



WPLYW DŁUGOTRWAŁEGO DEFICYTU WODY W PODŁOŻU NA WYBRANE PARAMETRY FIZJOLOGICZNE ROŚLIN TRZECH ODMIAN MALINY

Krzysztof Klamkowski, Waldemar Treder, Teresa Orlikowska
Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach

EFFECT OF LONG-LASTING WATER DEFICIT ON SELECTED PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF THREE RASPBERRY CULTIVARS

Streszczenie

W doświadczeniu określono wpływ deficytu wody w podłożu na wybrane parametry fizjologiczne roślin trzech odmian maliny ('Beskid', 'Laszka', 'Latham') uprawianych w szklarni. Wykazano zróżnicowanie reakcji poszczególnych odmian maliny na suszę. Deficyt wody w podłożu ograniczył wymianę gazową oraz potencjał wody w liściach roślin. Największą stabilność aparatu fotosyntetycznego (wyrażoną parametrami wymiany gazowej i fluorescencji chlorofilu) w warunkach suszy stwierdzono w przypadku odmian 'Latham' i 'Laszka'. Deficyt wody spowodował największe ograniczenie intensywności fotosyntezy u roślin odmiany 'Beskid'.

Słowa kluczowe: *Rubus idaeus*, fotosynteza, fluorescencja chlorofilu, transpiracja, potencjał wody

Summary

The response of three raspberry cultivars ('Beskid', 'Laszka', 'Latham') to water deficiency was examined by evaluating selected physiological parameters. Plants were subjected to two different water regimes: optimal irrigation (control), and reduced irrigation. Leaf water potential

in all cultivars was decreased as a result of limited water availability. Genotypes differed in their response to water deficiency. Under water shortage conditions, the rate of CO₂ assimilation was the highest in 'Latham' and 'Laszka'. On the other hand, the severe inhibition of photosynthesis was observed in 'Beskid'. Taking all data into consideration it was concluded that cultivar 'Latham' and 'Laszka' appeared to be more drought resistant which was reflected by enhanced physiological parameters.

Key words: *Rubus idaeus, photosynthesis, chlorophyll fluorescence, transpiration, water potential*

WSTĘP

Malina jest gatunkiem o dużych potrzebach wodnych, wrażliwym na niedobór wody w glebie, zwłaszcza w okresie kwitnienia i dojrzewania owoców. Nawet krótkotrwałe okresy suszy wpływają negatywnie na wzrost i owocowanie maliny (Rebandel i in., 1992; Treder i in., 1993; Koszański, Rumasz-Rudnicka, 2008). Z tego powodu nawadnianie maliny w okresach niedoboru opadów jest korzystnym zabiegiem agrotechnicznym pozwalającym na uzyskanie wysokiego plonu owoców (Treder i in., 1993; Rolbiecki i in., 2002).

Stres spowodowany suszą prowadzi do szeregu fizjologicznych i biochemicznych zmian w organizmie roślinnym. W wyniku hamowania wymiany gazowej, a więc i asymilacji CO₂, dochodzi do redukcji syntezy cukrów. Zmiana dystrybucji substancji pokarmowych powoduje konieczność ograniczenia energochłonnych procesów wzrostu, a w skrajnych przypadkach nawet rozwoju generatywnego. Zahamowanie wzrostu, obniżenie wielkości plonu, a czasem również pogorszenie jego jakości było obserwowane w warunkach niedoboru wody u różnych gatunków roślin uprawnych (Treder, Czynczyk, 1997; Singer i in. 2003; Rolbiecki, Rolbiecki, 2012; Klamkowski i in., 2013; Rzekanowski i in., 2013), w tym maliny (Goulart, 1989; Stoll i in., 2002; Morales i in., 2013).

W badaniach nad nawadnianiem roślin uprawnych coraz większy nacisk kładzie się na poznanie reakcji na suszę nie tylko gatunków roślin ale także poszczególnych odmian. Mogą one mieć bowiem różne wymagania co do warunków środowiska (Bota i in. 2001; Herralde i in. 2001; Klamkowski, Treder 2008, 2011). Odmiany roślin o mniejszych wymaganiach wodnych i/lub wyższej tolerancji na suszę mogą być przydatne na obszarach, gdzie istnieje ograniczony dostęp do źródeł wody. Ma to także znaczenie w technologiach uprawowych stosowanych pod osłonami, gdzie jedynym źródłem wody jest tylko ta podawana przez system nawodnieniowy. W tych warunkach szczególnie ważne staje się oszczędne i racjonalne gospodarowanie wodą i nawozami.

