Wpływ deficytu i nadmiaru azotu w roślinie ziemniaka na gromadzenie i dystrybucję biomasy

WŁADYSŁAW MAZURCZYK, BARBARA LIS

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział w Jadwisinie, 05-140 Serock

Mazurczyk W., Lis B. (Department of Potato Agronomy, Plant Breeding and Acclimatization Institute, Jadwisin, 05-140 Serock, Poland). The influence of nitrogen deficiency and excess in potato plants on biomass accumulation and distribution.

(Otrzymano: 10.04. 2000)

Summary

Nitrogen nutrition index (NNI), harvest index (HI), dry matter accumulated by different organs were estimated several times during the vegetation period of potato plants grown in the both field and pot experiments at the Experimental Station in Jadwisin, Poland. Nitrogen fertilizer as NH_4NO_3 was applied at three doses (40, 120, and 200 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{N}$) in the field experiment and 2.7 g N in 1996 and 4g N in 1997 and 1998 per each plant in the pot experiment.

Results showed that the values of NNI both in field and pot experiments increased from emergence till the about closing rows and then they gradually decreased. The NNI values were dependent on N rates. The higher were N doses, the higher were values of NNI. These differences were especially present during the first half of vegetation periods. The excess of N in potato plants (NNI values above 1.0) was recorded in the greater part of vegetation periods in plants grown at the dose 200 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{N}$ and for short length of time at the rate 120 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{N}$. The excess of nitrogen was associated with the highest values of total biomass accumulation and with decreasing of the harvest index; (average NNI = 0.53). Unsufficient level of nitrogen nutrition (NNI values below 1.0) was found for the whole vegetation periods in all plants grown in pots and in the field at the dose 40 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{N}$. These plants produced less total biomass but more of it was distributed to the tubers with average values of HI: 0.68 in field and 0.78 in pot experiments. Plants grown in the field under warmer weather conditions had better nitrogen nutrition status than those grown under cooler and wetter ones.

Key words: potato biomass, nitrogen rates, plant nitrogen status, harvest index

WSTĘP

Nawożenie azotem roślin ziemniaka jest jednym z głównych czynników agrotechnicznych umożliwiających uzyskiwanie wysokich plonów. Reagują one najczęściej znacznymi zwyczajami plonu w szerokim zakresie stosowanych dawek tego składnika pokarmowego (F o t y m a, 1997a; L i s, 1996; S t o c k d a l e, 1997; V o s, 1997). Zachęca to producentów do stosowania intensywnego nawożenia; dawek przekraczających nawet $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ (V o s, M a r s h a l l, 1993). Jednakże wraz ze wzrostem dawek azotu zmniejsza się wykorzystywanie tego składnika z nawozów, jego efektywność agronomiczna i fizjologiczna (F o t y m a, 1997a; F o t y m a et al., 1992). Prowadzi to do zwiększonej akumulacji azotanów w bulwach (L i s, 1996; R e d a, Ł o j k o w s k a, 1993) i w środowisku (F o t y m a, 1997b; F o t y m a, F o t y m a, 1998; S t o c k d a l e, 1997; V o s, M a r s h a l l, 1993). Współczynnik wykorzystania azotu przy niskich jego dawkach (kilkadziesiąt $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) wynosi około 50 %. Natomiast przy dawkach dochodzących do $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ zmniejsza się on nawet do kilkunastu procent (F o t y m a et al., 1992; L i s, W i e r z e j s k a -B u j a k o w s k a, 1997; V o s, M a r s h a l l, 1993).

W celu ograniczenia ujemnego wpływu nawożenia azotem na plon i środowisko prowadzone są badania dotyczące optymalizacji stosowania tego składnika pokarmowego. Próbuje się to osiągnąć poprzez stosowanie podstawowej dawki azotu przed sadzeniem w oparciu o zasobność gleby oraz uzupełniającej dawki w czasie wegetacji, której wysokość zależy od stopnia odżywienia roślin azotem. Wyznaczanie wysokości dodatkowej dawki azotu oraz najbardziej właściwego terminu jej stosowania wymaga dokładnej znajomości między innymi:

- zmian stopnia odżywienia roślin azotem w czasie wegetacji
- wpływu zróżnicowanych dawek nawożenia azotem na stopień odżywienia roślin
- zmian w odżywieniu roślin powodowanych zróżnicowanymi warunkami meteorologicznymi wegetacji.

