Akumulacja wolnej proliny w warunkach deficytu wody w liściach wybranych gatunków roślin uprawnych

HANNA BANDURSKA

Katedra Fizjologii Roślin, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego,
Wołyńska 35, 60-637 Poznań

H. Bandurska, Department of Plant Physiology, August Cieszkowski Agricultural University,
Wołyńska 35, 60-637 Poznań, Poland

E-mail bandur@jay.au.poznan.pl

Free proline accumulation in leaves of cultivated plant species under water deficit conditions

(Otrzymano: 11.07.2003)

Summary

The effect of water deficit caused by soil drought on the content of free proline as well as the degree of cell membrane damages in the leaves of three cultivated plant species having different farm usefulness and water requirements have been studied. The used plants were: poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd., 'Regina' and 'Cortez') grown for decorative purposes, a green vegetable of broccoli (*Brassica oleracea* var. botrytis, subvar. cymosa, 'Colonel' and 'Marathon') and a cereal plant of barley (the wild form *Hordeum spontaneum* and *Hordeum vulgare* 'Maresi'). The examined species differed in the size of the experienced stress, the largest RWC reduction was found in broccoli leaves, while somewhat smaller – in barley. In poinsettia leaves, the reduction of RWC level was not large or did not occur at all. The accumulation of free proline in the species under study was also variable. The largest amount of this amino acid tended to accumulate in broccoli leaves, whereas the increase of its level took place only at a strong dehydration of tissues. The increase of proline level was smaller in barley leaves than in broccoli, but that was found already at a small dehydration of tissues. In poinsettia leaves, a several fold increase of proline level was found at the early stage of the stress. The level of that amino acid gradually increased at consecutive times and did not depend on tissue dehydration. Damage of cell membranes amounted to 8.5-9.5% in barley leaves, about 3% in broccoli and to 0-2.6% in poinsettia. The role of proline in prevention of leaf dehydration and in alleviation of dehydration effects in the studied species has been discussed.

Key words: *Brassica oleracea*, *Euphorbia pulcherrima* Willd., *Hordeum spontaneum*, *Hordeum vulgare*, water deficit, proline

WSTĘP

Najczęstszą przyczyną deficytu wody jest susza glebowa spowodowana brakiem opadów atmosferycznych. Jednakże deficyt wody może występować także gdy ilość wody w glebie jest wystarczająca, ale jej pobieranie jest ograniczone przez niską temperaturę gleby, zasolenie, niedotlenienie czy uszkodzenie systemu korzeniowego lub w warunkach niskiej wilgotności względnej powietrza wywołanej wysoką temperaturą albo silnymi wysuszającymi wiatrami. Warunki sprzyjające powstawaniu deficytu wody w roślinach mogą występować w czasie uprawy wielu roślin.

Obniżenie stanu uwodnienia komórek i tkanek wywołuje w roślinie szereg zmian fizjologiczno-biochemicznych. Jedną z najwcześniejszych jest znaczny wzrost poziomu wolnej proliny (Hanson i Hitz, 1982; Hare i Cress, 1997; Bandurska, 1999). Po raz pierwszy akumulację wolnej proliny stwierdzono w więdnących liściach ryżu, już w roku 1954 (Kemble i MacPherson). Obecnie wiadomo, że akumulacja tego aminokwasu w warunkach deficytu wody ma miejsce u dużej ilości organizmów od bakterii i grzybów po rośliny wyższe (DeLauney i Verma, 1993; Heuer, 1994). Wysoki poziom wolnej proliny obserwowano również u wielu gatunków roślin w efekcie działania innych stresowych czynników środowiska takich jak niska oraz wysoka temperatura, mróz, zasolenie, deficyt składników mineralnych, gazowe zanieczyszczenia powietrza, metale ciężkie, infekcja patogenów (Bandurska, 1991; Alia i Saradhi, 1991; Hare i Cress, 1997; Bandurska i in., 1994; Kozłowska i in., 2002). Badania zmierzające do poznania roli proliny w reagowaniu roślin na deficyt wody prowadzone są na różnych gatunkach i odmianach oraz w różnych układach doświadczalnych. Odwodnienie komórek i tkanek, prowadzi do zmian w strukturze i funkcjonowaniu błon cytoplazmatycznych (Blum i Ebercon, 1981; Premachandra i Shimada, 1987). Wyniki wielu prac pozwalają sądzić, że prolina pełni rolę adaptacyjną do niekorzystnych warunków stresu wodnego przyczyniając się do łagodzenia ujemnego wpływu odwodnienia na funkcjonowanie błon komórkowych (Smirnoff i Cumbes, 1989; Rensberg i in., 1993; Hare i Cress, 1997; Bandurska, 1998, 1999).

