



PORÓWNANIE REAKCJI TRZECH ODMIAN TRUSKAWKI UPRAWIANYCH W SZKLARNI NA DEFICYT WODY

*Krzysztof Klamkowski, Waldemar Treder, Iwona Sowik, Anna Tryngiel-Gać,
Agnieszka Masny*

Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach

COMPARISON OF RESPONSE OF THREE STRAWBERRY CULTIVARS GROWN UNDER GREENHOUSE CONDITIONS TO WATER DEFICIENCY

Streszczenie

W doświadczeniu określono wpływ deficytu wody w podłożu na wybrane parametry fizjologiczne, wzrost i plonowanie roślin trzech odmian truskawki ('Elsanta', 'Elkat', 'Grandarosa') uprawianych w szklarni. Wykazano zróżnicowanie reakcji poszczególnych odmian truskawki na suszę. Deficyt wody w podłożu (potencjał wody był utrzymywany na poziomie -30 kPa) ograniczył aktywność fotosyntetyczną oraz potencjał wody w liściach roślin. Największą stabilność aparatu fotosyntetycznego (wyrażoną parametrami wymiany gazowej i fluorescencji chlorofilu) w warunkach suszy stwierdzono w przypadku odmiany 'Elsanta'. Rośliny tej odmiany charakteryzowały się także najwyższym plonowaniem, co wskazywałoby na jej większą odporność na niedobór wody w podłożu. Deficyt wody spowodował największe ograniczenie intensywności fotosyntezy, wzrostu oraz wielkości plonowania u roślin odmiany 'Elkat'.

Słowa kluczowe: *Fragaria ananassa*, fotosynteza, fluorescencja chlorofilu, transpiracja, wzrost

Summary

The response of three strawberry cultivars ('Elsanta', 'Elkat', 'Grandarosa') to drought was examined by evaluating the yield and selected morphological and physiological parameters. Plants were subjected to two different water regimes: optimal irrigation (control), and reduced irrigation (water potential in the growing medium was maintained at a level -30 kPa, stress treatment). Genotypes

differed in their response to water deficiency. Under water shortage conditions, the rate of CO₂ assimilation and efficiency of photosynthetic apparatus (expressed by chlorophyll fluorescence parameters) were the highest in 'Elsanta'. On the other hand, the severe inhibition of photosynthesis was observed in 'Elkat', which corresponded to the reduced biomass production. Taking all data into consideration it was concluded that cultivar 'Elsanta' appeared to be more drought resistant which was reflected by enhanced physiological and yield parameters.

Key words: *Fragaria ananassa, photosynthesis, chlorophyll fluorescence, transpiration, growth*

WSTĘP

Rośliny rosnące w naturalnych siedliskach, a także uprawiane przez człowieka narażone są na działanie niekorzystnych czynników środowiska. Jednym z nich jest niedobór wody [Starck i in. 1995]. Stres suszy prowadzi do szeregu fizjologicznych i biochemicznych zmian w organizmie roślinnym. W wyniku hamowania wymiany gazowej, a więc i asymilacji CO₂, dochodzi do ograniczenia syntezy cukrów. Zmiana dystrybucji substancji pokarmowych powoduje konieczność ograniczenia energochłonnych procesów wzrostu, a w skrajnych przypadkach nawet rozwoju generatywnego. Zahamowanie wzrostu, słabsze zawiązywanie owoców oraz obniżenie wielkości plonu a czasem również pogorszenie jego jakości było obserwowane podczas suszy u różnych gatunków roślin uprawnych [Boyer 1970, Singer i in. 2003].