Przedstawiona praca podaje charakterystykę odżywienia azotem roślin ziemniaka uprawianych zarówno w wazonach jak i na polu przy zróżnicowanym poziomie nawożenia tym składnikiem oraz zmiany w akumulacji i dystrybucji biomasy towarzyszące deficytowi i nadmiarowi tego składnika pokarmowego.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań pochodził z doświadczenia wazonowego prowadzonego w hali wegetacyjnej (4 wazon, 16 pędów na metr kwadratowy) w latach 1996 - 1998. Sadzeniaki ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) odmiany Maryna w stopniu SE wysadzano do torfu z dodatkiem piasku o wartości pH między 6,0 a 6,5. Azot w formie NH_4NO_3 stosowano przed sadzeniem w dawce 2,7 g na wazon w 1996 roku oraz 4 g w 1997 i 1998. W każdym okresie wegetacji przeprowadzono 7 zbiorów w terminach dostosowanych do faz fenologicznych. W roślinach pochodzących z poszczególnych terminów zbioru (4 wazon w każdym z 3 powtórzeń) oznaczano suchą masę liści, łodyg i bulw oraz zawartość w nich azotu ogólnego metodą Kjeldahla.

W pracy wykorzystano również materiał empiryczny pochodzący z doświadczenia polowego przeprowadzonego w Jadwisinie w latach 1974 - 1976. Schemat doświadczenia uwzględniał 4 odmiany ziemniaka (Sokół, Sowa, Pola, Narew)

i 3 poziomy nawożenia azotem (40, 120 i 200 kg · ha⁻¹). Azot w formie saletry amonowej (NH₄NO₃) w dawce 40 kg · ha⁻¹ stosowano przed sadzeniem. Dawki uzupełniające azotu - przed wschodami ziemniaków.

Każdego roku w odstępach siedmiodniowych, począwszy od około 60 dnia po posadzeniu, wykopywano 6 roślin w każdym z 3 powtórzeń. W pobranych próbach oznaczano między innymi suchą masę liści, łodyg i bulw oraz zawartość azotu ogólnego metodą Kjeldahla. Szczegóły metodyczne tego doświadczenia przedstawiono we wcześniejszych publikacjach (W i e r z e j s k a, 1978; W i e r z e j s k a, K a c z o r e k, 1985).

Indeksy stanu odżywienia roślin azotem (NNI) obliczono według wzoru 1 (R o z b i c k i, 1997):

$$NNI = Na/Nc \quad /1/$$

gdzie:

Na – rzeczywista zawartość azotu w całkowitej suchej masie (s.m.) roślin, średnia ważona, %

Nc – krytyczna zawartość N w s.m. roślin, %

Krytyczną zawartość azotu (Nc) wyliczano w oparciu o własne równanie regresji opisujące zależność pomiędzy plonem suchej masy roślin ziemniaka a zawartością w nich azotu (M a z u r c z y k, W i e r z e j s k a-B u j a k o w s k a, 1999):

$$Nc = 5,66 \cdot W^{-0,46} \quad /2/$$

gdzie:

W – całkowita sucha masa roślin w t · ha⁻¹

Krytyczna zawartość azotu (Nc) obliczona według równania 2 zapewnia utrzymanie maksymalnego względnego przyrostu masy roślin, RGR, (G r e e n w o o d, 1990; J u s t e s, 1992; V o s, M a r s h a l l, 1993). Wartości NNI (wyznaczone w oparciu o wzór 1) równe bądź bardzo zbliżone do jedności oznaczają optymalne odżywienie roślin azotem; wartości NNI<1 - deficyt azotu, wartości NNI>1 – nadmiar azotu.