Celem prezentowanej pracy było zbadanie wpływu deficytu wody na zawartość wolnej proliny oraz stopień uszkodzenia błon komórkowych w liściach trzech gatunków roślin uprawnych o różnej przydatności gospodarczej i różnych wymaganiach wodnych. Do badań wybrano: uprawianą dla celów dekoracyjnych poinsecję (*Euphorbia pulcherrima* Willd., 'Regina' i 'Cortez'), roślinę warzywniczą brokuł (*Brassica oleracea* var. *botrytis*, subvar. *cymosa*, 'Colonel' i 'Marathon') oraz roślinę zbożową jęczmień (forma dzika *Hordeum spontaneum* oraz *Hordeum vulgare* 'Maresi'). Stosunkowo największymi wymaganiami wodnymi charakteryzuje się brokuł, który posiada płytki system korzeniowy (Kaniszewski, 1967). Jęczmień charakteryzuje się stosunkowo niewielką wrażliwością na niedostatek opadów (Stanca i in., 1996), ale z uwagi na sposób uprawy często narażony jest na niekorzystne warunki klimatyczno-glebowe wynikające z braku opadów atmosferycznych. Natomiast poinsecja jest rośliną, która toleruje krótkotrwałe i niewielkie niedobory wody, a jest wrażliwa na nadmiar wody w podłożu (Preisling, 1996; Nowak, Strojny, 1997).

MATERIAŁY I METODY

Materiał roślinny

Rozsadę brokuła 'Colonel' i 'Marathon' otrzymano ze Stacji Doświadczalnej Katedry Warzywnictwa Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu. Rośliny 5-cio tygodniowe wysadzono pojedynczo do doniczek o średnicy 12 cm wypełnionych glebą. Rośliny rosły w pokoju hodowlanym w następujących warunkach: temperatura 20-23°C, światło lamp fluorescencyjnych (TLD 58W/840) o natężeniu 130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ PAR, fotoperiod 12h/12h. Wilgotność podłoża w doniczkach utrzymywano na poziomie 60% polowej pojemności wodnej. Po 7 dniach wzrostu w tych warunkach u części roślin wstrzymano nawadnianie. W czasie trwania stresu po 3, 5, 7, 8 dniach wstrzymania nawadniania pobierano próby liści do oznaczania względnej zawartości wody oraz poziomu proliny. W ostatnim dniu stresu pobierano próby do oznaczania stopienia uszkodzenia błon komórkowych w liściach.

Trzytygodniowe sadzonki poinsecji 'Cortez' i 'Regina' otrzymano z przedsiębiorstwa „Owiplant” w Owińskach. Rośliny rosły pojedynczo w doniczkach o średnicy 12 cm w wyżej podanych warunkach pokoju hodowlanego i wilgotności podłoża. Po 10 dniach u części roślin wstrzymano nawadnianie. W czasie trwania stresu po 2, 4, 7, 9 i 15 dniach pobierano próby liści do oznaczania względnej zawartości wody, poziomu proliny oraz w ostatnim dniu stresu do oznaczania stopnia uszkodzenia błon komórkowych.

Jęczmień ('Maresi' i dzika forma *H. spontaneum*) uprawiano w warunkach szklarniowych w wazonowych kulturach glebowych z zastosowaniem podstawowego nawożenia NPK. Ziarniaki otrzymano z Instytutu Genetyki Roślin PAN w Poznaniu. Rośliny rosły w wazonach o pojemności 10 litrów (po 7 sztuk), każdy wazon zawierał 7 kg gleby. Wilgotność gleby utrzymywano na poziomie 60% pełnej pojemności wodnej. Po około 65 dniach wzrostu, tj. do początku fazy kłoszenia wstrzymano nawadnianie części roślin. W czasie trwania stresu po 2, 4 i 7 dniach pobierano próby liści do oznaczania względnej zawartości wody oraz poziomu proliny, a w ostatnim dniu stresu stopnia uszkodzenia błon komórkowych.

