



ZASTOSOWANIE REGULOWANEGO DEFICYTU NAWADNIANIA (RDI) W POJEMNIKOWEJ UPRAWIE KRZEWÓW OZDOBNYCH

Michał Koniarski, Bożena Matysiak
Institut Ogrodnictwa w Skierniewicach

APPLICATION OF REGULATED DEFICIT IRRIGATION (RDI) IN CONTAINER PRODUCTION OF ORNAMENTAL SHRUBS

Streszczenie

Nawadnianie w szkółkach roślin ozdobnych ze względu na specyfikę produkcji i różnorodność uprawianych gatunków, wymaga dużych ilości wody. Niedostosowanie natężenia nawodnienia do potrzeb wodnych roślin jest przyczyną pogorszenia ich jakości i wymaga dużych nakładów pracy związanych z kontrolą wzrostu. Odpowiednie nawadnianie umożliwia regulację wzrostu i rozwoju roślin, zmniejszenie zużycia wody oraz kosztów związanych z nakładem pracy. W konsekwencji może istotnie wpływać na poprawę konkurencyjności szkółki, a także ograniczać zagrożenie ekologiczne spowodowane nieracjonalnie wysokim wykorzystaniem naturalnych zasobów wodnych. Regulowany deficyt nawadniania (*Regulated Deficit Irrigation* RDI), to metoda polegająca na ograniczeniu lub całkowitym zaprzestaniu nawadniania w określonej fazie rozwojowej roślin, w sposób nie powodujący ich uszkodzeń, pogorszenia jakości, kwitnienia, plonowania roślin lub trwałości pozbiorniczej. Okresowy niedobór wody zastosowany w odpowiednim czasie i natężeniu umożliwia kontrolę wzrostu i rozwoju roślin, a ponadto pozwala znacząco ograniczyć zużycie wody w ich produkcji. Metoda ta jest skuteczna w ograniczaniu zużycia wody i poprawie plonowania wielu gatunków roślin sadowniczych. Przeprowadzone w ostatnich latach eksperymenty dowodzą pozytywnego wpływu stosowania kontrolowanych deficytów

nawadniania w uprawie krzewów ozdobnych. W pracy omówiono fizjologiczne podstawy odporności drzew i krzewów ozdobnych na deficytowe nawadnianie oraz potencjalne możliwości wykorzystania metody regulowanego deficytu nawadniania (RDI) w produkcji szkółkarskiej.

Słowa kluczowe: metoda regulowanego nawadniania (RDI), regulacja wzrostu i rozwoju roślin, szkółka roślin ozdobnych, uprawa przyjazna środowisku

Summary

Irrigation of ornamental plants nurseries because of the diversity of species grown there, requires considerable water supplies. The using of inappropriate intensity of irrigation in relation to water needs of plants is the cause of the deterioration of their quality and requires a significant investment of work related to control of their growth. Suitable irrigation enables the control of plant growth and development and also the reduction of water resources used and the costs associated with the labour. As a consequence, it may affect significantly the improvement of the competitiveness of the nursery and the reduction of the environment hazard caused by unreasonably high use of natural water resources. Regulated Deficit Irrigation (RDI) is a method consists in limitation or in complete cessation of irrigation during the appropriate plant development phase, in a way that it does not cause damage, deterioration of quality, flowering, crop yield and post-harvest stability. The periodic water deficit applied at the appropriate time and with suitable intensity allows to control plant growth and development, and also reduces water using during their growing significantly. This method has proved to be effective in reducing water using and improving yield in many species of fruit plants. The potential application of RDI to ornamental shrubs growing has received less attention. However, in recent years conducted experiments have demonstrated the positive impact of the use of controlled deficit irrigation in the cultivation of this group of plants. This paper discusses the physiological basis of resistance of trees and shrubs on deficit irrigation, and the potential use of Regulated Deficit Irrigation method (RDI) in nursery production.