W dostępnej literaturze niewiele jest informacji dotyczących reakcji różnych odmian maliny na deficyt wody. Goulart (1989) stwierdziła większą tolerancję na suszę roślin odmiany 'Titan' niż 'Heritage'. Różnice w natężeniu wymiany gazowej liści odmian 'Heritage' i 'Meeker' wykazali Morales i współautorzy (2013).

Celem przeprowadzonego doświadczenia było określenie wpływu deficytu wody na sprawność aparatu fotosyntetycznego roślin trzech odmian maliny, którą oceniono na podstawie pomiarów parametrów fluorescencji chlorofilu oraz wymiany gazowej.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie przeprowadzono w 2009 roku. Rośliny maliny (odmiany: 'Beskid', 'Laszka', 'Latham') były uprawiane w szklarni w pojemnikach wypełnionych mieszaniną substratu torfowego oraz włókna kokosowego. Zastosowano dwie kombinacje nawodnienia: (i) optymalne nawadnianie – wilgotność podłoża utrzymywana na poziomie 90-100% pojemnikowej pojemności wodnej (PPW) (kontrola), (ii) deficyt wody – wilgotność podłoża utrzymywana na poziomie ok. 50% PPW (stres). Rośliny z obydwu kombinacji były nawadniane automatycznie na podstawie pomiarów wilgotności podłoża (kontrolowanej w sposób ciągły za pomocą sond pojemnościowych ECH2O, Decagon Devices, USA). Rośliny stresowane rosły w warunkach niedoboru wody w podłożu przez cały okres trwania doświadczenia (4 tygodnie). Doświadczenie prowadzono w 5 powtórzeniach. Powtórzenie stanowił pojemnik z rośliną.

Dwukrotnie podczas trwania doświadczenia (w 2 oraz 4 tygodniu) wykonano pomiary intensywności wymiany gazowej, fluorescencji chlorofilu oraz potencjału wody w liściach. Wymianę gazową mierzono za pomocą analizatora LI-6400 (LI-COR, USA), natomiast fluorescencję chlorofilu przy wykorzystaniu fluorymetru OS1-FL (Opti-Sciences, USA). Do pomiaru potencjału wody w liściu użyto komory ciśnieniowej SKMP-1400/40 (Skye Instruments, Wielka Brytania).

Wyniki opracowano statystycznie przy użyciu metody analizy wariancji, a do oceny istotności różnic między średnimi użyto wielokrotnego testu t-Duncan, przy poziomie istotności 5%. Obliczenia wykonano przy użyciu programu Statistica (StatSoft, Polska).

WYNIKI I DYSKUSJA

Stwierdzono istotny wpływ dostępności wody w podłożu na wielkość jej potencjału oraz natężenia wymiany gazowej liści maliny. Deficyt wody

spowodował obniżenie potencjału wody w liściach roślin ocenianych odmian, przy czym w drugim terminie pomiarowym najniższe wartości zarejestrowano w przypadku odmian ‘Beskid’ oraz ‘Laszka’ (Tab. 1).

Tabela 1. Potencjał wody w liściach roślin maliny rosnących w warunkach zróżnicowanego zaopatrzenia w wodę.

Table 1. Leaf water potential of control and drought stressed raspberry plants.

| Odmiana Cultivar | Potencjał wody (MPa) Leaf water potential (MPa) | | | |
|---------------------|--|-----------------------------|--|-----------------------------|
| | Pierwszy termin pomiarowy First sampling date | | Drugi termin pomiarowy Second sampling date | |
| | Kontrola Control | Stres wodny Water stress | Kontrola Control | Stres wodny Water stress |
| ‘Beskid’ | -0,29 a | -0,66 b | -0,27 a | -0,86 c |
| ‘Laszka’ | -0,30 a | -0,56 b | -0,32 a | -0,93 c |
| ‘Latham’ | -0,33 a | -0,61 b | -0,38 a | -0,69 b |

Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy $P < 0,05$ według testu t-Duncana
Means followed by the same letter do not differ significantly at $P < 0.05$ according to Duncan’s multiple-range t-test.

