

Edward BOROWSKI, Władysław MICHAŁEK

Reakcja sałaty na żywienie azotanami lub amonem w warunkach zróżnicowanych temperatur pożywki mineralnej.

II. Zawartość i tempo akumulacji podstawowych makroskładników w roślinach

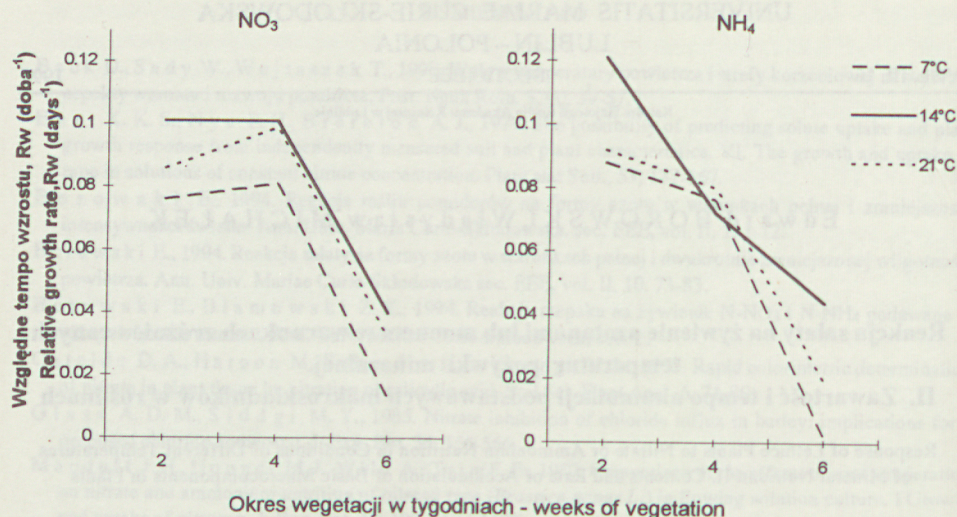
Response of Lettuce Plants to Nitrate or Ammonium Nutrition in Conditions of Different Temperatures of Mineral Nutrient. II. Contents and Rate of Accumulation of Basic Macrocomponents in Plants

Temperatura środowiska jest istotnym czynnikiem warunkującym tempo pobierania składników mineralnych przez rośliny, dlatego problem ten ciągle wzbudza żywe zainteresowanie badaczy, ale sposób podejścia do rozwiązywanego problemu jest bardzo zróżnicowany. Niektórzy badacze określają bowiem pobieranie jonów po krótszej często niż 1 godzina adaptacji roślin do określonej temperatury (Siddigi i in. 1984), inni natomiast wydłużają okres adaptacji korzeni do określonych temperatur do 24 godz. (Bloom i Chapin, 1981) lub nawet kilkunastu dni (Macduff i in. 1987). Zwykle pod wpływem zróżnicowanych temperatur pozostają korzenie roślin, części nadziemne utrzymywane są w stałej temperaturze (Macduff i in. 1987), niekiedy jednak zróżnicowane temperatury utrzymywane są w otoczeniu całych roślin (Turner i Lahaw 1985).

Większość badań dotyczących wpływu temperatury strefy korzeniowej na pobieranie jonów mineralnych prowadzona jest na siewkach lub młodych roślinach, mogą one jednak zachowywać się odmiennie niż rośliny starsze, u których – jak twierdzi Bhat i in. (1979) – pobieranie może obniżyć się wraz z wiekiem. Dlatego też w przeprowadzonych badaniach określono tempo pobierania makroskładników w trzech 2-tygodniowych okresach obejmujących pełny cykl wzrostowy roślin sałaty. Celem przeprowadzonych badań było: a) określenie zakresu wpływu temperatury strefy korzeniowej na zawartość procentową makroskładników w biomacie poprzez bezpośrednie jej oddziaływanie na ich pobieranie, a także na proces akumulacji suchej masy, b) określenie wpływu temperatury na pobieranie azotu i innych makroskładników z pożywki azotanowej i amonowej. Wybór sałaty jako obiektu badań wynikał z faktu, iż jest to warzywo coraz częściej uprawiane metodą cienkowarstwowych kultur przepływowych, w słabo lub zupełnie nie ogrzewanych szklarniach.

