

**REAKCJA BURAKA CUKROWEGO NA DAWKĘ I FORMĘ
CHEMICZNĄ SODU NA TLE OBORNIKA
CZEŚĆ II.
ZAWARTOŚĆ I AKUMULACJA SKŁADNIKÓW MINERALNYCH**

PRZEMYSŁAW BARŁÓG, WITOLD SZCZEPANIAK, WITOLD GRZEBISZ

Katedra Chemii Rolnej i Biogeochemii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

przembar@up.poznan.pl

Synopsis. Celem badań, przeprowadzonych w latach 2001–2003, było określenie wpływu różnych związków chemicznych zawierających sód na skład chemiczny liści i korzeni buraka cukrowego w terminie zbioru na tle nawożenia obornikiem. Badano następujące czynniki: nawożenie obornikiem (kontrola; 30 t·ha⁻¹), dawka sodu (0; 12,5; 25 and 50 kg Na·ha⁻¹) oraz rodzaj nawozu (NaCl; Na₂SO₄ i NaNO₃). Przeprowadzone badania potwierdziły tezę, że głównym czynnikiem określającym zawartość i nagromadzenie składników mineralnych jest czynnik sezonowy. Spośród badanych pierwiastków, największym sezonowym zmianom zawartości w liściach podlegał sód. W warunkach suszy zwiększyła się koncentracja składnika a jednocześnie zawężał się stosunek K/Na. Akumulacja kationów w roślinie, w tym potasu i sodu, zależała od współdziałania czynników nawozowych. Największe nagromadzenie potasu i sodu otrzymano na obiekcie z obornikiem po zastosowaniu 50 kg Na·ha⁻¹ w formie NaNO₃. Zawartość i akumulacja azotu w roślinach korelowała mocniej z sodem niż potasem. Pomimo tego, to zawartość potasu w liściach lub/i całkowite jego nagromadzenie w roślinach wykazała większą wartość prognostyczną dla oszacowania plonu technologicznego cukru.

Słowa kluczowe – *key words*: nawożenie sodem – *sodium fertilization*, liście – *leaves*, korzenie – *taproots*, składniki pokarmowe – *nutrients*, zawartość – *content*, pobranie jednostkowe – *specific uptake*, stosunek K/Na – *K/Na ratio*

WSTĘP

Burak cukrowy należy do roślin uprawnych akumulujących bardzo duże ilości sodu. W warunkach gleb Wielkopolski, gatunek ten akumuluje najczęściej od 48 do 116 kg Na·ha⁻¹. W stanowiskach na glebach zasobnych w sód nagromadzenie tego pierwiastka może osiągnąć nawet 230 kg Na·ha⁻¹ [Barłóg 2009]. Przeciętnie, całkowita akumulacja tego pierwiastka w buraku cukrowym jest mniejsza tylko od potasu i azotu [Grzebisz i in. 1998, Gutmański 2002]. Cechą wyróżniającą sód spośród pozostałych pierwiastków jest największy udział liści w jego całkowitym nagromadzeniu [Barłóg 2009]. Wynika to z faktu, że burak cukrowy nie posiada szczególnych barier ograniczających transport jonów Na⁺ z korzeni do liści [Hasegawa i Yoneyama 1995]. W ten sposób rośliny neutralizują potencjalne toksyczne właściwości sodu w tkankach korzeniach, wykorzystując jednocześnie dodatkową ilość składnika w liściach do realizacji specjalnych celów metabolicznych [Munns i in. 2002]. Sód może bowiem zastąpić potas w jego funkcjach fizjologicznych, określanymi jako niespecyficzne, tj. ciśnienie osmotyczne, turgor komórek, wzrost komórek [Subbarao i in. 2003]. Liczni autorzy wskazują, że

największe plony buraka cukrowego można uzyskać tylko przy jednoczesnym żywieniu buraka cukrowego zarówno potasem, jak i sodem [Allison i in. 1994, Draycot 1996, Haneklaus i in. 1998, Tsialtas i Maslaris 2009]. Gleby Polski odznaczają się niewielką koncentracją obu pierwiastków. Jednak w odróżnieniu od sodu, potas jest częściej wnoszony do gleby w postaci nawozów mineralnych. Ponadto, drugie ważne źródło sodu jakim jest obornik, jest coraz częściej zastępowany nawozami o małej jego koncentracji, tj. nawozami organicznymi i/lub zielonymi [Ceglarek i Buraczyńska 2002, Wesołowski i in. 2003].

