

# Wydajność aparatu fotosyntetycznego oraz produktywność gruszy odmiany ‘Konferencja’ w zróżnicowanych warunkach nawadniania i zaopatrzenia w potas

## Wstęp

Grusza nie odgrywa znaczącej roli w polskich sadach (Czynczyk i in. 1995). Powierzchnia uprawy tego gatunku wynosi około 10 tysięcy hektarów, co stanowi jedynie 3% wszystkich upraw sadowniczych (Zygmuntowska i Jadczyk-Tobjasz 2008). Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy jest fakt, że grusza to gatunek o wysokich wymaganiach klimatycznych (Czynczyk i in. 1995, Jacob i Webster 2002, Zygmuntowska i Jadczyk-Tobjasz 2008). O wysokości plonu gruszy w dużym stopniu decyduje zaopatrzenie w składniki odżywcze, szczególnie w potas (Morales i in. 2000, Marsal i in. 2002, Wójcik i Wójcik 2003, Bright 2005), który jest odpowiedzialny między innymi za jakość pąków kwiatowych, wielkość owoców, ich kolor i smak (van Arkel, 2007). Potas odgrywa istotną rolę w utrzymaniu ciśnienia osmotycznego komórek (Pottosin i Schonknecht 1996), transporcie i przyswajaniu innych składników mineralnych (Pretorius i in. 1999). Jest również zaangażowany w wiele procesów biochemicznych, takich jak fotosynteza (Bednarz i in. 1998, Zhao i in. 2001, Basile in. 2003) oraz aktywacja enzymów, np. syntezy białek (Lauer i in. 1989). Istnieje jednak niewiele doniesień, traktujących o wpływie deficytu potasu na wydajność aparatu fotosyntetycznego i funkcjonowanie fotosystemu II (PSII) (Tuffers i in. 2001).

Grusza jest gatunkiem wrażliwym także na suszę (Marsal i in. 2000, 2002, Neri i in. 2003, Giacobbo i in. 2008). Niedobór wody w polskich warunkach glebowo-klimatycznych staje się w ostatnich latach jedną z głównych przyczyn znacznego spadku plonów, gdyż wpływa bezpośrednio na bilans wodny, aktywację wielu enzymów oraz odporność roślin na inne stresy. Właściwie prowadzony biomonitoring sygnalizujący wystąpienie stresu suszy ma ogromne

znaczenie dla rozwoju zrównoważonego rolnictwa oraz opracowywania programów nawadniania. Susza zdecydowanie negatywnie oddziałuje na wydajność procesu fotosyntezy. Wpływ mają tutaj zarówno ograniczenia związane z funkcjonowaniem aparatów szparkowych, jak i innego rodzaju (Rampino i in. 2006, Yin i in. 2006, Zhou i in. 2007). Brak wody ogranicza metabolizm węgla oraz wykorzystanie produktów fazy zależnej od światła, czego skutkiem jest fakt, że duża ilość absorbowanej energii świetlnej nie może zostać przekształcona w energię biochemiczną, co może powodować uszkodzenia fotosystemu II (PSII) (Ohashi i in. 2006). Deficyt wody wpływa też negatywnie na zawartość chlorofilu (Wright i in. 2009). Metoda detekcji fluorescencji chlorofilu jest od wielu lat używana do monitoringu wystąpienia stresu suszy u roślin, a analiza uzyskanych parametrów dostarcza cennych informacji na temat funkcjonowania aparatu fotosyntetycznego podczas deficytu wody (Hura i in. 2007, Guóth i in. 2009).

Istnieją pewne fizjologiczne parametry, mierzone za pomocą nieinwazyjnych testów, takich jak produktywność fotosyntetyczna roślin (Kalaji i Pietkiewicz 2004, Kalaji i Łoboda 2009, Mielke i Schaffer 2009, Kalaji i in. 2011a, 2011b), które mogą być wykorzystane jako wskaźniki potencjalnej produktywności drzew gruszy (Martin i in. 1997, Perez i in. 1997, Jaumień 2001). Wymiana gazowa oraz jej poszczególne parametry zdają się być głównym czynnikiem wpływającym na ostateczną wydajność drzew owocowych (Jackson 2003, Pei i in. 2010). Kluczową rolę odgrywa relacja między intensywnością procesu fotosyntezy a transpiracją, zwłaszcza, gdy ilość wody w glebie jest ograniczona (Kang i in. 2002). Decydujące znaczenie dla wzrostu oraz plonowania drzew ma również wskaźnik powierzchni liści i efektywność wykorzystania fotosyntetycznie czynnej radiacji (PAR) (Jackson 2003, Costes i in. 2006).

