

Anna SZELĄG-SIKORA¹, Marcin NIEMIEC¹, Michał CUPIAŁ¹ i Jakub SIKORA¹

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA NAWOZÓW WOLNODZIAŁAJĄCYCH W INTEGROWANEJ UPRAWIE SELERA KORZENIOWEGO

THE USAGE POSSIBILITIES OF SLOW-RELEASE FERTILIZERS IN THE INTEGRATED PRODUCTION OF CELERIAC

Abstrakt: Celem pracy było określenie przydatności nawozów wolnodziałających do optymalizacji efektywności produkcji selera korzeniowego w warunkach integrowanej produkcji. Doświadczenie założono na glebie o składzie granulometrycznym gliny średniej. Rośliną testową był seler korzeniowy odmiany Diamant. Do nawożenia użyto nawozu wolnodziałającego o zawartości składników nawozowych N - 18%, P - P_2O_5 - 5% i K - K_2O - 11%, saletry amonowej, superfosfatu potrójnego granulowanego oraz soli potasowej. Doświadczenie obejmowało 13 poziomów nawożenia i obiekt kontrolny. Doświadczenie założono 2.05.2012, rośliny zebrano 29.10.2012. Czynnikiem doświadczenia było zróżnicowane nawożenie. Uprawę oraz ochronę roślin prowadzono w oparciu o metodykę integrowanej produkcji selera korzeniowego. Zastosowano nawozy konwencjonalne (superfosfat, sól potasowa oraz saletra amonowa) oraz kombinacje nawozów konwencjonalnych i nawozów o spowolnionym uwalnianiu składników. We wszystkich poziomach nawożenia zastosowano nawożenie fosforowe, potasowe oraz mikroelementowe w ilości odpowiadającej zapotrzebowaniu roślin przy założonej wielkości plonu na poziomie $50 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Doświadczenie obejmowało 13 poziomów nawożenia i obiekt kontrolny. Na podstawie wyników przeprowadzonych doświadczeń obliczono wskaźniki obrazujące efektywność nawożenia azotowego: efektywność agronomiczną, współczynnik produktywności, efektywność fizjologiczną, efektywność odzysku oraz efektywność usunięcia. Plon roślin w obiekcie kontrolnym wynosił $32,1 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Nawożenie w ilości 200 kg agrobłenu i pełnej dawki fosforu i potasu spowodowało zwiększenie plonowania o ponad 13 Mg . Największy plon, wynoszący $55,8 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, uzyskano w obiekcie z dodatkiem 400 kg agrobłenu i pełnej dawki fosforu i potasu. Najbardziej optymalne wartości wskaźników efektywności nawożenia uzyskano w obiektach z dodatkiem nawozu wolnodziałającego w ilości 200 i $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Największy plon uzyskano w obiekcie nawożonym nawozami tradycyjnymi w ilości 150 kg N oraz pełnej dawki fosforu i potasu. Obliczone wskaźniki efektywności nawożenia sugerują, że optymalizacja nawożenia z udziałem nawozów wolnodziałających może kilkakrotnie poprawić efektywność nawożenia w stosunku do integrowanych metod produkcji z wykorzystaniem nawozów konwencjonalnych. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że optymalizacja nawożenia w warunkach intensywnej produkcji może ograniczyć ilość rozpraszanych w środowisku składników nawet o 50% przy utrzymaniu wysokich plonów roślin.

Słowa kluczowe: produkcja integrowana, nawożenie mineralne, efektywność produkcji

Wprowadzenie

Zwiększanie wydajności w pierwotnej produkcji rolniczej zawsze jest związane z nadmierną eksploatacją zasobów środowiska (degradacja zasobów wodnych, gleby, emisja gazów cieplarnianych, zmniejszanie bioróżnorodności siedlisk), nie tylko agroekosystemów, ale także siedlisk graniczących z nimi [1, 2]. Rolnictwo jest dziedziną działalności ściśle związaną z naturalnymi ekosystemami, wykorzystującą ich naturalny potencjał. Jest on determinowany specyficznymi warunkami siedliskowymi (klimatem, ilością i rozkładem w czasie, zasobami wodnymi, zasobami glebowymi), a szczególnie ich

¹ Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, ul. Balicka 116b, 30-149 Kraków, tel. 12 662 46 18, email: Anna.Szelag-Sikora@ur.krakow.pl

^{*} Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'13, Jarnołtówek, 23-26.10.2013

