

## ZALEŻNOŚĆ MIĘDZY ZAWARTOŚCIĄ AZOTU A PLODEM SUCHEJ MASY LIŚCI, ŁODYG I BULW ZIEMNIAKA

Anna Wierzbicka, Cezary Trawczyński

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy

**Streszczenie.** Metody diagnostyczne niedoboru azotu powinny opierać się na definicji krytycznej zawartości azotu ( $N_c$ ), która określa minimalną zawartość azotu potrzebną do osiągnięcia maksymalnego wzrostu. Doświadczenie przeprowadzono w latach 2008–2009 w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Jadwisinie. Celem było wyznaczenie krzywej zależności między zawartością azotu a plonem suchej masy przy standardowym poziomie nawożenia azotem. Sucha masa i zawartość N były określane w liściach, łodygach oraz bulwach w trzech terminach, co dwa tygodnie, począwszy od zwarcia roślin w rzędach. Wyznaczone równanie regresji:  $N_c = 4,94W^{-0,49}$  posłużyło do scharakteryzowania stanu odżywienia roślin ziemniaka w czasie wegetacji za pomocą testu NNI. Wartości NNI równe jedności oznaczały optymalne odżywienie roślin azotem; wartości  $NNI < 1$  – deficyt azotu; wartości  $NNI > 1$  – nadmiar azotu. Standardowe nawożenie azotem ( $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) zapewniało optymalne odżywienie roślin ziemniaka, czyli zbliżone do 1 (w zakresie 0,95–0,99) w zależności od wczesności genotypów ziemniaka i terminu pomiaru. Istotnemu różnicowaniu w końcowym plonie suchej masy bulw genotypów wczesnych, średnio wczesnych i średnio późnych nie towarzyszyły istotne zmiany w stanie odżywienia roślin ziemniaka azotem w okresie wegetacji.

**Słowa kluczowe:** ziemniak, krytyczna zawartość azotu, indeks odżywienia azotem, plon bulw

### WSTĘP

Nawożenie azotem roślin uprawnych jest jednym z głównych czynników agrotechnicznych umożliwiających uzyskiwanie wysokich plonów. Ilość azotu stosowanego często jest większa niż bezwzględnie wymagana, a błędy popełniane podczas nawożenia powodują niekorzystne zmiany w jakości plonu oraz w środowisku. Szczególnie duże

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Anna Wierzbicka, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Jadwisinie, Zakład Agronomii Ziemniaka, 05-140 Serock, e-mail: a.wierzbicka@ihar.edu.pl

trudności z nawożeniem azotem napotyka się w uprawie ziemniaka. Odmiany tego gatunku reagują znacznymi zwyczajami plonu w szerokim zakresie dawek azotu mineralnego. Jednocześnie wykorzystanie azotu przez ziemniaka jest mniejsze niż przez inne gatunki roślin rolniczych [Fotyma 1997]. Współczynnik wykorzystania tego składnika wynosi około 50% przy niskich dawkach (50–60 kg·ha<sup>-1</sup>), około 40% w zakresie dawek azotu zalecanych w uprawie ziemniaka (100–140 kg·ha<sup>-1</sup>), a jeszcze mniejsze przy wyższych dawkach N, co zostało udokumentowane w literaturze [Lis i in. 2002, Wierzbicka i in. 2002, Mazurczyk i in. 2005, Mazurczyk i in. 2005, Wierzbicka i Trawczyński 2011]. Elementem sprzyjającym lepszemu wykorzystaniu azotu są metody diagnostyczne oceny roślin pod względem jego niedoboru. Jedną z nich jest ocena stanu odżywienia roślin azotem zwana testem NNI. Metoda ta opiera się na definicji krytycznej koncentracji azotu, czyli minimalnej zawartości azotu potrzebnej do osiągnięcia maksymalnego plonu. Koncepcja azotu oparta na jego zawartości w całych roślinach została rozwinięta przez Lemaire i Salette [1984] dla kostrzewy trzcinowatej (*Festuca arundinacea* Schreb.). Później była testowana na ziemniaku (*Solanum tuberosum* L.) [Greenwood i in. 1990, Duchenne i in. 1997], pszenicy (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*) [Justes i in. 1994] i rzepaku (*Brassica napus* L.) [Colnenne i in. 1998]. Ostatnie badania w tym temacie przeprowadzono w Chinach dla ryżu siewnego (*Oryza sativa* L.) [Ata-Ul-Karim i in. 2013] i kukurydzy (*Zea mays*) [Li i in. 2012]. Zależność między zawartością azotu w roślinach optymalnie odżywionych tym składnikiem, zwaną zawartością krytyczną ( $N_c$ ), a plonem ich suchej masy ( $W$ ) opisano równaniem funkcji potęgowej w ogólnej postaci:

