

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Využití fyziologických charakteristik jabloní při výběru
vhodných genotypů ve vztahu k abiotickým stresorům**

Diplomová práce

**Bc. Tomáš Rýgl
Program Rozvoj venkovského prostoru**

Vedoucí práce doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Využití fyziologických charakteristik jabloní při výběru vhodných genotypů ve vztahu k abiotickým stresorům" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 19. 4. 2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval všem, kteří mě při psaní této práce podporovali. Mé upřímné poděkování náleží zejména doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, za jeho ochotu, připomínky, vstřícný přístup a veškerý čas, který mi věnoval. Dále děkuji své rodině a svým nejbližším, kteří mě podporovali. Poděkování patří rovněž katedře botaniky a fyziologie rostlin, respektive pracovníkům za poskytnutí součinnosti s provedením pokusu, zejména Ing. Barboře Tunklové.

Dedikace

Tato diplomová práce vznikla za finanční podpory projektu QK21010200 Šlechtění ovocných druhů na odolnost k abiotickým vlivům v kombinaci s vysokým obsahem antioxidantních látek v plodech.

Využití fyziologických charakteristik jabloní při výběru vhodných genotypů ve vztahu k abiotickým stresorům

Souhrn

V diplomové práci byl sledován vliv vybraných fyziologických parametrů u 22 vybraných genotypů jabloně domácí. V laboratorním (fóliový kryt) pokusu byl sledován vliv vodního deficitu na obsah fotosynteticky aktivní pigmenty (chlorofyl a karotenoidy), rychlost fotosyntézy a transpirace, efektivita využití vody, fluorescence a vodní potenciál stromků jabloní. Sledované genotypy jabloní byly naroubovány na podnož M9.

Cílem práce byl monitoring fyziologické reakce vybraných genotypů jabloní na působení vodního deficitu za využití fyziologických metod v rámci šlechtění ovocných dřevin. V rámci diplomové práce byly navrženy následující hypotézy: existují rozdíly ve fyziologických parametrech mezi sledovanými genotypy. Existují genotypové rozdíly mezi novošlechtěním a odrůdami v reakci na vodní deficit. Lze využít uvedené fyziologické parametry pro hodnocení odolnosti genotypů vůči stresorům.

V částečně řízených podmínkách foliového krytu VŠÚO, s. r. o. Holovousy byl založen nádobový pokus s rozdílnými genotypy jabloní. V rámci novošlechtění jabloní se jedná o šlechtitelský materiál, proto nejsou uvedeny bližší informace o původu. Mezi testované genotypy novošlechtění byl zařazen tento šlechtitelský materiál: HL2010; HL1282; HL1597; HL827; HL601; HL32; HL2350; HL155-05; HL1185; HL1579; HL1343; HL1311; B11; HL1194; HL53; HL308; HL1651. Mezi referenční odrůdy byly zařazeny tyto genotypy: Frosta; Rubinstep; Idared; Regula a Gala (Galaval). Rostliny byly pěstovány v nádobách o objemu 50 l. Vodní deficit byl navozen vypnutím zálivky po dobu 14 dnů a poté následovalo období 14denní rehydratace. U pokusných rostlin byl sledován obsah fotosynteticky aktivních pigmentů, rychlost výměny plynů, efektivita využití vody, parametry fluorescence a vodní potenciál.

Ze získaných výsledků vyplývá, že vlivem působení vodního deficitu dochází k postupné ztrátě chlorofylu v listech a po následné rehydrataci se jejich množství zvyšuje. Tento trend byl potvrzen u např. genotypů Idared, HL 601, HL 32, Reluga, HL 1579, Frosta, HL 1311). Naopak u genotypů HL 155-05, B 11, HL 1194, HL 2010 se vlivem rehydratace obsah chlorofylů snížil.

Zvýšený obsah karotenoidů na konci vodního deficitu (14 dnů) byl zjištěn např. u genotypů Frosta, HL 827, HL 1597, HL 1185, HL 155-05, HL 601, HL 2010, HL 32, B 11, HL 53, HL 1651. Rychlost fotosyntézy vybraných genotypů jabloní se snižovala v závislosti na působení vodního deficitu a po následné rehydrataci je možné pozorovat její zvýšení. Byly

prokázány genotypové rozdíly v rychlosti fotosyntézy, kdy genotypy Frosta, HL 1194 a Rubinstep jsou v ohledu stresu suchem tolerantnější, genotypy Idared a HL 32 mají střední toleranci a genotypy HL 1651 a B 11 jsou vůči vodnímu deficitu citlivé. U genotypů HL 1292, Frosta, HL 1185, HL 32 a HL 53 bylo v průběhu vodního deficitu zaznamenáno zvýšení rychlosti transpirace. Uvedené genotypy se jeví jako méně vhodné do sušších oblastí. U genotypů Gala (Galaval), Idared, HL 1343, Rubinstep se hodnoty efektivity využití vody vlivem vodního deficitu zvyšovaly. Po působení vodního deficitu dochází ke snížení hodnot maximálního kvantového výtěžku fluorescence a po následné rehydrataci k postupnému zvyšování. Hodnoty fluorescence se u např. u genotypů např. HL1185 a HL 1579 snižovaly již při zahájení stresu. Jedná se tedy o genotypy méně vhodné do sušších oblastí. Jako tolerantní k vodnímu deficitu se jeví genotypy HL 1579, HL 1282, Frosta a Rubinstep. Vlivem vodního deficitu dochází k poklesu hodnot vodního potenciálu stresovaných rostlin. Vodní deficit průkazně snížil hodnoty vodního potenciálu např. u genotypů: Frosta, Reluga, HL 1597, HL 155-05, HL 2350, HL 827, HL 601, HL 308, kdy lze předpokládat, že tyto genotypy jsou citlivé na působení vodního deficitu. Mezi genotypy tolerantní vůči vodnímu deficitu je možné zařadit např. HL 1651, HL 53, B 11, Rubinstep, Gala (Galaval), HL 1194 a Idared. Uvedené fyziologické parametry je možné využít pro detekci míry odolnosti či citlivosti vůči stresorům.

Klíčová slova: jabloně; genotyp; vodní deficit; rehydratace, výměna plynů; fluorescence; vodní potenciál; fotosyntetické pigmenty

The use of physiological characteristics of apple trees in the selection of suitable genotypes in relation to abiotic stressors

Summary

The influence of selected physiological parameters in 22 selected genotypes of domestic apple was studied in the thesis. The effect of water deficit on the content of photosynthetically active pigments (chlorophyll and carotenoids), photosynthesis and transpiration rates, water use efficiency, fluorescence and water potential of apple tree saplings was investigated in a laboratory (foil cover) experiment. The genotypes of apple trees under study were grafted onto the M9 rootstock.

The aim of the study was to monitor the physiological response of selected apple genotypes to water deficit using physiological methods in fruit tree breeding. The following hypotheses were proposed in the thesis: there are differences in physiological parameters between the genotypes studied. There are genotypic differences between new breeding and cultivars in response to water deficit. These physiological parameters can be used to assess the resistance of genotypes to stressors.

A container experiment with different apple genotypes was established in partially controlled conditions in the foil shelter of VŠÚO, s. r. o. Holovousy. In the context of new apple tree breeding, this is breeding material, therefore no further information on the origin is given. The following breeding material was included among the tested genotypes of the new breeding: HL2010; HL1282; HL1597; HL827; HL601; HL32; HL2350; HL155-05; HL1185; HL1579; HL1343; HL1311; B11; HL1194; HL53; HL308; HL1651. The reference varieties included the following genotypes: Frosta; Rubinstep; Idared; Regula and Gala (Galaval). The plants were grown in 50 l containers. Water deficit was induced by turning off the watering for 14 days followed by a 14-day rehydration period. The experimental plants were monitored for photosynthetically active pigment content, gas exchange rate, water use efficiency, fluorescence parameters and water potential.

The results show that the water deficit results in a gradual loss of chlorophyll in leaves and an increase in chlorophyll after rehydration. This trend has been confirmed in, for example, the genotypes Idared, HL 601, HL 32, Reluga, HL 1579, Frosta, HL 1311). On the other hand, HL 155-05, B 11, HL 1194, HL 2010 genotypes showed a decrease in chlorophyll content due to rehydration.

Increased carotenoid content at the end of the water deficit (14 days) was found e.g. in the genotypes Frosta, HL 827, HL 1597, HL 1185, HL 155-05, HL 601, HL 2010, HL 32, B 11, HL 53, HL 1651. The photosynthetic rate of the selected apple genotypes decreased depending on the effect of water deficit and after subsequent rehydration its increase can be observed. Genotypic differences in photosynthesis rate were shown, with genotypes Frosta, HL 1194 and Rubinstep being more tolerant to drought stress, genotypes Idared and HL 32 having intermediate tolerance and genotypes HL 1651 and B 11 being sensitive to water deficit. In HL 1292, Frosta, HL 1185, HL 32 and HL 53 genotypes, an increase in transpiration rate was observed during water deficit. These genotypes appear to be less suitable for drier areas. For

the genotypes Gala (Galaval), Idared, HL 1343, Rubinstep, water use efficiency values increased during water deficit. After exposure to water deficit, the values of maximum quantum yield of fluorescence decreased and gradually increased after subsequent rehydration. The fluorescence values decreased in genotypes such as HL1185 and HL 1579 already at the onset of stress. These are therefore genotypes less suitable for drier areas. The genotypes HL 1579, HL 1282, Frosta and Rubinstep appear to be tolerant to water deficit. The water deficit results in a decrease in the water potential values of the stressed plants. Water deficit has been shown to reduce the water potential values of e.g. Frosta, Reluga, HL 1597, HL 155-05, HL 2350, HL 827, HL 601, HL 308, where it can be assumed that these genotypes are sensitive to water deficit. Genotypes tolerant to water deficit include HL 1651, HL 53, B 11, Rubinstep, Gala (Galaval), HL 1194 and Idared. These physiological parameters can be used to detect the degree of resistance or sensitivity to stressors.