Key words: regulation of growth and development of plants, ornamental plant nursery, environmentally-friendly cultivation

WSTĘP

Woda staje się coraz bardziej deficytowym zasobem naturalnym na całym świecie ze względu na zwiększające się zapotrzebowanie, zanieczyszczenie

oraz niewłaściwe zarządzanie jej zasobami. Stosunkowo dużym poborem wody charakteryzuje się rolnictwo, a jednocześnie gospodarowanie wodą w tym sektorze jest mało efektywne. Szczególnym działem rolnictwa charakteryzującym się wysoką intensywnością produkcji, a tym samym dużym zużyciem wody jest ogrodnictwo. Szkółkarstwo roślin ozdobnych, będące jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się sektorów z branży ogrodniczej w Polsce, charakteryzuje się znaczącym udziałem roślin uprawianych w pojemnikach. Powodzenie tej uprawy jest więc całkowicie uzależnione od efektywnego nawadniania. Deszczowanie jest najczęściej stosowanym systemem nawodnieniowym w szkółkach roślin ozdobnych (Marosz 2013), a jednocześnie najmniej efektywnym i zużywa bardzo duże ilości wody. Szacuje się, że dzienny wydatek wody w okresie letnim wynosi 140.000-375.000 l na hektar (Svenson i inni 1997). Fare i inni (1992) oraz Beeson i Brooks (2008) podają, że zużycie wody do nawadniania w szkółkach pojemnikowych sięga 25 mm dziennie i 2900 mm rocznie. W zależności od rozstawy pojemników oraz wielkości i kształtu części nadziemnej roślin, zaledwie 25-37% wody trafia do pojemników i tylko 13-20% jest wykorzystywane przez rośliny (Weatherspoon i Harrell 1980, Beeson i Brooks 2008). Pozostała część przedostaje się do środowiska, a wraz z nią związki biogenne, przyczyniając się do eutrofizacji i zanieczyszczenia ekosystemów wodnych (Grant i inni 2008). Pogłębiająca się dysharmonia pomiędzy zwiększającym się zapotrzebowaniem a zmniejszającą się dostępnością do dobrej jakości wody, skłania naukowców na całym świecie do opracowywania metod racjonalnego gospodarowania wodą w produkcji roślin (Fereses i Soriano 2007). Jedną z bardziej obiecujących i perspektywicznych metod jest strategia regulowanego deficytu nawadniania (*RDI Regulated Deficit Irrigation*). Polega ona na ograniczeniu lub całkowitym zaprzestaniu nawadniania w określonej fazie rozwojowej roślin, w sposób nie powodujący uszkodzeń, pogorszenia ich jakości, zakłócenia kwitnienia, spadku plonowania roślin lub pogorszenia trwałości pozbiorczej. W literaturze dostępnych jest szereg prac dotyczących zastosowania metody RDI w uprawie roślin sadowniczych i warzywnych, które wskazują na możliwość znaczącego zmniejszenia zużycia wody w czasie uprawy (Kang i inni 2002, Einhorn i Caspari 2004, Pavel i Villiers 2004, Girona i inni 2005, Gencoğlan i inni 2006, Leib i inni 2006, Gijón i inni 2009, Iniesta i inni 2009, Egea i inni 2012, Romero i Martinez-Cutillas 2012, Mounzer i inni 2013), jak również dowodzą możliwości poprawy jakości owoców oraz zwiększenia plonowania (Pulupol i inni 1996, Acevedo-Opazo i inni 2010, Garcia-Tejero i inni 2010, Guang-Cheng i inni 2010, Marsal i inni 2010, Santesteban i inni 2011, Intriglidio i inni 2013). Dużo mniej uwagi poświęcono zastosowaniu metody RDI w uprawie krzewów ozdobnych. Tymczasem wdrożenie tej metody w szkółkach roślin ozdobnych mogłoby przynieść znaczące korzyści ekonomiczne i środowiskowe (Costa i inni 2007). Wymaga to jednak poznania reakcji poszczególnych gatunków roślin na niedostatek wody w podłożu w ich różnych fazach rozwojowych.

Celem pracy jest przegląd dostępnej literatury dotyczącej fizjologicznych podstaw odporności drzew i krzewów ozdobnych na deficytowe nawadnianie oraz potencjalnego wykorzystania metody regulowanego deficytu nawadniania (RDI) w produkcji szkółkarskiej.