Dotychczas brak jest literatury, opisującej wpływ zróżnicowanego zaopatrzenia w potas i wodę na wydajność aparatu fotosyntetycznego gruszy, określaną za pomocą pomiaru fluorescencji chlorofilu. Nieliczne doniesienia opisują natomiast wpływ tych czynników na wymianę gazową tego gatunku (Marsal i in. 2000, Marsal i in. 2002, Neri i in. 2003).

Doświadczenie podjęto w celu zbadania wpływu podkładki oraz zróżnicowanego nawadniania i nawożenia potasem na wydajność procesu fotosyntezy drzew gruszy odmiany 'Konferencja' oraz lepszego zrozumienia mechanizmów odpowiadających za wzrost i plonowanie drzew.

## Materiały i metody

Doświadczenie przeprowadzono na Polu Doświadczalnym Katedry Sadownictwa SGGW w Warszawie-Wilanowie, gdzie od 1980 roku stosowane są różne dawki i sposoby nawożenia potasem oraz od 1992 roku zróżnicowane nawadnianie. Jako drzewa ochronne, w pasach drzew pomiędzy poletkami nawozowymi, posadzono drzewa odmiany 'Lukasówka'.

Doświadczenie jest prowadzone w układzie trójczynnikiem (A-B-C), podwójnie zależnym split-split-plot, w trzech powtórzeniach. Jako czynnik A wybrano nawadnianie:

1. poletka nienawadniane
2. poletka nawadniane przy potencjale wody glebowej równej lub wyższej – 0,030 MPa

Jako czynnik B, którego poziomy przyporządkowano losowo podblokom drugiego rzędu, wybrano dawkę i sposób nawożenia:

1.  $K_0$  – kontrola bez nawożenia,
2.  $K_{200}$  – 200 kg  $K_2O \cdot ha^{-1}$  (co roku) na powierzchni całego poletka,
3.  $K_{800}$  – 800  $K_2O \cdot ha^{-1}$  (co 4 lata) na powierzchni całego poletka,
4.  $K_{400}$  – 400  $K_2O \cdot ha^{-1}$  (co 4 lata) na powierzchni całego poletka,
5.  $K_{200 herb.}$  – 200  $K_2O \cdot ha^{-1}$  (co roku) tylko w pasach herbicydowych.

Czynnikiem C jest podkładka:

1. Pigwa S1
2. Pigwa MA
3. Pyrodwarf

Podkładki rozmieszczono losowo w obrębie trzech „mini poletek”, znajdujących się na jednym poletku nawozowym. „Mini poletko” stanowiło osiem drzew gruszy odmiany Konferecja na jednym z trzech rodzajów podkładek.

Pomiarów parametrów fizjologicznych dokonano w maju, czerwcu, lipcu i sierpniu 2011 roku, raz w miesiącu. Wyniki przedstawiono jako średnie z całego sezonu pomiarowego. Zawartość chlorofilu oceniano przy użyciu chlorofilometru CL-01 (Hansatech Instruments, UK), pomiar parametrów fluorescencji chlorofilu po adaptacji w ciemności wykonano przy użyciu fluorymetru PocketPEA (Hansatech Instruments, UK). Wskaźnik powierzchni liści określano przy użyciu ceptomietru AccuPAR-LP 80 (Decagon Devices Inc., USA), a pomiarów wymiany gazowej dokonano przy użyciu analizatora gazu w podczerwieni CIRAS-2 (PP Systems, USA).

Oceny wzrostu drzew dokonano na podstawie pomiarów pola przekroju poprzecznego pnia (PPPP), mierzonego w stanie spoczynku drzew. Średnią wielkość plonu ( $kg \cdot drzewo^{-1} \cdot t \cdot ha^{-1}$ ) wyliczono dla drzew z każdego „mini poletka”. Masę jednego owocu określano z próby 30 owoców, przy użyciu wagi elektronicznej z dokładnością 0,001 kg.

Próby do analizy liści zebrano w połowie sierpnia. Zawierały one po 40 liści zebranych z drzew z każdego „mini poletka”. Zdrowe, nieuszkodzone mechanicznie oraz nieporażone przez sprawców chorób i niezaatakowane przez szkodniki liście zrywano ze środkowej części długopędów znajdujących się na połowie wysokości korony, zawsze z tej samej strony drzewa. W próbkach przygotowanych z tak pobranych liści oznaczano zawartość potasu i magnezu.

Wyniki opracowano statystycznie przy użyciu 3-czynnikowej analizy wariancji. Przy porównaniu średnich posługiwano się testem Tukey'a przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

## Wyniki

Najwyższą intensywnością fotosyntezy charakteryzowały się drzewa na podkładce Pyrodwarf (tab. 1). Drzewa na tej podkładce wykazywały również najwyższą wartość wskaźnika powierzchni liści (LAI). Wartość ta była wyższa od wartości uzyskanych dla drzew na podkładce Pigwa MA, natomiast drzewa na podkładce Pigwa S1 wykazywały pośrednie wartości LAI.