Współczynniki plonowania (HI) obliczono dzieląc końcową suchą masę bulw przez suchą masę roślin, którą stanowił końcowy plon bulw oraz maksymalna sucha masa części nadziemnej zwiększona o 25% (B e u k e m a, Z a a g, 1990). Plony potencjalne obliczono według metodyki M a z u r c z y k a (1996) z wykorzystaniem rzeczywistych stopni pokrycia gleby przez listowie. Wyniki opracowano statystycznie stosując analizę wariancji. Wnioskowanie prowadzono z 5% ryzykiem błędu.

WYNIKI I DYSKUSJA

Stopień odżywienia azotem roślin ziemniaka w czasie wegetacji, charakteryzowany indeksem NNI, zależał od dawek tego składnika pokarmowego. Im większa dawka azotu tym większy przeciętny indeks NNI. Różnice w stopniu odżywienia roślin uprawianych w polu były istotne statystycznie (tab. 1). Natomiast w uprawie wazonowej zwiększenie dawki azotu o 1,3 g na roślinę w latach 1997 i 1998 w porównaniu do roku 1996 spowodowało znaczące, aczkolwiek nie udowodnione statystycznie, podwyższenie wartości NNI o 0,1 (tab. 2). Zróżnicowanie stanu odżywienia roślin azotem uzależnione od wysokości stosowanych dawek azotu zaznaczało się w całym okresie wegetacji roślin uprawianych w warunkach polowych

(rys. 1) oraz w pierwszej połowie wegetacji roślin uprawianych w wazonach (rys. 2). Najlepsze odżywienie roślin przez większą część okresu wegetacji zapewniała dawka 120 kg azotu na hektar, przy której wartości NNI oscylowały wokół jedności (rys. 1). Przy dawce 40 kg · ha⁻¹ N rośliny były niedostatecznie odżywione tym składnikiem prawie przez cały okres wegetacji. Deficyt tego składnika pokarmowego występował także w roślinach uprawianych w wazonach przy obydwu poziomach nawożenia azotem (rys. 2). Szczególnie duży był on w 1996 roku po zastosowaniu mniejszej dawki azotu wynoszącej 2,7 g na roślinę. Wówczas to indeksy NNI były mniejsze od wartości 0,7 w całym okresie wegetacji. Przy poziomie 200 kg · ha⁻¹ N występowało nadmierne odżywienie roślin azotem przez większą część wegetacji, o czym świadczą wyniki NNI przekraczające najczęściej wartość 1 (rys. 1). Zmiany indeksu NNI występowały również w czasie wzrostu roślin przy tym samym poziomie nawożenia azotem. Stopień odżywienia azotem roślin ziemniaka zwiększał się w początkowym okresie wegetacji, a następnie ulegał stopniowemu zmniejszaniu zarówno u roślin uprawianych w polu (rys. 1), jak i w wazonach (rys. 2). W drugiej połowie wegetacji wartości indeksu NNI obliczone dla roślin uprawianych w wazonach były bardzo zbliżone w każdym z 3 lat badań niezależnie od zastosowanej dawki azotu (rys. 2). Toteż różnice w ilości nagromadzonej biomasy (W) oraz w plonach bulw (Ya) występujące między tymi latami należy przypisać zmianom stopnia odżywienia azotem występującym w pierwszej połowie wegetacji.

Stwierdzone między latami, różnice w stopniu odżywienia roślin azotem, mogą wynikać z różnic w przebiegu warunków pogodowych poszczególnych okresów wegetacji (tab. 3). Największy deficyt azotu w roślinach (NNI = 0,85) wystąpił w 1974 roku. Ten okres wegetacji można uznać za wilgotny i chłodny o czym świadczą przede wszystkim średnia wysoka wartość współczynnika Chomicza (4,4) oraz niska średnia temperatura powietrza wynosząca 16,4°C. Lata 1975 i 1976 należały do cieplejszych i bardziej suchych niż 1974. Wskazują na to współczynnik B zbliżony do 2 oraz duży, ujemny rolniczo-klimatyczny bilans wodny (P-Ea) przekraczający wartość - 150 mm (tab. 3). Podobnie gorsze odżywienie azotem roślin pszenżyta występowało w latach mokrych, a lepsze - w latach suchych (R o z b i c k i, 1997).