$$N_c = aW^{-b} \quad (1)$$

gdzie:  $N_c$  – zawartość krytyczna azotu ogółem w roślinie [% s.m.],

$W$  – sucha masa rośliny (liści, łodyg i bulw) [t·ha<sup>-1</sup>],

$a$  – współczynnik określający zawartość azotu na 1 tonę suchej masy na hektar,

$b$  – współczynnik rozcieńczenia azotu w zależności od wzrostu suchej masy.

Zgodnie z teorią Greenwooda [1990], współczynniki  $a$  i  $b$  dla różnych gatunków roślin, uprawianych w warunkach optymalnego zaopatrzenia w azot, są stałe, co nadaje równaniu charakter prawa biologicznego. Dlatego uznano, że jest to równanie uniwersalne i można je stosować przy ocenie stanu odżywienia roślin azotem [Fotyma i Pecio 1999, Fotyma 2000a, b].

Celem badań było wyznaczenie krzywej zależności między zawartością azotu a plonem suchej masy liści, łodyg i bulw przy standardowym poziomie nawożenia azotem oraz porównanie tej krzywej z już istniejącymi. Określono także wpływ stanu odżywienia na końcowy plon bulw genotypów wczesnych, średnio wczesnych i średnio późnych.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Wyniki prezentowane w pracy uzyskano na podstawie materiału hodowlanego pochodzącego z doświadczenia polowego przeprowadzonego w latach 2008–2009 w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Jadwisinie, na glebie o składzie granulometrycznym

piasku gliniastego lekkiego, kompleksu żyniego dobrego, klasy IVb. Genotypy ziemniaka, po cztery z trzech grup wczesności (wczesne, średnio wczesne i średnio późne), wybrano z dużej liczby badanego materiału eksperymentalnego (35 genotypów), na podstawie wysokiego plonu końcowego bulw. Sadzeniaki wysadzano 29.04.2008 r. i 22.04.2009 r. w rozstawie 75 × 33 cm. Jesienią stosowano nawożenie organiczne słomą z międzyplonem ścierniskowym gorczycy w ilości 25 t·ha<sup>-1</sup> oraz fosfor w formie superfosfatu wzbogaconego (18% P) i potas w formie soli potasowej (50% K). Azot w formie saletry amonowej (34% N) stosowano wiosną przed sadzeniem bulw (tab. 1).

Tabela 1. Podstawowe dane doświadczenia w latach 2008–2009

Table 1. Basic data of the experiment in the years 2008–2009

Wyszczególnienie – Specification	2008	2009
pH (KCl)	5,4	5,1
Zasobność gleby – Soil fertility [mg·100 g <sup>-1</sup> ]		
P	7,4	8,2
K	13,9	14,5
Mg	7,3	7,5
Nawożenie mineralne – Mineral fertilization [kg·ha <sup>-1</sup> ]		
N	100	100
P	37,8	42,2
K	112,1	116,2
Liczba dni od sadzenia do początku wschodów Number of days from planting to the beginning of emergence		
Wczesne – Early	16	22
Średnio wczesne – Medium early	20	26
Średnio późne – Medium late	24	30

Każdego roku, w odstępach dwutygodniowych, począwszy od zwarcia roślin w rzędach, w terminach: 28, 42 i 56 dni po wschodach – DAE (Days After Emergence) wykonano obserwacje wzrostu roślin, pomiary powierzchni asymilacyjnej niezbędnej do obliczenia indeksu liściowego – LAI (cm<sup>2</sup> powierzchni liści/cm<sup>2</sup> powierzchni gleby) oraz świeżej i suchej masy liści, łodyg i bulw. W suchym materiale oznaczono zawartość azotu ogółem metodą Kjeldahla z wykorzystaniem automatycznego destylatora Kjeltec 2200 f-my Foss Tecator. Stosunek  $N_a/N_c$  określany jako indeks odżywienia roślin azotem – NNI (Nitrogen Nutrition Index) obliczono według wzoru 2.