Truskawka jest rośliną wrażliwą na suszę. Wrażliwość ta związana jest z relatywnie dużą powierzchnią liści, wysoką zawartością wody w wytwarzanych owocach oraz płytkim i niezbyt rozległym systemem korzeniowym [Matušković 1999, Treder 2003]. W badaniach nad nawadnianiem roślin uprawnych coraz większy nacisk kładzie się na poznanie reakcji na suszę już 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]. We wcześniejszych pracach [Chandler, Ferree 1990, Klamkowski, Treder 2008] wykazano istnienie takiego zróżnicowania także pomiędzy odmianami truskawki. Odmiany roślin o mniejszych wymaganiach wodnych i/lub wyższej odporności 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.

Doświadczenie jest kontynuacją badań, w których porównywana była tolerancja na suszę nowych odmian truskawki, także wyhodowanych w Instytucie Ogródnictwa. Celem doświadczenia było określenie wpływu deficytu wody na sprawność aparatu fotosyntetycznego, wzrost oraz plonowanie trzech odmian truskawki uprawianej w szklarni.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie przeprowadzono w 2012 roku w szklarni Instytutu Ogrodnictwa w Skierniewicach. Sadzonki truskawki (*Fragaria x ananassa* Duchesne) typu 'frigo' odmiany 'Elsanta' 'Elkat' oraz 'Grandarosa' posadzono do pojemników (ok. 18 dm³) wypełnionych mieszaniną substratu torfowego oraz perlitu (3:1). Przygotowano dwie kombinacje nawodnieniowe: (i) optymalne nawadnianie – potencjał wody w podłożu był utrzymywany powyżej (-)10 kPa (kontrola), (ii) deficyt wody – potencjał wody utrzymywany był na poziomie średnio (-)30 kPa. Rośliny stresowane otrzymywały obniżone dawki wody od momentu wykształcenia dwóch liści. Nawadnianie było prowadzone poprzez system kroplowy z wykorzystaniem mierników wilgotności podłoża (sondy pojemnościowe) automatycznie sterujących zaworami. Potencjał wody w podłożu kontrolowany był przy pomocy sond MPS-1 (Decagon Devices, USA). Doświadczenie przygotowano w 4 powtórzeniach. Powtórzenie stanowił pojemnik z 5 roślinami.

W celu oceny stanu fizjologicznego roślin przeprowadzono pomiary natężenia wymiany gazowej, fluorescencji chlorofilu oraz potencjału wody w liściach. Pomiary wykonano 60 dni po rozpoczęciu doświadczenia (koniec kwitnienia). Fluorescencję Chl *a* mierzono fluorymetrem MINI-PAM (Walz, Niemcy) na liściach całkowicie zaciemnionych oraz po ich naświetleniu. Do oceny reakcji roślin na suszę wybrano trzy parametry: maksymalną (potencjalną) aktywność fotochemiczną (Fv/Fm), efektywną (rzeczywistą) aktywność fotochemiczną (Yield) oraz wygaszanie fotochemiczne (qP). Natężenie wymiany gazowej określono przy wykorzystaniu analizatora LCpro+ (ADC Bioscientific, Wielka Brytania) zaopatrzonego w sztuczne źródło światła. Przed rozpoczęciem pomiarów parametry w komorze pomiarowej (temperatura, natężenie napromieniania i stężenie CO₂) ustawiano tak, aby były jak najbardziej zbliżone do warunków panujących w otoczeniu, w celu uniknięcia konieczności długotrwałej aklimatyzacji liścia w komorze. Pomiary fluorescencji i wymiany gazowej wykonano na dwóch liściach z każdej rośliny. Potencjał wody mierzono za pomocą komory ciśnieniowej SKMP-1400/40 (Skye Instruments, Wielka Brytania) na 10 liściach z każdej kombinacji (pomiar destrukcyjny).

Wielkość plonowania roślin określono w trakcie trwania doświadczenia. Po jego zakończeniu oznaczono masę liści i korzeni metodą wagową oraz powierzchnię liści przy pomocy zestawu do analizy obrazu z oprogramowaniem WinDias 2.0 (Delta-T Devices, Wielka Brytania).