Keywords: apple trees; genotype; water deficit; rehydration, gas exchange; fluorescence; water potential; photosynthetic pigments

Obsah

1	Úvod.....	I
2	Vědecká hypotéza a cíle práce.....	III
3	Literární rešerše.....	IV
3.1	Botanická charakteristika jabloně	IV
3.2	Historie a současnost pěstování jabloní.....	IV
3.3	Abiotické stresory – rozdělení	VII
3.4	Abiotické stresory – vliv na rostliny	IX
3.5	Management vody v rostlinách	X
3.6	Reakce rostliny na sucho (vodní deficit).....	XI
3.7	Kořenový systém	XIII
3.8	Aktivní formy kyslíku (ROS)	XIII
3.9	Reaktivní formy dusíku	XIV
3.10	Osmotický stres	XIV
4	Metodika.....	XVI
4.1	Charakteristika rostlinného materiálu	XVI
4.2	Založení pokusu	XVII
4.3	Fyziologické parametry	XVIII
4.3.1	Rychlost výměny plynů	XVIII
4.3.2	Měření parametrů fluorescence.....	XVIII
4.3.3	Stanovení obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů	XIX
4.3.1	Osmotický potenciál	XIX
4.4	Statistické vyhodnocení výsledků.....	XIX
5	Výsledky.....	XX
5.1	Fotosynteticky aktivní pigmenty – chlorofyl	XX
5.2	Fotosynteticky aktivní pigmenty – karotenoidy	XXII
5.3	Rychlost výměny plynů (rychlost transpirace a fotosyntézy)	XXIV
5.4	Efektivita využití vody	XXVIII
5.5	Fluorescence chlorofylu	XXIX
5.6	Vodní potenciál.....	XXXI
6	Diskuze.....	XXXIII
6.1	Obsah fotosynteticky aktivních pigmentů.....	XXXIII
6.2	Rychlost fotosyntézy	XXXIV
6.3	Rychlost transpirace.....	XXXV
6.4	Efektivita využití vody (WUE)	XXXV
6.5	Fluorescence chlorofylů	XXXVI

6.6	Vodní potenciál	XXXVI
7	Závěr	XXXVIII
8	Literatura.....	XL
9	Fotografická dokumentace	L
10	Přílohy.....	LIII

1 Úvod

Klimatické změny patří v současné době k velmi diskutovaným tématům, a to nejen v zemědělském oboru, kterého se velmi úzce dotýká a podstatně ovlivňuje jeho funkci a dynamiku. Zásadním negativem, které se s tímto fenoménem pojí, je dopad na průběh srážek. Rovnoměrné rozdělení srážek, které měly návaznost a v zásadě souzněly s potřebami farmářů v průběhu celého roku se postupně přesouvá do roviny spíše nepravidelných událostí, často s velkými jednorázovými úhrny, mezi nimiž nastávají nezanedbatelné časové prodlevy. Dané změny v průběhu povětrnosti ročníku mimo jiného komplikují zemědělskou produkci z hlediska kvality i kvantity, kladou zvýšené nároky na organizaci práce a vytvářejí nutnost přizpůsobování struktury plodin.

Rostliny jsou v rámci svého vývojového cyklu pod takřka neustálým tlakem celé řady činitelů, které mají specifický vliv na jejich růst a reprodukci. Vodní deficit je jedním z nejvýznamnějších rostlinných stresorů, jehož význam je v některých oblastech natolik značný, že dokáže způsobit na porostech kulturních rostlin výrazné škody, které posléze narušují ekonomiku jejich produkce. Sucho intenzivně ovlivňuje chování rostlin a jejich vodní management. Voda je, na rozdíl od živin, velmi rychle v půdě se pohybující médium. Koloběh vody v půdě je dynamický, což s sebou nese primárně tu skutečnost, že porost zvládá rychle vodu v povrchové vrstvě půdního profilu spotřebovat a dostane se do deficitního stavu a je nucen na tento stav reagovat. Rostlina v důsledku nedostatku vody ztrácí turgor a pozastavuje svůj růstový vývoj. Následky sucha obvykle rychle indikují listy, co bývá patrné například u listové zeleniny. Je-li sucho dlouhé a intenzivní, může rostlinu oslabit natolik, že může dojít k jejímu úhynu.

Z výše uvedených důvodů je třeba vnímat nutnost monitoringu vývoje klimatu a přizpůsobení se následkům nově přichozích situací. Jednou z podmínek udržení našich dosavadních životních standardů je také potřeba podpory vývoje nových odrůd, které by byly odolné na změny související s environmentálními stresory, neboť starší či krajové odrůdy již často nemohou těmto změnám odolávat s ohledem na svůj genotyp. Odolnost vůči abiotickým stresorům, zachování kvality a kvantity produkce jsou jedny ze základních cílů šlechtitelů napříč spektrem pěstovaných rostlinných druhů už z toho důvodu, že nelze všechny nedostatky stanovišť vyřešit technologicky, v tomto případě závlahovými systémy už z důvodu toho, že ne všude a stejně tak ne vždy je k dispozici dostatek závlahové vody, vody podpovrchové, rezervoárů na dešťové srážky atp.

Selekce vhodných genotypů není pouze otázkou pohledu genetického, svůj prostor mají v dané problematice také metody fyziologické, přesněji řečeno stresová fyziologie rostlin, která je dalším pomyslným vodítkem pro optimalizaci výběru vhodných genotypů pro budoucí produkci. Sledování fyziologických reakcí zkoumaných genotypů jabloní v podmínkách vodního deficitu je jednou z cest, jak podpořit další rozvoj sadařství a pěstování jabloní v podmínkách našeho zemědělského hospodářství.

Prognózy, které máme v současnosti k dispozici, poukazují na několik podstatných faktů a jedním z nich je právě ta skutečnost, že do budoucna je nutno počítat se stále častěji se vyskytujícími obdobími, která se ponесou ve znamení nedostatku dešťových srážek a jejich délka se bude prodlužovat. Právě v takových časových úsecích se promítne schopnost výkyvů,

možným mechanickým poškozením a dalším stresových faktorů pěstovaných genotypů odolávat působení nejen sucha, ale například i zasolení, teplotních výkyvů, možným mechanickým poškozením a dalším stresových faktorů.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Vodní deficit představuje jeden z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují nejenom zemědělskou prvovýrobu, ale také pěstování ovoce, neboť ne všechny lokality mají dostatečný zdroj vody pro závlahy. Pěstování jabloní, jakož i konzumace jejich plodů, jsou na našem území tradiční, což dokládají nejen archeologické nálezy, ale i současná data, podle nichž si jablka udržují pozici nejvíce konzumovaného ovoce v České republice. S jabloněmi se lze setkat v intenzivně pojaté prvovýrobě, ve stromořadích kolem cest a stejně tak i extenzivně udržovaných krajinných sadech s nízkou produkcí, zato s velkým environmentálním významem.

Hypotézy práce

- Existují rozdíly ve fyziologických parametrech mezi sledovanými genotypy.
- Existují genotypové rozdíly mezi novošlechtěním a odrůdami v reakci na vodní deficit.
- Lze využít uvedené fyziologické parametry pro hodnocení odolnosti genotypů vůči stresorům.

Cíle práce:

- Cílem práce je monitoring fyziologické reakce vybraných genotypů jabloní na působení vodního deficitu.
- Využití fyziologických metod v rámci šlechtění ovocných dřevin.

3 Literární rešerše

3.1 Botanická charakteristika jabloně

Yamamoto a Terakami (2016) řadí rod jabloň, podobně jako například hrušeň či maliník, do čeledi růžovité (*Rosaceae*). Čeleď růžovité (*Rosaceae*) byla dle Potter at al. (2002) rozdělena do čtyř podčeledí podle typu plodů: *Rosoideae*, *Prunoideae*, *Spiraeoideae* a *Maloideae*. Následné fylogenetické analýzy jaderné a chloroplastové DNA umožnily, jak popisuje Potter at al. (2007), rozdělení čeledi růžovité (*Rosaceae*) pouze do tří podčeledí: *Dryadoideae*, *Rosoideae* a *Spiraeoideae* (včetně kmene *Pyraea* a rodu jabloň (*Malus*)).

Michálek a kol. (2003) a Ferree and Warinton (2003) se shodují na tom, že z hlediska botanického spadají jabloně do řádu růžokvěté (*Rosales*), čeledi růžovité (*Rosaceae*), podčeledi jabloňovité (*Maloideae*) a rodu jabloň (*Malus*).

Jabloň (*Malus* sp.) je stromem či keřem a dosahuje výšky 3 až 12 metrů (Ignatov a Bodishevskaya, 2010). Hejný a Slavík (1992) uvádí, že kořenový systém těchto rostlin se z počátku vyvíjí zejména ve vertikálním směru, později mohutněji ve směru horizontálním a dosahují cca 1,5x větší vzdálenosti od kmene než jejich větve. U kmenů jabloní s šedou až šedočernou borkou odlupující se v šupinách lze pozorovat dřevo s narůžovělou bělí a méně výrazným červenohnědým jádrem, dále lze postřehnout pupeny špičaté, tupé až zaoblené, kryté šupinami a se svinutou nebo řasnatou vernací. V případě těchto rostlin se vyskytují listy jednoduché, celistvé nebo peřenolaločné, vz. až přenokladné, střídavé, žilnatinou zpeřenou a řapíkem s čárkovitými až široce čárkovitými palisty. Květy v chudokvětých chocholících se zkráceným větvením a kalichem ve spodní části spoluvytvářejícím češulí, jehož horní část je opadavá či neopadavá, má na bázi 5 korunních lístků bílé, červené či růžové barvy s malým nehtem, plodem je malvice.

Dle Patzak et al. (2012) lze pro oblast Evropy jablka označit za klíčový ovocný druh. Kubát et al. (2003) ve své práci zmiňují, že rod jabloň (*Malus*) je zastoupen zhruba třemi desítkami původních druhů, přičemž v České republice je chápána jako původní.