FIZJOLOGICZNE PODSTAWY ODPORNOŚCI DRZEW I KRZEWÓW OZDOBNYCH NA DEFICYTOWE NAWADNIANIE

Klasyczna metoda deficytowego nawadniania (DI Deficit Irrigation) polega na dostarczaniu wody roślinom w ilościach mniejszych niż ewapotranspiracja (ET) w całym sezonie wegetacyjnym (Fererres i Soriano 2007). Metoda regulowanego deficytu nawadniania (RDI) opiera się na założeniu, że wrażliwość roślin na stres suszy nie jest jednakowa w poszczególnych fazach rozwojowych roślin, a zmniejszenie lub nawet zaprzestanie nawadniania w pewnych okresach wzrostu może poprawić efektywność wykorzystania wody przez rośliny, znacząco obniżyć jej zużycie, a nawet poprawić jakość roślin (Loveys i inni 2004, Cameron i inni 2006). Wiadomo jednak, że niedobór wody w podłożu prowadzi do szeregu zmian fizjologicznych i biochemicznych w roślinach. Przetrawanie niekorzystnych warunków jest możliwe, gdy organizm wykaże zdolność do szybkiej reakcji przez uruchomienie mechanizmów obronnych (Zollinger i inni 2006). Jedną z nich jest zamykanie aparatów szparkowych, co powoduje zmniejszenie transpiracji. Aparaty szparkowe składają się z dwóch komórek szparkowych, które są wrażliwe na sygnały środowiskowe (światło, wilgotność, temperatura, CO₂) i fizjologiczne (fitohormony, Ca⁺²) (Chaves i inni 2002). Zamknięcie szparek wynikające ze strategii obronnej chroniącej rośliny przed nadmierną utratą wody, powoduje drastyczne zwiększenie oporów dyfuzyjnych nie tylko dla wody, ale także dla dwutlenku węgla, prowadząc do zahamowania fotosyntezy, a w konsekwencji produkcji biomasy. W czasie suszy maleją zasoby wodne w glebie powodując spadek jej potencjału. Ponieważ siłą motoryczną ruchu wody jest gradient potencjałów wody: gleba – roślina, w czasie suszy pojawia się konieczność stopniowego obniżania jej potencjału w roślinach. W ślad za tymi zmianami obniża się turgor komórek, co jest wynikiem przystosowania się roślin do warunków suszy i częściowej dehydratacji komórek.

Zmiany potencjału wody w liściach (Cameron i inni 1999, Goldhamer i inni 2002), potencjału osmotycznego komórek (Marsal i inni 1997) oraz elastyczności komórek (Fan i inni 1994) pojawiają się w zależności od nasilenia i czasu trwania suszy. Największą wrażliwością na deficyt wody charakteryzuje się proces wzrostu, szczególnie elongacyjnego, który jest ściśle uzależniony od turgoru, elastyczności i plastyczności ściany komórkowej oraz błon cytoplazmatycznych. Spadek turgoru rosnących komórek hamuje ten proces. Zahamowanie wzrostu komórek liścia powodujący ograniczenie jego

powierzchni jest reakcją rośliny na umiarkowany stres wodny (Sánchez-Blanco i inni 2004, Bañon i inni 2006). Deficyt wody skutkuje także ograniczeniem wydłużania pędów i korzeni, chociaż te ostatnie są w mniejszym stopniu narażone na deficyt wody niż pęd, co jest rodzajem reakcji obronnej rośliny przed suszą. Rozbudowany system korzeniowy kosztem innych organów umożliwia sprawniejsze wykorzystanie ograniczonych zasobów wody. Regulowany deficyt nawadniania hamuje wzrost wegetatywny krzewów ozdobnych (Cameron i inni 1999 i 2006), co może mieć istotne znaczenie w przypadku, gdy bujny wzrost pędów jest niepożądany i wymaga pracochłonnego zabiegu ich przycinania. Rośliny o zwartym pokroju, mniejszych blaszkach liściowych i rozbudowanym systemie korzeniowym lepiej adaptują się do warunków siedliskowych po przesadzeniu do gruntu na miejsce stałe (Sánchez-Blanco i inni 2004, Franco i inni 2006, Mushtaq i Moghaddasi 2011) oraz lepiej znoszą stresi abiotyczne, w tym deficyt wody w podłożu (Villar-Salvador i inni 2004, Cameron i inni 2008).

REGULOWANY DEFICYT NAWADNIANIA (RDI) W UPRAWIE KRZEWÓW OZDOBNYCH

Tolerancja krzewów ozdobnych na deficyt wody w podłożu jest różna i zależy od gatunku, odmiany, fazy rozwojowej roślin, długości i nasilenia stresu, co warunkuje potencjalne możliwości wykorzystania metody RDI w produkcji szkółkarskiej.