Metodyka oznaczeń fizjologiczno-biochemicznych

Względną zawartość wody (RWC) oznaczano wg metody Weatherley'a (1950) zgodnie z procedurą podaną w pracy Bandurskiej i Stroińskiego (2003). Z każdej kombinacji pobierano pięć jednakowych fragmentów liści, które ważono na wadze analitycznej, następnie zanurzano na 4h w wodzie w celu uzyskania pełnego turgoru. Po tym czasie próby ponownie ważono, suszono w temp. 70°C i jeszcze raz ważono. Względą zawartość wody w liściach obliczano wg wzoru:

$$RWC = \frac{\text{świeża masa} - \text{sucha masa}}{\text{świeża masa po wysyceniu wodą} - \text{sucha masa}} \times 100\%$$

Uszkodzenie błon komórkowych oznaczano wg metody Dextera (1932) zgodnie z procedurą podaną w pracy Bandurskiej i wsp. (2003). Z każdej kombinacji pobierano pięć jednakowych fragmentów liści, płukano trzykrotnie w wodzie odjonizowanej, umieszczano w 50 ml zlewkach i zalewano 10 ml wody odjonizowanej. Próby pozostawiano przez okres 24h w temp. 10°C. Po tym czasie doprowadzano temp do 20°C i mierzono przewodność płynu. Następnie próby autoklawowano przez 15 min. i po ochłodzeniu do temp. 20°C mierzono ponownie przewodność. Uszkodzenie błon komórkowych obliczano na podstawie wzoru:

$$I = 1 - \frac{1 - (T1/T2)}{1 - (C1/C2)} \times 100\%, \text{ gdzie } C1 \text{ i } C2 \text{ odpowiadają przewodności prób}$$

kombinacji kontrolnej, odpowiednio przed i po autoklawowaniu, T1 i T2 odpowiadają przewodności prób poddanych stresowi, odpowiednio przed i po autoklawowaniu.

Poziom wolnej proliny

Próby o masie 0,3 g mrożono w ciekłym azocie i przechowywano w temp -20°C do czasu przeprowadzenia analiz. Zawartość wolnej proliny oznaczano wg Bates'a i in. (1973). Metoda polega na kolorymetrycznym oznaczaniu ilości barwnego produktu reakcji proliny z odczynnikiem ninhydrynowym przy fali o długości 515 nm. Ilość proliny obliczano na podstawie krzywej standardowej i wyrażano w mg g⁻¹ suchej masy.

Analiza statystyczna wyników

Prezentowane wyniki są średnią z co najmniej trzech powtórzeń, dla której obliczono wartość odchylenia standardowego przedstawionego na wykresach jako pionowy odcinek.

WYNIKI

Względną zawartość wody w liściach (RWC) przyjęto jako wskaźnik stresu doznanego przez rośliny. U brokuła (rys.1) w warunkach kontrolnych RWC w liściach obu badanych odmian była w granicach 92-94%. Stres wodny spowodował obniżenie RWC. W ciągu 5 dni od powstrzymania nawadniania nastąpiło obniżenie RWC w liściach obu odmian do około 80% oraz dalszy spadek w kolejnych dniach. Po 8 dniach stresu RWC w liściach obniżył się do 42% i 35% odpowiednio u 'Marathon' i 'Colonel'. Deficyt wody spowodował wzrost poziomu wolnej proliny w liściach brokuła (rys. 1). W liściach roślin kombinacji kontrolnej poziom tego aminokwasu był zasadniczo podobny u obu odmian, jednak różny w poszczególnych terminach oznaczeń mieścił się w granicach 0,05-0,2 mg · g⁻¹ suchej masy. Po 7 dniach stresu stwierdzono gwałtowny wzrost poziomu tego aminokwasu oraz dalszy już mniejszy wzrost po 8 dniach. W tym terminie poziom wolnej proliny wynosił około 13 oraz 15 mg · g⁻¹ suchej masy odpowiednio u 'Marathon' i 'Colonel'. Uszkodzenie błon komórkowych (rys. 1) było niewielkie i wynosiło 3,15% u 'Colonel' oraz 2,97% u 'Marathon'.