Wyniki opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji. Do oceny istotności różnic między średnimi użyto wielokrotnego testu rozstępu Duncana przyjmując poziom istotności 5%. Obliczenia wykonano przy użyciu programu Statistica (StatSoft, Polska).

WYNIKI I DYSKUSJA

O sile oddziaływania stresu wodnego na roślinę decyduje jego natężenie i czas trwania. Według Hsiao [1973] stres łagodny występuje w warunkach gdy potencjał wody w roślinie obniży się o dziesiąte części megapaskala. Umiarkowany stres wodny to obniżenie potencjału wody o -1,2 do -1,5 MPa. Natomiast w przypadku spadku potencjału wody o więcej niż -1,5 MPa mamy do czynienia ze stresem silnym.

Deficyt wody w podłożu spowodował obniżenie potencjału wody w liściach roślin ocenianych odmian, przy czym różnice pomiędzy roślinami rosnącymi w warunkach optymalnego zaopatrzenia w wodę a stresowanymi mieściły się w zakresie nie przekraczającym 1,4 MPa. Według opisaną powyżej klasyfikacji sugeruje to, że rośliny były narażone na oddziaływanie stresu o umiarkowanym natężeniu. Tego typu kryteria, mimo, że należy traktować je z ostrożnością, mogą być pomocne przy porównaniu reakcji na suszę odmian danego gatunku w określonym przedziale czasu (np. w trakcie trwania określonej fazy rozwojowej).

Rośliny rosnące w kulturach bezglebowych pod osłonami są narażone na silny i szybki 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. W doświadczeniu rośliny stresowane otrzymywały ograniczone dawki wody w trakcie całego okresu wegetacji. Nie obserwowano objawów wędnięcia nawet przy najniższych zarejestrowanych wartościach potencjału wody w liściach (-1,83 MPa). Jest to zbieżne z obserwacjami poczynionymi przez Sruamsiri i Lenza [1986], którzy sugerowali, że u truskawki wartości potencjału wody w liściu wynoszące ok. -1 MPa stanowią punkt progowy stresu, -1,7 MPa to punkt początkowy wędnięcia, a przy potencjale równym -2,5 MPa zachodzą nieodwracalne zmiany w procesach życiowych.

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. Reakcją taką obserwowano u wielu gatunków roślin sadowniczych rosnących w warunkach niedoboru wody w podłożu [Flore i in. 1985; Chandler, Ferree 1990, Klamkowski, Treder 2006].

W warunkach optymalnej wilgotności podłoża najwyższe natężenie wymiany gazowej zarejestrowano w przypadku roślin odmiany 'Elkat' (tab. 1). Deficyt wody spowodował ograniczenie intensywności fotosyntezy i transpiracji u roślin tej odmiany odpowiednio o ok. 66% i 69% (w odniesieniu do kontroli). W przypadku odmiany 'Elsanta' redukcja natężenia wymiany gazowej wynosiła

ok. 16% (fotosynteza) i ok. 27% (transpiracja), a dla odmiany 'Grandarosa' odpowiednio 47% i 53%. Ograniczenie asymilacji CO₂ w warunkach stresu suszy u roślin truskawki różnych odmian wykazano także we wcześniejszych badaniach [Klamkowski, Treder 2008].

Tabela 1. Parametry wymiany gazowej oraz fluorescencji chlorofilu roślin trzech odmian truskawki w zależności od stopnia zaopatrzenia w wodę
Table 1. Gas exchange and chlorophyll fluorescence related parameters of control and drought stressed strawberry plants