Cornus alba ‘Elegantissima’ jest popularnym krzewem o silnym wroście. Intensywne nawadnianie derenia sprzyja silnemu wzrostowi krzewów w szkółce. Ograniczone nawadnianie (0,5 ET) przez 7-tygodniowy okres uprawy w szkółce hamuje wzrost wydłużeniowy pędów i umożliwia uzyskanie krzewów o zwartym pokroju i wyrównanym wroście (Davis i inni 2010).

Cotinus coggygria jest atrakcyjnym krzewem wytwarzającym długie, słabo rozgałęzione pędy. Metoda RDI może być wykorzystana do kształtowania pokroju roślin w szkółkach. Ograniczenie nawadniania w ciągu 6 tygodni (0,5 ET), począwszy od połowy sierpnia hamuje wzrost wydłużeniowy pędów i wysokość roślin odmiany ‘Royal Purple’, natomiast liczba pędów bocznych oraz liczba węzłów nie ulega zmianie (Cameron i inni 2008).

Forsythia × intermedia jest krzewem silnie rosnącym, powszechnie uprawianym w polskich szkółkach. W produkcji szkółkarskiej krzewy są przycinane w celu zahamowania wzrostu wydłużeniowego pędów i uzyskania rozkrzewionych roślin o zwartym pokroju, co ułatwia obrót roślinami w handlu. Metoda RDI umożliwia uzyskanie lepszej jakości roślin przy zastosowaniu deficytu nawadniania $< 0,7$ ET, a wdrożenie tej metody do praktyki szkółkarskiej może ograniczyć zużycie wody w szkółkach komercyjnych od 50 do 90 % (Cameron i inni 2004, Davies i inni 2010). Dobrą jakość forsycji

'Weekend' można uzyskać ograniczając nawadnianie (0,5 ET) w okresie od przy-cięcia krzewów (pod koniec czerwca) do końca okresu uprawy w szkółce (Davies i inni 2010). Deficyt nawadniania (0,5-0,75 ET) nie wpływa na liczbę zawiązy-wanych pąków kwiatowych u odmian 'Lynwood' i 'Weekend', ale ze względu na krótsze międzywęzła pędów, większa liczba kwiatów przypada na jednostkę długości pędu, przez co krzewy forsycji są bardziej dekoracyjne (Cameron i inni 2004). Bardzo silne ograniczenie nawadniania (0,25 ET) w dłuższym okresie czasu skutkuje zwiększeniem temperatury liści i licznymi uszkodzeniami blaszek liściowych, a w konsekwencji pogorszeniem jakości (Cameron i inni 2006). Ograniczone nawadnianie forsycji powoduje przemykanie aparatów szparko-wych, zmniejszenie potencjału wody w liściach, hamuje wzrost wydłużeniowy pędów oraz powierzchni blaszek liściowych oraz powoduje zmiany zawartości ABA i pH w soku naczyń ksylemu. Metoda RDI może być wykorzystana jako sposób kondycjonowania krzewów forsycji w ostatnim okresie uprawy w szkół-ce, w celu uzyskania roślin lepiej znoszących stres suszy w kolejnych etapach, np. w okresie sprzedaży lub po przesadzeniu do gruntu (Cameron i inni 2008).

Lonicera periclymenum 'Graham Thomas' to silnie rosnące pnącze. In-tensywne nawadnianie powoduje silne wydłużanie pędów. Ograniczone nawad-nianie (0,5 ET) przez 7-tygodniowy okres uprawy w szkółce hamuje wzrost wydłużeniowy pędów, umożliwia uzyskanie roślin o zwartym pokroju i wyrów-nanym wzroście. Bardzo silny deficyt nawadniania (0,25 ET) w tym okresie sil-nie hamuje wzrost pędów, ale nie wywołuje objawów uszkodzeń roślin (Davis i inni 2010).

