

CITLIVOST FOTOSYNTETICKÉHO APARÁTU JABLONÍ PŘI PŮSOBENÍ VODNÍHO DEFICITU

SENSITIVITY OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS IN APPLE TREES UNDER WATER DEFICIT

František Hnilička, Tomáš Rýgl, Jana Česká, Jiří Kudrna

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Kamýcká 129, Praha–Suchdol 16500

e-mail: hnilicka@af.czu.cz, ORCID: [0000-0002-3223-9062](https://orcid.org/0000-0002-3223-9062)

ABSTRAKT

Jabloň domácí (*Malus domestica* Borkh.) patří k významným ovocným druhům v celosvětovém měřítku. V současnosti dochází ke snižování jejich pěstebních ploch, přičemž jedním z důvodů je působení sucha. Sucho nepříznivě ovlivňuje fyziologické, biochemické a růstové procesy rostlin. Vliv vodního deficitu byl sledován v částečně řízených podmínkách foliového krytu u vybraných genotypů jablek: 'Gala Galaval', 'Idared', 'Frosta', B 11, HL 53, HL 155-05 v rámci nádobového pokusu, kdy byl vodní deficit navozen po dobu 14 dnů s následnou týdenní rehydratací. Pokus se uskutečnil ve vývojových fázích 31 BBCH až 67 BBCH. Z fyziologických charakteristik byly sledovány obsah pigmentů, rychlost fotosyntézy a transpirace, fluorescence chlorofylů. Z výsledků vyplývá, že vlivem působení vodního deficitu dochází ke snížení všech sledovaných charakteristik. Vlivem rehydratace dochází k nárůstu všech fyziologických parametrů, avšak nebylo dosaženo hodnot kontrolních rostlin. Délka rehydratace 7 dnů je pro jabloně krátká. Z výsledků je patrné, že vlivem zvýšení hodnot transpirace v období sucha jsou odrůdy 'Gala Galaval' a 'Frosta' nevhodné do sušších oblastí. Odrůda 'Idared' je naopak odrůdou platičtější. Jako nadějně genotypy s potenciálem pro další výzkum se jeví genotypy HL 53, HL 155-05.

Klíčová slova: stres způsobený suchem, jabloň, *Malus sylvestris*, výměna plynů, pigmenty, fluorescence

ABSTRACT

The domestic apple tree (*Malus domestica* Borkh.) is one of the most important fruit species in the world. At the same time, the area under cultivation is also decreasing, one of the reasons being drought. Drought adversely affects the physiological, biochemical and growth processes of plants. The effect of water deficit was monitored under partially controlled conditions of the foliar cover in selected apple genotypes: 'Gala Galaval', 'Idared', 'Frosta', B 11, HL 53, HL 155-05 in a container experiment, where water deficit was induced for 14 days followed by one week of rehydration. The experiment was carried out at developmental stages 31 BBCH to 67 BBCH. Among the physiological characteristics, pigment content, photosynthesis and

98

transpiration rates, chlorophyll fluorescence were monitored. The results show that the effect of water deficit leads to a decrease in all the observed characteristics. Under the influence of rehydration, all physiological parameters increased, but the values of control plants were not reached. The rehydration period of 7 days is short for apple trees. The results show that the increase in transpiration values during the dry season in the varieties 'Gala Galaval' and 'Frosta' makes them unsuitable for drier areas. 'Idared', on the other hand, is a more plastic variety. The genotypes HL 53, HL 155-05 appear to be promising genotypes with potential for further research.

Keywords: water deficit, drought, apple tree, *Malus sylvestris*, gas exchange, pigments, fluorescence

ÚVOD

Jabloň domácí (*Malus domestica* Borkh.) patří celosvětově k hospodářsky nejvýznamnějším kontinentálním plodinám a zároveň se řadí k nejvíce konzumovaným druhům ovoce na světě (Harris *et al.*, 2002). Podle ČSÚ (2023) činila v roce 2022 výměra ovocných sadů v ČR 15 419 ha, z toho plocha jabloňových sadů zaujímal 5 864 ha. Celkový počet vysazených jabloní byl 10 340 tis. ks se sklizní 131 353 t. Bohužel od roku 2015 je zaznamenáván postupný úbytek nejenom celkové výměry sadů, ale i jednotlivých ovocných druhů na území ČR.

Jedním z důvodů, které vedou ke snížení pěstebních ploch, je také výskyt vodního deficitu (sucha), který nepříznivě ovlivňuje růst rostlin, přežití a omezuje produktivitu plodin, což způsobuje snížení výnosu a kvality ovoce (Pérez-Pérez *et al.*, 2008). Bylo prokázáno, že nedostatek vody ovlivňuje různé fyziologické, biochemické, metabolické a molekulární procesy v rostlinách (Zu *et al.*, 2017).

Podle Bhusal *et al.* (2019) dochází vlivem sucha ke snížení obsahu chlorofylů v listech, kdy je tento jev pozorovatelný dvanáctý den po navození stresu. Mihaljevič *et al.* (2021) uvádí, že existují meziodrůdové rozdíly, kdy např. odrůda 'Golden Delicious Reinders' za sucha průkazně snížila obsah chlorofylů, zatímco u krajové odrůdy 'Crvenka' bylo snížení chlorofylu nižší. Obdobně Bhusal *et al.* (2019) uvádí, že obsah chlorofylu byl nižší v tolerantnější odrůdě 'Fuji' než u odrůdy 'Hongro'. Karotenoidy, jako další rostlinné barvivo, mají zásadní roli ve fotosyntéze, protože chrání fotosystém II před fotooxidačním poškozením (Cogdell a Gardiner, 1993). Mihaljevič *et al.* (2021) uvádí, že vlivem sucha nedochází u krajových odrůd ke snížení obsahu karotenoidů, zatímco u tržních odrůd se po dvanáctém dnu sucha obsah karotenoidů snížil, tím dochází k fotoinhibici a poškození fotosystému II a snížení fluorescence (Jahns a Holzwarth, 2012). Všechny tyto uvedené změny ovlivňují fotosyntézu (Gouldack *et al.*, 2011) a aktivitu elektronového transportu (Bhusal *et al.*, 2020).

Fotosyntéza je nezbytná pro udržení struktury a růstu rostlin (Flexas a Carriqui, 2020) a podléhá jak stomatálním, tak nestomatálním omezením (Salmon *et al.*, 2020). V případě působení mírného až silného sucha dochází ke snížení fotosyntézy v důsledku omezeného příjmu CO₂ a nižší enzymatické aktivitě (dos Santos *et al.*, 2018). Drake *et al.* (2017) akcentují vliv stomatální vodivosti (otevřenost průduchů), jak v případě jabloní, uvádí Li *et al.* (2002). Podle Farquhar *et al.* (1989) je otevírání a uzavírání průduchů ovlivněno délkou působení vodního deficitu. Podle Zhou *et al.* (2013) je nestomatální snížení fotosyntézy způsobené

všemi ostatními procesy, včetně biochemických, kdy návrat do původního stavu vyžaduje další zdroje vody a uhlíku.