Celem badań było porównanie wpływu dawki i formy chemicznej sodu na zawartość i nagromadzenie podstawowych składników mineralnych w buraku cukrowym 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⁻¹ (+Ob.)], dawka sodu [0; 12,5; 25 i 50 kg Na·ha⁻¹] oraz rodzaj nawozu [NaCl; Na₂SO₄ i NaNO₃]. Szczegółowy opis warunków doświadczenia zamieszczono w części pierwszej pracy [Barłóg i in. 2013]. Burak cukrowy zbierano ręcznie w stadium dojrzałości technologicznej (BBCH 49) z powierzchni 10,8 m² (początek października). Dla każdego wariantu nawożenia sporządzono próbkę zbiorczą liści (4 x 5–10 pojedynczych próbek na poletko reprezentujących E liczby liści wraz z odpowiadającymi im główkami korzeni) oraz korzeni (4 x 10–15 pojedynczych próbek miazgi korzenia). W celu oznaczenia zawartości wody i konserwacji materiału, próbki roślin wysuszone w temperaturze 60°C. Próbki następnie spalano w temperaturze 550°C, a uzyskany popiół rozpuszczano w 0,15 M HNO₃. Stężenie fosforu w uzyskanym roztworze oznaczano metodą kolorymetryczną z wanado-molibdenianem, a kationów metodą spektrofotometrii absorpcji atomowej (Mg i Na) oraz fotometrii płomieniowej (K i Ca). Zawartość azotu oznaczono metodą Kjeldahla.

Ocenę wpływu czynników badawczych (rok, obornik, sól) na nagromadzenie całkowite i jednostkowe składników mineralnych przeprowadzono przy pomocy trójkierunkowej analizy wariancji. Natomiast dla zawartości składników mineralnych wykorzystano jedno- i dwukierunkową analizę wariancji (odpowiednio dla czynnika sezonowego i czynników nawozowych). Różnice między średnimi porównywano przy pomocy testu Tuckey'a dla $\alpha=0,05$. Współzależności między cechami analizowano wykorzystując analizę korelacji oraz regresję wielozmienną (program STATISTICA).

WYNIKI I DYSKUSJA

Czynnik sezonowy decydował o zmienności zawartości składników mineralnych w liściach i korzeniach. Liście i korzenie zebrane w roku 2001 odznaczały się największą zawartością potasu. Najmniej tego pierwiastka, a jednocześnie najwięcej sodu w liściach, stwierdzono w roku 2003. Z kolei liście zebrane w roku 2002 wyróżniały się dużą koncentracją wapnia i fosforu (tab. 1 i 2). Współczynnik zmienności (CV) zawartości azotu w liściach wynosił 12,7% a w korzeniach 5,6%. Dla pozostałych pierwiastków uzyskano w liściach następujące wartości: P – 13,3%; K – 20,3%; Na – 43,4%; Ca – 33,6% i Mg – 14,6%. W korzeniach wskaźnik ten wynosił dla P – 49,1%; K – 22,0%; Na – 44,3%; Ca – 46,3% i Mg – 32,5%. Z przedstawionych wartości wynika, że najbardziej stabilnym pierwiastkiem w latach okazał się azot a największym wahaniom podlegał sól. Uzyskany wynik odzwierciedla fizjologiczną rolę poszczegól-

Tabela 1. Zawartość pierwiastków w liściach w zależności od sezonu wegetacyjnego, nawożenia obornikiem oraz sodem (średnia 2001–2003)

Table 1. Nutrient content in leaves depending on vegetation season, manure and sodium fertilization (mean 2001–2003)

Czynniki Factors	Pierwiastek – Element (g·kg ⁻¹)					
	N	P	K	Na	Ca	Mg
Rok – Year						
2001	31,6	2,90	38,1	9,8	7,53	5,71
2002	30,8	3,58	33,6	9,5	12,16	6,24
2003	38,5	2,83	25,2	19,3	6,68	4,65
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	5,4	0,55	4,2	5,9	4,21	1,50
Nawożenie obornikiem – FYM fertilization						
-Ob., -FYM	33,6	3,23	31,6	12,5	9,01	5,49
+Ob., +FYM	33,7	2,97	32,9	13,3	8,56	5,58
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
Rodzaj i dawka nawozu – Fertilizers type and rate of sodium (kg Na·ha ⁻¹)						
0	32,1	3,12	32,3	12,6	9,25	6,04
12,5	32,9	3,28	32,6	11,9	9,08	5,85
NaCl 25	34,1	3,25	34,8	11,6	8,95	5,25
50	34,3	3,09	32,3	12,8	8,04	4,98
12,5	32,8	3,08	31,3	12,9	9,11	5,39
Na ₂ SO ₄ 25	32,1	2,90	32,7	12,8	8,88	5,68
50	33,6	2,92	30,2	13,3	7,64	5,07
12,5	34,9	2,95	30,9	13,4	9,18	5,93
NaNO ₃ 25	35,3	3,00	32,0	13,3	8,65	5,41
50	34,1	3,42	33,3	14,1	9,11	5,76
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