Rys. 1

Wpływ deficytu wody na względną zawartość wody (RWC), zawartość wolnej proliny oraz uszkodzenie błon komórkowych w liściach dwóch odmian brokoła
 The effect of water deficit on relative water content (RWC), free proline level and membrane injury in the leaves of two broccoli cultivars

W liściach poinsejki wskaźnik RWC u roślin kontrolnych był w granicach 87-89% u obu badanych odmian (rys. 2). Stres wodny nie spowodował znaczącego obniżenia względnej zawartości wody; widoczne, ale przejściowe obniżenie RWC stwierdzono po 7 dniach stresu tylko w liściach 'Regina'. Zawartość wolnej proliny w liściach roślin kombinacji kontrolnej była zasadniczo podobna u obu odmian (rys. 2). W kolejnych terminach oznaczeń poziom proliny był różny i wzrastał u obu odmian w trakcie trwania doświadczenia od około 0,01 do około 0,5 mg · g⁻¹ suchej masy. W liściach roślin poddanych stresowi stwierdzono około 5-cio krotny wzrost poziomu tego aminokwasu już po 4 dniach stresu oraz dalszy stopniowy wzrost

Rys. 2

Wpływ deficytu wody na względną zawartość wody (RWC), zawartość wolnej proliny oraz uszkodzenie błon komórkowych w liściach dwóch odmian poinsejii
 The effect of water deficit on relative water content (RWC), free proline level and membrane injury in the leaves of two cultivars of poinsettia

w kolejnych terminach. Po 15 dniach stresu zawartość wolnej proliny w liściach 'Cortez' wynosiła 2,42, a 'Regina' 2,38 mg · g⁻¹ suchej masy. U odmiany 'Cortez' nie stwierdzono uszkodzeń błon komórkowych, natomiast u odmiany 'Regina' uszkodzenie błon było niewielkie i wynosiło 2,61%.

Względna zawartość wody w liściach obu genotypów jęczmienia była na poziomie około 92-93% (rys. 3). W warunkach deficytu wody nastąpiło obniżenie RWC do około 81% u *H. spontaneum* oraz około 78% u 'Maresi' po 2 dniach oraz odpowiednio do około 61% i 57% po 7 dniach stresu. Zawartość wolnej proliny w liściach kombinacji kontrolnej była podobna u obu genotypów i wahała się

w granicach $0,18-0,37 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ suchej masy. Pod wpływem deficytu wody nastąpił wzrost poziomu wolnej proliny (rys. 3); po dwóch oraz czterech dniach stresu zawartość aminokwasu wzrosła do około $3,5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ suchej masy u *H. spontaneum* oraz do około $4,3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ suchej masy u 'Maresi'. Po 7-miu dniach stresu poziom proliny zwiększył się do $8,5$ oraz $6,2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ suchej masy odpowiednio u *H. spontaneum* oraz 'Maresi'. Uszkodzenie błon komórkowych wynosiło u *H. spontaneum* około 9,5%, a u 'Maresi' około 8,5% (rys. 3).

Rys. 3

Wpływ deficytu wody na względną zawartość wody (RWC), zawartość wolnej proliny oraz uszkodzenie błon komórkowych w liściach dwóch genotypów jęczmienia
 The effect of water deficit on relative water content (RWC), free proline level and membrane injury in the leaves of two barley genotypes

DYSKUSJA

Deficyt wody w liściach badanych gatunków roślin tj. jęczmienia, brokuła oraz poinsecji przyczynił się do akumulacji wolnej proliny w tych organach. Wzrost poziomu proliny w liściach oraz korzeniach jęczmienia, a także innych gatunków roślin jednoliściennych zarówno uprawnych jak i dziko rosnących pod wpływem deficytu wody stwierdzono już w badaniach wcześniejszych (DeLauney i in., 1993; Heuer, 1994; Bandurska, 1991, 2000, 2002). Spośród gatunków roślin warzywniczych akumulację wolnej proliny w reakcji na deficyt wody stwierdzono wcześniej u pomidora, fasoli, grochu, ogórka i szpinaku (DeLauney i in., 1993). Indukowaną stresem wodnym akumulację wolnej proliny obserwowano także w liściach takich gatunków roślin ozdobnych jak *Saintpaulia* oraz *Chrysanthemum* (Amberger i in., 1988). Otrzymane w prezentowanej pracy wyniki potwierdzają pewną powszechność i uniwersalność reagowania roślin w warunkach deficytu wody.