Rhododendron to różnorodna grupa krzewów ozdobnych o dużym zna-czeniu gospodarczym. Stres niedoboru wody w glebie może stymulować zawią-zywanie pąków kwiatowych u roślin i być formą ochrony przed wyginieniem poprzez wytwarzanie organów reprodukcyjnych. W przypadku roślin z rodzaju *Rhododendron* może to mieć duże znaczenie, gdyż decyduje o dekoracyjności i wartości handlowej roślin. Sharp i inni (2009) wykazali, że deficyt wody sty-muluje kwitnienie azalii 'Hatsugiri' z grupy *Kurume* poprzez przyspieszenie procesu inicjacji kwitnienia oraz zwiększa liczbę pąków kwiatowych w kwia-tostanach. Deficyt wody przedłużony poza okres inicjacji kwitnienia może po-wodować rozwój pąków kwiatowych bez konieczności przejścia okresu chłodu u tych roślin. Obiecujące wyniki zastosowania RDI w pojemnikowej uprawie *Rhododendron yakushimanum* 'Hoppy', związane z ograniczeniem nadmier-nego wzrostu elongacyjnego oraz poprawy kwitnienia, uzyskali także Came-ron i inni (1999) oraz Sharp i inni (2009). Umiarkowany deficyt nawadniania (0,7-0,75 ET) trwający 8 tygodni w okresie lipca i sierpnia ogranicza wzrost wydłużeniowy pędów, zwiększa liczbę kwiatów w pąkach kwiatostanowych oraz poprawia jakość półtorarocznych (Cameron i inni 1999) oraz 2,5-letnich krzewów (Sharp i inni 2009). Jednakże zbyt silny deficyt nawadniania (0,25 ET) zmniejsza liczbę pąków kwiatostanowych zawiązywanych na roślinach. Metoda

RDI może być szczególnie przydatna w pojemnikowej uprawie odmian wywodzących się z *Rhododendron catawbiense* (Koniarski i Matysiak 2013a), charakteryzujących się bujnym wzrostem i dość silnym wzrostem pędów. Umiarowany (0,75 ET) lub silny (0,5 ET) deficyt nawadniania utrzymywany przez 14 tygodniowy okres uprawy odmiany 'Catawbiense Boursault' i 'Old Port', jak również silny deficyt nawadniania (0,5 ET) zastosowany w początkowym 5-tygodniowym okresie oraz końcowym 5-tygodniowym okresie uprawy ogranicza wzrost wydłużeniowy pędów, poprawia pokrój krzewów oraz ich jakość. Zmniejszona intensywność nawadniania w ciągu 4-tygodniowego okresu odpowiadającemu fazie inicjacji kwitnienia zwiększa liczbę pąków kwiatostanowych, przy czym odmiana 'Old Port' wymaga zastosowania bardzo silnego deficytu nawadniania w tym okresie (0,25 ET), a odmiana 'Catawbiense Boursault' bardzo silnego (0,25 ET) lub silnego deficytu nawadniania (0,5 ET).

Syringa meyeri 'Palibin' to popularny krzew uprawiany w szkółkach ze względu na regularny pokrój i dekoracyjne kwiaty. Po przesadzeniu do gruntu na miejsce stałe i zaadaptowaniu do nowych warunków jest dość odporny na suszę. Ograniczone nawadnianie (0,5 ET) w początkowym 5-tygodniowym okresie oraz końcowym 5-tygodniowym okresie uprawy, pozwala zaoszczędzić 18% wody bez pogorszenia jakości i wartości handlowej produkowanych roślin (Koniarski i Matysiak 2013b). Rośliny tak traktowane mają mniejsze liście, krótsze pędy i bardziej zwarty pokrój, w porównaniu do roślin nawadnianych przez cały 18 tygodniowy okres uprawy, przy zastosowaniu stałych dawek wody (1,0 ET). Długotrwały umiarkowany (0,75 ET) oraz silny (0,5 ET) deficyt nawadniania istotnie zmniejsza przewodnictwo szparkowe liści, zwiększa transpirację, obniża maksymalną kwantową wydajność fotosyntezy określaną na podstawie fluorescencji chlorofilu (Fv/Fm) oraz silnie hamuje wzrost i pogarsza jakość roślin.

PODSUMOWANIE

Metoda regulowanego deficytu nawadniania (RDI) może przynieść wiele potencjalnych korzyści w uprawie drzew i krzewów ozdobnych. Zużycie wody w produkcji szkółkarskiej, jest w porównaniu z innymi sektorami z branży ogrodniczej bardzo wysokie. Znaczący udział w produkcji szkółkarskiej mają rośliny uprawiane w pojemnikach. Substraty stosowane do upraw pojemnikowych charakteryzują się małą pojemnością wodną, co wymaga częstego nawadniania. Metoda RDI pozwala znacząco (nawet do 50%) zaoszczędzić ilość wody używanej w pojemnikowej produkcji roślin, dzięki czemu mniejsze są koszty produkcji. Metoda RDI jest przyjazna środowisku, gdyż poza zmniejszeniem zużycia wody w szkółce, ogranicza wyciek nawozów i środków ochrony roślin do środowiska.