r.n. – różnica nieistotna – non significant differences

Tabela 2. Zawartość pierwiastków w korzeniach w zależności od sezonu wegetacyjnego, nawożenia obornikiem oraz sodem (średnia 2001–2003)

Table 2. Nutrient content in taproots depending on vegetation season, manure and sodium fertilization (mean 2001–2003)

Czynniki Factors	Pierwiastek – Element (g·kg ⁻¹)					
	N	P	K	Na	Ca	Mg
Rok – Year						
2001	8,59	1,25	7,04	1,34	2,67	1,41
2002	9,43	2,44	6,19	1,33	3,41	1,15
2003	8,55	1,00	4,49	0,52	1,20	0,71
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	0,72	0,85	2,35	0,70	1,91	0,41
Nawożenie obornikiem – FYM fertilization						
-Ob., -FYM	9,02	1,51	5,99	1,05	2,47	1,14
+Ob., +FYM	8,69	1,62	5,82	1,08	2,39	1,04
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
Rodzaj i dawka nawozu – Fertilizers type and rate of sodium (kg Na·ha ⁻¹)						
0	8,38	1,63	5,98	1,02	2,40	1,26
12,5	9,00	1,52	5,86	1,02	2,38	1,15
NaCl 25	9,28	1,48	6,22	1,20	2,54	1,02
50	8,94	1,60	5,46	1,02	2,38	1,00
12,5	9,67	1,54	5,60	0,95	2,45	1,07
Na ₂ SO ₄ 25	8,79	1,67	6,35	1,12	2,59	1,07
50	9,77	1,53	5,59	1,07	2,40	1,10
12,5	8,13	1,66	6,62	1,07	2,28	1,24
NaNO ₃ 25	8,29	1,55	5,57	1,04	2,28	1,03
50	8,29	1,45	5,81	1,13	2,60	0,97
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

r.n. – różnica nieistotna – non significant differences

nych pierwiastków w życiu roślin. W latach o niekorzystnym przebiegu warunków pogodowych (małe opady) burak cukrowy pobiera stosunkowo więcej sodu niż potasu [Barłóg 2009, Tsialtas i Maslaris 2009]. W badaniach własnych, w roku 2003 przeciętny stosunek K/Na wynosił 1:0,77 a w pozostałych był dużo węższy, kształtując się w zakresie 1:0,26–0,28.

Zmiany zawartości składników mineralnych w liściach i korzeniach buraka cukrowego pod wpływem czynników nawozowych, w odróżnieniu od czynnika sezonowego, miały charakter tylko trendu. Nawożenie obornikiem zwiększało w liściach koncentrację sodu i potasu, a jednocześnie obniżało fosforu i wapnia. W odniesieniu do korzeni, czynnik ten nieznacznie obniżył średnią zawartość azotu, potasu, magnezu i wapnia. Na obiektach nawożonych największymi dawkami NaCl oraz Na₂SO₄ zaobserwowano trend do wzrostu zawartości sodu i azotu w liściach a jednocześnie obniżeniu ulegała zawartość wapnia i magnezu. Nawożenie tymi związkami do dawki 25 kg Na·ha⁻¹ zwiększało, a po zastosowaniu 50 kg Na·ha⁻¹ obniżało zawartość potasu w liściach. Natomiast pod wpływem NaNO₃ zawartość potasu wzrastała aż do dawki 50 kg·ha⁻¹. Liście buraka zebrane z obiektu NaNO₃ odznaczały się jednocześnie największą przeciętną koncentracją azotu.

Zawartość azotu w liściach dodatkowo korelowała z zawartością sodu a ujemnie z pozostałymi pierwiastkami, w tym z potasem. Takiej zależności nie otrzymano w korzeniach (tab. 3).