Stres ze sucha má významný vliv na rychlost fotosyntézy (A), rychlost transpirace (E) a F_v/F_m (F_v – variabilní fluorescence/ F_m – maximální hodnota fluorescence). Podle Wang *et al.* (2012) se jedná o důležité nástroje pro měření dopadu stresu suchem na rostliny. Na základě výše uvedených informací byly navrženy následující hypotézy: (1) existují genotypové rozdíly ve fyziologické reakci na sucho; (2) sucho snižuje stomatální omezení fotosyntézy (rychlost fotosyntézy a transpirace) a nestomatální omezení (F_v/F_m); a (3) tolerantní genotypy jabloní vůči vodnímu deficitu vykazují vyšší hodnoty fotosyntézy a fluorescence.

MATERIÁL A METODY

Pokus byl založen v částečně řízených podmínkách foliového krytu v areálu VŠÚO Holovousy s.r.o. Pokus zahrnoval 2 varianty. Kontrolní varianta představovala plně zavlažovanou část rostlin, a to po celou dobu pokusu. Druhá varianta byla stresována vodním deficitem, kdy byl vodní deficit navozen postupným vysycháním substrátu mezi vývojovými fázemi 55 a 60 BBCH, po dobu 14 dnů. Následně u stresovaných rostlin proběhla týdenní rehydratace. Rostliny jabloní byly pěstovány na podnoži M9 v nádobách o objemu 50 l. Experimentální rostliny byly pěstovány v zahradním substrátu AGRO CS. Do pokusu byly zařazeny následující genotypy jabloní: 'Gala Galaval', 'Idared', 'Frosta', B 11, HL 53, HL 155-05. Od každého genotypu bylo pěstováno 6 ks stromků. Měření se uskutečnila: 31 BBCH, 39 BBCH, 55 BBCH (7. den stresu), 60 BBCH (14. den stresu), 67 BBCH (7. den rehydratace).

Pro zjišťování hodnot rychlosti výměny plynů, fotosyntézy (P_n) a transpirace (E), byl využit infračervený analyzátor plynů LCpro+ (ADC Bioscientific Ltd.). Měření rychlosti výměny plynů se uskutečnilo v dopoledních hodinách (8–13 h SEČ) při teplotě 25 °C a hustotě dopadajícího záření 650 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Rychlost výměny plynů byla sledována na základě pokusů Kuklové *et al.* (2015).

Pro měření parametrů fluorescence chlorofylu F_v/F_m byl využit fluorometr OS5p+ (OptiScience) na základě metodiky Roháček a Barták (1999).

Stanovení obsahu pigmentů proběhlo dle metodiky Porra *et al.* (1989). Vzorky byly spektrofotometricky vyhodnoceny přístrojem UV-Vis Evolution 2000 (ThermoScientific).

Statistické vyhodnocení dat se uskutečnilo pomocí programu STATISTICA 13.5 (StatSoft, Tulsa, OK, USA). Variabilita rozdílů ve sledovaných parametrech byla testována dvoufaktorovým modelem ANOVA s interakcemi a Tukeyho post hoc testem na hladině významnosti $p < 0,05$. Statistická analýza se uskutečnila vždy ze 3 opakování (stromů) od každého genotypu a varianty.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Fotosynteticky aktivní pigmenty

U rostlin jabloně byly studovány změny obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů v závislosti na genotypu a deficitu vody, včetně rehydratace. Získané výsledky jsou uvedeny v tabulce 1. Z ní vyplývá, že byl prokázán vliv genotypu na obsah pigmentů v listech, kdy nejnižší obsah pigmentů byl zjištěn u odrůdy 'Idared' (13,40 nM cm^{-2}) a naopak nejvyšší u genotypu HL 155-

05 (20,85 nM cm⁻²). Uvedené závěry potvrzuje také např. Šircelj *et al.* (2007), Delgado-Pelayo *et al.* (2014).

Tabulka 1. Vliv varianty na obsah pigmentů (nM cm⁻²) v závislosti na ontogenetickém vývoji vybraných genotypů jablek. Statisticky významné rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ jsou označeny písmeny. **Table 1.** The effect of the variant on the content of pigments (nM cm⁻²) depending on the ontogenetic development of selected genotypes of apple trees. Statistically significant differences at the significance level of $\alpha = 0.05$ are indicated by letters.

Varianta ¹⁾	Genotyp ²⁾	Vývojová fáze ³⁾				
		31 BBCH	39 BBCH	55 BBCH	60 BBCH	67 BBCH
Kontrola ⁴⁾	GALA	17,16 ± 1,00 ^c	18,53 ± 0,77 ^c	18,90 ± 0,92 ^d	18,90 ± 1,94 ^c	23,72 ± 2,05 ^b
	IDARED	14,50 ± 0,76 ^e	13,14 ± 2,25 ^f	14,80 ± 0,97 ^h	14,94 ± 1,48 ^e	16,41 ± 1,05 ^d
	FROSTA	15,43 ± 1,79 ^d	14,76 ± 1,91 ^e	17,81 ± 0,69 ^e	16,58 ± 2,34 ^d	16,78 ± 1,17 ^d
	HL 155-05	17,31 ± 0,67 ^b	22,11 ± 3,52 ^a	22,98 ± 2,97 ^s	23,56 ± 2,56 ^b	25,45 ± 1,24 ^b
	B 11	15,55 ± 0,92 ^{a,b}	16,25 ± 1,54 ^d	17,36 ± 1,23 ^f	18,74 ± 0,92 ^c	21,59 ± 1,15 ^c
	HL 53	17,81 ± 1,63 ^a	19,36 ± 2,27 ^b	20,43 ± 2,25 ^b	27,99 ± 3,69 ^a	30,69 ± 2,66 ^a
Stres ⁵⁾	GALA	17,16 ± 1,00 ^c	18,53 ± 0,77 ^c	15,57 ± 1,55 ^g	11,25 ± 1,32 ^g	13,23 ± 1,25 ^f
	IDARED	14,50 ± 0,76 ^e	13,14 ± 2,25 ^f	11,15 ± 0,64 ^j	9,92 ± 1,01 ⁱ	11,45 ± 0,99 ^g
	FROSTA	15,43 ± 1,79 ^d	14,76 ± 1,91 ^e	14,13 ± 2,04 ⁱ	11,25 ± 1,02 ^g	13,39 ± 0,92 ^f
	HL 155-05	17,31 ± 0,67 ^b	22,11 ± 3,52 ^a	19,91 ± 1,05 ^c	16,99 ± 1,94 ^d	20,84 ± 1,21 ^c
	B 11	15,55 ± 0,92 ^{a,b}	16,25 ± 1,54 ^d	14,66 ± 1,69 ^h	10,28 ± 1,03 ^{g,h}	14,59 ± 1,08 ^e
	HL 53	17,81 ± 1,63 ^a	19,36 ± 2,27 ^b	14,40 ± 1,33 ^h	13,76 ± 1,15 ^f	16,83 ± 1,58 ^d