Dzięki zastosowaniu metody RDI można uzyskać krzewy o wyrównanym wzroście, zawartym pokroju i lepszej jakości. Może to mieć szczególne znaczenie w przypadku roślin silnie rosnących, słabo krzewiących się i o długich międzywęźlach. Aby uzyskać rośliny dobrze rozkrzewione, o zwartym pokroju i wyrównanym wzroście, niezbędne jest pracochłonne przycinanie roślin lub stosowanie regulatorów wzrostu. Właściwe zastosowanie metody RDI może zastąpić konieczność stosowania tych zabiegów. Zmniejszona intensywność nawadniania podczas uprawy w okresie inicjacji kwitnienia, może być także stosowana w celu zwiększenia liczby pąków kwiatowych i lepszego kwitnienia niektórych gatunków. Rośliny uprawiane w warunkach umiarkowanej suszy gromadzą w tkankach więcej węglowodanów oraz charakteryzują się sprawniejszą gospodarką wodną, mają mniejsze liście, silniej rozbudowany system korzeniowy oraz zwiększony stosunek masy korzeni do części nadziemnej, co ułatwia ich adaptację do nowych warunków po posadzeniu na miejsce stałe. Krzewy takie łatwiej przyjmują się po przesadzeniu, szybciej podejmują wzrost i lepiej znoszą stres suszy w późniejszym okresie. Krzewy ozdobne dobrze znoszące stres suszy po przesadzeniu na miejsce stałe, powinny znaleźć szerokie zastosowanie nie tylko w ogrodach, ale także w terenach zurbanizowanych, przydrożnych, gdzie zazwyczaj panują silne niedobory wody w glebie.

Praca wykonana w ramach projektu „Integrowane nawadnianie szkółek roślin ozdobnych” IRRINURS. Projekt NCBR (PBS) nr 245695.

LITERATURA

- Acevedo-Opazo, C., Ortega-Farias, S., Fuentes, S. (2010). *Effects of grapevine (Vitis vinifera L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation*. Agricultural Water Management, 97, 956-964.
- Bañón, S., Ochoa, J., Franco, J., Alarcón, J., Sánchez-Blanco, M. (2006). *Hardening of oleander seedlings by deficit irrigation and low air humidity*. Environmental and Experimental Botany, 56, 36-43.
- Beeson, R.C., Brooks, J. (2008). *Evaluation of a model based on reference crop evapotranspiration (ET_o) for precision irrigation using overhead sprinklers during nursery production of Ligustrum japonica*. Acta Horticulturae, 792, 85-90.
- Cameron, R.W.F., Harrison-Murray, R.S., Scott, M.A. (1999). *The use of controlled water stress to manipulate growth of container-grown Rhododendron cv Hoppy*. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 74(2), 161-169.
- Cameron, R.W.F., Wilkinson, S., Davies W.J. (2004). *Regulation of plant growth in container-grown ornamentals through the use of controlled irrigation*. Acta Horticulturae, 630, 305-312.