W optymalnych warunkach wzrostu poziom wolnej proliny w komórkach organów wegetatywnych jest w granicach $0,2-0,7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ suchej masy (Levitt, 1980). U badanych gatunków poziom tego aminokwasu w liściach mieścił się w tym zakresie i był zasadniczo podobny u brokuła oraz poinsecji. Zawartość proliny w liściach jęczmienia była średnio nieco wyższa. Biorąc pod uwagę doniesienia literaturowe świadczące o regulacyjnym wpływie światła na poziom proliny (Hanson, 1979; Bandurska, 1991), tę różnicę należałoby przypisać innym warunkom świetlnym w jakich uprawiano jęczmień (szklarnia). We wcześniejszych badaniach z jęczmieniem uprawianym w warunkach pokoju hodowlanego zawartość tego aminokwasu była niższa i zbliżona do poziomu stwierdzonego w liściach brokuła oraz poinsecji (Bandurska i Stroiński, 2003).

Badane gatunki roślin różniły się wielkością doznanego stresu (RWC). Największe obniżenie poziomu RWC stwierdzono u brokuła, a nieco mniejsze u jęczmienia. W liściach poinsecji obniżenie poziomu RWC było bardzo małe. Zgodnie z klasyfikacją Hsiao (1973) w liściach brokuła wystąpił stres silny, w liściach jęczmienia stres średni, a w liściach poinsecji stres był umiarkowany, względnie nie wystąpił w ogóle.

Inaczej też kształtowała się akumulacja wolnej proliny u badanych gatunków. Najwięcej proliny gromadziło się w liściach brokuła. U tego gatunku wzrost poziomu proliny miał miejsce w trzecim terminie stresu, dopiero przy silnym odwodnieniu tkanek. W liściach jęczmienia stopniowy wzrost poziomu proliny stwierdzono począwszy od pierwszego terminu stresu. Wzrost ten był mniejszy niż u brokuła i był skorelowany ze stopniowym choć również mniejszym niż u brokuła odwodnieniem tkanek. Otrzymane wyniki potwierdzają wcześniej obserwowaną zależność pomiędzy stopniem odwodnienia tkanki a akumulacją proliny (Hanson i in., 1977; Rajagopal i in., 1977; Bandurska, 1999, 2000). W liściach poinsecji kilkakrotny wzrost poziomu proliny stwierdzono już w pierwszym terminie stresu. Poziom tego aminokwasu wzrastał stopniowo w terminach kolejnych, pomimo iż nie stwierdzono odwodnienia tkanki lub było ono niewielkie. Wartość progowa stopnia odwodnienia tkanki dla akumulacji proliny była więc różna u badanych gatunków.

Istotną rolę w percepcji deficytu wody odgrywają korzenie. W tych organach następuje synteza ABA, który transportowany przez ksylem do pędu pełni rolę sygnału o zagrożeniu deficytem wody, przyczynia się do zamknięcia aparatów szparkowych i na tej drodze zapobiega odwodnieniu liści (Sauter i in., 2001). Pośrednim dowodem wskazującym, że w liściach poinsejji nastąpiło zamknięcie aparatów szparkowych w warunkach deficytu wody, a co za tym idzie ograniczenie pobierania dwutlenku węgla był brak skrobi w liściach roślin poddanych stresowi (dane nie publikowane). Kwas abscysynowy wpływa również na syntezę proliny, która jako substancja osmotycznie czynna ułatwia pobieranie wody i utrzymywanie jej w organizmie (Böhner i Jensen, 1996; Yoshida i in., 1997). Wydaje się, że obok zamknięcia aparatów szparkowych akumulacja tego aminokwasu mogła być czynnikiem zapobiegającym odwodnieniu liści poinsejji. Podobnie szybka akumulacja wolnej proliny w liściach jęczmienia mogła być czynnikiem ograniczającym odwodnienie. Należy dodać, że istotnym czynnikiem zapobiegającym odwodnieniu liści poinsejji jest ich budowa anatomiczna, tj. aparaty szparkowe po spodniej stronie oraz pokrycie liści włoskami. Nieznaczne uszkodzenie błon komórkowych lub jego brak u poinsejji wynikało, jak się wydaje, z niewielkiego odwodnienia liści tej rośliny. Prolinie przypisuje się również funkcję ochronną polegającą na łagodzeniu skutków odwodnienia (Bandurska, 1999). Niewielkie uszkodzenie błon komórkowych przy znacznym odwodnieniu liści brokuła może wskazywać, że u tej rośliny wolna prolina nagromadzona w warunkach deficytu wody zapobiegała uszkodzeniu błon komórkowych.