Współczynnik plonu rolniczego (HI) oznacza udział organów użytkowych gospodarstwa, czyli bulw u ziemniaka, w masie całej rośliny (H a y, 1995). Wartości jego zmieniają się w szerokich granicach, od 0,47 do 0,90 zależnie przede wszystkim od genotypu, warunków klimatycznych okresu wegetacji oraz żywienia roślin (A l l e n, S c o t t, 1980; H a y, 1995; S t e c k e l, G r a y, 1979). Wyniki przedstawione w tej pracy potwierdzają uzależnienie wartości HI od dawek azotu i warunków meteorologicznych okresu wegetacji (tab. 1-3). Niedożywieniu roślin azotem towarzyszyły wysokie współczynniki plonowania. Przy dawce 40 kg · ha⁻¹ N osiągnięty został największy współczynnik plonowania (0,68) w doświadczeniu polowym. Toteż mimo iż całkowita biomasa produkowana w tej kombinacji była najmniejsza (12,1 t · ha⁻¹) to plon końcowy bulw uzyskiwany przy tej dawce nie różnił się istotnie od plonu bulw z pozostałych kombinacji. Deficyt azotu występował podczas uprawy roślin ziemniaka w wazonach we wszystkich latach (rys. 2). Szczególnie bardzo duży był on w 1996 roku. Towarzyszyło jemu zdecydowane zmniejszenie nagromadzania biomasy całkowitej w porównaniu z latami 1997 i 1998 (tab. 2). Dlatego plon końcowy bulw uzyskany w tym roku okazał się znacznie mniejszy w porównaniu z latami 1997

i 1998, mimo stosunkowo wysokiej wartości HI (0,69). Zróżnicowanie współczynnika plonowania, podobnie jak i stopnia odżywienia roślin, wystąpiło również między latami uprawy polowej (tab. 3). Najmniejszej średniej wartości NNI (0,85) występującej w 1974 roku towarzyszył największy przeciętny plon bulw ($8,61 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) osiągnięty przy największym współczynniku plonowania (0,67). Mimo, iż w roku tym niski plon potencjalny ($15,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) nie sprzyjał uzyskiwaniu najwyższych plonów rzeczywistych.

WNIOSKI

1. Stan odżywienia azotem roślin ziemniaka zależy od ich fazy fenologicznej, wysokości zastosowanej dawki tego składnika oraz warunków meteorologicznych okresu wegetacji.
2. Utrzymywanie optymalnego odżywienia azotem roślin ziemniaka w pierwszej połowie wegetacji, czyli od wschodów do pełni kwitnienia, zapewnia uzyskiwanie wysokich plonów bulw.
3. Umiarkowany deficyt azotu występujący w roślinach ziemniaka ($0,9 > \text{NNI} > 0,7$) oraz jego nadmiar ($\text{NNI} > 1,1$) nie powodują znaczących zmian w wysokości plonu bulw.
4. Duży deficyt azotu w czasie wegetacji roślin ($\text{NNI} < 0,7$) powoduje zmniejszenie plonu bulw poprzez znaczne obniżenie ilości nagromadzonej biomasy całkowitej.
5. Okres wegetacji wilgotny i chłodny pogarsza stan odżywienia azotem roślin ziemniaka.

