowego w zależności od sezonu wegetacyjnego (Y) i nawożenia obornikiem (A)

Table 2. Taproots and leaves yield of sugar beet depending on vegetation season (Y) and farmyard manure (A) application

Rok – Year	Plon korzeni – Taproots yield (t·ha <sup>-1</sup> )			Plon liści – Leaves yield (t·ha <sup>-1</sup> )		
	-Ob. -FYM	+Ob. +FYM	Średnia Mean	-Ob. -FYM	+Ob. +FYM	Średnia Mean
2001	59,1	69,4	64,3	25,4	31,7	28,6
2002	55,6	59,6	57,6	12,6	16,1	14,4
2003	38,0	45,0	41,5	23,9	26,6	25,2
Średnia – Mean	50,9	58,0	–	20,7	24,8	–
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub>	Y – 6,0; A – 6,4; Y x A – 3,6			Y – 3,0; A – 3,7; Y x A – 2,3		

Tabela 3. Plon korzeni i liści korzeni buraka cukrowego w zależności od nawożenia obornikiem (A) i sodem (B); średnia dla lat 2001–2003

Table 3. Taproots and leaves yield of sugar beet depending on farmyard manure (A) and sodium (B) application; mean for 2001–2003

Forma i dawka sodu Type and rate of Na (kg Na·ha <sup>-1</sup> )	Plon korzeni – Taproots yield (t·ha <sup>-1</sup> )			Plon liści – Leaves yield (t·ha <sup>-1</sup> )		
	-Ob. -FYM	+Ob. +FYM	Średnia Mean	-Ob. -FYM	+Ob. +FYM	Średnia Mean
0	47,8	56,5	52,2	17,8	23,8	20,8
NaCl	12,5	50,3	54,5	20,3	24,1	22,2
	25	51,2	56,4	23,2	23,3	23,3
	50	52,0	58,2	21,5	24,9	23,2
	12,5	49,9	56,2	19,4	22,6	21,0
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	25	53,4	56,0	20,3	25,0	22,6
	50	53,4	60,1	20,0	25,5	22,7
	12,5	50,2	59,2	21,6	25,7	23,6
NaNO <sub>3</sub>	25	48,1	60,7	21,3	25,9	23,6
	50	52,8	62,2	21,2	27,1	24,1
	NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub>	B – 4,6; A x B – r.n.			B – 2,9; A x B – r.n.	

r.n. – różnica nieistotna – non significant differences

Jakość korzeni buraka cukrowego istotnie zależała od sezonu wegetacyjnego. W roku 2003 uzyskano istotnie większą koncentrację cukru w korzeniach niż w latach 2001 i 2002 (16,7 i 16,6%). Z kolei korzenie zebrane w latach 2001 i 2002 charakteryzowały się istotnie większą zawartością AmN (21,1 i 35,9 mM·kg<sup>-1</sup>) i K (45,9 i 41,8 mM·kg<sup>-1</sup>) niż w roku 2003 (AmN = 17,7 i K = 37,9 mM·kg<sup>-1</sup>). Czynnikiem lat nie miał natomiast istotnego wpływu na zawartość Na w korzeniach, którego przeciętne wartości wahały się od 6,3 (2001) do 7,0 mM·kg<sup>-1</sup> (2003). Najlepszą jakością korzeni, wyrażoną parametrami SML oraz SR, uzyskano w roku 2003 (2,0 i 89,0%), a najgorszą w roku 2002 (2,5 i 84,9%).