Drzewa na podkładce Pyrodwarf charakteryzowała nie tylko największa powierzchnia asymilacyjna, ale także wyższa zawartość barwnika asymilacyjnego – chlorofilu oraz istotnie

wyższy wskaźnik witalności fotosystemu II (PI) w porównaniu z drzewami na pozostałych podkładkach (tab. 1). Większość badanych parametrów fluorescencji chlorofilu (poza wspomnianym już wskaźnikiem witalności PSII) nie wykazywała zróżnicowania pod wpływem zastosowanych czynników doświadczenia.

Podkładka miała silny wpływ na wzrost drzew mierzony polem powierzchni poprzecznego przekroju pnia (tab. 1). W okresie badań drzewa na podkładce Pyrodwarf rosły istotnie silniej niż drzewa na Pigwie MA i Pigwie S1.

**Tabela 1. Wybrane parametry fizjologiczne oraz wsrostu drzew odmiany 'Konferencja' na trzech różnych podkładkach**

Parametr	Pigwa MA	Pigwa S1	Pyrodwarf
Intensywność fotosyntezy ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	11,2 a	12,2 ab	13,2 b
Wskaźnik powierzchni liści ( $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ )	1,91 a	2,03 ab	2,19 b
Zawartość chlorofilu (jedn. względne)	18,41 a	18,25 a	26,38 b
Wskaźnik witalności PSII (jedn. względne)	5,74 a	6,26 a	8,07 b
Pole przekroju poprzecznego pnia ( $\text{cm}^2$ )	33,87 a	36,65 a	55,10 b

Objaśnienie: średnie oznaczone taką samą literą w obrębie jednego parametru nie różnią się istotnie między sobą przy  $\alpha = 0,05$ .

Wskaźnik powierzchni liści różnił się również w zależności od zastosowanej dawki nawozu potasowego (tab. 2). Istotnie wyższy LAI w porównaniu z kombinacją kontrolną obserwowano u drzew nawożonych corocznie dawką  $K_{200}$  i  $K_{200 \text{ herb.}}$

**Tabela 2. Wskaźnik powierzchni liści drzew odmiany 'Konferencja' w zależności od zastosowanej dawki nawozowej**

Kombinacja nawożenia potasem	Wskaźnik powierzchni liści ( $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ )
$K_0$	1,53 a
$K_{200}$	1,84 b
$K_{800}$	1,74 ab
$K_{400}$	1,75 ab
$K_{200 \text{ herb.}}$	1,83 b

Objaśnienie: patrz tabela 1.

Typ zastosowanej podkładki nie wpłynął istotnie na zdolność pobierania potasu z gleby i jego zawartość w liściach. W przypadku innych czynników doświadczalnych zawartość potasu w liściach była wyższa u drzew rosnących na poletkach nienawadnianych (tab. 3). Również nawożenie potasem istotnie różnicowało zawartość tego pierwiastka w liściach. Najwyższą zawartość potasu stwierdzono w liściach drzew nawożonych dawką  $K_{800}$ . W liściach drzew rosnących na poletkach nienawożonych stwierdzono najniższą zawartość potasu. U drzew nawożonych dawką  $K_{400}$  oraz dawką  $K_{200\text{ herb.}}$  stwierdzono zawartość potasu wyższą niż u nienawożonych, ale niższą niż u tych nawożonych dawką  $K_{200}$ .

**Tabela 3. Zawartość potasu w liściach drzew odmiany 'Konferencja' rosnących na poletkach nawadnianych i nienawadnianych oraz na poletkach nawożonych różnymi dawkami  $K_2O$**

	Zawartość potasu w liściach (% s.m.)		Zawartość potasu w liściach (% s.m.)
Brak nawadniania	1,35 b	$K_0$	0,78 a
Nawadnianie	1,13 a	$K_{200}$	1,34 c
		$K_{800}$	1,59 d
		$K_{400}$	1,20 b
		$K_{200\text{ herb.}}$	1,30 b

Objaśnienie: patrz tabela 1.

Wyższą zawartość magnezu w liściach stwierdzono u drzew rosnących na poletkach nienawadnianych (tab. 4), a także u drzew nienawożonych (tab. 4). Niskie zawartości magnezu w liściach stwierdzono dla wszystkich dawek nawozowych, poza dawką  $K_{400}$ , przy której zawartość magnezu była pośrednia (tab. 4). Najstabsze pobieranie magnezu stwierdzono dla drzew na podkładce Pyrodwarf w porównaniu z drzewami na podkładkach Pigwa MA i Pigwa S1 (tab 5).

