

Krzysztof Klamkowski, Waldemar Treder

**WPLYW DEFICYTU WODY
NA WYMIANĘ GAZOWĄ LIŚCI, WZROST
I PLONOWANIE DWÓCH ODMIAN TRUSKAWKI
UPRAWIANYCH POD OSŁONAMI**

***EFFECT OF WATER DEFICIT
ON GAS EXCHANGE PARAMETERS, GROWTH AND YIELD
OF TWO STRAWBERRY CULTIVARS GROWN UNDER
GREENHOUSE CONDITIONS***

Streszczenie

W doświadczeniu określono wpływ deficytu wody w podłożu na wybrane parametry fizjologiczne, wzrost i plonowanie roślin dwóch odmian truskawki uprawianych w szklarni. Niedobór wody w podłożu (-30 kPa) był utrzymywany poprzez ograniczenie nawadniania. W doświadczeniu wykazano zróżnicowanie reakcji dwóch odmian truskawki na suszę. W warunkach stresu u roślin odmiany ‘Sonata’ stwierdzono mniejsze zahamowanie rozwoju systemu korzeniowego oraz powierzchni liściowej w porównaniu z ‘Elsantą’. Na podstawie pomiarów parametrów fizjologicznych (natężenia fotosyntezy i transpiracji), których stosunek wyraża efektywność wykorzystania wody, wykazano, że rośliny odmiany ‘Sonata’ charakteryzują się sprawniejszą regulacją stosunków wodnych. W warunkach optymalnego zaopatrzenia w wodę rośliny obu odmian wydały plon podobnej wielkości. Niedobór wody spowodował większe ograniczenie plonowania w przypadku roślin odmiany ‘Elsanta’.

Słowa kluczowe: *Fragaria ananassa*, fotosynteza, transpiracja, wzrost, stres suszy

Summary

The response of two strawberry cultivars (‘Elsanta’, ‘Sonata’) 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. Cultivar 'Sonata' presented high rates of net photosynthesis with high value of water use efficiency (a ratio of photosynthetic rate to transpiration rate) under water shortage conditions. Drought stress reduced leaf area in all cultivars, but root development was retarded only in 'Elsanta'. Under water deficiency conditions reduction of yield was higher for 'Elsanta'. 'Sonata' appeared to be more drought resistant which was reflected by both growth and yield parameters.

Key words: *Fragaria ananassa, photosynthesis, transpiration, growth, water stress*

WSTĘP

Niedobór wody jest jednym z ważniejszych czynników ograniczających plonowanie roślin uprawnych. 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 [Matušковиč 1999; Treder 2003].

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 stosunków troficznych oraz 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; Gehrman 1985; Singer i in. 2003].

W badaniach nad nawadnianiem roślin uprawnych coraz większy nacisk kładzie się na poznanie reakcji na suszę poszczególnych odmian a nie tylko gatunków roślin. Różne odmiany mogą mieć bowiem odmienne wymagania co do warunków środowiska [Bota i in. 2001; Herralde i in. 2001]. Odmiany roślin o mniejszych wymaganiach wodnych i/lub wyższej odporności na suszę mogą być przydatne na obszarach gdzie istnieje ograniczony dostęp do źródeł wody lub w sytuacjach gdzie oszczędności wynikłe z ograniczonego nawadniania będą równoważyć straty związane z obniżeniem plonu [Chandler, Ferree 1990]. Ma to szczególne znaczenie w technologiach uprawowych stosowanych pod osłonami gdzie jedynym źródłem wody jest tylko ta podawana przez system nawodnieniowy, a więc dąży się do jak najbardziej oszczędnego zużycia wody i nawozów.

W doświadczeniu określono wpływ deficytu wody w podłożu na wybrane parametry fizjologiczne, wzrost i plonowanie roślin dwóch odmian truskawki uprawianych w szklarni.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie przeprowadzono w 2010 roku w szklarni Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarstwa im. Szczepana Pieniążka w Skierniewicach. Sadzonki truskawki (*Fragaria x ananassa* Duchesne) typu 'frigo' odmiany 'Elsanta' oraz 'Sonata' posadzono do pojemników (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, Inc., USA). Doświadczenie przygotowano w 4 powtórzeniach. Powtórzenie stanowił pojemnik z posadzonymi 5 roślinami.