Nawożenie obornikiem i sodem nie miało istotnego wpływu na zawartość cukru i związków melasotwórczych w korzeniach buraka cukrowego. Zaobserwowane różnice miały charakter trendu (tab. 4). Obornik poprawiał jakość korzeni poprzez wzrost zawartości cukru i obniżenie

Tabela 4. Jakość korzeni buraka cukrowego w zależności od nawożenia obornikiem (A) i sodem (B); średnia dla lat 2001–2003

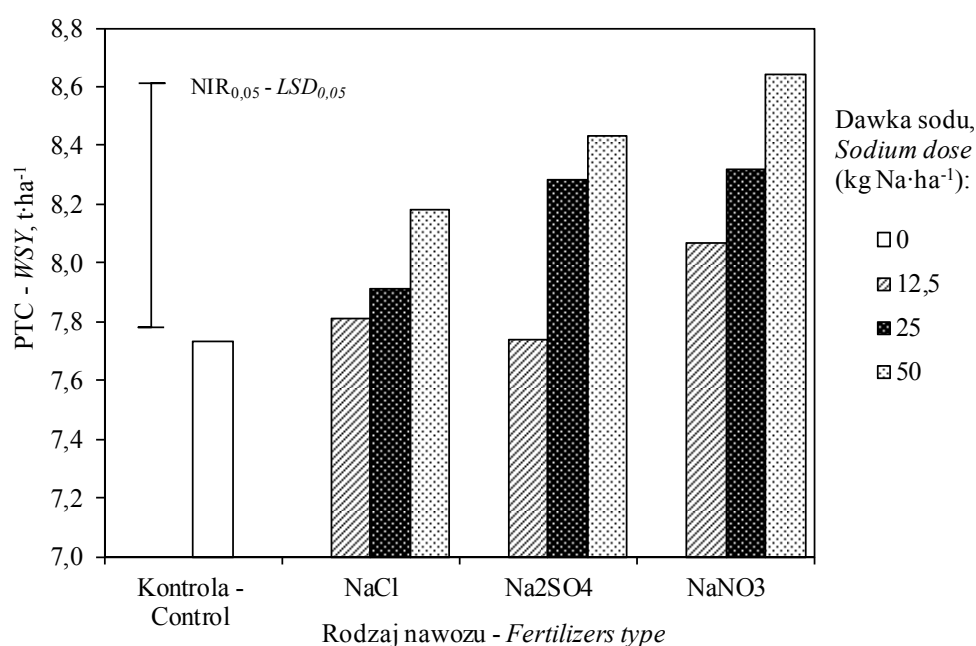
Table 4. Taproots quality of sugar beet depending on farmyard manure (A) and sodium (B) application; mean for 2001–2003

Czynnik Factor	Kontrola Control	Rodzaj i dawka nawozu – Fertilizers type and dose of sodium (kg Na·ha <sup>-1</sup> )									Średnia Mean
		NaCl			Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			NaNO <sub>3</sub>			
		12,5	25	50	12,5	25	50	12,5	25	50	
Zawartość cukru – Sucrose content (%)											
-Ob.-FYM	17,1	17,2	16,9	17,2	17,1	17,4	17,2	17,2	17,5	17,2	17,2
+Ob.+FYM	17,5	17,5	17,1	17,4	17,1	17,5	17,3	17,2	17,5	17,5	17,4
Średnia–Mean	17,3	17,4	17,0	17,3	17,1	17,5	17,2	17,2	17,5	17,3	17,3
AmN (mmol·kg <sup>-1</sup> )											
-Ob.-FYM	26,4	26,5	27,8	24,8	26,4	26,9	28,6	27,3	24,6	24,5	26,4
+Ob.+FYM	23,4	26,0	26,0	22,5	23,0	24,0	22,4	24,2	21,6	20,9	23,4
Średnia–Mean	24,9	26,2	26,9	23,7	24,7	25,4	25,5	25,7	23,1	22,7	24,9
Na (mmol·kg <sup>-1</sup> )											
-Ob.-FYM	6,5	6,1	6,9	7,2	6,6	6,1	7,2	6,6	5,3	6,1	6,5
+Ob.+FYM	6,8	6,6	7,4	7,9	6,9	6,9	7,4	6,6	7,0	6,3	7,0
Średnia–Mean	6,6	6,4	7,2	7,5	6,7	6,5	7,3	6,6	6,1	6,2	6,7
K (mmol·kg <sup>-1</sup> )											
-Ob.-FYM	43,4	44,1	43,8	41,9	42,6	42,6	40,4	41,6	37,8	41,7	42,0
+Ob.+FYM	40,9	43,1	43,2	44,0	42,7	44,1	36,4	40,6	40,7	43,1	41,9
Średnia–Mean	42,1	43,6	43,5	42,9	42,6	43,4	38,4	41,1	39,3	42,4	41,9
SML (%)											
-Ob.-FYM	2,30	2,31	2,34	2,25	2,29	2,30	2,33	2,30	2,18	2,23	2,28
+Ob.+FYM	2,20	2,29	2,30	2,23	2,21	2,26	2,13	2,21	2,16	2,16	2,21
Średnia–Mean	2,25	2,30	2,32	2,24	2,25	2,28	2,23	2,26	2,17	2,19	2,25
SR (%)											
-Ob.-FYM	86,4	86,5	86,0	86,8	86,4	86,7	86,3	86,5	87,5	86,9	86,6
+Ob.+FYM	87,4	86,9	86,6	87,1	86,9	87,1	87,6	87,1	87,6	87,6	87,2
Średnia–Mean	86,9	86,7	86,3	87,0	86,7	86,9	87,0	86,8	87,5	87,3	86,9