**Tabela 4. Zawartość magnezu w liściach drzew odmiany 'Konferencja' rosnących na poletkach nawadnianych i nienawadnianych oraz nawożonych różnymi dawkami  $K_2O$**

	Zawartość magnezu w liściach (% s.m.)		Zawartość magnezu w liściach (% s.m.)
Brak nawadniania	0,41 b	$K_0$	0,43 b
Nawadnianie	0,38 a	$K_{200}$	0,38 a
		$K_{800}$	0,38 a
		$K_{400}$	0,40 ab
		$K_{200\text{ herb.}}$	0,39 a

Objaśnienie: patrz tabela 1.

Tabela 5. Zawartość magnezu w liściach drzew odmiany 'Konferencja' w zależności od zastosowanej podkłádki

Podkładka	Zawartość magnezu w liściach (% s.m.)
Pigwa MA	0,43 b
Pigwa S1	0,43 b
Pyrodwarf	0,32 a

Objaśnienie: patrz tabela 1.

Nie stwierdzono istotnych różnic w plonowaniu drzew, a także w masie owoców, niezależnie od zastosowanego czynnika doświadczenia (tab. 6, 7).

Tabela 6. Plon drzew odmiany 'Konferencja' w zależności od zastosowanego czynnika doświadczenia

	Plon (kg · drzewo <sup>-1</sup> )	Plon (t · ha <sup>-1</sup> )		Plon (kg · drzewo <sup>-1</sup> )	Plon (t · ha <sup>-1</sup> )		Plon (kg · drzewo <sup>-1</sup> )	Plon (t · ha <sup>-1</sup> )
Brak nawadniania	9,5 a	25,5 a	Pigwa MA	9,5 a	25,5 a	K <sub>0</sub>	8,7 a	23,0 a
Nawadnianie	8,9 a	24,0 a	Pigwa S1	10,0 a	26,0 a	K <sub>200</sub>	10,6 a	28,0 a
			Pyrodwarf	8,4 a	22,0 a	K <sub>800</sub>	9,9 a	26,5 a
						K <sub>400</sub>	7,5 a	19,5 a
						K <sub>200 herb.</sub>	9,5 a	25,0 a

Objaśnienie: patrz tabela 1.

Tabela 7. Masa owoców, zebranych z drzew odmiany 'Konferencja' w zależności od zastosowanego czynnika doświadczenia

	Masa owocu (g)		Masa owocu (g)		Masa owocu (g)
Brak nawadniania	154 a	Pigwa MA	163 a	K <sub>0</sub>	147 a
Nawadnianie	158 a	Pigwa S1	147 a	K <sub>200</sub>	142 a
		Pyrodwarf	159 a	K <sub>800</sub>	161 a
				K <sub>400</sub>	160 a
				K <sub>200 herb.</sub>	170 a

Objaśnienia: patrz tabela 1.

## Dyskusja

Istnieje wiele czynników, które w istotny sposób wpływają na plonowanie gruszy w polskich warunkach (Neri i in. 2003, Zyguntowska i Jadczyk-Tobiasz 2008; Giacobbo i in. 2010). Dotychczas większość doświadczeń, mających na celu ocenę produktywności drzew owocowych, opierała się na analizie ich wzrostu i plonowania (Marsal i in. 2000, Lewko i in. 2006). W ostatnich latach zaczęto brać pod uwagę także parametry fizjologiczne, takie jak np. wydajność i efektywność procesu fotosyntezy (Jiang i in. 2002, Neri i in. 2003, Lin i Wang 2007, Cui i in. 2009, Lin i in. 2010). Wielu badaczy uważa bowiem, że w celu ulepszenia stosowanych praktyk, optymalizacji asymilacji CO<sub>2</sub> w procesie fotosyntezy, zwiększenia produktywności i podwyższenia jakości plonów konieczne jest zrozumienie zależności między czynnikami środowiskowymi a procesami fizjologicznymi zachodzącymi w roślinie (Cui i in. 2009, Laclau i in. 2009, Restrepo-Díaz i in. 2010). Dlatego celem naszych badań było uzyskanie większej wiedzy na temat mechanizmów i strategii, które mogą być odpowiedzialne za produktywność drzew w różnych warunkach wzrostu, poprzez analizę niektórych parametrów fizjologicznych drzew, przy zastosowaniu nieinwazyjnych metod, np. pomiaru wydajności fotosyntezy czy oceny powierzchni liści. Pozwoliło to nam zweryfikować wpływ nawadniania, nawożenia potasem oraz zastosowanej podkładki na wzrost i plonowanie gruszy odmiany Konferencja.