Tabela 3. Macierz korelacji – zawartość składników mineralnych (n = 60)

Table 3. Correlation matrix – nutrients content (n = 60)

Część rośliny <i>Part of plant</i>	Pierwiastek <i>Element</i>	N	P	K	Na	Ca
Liście <i>Leaves</i>	P	-0,295*				
	K	-0,624***	0,086			
	Na	0,760***	-0,377**	-0,728***		
	Ca	-0,492***	0,566***	0,292*	-0,527***	
	Mg	-0,485***	0,418**	0,463***	-0,541***	0,739***
Korzenie <i>Taproots</i>	P	0,230				
	K	-0,051	0,300*			
	Na	0,171	0,548***	0,707***		
	Ca	0,253	0,734***	0,608***	0,823***	
	Mg	0,006	0,258*	0,645***	0,709***	0,537***

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

Spośród badanych kationów, zawartość sodu w liściach była najsilniej, ujemnie skorelowana z zawartością potasu. Wynik ten z reguły tłumaczy się antagonizmem jonowym w procesie pobierania pierwiastków [Hampe i Marschner 1982]. Dodatkowo należy zwrócić uwagę, że w warunkach suszy burak cukrowy może łatwiej pobierać i transportować do części nadziemnych jony Na⁺ niż silniej wiązane przez kompleks sorpcyjny jony K⁺ [Wakeel i in. 2010]. W korzeniach, w odróżnieniu od liści, zawartość sodu była dodatnio skorelowana z potasem. Zaobserwowana różnica jest wynikiem uzupełniającej się funkcji obu jonów w utrzymaniu potencjału osmotycznego w komórkach korzenia spichrzowego [Bell i in. 1996].

Nagromadzenie całkowite składników mineralnych w roślinach zależało głównie od czynnika sezonowego. Wpływ nawożenia obornikiem i sodem był znacznie mniejszy i zależny od

czynnika sezonowego (dane u autorów). Przeciętnie największe nagromadzenie azotu, potasu i magnezu zanotowano w roku 2001, fosforu i wapnia w roku 2002 a sodu w roku 2003 (tab. 4). Średni stosunek nagromadzenia N:P:K:Na:Ca:Mg przedstawiał się następująco: 1,0:0,13:0,82:0,26:0,26:0,14. Z kolei stosunek K/Na wynosił 1:0,32. Udział korzeni w akumulacji całkowitej składników mineralnych zależał głównie od pierwiastka i wynosił dla N 48,9%; P – 61,6%;

Tabela 4. Całkowite nagromadzenie pierwiastków w zależności od sezonu wegetacyjnego, nawożenia obornikiem oraz sodem (średnia 2001–2003)

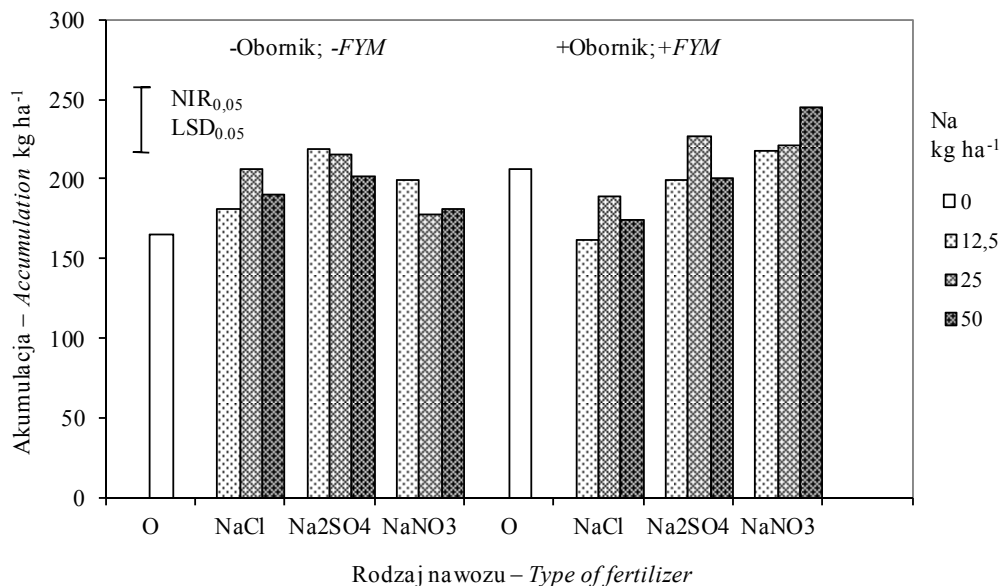
Table 4. Nutrients uptake depending on vegetation season, manure and sodium fertilization (mean 2001–2003)