1) Variant, 2) Genotype, 3) Development phase, 4) Control, 5) Stress

Dále byl potvrzen vliv varianty na obsah pigmentů, protože stresované varianty vykazovaly nižší hodnoty ve srovnání s kontrolou. Snížení obsahu pigmentů v důsledku deficitu vody zde činilo 4,05 nM cm⁻² (21,34 %). Podle Hniličky *et al.* (2023) může být snížení pigmentů a zejména chlorofylů způsobeno nejenom jejich degradací, případně vznikem chloróz, ale především jejich syntézou a tvorbou reaktivních forem kyslíku (ROS), což také potvrzují např. Bhusal *et al.* (2019).

Po následné rehydrataci se obsah pigmentů v listech zvýšil, avšak jejich obsah již nedosahoval hodnot naměřených u kontrolních rostlin. Shodný výsledek konstatují také např. Barboričová *et al.* (2022).

U kontrolních rostlin obsah pigmentů v rámci vývoje rostlin u všech sledovaných genotypů narůstal, s výjimkou odrůd 'Idared' a 'Frosta'. U obou odrůd se obsah pigmentů průkazně snížil mezi vývojovými fázemi 31 a 39 BBCH. V případě odrůdy 'Frosta' bylo snížení ještě mezi fázemi 55 a 60 BBCH. Naměřený interval hodnot obsahu pigmentů byl od 13,14 nM cm⁻² ('Idared', 39 BBCH) do 30,69 nM cm⁻² (HL 53, 67 BBCH). V rámci kontrolních rostlin měl nejvyšší obsah pigmentů genotyp HL 53 (23,26 nM cm⁻²) a naopak nejnižší odrůda 'Idared' (14,76 nM cm⁻²).

Během působení vodního deficitu dochází k poklesu obsahu pigmentů již na jeho počátku (fáze 55 BBCH), kdy nejvyšší snížení bylo zaznamenáno u genotypu HL 53 o $6,03 \text{ nM cm}^{-2}$ a naopak nejnižší u odrůdy 'Frosta' o $3,68 \text{ nM cm}^{-2}$ v porovnání s kontrolou, jak dokládá tabulka 1. Podle Viljevač *et al.* (2013) a Mihaljevič *et al.* (2021) dochází vlivem sucha ke snížení obsahu chlorofylů v listech po dvanácti dnech působení stresoru. Tento závěr nebyl u sledovaných genotypů potvrzen, neboť obsah pigmentů se snížil již sedmý den po působení vodního deficitu. Rozdíl je patrně způsoben rozdílným způsobem navození vodního deficitu a výběrem podnože.

Dále je patrné, že na 14denní vodní deficit reaguje citlivě genotyp HL 53, u kterého se snížil obsah pigmentů o $14,23 \text{ nM cm}^{-2}$ ve srovnání se zavlažovanou kontrolou. Naopak nejnižší snížení bylo zjištěno u genotypu HL 155-05, u něhož se obsah pigmentů snížil o $6,57 \text{ nM cm}^{-2}$. Mihaljevič *et al.* (2021) konstatují, že existují meziodrůdové rozdíly v reakci na suchu. Opačné genotypové rozdíly ve své práci uvádí Bhusal *et al.* (2019). Rozdíl ve výsledcích může být dán sníženou degradací chlorofylu a jeho poškozením ROS.

Po obnovení závlivky se obsah pigmentů u všech sledovaných genotypů zvýšil, přičemž na rehydrataci průkazně nejvyšším zvýšením obsahu pigmentů reagoval genotyp B 11 a na straně druhé statisticky neprůkazně odrůda 'Idared'. Obsah pigmentů v listech rostlin lze tedy považovat za dobrý indikátor stanovení odolnosti/citlivosti genotypů vůči stresům.

Rychlost výměny plynů

Rychlost fotosyntézy (P_n) byla významně ovlivněna na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ variantou pokusu a genotypem, jak je dokumentováno v tabulce 2. Vlivem vodního deficitu dochází k průkaznému snížení fotosyntézy, kdy její průměrná hodnota u kontrolních rostlin byla $8,11 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, kdežto u rostlin stresovaných $7,41 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Snížení rychlosti fotosyntézy vlivem vodního deficitu uvádí Kandel *et al.* (2021). Poklesy fotosyntézy u stresovaných rostlin jsou způsobeny snížením obsahu pigmentů, a využitím sluneční energie (Galmes *et al.*, 2007), jak dokládají i výsledky získané v tomto pokusu. Dále se fotosyntéza snižuje vlivem stomatální a nestomatální inhibice, rovněž i aktivitou enzymů (Parry *et al.*, 2002). Wang *et al.* (2022) doplňují ještě změnu v transportu elektronů v rámci fotosystému II (hodnoty fluorescence).

Nejnižší P_n během experimentu vykazoval genotyp B 11, který měl $P_n 7,47 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Naopak nejvyšší rychlost fotosyntézy zaznamenala odrůda 'Frosta' ($7,99 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Po rehydrataci se fotosyntéza oproti vodnímu deficitu zvýšila hodnot kontrolních rostlin, ale nedosáhla, což je v souladu s výsledky např. Badr a Brüggemann (2020) u kukuřice. Rychlost reverzibility je dána nejenom délkou trvání vodního deficitu, ale také genotypovými rozdíly. Podle Gomes *et al.* (2012) již dochází k mírnému navýšení rychlosti fotosyntézy u stresovaných rostlin již po 1. dnu rehydratace. S ohledem na skutečnost, že rychlost fotosyntézy byla měřena až 7. dne po rehydrataci, lze usuzovat, že se vliv závlahy projeví ihned po její obnově.

Rychlost fotosyntézy kontrolních rostlin se v rámci pokusu pohybovala v rozpětí hodnot od $7,18 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (HL 53, 31 BBCH) do $9,01 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (B 11, 67 BBCH). V rámci vývoje rostlin je možné u většiny sledovaných genotypů zaznamenat postupný nárůst rychlosti fotosyntézy, pouze u odrůdy 'Gala Galaval' a genotypu B 11 byl zaznamenán v rámci jednotlivých fází vývoje neprůkazný pokles.

