

Katedra Fizjologii Roślin, Akademia Rolnicza w Lublinie
ul. Akademicka 15, 20-033 Lublin, Poland

Władysław Michałek

Zmiany w gospodarce węglowodanowej i wydajności
fotosyntetycznej jako wskaźnik wrażliwości sałaty na glin

Changes in carbohydrates management and photosynthesis efficiency as an index
of lettuce sensitivity to aluminium

ABSTRACT. The aim of the research was to test the effect of Al dose and Al form on carbohydrates content and composition and on changes in photosynthesis efficiency of two lettuce cultivars. The research was carried out in a vegetation hall using vases (2 dm³ capacity) filled with clean quartz sand. The plants were fed on full mineral nutrients which contained mmol: Ca(NO₃)₂ – 3.74; (NH₄)₂SO₄ – 2.14; (NH₄)₂HPO₄ – 1.61; KCl – 6.36; MgSO₄ – 2.09. Apart from the ingredients mentioned above each vase was administered 2 cm³ A-Z solution and 1% C₆H₅FeO₇ H₂O solution. Furthermore Al in the amount 0,5 and 20 mg dm⁻³ in mononuclear or polynuclear form was inserted to the ground. During the vegetation period plants' photosynthesis activity was measured. After the harvest carbohydrates content in the dry mass was analysed. The results showed that along with an increase of Al amount in the ground, especially in the polynuclear form, carbohydrates content decreased. It caused that the level of photosynthesis efficiency of two lettuce cultivars decreased. But the decrease tendency was more clearly observed in 'Justyna' cv. in comparison to 'Beata' cv.

KEY WORDS: lettuce, aluminium form, monomeric and polymeric form, chlorophyll fluorescence, fluorescence parameters, carbohydrates

Zakwaszenie środowiska glebowego jest jednym z głównych czynników ograniczających plonowanie roślin uprawnych. Toksyczność gleb kwaśnych jest m.in. związana ze szkodliwym oddziaływaniem jonów glinu na rośliny [Mercik, Sas 1998]. W tych warunkach dochodzi do zakłóceń ich w gospodarce mineral-

nej. Stąd rośliny rosnące w kwaśnym środowisku wykazują niedobór składników niezbędnych w żywieniu ludzi i zwierząt [Kaczor 1998]. Dlatego też bardzo ważnym problemem, przy uprawie roślin rosnących w warunkach podwyższonej zawartości glinu w glebie, jest jak najdalej idąca możliwość regulowania procesów fizjologicznych zachodzących w roślinach, tak aby uzyskiwać jak największy i o dobrej jakości plon biomasy.

Celem prezentowanych badań była ocena wpływu dawki i formy glinu na zawartość i skład węglowodanów oraz zmian zachodzących w wydajności fotosyntetycznej dwóch odmian sałaty.

METODY

Doświadczenia prowadzono w hali wegetacyjnej od 6 maja do 24 czerwca w latach 2001-2003. Wcześniej nasiona sałaty kruchej odm. 'Beata' i sałaty masłowej odm. 'Justyna' kiełkowały w pomieszczeniu wegetacyjnym w wilgotnym piasku, w temperaturze ok. 15°C. Po wschodach rośliny doświetlano przez 6 godzin na dobę światłem jarzeniowym o natężeniu 25 W m⁻². W początkach maja po jednej siewce pikowano do wazonów o pojemności 2 litrów, które wypełnione były płukanym piaskiem kwarcowym. Przed pikowaniem roślin dodano do podłoża roztwór pełnej pożywki mineralnej o następującym składzie w mmolach: Ca(NO₃)₂ – 3,74; (NH₄)₂SO₄ – 2,14; (NH₄)₂HPO₄ – 1,61; KCl – 6,36; MgSO₄ – 2,09. Poza wymienionymi składnikami do każdego wazonu dodawano po 2 cm³ 1% roztworu pożywki uzupełniającej zawierającej niezbędne mikroelementy i 1% roztworu cytrynianu żelaza. W takich warunkach rośliny rosły przez jeden tydzień. Po tym okresie do pożywki wprowadzono glin w ilości odpowiadającej: 0, 5 i 20 mg dm⁻³ w postaci Al₂(SO₄)₃ lub polimeryczną jego formę określaną w skrócie jako Al₁₃, którą uzyskano według procedury opisanej przez Wagatsumę i Ezoe [1985]. Doświadczenia składały się z sześciu serii, każda seria liczyła po osiem powtórzeń. W czasie prowadzenia doświadczeń pH kontrolowano dwa razy w tygodniu, utrzymując odpowiednią jego wartość przy pomocy 0,1 mol dm⁻³ HCl, niekiedy stosowano, ale tylko śladowe ilości 0,1 mol dm⁻³ NaOH. Do pomiaru odczynu podłoża używano pH-metru DM-15 firmy Takemura Electric Works, Ltd. Część wegetacyjną doświadczeń kończono po około 6 tygodniach. Po zbiorze roślin oznaczono wielkość plonu świeżej masy liści i korzeni. Dane liczbowe dotyczące plonów sałaty poddano analizie statystycznej, stosując metodę klasyfikacji krzyżowej ortogonalnej. Średnie plony roślin oraz wartości NIR przedstawiono w tabeli 1.