Czynniki Factors	Pierwiastek – Element (g·kg ⁻¹)					
	N	P	K	Na	Ca	Mg
Rok – Year						
2001	265,2	31,0	273,0	63,7	72,2	46,0
2002	207,7	42,8	169,4	42,3	77,4	31,5
2003	252,7	22,7	153,2	84,8	40,6	26,9
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	10,5	6,6	13,2	18,9	5,1	4,3
Nawożenie obornikiem – FYM fertilization						
-Ob., -FYM	227,9	29,7	182,2	57,9	59,8	32,7
+Ob., +FYM	255,9	34,6	214,8	69,2	67,0	36,9
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	22,1	4,5	25,5	11,0	7,1	3,9
Rodzaj i dawka nawozu – Fertilizers type and rate of sodium (kg Na·ha ⁻¹)						
0	216,0	31,2	185,9	58,0	60,9	36,2
12,5	238,6	31,8	199,3	59,8	63,7	36,6
NaCl 25	249,1	31,1	210,3	62,6	64,4	32,4
50	251,1	32,2	195,7	63,2	61,5	32,5
12,5	241,4	32,1	179,7	59,9	61,2	31,7
Na ₂ SO ₄ 25	236,7	33,0	207,5	63,9	66,0	35,4
50	259,9	31,8	187,0	65,7	60,5	34,2
12,5	237,9	33,3	208,4	66,1	63,6	39,2
NaNO ₃ 25	242,0	32,4	198,5	66,7	61,7	34,0
50	246,1	32,6	212,8	70,0	70,6	35,5
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	23,0	r.n.	18,8	8,6	6,0	3,7

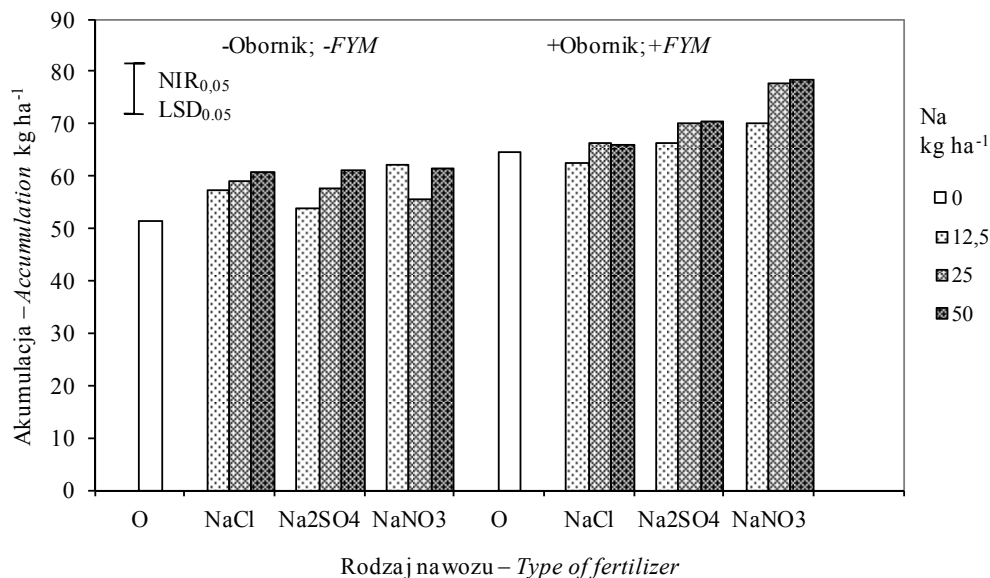
r.n. – różnica nieistotna – non significant differences

K – 39,9%; Na – 27,3%; Ca – 48,8% i Mg – 41,3%. Uzyskane w badaniach własnych wartości stosunku K:Na oraz nagromadzenia sodu w liściach względem korzeni znajduje pełne potwierdzenie we wcześniejszych pracach [Draycott 1996, Gutmański 2002]. Otrzymano natomiast niski udział potasu względem nagromadzenia azotu [Barłóg 2009, Grzebisz i in. 1998].