LITERATURA

- Allen E. J., Scott R. K., 1980. An analysis of growth of the potato crop. J.Agric.Sci., Cambridge 94, 583-606.
- Beukema H. P., Zaag van der D. E., 1990. Introduction to potato production. Pudoc, Wageningen 76-77.
- Fotyma E., 1997a. Efektywność nawożenia azotem podstawowych roślin uprawy polowej. Fragn. Agron. 14, 46-66.
- Fotyma E., 1997b. Zastosowanie metody $N_{\min}$ do oceny środowiskowej skutków nawożenia azotem. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 440, 89 - 100.
- Fotyma E. et al., 1992. Wykorzystywanie azotu z nawozów przez rośliny uprawy polowej. Pam. Puł. 101, 7-34.
- Fotyma M., Fotyma E., 1998. Integrated fertilizer recommendation system. Bibliotheca Fragn. Agron., Puławy, Poland, 3, 83- 94.
- Greenwood D. J., et al., 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. Annals of Botany 66, 425-436.
- Hay R.K.M., 1995. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. Ann.appl.Biol. 126, 197-216.
- Justes E., 1992. Diagnosis of nitrogen nutrition status of a winter wheat crop by nitrate test with the nitrogen dilution curve during the growth. Proc. 2nd ESA Congress. Warwick Univ. England, 262 - 263.
- Lis B., 1996. Wpływ długości okresu wegetacji odmian i nawożenia azotowego na zawartość azotanów w bulwach. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 440, 217 - 222.

- Lis B., Wierzejska-Bujakowska A., 1997. Wpływ nadmiernego nawożenia azotem na plonowanie i wykorzystanie azotu przez wczesne odmiany ziemniaka. [W:] Ekofizjologiczne aspekty reakcji roślin na działanie abiotycznych czynników stresowych. PAN Kraków, 225 - 228.
- Mazurczyk W., 1996. Wyznaczanie potencjału produkcji biomasy oraz kwantyfikacja wybranych czynników kształtujących plon ziemniaka. *Fragm. Agron.* 13, 5-40.
- Mazurczyk W., Wierzejska-Bujakowska A., 1999. Relation between nitrogen status of potato crops and their yields. 14th Trennial Conf. EAPR, Sorrento, Italy, 132-133.
- Reda S., Łojkowska E., 1993. Wpływ nawożenia azotem na zawartość azotanów w bulwach ziemniaka. *Biul. Inst. Ziemn.* 42, 29 - 37.
- Rozbicki J., 1997. Agrotechniczne uwarunkowania wzrostu, rozwoju i plonowania pszenżyta ozimego. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa, 66-70.
- Steckel J. R. A., Gray D., 1979. Drought tolerance in potatoes. *J. Agric. Sci., Cambridge* 92, 375-381.
- Stockdale E. A. et al., 1997. Soil-plant nitrogen dynamics: what concepts are required? *European J. of Agron.* 7, 145-159.
- Wierzejska A., 1978. Changes in the pattern of plant development due to N-fertilization of varieties with different fertilizer requirements. 7th Trennial Conf. EAPR, Warszawa, 62-63.
- Wierzejska A., Kaczorek S., 1985. Plonowanie odmian o zróżnicowanych wymaganiach nawozowych. [in:] *Podstawy produktywności roślin. cz. 2, IUNG, Puławy*, 46-53.
- Vos J., 1997. The nitrogen response of potato in the field nitrogen uptake and yield, harvest index and nitrogen concentration. *Potato Res.* 40, 237-248.
- Vos J., Marshall B., 1993. Nitrogen and potato production: strategies to reduce nitrate leaching. 12th Trennial Conf. EAPR, Paris, France, Proceedings, 101- 110.

Tabela 1

Indeks odżywienia azotem (NNI), współczynnik plonowania (HI) oraz całkowita biomasa (W) i końcowy plon bulw (Ya) w t s.m. ha⁻¹ w zależności od dawek azotu. Średnie dla 4 odmian i 3 lat badań

Table 1

The influence of different N doses on some crop parameters, means for 4 cultivars and 3 years. Field experiment, 1974-1976

Wyszczególnienie Specification	Dawki azotu kg · ha ⁻¹ N doses			LSD _{0,05}
	40	120	200	
NNI ¹	0,82	0,96	1,06	0,06
W ²	12,10	13,65	14,34	0,89
Ya ³	8,17	8,00	7,53	n.s. ⁵
HI ⁴	0,68	0,59	0,53	0,05

1 – nitrogen nutrition index.