MATERIAŁ I METODY

Rośliny sałaty odmiany "Alka" hodowano w 6 plastikowych kuwetach (wym. 50 x 40 cm), z których 3 wypełnione były pożywką azotanową, a pozostałe 3 pożywką amonową. W każdej z kuwet wypełnionych pożywką NO_3 lub NH_4 utrzymywano 3 różne temperatury roztworu pożywki: 7, 14 i 21°C – $\pm 1^\circ\text{C}$. Szczegóły dotyczące składu zastosowanych pożywek oraz sposobu prowadzenia doświadczeń przedstawiono w I części pracy.



Ryc.1. Wpływ temperatury pożywki mineralnej i formy azotu na względne tempo wzrostu roślin R_w (doba^{-1})
Effect of temperature of mineral nutrient and forms of nitrogen on the relative growth rate of plants R_w (days^{-1})

Rośliny zbierano po 2, 4 i 6 tygodniach wegetacji, dzielono na liście i korzenie, określano plon świeżej masy tych części roślin, a następnie suszono w temp. 70°C . Po wysuszeniu określono procentową zawartość wody w liściach (tab. 1). W suchym materiale roślinnym liści i korzeni sałaty po zmieleniu i zmineralizowaniu materiału poprzez spalenie na sucho określono zawartość N (metodą Kjeldahla), P (metodą wanado-molibdenową), K, Ca, Mg (metodą absorpcji atomowej) (tab. 2). Na podstawie uzyskanych wyników obliczono tempo pobierania makroskładników przez korzenie (tab. 3), posługując się wzorem zastosowanym w pracy Turner and Lahaw (1985)

$$R_r = \frac{\ln W_{r2} - \ln W_{r1}}{t_2 - t_1} \cdot \frac{M_2 - M_1}{W_{r2} - W_{r1}}$$

gdzie W_{r2} i W_{r1} oznaczają suchą masę korzeni, a M_2 i M_1 masę analizowanych makroskładników w roślinach odpowiednio w czasie t_2 i t_1 . Wykorzystując wzory zawarte w wymienionej pracy, określono także względne tempo wzrostu roślin R_w (ryc. 1) oraz stosunek względnego tempa akumulacji makroskładników do względnego tempa wzrostu roślin R_m/R_w (ryc. 2). Wartości R_w i R_m obliczono według następujących wzorów:

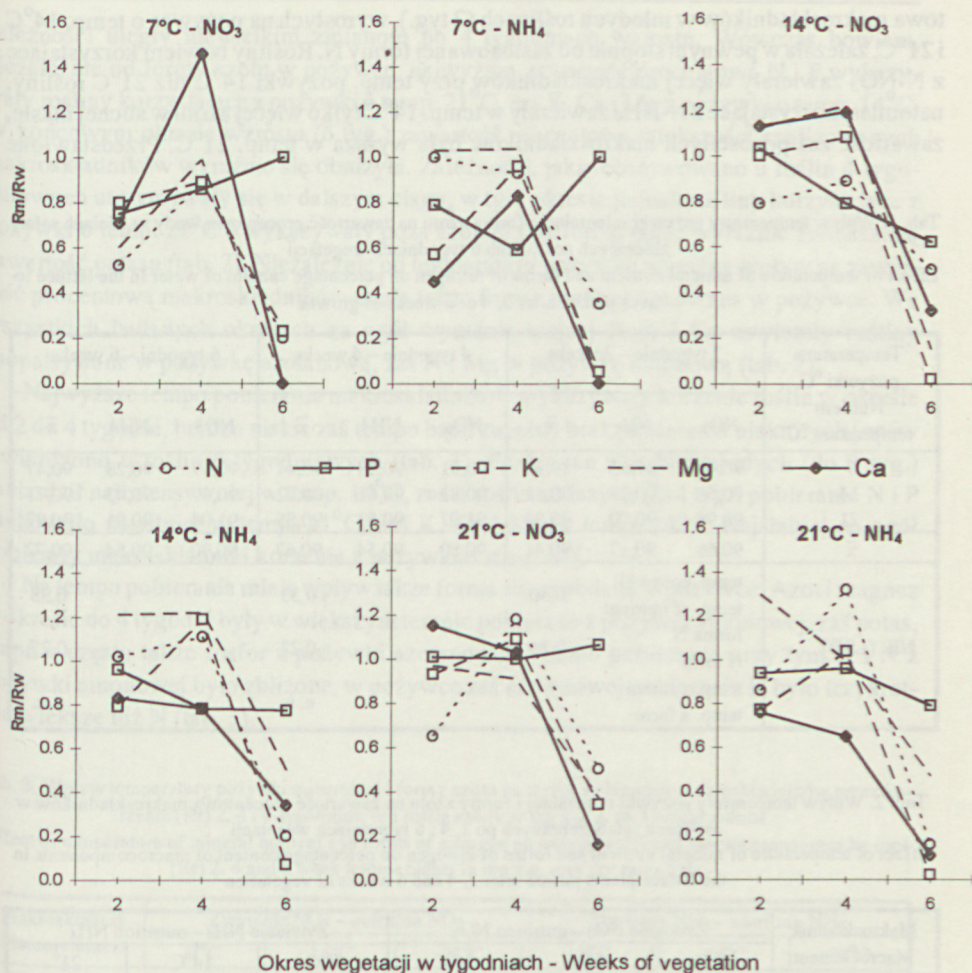
$$R_w = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}; \quad R_m = \frac{\ln M_2 - \ln M_1}{t_2 - t_1}$$