SML – straty cukru – standard molasses lost; SR – wydajność procesu – sugar recovery

AmN i K, lecz jednocześnie zwiększał zawartość sodu w korzeniach. W rezultacie badany czynnik obniżył przeciętną wartość SML, a zwiększył SR. Forma chemiczna i dawka sodu w niewielkim stopniu modyfikowała zawartość cukru biologicznego w korzeniach buraka cukrowego. Wraz z kolejną dawką NaCl oraz Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> zwiększała się głównie zawartość sodu w korzeniach, w szczególności na obiekcie z obornikiem. Jednocześnie pod wpływem tych nawozów zaznaczył się trend do obniżania koncentracji potasu. Pod tym względem mniej jednoznaczny wynik otrzymano dla NaNO<sub>3</sub>. Natomiast wraz z kolejną dawką tego związku obniżała się zawartość AmN, niezależnie od poziomu nawożenia obornikiem. Najmniejsze wartości SML zanotowano dla buraka nawożonego jednocześnie obornikiem i sodem w formie NaNO<sub>3</sub>.

Plon cukru technologicznego (PCT) istotnie zależał od czynnika sezonowego ( $F = 172,1$ ;  $p < 0,001$ ). W zależności od roku badań, wartości PCT można uszeregować następująco: 6,9 (2003) < 8,1 (2002) < 9,3 t·ha<sup>-1</sup> (2001). Buraki nawożone obornikiem wytworzyły istotnie większy plon cukru niż nie nawożone ( $F = 126,6$ ;  $p < 0,001$ ). Przeciętna różnica w poziomie plonowania wynosiła 16,0%. Warianty nawożenia sodem również istotnie różnicowały PCT ( $F = 3,38$ ;  $p < 0,01$ ). Przyrosty PCT w zależności od dawki i nawozu przedstawiały się następująco: NaCl – 1,0; 2,3 i 5,8; dla Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 1,3; 7,1 i 9,1 oraz dla NaNO<sub>3</sub> – 4,3; 7,6 i 11,8%. Istotny przyrost PCT względem kontroli otrzymano tylko na obiekcie nawożonym NaNO<sub>3</sub> w dawce 50 kg Na·ha<sup>-1</sup> (rys. 1.). Plon technologiczny cukru nie zależał istotnie od współdziałania „obornik x wariant nawożenia sodem”. Biorąc jednak pod uwagę ważkość badanego zjawiska, dodat-