2 – total dry crop weight (t · ha⁻¹).

3 – dry tuber yield (t · ha⁻¹).

4 – final harvest index.

5 – not significant differences.

Tabela 2

Indeks odżywienia azotem (NNI), współczynnik plonowania (HI) oraz całkowita biomasa (W) i końcowy plon bulw (Ya) w g s.m. na roślinę odmiany Maryna. Średnie z 4 powtórzeń.

Table 2

Values of some crop parameters in pot experiment. Cultivar Maryna. Means for 4 replications.

Wyszczególnienie Specification	Lata years			LSD _{0,05}
	1996	1997	1998	
NNI ¹	0,46	0,57	0,56	n.s. ⁵
W ²	131,2	343,7	278,1	16,1
Ya ³	88,5	291,9	222,3	8,1
HI ⁴	0,69	0,85	0,80	0,03

1 – nitrogen nutrition index.

2 – total dry crop weight (g per plant).

3 – dry tuber yield (g per plant).

4 – final harvest index.

5 – not significant differences.

Tabela 3

Średnie wartości NNI, HI, Ya, plonów potencjalnych (Yp) i rzeczywistych (Ya) w poszczególnych latach uprawy wraz z uproszczoną charakterystyką ich okresów wegetacji.

Table 3

Comparison of mean values of NNI, HI, Ya, potential yield (Yp) for tested years with description of meteorological conditions their vegetation periods.

Rok Year	NNI	HI	Ya	Yp	P	P-Ea	t _{sr}	B
1974	0,85	0,67	8,61	15,6	226	- 45	16,4	4,4
1975	0,95	0,58	8,02	17,2	254	- 156	19,4	2,4
1976	1,03	0,53	7,05	16,7	225	- 151	18,0	1,9
LSD _{0,05}	0,06	0,09	0,89	0,80	—	—	—	—

P, Ea – średni opad i ewapotranspiracja między wschodami a końcem wegetacji w mm;
mean rainfall and evapotranspiration from emergence to the end of vegetation.

T_{sr} – średnia temperatura powietrza między początkiem kwitnienia i zasychania;
average air temperature between beginning of blooming and withering.

B – Współczynnik Chomicza; wartości powyżej 4 - mokre, poniżej 2 - suche warunki wegetacji;
Chomicz coefficient; values above 4 - wet, below 2 - dry growth conditions.

Pozostałe objaśnienia: tabela 1.

More explanations: see table 1.

Rys. 1. Zmiany wartości indeksu odżywienia azotem (NNI) roślin ziemniaka w okresie wegetacji w zależności od dawki azotu; średnie dla 4 odmian i 3 lat

Fig. 1. Nitrogen nutrition index (NNI) of potato plants during vegetation period depending on N rate. Field experiment, 1974-1976.

Rys. 2 Zmiany wartości indeksu odżywiania azotem (NNI) roślin ziemniaka uprawianych w wazonach przy zróżnicowanym nawożeniu azotowym.

Fig 2. Changes of nitrogen nutrition index (NNI) for potato plants grown in pots as influenced by nitrogen level.

Wpływ deficytu i nadmiaru azotu w roślinie ziemniaka na gromadzenie i dystrybucję biomasy

Streszczenie

Wykorzystując test NNI (indeks stanu odżywienia) określano deficyt i nadmiar azotu w czasie wegetacji roślin uprawianych w wazonach i w polu. Nadmiar azotu ($NNI > 1$) zmniejszał współczynniki plonowania (HI). Mały deficyt azotu ($1,0 > NNI > 0,7$) zwiększał dystrybucję asymilatów do bulw. Duży deficyt azotu ($NNI < 0,7$) powodował drastyczne obniżenie nagromadzania biomasy oraz końcowego plonu bulw mimo stosunkowo dużej wartości HI. Okres wegetacji wilgotny i chłodny sprzyjał występowaniu deficytu azotu w roślinach ziemniaka.