gdzie W_1 i W_2 oraz M_1 i M_2 oznaczają odpowiednio suchą masę całych roślin i masę zgromadzonego makroskładnika w całych roślinach w czasie t_1 i t_2 .

WYNIKI

ZAWARTOŚĆ PROCENTOWA WODY W LIŚCIACH

Zawartość wody w świeżo zebranych liściach sałaty wynosiła średnio 90,6%, przy czym jej udział wahał się w zależności od temperatury pożywki, zastosowanej w niej formy azotu, a także wieku liści w zakresie od 89,52% do 91,07%. Najbardziej uwodnione były liście roślin korzystających z pożywki o temp. 21°C , wraz z obniżaniem się temperatury pożywki do 14°C i 7°C , uwodnienie liści zmniejszało się. Niezależnie jednak od tempera-



Ryc. 2. Wpływ temperatury pożywki mineralnej i formy azotu na stosunek względnego tempa akumulacji makroskładników (R_m) do względnego tempa wzrostu roślin (R_w)

Effect of temperature of mineral nutrient and forms of nitrogen on the ratio of relative macrocomponents accumulation rate (R_m), to the relative growth rate of plants (R_w)

tury roztworu soli mineralnych, rośliny żywione azotem azotanowym wykazywały wyższą zawartość wody w liściach niż rośliny żywione azotem amonowym. Wpływ temperatury pożywki i formy azotu na uwodnienie liści występował w całym okresie wegetacji, chociaż największe różnice wystąpiły u roślin młodych (2 tyg.) (tab. 1).

ZAWARTOŚĆ PROCENTOWA I TEMPO POBIERANIA MAKROSKŁADNIKÓW PRZEZ KORZENIE

Zawartość procentowa podstawowych makroskładników w suchej masie sałaty zależała zarówno od temperatury pożywki, jak i zastosowanej formy azotu (tab. 2). Najniższy na ogół procentowy udział analizowanych makroskładników, wykazywały niezależnie od formy azotu rośliny sałaty wyrosłe na pożywce o temp. 7°C . Natomiast zawartość procen-

towa makroskładników w młodych roślinach (2 tyg.), wyrosłych na pożywce o temp. 14°C i 21°C, zależała w pewnym stopniu od zastosowanej formy N. Rośliny bowiem korzystające z N-NO₃ zawierały więcej makroskładników przy temp. pożywki 14°C niż 21°C rośliny, natomiast korzystające z N-NH₄ zawierały w temp. 14°C tylko więcej azotu w suchej masie, zawartość zaś pozostałych makroskładników była wyższa w temp. 21°C. Przedstawione

Tab. 1. Wpływ temperatury pożywki mineralnej i formy azotu na zawartość procentową wody w liściach sałaty zbieranych po 2, 4 lub 6 tygodniach vegetacji

Effect of temperature of mineral nutrient and forms of nitrogen on percentage content of water in the lettuce leaves picked after 2, 4 or 6 weeks of growth

Temperatura pożywki °C Nutrient temperature °C	2 tygodnie – 2 weeks			4 tygodnie – 4 weeks			6 tygodni – 6 weeks		
	NO ₃	NH ₄	$\bar{x}$	NO ₃	NH ₄	$\bar{x}$	NO ₃	NH ₄	$\bar{x}$
7	90,44	89,52	89,98	90,51	90,38	90,44	90,67	90,28	90,47
14	90,56	90,29	90,42	90,83	90,61	90,72	90,99	90,43	90,71
21	90,98	90,70	90,84	91,07	90,63	90,85	91,04	90,91	90,97
$\bar{x}$	90,66	90,17	90,41	90,80	90,54	90,67	90,90	90,54	90,72
NIR (LSD) –	temp. pożywki		0,50			0,33			0,38
	temp. of nutrient								
	forma N		0,34			0,22			0,27
	N form								
	temp. x forma		n. s.			n. s.			n. s.
	temp. x form								