potencjałem produkcyjnym oraz odpornością na różne formy degradacji. W związku z tak dużą dywersyfikacją uwarunkowań tworzących nisze dla rozwoju rolnictwa rodzaj działalności powinien być w tym zakresie ważny szczególnie w obszarze intensyfikacji produkcji oraz jej rodzaju. Świadomość negatywnego oddziaływania rolnictwa na środowisko wymusiła na współczesnej cywilizacji poszukiwanie technologii produkcji rolniczej, które pozwalają utrzymać wysoką produktywność agroekosystemów przy ograniczonym wpływie na środowisko naturalne. Oddziaływanie rolnictwa na środowisko jest wielokierunkowe, dlatego też ograniczanie jego wpływu powinno dotyczyć wszystkich aspektów produkcji. Dotyczy to przede wszystkim optymalizacji nawożenia, użycia środków ochrony roślin oraz projektowania agrotechniki w celu zmniejszenia energochłonności produkcji. Efektem wyżej wymienionych zabiegów jest produkcja żywności o wysokiej jakości pod względem składu chemicznego oraz parametrów technologicznych. Aby uzyskać zadowalające rezultaty, należy brać pod uwagę zarówno abiotyczne, jak i biotyczne parametry agroekosystemu, a także możliwości produkcyjne uprawianych roślin [3]. Odpowiedzią na potrzebę optymalizacji produkcji rolniczej są systemy jakości w produkcji, które polegają na projektowaniu technologii produkcji opartych na zrównoważonej eksploatacji zasobów środowiska. W zależności od uwarunkowań gospodarczych lub społecznych technologie te przyjmują różny poziom intensyfikacji [4]. Najbardziej skrajne formy gospodarowania w głównej mierze nastawione na realizację aspektów środowiskowych oraz ideologicznych to rolnictwo ekologiczne lub gospodarowanie w ramach realizacji programów rolno-środowiskowych we wspólnej polityce rolnej Unii Europejskiej [5]. Najczęściej stosowane systemy produkcji pierwotnej łączące aspekty produkcyjne i środowiskowe to GLOBAL G.A.P., EURO G.A.P., LOCAL G.A.P. oraz integrowana produkcja. Ideą tych systemów jest produkcja żywności, wykorzystująca w sposób zrównoważony postęp techniczny i biologiczny w uprawie, ochronie roślin i nawożeniu przy uwzględnieniu oddziaływania na środowisko i zdrowie ludzi. Aspekt środowiskowy, zdrowotny oraz ekonomiczny jest tak samo ważny [6]. Zmiany w podejściu do produkcji żywności opartej na ograniczeniu rabunkowej eksploatacji zasobów środowiska wiążą się jednak, przynajmniej w początkowym okresie, z koniecznością ponoszenia większych kosztów produkcji oraz zaangażowaniem w produkcję bardziej wykwalifikowanego personelu [7]. Rolnicy, którzy chcą skutecznie wdrażać system integrowanej produkcji, muszą wykazywać się wszechstronną wiedzą z zakresu biologii, chemii, rolnictwa, agrotechniki, ekologii oraz klimatologii. Właściwe podejście do produkcji wykorzystującej omawiany system wymaga ciągłego śledzenia nowinek z zakresu badań naukowych oraz z praktyki rolniczej dotyczących technik ochrony roślin oraz nawożenia [8]. W początkowym okresie wdrażania systemu integrowanej produkcji może dojść do zmniejszenia plonowania roślin przez niewłaściwe zastosowanie nawozów oraz niewystarczającej ochrony roślin [9]. Wdrażanie systemu integrowanej produkcji w rolnictwie wiąże się zatem z koniecznością wsparcia dla producentów, zarówno instytucjonalnego, jak i finansowego. Rynek produktów żywnościowych będzie w przyszłości wymuszał wdrażanie przez producentów systemów jakości, które będą gwarantowały, że produkty te zostały wytworzone z wykorzystaniem technologii ograniczającej negatywny wpływ na środowisko, a ich jakość będzie lepsza w porównaniu do technologii konwencjonalnych. Nie należy się jednak spodziewać, że ten proces będzie postępował dynamicznie ze względu na konieczność zaakceptowania przez

konsumenta obowiązku ponoszenia kosztów ekstensyfikacji produkcji. W tym czasie nauki rolnicze i związana z nimi praktyka doświadczalna powinny uzbroić rolnictwo w technologie uprawy i ochrony roślin, które będą gwarantowały sukces produkcyjny, a w szerszej perspektywie czasowej także i lepsze efekty ekonomiczne [10, 11]. Ogólne zasady gospodarowania zgodne z ideologią integrowanej produkcji są zawarte w aktach prawnych Unii Europejskiej [12-14]. Polskie akty prawne regulujące systemy integrowanej produkcji reguluje Ustawa o ochronie roślin z dnia 18 grudnia 2003 r. (DzU 2008 r., Nr 133, poz. 849 ze zm.) oraz Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 16 grudnia 2010 r. w sprawie integrowanej produkcji (DzU z 2010 r., Nr 256, poz. 1722) i Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 16 grudnia 2010 r. w sprawie szkoleń w zakresie ochrony roślin (DzU Nr 256, poz. 1721). Zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej 2009/128/WE z dnia 21.10.2009, rolnicy zostają zobligowani do prowadzenia od dnia 1.01.2014 r. agrotechnologii zgodnej z zasadami integrowanej uprawy [15]. Niniejsza dyrektywa ustala ramy dla osiągnięcia zrównoważonego wykorzystania pestycydów poprzez zmniejszenie zagrożenia związanego z użyciem pestycydów i wpływu ich aplikowania na zdrowie ludzi i na środowisko, a także poprzez zachęcanie do stosowania integrowanej ochrony roślin oraz alternatywnych podejść i technik, takich jak niechemiczne alternatywy dla pestycydów [16].

Celem przeprowadzonych badań było określenie przydatności stosowania nawozów wolnodziałających w nawożeniu selera korzeniowego w warunkach integrowanej produkcji.