W celu oceny stanu fizjologicznego roślin przeprowadzono pomiary natężenia wymiany gazowej oraz potencjału wody w liściach. Pomiary wykonano 60 dni po rozpoczęciu doświadczenia (koniec kwitnienia). Wymianę gazową mierzono przy wykorzystaniu analizatora LI-6400 (LI-COR Inc, USA) zaopatrzonego w sztuczne źródło światła. Przed rozpoczęciem pomiarów parametry w komorze pomiarowej (temperatura, natężenie napromieniowania 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 wykonano na dwóch liściach z każdej rośliny. Potencjał wody mierzono za pomocą komory ciśnieniowej SKMP-1400/40 (Skye Instruments Ltd, Wielka Brytania) na 10 roślinach z każdej kombinacji.

Wielkość plonowania roślin określono w trakcie trwania doświadczenia. Po jego zakończeniu ocenie poddano wzrost roślin. Masę liści oraz korzeni określono metodą wagową. Do pomiaru powierzchni liści wykorzystano zestaw do analizy obrazu z oprogramowaniem WinDias 2.0 (Delta-T Devices Ltd, 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 7.1 (StatSoft Inc., USA).

WYNIKI I DYSKUSJA

W warunkach optymalnego zaopatrzenia w wodę nie stwierdzono znaczących różnic potencjału wody w liściach roślin badanych odmian (tab. 1). Istotne obniżenie potencjału wody obserwowano u roślin rosnących w warunkach jej

deficytu, przy czym większą redukcję (o ok. 91%) stwierdzono w przypadku odmiany 'Elsanta'.

Tabela 1. Potencjał wody w liściu oraz współczynnik efektywności wykorzystania wody roślin dwóch odmian truskawki w zależności od stopnia zaopatrzenia w wodę

Table 1. Leaf water potential and water use efficiency of control and drought stressed strawberry plants

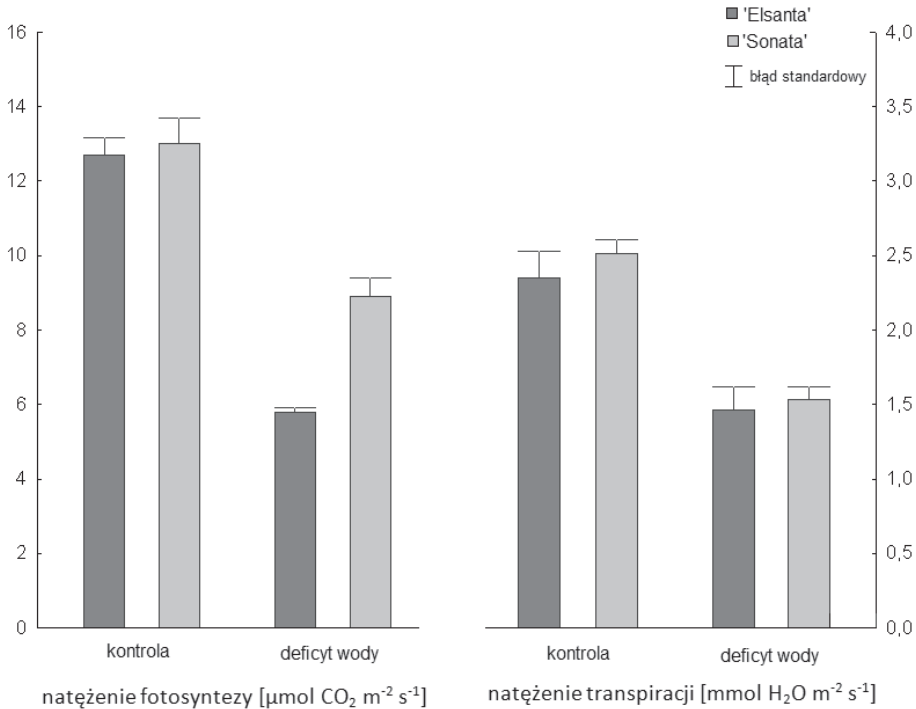
Odmiana Cultivar	Potencjał wody Water potential [MPa]		Efektywność wykorzystania wody Water use efficiency [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]	
	kontrola control	deficyt wody water deficit	kontrola control	deficyt wody water deficit
'Elsanta'	-0,87 b	-1,66 a	5,48 b	4,04 a
'Sonata'	-0,96 b	-1,39 a	5,16 ab	5,86 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.