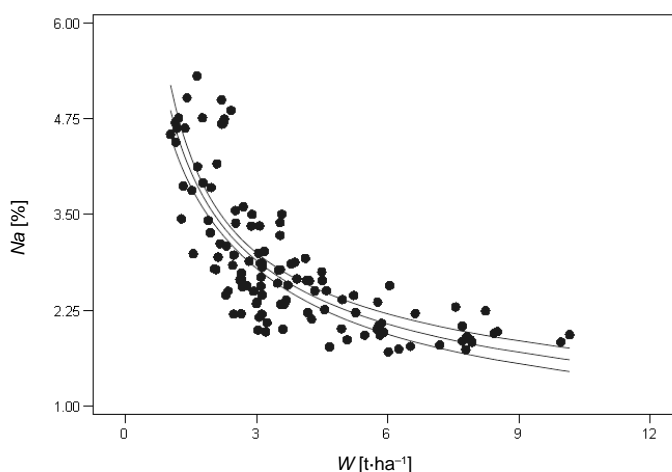
$$NNI = \frac{N_a}{N_c} \quad (2)$$

gdzie:  $N_a$  – rzeczywista zawartość azotu w suchej masie rośliny [% s.m.],  
 $N_c$  – krytyczna zawartość N w suchej masie rośliny [% s.m.].

Wartości NNI równe jedności oznaczają optymalne odżywienie roślin azotem; wartości NNI < 1 – deficyt azotu; wartości NNI > 1 – nadmiar azotu. Krytyczną zawartość azotu ( $N_c$ ) wyliczano na podstawie wzoru 1.

## Metody statystyczne

Wyniki badań opracowano statystycznie z wykorzystaniem programu ANOVA. Krzywą zależności pomiędzy zawartością azotu w roślinach:  $Na$  (zmiennie zależne) a plonem ich całkowitej suchej masy:  $W$  (zmiennie niezależne) wykonano dla  $n = 144$  (4 genotypy  $\times$  3 grupy wczesności  $\times$  3 terminy zbioru  $\times$  2 lata  $\times$  2 powtórzenia) pomniejszone o wartości  $N$  dla  $W < 1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Zawartość azotu ogółem oznaczono metodą Kjeldahla osobno dla liści łodyg i bulw, a następnie zsumowano, otrzymując rzeczywistą zawartość azotu w roślinie –  $Na$ . Zawartość krytyczną azotu ( $Nc$ ) w roślinie wyznaczono na podstawie równania:  $Nc = 4,94W^{-0,49}$ . Charakterystykę równania regresji przedstawiono na rysunku 1.



Analizę wariancji dla badanych parametrów przeprowadzono z zastosowaniem testu Tukeya na poziomie  $\alpha = 0,05$ . W trakcie analizy weryfikowane były dwie hipotezy: o braku wpływu czynnika I (grupy wczesności genotypu) na badaną cechę i o braku wpływu czynnika II (terminu pomiaru) na badaną cechę. Istotność wpływu badanych czynników przedstawiono w tabelach 2 i 4 na podstawie wyodrębnionych grup jednorodnych według procedury Tukeya.

## WYNIKI I DYSKUSJA

### Zawartość suchej masy i azotu ogółem w roślinie

Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji odrzucono hipotezy mówiące o braku wpływu grupy wczesności genotypu i terminu pomiaru na zawartość suchej masy i azotu ogółem. Wraz ze wzrostem rośliny ilość suchej masy w liściach, łodygach i bulwach zwiększała się, a azotu ulegała zmniejszeniu. Na podstawie wyznaczonych grup jednorodnych stwierdzono, że najwyższą suchą masą roślin cechowały się genotypy w 56.

dniu po wschodach, średnią w 42., a najniższą w 28. dniu. Odwrotnie było z zawartością azotu ogółem. Stwierdzono, że po upływie 28 dni od daty wschodów liście, łodygi i bulwy charakteryzowały się największą zawartością azotu. Spadek azotu w 42. i 56. dniu po wschodach był istotny. Najwięcej suchej masy zawierały bulwy, mniej liście, a najmniej łodygi. Zawartość azotu była większa w liściach i łodygach niż w bulwach we wszystkich fazach wzrostu. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że odmiany różniły się tempem wzrostu (suchą masą liści, łodyg i bulw) i zawartością azotu w zależności od grupy wczesności genotypu. Genotypy średnio późne charakteryzowały się największą zawartością suchej masy, a genotypy wczesne i średnio wczesne największą zawartością azotu (tab. 2). Podobne zawartości suchej masy i azotu w roślinie ziemniaka otrzymali inni autorzy [Kolbe i Stephan-Beckmann 1997, Gianquinto i Bona 2000, Vos i MacKerron 2000] w 45 DAE wynoszące średnio dla suchej masy liści, łodyg i bulw: 9,7; 8,6; 16,1%, a dla azotu ogółem w suchej masie odpowiednio: 4,7; 2,0; 1,8%.