Rys.1. Wpływ dawki i rodzaju nawozu sodowego na plon technologiczny cukru (PTC); średnia dla lat 2001–2003

Fig.1. Effect of dose and type of sodium fertilizers on white sugar yield (WSY); mean for 2001–2003

kowej analizie statystycznej poddano współdziałanie „obornik x dawka Na”. Jak wykazano, wartości PTC przyrastały proporcjonalnie do zastosowanej dawki sodu ( $D_{Na}$ ), niezależnie od poziomu nawożenia obornikiem. Jednak większą i bardziej istotną wartość współczynnika  $R^2$  otrzymano na obiekcie bez obornika:

$$\begin{array}{lll} \text{-Obornik; -FYM} & \text{PTC} = 7,163 + 0,0132 D_{Na}; & R^2 = 0,62; \quad p = 0,0069; \quad n = 10 \\ \text{+Obornik; +FYM} & \text{PTC} = 8,328 + 0,0146 D_{Na}; & R^2 = 0,40; \quad p = 0,0491; \quad n = 10 \end{array}$$

Plon technologiczny cukru (PTC) korelował dodatnio nie tylko z masą korzeni buraka cukrowego (PK), lecz także z zawartością w nich potasu. Przy czym, korelacja potasu z PCT była silniejsza na obiekcie bez obornika niż z obornikiem. Bezpośredni wkład potasu w tworzenie PCT był jednak nie istotny. Głównymi cechami jakościowymi kształtującymi PCT, obok polaryzacji, była zawartość AmN na obiekcie bez obornika, a także AmN oraz sól na obiekcie z obornikiem (tab. 5).

Table 5. Plon technologiczny cukru (PTC) jako funkcja plonu korzeni (PK) i parametrów ich jakości – współczynniki korelacji oraz regresji wielozmiennej ( $n = 30$ )

Table 5. White sugar yield as a function of beet yield and quality parameters – coefficients of correlation and multiple regression ( $n = 30$ )

Poziom czynnika <i>Factor level</i>	Zmienne niezależne – <i>Independent variables</i>					$R^2$
	PK	SC	AmN	K	Na	
Współczynniki korelacji ( $r$ ) – <i>Correlation coefficients (r)</i>						
-Ob.; -FYM	0.95***	-0.71*	0.33	0.70*	-0.10	–
+Ob.; +FYM	0.96***	-0.63*	-0.14	0.36*	-0.15	–
Współczynniki regresji wielozmiennej (BETA) – <i>Coefficients of multiple regression (BETA)</i>						
-Ob.; -FYM	1.45***	0.42***	-0.14**	-0.06	-0.03	0.99***
+Ob.; +FYM	1.30***	0.41***	-0.05*	-0.00	-0.03*	0.99***

\*, \*\*, \*\*\* – poziom istotności odpowiednio dla  $p < 0,05$ ,  $0,01$  oraz  $0,001$  – *significant level for  $p \leq 0.05$ ;  $0.01$ ;  $0.001$  respectively*

## DYSKUSJA

W badaniach własnych największy przyrost plonu korzeni buraka cukrowego oraz cukru pod wpływem stosowania obornika otrzymano w roku suchym, 2003, a najmniejszy w wilgotnym, 2002. Otrzymaną różnicę należy wiązać z i) większym tempem mineralizacji związków organicznych azotu w ciepłym i suchym sezonie wegetacyjnym, ii) stymulacją wzrostu korzeni, iii) zwiększeniem tolerancji roślin na stres wodny [Blecharczyk i Grzebisz 1992]. Pod wpływem nawożenia obornikiem zaobserwowano trend wzrostowy koncentracji cukru i obniżania AmN. W literaturze spotyka się rozbieżne opinie na temat wpływu obornika na jakość korzeni,



zwłaszcza do zawartości cukru. Według niektórych autorów obornik zwiększa polaryzację, lecz jednocześnie obniża jakość korzeni, gdyż wzrasta zawartość związków melasotwórczych [Bucarzyńska i Ceglarek 2002, Wesołowski i in. 2003]. Są również dane wskazujące, że czynnik ten nie poprawia, lecz wręcz obniża polaryzację [Mercik i in. 2009, Szymczak-Nowak i Nowakowski 2003, Szymczak-Nowak i Tyburski 2005].