Źródło: własne

Source: own research data

Rośliny rosnące w kulturach bezglebowych pod osłonami są narażone na szybko oddziaływający stres w przypadku niedostatecznego zaopatrzenia w wodę. Z uwagi na ograniczoną ilość podłoża, w którym rosną, ubytki wody są szybkie, szczególnie podczas słonecznych dni, gdy temperatura pod osłonami jest wysoka i rośliny intensywnie transpirują. Wartości potencjału wody zarejestrowane w liściach badanych malin wskazują na stres o niewielkim natężeniu (Hsiao, 1973). Ograniczenie potencjału wody w tkankach roślin rosnących w warunkach suszy było prezentowane na wielu gatunkach roślin uprawnych (Dettori, 1985; Germanà, 1997; Klamkowski, Treder, 2006). W przypadku maliny obniżenie potencjału wody w liściach zostało wykazane przez Goulart (1989), przy czym autorka ta obserwowała zróżnicowanie pomiędzy odmianami ‘Titan’ i ‘Heritage’.

Jedną z pierwszych reakcji roślin na suszę jest zamykanie aparatów szparkowych. Powoduje to zmniejszenie transpiracji, co jest jedną ze strategii chroniącą rośliny przed nadmierną utratą wody (Chaves i in. 2003). Zamykanie aparatów szparkowych prowadzi również do ograniczenia procesu pobierania dwutlenku węgla. Reakcję taką obserwowano u różnych gatunków roślin sadowniczych rosnących w warunkach niedoboru wody w podłożu (Flore i in. 1985; Chandler, Ferree 1990; Klamkowski, Treder 2006, 2008).

Dwa tygodnie po rozpoczęciu doświadczenia nie wykazano znaczących różnic w natężeniu fotosyntezy i transpiracji pomiędzy roślinami ocenianych odmian, rosnącymi w warunkach optymalnej wilgotności podłoża (Tab. 2). Nie stwierdzono także, istotnej redukcji natężenia transpiracji u roślin poddanych działaniu stresu wodnego. Wraz z postępującym niedoborem wody (niższe wartości potencjału wody w liściach), zaobserwowano silne ograniczenie transpiracji u roślin wszystkich odmian (Tab. 3). Zmniejszenie intensywności transpiracji u maliny było obserwowane także w badaniach Morales i współautorów (2013). Autorzy ci wykazali ponadto, że ograniczenie natężenia tego procesu było różne dla odmian ‘Heritage’ i ‘Meeker’.

Tabela 2. Parametry wymiany gazowej oraz fluorescencji chlorofilu roślin trzech odmian maliny w zależności od stopnia zaopatrzenia w wodę (pierwszy termin pomiarowy).

Table 2. Gas exchange and chlorophyll fluorescence related parameters of control and drought stressed raspberry plants (first sampling date).

| Odmiana Cultivar | Natężenie fotosyntezy Photosynthetic rate [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$] | | Natężenie transpiracji Transpiration rate [$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$] | | Przewodność szparkowa Stomatal conductance [$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$] | | Fv/Fm* | |
|---------------------|--|-----------------------------|---|-----------------------------|---|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|
| | kontrola control | stres wodny water stress | kontrola control | stres wodny water stress | kontrola control | stres wodny water stress | kontrola control | stres wodny water stress |
| ‘Beskid’ | 6,06 b | 3,30 a | 1,41 a | 1,19 a | 0,094 b | 0,034 a | 0,77 b | 0,73 a |
| ‘Laszka’ | 5,00 ab | 3,41 a | 1,56 a | 1,32 a | 0,074 ab | 0,038 a | 0,73 a | 0,71 a |
| ‘Latham’ | 5,44 ab | 4,80 ab | 1,89 a | 1,73 a | 0,096 b | 0,060 ab | 0,73 a | 0,72 a |

*Fv/Fm – maksymalna aktywność fotochemiczna/maximum photochemical efficiency.

Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy $P < 0,05$ według testu t-Duncana

Means followed by the same letter do not differ significantly at $P < 0.05$ according to Duncan’s multiple-range t-test.