Materiał i metody

Doświadczenie założono na glebie o składzie granulometrycznym gliny średniej. Przedplonem dla roślin badawczych były ogórki gruntowe. Jesienią 2011 r. zastosowano nawożenie organiczne (obornik miesany) w ilości $35 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. W uprawie ogórka stosowano nawożenie mineralne w pełnej dawce, charakterystycznej dla upraw intensywnych. Rośliną testową był seler korzeniowy (*Apium graveolens* L.) odmiany Diamant F1. Doświadczenie założono 2.05.2012 r. Rośliny zebrano 29.10.2012 r. Rośliny uprawiano w rozstawie $50 \times 30 \text{ cm}$, z rozsady przygotowanej w komórkowych tacach VEFI. Czynnikiem doświadczenia było zróżnicowane nawożenie. Uprawę oraz ochronę roślin prowadzono w oparciu o metodykę integrowanej produkcji. W związku z brakiem opracowania metodyki integrowanej produkcji selera przez Głównego Inspektora Ochrony Roślin i Nasiennictwa system produkcji opracowano w oparciu o ramowe zasady integrowanej produkcji roślin. Seler jest rośliną o dużych wymaganiach pokarmowych glebowych i wodnych [17]. W związku z tym doświadczenie zlokalizowano na glebie charakteryzującej się właściwościami odpowiadającymi wymaganiom tej rośliny, a uprawa była nawadniana do optymalnej wilgotności w celu wyeliminowania wpływu stresu wodnego na wynik doświadczeń. Przed założeniem doświadczenia wykonano analizy właściwości fizykochemicznych i chemicznych gleby, na której założono doświadczenie. W glebie oznaczono: odczyn, skład granulometryczny, zawartość materii organicznej, zawartość azotu mineralnego oraz azotu Kjeldahla, zawartość przyswajalnych form: P, K, Mg, Ca, Na oraz pozostałych makroelementów, a także mikroelementów.

W doświadczeniu użyto nawozu o spowolnionym uwalnianiu składników, o składzie NPK [%] 18-05-10+4CaO+2MgO - nawóz o spowolnionym uwalnianiu składników pokarmowych 3-4 miesiące, saletrę amonową, superfosfat potrójny oraz sól potasową 60%. Doświadczenie obejmowało 9 poziomów nawożenia opartego na zasadach integrowanej produkcji roślin, obiekt kontrolny bez nawożenia oraz obiekt nawożony w sposób standardowy w intensywnej uprawie selera w rejonie prowadzenia badań. Nawóz o spowolnionym uwalnianiu składników był aplikowany punktowo pod każdą roślinę w czasie sadzenia. Nawozy fosforowe i potasowe w całości zastosowano przed sadzeniem roślin, 40% po sadzeniu w rozbiu na dwie dawki pogłównie. Termin nawożenia pogłównego dobrano na podstawie obserwacji warunków meteorologicznych oraz monitoringu kondycji roślin. Pierwszą dawkę pogłówną zastosowano w II połowie czerwca, natomiast drugą dawkę w połowie sierpnia. Schemat doświadczenia przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Schemat doświadczenia

Table 1

Experiment design

Numer obiektu	Agroblen	Saletra amonowa	Superfosfat potrójny	Sól potasowa	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		[kg nawozu · ha ⁻¹]			[kg składnika · ha ⁻¹]		
Kontrola	0						
1	200	-	87	163	36	50	120
2	400	-	65	122	72	50	120
3	500	-	54	108	90	50	120
4	600	-	43	90	108	50	120
6	800	-	21	53	144	50	120
8	200	218	87	163	130	50	120
9	300	165	76	145	130	50	120
10	400	112	65	127	130	50	120
11	-	441	244	325	150	112	195
12	-	588	326	433	200	150	260

Analiza wyników

Doświadczenie było prowadzone w 4 powtórzeniach metodą bloków losowanych. Doświadczenie założono na glebie o składzie granulometrycznym gliny średniej o odczynie mierzonym w KCl na poziomie 6,7. Zawartość materii organicznej wynosiła 4,69% (tab. 2). Na glebie, na której realizowano doświadczenie, od 10 lat prowadzona jest intensywna produkcja warzywnicza.

Tabela 2

Wybrane właściwości gleby użytej do doświadczeń

Table 2

Selected properties of the soil used for experiments

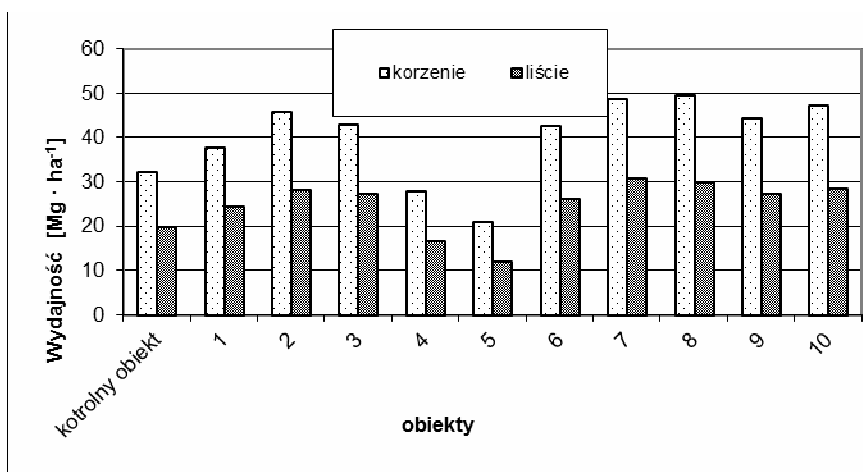
pH w H ₂ O	pH w KCl	[%]		[mg · kg ⁻¹]				
		N ogólny	C org	N min	P	K	Mg	Ca
7,01	6,65	0,324	4,69	347	147,8	478,5	212,5	1240