Ve fázi 55 BBCH byl navozen vodní stres, kdy byl v porovnání s rostlinami zavlažovanými u všech genotypů zaznamenán pokles fotosyntézy, přičemž nejvyšší průkazný pokles fotosyntézy v rámci dvou na sebe navazujících fází vývoje byl naměřen u genotypů HL 155-05 ($7,15 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 8,64 %) a HL 53 ($7,14 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 8,01 %). Naopak na straně druhé bylo neprůkazné snížení fotosyntézy zjištěno u odrůdy 'Frosta', u níž fotosyntéza klesla o 3,97 % na hodnotu $7,64 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Po 14denním působení vodního deficitu se téměř u všech sledovaných genotypů rychlost fotosyntézy průkazně snížila, přičemž nejnižší snížení fotosyntézy vykazovala odrůda 'Frosta' ($7,52 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 5,41 %). U zbývajících genotypů bylo snížení výraznější, neboť v rámci této skupiny genotypů zaznamenal nejnižší pokles genotyp B 11, a to o 8,31 %, $0,63 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, naopak nejvyšší odrůda 'Idared'. U této odrůdy se fotosyntéza snížila o 10,40 % ($0,84 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). U všech sledovaných genotypů se v důsledku rehydratace fotosyntéza zvýšila. Nejnižší zvýšení fotosyntézy bylo zaznamenáno u genotypu HL 155-05 ($7,19 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a naopak nejvyšší u odrůdy 'Idared' ($7,59 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Fenotypové rozdíly v reakci rostlin na vodní deficit potvrzuje např. *Chaves et al.* (2002).

Tabulka 2. Vliv varianty na rychlost fotosyntézy (P_n , $\mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) v závislosti na ontogenetickém vývoji vybraných genotypů jabloní. Statisticky významné rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ jsou označeny písmeny.

Table 2. The effect of the variant on the rate of photosynthesis (P_n , $\mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) depending on the ontogenetic development of selected genotypes of apple trees. Statistically significant differences at the significance level of $\alpha = 0.05$ are indicated by letters.

Varianta ¹⁾	Genotyp ²⁾	Vývojová fáze ³⁾				
		31 BBCH	39 BBCH	55 BBCH	60 BBCH	67 BBCH
Kontrola ⁴⁾	GALA	$7,26 \pm 0,72$ ^b	$7,98 \pm 0,84$ ^{a,b}	$7,60 \pm 0,43$ ^c	$7,84 \pm 0,70$ ^e	$8,05 \pm 0,83$ ^c
	IDARED	$7,37 \pm 0,89$ ^a	$8,07 \pm 0,81$ ^a	$8,54 \pm 0,66$ ^a	$8,60 \pm 0,73$ ^b	$8,63 \pm 0,81$ ^b
	FROSTA	$7,29 \pm 0,42$ ^d	$7,95 \pm 0,62$ ^b	$8,62 \pm 0,55$ ^a	$8,87 \pm 0,63$ ^a	$9,01 \pm 0,63$ ^a
	HL 155-05	$7,26 \pm 0,93$ ^b	$7,83 \pm 0,75$ ^{b,c}	$7,90 \pm 0,85$ ^b	$8,27 \pm 0,70$ ^c	$8,64 \pm 0,98$ ^b
	B 11	$7,26 \pm 0,88$ ^b	$7,65 \pm 0,94$ ^d	$7,95 \pm 0,77$ ^b	$7,84 \pm 1,54$ ^e	$7,69 \pm 1,04$ ^{d,e}
	HL 53	$7,18 \pm 0,66$ ^c	$7,77 \pm 0,91$ ^{c,d}	$7,89 \pm 0,72$ ^b	$7,99 \pm 0,83$ ^d	$8,07 \pm 0,94$ ^c
Stres ⁵⁾	GALA	$7,26 \pm 0,72$ ^b	$7,98 \pm 0,84$ ^{a,b}	$7,36 \pm 0,82$ ^e	$7,20 \pm 0,73$ ^g	$7,43 \pm 0,81$ ^f
	IDARED	$7,37 \pm 0,89$ ^a	$8,07 \pm 0,81$ ^a	$7,46 \pm 1,05$ ^d	$7,23 \pm 0,98$ ^g	$7,59 \pm 0,82$ ^e
	FROSTA	$7,29 \pm 0,42$ ^d	$7,95 \pm 0,62$ ^b	$7,64 \pm 0,63$ ^c	$7,52 \pm 0,63$ ^f	$7,79 \pm 0,91$ ^d
	HL 155-05	$7,26 \pm 0,93$ ^b	$7,83 \pm 0,75$ ^{b,c}	$7,15 \pm 0,82$ ^{f,g}	$7,08 \pm 0,95$ ^h	$7,19 \pm 0,75$ ^{h,i}
	B 11	$7,26 \pm 0,88$ ^b	$7,65 \pm 0,94$ ^d	$7,20 \pm 0,75$ ^f	$7,02 \pm 1,02$ ^h	$7,25 \pm 0,88$ ^g
	HL 53	$7,18 \pm 0,66$ ^c	$7,77 \pm 0,91$ ^{c,d}	$7,14 \pm 0,57$ ^g	$7,02 \pm 0,97$ ^h	$7,16 \pm 0,95$ ^{h,i}

1) Variant, 2) Genotype, 3) Development phase, 4) Control, 5) Stress

V tabulce 3 jsou uvedeny hodnoty rychlosti transpirace (E) kontrolních a stresovaných rostlin jabloní v závislosti na vývoji rostlin. Z uvedené tabulky je patrné, že rychlost transpirace je shodně s rychlostí fotosyntézy ovlivněna vývojem rostlin, především pak vodním deficitem. V případě rostlin stresovaných byla transpirace ve výši $1,63 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, což je o 10,44 % nižší hodnota než u kontrolních rostlin. Ke snížení rychlosti transpirace u stresovaných rostlin dochází v důsledku ztráty turgoru a k postupnému uzavírání průduchů, jak dokládají práce např. Liu *et al.* (2022). V rámci hodnocení jednotlivých genotypů je možné konstatovat, že nejnižší průměrnou transpiraci vykazuje odrůda 'Frosta' ($1,40 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a genotyp B 11 ($1,56 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Naopak nejvyšší průměrná transpirace byla stanovena u genotypu HL 53 ($1,88 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a odrůdy 'Gala Galaval' ($1,92 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Vliv genotypu na změny v rychlosti transpirace u rostlin ovlivněných vodním deficitem potvrzují práce Hnilička *et al.* (2023).