Źródło: własne

Source: own research data

Jedynie w przypadku odmiany ‘Beskid’ stwierdzono niższe wartości natężenia fotosyntezy u roślin rosnących w warunkach deficytu wody (Tab. 2, 3). W przypadku dwóch pozostałych odmian, w obu terminach pomiarowych nie obserwowano istotnych różnic (w odniesieniu do kontroli). Wyniki takie wskazują na dużą wrażliwość aparatu fotosyntetycznego roślin odmiany ‘Beskid’ na spowodowany niedoborem wody stres, nawet o niewielkim natężeniu. Potwierdzają to obserwacje uzyskane w trakcie pomiarów fluorescencji chlorofilu. Jest to skuteczna metoda umożliwiającą ocenę zmian aktywności aparatu fotosyntetycznego roślin poddanych działaniu stresu (Borkowska 2005; Dąbrowska i in. 2011).

Tabela 3. Parametry wymiany gazowej oraz fluorescencji chlorofilu roślin trzech odmian maliny w zależności od stopnia zaopatrzenia w wodę (drugi termin pomiarowy).

Table 3. Gas exchange and chlorophyll fluorescence related parameters of control and drought stressed raspberry plants (second sampling date).

| Odmiana Cultivar | Natężenie fotosyntezy Photosynthetic rate [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$] | | Natężenie transpiracji Transpiration rate [$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$] | | Przewodność szparkowa Stomatal conductance [$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$] | | Fv/Fm | |
|---------------------|--|-----------------------------------|---|--------------------------------|---|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| | kontrola control | stres wodny water stress | kontrola control | stres wodny water stress | kontrola control | stres wodny water stress | kontrola control | stres wodny water stress |
| 'Beskid' | 5,60 b | 1,78 a | 2,34 de | 0,28 a | 0,092 bc | 0,020 a | 0,79 c | 0,76 ab |
| 'Laszka' | 5,36 b | 3,77 b | 2,78 e | 1,20 bc | 0,102 bc | 0,044 ab | 0,78 bc | 0,76 ab |
| 'Latham' | 5,29 b | 4,30 b | 1,86 cd | 0,95 ab | 0,106 c | 0,050 abc | 0,77 ab | 0,74 a |

Patrz Tab. 2
See Table 2.

Parametr Fv/Fm (potencjalna wydajność fotosystemu II), mierzony po całkowitym zaciemnieniu liścia, może być wykorzystywany jako wskaźnik aktywności fotochemicznej aparatu fotosyntetycznego roślin (Kalaji, Łoboda, 2010). Wartości parametru Fv/Fm potwierdzają różną wrażliwość aparatu fotosyntetycznego roślin badanych odmian na niedobór wody w podłożu (Tab. 2, 3). Dla odmian 'Latham' i 'Laszka' wielkość Fv/Fm w warunkach deficytu wody była obniżona w niewielkim stopniu (w odniesieniu do kontroli), co świadczy o tym, że stres (jak wykazano powyżej o niewielkim natężeniu) nie wpłynął destrukcyjnie na aparat fotosyntetyczny (w sensie jego potencjalnej aktywności). W przypadku odmiany 'Beskid' różnice obserwowane pomiędzy roślinami rosnącymi w warunkach optymalnej i ograniczonej dostępności wody były istotne statystycznie.

Wyniki fluorescencji chlorofilu zdają się więc potwierdzać obserwacje poczynione w trakcie pomiarów natężenia wymiany gazowej. Tempo asymilacji CO_2 u roślin rosnących w warunkach deficytu wody było najwyższe w przypadku odmian 'Latham' i 'Laszka' (Tab. 3). Wynikać to mogło ze sprawnego działania aparatu fotosyntetycznego tych roślin, co zostało wyrażone wartościami parametru Fv/Fm (brak różnic w odniesieniu do kontroli). Ograniczenie asymilacji CO_2 w warunkach suszy u maliny wykazano w badaniach Morales i współautorów (2013) oraz Goulart (1989), która jednak nie stwierdziła znaczących różnic pomiędzy odmianami 'Titan' i 'Heritage'.