Wyniki wykazały, że nawożenie potasem nie wpływa na większość mierzonych parametrów. Wyjątkiem był wyraźny pozytywny wpływ corocznego nawożenia dawką 200 kg K<sub>2</sub>O · ha<sup>-1</sup> na wskaźnik powierzchni liści (LAI) (Can i in. 2003, Pervez i in. 2006, Tjaden i in. 2006, Laclau i in. 2009). Może to być spowodowane tym, iż potas wpływa na zwiększenie potencjału wody w liściach, co z kolei wpływa na ich wielkość (Cui i in. 2009, Jin i in. 2011). W literaturze można odnaleźć dowody na to, że parametr LAI jest pomocny w określaniu optymalnych dawek nawozowych dla drzew (Tjaden i in. 2006). W wielu badaniach stwierdzono zmniejszoną powierzchnię liści w warunkach niedoboru potasu (Zhao i in. 2001). Jeszcze inne badania dowiodły, że niewielki niedobór potasu, powodujący zahamowanie wzrostu roślin, wynika głównie z osłabienia wzrostu liści, a nie ze zmniejszenia intensywności fotosyntezy (Scherer i in. 1982). Inni badacze (Pervez i in. 2006) stwierdzili, że rozwój liści może być zredukowany w wyniku niedoboru potasu, nawet wtedy, gdy stosunki wodne są odpowiednie. Podsumowując można stwierdzić, iż uzyskane wyniki potwierdzają tezę, że wzrost liści jest kluczową zmienną do analizy oraz modelowania wzrostu roślin w warunkach niedoboru potasu (Jordan-Meille i Pellerin 2004).

Typ zastosowanej podkładki miał wpływ na intensywność fotosyntezy oraz wydajność fotosystemu II (Perez i in. 1997, Losciale i in. 2008), wskaźnik powierzchni liści (Costes i in. 2006) i zawartość chlorofilu (Sabajeviene i in. 2006, Abdollahi i in. 2010, Francescato i in. 2010). Drzewa na podkładce Pyrodwarf wykazały wyższe wartości wszystkich wymienionych parametrów w porównaniu z innymi badanymi podkładkami. Może to być spowodowane różnicami w genotypie podkładek (Sabajeviene i in. 2006), co zostało już udowodnione dla wielu gatunków drzew owocowych (Cinelli i in. 2004). Nasza praca potwierdza wyniki Perez i in. 1997, którzy stwierdzili, że różnice w parametrach fluorescencji chlorofilu i zawartości barwników asymilacyjnych odzwierciedlają odmienną przydatność podkładek dla różnych

warunków produkcji. Również Martinazzo i in. (2011) stwierdzili różnice w niektórych parametrach fluorescencji chlorofilu (np. wskaźnik witalności PSII – PI) w zależności od rodzaju zastosowanej podkładki w przypadku brzoskwini.

W badaniach sadowniczych powszechnie stosowanym wskaźnikiem określającym siłę wzrostu drzew jest pole przekroju poprzecznego pnia, PPPP (Lewko i in. 2006, Abdollahi i in. 2010). W opisanym doświadczeniu PPPP było większe dla drzew na podkładce Pyrodwarf w porównaniu z tymi, rosnącymi na podkładkach Pigwa MA czy Pigwa S1. Podobne wyniki uzyskali Lewko i in. 2006 oraz Lewko i in. 2007, którzy stwierdzili, że drzewka na podkładce Pyrodwarf osiągają większą siłę wzrostu i lepiej się rozgałęziają w porównaniu z tymi na podkładce *Cydonia*. Dodatkowo drzewka na Pyrodwarf rozwijały najsilniejszy system korzeniowy (Necas i Kosina 2006, Lewko i in. 2007).

## Podsumowanie

Uzyskane wstępne wyniki pozwalają stwierdzić, że zarówno nawadnianie, jak i nawożenie potasem wpływają na zawartość wybranych składników mineralnych w liściach badanych drzew, czynniki te nie miały natomiast istotnego wpływu na plon drzew oraz masę owoców ani na ich wydajność fotosyntetyczną w danym roku badań.