Tabela 2. Zawartość suchej masy i azotu ogółem w roślinach ziemniaka w czasie wegetacji  
Table 2. The dry matter content and total nitrogen in potato plants during the growing season

Dni po wschodach Days after emergence (DAE)	Sucha masa Dry matter [%]			N ogółem w suchej masie Total N in DM [%]		
	Wczesne Early	Średnio wczesne Middle early	Średnio późne Middle late	Wczesne Early	Średnio wczesne Middle early	Średnio późne Middle late
Liście – Leaves						
28	11,9	11,6	12,8	5,1	5,4	5,0
42	12,9	13,0	14,9	4,4	4,7	4,1
56	14,2	14,2	15,6	4,0	4,2	3,7
Średnia – Mean	13,0b	12,9b	14,4a	4,5b	4,8a	4,3c
Łodygi – Stems						
28	8,0	6,6	8,1	2,8	3,2	2,9
42	10,5	9,4	11,7	1,8	2,6	2,0
56	11,5	10,9	12,4	1,3	1,9	1,4
Średnia – Mean	10,0a	9,0b	10,7a	2,0b	2,6a	2,1b
Bulwy – Tubers						
28	14,5	12,7	14,7	2,2	2,0	2,0
42	16,4	17,3	18,6	1,6	1,6	1,5
56	20,0	21,0	21,1	1,4	1,3	1,2
Średnia – Mean	17,0b	17,0b	18,1a	1,7a	1,6b	1,6b
Średnia dla grup wczesności – Mean for group of earlines						
Dni po wschodach DAE	Liście Leaves	Łodygi Stems	Bulwy Tubers	Liście Leaves	Łodygi Stems	Bulwy Tubers
28	12,1c	7,6c	14,0c	5,2a	3,0a	2,1a
42	13,6b	10,5b	17,4b	4,4b	2,1b	1,6b
56	14,7a	11,6a	20,7a	4,0c	1,5c	1,3c

Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie/Mean values marked with the same letters do not differ significantly.

### Wyznaczenie krzywej zawartości azotu dla ziemniaka

Krytyczną zawartość azotu ( $N_c$ ), zwaną krzywą rozcieńczeń, wyliczono na podstawie własnych wyników według wzoru 3.