- Cameron, R.W.F, Harrison-Murray, R.S., Atkinson, C.J., Judd, H.L. (2006). *Regulated deficit irrigation – a means to control growth in woody ornamentals*. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 81, 435-443.
- Cameron, R.W.F., Harrison-Murray, R.S., Fordham, M., Wilkinson, S., Davies, W.J., Atkinson, C.J., Else, M. (2008). *Regulated irrigation of woody ornamentals to improve plant quality and precondition against drought stress*. Annals of Applied Biology, 15, 49-61.
- Costa, J., Ortuño, M., Chaves, M. (2007). *Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture*. Journal of Integrative Plant Biology, 49, 1421-1434.
- Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P.P., Osorio, M.L. (2002). *How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth*. Annals of Botany, 907-916.
- Davies, W.J., Bacon, M.A., Sharp, R.G., Jones, H.G., Schofield, P., Atkinson, C.J., Grant, O.M., York, M. (2010). *Enhancing the quality of hardy nursery stock and sustainability of the industry through novel water-saving techniques*. Horticultural Development Company: HNS 97b Final report, 98-108.
- Egea, G., Nortes, P.A., Domingo, R., Baille, A., Perez-Pastor, A., Gonzalez-Real, M.M. (2012). *Almond agronomic response to long-term deficit irrigation applied since orchard establishment*. Irrigation Science, 31, 445-454.
- Einhorn, T., Caspari, H.W. (2004). *Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'Gala' apples in a semi-arid climate*. Acta Horticulturae, 664, 197-204.
- Fan, S., Blake, T.J., Blumwald, E. (1994). *The relative contribution of elastic and osmotic adjustments to turgor maintenance of woody species*. Physiologia Plantarum, 90, 408-413.
- Fare, D., Gilliam, C.H., Keever, G.J. (1992). *Monitoring irrigation at container nurseries*. HortTechnology, 2, 75-78.
- Fereres, E., Soriano, M.A. (2007). *Deficit irrigation for reducing agricultural water use*. Journal of Experimental Botany, 58, 147-159.
- Franco, J.A., Martínez-Sánchez, J.J., Fernández, J.A., Bañón, S. (2006). *Selection and nursery production of ornamental plants for landscaping and xerogardening in semi-arid environments*. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 81, 3-17.
- García-Tejero, I., Jiménez-Bocanegra, J.A., Martínez, G., Romero, R., Durán-Zuazo, V.H., Muriel-Fernández, J.L. (2010). *Positive impact of regulated deficit irrigation on yield and fruit quality in a commercial citrus orchard (Citrus sinensis (L.) Osbeck, cv. Salustiano)*. Agricultural Water Management, 97, 614-622.
- Gencoğlan, C., Altunbey, H., Gencoğlan, S. (2006). *Response of greenbean (P. vulgaris L.) to subsurface drip irrigation and partial rootzone-drying irrigation*. Agricultural Water Management, 84, 274-280.
- Gijón, M.C., Guerrero, J., Couceiro, J.F., Moriana, A. (2009). *Deficit irrigation without reducing yield or nut splitting in pistachio (Pistacia vera cv. 'Kerman' on Pistacia terebinthus L.)*. Agronomic Water Management, 96, 12-22.

- Girona, J., Gelly, M., Mata, M., Arbones, A., Rufat, J., Marsal, J. (2005). *Peach tree response to single and combined deficit irrigation regimes in deep soils*. *Agricultural Water Management*, 72, 97-108.
- Goldhamer, D.A., Salinas, M., Crisosto, C., Day, K.R., Soler, M., Moriana, A. (2002). *Effects of regulated deficit irrigation and partial root drying on late harvest peach tree performance*. *Acta Horticulturae*, 592, 343-350.
- Grant, O.M, Davies, M.J, Longbottom, H., Atkinson, C.J. (2008). *Irrigation scheduling and irrigation systems: optimising irrigation efficiency for container ornamental shrubs*. *Irrigation Science*, 27, 139-153.
- Guang-Cheng, S., Nac, L., Zhan-Yua, Z., Shuang-Ena, Y., Changren, C. (2010). *Growth, yield and water use efficiency response of greenhouse-grown hot pepper under time-space deficit irrigation*. *Scientia Horticulturae*, 126, 172-179.
- Iniesta, F., Testi, L., Orgaz, F., Villalobos, F.J. (2009). *The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees*. *European Journal of Agronomy*, 30, 258-265.
- Intrigliolo, D.S., Bonet, L., Nortes, P.A., Puerto, H., Nicolas, E., Bartual, J. (2013). *Pomegranate trees performance under sustained and regulated deficit irrigation*. *Irrigation Science*, 31(5), 959-970.
- Kang, S., Hu, X., Goodwin, I., Jerie, P. (2002). *Soil water distribution, water use and yield response to partial rootzone drying under a shallow groundwater table condition in a pear orchard*. *Scientia Horticulturae*, 92, 277-291.
- Koniarski, M., Matysiak, B. (2013a). *Growth and development of potted rhododendron cultivars 'Catawbiense Boursault' and 'Old Port' in response to regulated deficit irrigation*. *Journal of Horticultural Research*, 21(1), 29-37.
- Koniarski, M., Matysiak, B. (2013b). *Effect of regulated deficit irrigation on growth, flowering and physiological responses of potted Syringa meyeri 'Palibin'*. *Acta Agrobotanica*, 66(4), 73-80.
- Leib, B.G., Caspari, H.W., Redulla, C.A., Andrews, P.K., Jabro, J.J. (2006). *Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semiarid climate*. *Irrigation Science*, 24, 85-99.
- Loveys, B.R., Stoll, M., Davies, W.J. (2004). *Physiological approaches to enhance water use efficiency in agriculture: Exploiting plant signaling in novel irrigation practice*. W: Bacon MA, ed. *Water Use Efficiency in Plant Biology*. Blackwell Publishing, UK, 113-141.
- Marosz, A. (2013). *Systemy nawadniania i zużycie wody w szkółkach roślin ozdobnych w Polsce na podstawie badań ankietowych*. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3, 137-152.
- Marsal, J., Girona, J., Merce, M. (1997). *Leaf water relation parameters in almond compared to hazelnut trees during a deficit irrigation period*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 122, 582-587.
- Marsal, J., Lopez, G., del Campo, J., Mata, M., Arbones, A., Girona, J. (2010). *Postharvest regulated deficit irrigation in 'Summit' sweet cherry: fruit yield and quality in the following season*. *Irrigation Science*, 28, 181-189.