Transpirace kontrolních rostlin byla nejnižší ve fázi 31 BBCH a nejvyšší na konci pokusu ve fázi 67 BBCH. Ve fázi 31 BBCH byla transpirace nejnižší u genotypu HL 53 ($0,14 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a u nejvyšší u odrůdy 'Idared' ($1,12 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Na konci pokusu byl interval hodnot transpirace od $2,15 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ('Frosta') do $3,38 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ('Gala Galaval'). Oproti fotosyntéze je možné, viz tabulka 3, sledované genotypy rozdělit do dvou skupin. První skupinu představují genotypy, u nichž se vlivem vodního deficitu transpirace zvyšuje. Tento trend byl zaznamenán v průběhu působení stresu. Do této skupiny patří odrůdy 'Gala Galaval' a 'Frosta'. Vzhledem k této skutečnosti se jedná o odrůdy nevhodné do sušších oblastí. V případě odrůdy 'Gala Galaval' byla rychlost transpirace ve fázi 55 BBCH $2,19 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a ve fázi 67 BBCH $2,02 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, kdy se jednalo o 41,17% a 26,79% zvýšení v porovnání s hodnotou ve fázi 39 BBCH. U odrůdy 'Frosta' byla rychlost transpirace v těchto vývojových fázích $1,33 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a $1,90 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Druhá skupina zahrnuje genotypy, u nichž vlivem vodního deficitu dochází ke snížení rychlosti transpirace. Na počátku stresu se neprůkazně snížila transpirace u genotypu HL 53 ($2,22 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a naopak průkazně u odrůdy 'Idared' ($1,08 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Na konci vodního deficitu bylo snížení transpirace ve srovnání s obdobím se závlahou neprůkazné u odrůdy 'Idared' ($1,69 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a průkazné u genotypu B 11 ($1,65 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Na rehydrataci neprůkazně reagoval genotyp HL 155-05, kdy se transpirace ve srovnání se stresem zvýšila o 1,42 % ($1,93 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Na rehydrataci průkazně nejlépe reagovala odrůda 'Idared', u níž se transpirace zvýšila o 35,68 % ($2,29 \text{ mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Zvýšení transpirace stresovaných rostlin po obnovení závlahy souvisí nejenom s obnovou turgoru, ale také růstem buněk a nových pletiv.

Získané rozdíly sledovaných genotypů v reakci na vodní deficit a jejich rozdělení na citlivé a tolerantní dle výměny plynů a obsahu vody v listech uvádí např. Mihaljevič *et al.* (2021), kteří konstatují, že odolnější jsou krajové odrůdy v porovnání s odrůdami tržními. Obdobné výsledky potvrdili u kávovníku Tounekti *et al.* (2018).

Tabulka 3. Vliv varianty na rychlost transpirace (E , $\text{mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) v závislosti na ontogenetickém vývoji vybraných genotypů jabloní. Statisticky významné rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ jsou označeny písmeny.

Table 3. The effect of the variant on the rate of transpiration (E , $\text{mM H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) depending on the ontogenetic development of selected genotypes of apple trees. Statistically significant differences at the significance level of $\alpha = 0.05$ are indicated by letters.

Varianta ¹⁾	Genotyp ²⁾	Vývojová fáze ³⁾				
		31 BBCH	39 BBCH	55 BBCH	60 BBCH	67 BBCH
Kontrola ⁴⁾	GALA	0,58 ± 0,24 ^c	1,55 ± 0,18 ^d	2,49 ± 0,27 ^a	2,49 ± 0,27 ^a	3,38 ± 0,31 ^a
	IDARED	1,12 ± 0,21 ^a	1,77 ± 0,30 ^{c,d}	1,13 ± 0,18 ^f	2,19 ± 0,22 ^b	2,70 ± 0,42 ^b
	FROSTA	0,75 ± 0,31 ^b	1,05 ± 0,18 ^e	1,39 ± 0,13 ^e	1,47 ± 0,22 ^e	2,15 ± 0,26 ^e
	HL 155-05	0,78 ± 0,23 ^b	2,15 ± 0,15 ^b	2,21 ± 0,13 ^b	2,26 ± 0,24 ^a	2,43 ± 0,22 ^c
	B 11	0,15 ± 0,22 ^d	1,89 ± 0,17 ^c	1,94 ± 0,23 ^c	2,19 ± 0,19 ^b	2,24 ± 0,15 ^d
	HL 53	0,14 ± 0,18 ^d	2,29 ± 0,19 ^a	2,15 ± 0,15 ^{b,c}	2,21 ± 0,33 ^b	2,83 ± 0,17 ^b
Stres ⁵⁾	GALA	0,58 ± 0,24 ^c	1,55 ± 0,18 ^d	2,19 ± 0,25 ^{b,c}	2,02 ± 0,27 ^c	2,37 ± 0,19 ^c
	IDARED	1,12 ± 0,21 ^a	1,77 ± 0,30 ^{c,d}	1,08 ± 0,19 ^f	1,69 ± 0,17 ^d	2,29 ± 0,21 ^d
	FROSTA	0,75 ± 0,31 ^b	1,05 ± 0,18 ^e	1,33 ± 0,25 ^e	1,90 ± 0,23 ^c	2,15 ± 0,27 ^e
	HL 155-05	0,78 ± 0,23 ^b	2,15 ± 0,15 ^b	1,87 ± 0,13 ^c	1,90 ± 0,17 ^c	1,93 ± 0,16 ^e
	B 11	0,15 ± 0,22 ^d	1,89 ± 0,17 ^c	1,71 ± 0,25 ^d	1,65 ± 0,19 ^d	1,78 ± 0,14 ^f
	HL 53	0,14 ± 0,18 ^d	2,29 ± 0,19 ^a	2,22 ± 0,29 ^b	2,09 ± 0,17 ^{b,c}	2,47 ± 0,25 ^g

1) Variant, 2) Genotype, 3) Development phase, 4) Control, 5) Stress

Fluorescence chlorofylu

Jedním z významných parametrů, které se využívají ke stanovení odolnosti/citlivosti na stres jsou parametry fluorescence, jako je např. F_v/F_m (Ahrens *et al.*, 2021). Výsledky uvedené v tabulce 4 proto uvádí změny hodnot fluorescence chlorofylů (maximální kvantový výtěžek fluorescence) u vybraných genotypů jabloní v závislosti na ontogenetickém vývoji rostlin a působení vodního deficitu.

Je možné konstatovat, že deficit vody ovlivňuje parametry fluorescence (F_v/F_m), neboť u stresovaných rostlin byla hodnota F_v/F_m 0,700, kdežto u kontrolních rostlin byla 0,800. Nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl v hodnotě F_v/F_m mezi sledovanými genotypy, kdy jejich průměrná hodnota činila 0,751, což je hodnota nižší než obvykle udávaná hodnota F_v/F_m , která je 0,820, jak dokládá tabulka 4. Uvedené výsledky odpovídají závěrům Hniličky *et al.* (2023) u pšenice.

Lze konstatovat, že nižší hodnota fluorescence byla pozorována u genotypu HL155-05 (0,739) a vyšší u odrůdy 'Gala Galaval' (0,758). U rostlin kontrolních byly hodnoty maximálního kvantového výtěžku fluorescence v rámci ontogenetického vývoje vyrovnané a nebyly nalezeny průkazné diference. Interval naměřených hodnot fluorescence byl 0,790 ('Idared', 67 BBCH) až 0,817 (HL 53, 60 BBCH). Po navození vodního stresu bylo zaznamenáno u rostlin stresovaných nižší hodnoty fluorescence.