Nawożenie obornikiem istotnie zwiększało nagromadzanie każdego z badanych pierwiastków. Przy czym, największy wzrost nagromadzenia w porównaniu do kontroli otrzymano dla sodu (+19,5%) a najmniejszy dla wapnia (+12,1%). Przyrost nagromadzenia azotu i potasu wynosiło odpowiednio 12,3 i 17,9%. Wpływ nawożenia sodem na akumulację potasu i sodu zależał istotnie od nawożenia obornikiem. Przy czym, efekt tego współdziałania był większy dla potasu ($F = 4,22$; $p < 0,001$) niż dla sodu ($F = 2,06$; $p < 0,05$). Generalnie, największe dawki sodu w formie NaCl i Na₂SO₄ obniżały akumulację potasu w roślinach, niezależnie od poziomu nawożenia obornikiem. Reakcja na NaNO₃ zależała od stosowania obornika. Na obiekcie z obornikiem 50 kg Na·ha⁻¹ w formie NaNO₃ nie obniżało nagromadzenia potasu. Ponadto, akumulacja potasu na tym obiekcie była istotnie większa niż uzyskana po zastosowaniu NaCl w dawkach 12,5 i 50 kg Na·ha⁻¹ (rys. 1). W odróżnieniu od potasu, akumulacja sodu zwiększała się wraz z dawką nawozów mineralnych i obornika (rys. 2). Jak wynika z wcześniejszych badań, optymalny przedział akumulacji sodu dla wysokoplonujących plantacji buraka cukrowego mieści się w zakresie 72–185 kg Na·ha⁻¹ [Barłóg 2009]. W badaniach własnych warunk ten spełniały rośliny uprawiane na oborniku i nawożone sodem w dawkach 25 i 50 kg Na·ha⁻¹ w formie NaNO₃. Tylko wartości uzyskane na tych obiektach były istotnie większe, niż otrzymane na kontroli absolutnej (bez obornika i sodu).



Rys. 1. Wpływ współdziałania nawożenia sodem i obornikiem na akumulację potasu
 Fig. 1. Effect of manure and sodium interaction on potassium uptake



Rys. 2. Wpływ współdziałania nawożenia sodem i obornikiem na akumulację sodu
 Fig. 2. Effect of manure and sodium interaction on sodium uptake

Spośród badanych pierwiastków, tylko nagromadzenie azotu i fosforu nie zależało istotnie od współdziałania czynników nawozowych. Wraz ze wzrostem dawki sodu obserwowano systematyczny wzrost akumulacji azotu w roślinach. Największą różnicę w jego nagromadzeniu odnotowano między obiektem kontrolnym a nawożonym 50 kg Na·ha⁻¹ w formie Na₂SO₄ (przyrost 20,3%). Niezależnie od poziomu nawożenia obornikiem, najwięcej wapnia zgromadziły rośliny nawożone sodem w formie NaCl i Na₂SO₄ dla dawki 25 kg Na·ha⁻¹. Większe dawki tych nawozów obniżyły końcową akumulację tego pierwiastka. Powyższej zależności nie otrzymano natomiast na obiekcie z NaNO₃, na którym akumulacja wapnia zachodziła aż do dawki 50 kg Na·ha⁻¹. W odniesieniu do magnezu, zaobserwowano również obniżanie akumulacji tego pierwiastka pod wpływem największych dawek sodu.

W świetle literatury, głównym pierwiastkiem odpowiedzialnym za transport azotanów i metabolizm azotu w roślinach jest potas [Cakmak 2005]. Jednak w badaniach własnych sód w większym stopniu ($r = 0,72^{***}$) wyjaśniał zmienność nagromadzenia azotu niż potas ($r = 0,58^{***}$). Pozytywny wpływ sodu na nagromadzenie azotu w buraku może wynikać zarówno z utrzymania wysokiego stanu uwodnienia tkanek, regulacji biosyntezy betain i związków azotowych, jak również uaktywniania potasu ze starszych liści [Lawlor i Milford 1973, Subbarao i in. 1999, 2001]. W praktyce, poprzez odpowiedni poziom nawożenia sodem (60 kg Na·ha⁻¹), można zredukować optymalną dawkę azotu w uprawie buraka cukrowego nawet o 30 kg N·ha⁻¹ [Hansen 1994].

Wartości współczynników korelacji (r) oraz regresji wielozmiennej ($BETA$) między plonem technologicznym cukru (PTC) a składem chemicznym liści zależały od pierwiastka i analizowanej części roślin (tab. 5). Największe dodatnie wartości współczynnika korelacji (r) otrzymano dla zawartości potasu w liściach i sodu w korzeniach. Zawartość azotu i sodu w liściach była

Tabela 5. Plon technologiczny cukru jako funkcja zawartości i nagromadzenia składników mineralnych (n = 60)

Table 5. White sugar yield as a function of nutrient content and uptake (n = 60)