W przeprowadzonym doświadczeniu nie stwierdzono znaczących różnic w plonie uzyskiwanym z drzew odmiany 'Konferencja', rosnących na różnych podkładkach oraz pod wpływem zróżnicowanego nawożenia potasem, co wyraźnie świadczy o tym, iż zwiększony potencjał produktywności fotosyntetycznej u drzew na podkładce Pyrodwarf nie przekłada się na zwiększenie plonu tych drzew. Obserwacje te potwierdzają między innymi Aizpurua i in. (1997), którzy stwierdzili, że nawożenie potasem nie miało wpływu na plon drzew gruszy. Laclau i in. 2009 sugerują natomiast, że nawożenie potasem zwiększa efektywność wykorzystania energii świetlnej w procesach fotosyntezy, ale przekłada się to głównie na produkcję drewna i wzrost udziału suchej masy.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że istnieją wskaźniki fizjologiczne, które pozwalają na charakterystykę drzew gruszy rosnących na różnych podkładkach oraz w zróżnicowanych warunkach nawodnienia i nawożenia. Uzyskane wyniki wykazały, iż drzewa rosnące na podkładce Pyrodwarf charakteryzują się intensywniejszym wzrostem, mają większą powierzchnię asymilacyjną, a także wyższą zawartość barwników asymilacyjnych. Natomiast jedynym parametrem fluorescencji chlorofilu, charakteryzującym efektywność przebiegu fazy fotosyntezy zależnej od światła, który istotnie zwiększył się u odmiany 'Konferencja' na podkładce Pyrodwarf był wskaźnik witalności PSII.



## SPIS LITERATURY

- Abdollahi H., Ghasemi A., Mehrabipour S. 2010. Interaction effects of rootstock and genotype on tolerance to iron deficiency chlorosis in some quince (*Cydonia oblonga* Mill.) genotypes from central regions of Iran. *Seed Plant Improv. J.* 26(1): 1–14.
- Basile B., Redel E.J., Weinbaum S.A., Dejong T.M. 2003. Leaf potassium concentration, CO<sub>2</sub> exchange and light interception in almond trees (*Prunus dulcis* (Mill) D.A. Webb). *Scientia Horticult.* 98: 185–194.
- Bednarz C.W., Oosterhuis D.M., Evans R.D. 1998. Leaf photosynthesis and carbon isotope discrimination of cotton in response to potassium deficiency. *Environ. Exp. Bot.* 39: 131–139.
- Bright J. 2005. Apple and pear nutrition. *Primefact* 85: 1–12.
- Can H.Z., Anac D., Kukul Y., Hepaksoy S. 2003. Alleviation of salinity stress by using potassium fertilization in satsuma mandarin trees budded on two different rootstocks. *Acta Hort.* 618: 275–280.
- Cinelli F., Tamantini I., Iacona C. 2004. Nutritional (Fe-Mn) interactions in "Big Top" peach plant as influenced by the rootstock and by the soil CaCO<sub>3</sub> concentration. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50(7): 1097–1102.
- Costes E., Lauri P.E., Regnard J.L. 2006. Analyzing fruit tree architecture: Implications for tree management and fruit production. W: *Horticultural Reviews* 32. Janick J. (red.), John Wiley & Sons.
- Cui N., Du T., Li F., Tong L., Kang S., Wang M., Liu X., Li Z. 2009. Response of vegetative growth and fruit development to regulated deficit irrigation at different growth stages of pear-jujube tree. *Agr. Water Manage.* 96: 1237–1246.
- Czynczyk A., Lange E., Mika A., Smolorzowa S., Smolarz K., Soczek Z., Suski Z., Zagaja S. 1995. *Sadownictwo i szkółkarstwo*. PWRiL, Warszawa, II edycja.
- Francescato P., Pazzin D., Giacobbo C.L. 2010. Evaluation of graft compatibility between quince rootstocks and pear scions. *Acta Hort.* 872: 253–260.
- Giacobbo C.L., Fachinello J.C., Massai R., Remorini D., Loreti F. 2008. Growth and productive behavior of 'Doyenné du Comice' pear trees grown on two rootstocks and two water regimes. *Acta Hort.* 800: 785–792.
- Giacobbo C.L., Neto A.G., Pazzin D. 2010. The assessment of different rootstocks to the pear tree cultivar 'Carrick'. *Acta Hort.* 872: 353–358.
- Guóth A., Tari I., Gallé A., Csiszár J., Pécsváradi A., Cseuz L., Erdei L. 2009b. Comparison of the drought stress responses of tolerant and sensitive wheat cultivars during grain filling: changes in flag leaf photosynthetic activity, ABA levels, and grain yield. *J. Plant Growth Regul.* 28 (2): 167–176.
- Hura T., Grzesiak S., Hura K., Thiemt E., Tokarz K., Wedzony M. 2007. Physiological and biochemical tools in drought-tolerance detection in genotypes of winter triticale: accumulation of ferulic acid correlates with drought tolerance. *Ann. Bot.* 100: 767–775.
- Itoh R., Yamagishi J., Ishii R. 1997. Effects of potassium deficiency on leaf growth, related water relations and accumulation of solutes in leaves of soybean plants. *Jap. J. Crop Sci.* 66: 691–697.
- Jackson J.E. 2003. *Biology of apples and pears*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jacob H.B., Webster A.D. 2002. New pear rootstocks from Geisenheim, Germany. *Acta Hort.* 596: 337–344.
- Jaumień F. 2001. Czy można oddziaływać na przebieg fotosyntezy w sadzie? *Ogrodnictwo* 4: 13–17.
- Jiang W., Yu K., Gao G., Ma K. 2002. Photosynthesis of different pear (*Pyrus* L.) cultivar-rootstock combinations. *Acta Hort. Sinica* 29(6): 569–570.