3.2 Historie a současnost pěstování jabloní

Předchůdce dnes pěstovaných jabloní můžeme najít ve střední Asii (Vavilov, 1951). Turdieva et al. (2024) tuto hypotézu potvrzují s tím, že centrum původu lokalizují do Turkmenistánu ležícího právě v regionu střední Asie. Priyadarshan a Jain (2009) dále uvádějí, že plané rostliny byly selektovány a množeny domorodými populacemi již před rokem

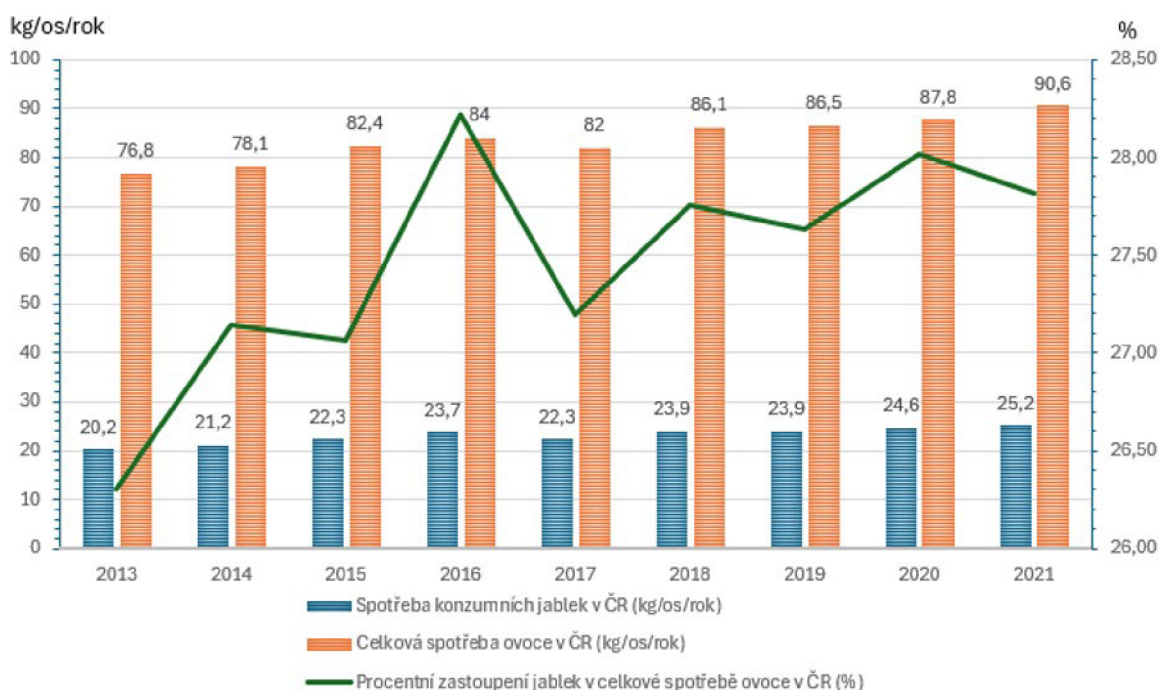
6500 př. n. l. Proces postupné přeměny planých rostlin na kulturní formy a jejich pěstování se postupně přesunuly na západ podél Hedvábné stezky a pravděpodobně i severní cestou přes území středního Ruska.

První zmínky o pěstování jabloní v období starověku pak pocházejí z 9. století před naším letopočtem z oblasti dnešního Řecka, následně se jabloně šířily v oblasti Středomoří a díky expanzivní politice Římanů se začaly pěstovat také v naší oblasti, tedy střední Evropy.

O roubování preferovaných odrůd lze nalézat první zmínky již 42 let před naším letopočtem. Pěstování jabloní v období středověku bylo situováno zejména do okolí klášterů (Morgan a Richards 1993).

První zakrslé podnože využívané pro roubování vybraných kultivarů se objevily ve století šestnáctém, aleje ovocných stromů kolem císařských cest se začaly objevovat za vlády Marie Terezie, tedy ve století osmnáctém a plného rozmachu se dočkalo pěstování jabloní na území našeho sátu ve století následném (Kellerhals 2009). Od poloviny století dvacátého dochází z pohledu pěstování jabloní k postupnému úpadku, jenž byl do značné míry umocněn situací v roce 1989. Patrné je snižování počtu stromů v produkčních sadech i ve volné krajině a souběžně klesá také jejich druhová diverzita, což podtrhuje nutnost záchrany starých a regionálních odrůd (Janík 2011). Současnost přináší nové pěstitelské cíle v podobě šlechtění odrůd na rezistenci vůči hospodářsky významným chorobám, zejména padlí jabloňovému způsobovanému houbou *Podosphaera leucotricha* a strupovitosti jabloní, původcem je houba *Venturia inaequalis*. Vývoj rezistentních odrůd by měl být prioritní především z důvodu snižování množství účinných látek fungicidních přípravků na ochranu rostlin nutných pro regulaci výše zmíněných patogenů (Pessina et al, 2017).

Konzumace jablek je na našem území tradiční záležitostí. Důkazem jsou i nálezy na našem území, zuhelnatělého plodu jabloně, který byl učiněn v Úholičkách. Zuhelnatělý fragment malvice jabloně se třemi semeny, jádřincem a částí endokarpu byl nalezen v nádobě při archeologickém průzkumu v Úholičkách (Dobeš a Vojtěchovská, 2008). Přímou z nálezů plodu jabloně se podařilo získat metodou AMS radiokarbonové datum 4230 ± 35 p. n. l. (Pokorný 2008).



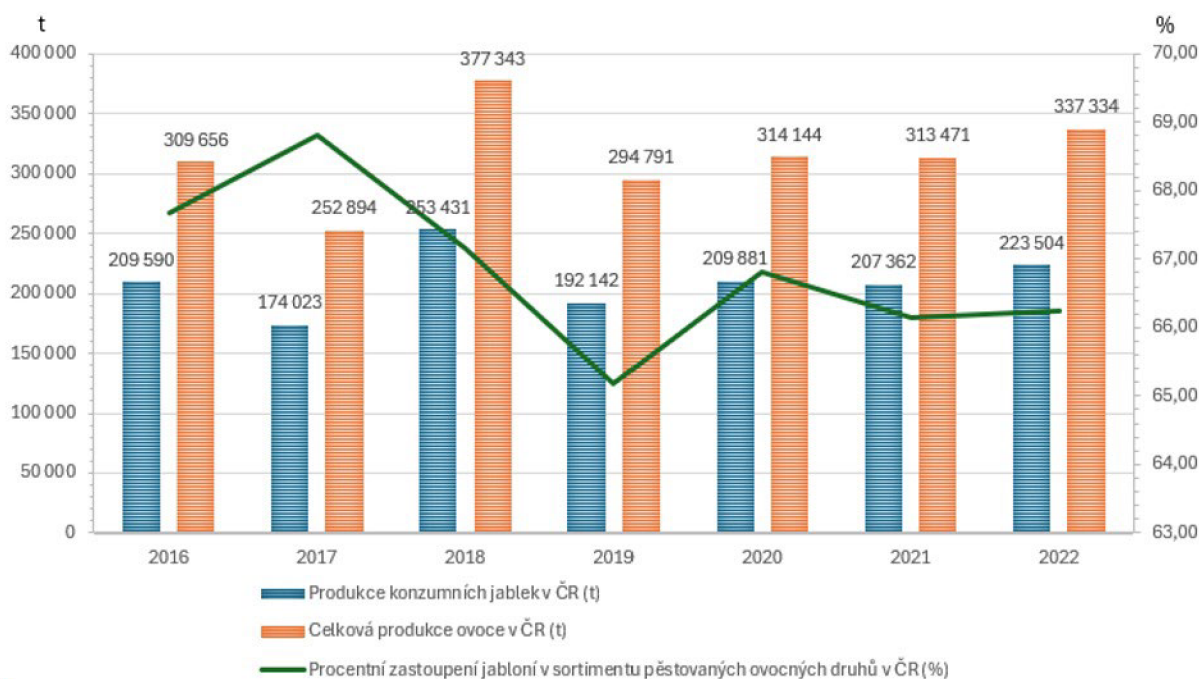
Graf 1: Spotřeba ovoce v ČR v hodnotě čerstvého ovoce (kg/os/rok), (upraveno dle Situační a výhledová zpráva ovoce 2020, 2021, 2022, 2023)

V současnosti dle dat udávaných ve Statistické ročence České republiky (2023) a Situační a výhledové zprávě ovoce (2020–2023) vyplývá, že spotřeba jablek v kg na jednoho obyvatele

je v průběhu sledovaného období v stabilní s mírně rostoucím trendem. Jablka si udržují pozici nejvíce konzumovaného ovoce v České republice, což dokladuje graf 1.

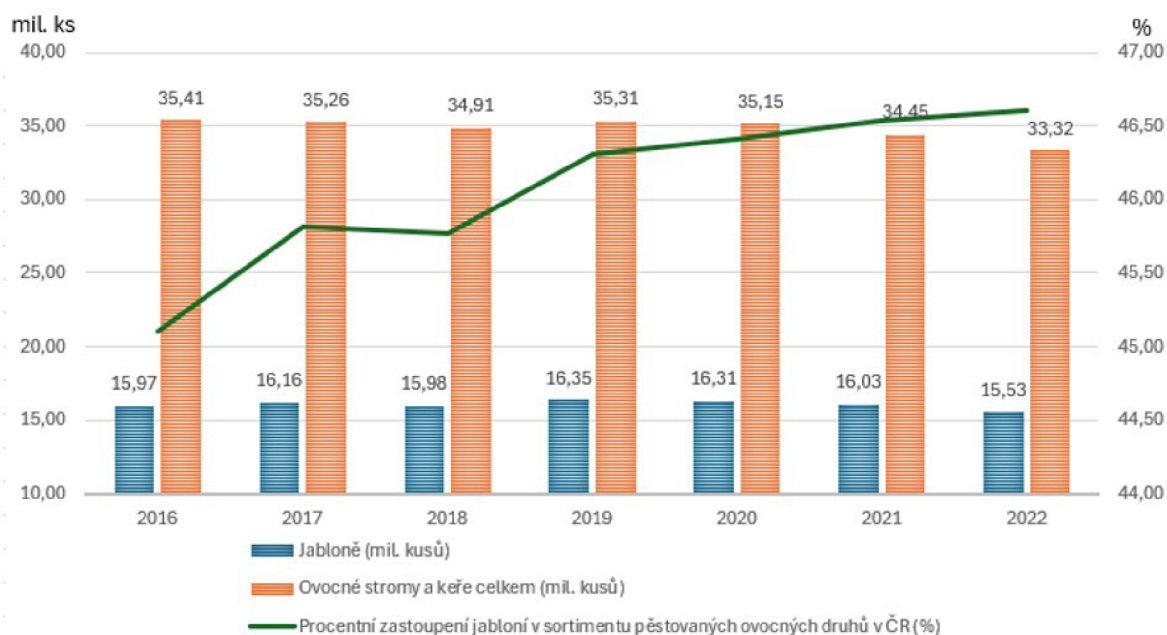
Z něho vyplývá, že mezi roky 2013 a 2021 docházelo k postupnému zvyšování spotřeby konzumních jablek nebo ovoce v celkové míře jeho spotřeby bez ohledu na jednotlivé druhy. Podíl konzumních jablek na celkové spotřebě ovoce na obyvatele České republiky se v průběhu sledovaného období pohyboval v rozmezí 26,3 % až 28,02 % a nedochází tak k výrazným změnám. Průměrné hodnoty za sledované období činí v ohledu celkové spotřeby 83,81 kg ovoce na osobu a rok, v případě samotných konzumních jablek 23,03 kg na osobu a rok.