Pierwiastek <i>Element</i>	Liście – <i>Leaves</i>		Korzenie – <i>Taproots</i>		Akumulacja – <i>Uptake</i>	
	r	BETA	r	BETA	r	BETA
N	-0,527***	-0,165	-0,054	-0,151	0,441***	0,332**
P	-0,059	-0,111	0,157	-0,255	0,456***	0,290*
K	0,757***	0,569***	0,437***	-0,164	0,740***	0,385*
Na	-0,569***	-0,125	0,645***	0,843***	-0,068	-0,182
Ca	0,087	-0,315*	0,435***	0,009	0,656***	0,059
Mg	0,338**	0,206	0,537***	0,107	0,725***	0,210
R ²	–	0,64***	–	0,50***	–	0,81***

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

ujemnie skorelowana z PTC. Jednak, jak wynika z wartości współczynników *BETA*, bezpośredni ujemny wpływ azotu i sodu w liściach na PTC nie był istotny. Spośród wszystkich składników mineralnych zawartych w roślinach największy bezpośredni wpływ na PTC wywierała zawartość potasu w liściach (K_L) a sodu w korzeniach (Na_K):

$$PTC = 3,023 + 1,577 K_L; \quad R^2 = 0,57***; n = 60,$$

$$PTC = 6,028 + 19,59 Na_K; \quad R^2 = 0,42***; n = 60.$$

Dla nagromadzenia pierwiastków, najbardziej istotną zmienną był również był potas (K_A):

$$PTC = 4,781 + 0,017 K_A; \quad R^2 = 0,66***; n = 60.$$

W odróżnieniu od pozostałych pierwiastków, pozytywny wpływ akumulacji sodu (Na_A) na PTC ujawnił się dopiero, gdy zależności analizowano oddzielnie w następujących latach:

$$\text{Rok 2001 i 20002: } PTC = 5,754 + 0,056 Na_A; \quad R^2 = 0,61***; n = 40,$$

$$\text{Rok 2003: } PTC = 2,079 + 0,057 Na_A; \quad R^2 = 0,60***; n = 20.$$

Według różnych autorów pobranie jednostkowe składników mineralnych na 1 tonę masy korzeni, wraz z odpowiednią masą liści, przedstawia się następująco: N = 3,5–5,0; P = 0,4–1,0; K = 4,0–7,6; Na = 0,9–2,2; Ca = 1,0–1,5 oraz Mg = 0,6–1,2 kg·t⁻¹ [Barłóg 2009, Grzebisz i in. 1998, Słowiński i in. 1995]. W badaniach własnych uzyskano wartości przeciętne mieszczące się w podanych zakresach, za wyjątkiem potasu (N = 4,63; P = 0,59; K = 3,64; Na = 1,26; Ca = 1,15 oraz Mg = 0,64 kg·t⁻¹). Testowane warianty nawożenia sodem nie wywierały istotnego wpływu na pobranie jednostkowe sodu. W zależności od poziomu czynnika, wartości te wahały się od 1,16 (kontrola absolutna) do 1,32 kg Na·t⁻¹ (wariant: 25 kg Na·ha⁻¹ w formie NaNO₃). Uwzględniając możliwy do uzyskania plon korzeni na poziomie 60 t·ha⁻¹ oraz pobranie jednostkowe na poziomie 1,32 kg·t⁻¹ to teoretyczne potrzeby pokarmowe buraka wynoszą 79 kg Na·ha⁻¹. Przeciętna zawartość sodu w oborniku wynosi około 0,9 kg Na·t⁻¹ [Maćkowiak i Żebrowski 2000]. Zatem z dawką 30 t·ha⁻¹ obornika wnosi się do gleby tylko 27 kg Na·ha⁻¹. Dlatego nawóz ten nie może być jedynym źródłem sodu w glebie, w szczególności dla wysoko plonujących plantacji buraka cukrowego.

WNIOSKI

1. Czynniki sezonowy był głównym czynnikiem określającym zmienność składu chemicznego roślin. W warunkach suszy zwiększyła się koncentracja sodu w liściach i jednocześnie zawężał stosunek K/Na.
2. Nawożenie obornikiem oraz sodem istotnie kształtowało akumulację całkowitą składników mineralnych w roślinach. Największe nagromadzenie potasu i sodu w roślinach otrzymano na obiekcie z obornikiem po zastosowaniu 50 kg Na·ha⁻¹ w formie NaNO₃.
3. Spośród analizowanych pierwiastków największy bezpośredni wpływ na plon technologiczny cukru wywierała zawartość potasu w liściach oraz jego całkowite nagromadzenie w roślinie.
4. Potrzeby pokarmowe buraka cukrowego znacznie przewyższają dawkę sodu wnoszonego wraz ze standardowym poziomem nawożenia obornikiem.