Tab. 2. Wpływ temperatury pożywki mineralnej i formy azotu na zawartość procentową makroskładników w roślinach sałaty zebranych po 2, 4 i 6 tygodniach vegetacji

Effect of temperature of mineral nutrient and forms of nitrogen on percentage content of macrocomponents in the lettuce plants picked after 2, 4 and 6 weeks of vegetation

Makroskładnik Macroelement	Żywnienie NO ₃ – nutrition NO ₃			Żywnienie NH ₄ – nutrition NH ₄		
	7°C	14°C	21°C	7°C	14°C	21°
2 tygodnie – 2 weeks						
N	2,72	3,23	2,98	4,52	4,60	3,72
P	0,69	0,93	0,91	0,70	0,83	0,87
K	6,56	8,10	7,40	4,70	5,70	5,92
Ca	0,56	0,92	0,90	0,39	0,57	0,55
Mg	0,24	0,43	0,38	0,38	0,51	0,53
4 tygodnie – 4 weeks						
N	2,40	2,77	3,79	4,95	5,09	5,39
P	0,59	0,69	0,91	0,45	0,66	0,80
K	5,72	9,08	8,40	4,52	6,92	6,19
Ca	0,92	1,20	0,93	0,32	0,45	0,37
Mg	0,23	0,58	0,33	0,39	0,63	0,53
6 tygodnie – 6 weeks						
N	2,08	2,08	3,03	4,10	3,10	4,35
P	0,59	0,56	0,94	0,65	0,57	0,76
K	5,00	5,27	6,28	4,40	3,85	4,76
Ca	0,35	0,82	0,64	0,24	0,30	0,29
Mg	0,16	0,36	0,25	0,18	0,46	0,46

zależności uległy niewielkim zmianom po 4 tygodniach wzrostu. Wówczas bowiem, niezależnie od formy azotu w pożywce, najwyższą zawartość procentową N i P wykazywały rośliny korzystające z pożywki o temp. 21°C, zaś K, Ca i Mg z pożywki o temp. 14°C. W końcowym okresie wzrostu (6 tyg.) zawartość procentowa większości analizowanych makroskładników wyraźnie się obniżyła. Zależności, jakie obserwowano u roślin 4-tygodniowych utrzymywały się w dalszym ciągu, w tym okresie jednak rośliny korzystające z pożywki o temp. 21°C o wykazywały poza azotem i fosforem także wyraźnie zwiększoną zawartość potasu (tab. 2). Niezależnie od temperatury pożywki, wyraźny wpływ na zawartość procentową makroskładników miała także forma azotu zastosowana w pożywce. We wszystkich badanych okresach na ogół wyraźnie więcej P, K i Ca zawierały rośliny zaopatrywane w pożywkę azotanową, zaś N i Mg w pożywkę amonową (tab. 2).

Najwyższe tempo pobierania makroskładników wykazywały korzenie roślin w okresie od 2 do 4 tygodni, bardzo niskie zaś tempo bądź zupełny brak pobierania niektórych jonów stwierdzono u roślin 6-tygodniowych (tab. 3). Proces ten u roślin młodych (do 2 tyg.) zachodził najintensywniej w temp. 14°C, zaś u roślin starszych (2-4 tyg.) pobieranie N i P zachodziło najsilniej w temp. 21°C, zaś K, Ca i Mg w temp. 14°C. Najsłabiej na ogół pobierały makroskładniki korzenie z pożywki o temp. 7°C.

Na tempo pobierania miała wpływ także forma azotu podana w pożywce. Azot i magnez w okresie do 4 tygodni były w większym tempie pobierane z pożywki amonowej, zaś potas, wapń a często także fosfor z pożywki azotanowej. Tempo pobierania przy tym K i N z pożywki amonowej było zbliżone, w pożywce zaś azotanowej pobieranie K było trzykrotnie większe niż N (tab. 3).