Produkcí konzumních jablek v ČR ve sledovaném období 2016 až 2022 dokumentuje Graf 2. Z něho je patrné, že nejvyšší produkce ovoce byla v roce 2018, kdy celková produkce ovoce činila 377 343 tun, z toho 67,16 % činila konzumní jablka. Na straně druhé byla nejnižší produkce v roce 2017, kdy dosáhla hodnoty 252 894 tun, z toho bylo 174 023 tun jablek konzumních.



Graf 2: Produkce ovoce v ČR (t) (upraveno dle Situační a výhledová zpráva ovoce 2020, 2021, 2022, 2023)

Celková plocha ovocných sadů vykazuje v posledních letech setrvalou tendenci poklesu a plochy porostů jabloní jako dominantního druhu ovoce pěstovaného na území ČR toto potvrzují. Vývoj produkčních ploch jabloňových sadů mezi roky 2019 a 2023 nejlépe vystihne pokles z 6 509 ha plodných sadů jabloní na hodnotu 5 101 ha. Obdobně v celkovém součtu všech u nás pěstovaných ovocných druhů se z plochy 12 930 ha plodných sadů evidovaných v roce 2019 činila výměra plodných sadů v roce 2023 10 559 ha. V grafu 3 jsou uvedeny počty pěstovaných druhů ovoce, kdy počet jabloní v letech 2016 až 2022 čítají 16,05 milionu kusů, tedy 46,08 % z celkového počtu ovocných dřevin a keřů.



Graf 3: Počet jabloní v ČR (upraveno dle Situační a výhledová zpráva ovoce 2020, 2021, 2022, 2023)

3.3 Abiotické stresory – rozdělení

Původní obecnou koncepci stresu pro živé organismy, zmiňuje Lichtenthaler (1998), a lze ji shrnout do následujících dvou vět: "Všechny činitele mohou působit jako stresory a vyvolávat jak stres, tak specifické působení" a "Existují specifické reakce na stresory a nespécifické obecné reakce".

Rostliny jsou kontinuálně vystaveny nejenom abiotickým stresorům, ale také jsou opakovaně vystaveny bakteriím, houbám, virům a hmyzu (biotickým stresorům), které ohrožují jejich přežití a reprodukci (Wang et al. 2017). Je to způsobené mimo jiné i tím, že na rozdíl od jiných organismů nemohou rostliny před stresory uniknout, díky přisedlému způsobu života. Současně musí rostliny odolávat například intenzivnímu osvětlení, ultrafialovému světlu, vysokým a nízkým teplotám, suchu, zasolení, rizikovým kovům či hypoxii, které označujeme jako abiotické stresory (Suzuki et al. 2014). Stres rostlinám může způsobovat také disbalance ve výživě, například nedostatek dusíku, který způsobuje mimo jiného nízký obsah chlorofylu v listech a pokles rychlosti fotosyntézy (Sun 2021).

Tyto nepříznivé podmínky mohou zpomalit růst, ovlivnit reprodukci, urychlit stárnutí a v krajním případě dokonce způsobit zánik exponovaných organismů (Hirayama et al. 2010). Abiotické a biotické stresy jsou dle Piasecka et al. (2019) hlavními příčinami značných ztrát výnosů plodin na celém světě. Pevné spojení se zemí nedovoluje rostlinám se od těchto zdrojů stresu odpoutat, a proto využívají složité mechanismy k reakci na neustále se měnící faktory prostředí (Srivastava et al. 2016).

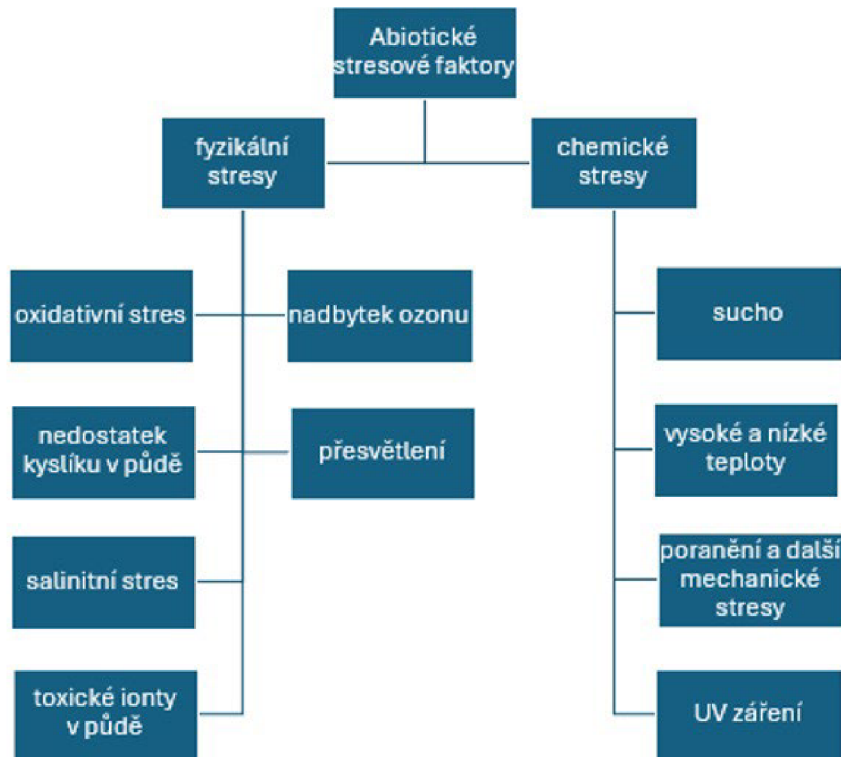


Schéma 1: Rozdělení základních druhů abiotických stresů působících na rostliny (Zdroj: autor)

Vyčleníme-li skupinu abiotických stresových faktorů, z nejdůležitějších lze jmenovat sucho (vodní deficit), přemokření půdy, extrémní teploty a zasolení. Hovoříme o běžných nepříznivých podmínkách životního prostředí, které významně ovlivňují růst a produktivitu rostlin po celém světě (Lata a Prasad 2011). Rozsah základních členů skupiny abiotických stresových faktorů popisuje Schéma 1.

Dle Mittler (2006) jsou pěstitelé stále konfrontováni se situacemi, kdy jsou jimi pěstované rostliny ovlivňovány několika stresory současně. Studie odhalily, že reakce rostlin na kombinaci dvou různých abiotických stresorů je jedinečná a nelze ji přímo odvodit z reakce rostlin na každý z různých stresorů aplikovaných samostatně. Tolerance v kombinaci různých stresových podmínek, zejména těch, které napodobují polní prostředí, by měla být předmětem budoucích výzkumných programů zaměřených na vývoj transgenních plodin a rostlin se zvýšenou tolerancí k přirozeně se vyskytujícím podmínkám prostředí.

Dle Adámková et al. (2006) rostliny během svého vývojového cyklu vytvořily sadu mechanismů, které je brání před účinky negativně působících faktorů, přičemž tyto mechanismy lze rozdělit do dvou kategorií. První jsou mechanismy zabraňující, aby byla

hostitelská rostlina vystavena stresu („avoidance mechanisms“). Tento způsob obrany zahrnuje mechanickou bariéru rostlin mající převážně pasivní a dlouhodobý charakter. Jako příklad lze uvést silnou kutikulu na listech. Pomyslnou druhou linií obranného systému rostliny je aktivní složka obrany rostlin („tolerance mechanisms“), která se snaží omezovat negativní účinky stresorů až po jejich vniknutí do těla rostliny. K těmto reakcím patří např. aktivace antioxidantních obranných složek lokalizovaných v buněčných strukturách rostlin. Antioxidantní obranné mechanismy zahrnují neenzymové a enzymové systémy. Mezi velmi účinné antioxidanty řadíme kupříkladu β -karoten. Specializované enzymy, například

superoxiddismutasa či katalasa, zajišťují univerzální obranu rostlin. K dalším reakcím na stres patří produkce fenyylpropanoidních látek jako jsou flavonoidy, fytoalexiny, kumariny a strukturální komponenty typu ligninu a suberinu. Tyto látky komplexně posilují ochranu rostliny proti infekci. Mají v rostlinném organismu zejména antioxidační a antimikrobiální funkce a dále se podílejí na posílení mechanické odolnosti. V návaznosti na uvedené zmiňují Bláha a Hnilička (2006) i další možnosti obrany rostlin vůči abiotickým stresům, kupříkladu management otevírání a zavírání průduchů coby prevenci nadměrné ztráty vody, změny ve stavbě a síle kutikuly, rostlina rovněž může ovlivnit intenzitu větvení, délku kořenů a hloubku jejich průniku půdním profilem nebo ukládání soli do vakuol. Pozoruhodnou schopnost přizpůsobení se stresovému podnětu lze vnímat též u managementu fotosyntetického aparátu rostlin (Tokarz et al. 2020).

V souvislosti s abiotickými stresovými faktory rostlin nelze nezmínit „přínosy“ antropogenní aktivity. Přirozené i antropogenní změny prostředí hrají zásadní roli v produktivitě a přežití i v celkové biologii rostlin (Kozłowski 2000).

3.4 Abiotické stresory – vliv na rostliny

Voda je nejvýznamnější složkou těl rostlin a tvoří 70–95 % jejich obsahu (Lambers et al. 2009). Tato sloučenina je zcela nepostradatelnou složkou všech součástí těla rostlin. Nejvíce vody lze nalézt v dužnatých plodech (90–99 %) a čerstvých listech (85–95 %). V kontrastu s tím se nejméně vody nalézají v semenech, která obvykle obsahují jen 5–13 % vody. Semena jsou však schopna

vzdor této skutečnosti udržet svou životaschopnost (Bezděčková and Řezníčková 2009). Voda plní funkci základního transportního prostředku, který v těle rostlin umožňuje mimo jiné distribuci látek, průběh biochemických reakcí a zachování turgoru (buněčného napětí). Rostlina

je schopna v relativně krátkém čase reagovat na změny podmínek díky svým regulačním mechanismům a přizpůsobovat se tak okolním vlivům (Osakabe 2014).

Sucho lze označit za jeden z hlavních limitujících faktorů omezujících produkci zemědělských plodin v celosvětovém měřítku (Bhusal et al. 2019). Bhusal et al. (2020) však také uvádí, že přílišné zamokření pro rostliny je rovněž stresující. Sucho narušuje normální růst, vodní poměry a snižuje účinnost využití vody v rostlinách. U rostlin pak dochází k různým fyziologickým a biochemickým reakcím na úrovni buněk i celého organismu. Zejména se snižuje rychlost fotosyntézy v důsledku uzavření průduchů, poškození membrán a narušení aktivity různých enzymů, zejména těch, které se podílejí na syntéze ATP (Farooq 2012).