$$N_c = 4,94W^{-0,49} \quad (3)$$

Równanie trzecie wyznaczono z wykorzystaniem analizy regresji (wg wzoru 1), przyjmując wartości całkowitej suchej masy roślin (liści, łodyg i bulw) o maksymalnym plonie końcowym bulw jako zmienne niezależne, a stężenia azotu w niej jako zmienne zależne. Założono, że w obiektach na dawce azotu  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , w których uzyskano wysokie plony bulw, rośliny są optymalnie odżywione tym składnikiem. Plony końcowe suchej masy bulw ziemniaka mieściły się w zakresie:  $11,5\text{--}14,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  i były większe niż plony otrzymane przez Mazurczyka i Wierzejską-Bujakowską [1999], wynoszące średnio  $8,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Autorzy ci stwierdzili, że najlepsze odżywienie roślin w okresie wegetacji zapewniała dawka  $120 \text{ kg}$  azotu na hektar, ale potencjał plonowania odmian ziemniaka był znacznie mniejszy niż obecnie, a plony rzeczywiste stanowiły zaledwie  $40\text{--}50\%$  plonów potencjalnych. Ich krzywa krytyczna:  $N_c = 5,66W^{-0,46}$  była zbliżona do krzywej Greenwooda i innych [1990] dla roślin typu C3, a różniła się od bieżącej krzywej:  $N_c = 4,94W^{-0,49}$  pod względem wartości współczynnika  $a$  o  $13\%$ . W bieżącej pracy w celu otrzymania właściwej krzywej przyjęto wartości suchej masy powyżej  $1 \text{ tony}$  ( $W > 1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) z wyłączeniem wartości ( $W$ ) mniejszych od  $1 \text{ tony}$ . Założenie to zostało wprowadzone przez innych badaczy [Greenwooda i in. 1990, Duchenne i in. 1997, Lemair i Gastal 1997, Bélanger i in. 2001], którzy udowodnili, że zawartość azotu dla całkowitej suchej masy ziemniaka mniejszej od  $1 \text{ tony}$  jest stała, co jest związane z bardzo wczesnymi fazami rozwoju roślin albo z ich starzeniem się. W bieżącej pracy  $25$  wartości suchej masy mniejszych od  $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  wyłączono z obliczeń krzywej krytycznej  $N_c$ . Średniej wartości wyłączonej suchej masy roślin  $0,65 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  odpowiadała zawartość azotu:  $4,59\%$ . Dla zbóż i innych roślin udowodniono [Justes i Jeuffroy 1997, Fotyma i Pecio 1999, Li i in. 2012], że funkcja potęgowa najlepiej charakteryzuje zależność stężenia azotu od suchej masy w przedziale plonu suchej masy od  $1,55$  do  $12,37 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , czyli jeszcze większej dolnej granicy niż przy założeniu dla ziemniaka. Zakres zmienności dla zawartości suchej masy ( $W$ ) w bieżącej pracy wynosił od  $0,30$  do  $10,16 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , a po wyłączeniu wartości suchej masy ( $W$ ) mniejszych od jednościan zakres ten wahał się od  $1,0$  do  $10,16 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , a dla azotu od  $1,05$  do  $5,30\%$ , w zależności od wczesności genotypu i fazy rozwojowej (rys. 1). Wzór otrzymanej krzywej zawartości azotu (wzór 3, rys. 1) pokazuje, że współczynnik  $a$  jest niższy od wyznaczonego przez Greenwooda [1990] dla roślin typu C3 (tab. 3), z kolei współczynnik  $b$  jest prawie taki sam. Współczynniki  $a$  i  $b$  Greenwooda i innych [1990] oznaczono według danych dla obiektów nawozowych pochodzących ze Szkocji i Holandii, w których azot nie ograniczał plonów. Dla roślin typu C3 oraz C4 wynosiły one odpowiednio  $5,66$  i  $-0,50$  oraz  $4,10$  i  $-0,50$  (tab. 3). Kilka lat później Lemaire i Gastal [1997] określili współczynniki  $a$  i  $b$  dla roślin typu C3:  $4,8$  i  $-0,34$  oraz odpowiednio:  $3,6$  i  $-0,34$  dla roślin typu C4, które były o  $25\%$  mniejsze niż

Tabela 3. Wartości krytycznej zawartości azotu dla różnych gatunków roślin

Table 3. The critical value of the nitrogen ( $N_c$ ) content of the various species of plants

Gatunek – Species	Autor – Author	Wzór – Formula	Rok – Year
C3	Greenwood i inni	$N_c = 5,66W^{-0,47}$	1990
C4	Greenwood i inni	$N_c = 4,10W^{-0,47}$	1990
Ziemniak – Potato	Greenwood (za Belanger in.)	$N_c = 5,36W^{-0,46}$	1990
C3	Lemaira i Gastala	$N_c = 4,8W^{-0,34}$	1997
C4	Lemaira i Gastala	$N_c = 3,6W^{-0,34}$	1997
Ziemniak – Potato	Duchenne i inni	$N_c = 5,21W^{-0,56}$	1997
Ziemniak – Potato	Mazurczyk i Wierzejska-Bujakowska	$N_c = 5,66W^{-0,46}$	1999
Ziemniak – Potato Russet Burbank	Bélanger i inni	$N_c = 4,57W^{-0,42}$	2001
Ziemniak – Potato Shepody	Bélanger i inni	$N_c = 5,04W^{-0,42}$	2001