Tab. 3. Wpływ temperatury pożywki mineralnej i formy azotu na tempo pobierania makroskładników przez korzenie (Rr) 2, 4 i 6-tygodniowych roślin sałaty w mg x g. s. m. korzeni x doba

Effect of temperature of mineral nutrient and forms of nitrogen on rates of uptake of macrocomponents by root (Rr) 2, 4 and 6 week lettuce plants in mg x g. root dry mass a day

Makroskładnik Macrolelement	Żywienie NO ₃ – nutrition NO ₃			Żywienie NH ₄ – nutrition NH ₄		
	7°C	14°C	21°C	7°C	14°C	21°C
2 tygodnie – 2 weeks						
N	5,00	12,10	7,50	15,40	12,40	12,20
P	1,60	3,90	3,00	2,10	3,80	2,90
K	16,30	33,90	23,20	11,40	23,90	18,30
Ca	1,30	4,00	3,10	0,80	2,40	1,70
Mg	0,50	1,90	1,20	1,30	2,50	2,10
4 tygodnie – 4 weeks						
N	14,40	18,50	28,80	27,60	27,90	38,60
P	3,50	4,30	6,50	2,20	2,90	4,90
K	34,10	66,30	62,00	30,40	39,70	39,40
Ca	7,00	9,10	6,70	2,00	2,00	1,80
Mg	1,40	4,40	2,20	2,70	3,60	3,30
6 tygodnie – 6 weeks						
N	0,60	3,90	5,40	0,10	3,20	2,00
P	0,70	1,30	3,10	0,10	1,80	1,30
K	1,70	0,80	8,10	0,10	1,20	9,60
Ca	0,00	1,10	0,40	0,00	1,30	0,10
Mg	0,00	0,20	0,30	0,00	1,00	1,30

Przebieg krzywych zamieszczonych na ryc. 1 wskazuje, że forma azotu w pożywkach miała większy wpływ na względne tempo wzrostu sałaty niż temperatura pożywki. Rośliny bowiem żywione NH_4 wykazywały największe tempo wzrostu w okresie 2 tyg., w dalszej vegetacji nastąpił wyraźny spadek tempa, którego wielkość była zależna od temperatury. W okresie bowiem 2-4 tyg. najsilniej spadło tempo wzrostu roślin korzystających z pożywki o temp. 14°C , a w okresie 4-6 tyg. rosnących w pożywkach 7°C i 21°C . Sałata natomiast korzystająca z pożywki NO_3 o temp. 7°C i 21°C wykazywała wzrost względnego tempa wzrostu w okresie 2-4 tyg., a następnie wyraźny jego spadek. Rośliny natomiast zaopatrywane w pożywkę o temp. 14°C wykazywały najwyższe tempo wzrostu w okresie 2 tyg., a następnie jego spadek, szczególnie wyraźny w końcowym okresie vegetacji (ryc. 1). Na ogół najniższe względne tempo wzrostu charakteryzowało rośliny korzystające z pożywki o temp. 7°C , różnice te były jednak wyraźne tylko w przypadku pożywki z N- NO_3 .

Wartość stosunku względnego tempa akumulacji makroskładników do względnego tempa wzrostu roślin R_m/R_w zależała od wszystkich zmiennych czynników zastosowanych w doświadczeniach, w największym jednak stopniu od wieku roślin i analizowanego makroskładnika. W pożywce NO_3 i NH_4 o temp. 7°C stosunek względnej akumulacji N, K, Mg i Ca do względnego przyrostu suchej masy mieścił się w przedziale 0,4-1,0, zaś w temp. 14°C – 0,8-1,2 w okresie 2 tyg., w okresie 4 tyg. następował wzrost wartości omawianego stosunku po czym jego spadek niekiedy do zera, zwłaszcza przy temperaturze pożywki 7°C . Odmienne w omawianych warunkach kształtował się stosunek R_m/R_w dla fosforu. W pożywce o temp. 14°C najwyższą wartość wykazywał omawiany stosunek dla P w okresie 2 tyg., po czym następował stosunkowo nieznaczny jego spadek w dalszej vegetacji roślin. W pożywce o temp. 7°C z NO_3 jako źródłem azotu następował natomiast stały wzrost omawianego stosunku, zaś w amonowej stosunek ten obniżył się w okresie 4 tyg., a następnie wyraźnie zwiększył się w okresie 6 tyg.