Odmiana Cultivar	Natężenie fotosyntezy Photosynthetic rate [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]		Natężenie transpiracji Transpiration rate [$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]		Fv/Fm*		Yield**		qp***	
	kontrola control	stres stress	kontrola control	stres stress	kontrola control	stres stress	kontrola control	stres stress	kontrola control	stres stress
'Elsanta'	6,77 c	5,69 bc	2,36 c	1,72 b	0,82 a	0,81 a	0,14 c	0,097 b	0,21 c	0,13 ab
'Elkat'	9,49 d	3,21 a	2,90 d	0,91 a	0,82 a	0,82 a	0,12 bc	0,059 a	0,16 bc	0,086 a
'Grandarosa'	7,45 c	3,96 ab	2,60 cd	1,22 a	0,83 a	0,81 a	0,14 c	0,071 a	0,17 bc	0,093 a

*Fv/Fm - maksymalna aktywność fotochemiczna/maximum photochemical efficiency

**Yield - rzeczywista aktywność fotochemiczna/actual photochemical efficiency

***qp - wygaszanie fotochemiczne/photochemical quenching

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

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

Źródło: własne.

Jak wykazano powyżej, fotosynteza jest procesem fizjologicznym bardzo wrażliwym na niedobór wody. Fluorescencja chlorofilu jest skuteczną metodą umożliwiającą ocenę zmian aktywności aparatu fotosyntetycznego roślin w warunkach stresu [Borkowska 2005; Dąbrowska i in. 2011].

Wartości wybranych parametrów fluorescencji chlorofilu wskazywały na różną wrażliwość aparatu fotosyntetycznego roślin badanych odmian na suszę (tab. 1). Parametr Fv/Fm jest uznawany za wiarygodny wskaźnik wydajności fotosyntetycznej rośliny [Dąbrowska i in. 2011]. Jego wartość w warunkach deficytu wody była obniżona w niewielkim stopniu (wartości zbliżone do 0,83) co świadczy o tym, że stres (jak wykazano powyżej o umiarkowanym natężeniu) nie wpłynął destrukcyjnie na aparat fotosyntetyczny (w sensie jego potencjalnej aktywności). Znacznie więcej o stanie aparatu fotosyntetycznego można powiedzieć analizując parametry charakteryzujące jego faktyczną (aktualną) sprawność w określonych warunkach środowiska: Yield (Y) parametr opisujący rzeczywistą aktywność fotosystemu II oraz qp (wygaszanie fotochemiczne), który określa poziom efektywności przekształcania energii świetlnej na energię che-

miczną niezbędną do przemian w ciemniowej fazie fotosyntezy (cykl Calvina). W doświadczeniu stwierdzono różnice wielkości tych parametrów pomiędzy roślinami badanych odmian, rosnącymi w zróżnicowanych warunkach wilgotności podłoża. Rośliny odmian 'Elkat' i 'Grandarosa' reagowały na stres silnym spadkiem Y (odpowiednio o ok. 51 i 49% w porównaniu do kontroli). W przypadku odmiany 'Elsanta' wartość tego parametru obniżyła się o ok. 31%, co wskazuje na sprawniejsze funkcjonowanie aparatu fotosyntetycznego, a przez to większą tolerancję roślin tej odmiany na suszę. Rezultatem wyższej aktywności fotochemicznej było efektywniejsze wytwarzanie energii chemicznej (qP). Na uwagę zasługują stosunkowo wysokie wartości wygaszania fotochemicznego obserwowane u odmiany 'Elsanta'. Dla roślin tej odmiany spadek wartości qP pod wpływem stresu wynosił ok. 38%, podczas gdy dla pozostałych odmian przekraczał 45%. Podobną charakterystykę aktywności fotosyntetycznej truskawki podczas suszy zaprezentowali Razavi i współautorzy [2008]. Autorzy ci, mimo braku symptomów destrukcji aparatu fotosyntetycznego (stabilne wartości Fv/Fm), stwierdzili zmniejszenie efektywności jego wykorzystania (Y, qP) w warunkach stresu. Należy przy tym zwrócić uwagę, że poziom natężenia stresu został przez autorów określony jako „łagodny” (różnica w wartości potencjału wody w liściach dla roślin nawadnianych i stresowanych nie przekraczała 0,5 MPa). Obserwacje te mogą wskazywać na niewielką przydatność parametru Fv/Fm do oceny porównawczej tolerancji różnych genotypów truskawki na stres suszy (zwłaszcza o małym i średnim natężeniu). W kilku pracach prowadzonych na różnych gatunkach roślin obserwowano, że parametr ten zmieniał się tylko w przypadku oddziaływania stresu o silnym natężeniu [Ogren 1990, Reynolds i in. 2012].