- Jin S.H., Huang J.Q., Li X.Q., Zheng B.S., Wu J.S., Wang Z.J., Liu G.H., Chen M. 2011. Effects of potassium supply on limitations of photosynthesis by mesophyll diffusion conductance in *Carya cathayensis*. *Tree Physiol.* 31: 1142–1151.
- Jordan-Meille L., Pellerin S. 2004. Leaf area establishment of a maize (*Zea mays* L.) field crop under potassium deficiency. *Plant and Soil* 265: 75–92.
- Kalaji M.H., Bosa K., Kościelniak J., Hossain Z. 2011a. Chlorophyll a fluorescence - A useful tool for the early detection of temperature stress in spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *OMICS* 15(12): 925–934.
- Kalaji M.H., Govindjee, Bosa K., Kościelniak J., Żuk-Gołaszewska K. 2011b. Effects of salt stress on Photosystem II efficiency and CO<sub>2</sub> assimilation of two Syrian barley landraces, *Environ. Exper. Bot.* 73: 64–72.
- Kalaji M.H., Łoboda T. 2009. Fluorescencja chlorofilu w badaniach stanu fizjologicznego roślin. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Kalaji M.H., Pietkiewicz S. 2004. Some physiological indices to be exploited as a crucial tool in plant breeding. *Plant Breed. Seeds Sci.* 49: 19–39.
- Kang S., Hu X., Goodwin I, Jerie P. 2002. Soil water distribution, water use, and yield response to partial root zone drying under a shallow groundwater table condition in a pear orchard. *Scientia Hort.* 92: 277–291.
- Laclau J.P., Almeida J.C.R., Gonçalves J.L.M., Saint-André L., Ventura M., Ranger J., Moreira R.M., Nouvellon Y. 2009. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in *Eucalyptus plantations*. *Tree Physiol.* 29(1): 111–124.
- Lauer M.J., Pallardy S.G., Blevins D.G., Randall D.D. 1989. Whole leaf carbon exchange characteristics of phosphate deficient soybeans (*Glycine max* L.). *Plant Physiol.* 91: 848–854
- Lewko A., Sadowski A., Ścibisz K. 2006. Growth and quality of pear maiden trees depending on rootstock and growing season. *Scientific Works Of The Lithuanian Institute Of Horticulture and Lithuanian University Of Agriculture. Sodininkyste Ir Darzininkyste* 25(3): 39–46.
- Lewko J., Ścibisz K., Sadowski, A. 2007. Performance of two pear cultivars on six different rootstocks in the nursery. *Acta Hort.* 732: 227–231.
- Lin M., Wang Z. 2007. Studies on photosynthesis characteristic in two pear varieties. *Acta Agric. Bor. Sin.* 22: 44–47.
- Losciale P., Zibordi M., Manfrini L., Grappadelli L.C. 2008. Effects of rootstock on pear photosynthetic efficiency. *Acta Hort.* 800: 241–248.
- Marsal J., Mata M., Arbones A., Rufat J., Girona J. 2002. Regulated deficit irrigation and rectification of irrigation scheduling in young pear trees: an evaluation based on vegetative and productive response. *Europ. J. Agron.* 17, 111–122.
- Marsal J., Mata M., Arbones A., Rufat J., Girona J. 2002. Regulated deficit irrigation and rectification of irrigation scheduling in young pear trees: an evaluation based on vegetative and productive response. *Europ. J. Agronomy* 17: 111–122.
- Marsal J., Rapoport H.F., Manrique T., Girona J. 2000. Pear fruit growth under regulated deficit irrigation in container-grown trees. *Sci. Hort.* 85, 243–259.
- Martin M.M., Larsen F.E., Higgins S.S., Ku M.S.B., Andrews P.K. 1997. Comparative growth and physiology of selected one-year-old red- and green-fruited European pear cultivars. *Scientia Hort.* 71: 216–216.
- Martinazzo E.G., Perboni A.T., Farias M.E., Bianchi V.J., Bacarin M.A. 2011. Photosynthetic activity in the rootstock of hybrid peach trees submitted to water restriction and flooding. *Braz. J. Plant Physiol.* 23(3): 231–236.