- Mounzer, O., Pedrero-Sacedo, F., Nortes, P.A., Bayona, J.M., Nicolas, E., Alarcon, J.J. (2013). *Transient soil salinity under the combined effect of reclaimed water and regulated deficit drip irrigation on Mandarin trees*. Agricultural Water Management, 120, 23-29.
- Mushtaq, S., Moghaddasi, M. (2011). *Evaluating the potentials of deficit irrigation as an adaptive response to climate change and environmental demand*. Environmental Science and Policy, 14, 1139-1150.
- Pavel, E.W., Villiers, A.J. (2004). *Responses of mango trees to reduced irrigation regimes*. Acta Horticulturae, 646, 63-68.
- Pulupol, LU., Behboudian, MH., Fisher KJ. (1996). *Growth, yield and postharvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation*. Horticultural Science, 31, 926-929.
- Romero, P., Martinez-Cutillas, A. (2012). *The effects of partial root-zone irrigation and regulated deficit irrigation on the vegetative and reproductive development of field-grown Monastrell grapevines*. Irrigation Science, 30, 377-396.
- Sánchez-Blanco, J., Ferrández, T., Navarro, A., Bañon, S., Alarcón, J.J. (2004). *Effects of irrigation and air humidity preconditioning on water relations, growth and survival of Rosmarinus officinalis plants during and after transplanting*. Journal of Plant Physiology, 161, 1133-1142.
- Santesteban, L.G., Miranda, C., Royo, J.B. (2011). *Regulated deficit irrigation effects on growth, yield, grape quality and individual anthocyanin composition in Vitis vinifera L. cv. 'Tempranillo'*. Agricultural Water Management, 98, 1171-1179.
- Svenson, S.E., Adams, D.R., Ticknor, R.L. (1997). *Slow and steady*. American Nurseryman, 177, 50-59.
- Sharp, R.G., Else, M.A., Cameron, R.W., Davies, W.J. (2009). *Water deficits promote flowering in Rhododendron via regulation of pre and post initiation development*. Scientia Horticulturae, 120(4), 511-517.
- Villar-Salvador, P., Planelles, R., Enriquez, E., Penuelas Rubira, J.R. (2004). *Nursery cultivation regimes, plant functional attributes, and field performance relationships in the Mediterranean oak Quercus ilex L.* Forest Ecology and Management, 196, 257-266.
- Weatherspoon, D.M., Harrell, C.C. (1980). *Evaluation of drip irrigation for container production of woody landscape plants*. HortScience, 15, 488-489.
- Zollinger, N., Kjelgren, R., Cerny-Koenig, T., Kopp, K., Koenig, R. (2006). *Drought responses of six ornamental herbaceous perennials*. Scientia Horticulturae, 109(3), 267-274.

Dr hab. Bożena Matysiak, prof. IO
Tel.: 46 834 53 83
e-mail: Bozena.Matysiak@inhort.pl
Mgr Michał Koniarski
Tel.: 46 834 54 77
e-mail: Michal.Koniarski@inhort.pl

Instytut Ogrodnictwa
96-100 Skierniewice
ul. Konstytucji 3 maja 1/3

Wpłynęło: 5.01.2015

Akceptowano do druku: 17.04.2015