Wyniki fluorescencji chlorofilu zdają się potwierdzać obserwacje poczynione podczas pomiarów natężenia wymiany gazowej. Tempo asymilacji CO₂ u roślin rosnących w warunkach deficytu wody było najwyższe w przypadku odmiany 'Elsanta'. Wynikać to mogło ze sprawniejszego działania aparatu fotosyntetycznego tych roślin, co zostało wyrażone wartościami parametrów Y oraz qP.

Proces wzrostu charakteryzuje się wysoką wrażliwością na deficyt wody i jego hamowanie jest jedną z pierwszych reakcji roślin na suszę [Boyer 1970, Hsiao 1973]. W doświadczeniu obserwowano istotne różnice w budowie morfologicznej roślin rosnących w warunkach optymalnego i ograniczonego zaopatrzenia w wodę (tab. 2, 3). Susza spowodowała ograniczenie rozwoju powierzchni liści oraz systemu korzeniowego roślin truskawki. Najsilniejsze zahamowanie wzrostu stwierdzono u roślin odmiany 'Elkat'. Powierzchnia liści u roślin tej odmiany była mniejsza o ok. 72%, a masa korzeni o ok. 54% w porównaniu z kontrolą. Najmniejsze ograniczenie wzrostu wykazano dla roślin odmiany 'Grandarosa'. Wyniki wskazują, że w warunkach stresu u roślin badanych odmian miało miejsce silniejsze ograniczenie wzrostu części nadziemnej

niż korzeni. Może to być rodzajem strategii obronnej rośliny przed suszą. Rozbudowa systemu korzeniowego (kosztem części nadziemnej) przez rośliny rosnące w warunkach suszy umożliwi maksymalne wykorzystanie ograniczonych zasobów wody [Gehrmann, Lenz 1991; Buwalda, Lenz 1992].

Tabela 2. Parametry morfologiczne roślin trzech odmian truskawki w zależności od stopnia zaopatrzenia w wodę

Table 2. Growth related parameters of control and drought stressed strawberry plants

Odmiana Cultivar	Świeża masa liści Fresh weight of leaves [g roślina ⁻¹] [g plant ⁻¹]		Powierzchnia liści Total leaf surface area [cm ² roślina ⁻¹] [cm ² plant ⁻¹]	
	kontrola control	deficyt wody water deficit	kontrola control	deficyt wody water deficit
'Elsanta'	20,09 c	8,59 b	593,08 cd	307,22 b
'Elkat'	12,98 b	3,58 a	460,63 c	131,27 a
'Grandarosa'	32,03 d	17,63 c	971,19 e	643,41 d

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.

Deficyt wody w podłożu spowodował ograniczenie plonowania roślin wszystkich badanych odmian truskawki (tab. 3). Największy plon w warunkach suszy uzyskano z roślin odmiany 'Elsanta'. Wysoki plon owoców otrzymano także z odmiany 'Grandarosa', lecz spadek wielkości plonowania w przypadku roślin stresowanych (o ok. 42% w stosunku do kontroli) był wyższy w porównaniu z odmianą 'Elsanta' (ok. 26%). Redukcja plonowania było najwyższa (ok. 63%) w przypadku odmiany 'Elkat'. Uzyskane wyniki są potwierdzeniem obserwacji poczynionych w trakcie wcześniejszych badań prowadzonych na odmianach 'Elsanta' oraz 'Elkat' [Kłamkowski, Treder 2008]. Według Boty i współautorów [2001] odmiany bardziej odporne na suszę są często mniej produktywne gdy rosną w warunkach optymalnych. Podobne obserwacje poczynili Chandler and Ferree [1990] porównując reakcję na suszę dwóch odmian truskawki. W doświadczeniu tych autorów, rośliny odmiany 'Surecrop' (charakteryzujące się większą odpornością na suszę), rosnące w warunkach optymalnego zaopatrzenia w wodę wydały mniejszy plon w porównaniu z mniej odporną odmianą 'Raritan'. W naszych badaniach nie obserwowano takiej reakcji, rośliny odmiany 'Elsanta' rosnące w warunkach optymalnej wilgotności podłoża oraz deficytu wody wydały najwyższy plon spośród wszystkich ocenianych odmian.