W integrowanej uprawie roślin wszystkie dawki nawozów organicznych i mineralnych ustala się na podstawie potrzeb pokarmowych roślin, oczekiwanego plonu, rodzaju gleby, jej zasobności w składniki pokarmowe i miejsca w płodozmianie. Szczególną uwagę należy zwrócić na wykorzystanie nawozów organicznych jako podstawowego źródła próchnicy glebowej i składników pokarmowych dla roślin. Przy niskim poziomie nawożenia organicznego oraz intensywnym nawożeniu mineralnym może dochodzić do sytuacji, w której okresowo w ekosystemie glebowym znajduje się większa ilość dysocjowanych jonów składników nawozowych. Wpływa to niekorzystnie na biologię gleby oraz plonowanie roślin poprzez nagłe zmiany ilości dostępnych składników pokarmowych oraz zmiany zasolenia gleby [18]. Można temu przeciwdziałać, zwiększając ilość dawek stosowanych nawozów, jednak generuje to większe nakłady energetyczne oraz nakłady pracy, co obniża rentowność produkcji oraz zwiększa negatywny wpływ nawożenia na środowisko poprzez koszty produkcji, w tym nawożenia, zagrożenie okresowo większej podaży składników dla roślin oraz większego zasolenia gleby [1, 19]. Skutkuje to większą ilością składników nawozowych rozpraszanych do środowiska, zmniejszeniem stopnia ich wykorzystania przez rośliny. Optymalna zawartość składników pokarmowych w glebie dla selera korzeniowego wynosi: 80-100 mg N mineralny $\cdot$ kg⁻¹; 50-60 mg P $\cdot$ kg⁻¹; 150-200 mg K $\cdot$ kg⁻¹; 50-60 mg Mg $\cdot$ kg⁻¹ i 800-100 mg Ca $\cdot$ kg⁻¹. Wymagania pokarmowe selera korzeniowego, czyli ilość składników pobranych z plonem dla wytworzenia 1 Mg świeżej masy plonu głównego: 7 kg (N) azotu, 2,5 kg (P₂O₅) fosforu, 7 kg (K₂O) potasu i 1,6 kg (MgO) magnezu i 5 kg CaO [badania własne niepublikowane]. Obliczono wymagania pokarmowe roślin przy założonym plonie 45 Mg $\cdot$ ha⁻¹, które wynoszą: 315 kg N, 112 kg P₂O₅, 315 kg K₂O, 72 kg MgO i 225 kg CaO. Potrzeby nawozowe obliczono w oparciu o zawartość przyswajalnych form pierwiastków w glebie, nawożenie organiczne oraz potrzeby pokarmowe roślin, a także na podstawie historii pola, zgodnie z wytycznymi metodyk integrowanej produkcji. Potrzeby nawozowe N, P₂O₅, K₂O określono na poziomie odpowiednio: 130, 50 i 120 kg. Przy projektowaniu systemu nawożenia założono ujemny bilans głównych składników nawozowych ze względu na wysoką zawartość ich przyswajalnych form w glebie (tab. 2). W glebach intensywnie użytkowanych rolniczo, szczególnie w produkcji warzywniczej, często obserwuje się bardzo wysokie zawartości składników pokarmowych roślin. Zbilansowane nawożenie ma na celu ograniczenie strat pierwiastków rozpraszanych w środowisku przy utrzymaniu wielkości plonów na odpowiednim poziomie. Wykorzystane w doświadczeniu nawozy spełniają normy zawarte w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 24 listopada 1997 r. [20].

Skuteczność działań w zakresie optymalizacji produkcji rolniczej może być ewaluowana za pomocą określonych wskaźników. Wskaźniki, które określają sprawność systemów rolniczych, odnoszą się do aspektów środowiskowych, produkcyjnych oraz ekonomicznych. Wskaźniki te mogą być użytecznym narzędziem agregującym wszystkie wyżej wymienione aspekty, pozwalającym ocenić system rolniczy w perspektywie długiego czasu oraz wskazać producentom, że innowacje w produkcji mogą przynosić im korzyści materialne [1, 21, 22].