Samotné projevy sucha na rostlinách mohou mít řadu podob od vizuálních změn na těle rostlin, typickým projevem je vadnutí, až k měřitelným projevům, jakými jsou například snížené hodnoty vodního potenciálu, obsahu vody v listech a zvýšení jejich teploty (Estravis-Barcala 2020). Rostliny stresované suchem obvykle vykazují vyšší teplotu listů než rostliny podpořené závlahou (Sidduque 2000). Vodní deficit má za následek též snížení listové plochy a růstu biomasy listů, což má opět přímou vazbu na pokles výkonu fotosyntetického aparátu rostlin a pokles tvorby asimilátů (Shao et al. 2008). Pedroncelli et al. (2019) poukazují na skutečnost, že stres suchem má dopady také na imunitní systém rostlin, které činí zranitelnějšími vůči biotickým patogenům. Vysoký vodní deficit může mít za následek

zastavení fotosyntézy, poruchy metabolismu a v konečném důsledku také předčasné ukončení životního cyklu rostliny (Bhagsari et al. 1976).

Ve snaze kompenzovat nedostatek vody se rostlina zaměřuje primárně na management fungování průduchů a na optimalizaci rozdělování zdrojů mezi své orgány pro ideální růst a vývoj. Rostliny jsou schopny účinně ovládat průduchy a jejich prostřednictvím také množství vody, které transpirací ztrácí (Arve 2011). Významnou reakcí na vodní deficit, kterou lze u rostlin pozorovat, jsou změny kořenového systému (Kim et al 2020). Kořeny jsou dle Ghosh (2014) orgány rostlin, které hrají primární úlohu v reakci na vodní stres. Architektura kořenů je primárním aspektem kořenového systému pro získávání půdní vláhy, živin a rovněž i jejich penetrační schopnost. Adaptací kořenů na sucho v životním prostředí rostliny je především růst kořenů do větší hloubky a intenzivnější rozvoj kořenového vlášení na úkor nadzemní části rostliny (Uga et al 2013).

Reakce rostlin na stres v důsledku vodního deficitu mohou být značně rozdílné v závislosti na druhu rostlin, momentální vegetační fázi, stáří či robustnosti kořenové soustavy (Siddique 2016).

3.5 Management vody v rostlinách

Organismus rostlin je schopen s vodou nakládat hospodárně. Vodní režim zahrnuje příjem vody rostlinou z okolního prostředí, její cestu tělem rostliny až po její konečný výdej zpět do okolního prostředí (Zhan et al. 2017).

Pokud se voda nachází v těsném okolí kořenů, může rostlina půdní roztok absorbovat. Voda se nachází v neustálém pohybu, zejména z důvodu působení gravitační síly. Rostliny tak mohou efektivně doplňovat vodu, která byla z jejich těl vyloučena výparem. Důsledkem transpirace, kdy dochází k výparu z mezofylu listů, vzniká v xylému podtlak. Díky jeho přenosu vodivými drahami rostliny ke kořenům dochází jejich prostřednictvím k nasávání vody, respektive půdního roztoku, z rhizosféry kořenového systému (Glosser 1998). Tento způsob transportu vody rostlinou nazýváme konvekce (hromadný tok). Rostlina pro vedení vody dále obvykle využívá osmózy nebo difúze (Mannig a Kay 2023).

Dle Lafitte (2002) lze obsah vody v rostlině jako celku, případně v její části, vyjádřit jako relativní obsah vody nebo prostřednictvím vodního sytostního deficitu.

Relativní obsah vody v listech (RWC – Leaf relative water content) dle Kamanga et al. (2018) a Emamverdian et al. (2023) podává informaci o hmotnosti vody, kterou rostlina potřebuje pro svou plnou saturaci.

Vodní sytostní deficit vyjadřuje množství vody, které buňce chybí k úplnému nasycení. Rostlina má tendenci na ztrátu vody reagovat velmi rychle, aby udržela turgor a obnovila své fyziologické funkce s cílem zabránit vadnutí listů a postupnému zániku celého svého organismu, což do značné míry komplikuje stanovování plného nasycení rostliny vodou (Larcher, 1988).

3.6 Reakce rostliny na sucho (vodní deficit)

Šlechtitelské programy po celém světě mají podobné cíle. Rozdíly do značné míry vycházejí z regionálních nebo mezinárodních spotřebitelských preferencí a specifických biotických a abiotických problémů v místních oblastech produkce (Yue et al. 2013).

Změna klimatu ovlivňuje budoucí produkci jablek po celém světě. Změny počasí, které mají za následek teplejší zimy, časnější jaro s nepředvídatelnými jarními mrazy a změněný průběh a dostupnost srážek ovlivňuje, kde a jaké druhy jablek bude možné pěstovat (Dempewolf et al. 2014).

Důležité bude se zaměřit na šlechtění rostlin s pozdním kvetením, aby se předešlo jarním mrazikům, a na adaptaci vůči kolísání teplot. V Jihoafrické republice bylo zaznamenáno za posledních 37 let prodloužení doby plného květu jabloní v průměru o 1,6 dne za desetiletí (Grab a Craparo 2011).

Měnící se klimatické podmínky mohou ovlivnit dostupnost vody během vegetačního období. Stres suchem, jak lze odvodit z obrázku č.1 níže, způsobuje vadnutí, žloutnutí listů, zásadní opad listů a předčasné dozrávání plodů nebo jejich opadávání. Zlepšování efektivity využívání vody (WUE) a odolnosti vůči suchu u víceletých plodin, jako jsou ovocné stromy, by mělo snížit spotřebu vody, aniž by byl ohrožen výnos (Co et al. 2011). Genetická diverzita může být spojena se změnami v biochemii, příjmu a/nebo transportu vody, uhlíku nebo kyslíku, které těmto stromům umožnily přežít v podmínkách, v nichž se nacházejí. Byly izolovány geny reagující na stres suchem z odrůd například 'Royal Gala' a rozděleny do kategorií podle biologických procesů, s nimiž jsou spojeny. Velká část genů z kořenů byla identifikována jako reagující na stres, zatímco geny z listů byly z větší části spojeny s fotosyntézou (Bassett et al. 2011).

Odolnost vůči suchu označuje schopnost jednoho druhu genotypu poskytovat lepší výnosy než jiný genotyp během silného stresu suchem. Odolnost může být realizována prostřednictvím různých strategií, které rostliny používají k přežití dehydratace. Společný mechanismus se označuje jako odolnost suchu a týká se schopnosti rostliny udržet si účinný přísun vody v podmínkách dehydratace (Blum 2005).

Klasicky se odolnost rostlin vůči suchu dělí na strategie úniku, vyhýbání se a tolerance, přičemž se tyto strategie navzájem nevyklučují a rostliny je mohou kombinovat (Turner 1986).

Rostliny, které suchu unikají, vykazují vysoký stupeň vývojové plasticity a jsou schopny dokončit svůj životní cyklus dříve, než dojde k fyziologickému nedostatku vody. Únikové strategie spočívají v úspěšném rozmnožování před nástupem silného stresu. To je zásadní v suchých oblastech, kde původní jednoleté rostliny mohou kombinovat krátké životní cykly s vysokou rychlostí růstu, přičemž využívají maximum dostupných zdrojů, dokud je v půdě dostatek vláhy (Maroco et al. 2000). K lepšímu reprodukčnímu úspěchu patří také lepší rozdělení asimilátů do vyvíjejících se plodů. To souvisí se schopností rostlin ukládat zásoby v některých orgánech (stoncích a kořenech) a mobilizovat je pro produkci plodů, což je reakce známá např. u obilnin (Bruce et al. 2002).

Rostliny mohou také podmínky sucha snášet tak, že se vyhýbají dehydrataci pletiv a zároveň udržují co nejvyšší vodní potenciál pletiv, případně tak, že tolerují jejich nízký vodní potenciál. Vyhýbání se dehydrataci je schopnost vlastní jednoletým i víceletým rostlinám a je spojena s řadou adaptačních znaků. Mezi ně patří minimalizace ztrát vody a maximalizace

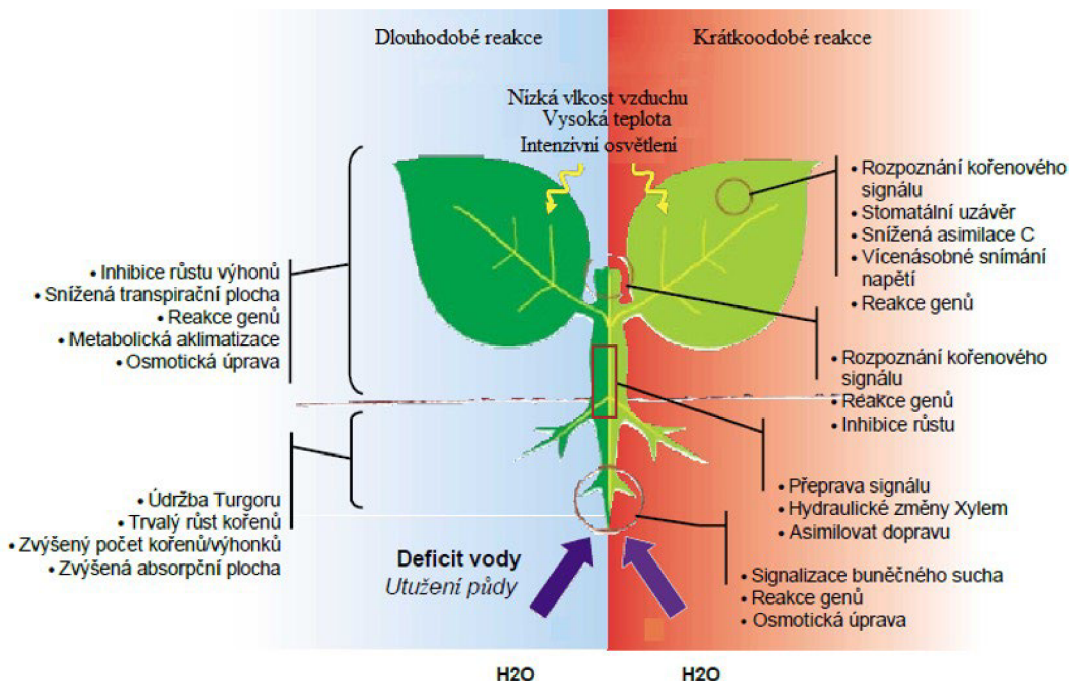
jejího příjmu. Ztráty vody se minimalizují uzavíráním průduchů. Snižováním absorpce světla prostřednictvím svinutých listů, silnou vrstvou zvyšující odrazivost nebo strmými úhly listů, případně zmenšováním listové plochy koruny prostřednictvím omezeného růstu a shazování starších listů (Chaves et al., 2003).