Jak wynika z przeprowadzonych badań, burak cukrowy dodatnio reagował na nawożenie sodem. Pierwiastek ten zwiększa potencjał osmotyczny liści, turgor komórek, a także reguluje procesy otwierania i zamykania komórek szparkowych, a tym samym zwiększa tolerancję na stres wodny [Hampe i Marschner 1982, Hajiboland i in. 2009, Subbarao i in. 1999]. Tym samym sól najlepiej działa na burak cukrowy w latach o małych opadach [Allison i in. 1994, Barłóg i in. 2002, Milford i in. 2000]. W badaniach własnych nie stwierdzono jednak współdziałania wariantów nawożenia sodem z czynnikiem sezonowym. Wynikało to głównie z zasobności gleby w sól [Barłóg 2013]. Najmniejszą zawartość sodu w glebie stwierdzono w wilgotnym sezonie 2002 a największą w suchym sezonie 2003.

Sól częściowo zastępuje potas w jego funkcjach fizjologicznych i bierze udział w regulacji równowagi jonowej w komórkach, przykładowo stosunku K/Na, K/Mg, czy K/Ca [Haneklaus i in. 1998, Wakeel i in. 2009]. Według Subbarao i in. [2003] sól może również uczestniczyć w transporcie jonów  $\text{NO}_3^-$  z korzeni do części nadziemnych buraka. Hipotezę tą potwierdzają badania, w których stwierdzono, że  $\text{NaNO}_3$  istotnie zwiększało plony buraka niż NaCl, czy  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  [Allison i in. 1994, Ehrendorfer 1973, Henkens 1971]. Powyższą hipotezę potwierdzają również badania własne. Największe przyrosty plonu korzeni i cukru pod wpływem  $\text{NaNO}_3$  zanotowano na obiekcie z obornikiem. Prawdopodobnie wyższy poziom potasu w glebie, uaktywniało mało specyficzne kanały jonowe w błonie cytoplazmatycznej, w których zachodzi transport jonów  $\text{Na}^+$  [Blumwald 2000]. Na obiekcie bez obornika, nieznacznie lepiej działała natomiast forma siarczanowa sodu. Reakcja ta może świadczyć o deficycie siarki w glebie nie nawożonej obornikiem. Spośród badanych związków najsłabiej wypadł NaCl. Jedną z możliwych przyczyn, obok wcześniej wspomnianych, może być także antagonizm jonowy między  $\text{Cl}^-$  oraz  $\text{NO}_3^-$ , czyli konkurencja o nośniki jonowe w błonach cytoplazmatycznych [Rubinigg i in. 2003]. Powyższe zjawisko skłania niektórych autorów do stosowania sodu w formie  $\text{NaCO}_3$  [Szulc i in. 2008]. Jednak według Judel i Kühn [1975] wpływ NaCl i  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  na plon i jakość korzeni jest zbliżona. W warunkach polowych dopiero duże dawki Cl negatywnie wpływają na plonowanie buraka [Goh i Magat 1989].

Nawożenie sodem może poprawić jakość korzeni buraka cukrowego poprzez wzrost w nich zawartości cukru [Prośba-Białczyk i Mydlarski 2002, Szulc i in. 2008, Wakeel i in. 2010]. W badaniach własnych sól nie wykazał jednak istotnego wpływu na zawartość cukru, jak i związków melasotwórczych. Zaobserwowane różnice miały charakter trendu. Najważniejsza z nich dotyczyła wzrostu koncentracji sodu w korzeniach. Według Hanekluas i in. [1998] akumulacja sodu w korzeniach jest głównym czynnikiem obniżającym ich jakość. Przy dużej koncentracji sodu w glebie i w warunkach sprzyjających intensywnym przyrostom masy korzeniowej, czynnik ten obniża polaryzację poprzez wzrost stopnia uwodnienia tkanek korzeni [Tsialtas i Maslaris 2009].