W obu pożywkach o temp. 21°C omawiany stosunek przyjmuje różne wartości zależne przede wszystkim od składnika, jakiego dotyczy. Stosunek R_m/R_w dla Ca i Mg w obu pożywkach wykazywał najwyższą wartość w okresie 2 tyg., następnie obniżał się w okresie 4 i 6 tyg., przy czym w pożywce NO_3 stosunek ten osiągał wyższe wartości dla Ca, niższe dla Mg, odwrotny natomiast był układ wartości omawianego stosunku dla Ca i Mg w pożywce amonowej. Stosunek tempa akumulacji N i K do tempa wzrostu roślin w temp. 21°C wykazywał podobny przebieg, wartość jednakże omawianego stosunku dla K w okresie 2 i 4 tyg. wzrostu była zbliżona w obu pożywkach, zaś dla N wyraźnie wyższa w pożywce NH_4 niż NO_3 . Stosunek R_m/R_w dla fosforu kształtował się w okresie 2-4 tyg. na zbliżonym poziomie w obu pożywkach w dalszej jednakże vegetacji wykazywał tendencję rosnącą w pożywce NO_3 i malejącą w pożywce NH_4 (ryc. 2).

DYSKUSJA

Wyniki zawarte w tabeli 2 i 3 wskazują, że temperatura pożywki, a mówiąc bardziej ogólnie temperatura w strefie korzeniowej roślin, wywiera znaczący wpływ na tempo pobierania składników mineralnych przez korzenie roślin, a w konsekwencji na ich zawartość procentową w biomacie. Oddziaływanie temperatury na zawartość składników mine-

ralnych w roślinie jest złożone i zależne od co najmniej dwóch elementów, tj. wpływu temperatury na pobieranie i transport składników mineralnych oraz wpływu temperatury na wzrost rośliny i związaną z tym akumulację biomasy. Bezpośrednie oddziaływanie temperatury w środowisku korzeni na pobieranie i transport składników mineralnych wiąże się z energią kinetyczną poszczególnych jonów a zatem z szybkością ich dyfuzji i wymiany w pierwszej fazie pobierania jonów, a w dalszych fazach z wydatkowaniem energii na proces aktywnej absorpcji jonów na tle gradientu stężeń w komórkach i poza komórkami korzeni. Obniżona temperatura w znaczącym stopniu ogranicza także szybkość transportu składników mineralnych z korzeni do liści poprzez zwiększenie lepkości wody i wzrost oporów w jej transporcie przez ksylem. Pośrednie natomiast oddziaływanie temperatury na zawartość składników mineralnych w roślinach wiąże się z jej wpływem na procesy wzrostu, w tym kontekście więc intensywnie rosnące części nadziemne stanowią pojemny akceptor dla jonów pobieranych przez system korzeniowy. Jednocześnie jednak wysokie tempo akumulacji suchej masy w roślinach, przewyższające tempo pobierania składników mineralnych powoduje obniżenie procentowej zawartości składników (efekt rozcieńczenia).

W przedstawionej pracy podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, w jakim stopniu zróżnicowane temperatury pożywki wpłynęły na zawartość procentową analizowanych makroskładników poprzez bezpośredni wpływ na pobieranie jonów przez korzenie, a w jakim poprzez wpływ na procesy wzrostu i akumulacji suchej masy w całych roślinach. W tym celu wyliczono i przedstawiono na ryc. 2 stosunek względnego tempa akumulacji makroskładników do względnego tempa wzrostu roślin R_m/R_w . W przypadku gdy tempo akumulacji makroskładników i tempo akumulacji biomasy było podobne omawiany stosunek przyjmował wartość zbliżoną do 1. W warunkach natomiast przewagi pobierania makroskładników w stosunku do przyrostu suchej masy, stosunek R_m/R_w przybierał wartość powyżej 1, w sytuacjach odwrotnych wartość tego stosunku kształtowała się poniżej 1.