W przeprowadzonym doświadczeniu, we wszystkich wariantach nawożenia, z wyjątkiem obiektów 10 i 11, w których zastosowano dawki konwencjonalne, zastosowano dawki fosforu i potasu odpowiadające zapotrzebowaniu nawozowemu,

obliczonemu według założeń integrowanej produkcji. Poszczególne obiekty różniły się formą zastosowanego nawożenia. W przypadku nawożenia azotowego czynnikiem zmiennym była forma i dawka tego składnika. Plon korzeni uzyskany w obiekcie kontrolnym kształtował się na poziomie $32,14 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ze względu na zastosowane jesienią poprzedniego roku nawożenie organiczne oraz dużą zasobność gleby w składniki pokarmowe nie zaobserwowano mocnej reakcji roślin na rodzaj nawożenia. Nawożenie w ilości 200 kg nawozu wolnodziałającego oraz pełnej dawki fosforu i potasu spowodowało zwiększenie plonowania o ponad 5 Mg . Największy plon świeżej masy korzeni, wynoszący $49,72 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, uzyskano w wariancie nawożenia opartego na kombinacji nawożenia nawozami tradycyjnymi i wolnodziałającymi, zgodnym z zasadami integrowanej produkcji. W wariancie z nawożeniem konwencjonalnym, na poziomie $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, fosforu w dawce $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ i potasu w dawce $260 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$, uzyskano nieco mniejsze plony w porównaniu z 8 wariantem nawożenia. Podobne zależności obserwowano w przypadku analizy plonu liści, przy czym zauważono zmniejszanie się udziału liści w ilości biomasy ogółem w miarę zwiększania dodatku nawozu wolnodziałającego, jednak zaobserwowane różnice nie były istotne statystycznie.



Rys. 1. Plon części nadziemnych oraz korzeni świeżej masy selera

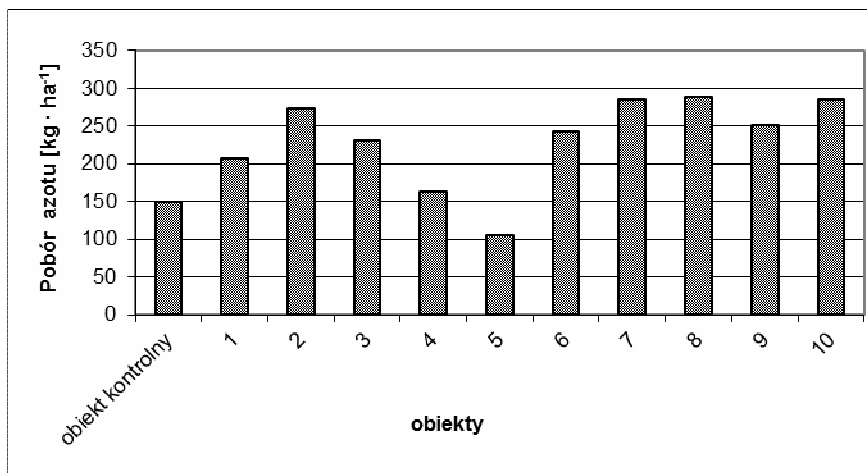
Fig. 1. The yield of celery aboveground and roots in the successive objects of experiment

Zwiększanie do pewnego stopnia dawki nawozu wolnodziałającego zastosowanego pod korzeń wpływało na wzrost plonowania roślin. Pozytywny efekt plonotwórczy obserwowano w obiektach, w których zastosowano 200 i 400 kg nawozu wolnodziałającego pod korzenie roślin. Dalsze zwiększanie dawki nawozu skutkowało obniżaniem poziomu plonowania roślin. Efekt inhibicji plonowania związany był z gorszymi warunkami wzrostu w początkowej fazie rozwoju, spowodowanymi większym zasoleniem roztworu glebowego. Najlepszy efekt plonotwórczy uzyskano przy poziomie nawożenia opartym o analizę zgodną z zasadami integrowanej produkcji z wykorzystaniem łączonego stosowania nawozów wolnodziałających oraz tradycyjnych. Zwiększanie dawki

nawozu wolnodziałającego do ilości od 200 do 400 kg · ha⁻¹ przy zachowaniu tej samej dawki użytych składników spowodowało zwiększenie plonowania roślin z 42,7 do 49,7 Mg · ha⁻¹ świeżej masy korzeni. Nawożenie z użyciem nawozów wolnodziałających może prowadzić do poprawy efektywności nawożenia i zmniejszenia ilości rozpraszanych pierwiastków w środowisku. W uprawie selera, obok plonu, istotna jest również jego jakość. Jednym z parametrów określających jakość plonów selera jest masa jednostkowa korzenia. Zbyt duże różnice wielkości nie są wskazane ze względów marketingowych. W przeprowadzonym doświadczeniu średnia masa korzenia wynosiła 616,1 g i wahała się w granicach od 193,1 do 981,9 g. Względne odchylenie standardowe masy korzenia w poszczególnych obiektach badawczych wynosiło od 14,14 do 61,03%. Najmniejsze różnice masy korzeni wewnątrz obiektów stwierdzono w obiekcie kontrolnym oraz w uprawie w systemie konwencjonalnym. Stosowanie nawożenia pod korzeń pogarszało jakość technologiczną plonu. Przy dodatku nawozu na poziomie 60 kg · ha⁻¹ współczynnik zmienności wyniósł 50%, natomiast przy najwyższej dawce nawozu wolnodziałającego zwiększył się on do ponad 60%. Wyniki uzyskane w niniejszym doświadczeniu sugerują poszukiwanie innej metody aplikacji nawozów w celu wyeliminowania bezpośredniego, negatywnego ich oddziaływania na rośliny.