Příjem vody je maximalizován úpravou alokačního schématu, zejména podporou kořenového systému. Významné zvýšení produktivity plodin díky šlechtění rostlin pro polosuché oblasti vychází právě ze zvyšování hloubky zakořenění (Jackson, et al. 2000).

K úspoře vody přispívá též shazování starších listů, které lze považovat za recyklační program rostliny, který umožňuje přeměrování živin uložených ve starších listech do stonku nebo listů mladších. Další poznání regulace těchto procesů může přinést další vývoj strategií šlechtění rostlin nebo genového inženýrství pro kontrolu senescence listů za sucha (Reddy et al. 2004). Senescence listů, která vede k nedostatku cukrů, je důležitým faktorem při zakrnění plodů při působení sucha. Proto mohou být fenotypy s opožděnou senescencí žádoucí u plodin, u nichž je výnos omezen zdroji (Levy et al. 1997).

Není bez zajímavosti, že ačkoliv nedostatek vody vede k opadu starších listů, účinky na mladé listy je opačný. Listy, které přečkají sucho, často vykazují vyšší míru fotosyntézy na jednotku listové plochy než listy podobného stáří u dobře hydratovaných rostlin, což lze popsat jako „pozastavení“ stárnutí listů (David et al. 1998).

Tolerance vůči nízkému vodnímu potenciálu pletiv může zahrnovat například pevnější buněčné stěny, menší buňky, vysokou koncentraci rozpuštěných látek v živých buňkách (nízký osmotický potenciál) s nízkou fotosyntetickou kapacitou. Jednou z možných strategií je rovněž přežití období sucha v částečné dormanci (Lambers 2008).



Obrázek 1: Reakce rostliny na stres suchem (upraveno dle Chaves 2003)

3.7 Kořenový systém

Mezi nejvýznamnější stresové faktory růstu rostlin patří sucho, na něž reagují kořeny prodlužováním, přičemž se využití disponibilních asimilátů soustředí právě ve prospěch růstu kořenů na úkor nadzemní části rostliny. Hloubka kořenů tak určuje potenciál pro příjem vody rostlinou (Kautz et al. 2013). Většina rostlin je schopna vodu získanou z větší hloubky dodávat kořenům ve vyšších vrstvách, aby tyto měly možnost dále fungovat díky vodě vylučované do prostředí, kde se nacházejí (Bláha a Hnilička 2007). Tato situace nastává zejména tehdy, pokud se během vegetace vyskytuje suché období, které je doprovázeno omezením větvení kořenů, přičemž na úkor vytváření postranních větví dochází k prodlužování kořene hlavního (Kúdela et al. 2013).

Jednotlivé znaky kořenů a kořenového systému jsou geneticky založeny, takže existuje možnost cíleného výběru a šlechtění pro specifické podmínky nebo systémy pěstování (Kumar et al. 2015). Soudobé zemědělství s sebou nese některé procesy a dopady agrotechnických postupů, jež mají za následek zhoršování růstu a funkce kořenů rostlin. Lze konstatovat, že robustnost kořenového systému a jeho hloubka, hustota a aktivita jsou indikátory kvality půdního prostředí daného stanoviště, případně také způsobů přípravy půdy a celkové agrotechniky. Optimální kořenový systém, pokud tak lze nazvat ideálně fungující strukturu vzhledem k působení stresorů, musí překonávat mimo jiného například utužení půdy, nadměrnou chemizaci, úzké oseední postupy postrádající víceleté pícniny a pokles využívání statkových hnojiv (Gao et al. 2016).

Lynch (2019) vnímá jako zásadní parametry pro stanovení ideálního typu kořenů pěstitelské cíle, výrobní a přírodní podmínky s tím, že největší pozornost je v současné době věnována problematice šlechtění k suchu tolerantních odrůd. Zcela odlišné jsou požadavky na odrůdy pro extenzivní pěstitelské systémy, a naopak pro intenzivně pojatou rostlinnou produkci (Haberle et al. 2018).

Zásadním přínosem by dle Kumar et al. (2006) bylo šlechtění sledující současně více znaků, kupříkladu zvyšování hustoty větvení kořenů v souběhu se schopností intenzivně pronikat do utužených vrstev v půdním profilu, velkým potenciál by měly také genotypy emitující vysoké množství kořenových exudátů prospěšných pro podporu půdní mikroflóry a struktury půdy.

3.8 Aktivní formy kyslíku (ROS)

Sucho je jedním z významných abiotických stresových faktorů a podobně jako mráz, herbicidy, intenzivní světlo či těžké kovy je schopno vyvolat u rostlin oxidativní stres, pro nějž je charakteristická intenzivní tvorba aktivních forem kyslíku (ROS). Nastává tak porušení rovnovážného stavu mezi jejich produkcí a odbouráváním (Neill et al. 2002). Sucho a vysoké teploty mají za následek akumulaci reaktivních forem kyslíku (ROS) vedoucí k rozpadu membránových lipidů, následnému poškození buněčných membrán a snížení termotolerance rostlin (Zhao et al. 2020).

Dle Vranová et al. (2002) je zdrojem aktivních forem kyslíku (ROS) řada redoxních reakcí, například redukce kyslíku v průběhu elektronového transportu v mitochondriích. Vzniklý singletový kyslík, energeticky bohatší a vysoce reaktivní forma molekulárního kyslíku

(Lang et al. 2006), následně generuje další aktivní formy kyslíku (ROS), jmenujme například peroxid vodíku, přičemž tyto reaktivní molekuly destruktivně působí na nukleové kyseliny, lipidy a proteiny. Piterková et al. (2005) a Bailey-Serres and Mittler (2006) dále uvádějí, že aktivní formy kyslíku (ROS) nejsou pouze vedlejšími toxickými produkty metabolismu, nýbrž plní také funkci signálních molekul, které kontrolují obranné procesy v organismu rostlin.

Před vznikem poškození organismu aktivními formami kyslíku (ROS) rostliny chrání antioxidační obranné mechanismy lokalizované v různých strukturách buněk. Antioxidační obranné mechanismy jsou zastoupeny enzymovými i neenzymovými systémy. Účinným antioxidantem je např. β -karoten či α -tokoferol (Chen and Gallie, 2004).

3.9 Reaktivní formy dusíku

Signálními molekulami a současně reaktivními nízkomolekulárními látkami jsou také reaktivní formy dusíku (RNS – reactive nitrogen species). Tuto skupinu látek lze rozdělit na volné radikály, zejména oxid dusnatý (NO) a další látky, mezi které řadíme například kyselinu dusitou a (HNO_2), oxid dusitý (N_2O_3) (Patel et al. 1999).

Dnes nejvíce prostudovaným zástupcem reaktivních forem dusíku je oxid dusnatý (NO). Oxid dusnatý (NO) se účastní mnoha fyziologických a biochemických procesů, s nimiž se můžeme u rostlin setkat. Původně byl oxid dusnatý (NO) považován za fytohormon, neboť bylo zjištěno, že figuruje v mnoha fyziologických procesech, jmenovat lze například regulaci senescence, růstu, kvetení, dormanci semen (Beligni and Lamattina 2000) a otevírání a zavírání průduchů (Mata and Lamattina 2001). Aktivaci oxidu dusnatého (NO) zprostředkovávají MAP kiny. Aktivaci MAP kinas u rostlin obstarávají extracelulární signály, které jsou důsledkem působení signálních drah vedoucích ke genové expresi (Neill et al. 2002).

Detekce oxidu dusnatého (NO) se velmi často využívá u rostlin napadených patogenem. K předmětným detekčním technikám patří například hmotnostní spektrometrie, laserová fotoakustická spektroskopie nebo chemiluminiscence (Vandelle a Delledonne, 2008).

3.10 Osmotický stres

Příčinou vzniku osmotického stresu může být nejen nedostatek vody, ale také nízké teploty a zasolení. Zmíněné stresory způsobují zásadní změny vodního potenciálu a dochází tak k omezení dostupnosti vody rostlinám. Rostliny reagují na nedostatek vody v závislosti na svém stáří a vývojovém stadiu. Reakce se mohou odlišovat i v rámci jednotlivých orgánů stresované rostliny. V počátku působení stresu je omezován růst nadzemní části rostliny, aby mohly kořeny prorůst do větší hloubky půdního profilu s cílem získat přístup k vodě (Bray 1997), Bengough (2011).

Rostoucí vodní deficit může mít za následek plazmolýzu buněk. Vodní deficit se odráží negativně také na fotosyntéze. Mírný vodní deficit je provázen zavíráním průduchů, silný stres má pak již za následek výrazné omezení fotosynteticky aktivních enzymů (Rubisco) (Lawlor a Cornic 2002; Demirevska et al. 2009). Rostliny na nedostatek vody mohou reagovat různými formami adaptace, například akumulací sacharidů, glycinbetainu či prolinu (Ramanjulu a Bartels 2002). Zásadním způsobem se zvyšuje současně produkce LEA proteinů a chaperonů, které zajišťují stabilitu membrán a proteinů (Wang et al. 2004; Yu et al. 2016). Snížená

dostupnost vody je rovněž příčinou zvýšení aktivity akvaporinů zajišťujících snadnější zásobování buněk vodou (Shekoofa and Sinclair 2018). Mnohé geny, jejichž produkty se aktivně podílejí na reakci vůči osmotickému stresu, jsou aktivovány kyselinou abscisovou (ABA) (Lim et al. 2015).

4 Metodika

V částečně řízených podmínkách foliového krytu byl založen nádobový pokus s rozdílnými genotypy jabloní. U rostlin jabloní byl sledován vliv vodního deficitu na rychlost výměny plynů, parametry fluorescence, obsah fotosynteticky aktivních pigmentů a vodní režim.

Jako pokusný materiál byly zvoleny vybrané genotypy novošlechtění jabloní a referenční odrůdy. Pokusný materiál byl dodán VŠÚO, s. r. o. Holovousy.

4.1 Charakteristika rostlinného materiálu

V rámci novošlechtění jabloní se jedná o šlechtitelský materiál, proto nejsou uvedeny bližší informace o původu. Mezi testované genotypy novošlechtění byl zařazen tento šlechtitelský materiál: HL2010; HL1282; HL1597; HL827; HL601; HL32; HL2350; HL155-05; HL1185; HL1579; HL1343; HL1311; B11; HL1194; HL53; HL308; HL1651.

Mezi referenční odrůdy byly zařazeny tyto genotypy: Frosta; Rubinstep; Idared; Regula a Gala (Galaval).