W przeprowadzonych badaniach ocenę stanu fizjologicznego roślin rosnących przy zróżnicowanych dawkach i formach glinu w podłożu, oparto między

innymi na analizie zmian zawartości węglowodanów. Badania ilościowe i jakościowe węglowodanów w suchej masie części nadziemnych sałaty wykonano metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC). Po odtłuszczeniu próbek i ekstrakcji cukrowców oraz oczyszczeniu frakcji na mikrokolumnach C₁₈SEP-PAK (Waters) oznaczono ilość węglowodanów znajdujących się w liściach sałaty [Kerepesi i in. 1996]. Następnie przeprowadzono analizę chromatograficzną, używając aparatu HPLC Knauer, kolumny High Performance Carbohydrate Column Waters oraz detektora Knauer Refractive Index.

Tabela 1. Wpływ dawki i formy glinu na plon świeżej masy liści i masę korzeni sałaty oraz na kształtowanie się stosunku masy części nadziemnych do korzeni

Table 1. The effect of aluminium dose and form on fresh leaves mass crop and lettuce roots mass and on the relation between overhead parts mass and roots

Forma Al Al form	Dawka Al Al dose mg dm ⁻³	odmiana Justyna cultivar			odmiana Beata cultivar		
		św. masa liści fresh leaves mass	św. masa korzeni fresh roots mass	stosunek masy liści do masy korzeni leaves mass to roots mass relation	św. masa liści fresh leaves mass	św. masa korzeni fresh roots mass	stosunek masy liści do masy korzeni leaves mass to roots mass relation
g na wazon per pot							
Al ₂ (SO ₄) ₃	0	77,28	29,72	2,60	83,10	33,92	2,45
	5	65,20	26,08	2,50	82,80	34,50	2,40
	20	31,60	11,41	2,77	39,50	15,19	2,60
Al ₁₃	0	76,30	29,92	2,55	84,10	35,04	2,40
	5	58,40	21,95	2,66	77,15	30,37	2,54
	20	20,30	6,88	2,95	24,50	8,75	2,80
NIR P _{0,05} LSD							
forma Al form		2,15	1,20	0,17	3,38	2,10	0,10
dawka Al dose		1,40	0,80	0,12	2,15	1,21	0,11
forma Al × dawka Al Al form × Al dose		1,30	1,13	0,10	2,14	1,35	0,13

Aktywność fotosyntetyczną roślin wykonano poprzez pomiar indukcji fluorescencji chlorofilu liści sałaty, używając fluorymetru PAM-2000 firmy Walz GmbH, Niemcy. Przy użyciu tego aparatu według metody Schreiber i in. [1992] określano następujące parametry: F_v/F_m – maksymalną wydajność kwantową fotosystemu II, F_v'/F_m' – wydajność otwartych jednostek PS II oraz $\Phi_{PS II}$ – efektywną wydajność kwantową PS II. Wszystkie pomiary wykonano na drugim liściu sałaty w czwartym tygodniu wegetacji, przed pomiarem liście były zacieniane przez 20 minut przy użyciu specjalnych klipsów. Wszystkie pomiary

wykonano w piątym powtórzeniach. Analizę wariacyjną wyników uzyskanych z analiz i pomiarów przeprowadzono stosując półprzedziały ufności Tukeya, określone w pracy jako NIR z 5% ryzykiem błędu.