LITERATURA

- Amberger-Ochsenbauer S., Obendorfer J., 1988. Levels of free proline in ornamental plants: I. Influence of plant age, leaf age and leaf region in *Saintpaulia* and *Chrysanthemum*. J. Plant Physiol. 132: 758-761.
- Alia, Saradhi P. P., 1991. Proline accumulation under heavy metal stress. J. Plant physiol. 138: 554-558.
- Bandurska H., 1991. Akumulacja wolnej proliny jako przejaw metabolicznej reakcji roślin na działanie stresu wodnego. Wiad. Bot. 35: 35-46.
- Bandurska H., Chełkowski J., Wiśniewska H., 1994. Free proline accumulation in wheat seedlings influenced by *Fusarium culmorum* infection and pathogen metabolite deoxynivalenol. Acta Physiol. Plantarum 16: 111-116.
- Bandurska H., 1998. Implication of ABA and proline on cell membrane injury of water stressed barley seedlings. Acta Physiol. Plantarum 20: 1-7.
- Bandurska H., 1999. Rola proliny w reagowaniu roślin na stres deficytu wody w świetle dotychczasowych wyników badań. Zeszyty Problemowe Post. Nauk Roln. 469: 31-42.
- Bandurska H., 2000. Does proline accumulated in leaves of water deficit stressed barley plants confine cell membrane injury? I. Free proline accumulation and membrane injury index in drought and osmotic stressed plants. Acta Physiol. Plantarum 22: 409-415.
- Bandurska H., Stroiński A., 2003. ABA and proline accumulation in leaves and roots of wild (*Hordeum spontaneum*) and cultivated (*Hordeum vulgare* 'Maresi') barley genotypes under water deficit conditions. Acta Physiol. Plantarum 25: 55-61.

- Bates L. S., Waldren R. P., Teare J. D., 1973. Rapid determination of proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Bohnert H. J., Jensen R. G., 1996. Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. *TIBTECH*. 14: 89-97.
- Blum A., Ebercon A., 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Sci*. 21: 43-47.
- Delauney A. J., Verma D.P.S., 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *The Plant J*. 4:215-223.
- Dexter S. T., Tottingham W. E., Graber L. F., 1932. Investigation of hardness of the plants by measurement of electrical conductivity. *Plant Physiol*. 7: 63-78.
- Hanson A. D., Nelson Ch. E., Everson E. H., 1977. Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivars. *Crop Sci*. 17: 720-726.
- Hanson I. E., 1979. Light stimulation of proline synthesis in water-stressed barley leaves. *Planta* 145: 45-51.
- Hanson A. D., Hitz W. D., 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 33: 163-203.
- Hare P. D., Cress W. A., 1997. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivars. *Plant Growth Regulation* 21: 79-102.
- Heuer B., 1994. Osmoregulatory role of proline in water- and salt-stressed plants. In: Pessarakli M. (ed) *Handbook of Plant and Crop Stress*. New York: Marcel Dekker, Inc. ss. 363-381.
- Hsiao T. C., 1973. Plant responses to water stress. *Annu. Rev. Plant Physiol*. 24: 519-570.
- Kaniszewski S., 1967. Nawadnianie roślin warzywnych. *PWRiL Warszawa*, 10-15, 75-76.
- Kemble A. R., MacPherson H. T., 1954. Liberation of amino acids in perennial rye grass during wilting. *Biochem J*. 58: 46-59.
- Kozłowska M., Bandurska H., Fryder K., 2002. Effect of *Didymella applanata* (Niessl/Sacc.) on proline and hydroxyproline containing cell wall proteins of red raspberry. *Acta Physiol. Plant*. 24: 229-236.
- Levitt J., 1980. Responses of plant to environmental stresses. 2. Academic Press, New York
- Nowak J. S., Strojny Z., 1997. Wpływ zróżnicowanego potencjału wodnego na wzrost poinsekcji (*Euphorbia pulcherrima* Willd.). *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 449: 135-143.
- Preisling M., 1996. Poinsecja zwana Gwiazdą Betlejemską. *Kwiaty* 4:14.
- Premachandra G. S., Shimada T., 1987a. The measurement of cell membrane stability using polyethylene glycol as a drought tolerance test in wheat. *Japan. J. Crop Sci*. 3: 92-97.
- Rajagopal V., Balasubramanian V., Sinha S. K., 1977. Diurnal fluctuations in relative water content, nitrate reductase and proline content in water-stressed and non-stressed wheat. *Physiol. Plantarum* 40: 69-71.
- Rensberg L., Krüger G. H. J., Krüger H., 1993. Proline accumulation as a drought-tolerance selection criterion: its relationship to membrane integrity and chloroplast ultra-structure in *Nicotiana tabacum* L. *J. Plant Physiol*. 141: 188-194.
- Sauter A., Davis W. J., Hartung W., 2001. The long-distance abscisic acid signal in the droughted plant: the fate of the hormone on its way from root to shoot. *J Exp. Bot*. 52: 1991-1997.
- Smirnoff N., Cumbes Q. J., 1989. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes. *Phytochem*. 28: 1057-1060.