Frosta

Odrůda Frosta je podzimní odrůda. Vyrůstnost je silná, typ rozvětvený, habitus rozložitý, nasazení plodů na krátkých a dlouhých výhonech ve shlucích. Plod středně velký až velký, tvar elipsovitý, se středním žebrováním a středně výraznými masitými svalci na vrcholu. Základní barva plodu žlutá, krycí barva červená, plošná a skvrnitá. Slupka se středním až vysokým počtem středně velkých lenticel. Dužnina žlutavé barvy, tuhá, středně šťavnatá a sladká. Stopka středně tlustá až tlustá a krátká až středně dlouhá. Sklizňová zralost koncem září, konzumní zralost od poloviny října, skladovatelnost do listopadu. Odrůda byla registrována v roce 2012 a udržovatelem je VŠÚO, s.r.o.

Rubinstep

Rubinstep je zimní odrůda. Růst středně bujný, habitus vzpřímený až rozložitý, plodnost na krátkém dřevě. Plod středně velký, ploše kulovitý. Slupka drsná, středně tlustá, bez ojínění.

Základní barva slupky žlutá, krycí červená, částečně žíhaná. Dužnina krémové barvy, křehká, šťavnatá, navinule sladká. Odrůda středně odolná proti napadení strupovitostí i proti napadení padlím jabloňovým. Sklízí se začátkem října, konzumně dozrává v prosinci, skladovatelnost do února. Odrůda byla registrována v roce 2003 a udržovatelem je SEMPRA PRAHA a.s.

Reluga

Reluga je zimní odrůdou. Vyrůstnost středně bujná, typ rozvětvený, habitus rozložitý. Převládající barva květu v balónové fázi tmavě růžová. Nasazení plodů na krátkých a středně tlustých až tlustých výhonech převážně ve shlucích. Plod velký, tvar kuželovitý se středně znatelným žebrováním bez svalců na vrcholu. Základní barva plodu žlutozelená, krycí červená ve formě celoplošné s výrazným žíháním. Slupka tlustá, hladká, bez ojínění a rzivosti, na skládce nemastí. Dužnina zelenavé barvy, středně pevná, středně šťavnatá, sladce navinulá. Stopka tlustá a středně dlouhá. Sklizňová zralost začátkem října, konzumní zralost od ledna.

Skladovat lze do března. Odrůda je rezistentní proti napadení strupovitostí. Odrůda byla registrována 2015. Udržovatelem je VŠÚO, s.r.o.

Idared

Idared je pozdně zimní červenoplodou odrůdu amerického původu. V České republice je odrůda výrazně rozšířena. Vyznačuje se pozdní dobou zrání, a dobrou skladovatelností plodů. Plody jsou v průměru středně velké, odolné proti otlacení. Přestože nepatří mezi chuťově nejlepší odrůdy, je kvalita plodů zejména v pozdně zimním období pro většinu konzumentů zcela přijatelná. Stromy rostou z počátku bujně, později jejich růst slábne. Na podnoži A2 roste Idared slaběji než jiné odrůdy a v této kombinaci je to odrůda vhodná do horších půdních podmínek. Výhony bývají v prvních letech tenké a vyžadují zkracování, aby se vytvořila pevnější kostra koruny. Sklon k zahušťování eliminuje přiměřený prosvětlovací řez. V období plné plodnosti jsou požadavky na řez minimální. Plodnost stromů je raná, velmi vysoká a pravidelná. Dosti trpí padlým a strupovitostí a patří mezi citlivější vůči mrazu ve dřevě i v květu. Pro pěstování této odrůdy jsou nejvhodnější vlhčí oblasti a střední polohy v nadmořské výšce 300–500 m, kde jsou menší problémy s padlím (Blažek 2001)

Galaval

Odrůda Galaval je mutací odrůdy Galaxy, která byla preferována pro intenzivní zbarvení plodů. Plody odrůdy 'Galaval' se od plodů odrůdy 'Galaxy' a dalších odrůd typu 'Gala' liší intenzivním tmavě fialově hnědým zbarvením slupky bez výrazných pruhů. Odrůda Galaval byla poprvé pozorována v sadu v Corze (údolí Loiry, Francie) v roce 2002. Typ rozvětvený, habitus rozložitý. Převládající barva květů bílá. Plody dosahují střední velikosti a průměrné hmotnosti 190 g. Tvar plodu kulovitý se slabým žebrováním a dlouhou stopkou s průměrnou délkou 28 mm, bez ojínění a rzivosti. Světle žlutá podkladová barva pokožky je intenzivně přebarvována do kontury tmavě fialově hnědé, vzniká tak celistvý ruměnc bez výrazných pruhů. Žlutá dužnina bývá středně pevná až pevná, jemnější struktury, středně aromatická, mírně sladká a výrazně šťavnatá. Sklizeň odrůdy raná, dozrává počátkem září. Odrůda je vnímavá na strupovitost, citlivá na rakovinu a cizosprašná, vhodným opylovačem je ve stejnou dobu kvetoucí odrůda Braeburn či Granny Smith (United States Plant Patents 2009).

4.2 Založení pokusu

Pokus byl založen v částečně řízených podmínkách foliového krytu v areálu VŠÚO, s.r.o. Holovously. Pokus zahrnoval 2 varianty. Kontrolní varianta představovala plně zavlažovanou část rostlin po celou dobu pokusu. Druhá varianta byla stresována vodním deficitem, kdy vodní deficit byl navozen postupným vysycháním substrátu.

Rostliny jabloní byly pěstovány na podnoži M9 a v nádobách o velikosti 50 l. Experimentální rostliny byly pěstovány v zahradním substrátu (AGRO CS: pH 5 - 6,5, obsah živin: N 80–120 mg l-1, P 22–44 mg l-1, K 83–124 mg l-1; 80 % bílá rašelina, 20 % černá rašelina, 20 kg půdy m-3, textura 0-10 mm a neobsahoval žádné plevele ani škůdce). Dále obsahoval 55 % hořlavých látek ve vysušeném vzorku a maximálně 5 % částic nad 25 mm. Od

každého genotypu bylo pěstováno 6 ks stromků. Měření se uskutečnila: 31 BBCH, 39 BBCH, 55 BBCH, 60 BBCH, 67 BBCH.

4.3 Fyziologické parametry

4.3.1 Rychlost výměny plynů

Pro zjišťování hodnot rychlosti výměny plynů byla využita nedestruktivní metoda měření s využitím infračerveného analyzátoru plynů LCpro+ (ADC Bioscientific Ltd.). Jedná se o mobilní gazometrický přístroj, který je používán pro měření výměny plynů otevřeného systému a lze jím stanovit následující parametry: rychlost fotosyntézy (PN), transpirace (E), koncentrace CO₂ v listech (Ci) a vodivost průduchů (gs). Přístroj je schopen rovněž zaznamenat teplotu listu, teplotu okolního vzduchu, atmosférický tlak a intenzitu osvětlení (Di Marco et al. 1988, Subrahmanyam et al. 2006).

Přístroj sestává z programovatelné konzole vybavené LCD displejem a měřicí hlavice se světelnou jednotkou vyzařující nadefinovanou hodnotu intenzity fotosynteticky aktivního záření (FAR) v rozsahu 0-2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a možností regulovat teplotu s možností ± 14 °C od teploty okolí (Pajević et al. 2009).

Hodnoty rychlosti transpirace a fotosyntézy jsou vypočítány z koncentrace a průtoku plynů mezi vstupem a výstupem z komory. 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 Holé et al. (2010); Kuklová a kol. 2015. Po stabilizaci přístroje se rychlost výměny plynů měřila po dobu 10-15 minut, při intervalu ukládání 1 min.

4.3.2 Měření parametrů fluorescence

Pro měření parametrů fluorescence chlorofylu Fv/FM a Fy/F0 byl využit fluorometr OS5p+ (OptiScience). Měření probíhala nedestruktivní metodou vždy po 20 minut trvajícím zastínění měřené plochy listu plastovým klípsem.

Fluorometr OS5p+ je mobilním měřicím zařízením fungujícím na principu pulsní amplitudové modulace. Přístroj je tvořen spojením programovatelné konzole vybavené LCD displejem s měřicím přístrojem schopným vyvolat slabé modulované, aktinické nebo saturační záření. Po uplynutí výše popsanych 20 minut, tedy doby zatemnění měřené části listu plastovým

klípsem, dochází k reoxidaci (otevření) veškerých reakčních center fotosystému II (PSII).

Následuje ozáření zkoumané plochy listu slabým modulovaným zářením. Získáme tak základní hodnotu fluorescence označovanou zkratkou F0. F0 je hodnotou konstantní a na fotosyntetické aktivitě nezávislou. Dalším krokem je krátké saturační ozáření zkoumané plochy listu, které způsobí redukci chinonu QA a opětovné uzavření elektronových akceptorů fotosystému II, jehož důsledkem je nárůst fluorescence chlorofylu a zjištění maximální hodnoty fluorescence v temnotně adaptovaném stavu FM. Rozdíl hodnot FM a F0 (FV = FM – F0) představuje maximální hodnotu parametru variabilní fluorescence chlorofylu v podmínkách temnotně adaptovaného stavu označovanou FV. Díky naměřeným hodnotám parametrů FM, F0 a výsledků výpočtu parametru FV je možné stanovit poměr FV/F0 zvaný potenciální

účinnost fluorescence a poměr FV/FM označovaný jako maximální kvantový výtěžek fluorescence (Roháček a Barták 1999). V rámci každé varianty pokus bylo uskutečněno 15-20 měření.

4.3.3 Stanovení obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů

Stanovení obsahu pigmentů proběhlo dle metodiky Porry et al. (1989). Z listů byly během odběru vyříznuty terčíky o ploše 1 cm². Takto oddělené části listu byly vkládány do

1 ml rozpouštědla N,N-Dimethylamid kyseliny mravenčí. Po dobu 24 hodin probíhala extrakce pigmentů v chladu a bez přístupu světla. Po uplynutí 24 hodin byly vzniklé vzorky roztoku spektrofotometricky vyhodnoceny pigmentů přístrojem UV-Vis Evolution 2000 (ThermoScientific). Referenčním (slepým) vzorkem byl čistý N,N-Dimethylamid kyseliny mravenčí. Při měření absorbance nabývaly vlnové délky hodnot: 480; 648,8; 663,8 a 710 nm. Počet vzorků od jednoho genotypu a varianty byl 5.