WYNIKI

Uzyskane wyniki (tab. 1) wskazują na to, że istotny wpływ na przebieg wegetacji i plonowanie roślin doświadczalnych wywierała zarówno zastosowana w żywieniu forma, jak i dawka glinu. W czasie wegetacji zaobserwowano różnice we wzroście i pokroju roślin w poszczególnych obiektach doświadczalnych. Najwyraźniejsze ograniczenie tempa wzrostu roślin stwierdzono u odm. 'Justyna' po zastosowaniu najwyższej dawki glinu, tj. 20 mg dm^{-3} , przy czym zdecydowanie najniższy wzrost roślin w tych warunkach obserwowano, podając glin w formie polimerycznej. Stwierdzono, iż przy najwyższej dawce glinu podanego w formie Al_{13} uzyskany plon liści był o ponad 73% niższy niż w serii kontrolnej (tab. 1). Natomiast zdecydowanie lepszym wzrostem i plonowaniem cechowała się odm. 'Beata'. Najwyższe jej plony uzyskano w obiektach kontrolnych, najniższe zaś przy stosowaniu najwyższej dawki glinu w formie polimerycznej. Ponadto zaobserwowano, że stosowanie glinu w różnych dawkach i formach wpływało istotnie na masę korzeni oraz na kształtowanie stosunku świeżej masy liści do świeżej masy korzeni badanych odmian sałaty. Najwyraźniejsze ograniczenie wzrostu korzeni występowało po zastosowaniu najwyższej dawki glinu w formie polimerycznej, dlatego też wartość stosunku masy liści do masy korzeni przy obecności w podłożu Al_{13} była wyższa niż przy stosowaniu glinu w formie siarczanowej. Ponadto przeprowadzone badania wykazały, że większe ograniczenie wzrostu korzeni nastąpiło u odm. 'Justyna' w porównaniu z odm. 'Beata' (tab. 1). Inni autorzy także donoszą o istnieniu różnic pomiędzy odmianami w tolerancji roślin na glin [Anioł 1990; Pintro i in. 1998; Weryszko-Chmielewska i in. 1998]. Ponadto, jak podaje Pokojska [1994], polimeryczne formy glinu uważane są coraz częściej za jeden z głównych czynników wpływających niekorzystnie na wielkość i jakość plonu roślin.

Zawartość cukrowców występujących w liściach roślin doświadczalnych oraz ich skład jakościowy zamieszczono w tabeli 2. Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań świadczą o zmianach, zachodzących w udziale poszczególnych frakcji cukrowców w częściach nadziemnych sałaty. Na podstawie przeprowadzonych analiz chemicznych stwierdzono, że w liściach obu odmian sałaty występowały takie frakcje, jak: cukry pięciowęglowe (ksyloza, arabinoza), cukry sześciowęglowe (glukoza, fruktoz) i dwucukier (sacharoza) – tab. 2. Zaobserwowano przy tym, że wzrost zawartości glinu w podłożu, niezależnie od

Tabela 2. Wpływ dawki i formy glinu na zawartość węglowodanów w liściach sałaty
 Table 2. The effect of a luminium dose and form on carbohydrates content in lettuce leaves

Forma Al Al form	Dawka Al Al dose mg dm ⁻³	Zawartość węglowodanów % s. m. Carbohydrates content % dry matter									
		odmiana Justyna cultivar					odmiana Beata cultivar				
		ksyloza xylose	arabinoza arabinose	glukoza glucose	fruktoza fructose	sacharoza sucrose	ksyloza xylose	arabinoza arabinose	glukoza glucose	fruktoza fructose	sacharoza sucrose
Al ₂ (SO ₄) ₃	0	3,40	2,22	5,67	4,44	2,35	3,90	3,00	6,30	5,60	2,96
	5	4,70	3,21	4,20	3,15	2,00	4,50	3,00	5,30	4,31	2,34
	20	5,20	3,70	3,10	2,75	1,80	5,00	3,50	4,15	3,70	2,11
Al ₁₃	0	3,60	2,40	6,30	4,22	2,11	4,20	3,20	6,22	5,40	3,12
	5	5,30	3,55	3,72	2,67	1,55	5,10	3,30	4,60	3,40	2,89
	20	7,50	4,90	2,40	2,07	1,26	5,80	3,70	3,00	2,60	2,17
NIR P _{0,05} LSD											
forma Al form		0,84	0,67	0,55	0,77	0,63	0,86	0,44	0,56	0,67	0,43
dawka Al dose		0,70	0,45	0,60	0,53	0,34	0,61	0,23	0,66	0,45	0,33
forma Al × dawka Al Al form × Al dose		0,89	0,36	0,54	0,50	0,44	0,58	0,54	0,61	0,40	0,30