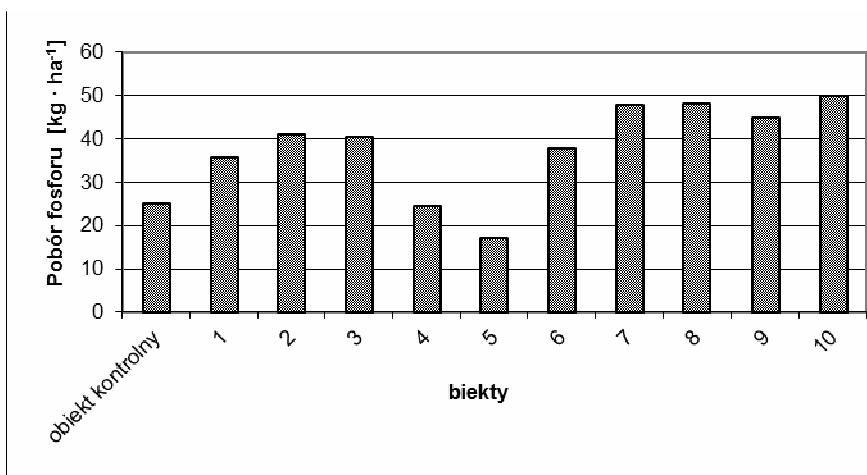
Całkowite pobranie składników pokarmowych (NPK) z obiektu kontrolnego nawożonego tylko obornikiem wynosiło odpowiednio 150,4; 25,1 i 192,2 kg · ha⁻¹ (rys. 2-4). Zwiększenie nawożenia spowodowało większe pobranie składników nawozowych, co było związane z większą produkcją biomasy oraz wyższym poziomem akumulacji pierwiastków nawozowych. Zwiększenie ilości nawozu wolnodziałającego powyżej 400 kg skutkowało obniżeniem pobierania składników pokarmowych z gleby, co związane było ze zmniejszeniem produkcji biomasy oraz obserwowanym zaburzeniem stosunków ilościowych badanych pierwiastków w roślinach. Największy pobór składników pokarmowych zanotowano w obiekcie z kombinacją nawożenia nawozami wolnodziałającymi oraz tradycyjnymi z największym udziałem nawozów wolnodziałających w wariancie 8, w którym zastosowano największy udział nawożenia z użyciem nawozu o spowolnionym uwalnianiu składników. Rośliny z tego obiektu pobrały 298 kg N, 48 kg P i 389 kg K · ha⁻¹. W tym obiekcie zastosowano ilość NPK odpowiednio 65, 40 i 36% w formie nawozu wolnodziałającego. W wariancie 6, w którym zastosowano o połowę mniejszą ilość składników w formie nawozu wolnodziałającego, rośliny pobrały o około 20% mniej składników nawozowych. Gleba, na której założono doświadczenie, charakteryzowała się dużą zasobnością w dostępne dla roślin składniki pokarmowe. Nawożenie organiczne jesienią poprzedniego roku oraz dobra kultura rolna sugerowały, że reakcja roślin na nawożenie nie będzie silna. Całkowita ilość przyswajalnych form pierwiastków (NPK) w przeliczeniu na czysty składnik na powierzchni 1 ha wynosiła odpowiednio 1043, 443 i 1435 kg · ha⁻¹. Wdrażanie metod uprawy i nawożenia, które pozwolą na dobre wykorzystanie zasobów glebowych, wpisuje się w ideologiczną podstawę integrowanej produkcji, co pozwoli poprawiać rentowność produkcji. W doświadczeniu zastosowano mniejsze niż to wynika z zapotrzebowania roślin w celu optymalizacji gospodarowania składnikami pokarmowymi. Na podstawie wyników analiz zasobności gleby zmniejszono dawki nawożenia podstawowymi pierwiastkami nawozowymi. Dzięki optymalizacji nawożenia oraz wykorzystaniu nawozów ze spowolnionym uwalnianiem składników uzyskano efekty produkcyjne na poziomie

intensywnej produkcji przy nawożeniu zredukowanym prawie o połowę. Pomimo większych kosztów zakupu nawozów wolnodziałających uzyskano zadowalające efekty w postaci zwiększonej efektywności nawożenia i ograniczenia rozproszenia składników w środowisku. Wdrażanie systemu zrównoważonego rolnictwa z udziałem wysoko wyspecjalizowanych nawozów może być jednak problematyczne ze względu na zbyt małą wiedzę rolników na temat biologicznych i środowiskowych aspektów produkcji rolnej oraz brak uniwersalizmu wykorzystywanych technologii produkcji [23, 24].



Rys. 2. Pobranie azotu przez biomasę selera w poszczególnych wariantach doświadczenia