W przeprowadzonych badaniach plon korzeni przyrastał proporcjonalnie do dawki sodu, również na obiekcie nawożonym obornikiem. Reakcja ta wynikała z niedoboru sodu w glebie a na obiekcie z obornikiem dodatkowo z konieczności utrzymania optymalnego stosunku K/Na w tkankach liści [Barłóg 2011]. Ze składu chemicznego obornika wynika, że nawóz ten wnosi do gleby 5–6 razy więcej potasu niż sodu [Maćkowiak i Żebrowski 2000].



## WNIOSKI

1. Na glebach ubogich w przyswajalny sód ( $< 10 \text{ mg Na}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) nawożenie obornikiem w dawce  $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  nie zmniejszyło zapotrzebowania buraka cukrowego na nawozy mineralne z sodem.
2. Reakcja buraka cukrowego na nawożenie sodem zależy od dawki i formy chemicznej sodu. W warunkach przeprowadzonego eksperymentu największy przyrost plonu korzeni i cukru uzyskano po zastosowaniu  $50 \text{ kg Na}\cdot\text{ha}^{-1}$  w formie  $\text{NaNO}_3$ .
3. Stosowanie nawozów mineralnych zawierających sód zwiększa ryzyko obniżenia jakości korzeni wskutek gromadzenia się w nich sodu, w szczególności w tradycyjnej technologii uprawy buraka cukrowego na oborniku.

## PIŚMIENNICTWO

- Allison M.F., Jaggard K.W., Armstrong M.J. 1994. Time of application and chemical form of potassium, phosphorus, magnesium and sodium fertilizers and effects on the growth, yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris*). J. Agric. Sci. 123: 61–70.
- Barłóg P. 2011. Evaluation of plant nutritional status by the CND method: case of sugar beet. Naw. Nawoż./Fert. Fertil. 42: 51–64.
- Barłóg P. 2013. The soil Na concentration as a background of fertilizer Na recommendation: A case of sugar beet. Acta Agric. Scand., Sec. B – Soil Plant Sci. 63: 206–218.
- Barłóg P., Grzebisz W., Górski D., Gaj R. 2002. Reakcja plennych odmian buraka cukrowego na nawożenie potasem, sodem i magnezem. Biul. IHAR 222: 135–142
- Blecharczyk A., Grzebisz W. 1992. Plonotwórcze działanie obornika i nawożenia mineralnego w wieloletnim statycznym doświadczeniu płodozmianowym. W: Nawozy organiczne. Cz. 1. Mat. konf. AR Szczecin, 8–9 września 1992: 14–19.
- Blumwald E. 2000. Sodium transport and salt tolerance in plants. Curr. Opin. Cell Biol. 12: 431–434.
- Braunschweig Von L-Ch. 1983. Einfluß der Natriumdüngung auf die Zuckerakkumulation bei *Beta vulgaris*. Kali-Briefe (Büntehof) 16(10): 615–626.
- Braunschweig Von L-Ch., Orlovius K. 2002. Effect of different K-supply on sugar beet production and soil fertility in a long-term fertilizer experiment. Biul. IHAR 222: 31–37.
- Buchholz K., Märländer B., Puke H., Glatkowski H., Thielecke K. 1995. Neubewertung des technischen Wertes von Zuckerrüben. Zuckerindustrie 120: 113–121.
- Buraczyńska D., Ceglarek F. 2002. Działanie nawozowe obornika i międzyplonów wsiewek stosowanych pod burak cukrowy. Część II. Jakość przemysłowa buraka cukrowego. Biul. IHAR 222: 255–262.
- Ceglarek F., Buraczyńska D. 2002. Działanie nawozowe obornika i międzyplonów wsiewek stosowanych pod burak cukrowy. Część I. Wschody, obsada i plony buraka cukrowego. Biul. IHAR 222: 247–254.
- Draycott A.P. 1996. Aspects of fertiliser use in modern, high-yield sugar beet culture. IPI-Bulletin, Basel, Switzerland 15: ss. 51.
- Draycott A.P., Durrant M.J. 1976. Response by sugar beet to potassium and sodium fertilizers, particularly in relation to soils containing little exchangeable potassium. J. Agric. Sci. 87: 105–112.
- Ehrendorfer K. 1973. Einfluß eines varrierten K/Na- und  $\text{NO}_3/\text{Cl}$  – Angebotes auf Substanzbildung, Mineralstoffaufnahme und Oxalsäurebildung bei Spinat (*Spinacea olearacea* L.). Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 135(1): 44–57.
- Goh K.M., Magat S.S. 1989. Sodium chloride increases the yield of fodder beet (*Beta vulgaris* L.) in two New Zealand soils. New Zeal. J. Agric. Res. 32: 133–137.
- Grzebisz W., Diatta J. 2012. Constraints and solutions to maintain soil productivity: a case study from central Europe. In: Soil Fertility Improvement and Integrated Nutrient Management – A Global Perspective. Whalen J. (ed.). Wyd. InTech: 159–182.