Tabela 3. Parametry morfologiczne oraz wielkość plonowania roślin trzech odmian truskawki w zależności od stopnia zaopatrzenia w wodę.

Table 3. Fruit yield and growth related parameters of control and drought stressed strawberry plants.

Odmiana Cultivar	Świeża masa korzeni Fresh weight of roots [g roślin ⁻¹] [g plant ⁻¹]		Plon Yield [g roślin ⁻¹] [g plant ⁻¹]	
	kontrola control	deficyt wody water deficit	kontrola control	deficyt wody water deficit
'Elsanta'	13,65 c	6,54 ab	859,45 f	635,05 e
'Elkat'	8,41 b	3,88 a	200,50 b	73,40 a
'Grandarosa'	20,90 d	14,87 c	505,55 d	294,05 c

Objaśnienia jak w tabeli 2

Explanation, see Table 2

Źródło: własne.

WNIOSKI

1. W doświadczeniu wykazano zróżnicowanie reakcji trzech odmian truskawki na suszę.

2. Pod wpływem niedoboru wody stwierdzono obniżenie aktywności fotosyntetycznej u roślin badanych odmian. Większą stabilność aparatu fotosyntetycznego w warunkach stresu wykazywała odmiana 'Elsanta' oraz 'Grandarosa'.

3. Rośliny odmiany 'Grandarosa' charakteryzowały się intensywnym wzrostem w warunkach deficytu wody. Jednocześnie stwierdzono znaczne ograniczenie plonowania roślin tej odmiany.

4. Spośród badanych odmian najniższą odpornością na niedobór wody w podłożu charakteryzowały się rośliny odmiany 'Elkat', u których stwierdzono najsilniejsze zahamowanie wzrostu oraz największą redukcję plonowania.

5. Z porównywanych odmian najwyżej plonowała 'Elsanta'. Morfologiczne i fizjologiczne adaptacje umożliwiły roślinom tej odmiany utrzymanie wzrostu i plonowania przy ograniczonym dostępie wody.

BIBLIOGRAFIA

- Borkowska B. *The photosynthetic activity of plants growing under different environmental conditions*. Inter. J. Fruit Sci., 5, 2005, s. 3-16.
- Bota J., Flexas J., Medrano H. *Genetic variability of photosynthesis and water use in Balearic grapevine cultivars*. Ann. Appl. Biol., 138, 2001, s. 353-361.
- Boyer J. S. *Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials*. Plant Physiol., 46, 1970, s. 233-235.
- Buwalda J. G., Lenz F. *Effects of cropping, nutrition and water supply on accumulation and distribution of biomass and nutrients for apple trees on 'M.9' root systems*. Physiol. Plant., 84, 1992, s. 21-28.