Nižší poměr Fv/Fm byl zaznamenán u jabloní na začátku vodního deficitu, kdy se v porovnání se zavlažovanými rostlinami průkazně snížil, kdy nejnižší hodnota fluorescence byla naměřena u genotypu HL 155-05 (0,550) a naopak nejvyšší u odrůdy 'Gala Galaval' (0,660). Po čtrnácti dnech působení vodního deficitu byly hodnoty neprůkazně vyšší než na jeho počátku, avšak stále detekovaly střední vodní stres. Na konci působení vodního stresu byly hodnoty fluorescence v rámci genotypů relativně vyrovnané. Nejnižší hodnota poměru Fv/Fm byla stanovena u odrůdy 'Frosta' (0,630) a nejvyšší u genotypu HL 53 (0,683). Snížení hodnot fluorescence u jabloní vlivem působení vodního deficitu potvrzují např. Bhusal *et al.* (2019) a u olivovníku Faraloni *et al.* (2011). Uvedené snížení hodnot poměru Fv/Fm je spojeno s oxidačním stresem a poškozením buněčné membrány vlivem zvýšené peroxidace lipidů (Benhassaine-Kesri *et al.*, 2002). Dále dochází ke zvýšenému rozptylu tepla, energie, ke snížení karboxylační aktivity a přenosu elektronů během fotosyntézy. Dle výsledků Lu a Zhang (1998) dochází rovněž k fotoinhibici, která snižuje fluorescenci.

Vlivem rehydratace se hodnoty maximálního kvantového výtěžku fluorescence snížily. Dle výsledků Mihaljevič *et al.* (2021) dochází k postupné obnově fluorescence stresovaných rostlin na úroveň kontrolních rostlin za čtrnáct dnů po obnovení závlivky. Vzhledem ke skutečnosti, že období rehydratace bylo sedm dnů, tak nelze zcela jednoznačně uvedený závěr potvrdit. Lze však konstatovat, že sedm dnů rehydratace je pro rostliny jabloní nedostačující.

Tabulka 4. Vliv varianty na Fv/FM (maximální kvantový výtěžek fluorescence) v závislosti na ontogenetickém vývoji vybraných genotypů jabloní. Statisticky významné rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ jsou označeny písmeny.

Table 4. The effect of the variant on Fv/FM (maximum fluorescence quantum yield) depending on the ontogenetic development of selected apple genotypes. Statistically significant differences at the significance level of $\alpha = 0.05$ are indicated by letters.

Varianta ¹⁾	Genotyp ²⁾	Vývojová fáze ³⁾				
		31 BBCH	39 BBCH	55 BBCH	60 BBCH	67 BBCH
Kontrola ⁴⁾	GALA	0,793 ± 0,01	0,799 ± 0,01	0,807 ± 0,01 ^a	0,800 ± 0,01 ^a	0,800 ± 0,01 ^{a,b}
	IDARED	0,793 ± 0,01	0,796 ± 0,01	0,798 ± 0,01 ^a	0,793 ± 0,01 ^b	0,790 ± 0,01 ^{a,b}
	FROSTA	0,795 ± 0,01	0,790 ± 0,01	0,802 ± 0,01 ^a	0,797 ± 0,01 ^{a,b}	0,807 ± 0,01 ^a
	HL 155-05	0,797 ± 0,01	0,800 ± 0,01	0,790 ± 0,01 ^b	0,813 ± 0,01 ^a	0,808 ± 0,04 ^a
	B 11	0,795 ± 0,01	0,800 ± 0,01	0,799 ± 0,01 ^a	0,798 ± 0,01 ^{a,b}	0,802 ± 0,04 ^a
	HL 53	0,800 ± 0,01	0,792 ± 0,01	0,800 ± 0,01 ^a	0,817 ± 0,01 ^a	0,798 ± 0,02 ^{a,b}
Stres ⁵⁾	GALA	0,793 ± 0,01	0,799 ± 0,01	0,660 ± 0,01 ^c	0,664 ± 0,02 ^d	0,660 ± 0,01 ^c
	IDARED	0,793 ± 0,01	0,796 ± 0,01	0,659 ± 0,05 ^c	0,681 ± 0,02 ^c	0,659 ± 0,05 ^c
	FROSTA	0,795 ± 0,01	0,790 ± 0,01	0,618 ± 0,01 ^d	0,630 ± 0,01 ^e	0,607 ± 0,01 ^e
	HL 155-05	0,797 ± 0,01	0,800 ± 0,01	0,550 ± 0,02 ^f	0,659 ± 0,04 ^d	0,574 ± 0,05 ^f
	B 11	0,795 ± 0,01	0,800 ± 0,01	0,637 ± 0,01 ^e	0,644 ± 0,01 ^e	0,633 ± 0,04 ^d
	HL 53	0,800 ± 0,01	0,792 ± 0,01	0,624 ± 0,03 ^d	0,683 ± 0,03 ^c	0,631 ± 0,04 ^d

1) Variant, 2) Genotype, 3) Development phase, 4) Control, 5) Stress

ZÁVĚR

Z fyziologických charakteristik byly sledovány obsah pigmentů, rychlost fotosyntézy a transpirace, fluorescence chlorofylů. Z výsledků vyplývá, že vlivem působení vodního deficitu dochází ke snížení všech sledovaných charakteristik. Byl potvrzen rozdíl mezi novošlechtěním a referenčními odrůdami. Vlivem rehydratace dochází k nárůstu všech fyziologických parametrů, avšak nebylo dosaženo hodnot kontrolních rostlin. Sedmidenní rehydratace se pro jabloně ukázala být příliš krátkou. Z výsledků je patrné, že vlivem zvýšení hodnot transpirace v období sucha u odrůd 'Gala Galaval' a 'Frosta' jsou tyto odrůdy nevhodné do sušších oblastí. Odrůda 'Idared' je naopak odrůdou plastičtější. Jako nadějně genotypy s potenciálem pro další výzkum se jeví genotypy HL 53, HL 155-05.

PODĚKOVÁNÍ

Uvedený výzkum byl financován projektem MZe ČR – NAZV QK21010200: „Šlechtění ovocných druhů na odolnost k abiotickým vlivům v kombinaci s vysokým obsahem antioxidantů v plodech“.