- Hajiboland R., Joudmand A., Fotouhi K. 2009. Mild salinity improves sugar beet (*Beta vulgaris* L.) quality. *Acta Agric. Scand., Sec. B – Soil Plant Sci.* 59: 295–305.
- Hampe T., Marschner H. 1982. Effect of sodium on morphology, water relations, and net photosynthesis in sugar beet leaves. *Z. Pflanzenphysiol.* 108: 151–162.
- Haneklaus S., Knudsen L., Schnug E. 1998. Relationship between potassium and sodium in sugar beet. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 29: 1793–1798.
- Henkens Ch.H. 1971. Natriumbemesting bij bieten. *Bedrijfsontwikkeling (Akkerbouw)* 2: 39–46.
- Judel G.K., Kühn H. 1975. Über die Wirkung einer Natriumdüngung zur Zuckerrüben bei guter Versorgung mit Kalium in Gefäßversuchen. *Zuckerindustrie* 28(2): 68–71.
- Maćkowiak C., Żebrowski J. 2000. Skład chemiczny obornika w Polsce. *Naw. Nawoż./Fert. Fertil.* 4(5): 119–130.
- Mercik S., Urbanowski S., Lenart S. 2009. Plonowanie i cechy jakościowe buraków cukrowych w zależności od nawożenia w doświadczeniach wieloletnich. *Fragm. Agron.* 26(1): 67–75
- Milford G.F.J., Armstrong M.J., Jarvis P.J., Houghton B.J., Bellett-Travers D.M., Jones J., Leigh R.A. 2000. Effect of potassium fertilizer on the yield, quality and potassium offtake of sugar beet crops grown on soils of different potassium status. *J. Agric. Sci.* 135: 1–10.
- Pilon-Smits E.A.H., Quinn C.F., Tapken W., Malagoli M., Schiavon M. 2009. Physiological functions of beneficial elements. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12: 267–274.
- Prośba-Białczyk U., Mydlarski M. 2002. Wpływ chlorku sodu zastosowanego nalistnie na produktywność i wartość technologiczną buraka cukrowego. *Biul. IHAR* 222: 215–222.
- Römer W., Claassen N., Steingrobe B., Märlander B. 2004. Reaktion der Zuckerrübe (*Beta vulgaris* var. *altissima*) auf die Kaliumdüngung – ein 20-jähriger Feldversuch. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 167: 726–735.
- Rubinigg M., Posthumus F., Ferschke M., Elzenga J.T.M., Stulen I. 2003. Effects of NaCl salinity on <sup>15</sup>N-nitrate fluxes and specific root length in the halophyte *Plantago maritima* L. *Plant Soil* 250: 201–213.
- Subbarao G.V., Ito O., Berry W.L., Wheeler R.M. 2003. Sodium – a functional plant nutrient. *Crit. Rev. Plant Sci.* 22: 391–416.
- Subbarao G.V., Wheeler R.M., Stutte G.W., Levine L.H. 1999. How far can sodium substitute for potassium in red beet? *J. Plant Nutr.* 22: 1745–1761.
- Szulc P.M., Kobierski M., Nowakowski M., Kubicki K. 2008. Wpływ nawożenia sodem na plon i parametry jakości korzeni buraka cukrowego. *Biul. IHAR* 248: 77–85.
- Szymczak-Nowak J., Nowakowski M. 2003. Reakcja buraka cukrowego na nawożenie obornikiem i słomą. Część III. Jakość technologiczna buraka cukrowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.* 494: 473–477.
- Szymczak-Nowak J., Tyburski J. 2005. Wpływ różnych form nawożenia na kształtowanie się jakości technologicznej buraka cukrowego. *Pam. Puł.* 139: 269–276.
- Tsialtas J. T., Maslaris N. 2009. Selective absorption of K over Na in sugar beet cultivars and its relationship with yield and quality in two contrasting environments of central Greece. *J. Agron. Crop Sci.* 195: 384–392.
- Wakeel A., Abd-El-Motagally F., Steffens D., Schubert S. 2009. Sodium-induced calcium deficiency in sugar beet during substitution of potassium by sodium. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172: 254–260.
- Wakeel A., Steffens D., Schubert S. 2010. Potassium substitution by sodium in sugar beet (*Beta vulgaris*) nutrition on K-fixing soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173: 127–134.
- Werner M., Kryza M., Dore A.J., Hallsworth S., Błaś M. 2011. Modelling emission, concentration and deposition of sodium for Poland. In: *Proceed. 14<sup>th</sup> Conf. on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*. Kos, Greece, 2–6 October 2011: 139–143.
- Wesołowski M., Bętkowski M., Kokoszka M. 2003. Wpływ gospodarki bezobornikowej na jakość korzeni buraka cukrowego. *Ann. UMCS, Sect. E Agricultura* 58: 1–12.