Przebieg krzywych przedstawionych na ryc. 2 wskazuje, iż w temperaturze 7°C , która niewątpliwie znacznie odbiegała od temperatury optymalnej dla tej rośliny silniej zahamowany był proces pobierania makroskładników niż proces akumulacji suchej masy. Wartość bowiem stosunku R_m/R_w dla większości makroskładników była poniżej 1. Temp. 14°C była przypuszczalnie temperaturą zbliżoną do optimum dla przebiegu procesów fizjologicznych analizowanych w tej roślinie, wartość bowiem omawianego stosunku wahała się w przedziale 0,8-1,2. Wskazuje to więc, że w tej temperaturze najbardziej zrównoważone było tempo wzrostu i akumulacji makroskładników w biomasie. Przebieg krzywych charakteryzujących wartość stosunku R_m/R_w w temp. 21°C wskazuje, iż w obu pożywkach przeważało tempo akumulacji makroskładników nad tempem wzrostu roślin. Przedstawione zależności dotyczyły pierwszych 4 tys. wzrostu, bowiem w dalszej wegetacji wyraźnie spadało tempo akumulacji makroskładników w stosunku do przyrostu suchej masy, niekiedy nawet do zera (tab. 3), co także potwierdza Bhat i in. (1979). Przedstawione na ryc. 2 zależności pomiędzy akumulacją składników mineralnych a wzrostem roślin znajdują odzwierciedlenie w zawartości procentowej makroskładników w biomasie i tempie ich pobierania przez korzenie (tab. 2 i 3). Wyraźnie obniżoną zawartość procentową makroskładników w warunkach obniżonej temperatury w strefie korzeniowej roślin stwierdził również Macduff i in. (1987) w badaniach prowadzonych na rzepie oleistej oraz Turner i Lahaw (1985) w badaniach na bananach. Nie potwierdzają natomiast w pełni tej zależności wyniki badań Siddigi i in. (1984) i Bloom i Chapin (1981).

Odmienność w stosunku do pozostałych analizowanych makroskładników był zawsze przebieg akumulacji fosforu w okresie wegetacji. Tempo bowiem jego akumulacji w stosunku do przyrostu biomasy było najbardziej równomierne i w porównaniu z innymi makroskładnikami utrzymywało się na wysokim poziomie do końca wegetacji. Trudno wyjaśnić, z czego wynika odmienne zachowanie się tego jonu w warunkach przeprowadzonych badań, było ono także obserwowane we wcześniejszych doświadczeniach autora prowadzonych na kukurydzy (Borowski 1989).

Temperatura pożywki wpływała nie tylko na pobieranie składników mineralnych, ale także na pobieranie wody. Uzyskane wyniki wykazały bowiem, iż istotnie wyższą zawartość wody w liściach wykazywały rośliny korzystające z pożywki o temp. 21°C niż 7°C. Niewątpliwie związane to było z większą lepkością cząsteczek wody w temp. 7°C niż 14°C a zwłaszcza 21°C i stąd z trudniejszym jej pobieraniem i transportem do liści.

W obrębie zastosowanych temperatur pożywki wyraźny wpływ na tempo pobierania makroskładników i ich zawartość procentową w biomasie miała także forma azotu. Azotany pobierane w formie anionowej wyraźnie stymulowały pobieranie kationów potasu i wapnia, co znajduje pełne wyjaśnienie w dążności roślin do utrzymania równowagi jonowej (Borowski i in. 1991). Azot amonowy był intensywniej pobierany niż azotany. Szczególnie duże różnice w tempie pobierania obu jonów wystąpiły w temp. 7°C, co także w badaniach prowadzonych na *Lolium perenne* potwierdził Jones i in. (1983). Wydaje się, iż preferowanie przez rośliny sałaty pobierania jonu NH_4 w stosunku do NO_3 wynika z faktu, iż amon jest jonem bezpośrednio przydatnym do aminowania ketokwasów, azotany zaś wymagają endoergicznego procesu redukcji, co zwłaszcza w warunkach obniżonej temperatury w strefie korzeniowej nie jest dla roślin bez znaczenia. Problem ten jednak wymaga dalszych badań, bowiem – jak wynika z pracy Jones i in. (1983) – rośliny rzepaku w temp. 3-9°C pobierały zbliżone ilości N zarówno z pożywki NO_3 , jak i NH_4 .

WNIOSKI

1. Temperatura pożywki wywiera istotny wpływ na względne tempo pobierania składników mineralnych i względne tempo wzrostu roślin. Rośliny sałaty w okresie do 4 tyg. wegetacji w temp. 7°C wykazywały przewagę tempa wzrostu nad tempem akumulacji makroskładników; w temp. 14°C oba procesy były w większym stopniu zrównoważone, w temp. 21°C stwierdzono przewagę tempa akumulacji makroskładników nad tempem wzrostu roślin.

2. Niezależnie od temperatury pożywki i formy N rośliny sałaty w okresie od 4 do 6 tyg. wegetacji wykazywały w stosunku do tempa wzrostu roślin postępujący spadek tempa akumulacji N, K, Ca i Mg niekiedy nawet do zera w okresie 6 tyg. Tempo natomiast akumulacji P w omawianych warunkach ulegało niewielkim zmianom i utrzymywało się na wysokim poziomie do końca wegetacji roślin.