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. Jest to zgodne z obserwacjami poczynionymi przez Sruamsiri i Lenza [1986], którzy sugerowali, że u truskawki wartości potencjału wody w liściu wynoszące -1 MPa stanowią punkt progowy stresu, $-1,7 \text{ MPa}$ to punkt początkowy wędnięcia, a przy potencjale równym $-2,5 \text{ MPa}$ 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. Reakcję 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 doświadczeniu nie obserwowano różnic w natężeniu wymiany gazowej (fotosyntezy i transpiracji) w przypadku roślin rosnących w warunkach optymalnej wilgotności podłoża (rys. 1). Deficyt wody spowodował ograniczenie intensywności fotosyntezy i transpiracji u roślin odmiany 'Elsanta' odpowiednio o ok. 54 i 37% w odniesieniu do kontroli. W przypadku odmiany 'Sonata' redukcja natężenia wymiany gazowej wynosiła ok. 31% (fotosynteza) i ok. 39% (transpiracja).



Rysunek 1. Wymiana gazowa roślin dwóch odmian truskawki w zależności od stopnia zaopatrzenia w wodę

Figure 1. Gas exchange of control and drought stressed strawberry plants

Aby zintegrować wyniki dotyczące zmian w natężeniu wymiany gazowej wyznaczono współczynnik opisujący stosunek fotosyntezy do transpiracji. Jest to jeden ze wskaźników używanych do wyrażenia efektywności wykorzystania wody przez rośliny (WUE – water use efficiency). Parametr ten używany był w wielu pracach do oceny stosunków wodnych oraz odporności różnych gatunków roślin na suszę [Flore i in. 1985; Escalona i in. 1999]. Współczynnik wykorzystania wody może być określony na kilka sposobów. W niniejszej pracy został on wyliczony na podstawie bezpośrednich pomiarów fotosyntezy i transpiracji [Sinclair i in. 1984; Pietkiewicz i in. 2005].

Wartości WUE różniły się zależnie od odmiany oraz warunków wzrostu (dostępności wody). W przypadku kontroli nie obserwowano istotnych różnic dla roślin badanych odmian, natomiast w warunkach ograniczonego zaopatrzenia w wodę, wskaźnik WUE był wyższy dla roślin odmiany 'Sonata' (tab. 1).

Wysokie wartości współczynnika WUE w warunkach stresu wynikają z charakteru zależności między asymilacją węgla a przewodnością szparkową. Ograniczenie utraty wody (transpiracji) następuje bowiem szybciej i w więk-

szym stopniu niż inhibicja fotosyntezy [Chaves i in. 2003; Pietkiewicz i in. 2005]. Wyniki te świadczą o fakcie, że pomimo, iż w warunkach stresu ograniczenie asymilacji CO₂ u roślin odmiany ‘Sonata’ było również znaczne, to utrzymujący się wysoki stosunek fotosyntezy do transpiracji wskazuje na istnienie bardziej sprawnych mechanizmów regulujących stopień utraty wody w odniesieniu do ilości pozyskiwanego dwutlenku węgla. Według Escalony i współautorów [1999] wysokie wartości fotosyntetycznego współczynnika efektywności wykorzystania wody, dowodzą o zdolności roślin do utrzymywania aktywności fotosyntetycznej w warunkach stresu i wyższej odporności na suszę [Bota i in. 2001].

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. Susza spowodowała ograniczenie rozwoju powierzchni liściowej oraz systemu korzeniowego roślin (tab. 2, 3). Silniejsze zahamowanie wzrostu stwierdzono u roślin odmiany ‘Elsanta’. Powierzchnia liści u roślin tej odmiany była mniejsza o ok. 37%, a masa korzeni o ok. 43% w porównaniu z kontrolą. W przypadku odmiany ‘Sonata’ redukcja powierzchni liści wynosiła ok. 29%, natomiast ograniczenie świeżej masy korzeni było statystycznie nieistotne.