LITERATURA

- AHRENS, C. W.; CHALLIS, A.; BYRNE, M.; LEIGH, A.; NICOTRA, A. B.; TISSUE, D. a RYMER, P. Repeated extreme heatwaves result in higher leaf thermal tolerances and greater safety margins. Online. *New Phytologist*. 2021, vol. 232, no. 3, p. 1212–1225. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/nph.17640>. [cit. 2024-08-11]
- BADR, A. a BRÜGGEMANN, W. Comparative analysis of drought stress response of maize genotypes using chlorophyll fluorescence measurements and leaf relative water content. Online. *Photosynthetica*. 2020, vol. 58, no. 2, p. 38–645. Dostupné z: <https://doi.org/10.32615/ps.2020.014>. [cit. 2024-08-07]
- BARBORIČOVÁ, M.; FILAČEK, A.; VYSOKÁ, D. M.; GAŠPAROVIČ, K.; ŽIVČÁK, M. a BRESTIC, M. Sensitivity of fast chlorophyll fluorescence parameters to combined heat and drought stress in wheat genotypes. Online. *Plant, Soil and Environment*. 2022, vol. 68, no. 7, p. 309–316. Dostupné z: <https://doi.org/10.17221/87/2022-PSE>. [cit. 2024-08-08]
- BENHASSAINE-KESRI, G.; AID, F.; DEMANDRE, C.; KADER, J.C. a MAZLIAK, P. Drought stress affects chloroplast lipid metabolism in rape (*Brassica napus*) leaves. Online. *Plant Physiology*. 2002, vol. 115, no. 2, p. 221–227. Dostupné z: <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150207.x> [cit. 2024-08-13]
- BHUSAL, N.; HAN, S. G. a YOON, T. M. Impact of drought stress on photosynthetic response, leaf water potential, and stem sap flow in two cultivars of bi-leader apple trees (*Malus domestica* Borkh.). Online. *Scientia Horticulturae*. 2019, vol. 246, p. 535–543. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.021>. [cit. 2024-08-13]
- BHUSAL, N.; LEE, M.; HAN, A. R.; HAN, A. a KIM, H. S. Responses to drought stress in *Prunus sargentii* and *Larix kaempferi* seedlings using morphological and physiological parameters. Online. *Forest Ecology and Management*. 2020, vol. 465, art. 118099. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118099>. [cit. 2023-02-08]
- COGDELL, R. J. a GARDINER, A. T. Functions of carotenoids in photosynthesis. *Methods in Enzymology*. 1993, vol. 214, p. 185–193. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(93\)14065-Q](https://doi.org/10.1016/0076-6879(93)14065-Q). [cit. 2024-08-08]
- ČSÚ. *Statistická ročenka České republiky 2023*. Editoval Marek ROJÍČEK. Praha: Český statistický úřad, 2003, p. 409–436. ISBN 978-80-250-3428-6.

- DELGADO-PELAYO, R.; GALLARDO-GUERRERO, L. a HORNERO-MÉNDEZ, D. Chlorophyll and carotenoid pigments in the peel and flesh of commercial apple fruit varieties. Online. *Food Research International*. 2014, vol. 65, Art. Part B, p. 272–281. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.025>. [cit. 2024-08-18]
- DOS SANTOS GOUVÊA, P. R. a MARENCO, R. A. Is a reduction in stomatal conductance the main strategy of *Garcinia brasiliensis* (Clusiaceae) to deal with water stress? Online. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*. 2018, vol. 30, no. 4, p. 321-333. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s40626-018-0127-0>. [cit. 2024-08-18]
- DRAKE, J. E.; POWER, S. A.; DUURSMA, R. A.; MEDLYN, B. E.; ASPINWALL, M. J.; CHOAT, B.; CREEK, D.; EAMUS, D.; MAIER, C.; PFAUTSCH, S.; SMITH, R. A.; TJOELKER, M. G. a TISSUE, D. T. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis for four tree species under drought: A comparison of model formulations. Online. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2017, vol. 247, p. 454–466. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.026>. [cit. 2024-08-18]
- FARALONI, C.; CUTINO, I.; PETRUCCCELLI, R.; LEVA, A.R.; LAZZERI, S. a TORZILLO, G. Chlorophyll fluorescence technique as a rapid tool for in vitro screening of olive cultivars *Olea europaea* (L.) tolerant to drought stress. *Environmental and Experimental Botany*. 2011, vol. 73, p. 49–56. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.10.011>. [cit. 2024-08-18]
- FARQUHAR, G. D.; EHLERINGER, J. R. a HUBICK, K. T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. Online. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 1989, vol. 40, p. 503–537. Dostupné z: <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.40.060189.002443>. [cit. 2024-08-18]
- FLEXAS, J. a CARRIQUI, M. Photosynthesis and photosynthetic efficiencies along the terrestrial plant's phylogeny: lessons for improving crop photosynthesis. Online. *Plant Journal*. 2020, vol. 101, no. 4, p. 964–978. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/tpj.14651>. [cit. 2024-08-18]
- GALMES, J.; MEDRANO, H. a FLEXAS, J. Photosynthetic limitations in response to water stress and recovery in Mediterranean plants with different growth forms. Online. *New Phytologist*. 2007, vol. 175, no. 1, p. 81–93. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02087.x>. [cit. 2024-08-18]
- GOLLDACK, D., LÜKING, I. a YANG, O. Plant tolerance to drought and salinity: stress regulating transcription factors and their functional significance in the cellular transcriptional network. Online. *Plant Cell Reports*. 2011, vol. 30, p. 1383–1391. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00299-011-1068-0>. [cit. 2024-08-18]
- GOMES, M. T. G.; da LUZ, A. C.; ROSSI dos SANTOS, M.; DO CARMO PIMENTEL BATITUCCI, M.; MOURA SILVA, D. a FALQUETO, A. R. Drought tolerance of passion fruit plants assessed by the OJIP chlorophyll a fluorescence transient. Online. *Scientia Horticulturae*. 2012, vol. 142, p. 49–56. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.04.026>. [cit. 2024-08-28]
- HARRIS, S. A.; ROBINSON, J. P. a JUNIPER, B. E. Genetic clues to the origin of the apple. Online. *Trends in Genetics*. 2002, vol. 18, no. 8, p. 426–430. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0168-9525\(02\)02689-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9525(02)02689-6). [cit. 2024-08-28]
- HNILIČKA, F.; LYSYTSKYI, S.; RYGL, T.; HNILICKOVA, H. a PECKA, J. Effect of Short-Term Water Deficit on Some Physiological Properties of Wheat (*Triticum aestivum* L.) with Different Spike Morphotypes. Online. *Agronomy*. 2023, vol. 13, art. 2892. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/agronomy13122892>. [cit. 2024-08-28]
- CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M.; RICARDO, C. P. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T. a PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field: Photosynthesis and growth. Online. *Annals of Botany*. 2002, vol. 89, no. 7, p. 907–916. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/aob/mcf105>. [cit. 2024-08-28]