zastosowanej formy, powodował zmiany proporcji i składu poszczególnych frakcji. W tych warunkach wzrastała ilość cukrów pięciowęglowych (ksylozy i arabinozy), a malała ilość cukrów sześciowęglowych (glukozy i fruktozy) oraz dwucukru – sacharozy. Tendencja ta szczególnie wyraźnie wystąpiła u odm. ‘Justyna’ przy stosowaniu najwyższej dawki glinu (20 mg dm⁻³) w formie Al₁₃. Wyniki te są zgodne z badaniami Parkera i in. [1989], którzy w przeprowadzonych eksperymentach z soją i pszenicą jednoznacznie wykazali większą toksyczność glinu polimerycznego od form monomerycznych. W przeprowadzonych badaniach zaobserwowano, że po zastosowaniu wyższej dawki glinu, zwłaszcza podanego w postaci Al₁₃, w składzie węglowodanów występujących w biomase części nadziemnych obu odmian sałaty dominowały ksyloza i arabinoza, przy czym odm. ‘Justyna’ zawierała tych cukrów odpowiednio o 22,66% i o 24,49% więcej niż odm. ‘Beata’ (tab. 2). Świadczy to zatem o pewnych zakłóceniach w metabolizmie węglowodanowym, zachodzącym w roślinach rosnących w niekorzystnych warunkach środowiskowych. Najprawdopodobniej te nieodpowiednie warunki wywołują zmianę drogi przekształcania cukrowców. Stwierdzona w przeprowadzonych doświadczeniach zwiększona ilość cukrów pięciowęglowych w liściach sałaty dowodzi, że u roślin tych przemiany sacharydów zachodzą w większym stopniu w cyklu pentozowym. Jak podają Ślusarczyk i in. [1991], w warunkach stresu środowiskowego obserwuje się nie tylko wzrost zawartości cukrów pięciowęglowych, ale również związków fenolowych. Borowski i in. [2003] w swoich badaniach na ogórkach rosnących w zróżnicowanych warunkach środowiskowych także stwierdzili zmiany w gospodarce węglowodanowej, które dotyczyły zarówno mono- jak i oligosacharydów.

Funkcjonowanie fotosystemu PS II jest najbardziej czułym wskaźnikiem działania różnorodnych czynników stresowych na rośliny. Zmiany aktywności PS II mogą być określane szybko i w sposób nieinwazyjny na podstawie pomiarów fluorescencji chlorofilu [Guidi i in. 1997].

Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań wskazują na istotny, ujemny wpływ zarówno dawki, jak i formy glinu, zwłaszcza stosowanego w formie Al_{13} , na efektywność aparatu fotosyntetycznego roślin doświadczalnych. Zmniejszenie wartości parametrów indukcji fluorescencji chlorofilu (FC) stwierdzono w obu badanych odmianach sałaty, stosując zarówno glin w formie mono-, jak i polimerycznej (tab. 3). Przy tym zdecydowanie większe spadki indukcji FC wystąpiły w liściach odm. 'Justyna' wraz ze wzrostem dawki glinu, zwłaszcza polimerycznego. Zmniejszenie w tych warunkach wartości parametrów indukcji fluorescencji chlorofilu świadczy o obniżeniu sprawności reakcji pierwotnych fotosyntezy w fotosystemie II. W wyniku stosowania glinu polimerycznego zmniejszyła się najbardziej, zwłaszcza u odm. 'Justyna', maksymalna fotochemiczna wydajność fotosystemu II (F_v/F_m), przy czym tendencja spadkowa wartości F_v/F_m nasilała się wraz ze wzrostem zawartości Al_{13} w podłożu (tab. 3). Jak podają Demming i Björkman [1987] wartość stosunku F_v/F_m w liściach roślin rosnących w optymalnych warunkach waha się od 0,80 do 0,83. W warunkach zaś przeprowadzonego eksperymentu u odmian 'Justyna' i 'Beata' przy wyższej dawce glinu monomerycznego stosowanego w formie siarczanu wartość tego wskaźnika wynosiła odpowiednio 0,51 i 0,60, a w przypadku dodatku glinu polimerycznego – 0,38 i 0,51.