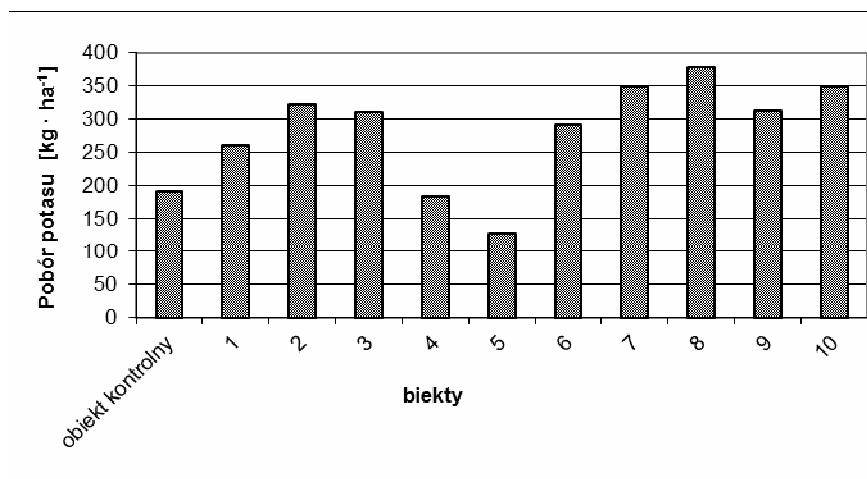
Fig. 2. Nitrogen uptake by celery in the successive objects of experiment



Rys. 3. Pobranie fosforu przez biomasę selera w poszczególnych wariantach doświadczenia

Fig. 3. Phosphorus uptake by celery in the successive objects of experiment

Uzyskanych wyników nie można odnieść do produkcji na obszarach nieirygowanych oraz na glebach o małych zawartościach składników pokarmowych lub niewłaściwym pH. Wdrożenie integrowanej produkcji, pomimo korzyści, które wynikają z ideologicznych założeń, jest na obecnym etapie wiedzy ryzykowne, niemniej jednak należy prowadzić badania w tym zakresie w celu uzbrajania rolnictwa w technologie bezpieczne dla producenta, a zarazem ograniczające wpływ rolnictwa na środowisko.



Rys. 4. Pobranie potasu przez biomasę selera w poszczególnych wariantach doświadczenia

Fig. 4. Potassium uptake by celery in the successive objects of experiment

Wnioski

1. W warunkach gleb o wysokiej zawartości składników pokarmowych wdrażanie zasad integrowanej produkcji pozwala na uzyskanie wysokich plonów przy zmniejszeniu stosowania nawożenia mineralnego.
2. Wdrażanie integrowanego nawożenia może zwiększyć efektywność wykorzystania składników nawozowych wprowadzanych z nawożeniem mineralnym.
3. Wykorzystanie nawozów wolnodziałających w technologiach nawożenia może stanowić alternatywę dla konwencjonalnych metod produkcji dzięki możliwości uzyskiwania lepszej efektywności, co przekłada się na zmniejszenie oddziaływania produkcji rolniczej na środowisko przez zmniejszenie dyspersji składników pokarmowych.

Literatura

- [1] Alluvione F, Moretti B, Sacco D, Grignani C. EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. *Energy*. 2011;36:4468-4481. DOI: 10.1016/j.energy.2011.03.075.
- [2] Tuomisto HL, Hodge ID, Riordan P, Macdonald DW. Exploring a safe operating approach to weighting in life cycle impact assessment e a case study of organic, conventional and integrated farming systems. *J Clean Prod*. 2012;37:147-153. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.06.025.
- [3] Helander CA, Delin K. Ecological arable farming systems. *Eur J Agron*. 2005;21:297-314. DOI: 10.1016/S1161-0301(03)00089-3.