3. Najniższe tempo pobierania makroskładników przez korzenie a zatem i najmniejszą ich zawartość procentową stwierdzono niezależnie od formy N w pożywce o temp. 7°C. Tempo pobierania poszczególnych makroskładników w temp. 14°C i 21°C było od 1,3 do 3,0 razy wyższe zależnie od rodzaju jonu, formy azotu i wieku roślin.

4. Rośliny sałaty niezależnie od temperatury pożywki wykazywały wyraźnie wyższe tempo pobierania K, Ca a często P z pożywki NO_3 , zaś N z pożywki NH_4 . Szczególnie duże różnice w tempie pobierania N stwierdzono w pożywkach o temp. 7°C .

5. Temperatura i forma N w pożywce wpływały na uwodnienie liści. Największą zawartość wody w liściach wykazywały rośliny korzystające z pożywki azotanowej o temp. 21°C , najmniejszą z pożywki amonowej o temp. 7°C .

PIŚMIENNICTWO

- Bhat K. K. S., Nye P. H., Brewerton A. J., 1979. The possibility of predicting solute uptake and plant growth response from independently measured soil and plant characteristics. VI. The growth and uptake of rape in solutions of constant nitrate concentration. *Plant and Soil*, 53, 137-167.
- Bloom A. J., Chapin F., S., 1981. Differences in steady-state net ammonium and nitrate influx by cold- and - warm - adapted barley varieties. *Plant Physiology*, 68, 1064-1067.
- Borowski E., 1989. Skład jonowy i zawartość niektórych związków organicznych w roślinach kapusty pastewnej i kukurydzy. Cz. I. Wpływ żywienia różnymi formami azotu. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska*, sec. E., vol. XLIV, 18, 151-162.
- Borowski E., Bładowski Z., Uziak, 1991. Wpływ form azotu na kształtowanie się składu jonowego i zawartość wolnych aminokwasów w roślinach rzepaku i kukurydzy. *Ann. Univ. Maria Curie-Skłodowska*, sec. E., vol. XLVI, 25, 193-201.
- Jones L. H. P., Hopper M. J., Hatch D. J., Clarkson D. T., 1983. Uptake of ions from solutions of controlled composition. Nitrogen. *The Grassland Research Institute Annual Report 1982*, Hurley, Berks. U. K. Pp. 23-24.
- Macduff J. H., Hopper M. J., Wild A., Trim F. E., 1987. Comparison of the effects of root temperature on nitrate and ammonium nutrition of oilseed rape (*Brassica napus* L.) in flowing solution culture. II. Cation - anion balance. *J. Exp. Bot.* 38, 195, 1589-1602.
- Siddigi M. Y., Memon A. R., Glass A. D. M., 1984. Regulation of K^+ influx in barley. Effect of low temperature. *Plant Physiology*, 74, 730-734.
- Turner D. W., Lahaw E., 1985. Temperature influences nutrient absorption and uptake rates of bananas grown in controlled environments. *Scientia Hort.* 26, 311-322.

SUMMARY

In the experiments with lettuce plants carried out in the growth room where plants grew in hydroponics, the influence of different nutrient temperatures (7°C ; 14°C ; 21°C) at constant air temperature $20^\circ/17^\circ\text{C}$ (day/night) on root uptake rates of N, P, K, Ca and Mg, their percentage contents in biomass as well as the ratio of relative macrocomponents accumulation rate to the relative growth rate, were determined.

The obtained results showed that the lowest uptake rate of macrocomponents by roots, as well as the least of their percentage content in biomass were observed in plants using both nutrients at temp. 7°C . The uptake rate of analysed macrocomponents at temp. 14 and 21°C were from 1.3 to 3 times higher depending on the kind of ions, nitrogen form in nutrient and age of plants. These dependencies appeared in the first 4 weeks of vegetation, in further vegetation the uptake rate of macrocomponents by roots fell, sometimes even to zero, the exception being phosphorus the uptake of which was on the high level until the end of vegetation.

The ratio of relative mineral components accumulation rate to the relative growth rate of plants distinctly depended on the temperature of mineral nutrient. Lettuce plants during the first 4 weeks of vegetation at temp. 7°C showed predominance of the rate of growth over the rate of accumulation of macrocomponents, at temp. 14°C both processes showed higher degree of balance, but at temp. 21°C was observed predominance of the rate of accumulation of macrocomponents over the rate of plant growth.