Tabela 3. Wartości parametrów indukcji fluorescencji chlorofilu liści sałaty w zależności od zastosowanej dawki i formy glinu

Table 3. Lettuce leaves chlorophyll fluorescence induction parameters depending on aluminium dose and form used

Forma Al Al form	Dawka Al Al dose mg dm ⁻³	Odmiana Justyna cultivar			Odmiana Beata cultivar		
		parametry fluorescencji chlorofilu chlorophyll fluorescence parameters					
		F_v/F_m	F_v'/F_m'	Φ_{PSII}	F_v/F_m	F_v'/F_m'	Φ_{PSII}
$Al_2(SO_4)_3$	0	0,789	0,724	0,543	0,801	0,757	0,649
	5	0,718	0,585	0,501	0,752	0,611	0,622
	20	0,513	0,454	0,456	0,604	0,536	0,504
Al_{13}	0	0,772	0,730	0,536	0,784	0,746	0,626
	5	0,592	0,512	0,478	0,612	0,571	0,600
	20	0,381	0,378	0,345	0,511	0,496	0,421
NIR $P_{0,05}$ LSD							
forma Al form		0,042	0,030	0,036	0,034	0,040	0,026
dawka Al dose		0,055	0,052	0,048	0,052	0,051	0,030
forma Al × dawka Al Al form × Al dose		0,040	0,038	0,045	0,041	0,046	0,021

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że u roślin doświadczalnych w bardzo istotnym stopniu zakłócona była także wydajność otwartych jednostek PSII – F_v/F_m . Najniższe wartości tych parametrów stwierdzono u odm. 'Justyna', a najwyższe u odm. 'Beata' (tab. 3). W zależności od stosowanej dawki i formy glinu znacznie obniżyła się również wydajność kwantowa chlorofilu ($\Phi_{PS II}$). Najmniejsza jego wartość wystąpiła u odm. 'Justyna' przy stosowaniu 20 mg Al dm^{-3} w formie polimerycznej, natomiast u odm. 'Beata' w tych warunkach wartość tego wskaźnika była o 18% wyższa. Oznacza to, że u tej odmiany w wyniku stosowania zróżnicowanych dawek i form glinu transport elektronów w PSII naruszony był w dużo mniejszym stopniu niż u odm. 'Justyna'. Bielecki i in. [1996] oraz Jasiewicz i in. [1999], badając wpływ metali ciężkich na rośliny, również zaobserwowali wyraźne spadki parametrów indukcji fluorescencji chlorofilu.

Zaprezentowane wyniki wskazują zatem, iż skład jakościowy węglowodanów, występujących w biomase roślin uprawnych oraz pomiar fluorescencji chlorofilu może być jednym ze wskaźników określających stopień ich tolerancji na niekorzystne warunki środowiskowe. Potwierdzałoby to wcześniejsze doniesienia Ślusarczyk i in. [1991] o wykorzystaniu składu cukrowców jako wskaźnika określającego predyspozycję roślin do wzrostu w niekorzystnych warunkach środowiska oraz rezultaty badań Guidi i in. [1997], a także Jimenez i in. [1995], mówiące o wykorzystaniu pomiarów fluorescencji chlorofilu do określania stanu fizjologicznego roślin, mających zróżnicowane warunki do wzrostu i rozwoju.

WNIOSKI

1. Przebieg wegetacji i plon biomasy roślin był uzależniony zarówno od dawki, jak i formy glinu oraz od odmiany sałaty. Większą wrażliwość na obecność glinu wykazywały rośliny odm. 'Justyna', a mniejszą odm. 'Beata'.