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. 2009. Studia nad żywieniem buraka cukrowego makroelementami ze szczególnym uwzględnieniem sodu. Naw. Nawoż./Fert. Fertil. 35: ss.147.
- Barłóg P., Szczepaniak W., Grzebisz W. 2013. Reakcja buraka cukrowego na dawkę i formę chemiczną sodu na tle obornika. Część I. Plon i jakość korzeni. Fragm. Agron. 30(3): 24–34.
- Bell Ch., Milford G.F.J., Leigh R-A. 1996. Sugar beet. In: Zamski E., Schaffer A.A. (eds.): Photoassimilate distribution in plants and crops. Source-sink relationships. Marcel Dekker Inc., USA, New York: 691–707.
- Cakmak I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168: 521–530.
- 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.
- Grzebisz W., Barłóg P., Feć M. 1998. The dynamics of nutrient uptake by sugar beet and its effect on dry matter yield and sugar yield. Biblioth. Fragm. Agron. 3: 242–248.
- Gutmański I. 2002. Znaczenie potasu dla efektywnej uprawy buraka cukrowego. IPI Basel/Switzerland, IHAR Radzików: ss. 32.
- 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.
- Hansen P. 1994. Natrium und Stickstoff. Zuckerrübe 43(2): 123–124.
- Hasegawa E., Yoneyama T. 1995. Effect of decrease in supply of potassium on the accumulation of cations in komatsuna and sugar beet plants. Soil Sci. Plant Nutr. 41: 393–398.
- Lawlor D.W., Milford G.F.J. 1973. The effect of sodium on growth of water-stressed sugar beet. Ann. Bot. 37: 597–604.
- Maćkowiak C., Żebrowski J. 2000. Skład chemiczny obornika w Polsce. Naw. Nawoż./Fert. Fertil. 4(5): 119–130.
- Munns R., Husain S., Rivelli A.R., James R.A., Condon A.G., Linsay M.P., Lagudach E.S., Schachtman D.P., Hare R.A. 2002. Avenues for increasing salt tolerance of crop, and role of physiological based

- selection traits. *Plant Soil* 247: 93–105.
- Słowiński H., Prośba-Białczyk U., Pytlarz-Kozicka M., Nowak W. 1995. Wpływ nawożenia na dynamikę pobierania składników mineralnych przez buraka cukrowego. *Zesz. Nauk. AR Wrocław* 262, Rol. 63: 31–43.
- 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.
- Subbarao G.V., Wheeler R.M., Levine L.H., Stutte G.W. 2001. Glycine betaine accumulation, ionic and water relations of red-beet at contrasting levels of sodium supply. *J. Plant Physiol.* 158: 767–776.
- Subbarao G.V., Ito O., Berry W.L., Wheeler R.M. 2003. Sodium – a functional plant nutrient. *Crit. Rev. Plant Sci.* 22: 391–416.
- 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., 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.
- Wesołowski M., Bętkowski M., Kokoszka M. 2003. Wpływ gospodarki bezobornikowej na jakość korzeni buraka cukrowego. *Ann. UMCS, Sec. E Agricultura* 58: 1–12.

P. BARLÓG, W. SZCZEPANIAK, W. GRZEBISZ

**REACTION OF SUGAR BEET ON DOSE AND TYPE OF SODIUM FERTILIZERS
ON THE BACKGROUND OF MANURE APPLICATION.
PART II.
CONTENT AND UPTAKE OF NUTRIENTS**

Summary

The objective of the conducted study was to determine the effect of various sodium compounds on mineral composition of storage roots and tops of sugar beet. 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⁻¹) and the type of Na fertilizer (NaCl; Na₂SO₄ and NaNO₃). The study clearly stresses that the course of the vegetative season was the dominant factor affecting concentration's and accumulation of nutrients in both storage roots and tops. Among the studied nutrients, the highest year-to-year variability was addressed to sodium. Under-water stress conditions its concentration showed a high increase, in turn narrowing the K/Na ratio. The amount of accumulated cations, including potassium and sodium, significantly depended on fertilizing factors. The highest sodium accumulation was noted in the manure treated plot and fertilized with 50 kg Na·ha⁻¹ in the form of NaNO₃. Concentration and accumulation of nitrogen in sugar beet plant showed much stronger correlation with sodium than potassium. In spite of that, potassium concentration in tops and/or its total accumulated amount was a considerably better predictor of white sugar yield.