u Greenwooda [1990]. Zależność u obu autorów pokazuje, że rośliny typu C4 gromadzą 25% więcej suchej masy niż C3 przy takiej samej ilości azotu. Ponadto ci ostatni stwierdzili, że każdy gatunek powinien mieć swoją własną krzywą  $N_c$ . We Francji Duchenne i inni [1997] otrzymali wartość parametru:  $a$  ( $a = 5,21$ ) dla ziemniaka mniejszą od parametru Greenwooda [1990] ( $a = 5,36$ ), a parametru  $b$  większą ( $b = 0,56$ ) w stosunku do  $b$  Greenwooda [1990] ( $b = 0,46$ ) (tab. 3), czyli współczynniki rozcieńczenia w dwóch krajach europejskich różniły się o 18%. W 2001 roku Bélanger i inni opisali krytyczną zawartość azotu ( $N_c$ ) dla dwóch najpopularniejszych odmian ziemniaka w Kanadzie: Russet Burbank i Shepody w warunkach nawadniania i bez nawadniania. Celem pracy autorów było sprawdzenie, czy NNI można uznać za wskaźnik stresu powodowany przez azot zwłaszcza w warunkach bez deficytu wody. Otrzymane wyniki współczynników  $a$  i  $b$  były mniejsze niż u Greenwooda [1990]. Bélanger i inni [2001] udowodnili, że różnice odmianowe wynikają z pokroju rośliny i gęstości sadzenia oraz warunków wodnych. Rośliny odmiany Shepody były mniejsze (4,4 rośliny na  $m^2$ ) niż odmiany Russet Burbank (2,9 rośliny na  $m^2$ ), a ilość azotu na 1 tonę suchej masy była większa u roślin rosnących w większej obsadzie na 1  $m^2$  charakteryzujących się mniejszymi roślinami. Wartość parametru, a była większa dla roślin Shepody (5,04) niż dla roślin Russet Burbank (4,57) (tab. 3), ponadto zawartość azotu była mniejsza w roślinach nienawadnianych niż nawadnianych, gdyż brak wody ograniczał pobranie azotu i tym samym wpływał na koncentrację azotu w roślinach.

Równanie regresji:  $N_c = 5,35W^{-0,44}$ , w którym parametry  $a$  i  $b$  wyznaczone dla pszenicy ozimej i jęczmienia jarego, ozimego i browarnego są stałe [Justes i in. 1994, Justes i Jeuffroy 1997] miało być uniwersalne, to znaczy, że można je było stosować przy ocenie stanu odżywienia roślin azotem różnych roślin zbożowych. Tymczasem w badaniach polskich opracowano równanie krzywej rozcieńczenia azotu dla pszenicy i jęczmienia [Fotyma i Pecio 1999], w którym krytyczna zawartość azotu jest niższa od zaproponowanej przez autorów zagranicznych [1997] i wynosi dla pszenicy ozimej:  $N_c = 4,56W^{-0,48}$ , pszenicy jarej:  $N_c = 4,31W^{-0,44}$  i jęczmienia jarego:  $N_c = 3,50W^{-0,49}$ .

### Porównanie wskaźników stanu odżywienia ziemniaka azotem w zależności od wczesności genotypu i fazy rozwojowej

Współczynniki  $a$  i  $b$  w nowo wyznaczonej krzywej posłużyły do oceny stanu odżywienia azotem roślin ziemniaka w omawianym doświadczeniu za pomocą indeksu NNI obliczonego według równania 2. Stopień odżywienia roślin azotem nieznacznie różnicowały grupy wczesności odmian i fazy rozwojowe ziemniaka. Zaobserwowano, że im wcześniejsze były genotypy i tempo rozwoju, tym uzyskano mniejszy przeciętny indeks NNI, ale stwierdzono brak istotnych różnic. Istotne zróżnicowanie w zależności od tempa rozwoju odnotowano w plonie suchej masy roślin i w zawartości azotu ogółem. Ponadto zauważono, że im większy indeks liściowy rośliny, tym większy jej plon suchej masy a mniejsza zawartość azotu. Badania z dawkami azotu [Mazurczyk i Wierzejska-Bujakowska 1999, Bélanger i in. 2001] wykazały, że azot aplikowany w wyższych dawkach (200, 250 kg·ha<sup>-1</sup>) ograniczał wzrost roślin, a NNI przyjmowało wartości od 1,1 do 1,4, co oznaczało nadmierne odżywienie, z kolei dawki N w zakresie 100–120 kg·ha<sup>-1</sup> dawały NNI oscylujące wokół jedności ( $\pm 0,05$ ), co potwierdzają wyniki uzyskane w omawianej pracy. Standardowe nawożenie azotem (100 kg N·ha<sup>-1</sup>) zapewniało optymalne odżywienie roślin ziemniaka zbliżone do jedności (0,95–0,99) w zależności od wczesności i fazy rozwojowej ziemniaka (tab. 4).