2. Stosowana dawka i forma glinu powodowała istotne zmiany w zawartości i składzie chemicznym cukrowców, występujących w biomase roślin doświadczalnych. Stwierdzono przy tym, że u odmiany 'Justyna', mniej tolerancyjnej na glin, proces degradacji węglowodanów przebiegał intensywniej.

3. Ocena wrażliwości aparatu fotosyntetycznego przez pomiar wybranych parametrów fluorescencji chlorofilu (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $\Phi_{PS II}$) wykazała, że większą odpornością w stosunku do glinu charakteryzowała się odmiana 'Beata' w porównaniu z odmianą 'Justyna'.

PIŚMIENNICTWO

- Anioł A. 1990. Genetics of tolerance to aluminium in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant and Soil* 123, 223–227.
- Borowski E., Blamowski Z.K., Wierciński J. 2003. Efekty nadmiaru azotu w żywieniu roślin ogórka (*Cucumis sativus* L.) rosnących w warunkach zróżnicowanej wilgotności podłoża. *Acta Agrobotanica* 56, 1–2, 37–45.
- Bielecki K., Spiak Z., Grzyś E. 1996. Wpływ niklu na fluorescencję chlorofilu w liściach pszenicy w końcowym okresie wegetacji. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 434, 985–989.
- Demming B., Björkman O. 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence and photon yield of O₂ evolution in leaves of higher plants. *Planta* 171, 171–184.
- Guidi L., Nali C., Ciompi S., Lorenzini G., Soldatini G. F. 1997. The use of chlorophyll fluorescence and leaf gas exchange as methods for studying the different responses to ozone of two bean cultivars. *J. Exp. Bot.* 48, 306, 173–179.
- Jasiewicz Cz., Rapacz M., Antonkiewicz J. 1999. Wpływ metali ciężkich na uszkodzenia błon komórkowych i aparatu fotosyntetycznego oraz plon topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.). *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 469, 403–410.
- Jimenez M.S., Gonzalez-Rodriguez A.M., Morales D., Cid M.C., Socorro A.R., Caballero M. 1997. Evaluation of chlorophyll fluorescence as a tool for salt stress detection in roses. *Photosynthetica* 33, 2, 291–301.
- Kaczor A. 1998. Odżywianie się roślin w warunkach gleb silnie zakwaszonych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 456, 55–62.
- Kerepesi I., Tóth M., Boross L. 1996. Water-soluble carbohydrates in dried plant. *J. Agric. Food Chem.* 44, 3235–3239.
- Mercik S., Sas L. 1998. Ujemny wpływ nadmiernego zakwaszenia gleby na rośliny. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 456, 29–39.
- Parker D.R., Kinraide T.B., Zelazny L.W. 1989. On the phytotoxicity of polynuclear hydroxy-aluminium complexes. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 53, 789–796.
- Pintro J., Barloy J., Fallavier P. 1998. Uptake of aluminum by the root tips of an Al-sensitive and Al-tolerant cultivar of *Zea mays*. *Plant Physiol. Biochem.* 36, 6, 463–467.
- Pokojska U. 1994. Nowe poglądy na toksyczność różnych form glinu. *Rocz. Gleb.* 45, 1/2, 109–117.
- Schreiber U., Neubauer C., Schliwa U. 1992. PAM fluorometer based on mediumfrequency pulsed Xe-flash measuring light: A highly sensitive new tool in basic and applied photosynthesis research. *Photosynth. Res.* 36, 65–72.
- Ślusarczyk M., Biały Z., Nowacka D. 1991. Zmiany w zawartości i składzie cukrów oraz związków fenolowych w łubinie żółtym (*Lupinus luteus* L.) w warunkach niedostatku boru. *Pam. Puł.* 99, 63–74.
- Wagatsuma T., Ezoe Y. 1985. Effect of pH on ionic species of aluminum in medium and on aluminum toxicity under solution culture. *Soil Sci. Plant Nutr.* 31, 547–561.
- Weryszko-Chmielewska E., Chwil M., Szadura M. 1998. Wpływ nadmiaru glinu na budowę łądygi i liści grochu zwyczajnego (*Pisum sativum* L.). *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 456, 623–628.