- Stanca A.M., Crosatti C., Lacerenza N.G., Rizza F., Cattivelli L., 1996. Molecular adaptation of barley to cold and drought conditions. *Euphytica* 92: 215-219.
- Weatherly P.E., 1950. Studies in water relation of cotton plants. I. The field measurement of water deficits in leaves. *New Phytol.*, 49:81-97.
- Yoshida Y., Kiyosue T., Nakashima K., Yamaguchi-Shinozaki K., Shinozaki K., 1997. Regulation of proline as an osmolyte under water stress. *Plant Cell Physiol.* 38: 1095-1102.

Streszczenie

Badano wpływ deficytu wody spowodowanego suszą glebową na zawartość wolnej proliny oraz stopień uszkodzenia błon komórkowych w liściach trzech gatunków roślin uprawnych o różnej przydatności gospodarczej i różnych wymaganiach wodnych. Do badań wybrano: uprawianą dla celów dekoracyjnych poinsecję (*Euphorbia pulcherrima* Willd., 'Regina' i 'Cortez'), roślinę warzywniczą brokuł (*Brassica oleracea* var. *botrytis*, subvar. *cymosa*, 'Colonel' i 'Marathon') oraz roślinę zbożową jęczmień (forma dzika *Hordeum spontaneum* oraz *Hordeum vulgare* 'Maresi'). Badane gatunki różniły się wielkością doznanego stresu, największe obniżenie poziomu RWC stwierdzono w liściach brokuła, a nieco mniejsze u jęczmienia. W liściach poinsecji obniżenie poziomu RWC było niewielkie lub nie wystąpiło w ogóle. Różnie też kształtowała się akumulacja wolnej proliny u badanych gatunków. Najwięcej tego aminokwasu gromadziło się w liściach brokuła, ale wzrost jego poziomu miał miejsce dopiero przy silnym odwodnieniu tkanek. W liściach jęczmienia wzrost poziomu proliny był mniejszy niż u brokuła, ale stwierdzono go już przy niewielkim odwodnieniu tkanek. W liściach poinsecji kilkakrotny wzrost poziomu proliny stwierdzono we wczesnym etapie stresu. Poziom tego aminokwasu wzrastał stopniowo w kolejnych terminach i nie zależał od odwodnienia tkanki. Uszkodzenie błon komórkowych wynosiło w liściach jęczmienia 8,5-9,5%, brokuła około 3%, a poinsecji 0-2,6%. W pracy dyskutowana jest rola proliny w zapobieganiu odwodnieniu liści oraz w łagodzeniu skutków odwodnienia badanych gatunków.