P. BARŁÓG, W. SZCZEPANIAK, W. GRZEBISZ

**REACTION OF SUGAR BEET ON DOSE AND TYPE OF SODIUM FERTILIZERS  
ON THE BACKGROUND OF MANURE APPLICATION  
PART I.  
TAPROOTS YIELD AND QUALITY**

**Summary**

A series of field experiments was carried out during three consecutive years 2001, 2002, and 2003 at the agricultural farm in Czempin. The following factors were investigated: manure application (-FYM; +FYM), sodium rate (0; 12,5; 25 and 50 kg Na·ha<sup>-1</sup>) and the type of Na fertilizer (NaCl; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaNO<sub>3</sub>). Sodium fertilizers were applied two weeks before sugar beet sowing. Yields of white sugar were calculated according to the Brunswick formula. All studied factors significantly affected yield of storage roots and tops. The highest increase of yields of storage roots and white sugar was an attribute of the 50 kg Na·ha<sup>-1</sup> and NaNO<sub>3</sub> treatment. The effect of NaCl was poor. In general, yield of roots progressed in accordance to Na rate, but being at the same time independent on the amount of applied sodium. It means, that farmyard manure is not able to cover sugar beet requirements for sodium, when cultivated on soils naturally poor in available sodium. The investigated factors did not affect the quality of harvested beets. It was observed, however, under conditions of simultaneously applied manure and Na fertilizer, an increasing trend of its accumulation in storage roots.