Według Yordanova i współautorów (2003) udział regulacji szparkowej w kontrolowaniu procesu fotosyntezy zależy od natężenia stresu. Stoll

i współautorzy (2002) obserwowali redukcję przewodności szparkowej malin w warunkach deficytu wody w podłożu. Według wielu autorów (Chaves, 1991; Cornic, Briantais, 1991; Cornic, 2000), zamykanie aparatów szparkowych jest główną przyczyną obniżenia fotosyntezy w warunkach stresu łagodnego i o średnim nasileniu. Reakcję taką u maliny wykazali Percival i współautorzy (1998). Również w prezentowanym doświadczeniu znaczące ograniczenie przewodności szparkowej stwierdzono tylko u sklasyfikowanej jako wrażliwa na suszę odmiany 'Beskid' (Tab. 2, 3). W przypadku silnego stresu fotosynteza może być w większym stopniu kontrolowana przez zdolność chloroplastów do podtrzymywania reakcji fotosyntetycznych (Herppich, Peckmann, 1997; Yordanov i in., 2001; Klamkowski, Treder, 2006). Istnienie zróżnicowanej reakcji aparatu fotosyntetycznego odmian roślin uprawnych na suszę potwierdzają także obserwacje innych autorów (Bota i in. 2001; Yordanov i in., 2001; Klamkowski, Treder 2008).

WNIOSKI

1. W doświadczeniu wykazano zróżnicowanie reakcji odmian maliny na deficyt wody.
2. W warunkach stresu wodnego stwierdzono wysokie wartości natężenia wymiany gazowej u roślin odmian 'Latham' i 'Laszka'. Wskazuje to na sprawne funkcjonowanie aparatu fotosyntetycznego w warunkach niedoboru wody.
3. Odmiana 'Beskid' zareagowała silnym ograniczeniem aktywności fotosyntetycznej. Świadczy to o wysokiej wrażliwości aparatu fotosyntetycznego roślin tej odmiany na stres spowodowany niedostatkim wody w podłożu.

LITERATURA

- Borkowska, B. (2005). The photosynthetic activity of plants growing under different environmental conditions. *Inter. J. Fruit Sci.*, 5, 3-16.
- Bota, J., Flexas, J., Medrano, H. (2001). Genetic variability of photosynthesis and water use in Balearic grapevine cultivars. *Ann. Appl. Biol.*, 138, 2001, s. 353-361.
- Chandler, C.K., Ferree, D.C. (1990). Response of 'Raritan' and 'Surecrop' strawberry plants to drought stress. *Fruit Var. J.*, 44, 183-185.
- Chaves, M. M. (1991). Effects of water deficits on carbon assimilation. *J. Exp. Bot.*, 42, 1-16.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S. (2003). Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. *Funct. Plant Biol.*, 30, 239-264.

- Cornic, G. (2000). Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plant Science* 5, 187-188.
- Cornic, G., Briantais, J. M. (1991). Partitioning of photosynthetic electron flow between CO₂ and O₂ reduction in a C₃ leaf (*Phaesolus vulgaris* L.) at different CO₂ concentrations and during drought stress. *Planta* 183, 178-184.
- Dąbrowska, J., Ropek, M., Kołton, A. (2011). Fluorescencja chlorofilu a i jej zastosowanie w ocenie stanu zdrowotności roślin. Materiały VI Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych, Kraków, 559-565.
- Dettoni, S. (1985). Leaf water potential, stomatal resistance and transpiration response to different watering in almond, peach and 'Pixy' plum. *Acta Hort.*, 171, 181-186.
- Flore, J.A., Lakso, A.N., Moon, J.W. (1985). The effect of water stress and vapor pressure gradient on stomatal conductance, water use efficiency, and photosynthesis of fruit crops. *Acta Hort.*, 171, 207-218.
- Germanà, C. (1997). Experiences on the response of almond plants (*Amygdalus communis* L.) to water stress. *Acta Hort.*, 449, 497-503.
- Goulart, B.L. (1989). Influence of three soil water levels on micropropagated greenhouse grown red raspberry. *Acta Hort.*, 262, 277-284.
- Herppich, W. B., Peckmann, K. (1997). Responses of gas exchange, photosynthesis, nocturnal acid accumulation and water relations of *Aptenia cordifolia* to short-term drought and rewatering. *J. Plant Physiol.*, 150, 467-474.
- Herralde, F. de, Savé, R., Biel, C., Batlle, I., Vargas, F. J. (2001). Differences in drought tolerance in two almond cultivars: 'Lauranne' and 'Masbovera'. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 56, 149-154.
- Hsiao, T.C. (1973). Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 24, 519-570.
- Kalaji, M.H., Łoboda, T. (2010). Fluorescencja chlorofilu w badaniach stanu fizjologicznego roślin. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Klamkowski, K., Treder, W. (2006). Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress. *Agric. Consp. Sci.*, 71, 159-165.
- Klamkowski, K., Treder, W. (2008). Response to drought stress of three strawberry cultivars grown under greenhouse conditions. *J. Fruit Orn. Plant Res.*, 16, 179-188.
- Klamkowski, K., Treder, W. (2011). Wpływ deficytu wody na wymianę gazową liści, wzrost i plonowanie dwóch odmian truskawki uprawianych pod osłonami. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 5, 105-113.
- Klamkowski, K., Treder, W., Sowik, I., Tryngiel-Gać, A., Masny, A. (2013). Porównanie reakcji trzech odmian truskawki uprawianych w szklarni na deficyt wody. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 1(2), 137-146.
- Koszański, Z., Rumaszk-Rudnicka, E. (2008). Efekty nawadniania roślin jagodowych. *Acta Agroph.*, 11, 437-442.
- Morales, C.G., Pino, M.T., del Pozo, A. (2013). Phenological and physiological responses to drought stress and subsequent rehydration cycles in two raspberry cultivars. *Sci. Hort.*, 162, 234-241.
- Percival, D.C., Proctor, J.T.A., Privé, J.P. (1998). Gas exchange, stem water potential and leaf orientation of *Rubus idaeus* L. are influenced by drought stress. *J. Hort. Sci. Biot.*, 73, 831-840.