- JAHNS, P. a HOLZWARTH, A. R. The role of the xanthophyll cycle and of lutein in photoprotection of photosystem II. Online. *Biochimica et Biophysica Acta*. 2012, vol. 1817, no. 1, p. 182–193. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2011.04.012>. [cit. 2024-08-28]
- KANDEL, S. Wheat responses, defence mechanisms and tolerance to drought stress: a review article. Online. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*. 2021, vol. 8, no. 5, p. 99–109. Dostupné z: <https://doi.org/10.31033/ijrasb.8.5.14>. [cit. 2024-08-28]
- KUKLOVÁ, M.; HNILIČKOVÁ, H.; KUKLA, J. a HNILIČKA, F. Environmental impact of the Al smelter on physiology and macronutrient contents in plants and Cambisols. Online. *Plant, Soil and Environment*. 2015, vol. 61, no. 2, p. 72–78. Dostupné z: <https://doi.org/10.17221/881/2014-PSE>. [cit. 2024-08-06]
- LI, F.; COHEN, S.; NAOR, A.; SHAOZONG, K. a EREZ, A. Studies of canopy structure and water use of apple trees on three rootstocks. Online. *Agricultural Water Management*. 2002, vol. 55, no. 1, p. 1–14. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00184-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00184-6). [cit. 2024-08-16]
- LIU, H.; SONG, S.; ZHANG, H.; LI, Y.; NIU, L.; ZHANG, J. a WANG, W. Signaling transduction of ABA, ROS, and Ca²⁺ in plant stomatal closure in response to drought. Online. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022, vol. 23, art. 14824. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijms232314824>. [cit. 2024-08-16]
- LU, C. a ZHANG, J. Effects of water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition in wheat plants. Online. *Functional Plant Biology*. 1998, vol. 25, no. 8, p. 883–892. Dostupné z: <https://doi.org/10.1071/PP98129>. [cit. 2024-08-16]
- MIHALJEVIĆ, I.; VILJEVAC VULETIĆ, M.; ŠIMIĆ, D.; TOMAŠ, V.; HORVAT, D.; JOSIPOVIĆ, M.; ZDUNIČ, Z.; DUGALIČ, K. a VUKOVIĆ, D. Comparative study of drought stress effects on traditional and modern apple cultivars. Online. *Plants*. 2021, vol. 10, art. 561. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/plants10030561>. [cit. 2024-08-16]
- PARRY, M. A. J.; ANDRALOJC, P. J.; KHAN, S.; LEA, P. J. a KEYS, A. J. Rubisco activity: Effects of drought stress. Online. *Annals of Botany*. 2002, vol. 89, no. 7, p. 833–839. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/aob/mcf103>. [cit. 2024-08-29]
- PÉREZ-PÉREZ, J. G.; ROMERO, P.; NAVARRO, J. M. a BOTÍA, P. Response of sweet orange cv “Lane late” to deficit irrigation in two rootstocks. I: Water relations, leaf gas exchange and vegetative growth. Online. *Irrigation Science*. 2008, vol. 26, art. 5, p. 415–425. Dostupné z: <https://doi.org/10.1071/PP98129>. [cit. 2024-08-29]
- PORRA, R. J.; THOMPSON, W. A. a KRIEDEMANN, P. E. Determination of Accurate Extinction Coefficients and Simultaneous Equations for Assaying Chlorophylls a and b Extracted with Four Different Solvents: Verification of the Concentration of Chlorophyll Standards by Atomic Absorption Spectroscopy. Online. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics*. 1989, vol. 975, no. 3, p. 384–394. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0005-2728\(89\)80347-0](https://doi.org/10.1016/S0005-2728(89)80347-0). [cit. 2020-05-15]
- ROHÁČEK, K. a BARTÁK, M. Technique of the Modulated Chlorophyll Fluorescence: Basic Concepts, Useful Parameters, and Some Applications. Online. *Photosynthetica*. 1999, vol. 37, no. 3, p. 339–363. Dostupné z: <https://doi.org/10.1023/A:1007172424619>. [cit. 2023-08-29]
- SALMON, Y.; LINTUNEN, A.; DAYET, A.; CHAN, T.; DEWAR, R.; VESALA, T. a HOLTITA, T. Leaf carbon and water status control stomatal and nonstomatal limitations of photosynthesis in trees. Online. *New Phytologist*. 2020, vol. 226, no. 3, p. 690–703. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/nph.16436>. [cit. 2023-08-29]
- ŠIRCELJ, H.; TAUSZ, M.; GRILL, D. a BATIČ, F. Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. Online. *Scientia horticulturae*. 2007, vol. 113, no. 4, p. 362–369. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.04.012>. [cit. 2024-10-24]
- TOUNEKTI, T.; MAHDHI, M.; AL-TURKI, T. a KHEMIRA, H. Water relations and photo-protection mechanisms during drought stress in four coffee (*Coffea arabica*) cultivars from southwestern Saudi

- Arabi. Online. *South African Journal of Botany*. 2018, vol. 117, p. 17–25. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.04.022>. [cit. 2024-08-29]
- VILJEVAČ, M.; DUGALIČ, K.; MIHALJEVIČ, I.; ŠIMIČ, D.; SUDAR, R.; JURKOVIČ, Z. a LEPEDUŠ, H. Chlorophylls content and photosynthetic efficiency in two sour cherry *Prunus cerasus* (L.) genotypes under drought stress. *Acta Botanica Croatica*. 2013, vol. 2, no. 2, p. 221–235.
- WANG, Z. X.; CHEN, L.; AI, J.; QIN, H. Y.; LIU, Y. X.; XU, P. L.; JIAO, Z. Q.; ZHAO, Y. a ZHANG, Q. T. Photosynthesis and activity of photosystem II in response to drought stress in Amur Grape (*Vitis amurensis* Rupr.). Online. *Photosynthetica*. 2012, vol. 50, no. 2, p. 189–196. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0023-9>. [cit. 2024-08-17]
- WANG, J.; ZHANG, X.; HAN, Z.; FENG, H.; WANG, Y.; KANG, J.; HAN, X.; WANG, L.; WANG, C.; LI, H. a MA, G. Analysis of physiological indicators associated with drought tolerance in wheat under drought and re-watering conditions. Online. *Antioxidants*. 2022, vol. 11, art. 2266. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/antiox11112266>. [cit. 2024-08-17]
- ZHOU, S.; DUURSMA, R. A.; MEDLYN, B. E.; KELLY, J. W. G. a PRENTICE, I. C. How should we model plant responses to drought? An analysis of stomatal and non-stomatal responses to water stress. Online. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2013, vol. 182, p. 204–214. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.05.009>. [cit. 2024-08-18]
- ZU, X.; LU, Y.; WANG, Q.; CHU, P.; MIAO, W.; WANG, H. a LA, H. A new method for evaluating the drought tolerance of upland rice cultivars. Online. *Crop Journal*. 2017, vol. 5, no. 6, p. 488–498. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.05.002>. [cit. 2024-08-18]