- Mielke M.S., Schaffer B. 2009. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and pigment indexes of *Eugenia uniflora* L. in response to changes in light intensity and soil flooding. *Tree Physiology* 30: 45–55.
- Morales F., Belkhdja R., Abadia A., Abadia J. 2000. Photosystem II efficiency and mechanisms of energy dissipation in iron-deficient, field-grown pear trees (*Pyrus communis* L.). *Photosynth. Res.* 63: 9–21.
- Necas T., Kosina J. 2006. Propagation of promising pear rootstocks by hardwood cuttings. *Proceedings of International Conference of „Perspectives in European Fruit Growing“ on Horticulture Faculty in Lednice, 18–20.10. 2006*, 140–143.
- Neri D., Castagnoli M., Poni S., Corelli L. 2003. Diversified response to drought of light exposed and shaded leaves of potted grapevine, peach and pear trees. *J. Fruit Ornament. Plant Res.* 11: 5–15.
- Ohashi Y., Nakayama N., Saneoka H., Fujita K. 2006. Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biol. Plant.* 50: 138–141.
- Pei G.F., Li L.S., Duan W., Li W.D., Li S.H. 2010. Photosynthesis of young apple trees in response to low sink demand under different air temperatures. *Tree Physiology* 30: 313–325.
- Perez C., Val J., Monge E. 1997. Photosynthetic changes of 'Prunus avium L.' grafted on different rootstocks in relation to mineral deficiencies. *Acta Hort.* 448: 81–85.
- Pervez H., Makhadm M.I., Ashraf M., Shabab-Ud-Din. 2006. Influence of potassium nutrition on leaf area index in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under an arid environment. *Pak. J. Bot.* 38(4): 1085–1092.
- Pottosin I.I., Schonknecht G. 1996. Ion channel permeable for divalent and monovalent cations in native spinach thylakoid membranes. *J. Membr. Biol.* 152: 223–233.
- Pretorius J.C., Nieuwoudt D.T., Eksteen D. 1999. Sucrose synthesis and translocation in Zea Mays L. during early growth, when subjected to N and K deficiency. *South J. Plant Soil* 16: 173–179.
- Rampino P., Pataleo S., Gerardi C., Mita G., Perotta C. 2006. Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant Cell Environ* 29: 2143–2152.
- Restrepo-Diaz H., Melgar J.C., Lombardini L. 2010. Ecophysiology of horticultural crops: an overview. *Agron. Colomb.* 28:71–79.
- Sabajeviene G., Kviklys D., Duchovskis P. 2006. Rootstock effect on photosynthetic pigment system formation in leaves of apple cv. 'Auksis'. *Scientific Works Of The Lithuanian Institute Of Horticulture and Lithuanian University Of Agriculture. Sodininkyste Ir Darzininkyste* 25(3): 357–363.
- Scherer H.W., Schubert S., Mengel K. 1982. Effect of potassium nutrition on growth rate, carbohydrate content and water retention in young wheat plants. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.* 145: 237–245.
- Tjaden R., Steinhilber P., Salak J. 2006. Nutrient recommendations for commercial loblolly pine plantations in Maryland. In: *Nutrient management. NM-7. University of Maryland Department of Natural Resource Sciences and Landscape Architecture, College Park, MD, 20742.*
- Tuffers A., Naidoo G., von Willert D.J. 2001. Low salinities adversely affect photosynthetic performance of the mangrove, *Avicennia marina*. *Wetl. Ecol. Manag.* 9: 225–232.
- Van Arkel P. 2007. Nawożenie jabłoni i gruszy w Holandii. *XXVII Seminarium Sadownicze, Limanowa*: 61–64.
- Wójcik P., Wójcik M. 2003. Effects of boron fertilization on 'Conference' pear tree vigor, nutrition, and fruit yield and storability. *Plant Soil* 256(4): 13–421.
- Wright H., DeLonga J., Ladab R., Prangea R. 2009. The relationship between water status and chlorophyll a fluorescence in grapes (*Vitis* spp.). *Postharvest Biol. Tec.* 51: 193–199.
- Yin C.Y., Berninger F., Li C.Y. 2006. Photosynthetic responses of *Populus przewalski* subjected to drought stress. *Photosynthetica* 44: 62–68.

- Zhao D.L., Oosterhuis D.M., Bednarz C.W. 2001. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica* 39: 103–109.
- Zhao D.L., Oosterhuis D.M., Bednarz C.W. 2001. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica* 39: 103–109.
- Zhou Y., Lam H.M., Zhang J. 2007. Inhibition of photosynthesis and energy dissipation induced by water and high light stresses in rice. *J. Exp. Bot.* 58: 1207–1217.
- Zygmuntowska K., Jadczyk-Tobjasz E. 2008. Wpływ zróżnicowanego nawożenia potasem na wzrost i owocowanie pięciu odmian gruszy. *Zesz. Nauk. ISiK* 16: 83–89.