- Rebandel, Z., Przysiecka, M., Cofta, H. (1992). Wpływ nawadniania na plonowanie i wzrost maliny odmiany Norna. Pr. Inst. Sad. Ser. C 115-116 (3-4), 69-70.
- Rolbiecki, S., Rolbiecki, R., Rzekanowski, C. (2002). Effect of micro-irrigation on the growth and yield of raspberry (*Rubus idaeus* L.) cv. 'Polana' grown in very light soil. *Acta Hort.*, 585, 653-657.
- Rolbiecki, R., Rolbiecki, S. (2012). Wpływ nawadniania kropłowego na plonowanie dyni olbrzymiej odmiany 'Rou-ge vif d'étampes' uprawianej na glebie bardzo lekkiej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2(1), 191-197.
- Rzekanowski, C., Rolbiecki, S., Rolbiecki, R. (2013). Rola deszczowania i zróżnicowanego nawożenia azotem w kształtowaniu plonu ziemniaka wczesnego odmiany 'Dorota' na glebie lekkiej w rejonie Bydgoszczy. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2(1), 31-41.
- Singer, S.M., Helmy, Y.I., Karas, A.N., Abou-Hadid, A.F. (2003). Influences of different water-stress treatments on growth, development and production of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Hort.*, 614, 605-611.
- Stoll, M., Jones, H.G., Infante, J.M. (2002). Leaf gas exchange and growth in red raspberries is reduced when part of the root system is dried. *Acta Hort.*, 585, 671-676.
- Treder, W., Chlebowska, D., Hołownicki, R. (1993). Effect of irrigation and mulching with black foil on yielding of raspberry cv. Canby. *Acta Hort.*, 352, 129-132.
- Treder, W., Czynczyk, A. (1997). Effect of drip irrigation on growth, flowering and yield of Lobo apple. *J. Fruit Ornament. Plant Res.* 5(2), 61-67.
- Yordanov, I., Tsonev, T., Velikova, V., Georgieva, K., Ivanov, P., Tsenov, N., Petrova, T. (2001). Changes in CO₂ assimilation, transpiration and stomatal resistance of different wheat cultivars experiencing drought under field conditions. *Bul. J. Plant Physiol.* 27, 20-33.
- Yordanov, I., Velikova, V., Tsonev, T. (2003). Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulg. J. Plant Physiol.*, Special Issue 2003, 187-206.

Dr Krzysztof Klamkowski, Prof. dr hab. Waldemar Treder,
Prof. dr hab. Teresa Orlikowska
Instytut Ogrodnictwa
96-100 Skierniewice, ul. Konstytucji 3 Maja 1/3
Tel. 46 8345238 e-mail: Krzysztof.Klamkowski@inhort.pl

Wpłynęło: 12.01.2015

Akceptowano do druku: 26.06.2015