- Chandler C.K., Ferree D.C. *Response of 'Raritan' and 'Surecrop' strawberry plants to drought stress*. Fruit Var. J., 44, 1990, s. 183-185.
- Chaves M.M., Maroco J.P., Pereira J.S. *Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant*. Funct. Plant Biol., 30, 2003, s. 239-264.
- Dąbrowska J., Ropek M., Kołton A. *Fluorescencja chlorofilu a i jej zastosowanie w ocenie stanu zdrowotności roślin*. Materiały VI Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych, Kraków, 2011, s. 559-565.
- Flore J.A., Lakso A.N., Moon J.W. *The effect of water stress and vapor pressure gradient on stomatal conductance, water use efficiency, and photosynthesis of fruit crops*. Acta Hort., 171, 1985, s. 207-218.
- Gehrmann H., Lenz F.R. *Wasserbedarf und Einfluß von Wassermangel bei Erdbeere. I. Blattflächenentwicklung und Trockensubstanzverteilung*. Erwerbsobstbau, 33, 1991, s. 14-17.
- Herralde F. de, Savé R., Biel C., Batlle I., Vargas F. J. *Differences in drought tolerance in two almond cultivars: 'Lauranne' and 'Masbovera'*. Cahiers Options Méditerranéennes, 56, 2001, s. 149-154.
- Hsiao T.C. *Plant responses to water stress*. Ann. Rev. Plant Physiol., 24, 1973 s. 519-570.
- Klamkowski K., Treder W. *Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress*. Agric. Conspec. Sci., 71, 2006, 159-165.
- Klamkowski K., Treder W. *Response to drought stress of three strawberry cultivars grown under greenhouse conditions*. J. Fruit Ornament. Plant Res., 16, 2008, s. 179-188.
- Matušková J. *Irrigation – strawberry, the problem also of the 21 st. century*. Proceedings of International Symposium on New Approaches in Irrigation, Drainage and Flood Control Management. Bratislava, Slovak Republic, 1999.
- Ogren E. *Evaluation of chlorophyll fluorescence as a probe for drought stress in willow leaves*. Plant Physiol., 93, 1990, s. 1280-1285.
- Razavi F., Pollet B., Steppe K., Labeke M.C. *Chlorophyll fluorescence as a tool for evaluation of drought stress in strawberry*. Photosynthetica, 46, 2008, 631-633.
- Reynolds M.P., Pask A.J.D., Mullan D. (Eds). *Physiological breeding I: Interdisciplinary approaches to improve crop adaptation* [online]. CIMMYT, Meksyk, 2012, 174 ss. <http://repository.cimmyt.org/xmlui/handle/10883/1287?show=full> [dostęp: 4.03.2013]
- Singer S.M., Helmy Y.I., Karas A. N., Abou-Hadid A.F. *Influences of different water-stress treatments on growth, development and production of snap bean (Phaseolus vulgaris L.)*. Acta Hort., 614, 2003, s. 605-611.
- Sruamsiri P., Lenz F. *Photosynthese und stomatares Verhalten bei Erdbeeren (Fragaria x ananassa Duch.)*. VI. Einfluß von Wassermangel. Gartenbauwissenschaft, 51, 1986, s. 84-92.
- Starck Z., Chołuj D., Niemyska B. *Fizjologiczne reakcje roślin na niekorzystne czynniki środowiska*. Wyd. SGGW, Warszawa, 1995, 168 ss.
- Treder W. *Nawadnianie plantacji truskawek jako czynnik warunkujący jakość owoców*. Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Truskawkowej, Skierniewice, 2003, s. 88-92.

Krzysztof Klamkowski, Waldemar Treder, Iwona Sowik, Anna Tryngiel-Gać, Agnieszka Masny

Dr Krzysztof Klamkowski
Tel. 46 8345238
e-mail: krzysztof.klamkowski@inhort.pl

Prof. dr hab. Waldemar Treder
Tel. 46 8345246
e-mail: waldemar.treder@inhort.pl

Dr Iwona Sowik
Tel. 46 8345381
e-mail: iwona.sowik@inhort.pl

Mgr Anna Tryngiel-Gać
Tel. 46 8345329
e-mail: anna.gac@inhprt.pl

Dr Agnieszka Masny
Tel. 46 8345273
e-mail: agnieszka.masny@inhort.pl

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