Tabela 4. Wskaźniki stanu odżywienia azotem roślin ziemniaka przy dawce 100 N kg·ha<sup>-1</sup>

Table 4. Indicators of growth and nitrogen nutritional status of potato plants at the rate of N 100 kg·ha<sup>-1</sup>

Grupa wczesności Group of earliness DAE*	Ya** [t·ha <sup>-1</sup> ]	LAI***	Na [%]	W**** [t·ha <sup>-1</sup> ]	NNI
Wczesne – Early	12,4a	1,8a	3,12b	3,33a	0,95a
Średnio wczesne – Middle early	11,5a	1,5b	3,28a	3,04a	0,95a
Średnio późne – Middle late	14,9b	1,8a	3,03b	3,49a	0,99a
28		1,3c	4,48a	1,24c	0,95a
42		1,8b	2,76b	3,01b	0,95a
56		2,1a	2,19c	5,61a	0,99a

Średnie oznaczone tymi samymi literami (w kolumnach) nie różnią się istotnie statystycznie/Mean values marked with the same letters (in columns) do not differ significantly.

\*DAE = dni po wschodach/days after emergence; \*\*Ya = plon suchej masy bulw/dry matter yield; \*\*\*LAI = indeks liściowy/leaf area index, \*\*\*\*W = sucha masa roślin/total dry crop weight.

### WNIOSKI

1. Zależność między zawartością azotu a nagromadzeniem suchej masy rośliny ziemniaka (liści, łodyg i bulw) w warunkach nawożenia azotem w dawce 100 kg·ha<sup>-1</sup> opisano równaniem  $Nc = 4,94W^{-0,49}$ .

2. Wartości NNI równe jedności oznaczały optymalne odżywienie roślin azotem; wartości NNI < 1 – deficyt azotu; wartości NNI > 1 – nadmiar azotu. Standardowe nawożenie



azotem ( $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) zapewniało optymalne odżywienie roślin ziemniaka (NNI) zbliżone do jedności (0,95–0,99) w zależności od wczesności i fazy rozwojowej ziemniaka.

3. Istotnemu zróżnicowaniu w końcowym plonie suchej masy bulw genotypów wczesnych, średnio wczesnych i średnio późnych nie towarzyszyły istotne zmiany w stanie odżywienia roślin ziemniaka azotem (NNI) w okresie wegetacji.

4. Praktyczne wykorzystanie równania  $Nc = 4,94W^{-0,49}$  wymaga dalszych badań nad kalibracją testu zieloności liści SPAD.

## LITERATURA

- Ata-Ul-Karim S.T., Yao X., Liu X., Cao W., Zhu Y., 2013. Development of critical nitrogen dilution curve of Japonica rice in Yangtze River Reaches. *Field Crops Research* 149, 149–158.
- Bélanger G., Walsh J. R., Richards J. E., Milburn P. H., Ziadi N., 2001. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for potato in Eastern Canada. *Am. J. Potato Res.* 78, 355–364.
- Colnenne, C., Meynard J. M., Reau R., Justes E., Merrien A., 1998. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter oilseed rape. *Annals of Botany* 81, 311–317.
- Ducheune T., Machel J.M., Martin M., 1997. Potatoes. In: Lemaire, G. (ed). *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Springer-Verlag, Berlin, 119–130.
- Fotyma E., 1997. Efektywność nawożenia azotem podstawowych roślin uprawy polowej. *Fragm. Agron.* 1(53), 46–66.
- Fotyma E., 2000a. Wykorzystanie glebowych i roślinnych testów do określania potrzeb nawożenia azotem w warunkach zrównoważonego rolnictwa. *Pam. Puł.* 120, 81–89.
- Fotyma E., 2000b. Zasady nawożenia azotem z wykorzystaniem testów glebowych i roślinnych. *Nawozy i Nawożenie* 3a, 17–37.
- Fotyma E. Pecio A., 1999. Zależność pomiędzy zawartością azotu a nagromadzeniem suchej masy przez zboża. *Pam. Puł.* 114, 93–100.
- Gianquinto G., Bona S., 2000. The significance of trends in concentrations of total nitrogen and nitrogenous compounds. In: *Management of nitrogen and water in potato production*. Haverkort A.J., MacKerron D.K.L. (eds). Wageningen Pers, Wageningen, 35–54.
- Greenwood D. J., Lemaire G., Gosse G., Cruz P., Draycott A., Neeteson J. J., 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Ann Bot* 66, 425–436.
- Justes E., Jeuffroy M.H. 1997. Wheat, barley and durum wheat. In: *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Springer-Verlag Berlin, 73–91.
- Justes, E., Mary B., Meynard J. M., Machel J. M., and Thelier-Huche L., 1994. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter crops. *Ann. Bot.* 74, 397–407.
- Kolbe H., Stephen-Beckmann S., 1997. Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.). I. Leaf and stem. *Potato Research* 40, 111–129.
- Lemaire, G., Gastal F., 1997. In: Lemaire G. (ed). *Diagnosis of the nitrogen status in crops. N uptake and distribution in plant canopies*. Springer-Verlag, Berlin, 3–43.
- Lemaire, G., and J. Salette, 1984. Relationship between growth and nitrogen uptake in a pure grass stand: Environmental effects. *Agronomy* 4, 423–430.
- Li W., He P., Jin J., 2012. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for spring maize in North-East China. *Journal of Plant Nutrition* 35, 1747–1761.
- Lis B., Mazurczyk W., Trawczyński C., Wierzbicka A., 2002. Czynniki ograniczające wykorzystanie azotu przez rośliny ziemniaka a zagrożenie środowiska. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 489, 165–174.