- [4] Mzoughi N. Farmer Evaluation of farming systems according to valuation indices developed within a European network on integrated crop protection and organic farming: Do moral and social concerns matter? *Ecol Econ.* 2011;70:536-545. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2011.03.016.
- [5] Musshoff, O, Hirschauer N. Adoption of organic farming in Germany and Austria: an integrative dynamic investment perspective. *Agric Econ.* 2008;39:135-145. DOI: 10.1111/j.1574-0862.2008.00321.x.
- [6] Reitz SR, Kund GS, Carson WG, Phillips PA, Trumble JT. Economics of reducing insecticide use on celery through low-input pest management strategies. *Agr Ecosyst Environ.* 1999;73(3):185-197. DOI: 10.1016/S0167-8809(99)00016-X.
- [7] Trumble JT, Carson WG, Kund GS. Economics and environmental impact of a sustainable integrated pest management program in celery. *J Econ Entomol.* 1997;90:139-146. DOI: 10.1093/jee/90.1.139.
- [8] Perini A, Susi A. Developing a decision support system for integrated production in agriculture. *Environ Modell Soft.* 2004;19:821-829. DOI: 10.1016/j.envsoft.2003.03.001.
- [9] Mézière D, Lucas P, Granger S, Colbach N. Does Integrated Weed Management affect the risk of crop diseases? A simulation case study with blackgrass weed and take-all disease. *Eur J Agron.* 2013;47:33-43. DOI: 10.1016/j.eja.2013.01.007.
- [10] Chikowo R, Faloya V, Petit S, Munier-Jolain NM. Integrated Weed Management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agr Ecosyst Environ.* 2009;132:237-242. DOI: 10.1016/j.agee.2009.04.009
- [11] Nendel C. Evaluation of Best Management Practices for N fertilisation in regional field vegetable production with a small-scale simulation model. *Eur J Agron.* 2009;30(2):110-118. DOI: 10.1016/j.eja.2008.08.003.
- [12] Council Regulation (EC) No 1698/2005 of 20 September 2005. On support for rural development by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) (Acts Office EU L 277 of 21.10.2005., P. 1, as amended. d.).
- [13] Council Regulation EEC 2078/92 of 30 June 1992. On agricultural production methods compatible with the requirements of environmental protection and landscape.
- [14] Council Regulation (EC) No 1257/1999 of 17 May 1999. On support for rural development by the European Agricultural Guidance and Guarantee Fund (EAGGF) and amending and repealing certain regulations.
- [16] Srivastava RC, Singhandhupe RB, Mohanty RK. Integrated farming approach for runoff recycling systems in humid plateau areas of eastern India. *Agr Water Manage.* 2004;64:197-212. DOI: 10.1016/S0378-3774(03)00208-7.
- [15] Directive of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009. 2009/128 / EC establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides.
- [17] Biczak R, Herman B, Rychter P. Wpływ nawożenia azotem, fosforem i potasem na plonowanie i wartość biologiczną selera naciowego. Część I. Plon i skład mineralny warzyw. *Proc ECOpole.* 2011;5(1):161-171.
- [18] Soumaré M, Tack FMG, Verloo MG. Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. *Bioresour Technol.* 2003;86:15-20. DOI: 10.1016/S0960-8524(02)00133-5.
- [19] Oenem O, Witzke HP, Klimont Z, Lesschen JP, Velthof GL. Integrated assessment of promising measures to decrease nitrogen losses from agriculture in EU-27. *Agr Ecosyst Environ.* 2009;133:280-288. DOI: 10.1016/j.agee.2009.04.025.
- [20] Directive of the European Parliament and of the Council of 24 November 1997. 76/116 / EEC amending Directive 76/116 / EEC, 80/876 / EEC, 89/284 / EEC and 89/530 / EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to for fertilizers.
- [21] Bailey AP, Basford WD, Penlington N, Park JR, Keatinge JDH, Rehman T. A comparison of energy use in conventional and integrated arable farming systems in the UK. *Agr Ecosyst Environ.* 2003;97(1-3):241-253. DOI: 10.1016/S0167-8809(03)00115-4.
- [22] Halberg N, Verschuur G, Goodlass G. Farm level environmental indicators; are they useful? An overview of green accounting systems for European farms. *Agr Ecosyst Environ.* 2005;105(1-2):195-212. DOI: 10.1016/j.agee.2004.04.003.
- [23] He J, Wang J, He D, Dong J, Wang Y. The design and implementation of an integrated optimal fertilization decision support system. *Math Comput Modell.* 2011;54(3-4):116-174. DOI: 10.1016/j.mcm.2010.11.050.
- [24] Chaves B, De Neve S, Boeckx P, Berko C, Van Cleemput O, Hofman G. Manipulating the N release from 15N labelled celery residues by using straw and vinasses. *Soil Biol Bioch.* 2006;38(8):2244-2254. DOI: 10.1016/j.soilbio.2006.01.023.

THE USAGE POSSIBILITIES OF SLOW-RELEASE FERTILIZERS IN THE INTEGRATED PRODUCTION OF CELERIAC

Institute of Agricultural Engineering and Computer Science, University of Agriculture in Krakow

Abstract: The aim of the research was to estimate the usage possibilities of slow-release fertilizers in the process of effectiveness optimization of celeriac production within the system of integrated production. The granulometric composition of the soil where the experiment was set up equalled the composition of medium plasticity clay. The test was carried out with the use of 'Diamant' celeriac. A slow-release fertilizer, the components of which amounted to N - 18%, P - P_2O_5 - 5% and K - K_2O - 11%, ammonium nitrate, granular triple superphosphate and potassium salt, was used in the fertilization process. The experiment, set up on May 5, 2012, concerned 13 levels of soil fertilization and a checkpoint. Yield was collected on October 29, 2012. The factor of the experiment was diverse fertilizing. Both the cultivation and the protection of plants were conducted with regard to the methodology of integrated production of celeriac. The plants were given treatment with conventional fertilizers (such as superphosphate, potassium salt and ammonium nitrate) and with a combinations of conventional fertilizers with slow-release fertilizers. Phosphorus, potassium and microelements were used at all levels of fertilization, in the amount required for the fertilization of plants with the predicted crop size of $50 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. The experiment concerned 13 levels of soil fertilization and a checkpoint. On the basis of the results obtained, the indicators of nitrogen fertilizing effectiveness were calculated and they included: agronomic effectiveness, productivity indicator, physiological effectiveness, recycling effectiveness and elimination effectiveness. The crop at the checkpoint was $32.1 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Fertilizing with 200 kilograms of agrobien and a full dose of phosphorus and potassium resulted in yield increase of over 13 Mg. The highest yield, amounting to $55.8 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, was obtained with the use of 400 kilograms of agrobien and a full dose of phosphorus and potassium. The fertilization effectiveness indicator values were most optimal on the areas where the slow-release fertilizer was added in the amount of 200 and $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. The highest yield was obtained on the area fertilized with conventional fertilizers in the amount of 150 kilograms of N and a full dose of phosphorus and potassium. The calculated fertilization effectiveness indicators show that the optimization of the fertilization process with the use of slow-release fertilizers may increase fertilization effectiveness several times as compared to the integrated production methods with the use of conventional fertilizers. The results of the research prove that the optimization of the fertilization process in intensive farming may decrease the amount of components diffused in the environment by 50 per cent, while retaining high yield.

Keywords: integrated production, mineral fertilization, production effectiveness