Tabela 2. Parametry morfologiczne roślin dwóch 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 roślin ⁻¹] [g plant ⁻¹]		Powierzchnia liści Total leaf surface area [cm ² roślin ⁻¹]	
	kontrola control	deficyt wody water deficit	kontrola control	deficyt wody water deficit
‘Elsanta’	5,58 ab	3,76 a	204,00 b	128,11 a
‘Sonata’	7,01 b	5,79 ab	218,71 b	155,70 a

Objaśnienia jak w tabeli 1
Explanation, see Table 1

Tabela 3. Parametry morfologiczne oraz wielkość plonowania roślin dwóch 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'	3,95 b	2,24 a	167,40 b	91,73 a
'Sonata'	4,63 b	3,68 b	154,67 ab	99,20 ab

Objaśnienia jak w tabeli 1
 Explanation, see Table 1

Wyniki wskazują, że u roślin odmiany 'Sonata' 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 umożliwia maksymalne wykorzystanie ograniczonych zasobów wody [Gehrmann, Lenz 1991; Buwalda, Lenz 1992].

Deficyt wody w podłożu spowodował ograniczenie plonowania roślin odmiany 'Elsanta' o ok. 45%. W przypadku odmiany 'Sonata' nie stwierdzono istotnych różnic w wielkości plonowania dla roślin rosnących w warunkach optymalnego i ograniczonego zaopatrzenia w wodę.

Według Boty i współautorów [2001] odmiany charakteryzujące się wyższym współczynnikiem efektywności wykorzystania wody (bardziej odporne na suszę) są zwykle 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, odmiana 'Surecrop' okazała się odporniejsza na suszę (wyższe wartości wymiany gazowej i mniejsza redukcja plonowania) w porównaniu z odmianą 'Raritan'. Jednak w warunkach optymalnego zaopatrzenia w wodę, rośliny odmiany 'Raritan' (mniej odporne na suszę) wydały większy plon w porównaniu z odmianą 'Surecrop'. W naszych badaniach nie obserwowano takiej reakcji, rośliny obu odmian rosnące w warunkach optymalnych wydały plon podobnej wielkości.

WNIOSKI

1. W doświadczeniu wykazano zróżnicowanie reakcji dwóch odmian truskawki na suszę.
2. Wyższą odpornością na niedobór wody w podłożu charakteryzowały się rośliny odmiany 'Sonata', u których stwierdzono mniejsze zahamowanie rozwoju systemu korzeniowego, powierzchni liściowej oraz plonowania.

3. Na podstawie pomiarów parametrów fizjologicznych (natężenia fotosyntezy i transpiracji), których stosunek wyraża efektywność wykorzystania wody, wykazano, że rośliny odmiany 'Sonata' charakteryzują się sprawniejszą regulacją stosunków wodnych. Morfologiczne i fizjologiczne adaptacje umożliwiły roślinom tej odmiany utrzymanie wzrostu i plonowania przy ograniczonym dostępie wody.

BIBLIOGRAFIA

- 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 Varieties Journal*, 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.
- Escalona J.M., Flexas J., Medrano H. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. *Aust. J. Plant Physiol.*, 26, 1999, s. 421-433.
- 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. Growth, yield and fruit quality of strawberries as affected by water supply. *Acta Hort.*, 171, 1985, s. 463-469.
- 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.
- Matuškovič 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.
- Pietkiewicz S., Wyszynski Z., Łoboda T. Współczynnik wykorzystania wody buraka cukrowego na tle wybranych czynników agrotechnicznych. *Fragmenta Agronomica*, 23, 2005, s. 521-529.
- Sinclair T.R., Tanner C.B., Bennett J.M. Water-use efficiency in crop production. *BioScience*, 34, 1984, s. 36-40.
- 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 stomatäres Verhalten bei Erdbeeren (*Fragaria x ananassa* Duch.). VI. Einfluß von Wassermangel. *Gartenbauwissenschaft*, 51, 1986, s. 84-92.
- Treder W. Nawadnianie plantacji truskawek jako czynnik warunkujący jakość owoców. Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Truskawkowej, Skierniewice, 2003, s. 88-92.

Dr Krzysztof Klamkowski
Prof. dr hab. Waldemar Treder
Samodzielna Pracownia Nawadniania i Upraw Roślin pod Osłonami
Instytut Ogrodnictwa
96-100 Skierniewice, ul. Konstytucji 3 Maja 1/3
Tel. 46 8345238
e-mail: Krzysztof.Klamkowski@insad.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Cezary Podsiadło*