- Mazurczyk W., Wierzejska-Bujakowska A., 1999. Relation between nitrogen status of potato crops and their yields. 14<sup>th</sup> Triennial Conf. EAPR, Sorrento, Italy, 132–133.
- Mazurczyk W., Wierzbicka A., Wroniak J., 2005. Wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez odmiany wczesne ziemniaka. *Fragm. Agron.* 1, 512–520.
- Vos J., MacKerron L., 2000. Basic concepts of the management of supply of nitrogen and water in potato production In: Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen Pers, Wageningen, 15–33.
- Wierzbicka A., Lis B., Mazurczyk W., 2002. Deficyt wody w okresie wegetacji, a plonowanie i wykorzystanie azotu przez wczesne odmiany ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 481, 341–347.
- Wierzbicka A., Trawczyński C., 2011. Czynniki wpływające na pobranie i wykorzystanie azotu przez jadalne i skrobiowe odmiany ziemniaka. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin* 259, 203–210.

## THE RELATIONSHIP BETWEEN THE DRY MATTER YIELD OF LEAVES, STEMS AND POTATO TUBERS AND THEIR NITROGEN CONTENT

**Summary.** Plant diagnostic methods of N deficiency should be based on the definition of critical nitrogen content ( $N_c$ ), which defines the minimum content of nitrogen needed to achieve maximum growth. The aim of the experiment was to determine the relationship between the dry matter yield of plants ( $W$ ) and its nitrogen content ( $Na$ ) at the standard level of nitrogen fertilization ( $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) at which was obtained high yields of the final dry weight of potato tubers in the range:  $11.5\text{--}14.9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Based on the results of two-year (2008–2009) field experiment the regression equation was determined:  $N_c = 4.94W^{-0.49}$ . Dry matter and N content specified in leaves, stems and tubers three times every two weeks starting from 28 day after emergence. Depending on the rate of development plant there was observed significant differences in the yield of dry matter and nitrogen content of plants in general. The higher the LAI (leaf area index) the greater the plants dry matter yield and the lower the concentration of nitrogen. Using the formula of the regression the values of nitrogen nutrition index (NNI) were calculated as the ratio of:  $Na/N_c$ , where:  $Na$  – actual nitrogen content in the dry matter of the plants (% of DM of leaves, stems and tubers),  $N_c$  – critical N content in the dry matter plants (% of DM). Calculations were done for potato genotypes of three group of earliness grown in 3 development stages. NNI values equal to unity means optimal nutrition of plants with nitrogen; the  $NNI < 1$  – a deficit of nitrogen;  $NNI > 1$  – excess nitrogen. Standard fertilization with nitrogen ( $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) provides optimal nutrition potato plants close to unity within the range 0.95–0.99 depending on the earliness of potato (not significant differences). A significant variation in the final tuber yield of genotypes of different earliness groups were not accompanied by significant changes in the nutritional status of potato plants with nitrogen. Practical use of the equation requires further research on the calibration test SPAD.

**Key words:** potato, critical nitrogen curve, nitrogen nutrition index, tuber yield