Rovnice pro výpočet chlorofylu a: $Chl\ a = 12,0 * A_{663,8} - 3,11 * A_{646,8}$

Rovnice pro výpočet chlorofylu b: $Chl\ b = 20,78 * A_{646,8} - 4,88 * A_{663,8}$

Rovnice pro výpočet celkového chlorofylu: $Chl\ a+b = 7,12 * A_{663,8} + 17,67 * A_{646,8}$

Rovnice pro výpočet karotenoidů: $Carx+c = (1000 * A_{480} - 1,12 * Chl\ a - 34,07 * Chl\ b) / 245$

4.3.1 Osmotický potenciál

Za účelem stanovení hodnot osmotického potenciálu byly do injekčních stříkaček odebrány vzorky listů o max. objemu 1 ml. Píst injekčních stříkaček byl následně stlačen a utěsněn parafilmem. Takto připravené vzorky byly umístěny do chladicího boxu v teplotě -20 °C. Od každého genotypu a varianty byly odebrány 3 vzorky. Osmotický potenciál jednotlivých vzorků byl měřen přístrojem WP4C (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, USA). Extrakt je z injekční stříkačky vytlačován do měřicí komory přístroje. Přístroj je pro účely měření vodního potenciálu opatřen technologií měření rosného bodu chlazeného zrcadla. Teplota zrcadla je kontrolována pomocí Peltierova chladiče. Prostřednictvím termočlánku a fotodetektoru je měřena teplota, při níž na zrcadle kondenzuje vodní pára. Zjištěná teplota rosného bodu pak určuje osmotický potenciál vzorku. Vzhledem k tomu, že vzorky byly před měřením zmrazeny, hovoříme o potenciálu nikoliv vodním, ale osmotickém.

4.4 Statistické vyhodnocení výsledků

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 pro evaluaci signifikantních rozdílů. Všechny statistické testy byly vyhodnoceny s hladinou významnosti $p < 0,05$. Statistická analýza se uskutečnila vždy ze 3 opakování (stromů) od každého genotypu a varianty.

5 Výsledky

U vybraných genotypů jabloní byl sledován vliv vodního deficitu a následné rehydratace na rychlost výměny plynů, obsahu fotosynteticky aktivních barviv, fluorescence chlorofylů a vodního potenciálu. První dvě měření jsou u rostlin stresovaných totožná s měřeními kontrolních rostlin, neboť se jedná o termíny před zahájením krátkodobého vodního deficitu.

5.1 Fotosynteticky aktivní pigmenty – chlorofyl

Z tabulky I vyplývá, že v případě stanovení vlivu ontogenetického vývoje kontrolních rostlin nelze stanovit výrazný trend v navýšení či poklesu obsahu chlorofylů v listech. Tento trend nebyl zaznamenán u žádného sledovaného genotypu. Na počátku sledovaného období nejnižší hodnotu obsahu chlorofylu vykazoval genotyp HL 155-05 (6,354 nmol cm⁻²), jednalo se o statisticky průkazně nejnižší hodnotu v daném termínu měření, a naopak nejvyšší hodnota byla zaznamenána u genotypu HL 1311 (21,115 nmol cm⁻²). V následujícím termínu měření se obsah chlorofylu průkazně snížil u genotypů HL 1651 (5,601 nmol cm⁻²), HL 1194 (9,094 nmol cm⁻²) a HL 308 (10,898 nmol cm⁻²). V případě třetího odběru se u kontrolních rostlin snížil obsah chlorofylů v listech, patrně v důsledku vyšší teploty okolního prostředí. Pouze u genotypu HL 1194 (13,747 nmol cm⁻²) bylo zaznamenáno statisticky průkazné zvýšení obsahu chlorofylu v porovnání s předcházejícím termínem měření. Dále bylo zaznamenáno neprůkazné zvýšení obsahu chlorofylu u genotypů HL 2350 (10,350 nmol cm⁻²) a HL 1651 (15,019 nmol cm⁻²). Neprůkazné snížení obsahu chlorofylů, jak dokládá tabulka I, bylo zjištěno u genotypů HL 1651 (7,046 nmol cm⁻²) a HL 1185, u něhož byla zároveň zaznamenána nejnižší hodnota obsahu chlorofylu 1,154 nmol cm⁻². Mezi zbývajících genotypy nebyly nalezeny průkazné difference. Statisticky průkazný nárůst obsahu chlorofylu v listech byl sledován u genotypu B 11 (25,883 nmol cm⁻²) a HL 32 (25,887 nmol cm⁻²) ve 4. termínu měření. U těchto genotypů nebyly nalezeny statisticky průkazné difference. Další průkazné zvýšení obsahu chlorofylu v listech bylo vyhodnoceno u genotypů HL 2010 (17,095 nmol cm⁻²) a HL 1651 (15,019 nmol cm⁻²) a to již se statisticky průkaznými rozdíly. Nejnižší hodnota sledovaného znaku čtvrtého měření, 1,485 nmol cm⁻², byla zaznamenána u genotypu HL 308. V případě ostatních genotypů výjimkou genotypu HL 601 (14,135 nmol cm⁻²) a HL 53 (15,823 nmol cm⁻²), se obsahy chlorofylu snižovaly. Na konci sledovaného období nebyl statisticky průkazný rozdíl mezi dvěma odběry u genotypy HL 32 (25,687 nmol cm⁻²), v jehož případě byl obsah chlorofylu stabilní, naopak statisticky průkazné zvýšení bylo opět zaznamenáno u genotypu HL 53 (26,489 nmol cm⁻²). Naproti tomu u genotypu B 11 (18,922 nmol cm⁻²) byl zaznamenán statisticky průkazný pokles hodnot obsahu chlorofylu.

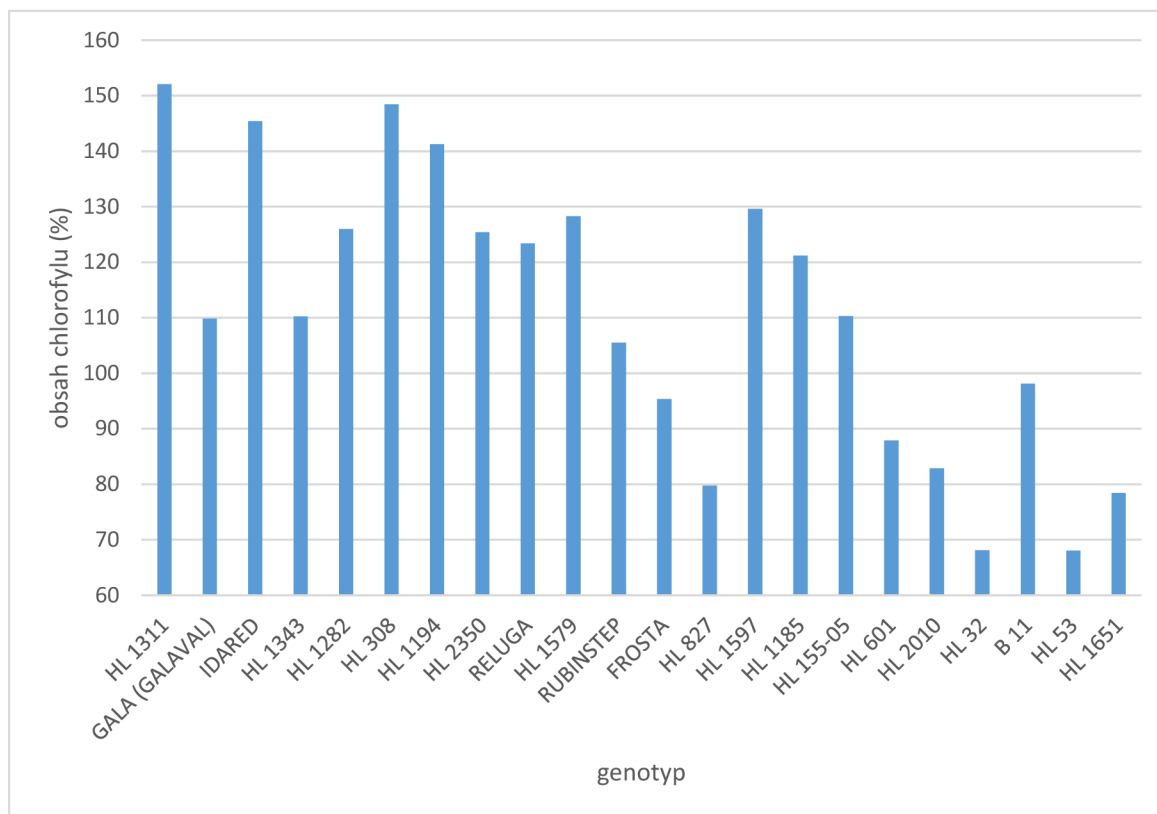
Mimo genotypu HL 1651 (18,068 nmol cm⁻²) byly v případě všech sledovaných odrůd nalezeny statisticky průkazné difference mezi termíny odběrů. Rostliny lze rozdělit do tří skupin, přesněji do genotypů s nízkým, středním a vysokým obsahem chlorofylu v listech. Do poslední jmenované skupiny lze zařadit genotypy HL 53 (26,489 nmol cm⁻²) a HL 32 (25,687 nmol cm⁻²) a do kategorie s nízkým obsahem chlorofylů zejména genotypy HL 1579 (17,623 nmol cm⁻²), HL 2350, Frosta, Idared a HL 308.

Hodnoty obsahu chlorofylů v listech stresovaných rostlin uvádí tabulka II. Z uvedené tabulky je patrné, že vlivem působení vodního deficitu dochází k lineárnímu poklesu obsahu

chlorofylu v listech genotypu HL 1282 (16,271 nmol cm⁻²). V případě genotypu HL 1282 se obsah chlorofylu na počátku vodního deficitu snížil (16,271 nmol cm⁻²) v porovnání s předchozím termínem měření (16,485 nmol cm⁻²). Po zahájení vodního deficitu se u většiny genotypů projevila nedostatek vody tak, že snížily obsah chlorofylu v listech, kdy nejnižší hodnota byla naměřena u genotypu HL 827 (2,520 nmol cm⁻²), naopak nejvyšší hodnota byla naměřena u genotypu HL 1311 (24,166 nmol cm⁻²). V rámci stanovení obsahu chlorofylů v listech lze identifikovat dvě skupiny genotypů, jednak ty, které snížily obsah chlorofylu a ty, které jej naopak zvýšily nebo ty, u nichž nebyla zaznamenána změna. Mezi genotypy, které průkazně zvýšily obsah chlorofylu, patří genotyp HL 1651, HL 1343, HL 308, Rubinstep, HL 1579, HL 2350, HL 1194 a HL 1311.

Na konci období působení vodního deficitu dochází u většiny sledovaných genotypů na konci vodního deficitu k průkaznému poklesu naměřených hodnot obsahu chlorofylu v listech, naopak u genotypů HL 2010 (13,951 nmol cm⁻²) se průkazně obsah chlorofylu zvýšil, podobně jako u genotypu HL 1185 (15,432 nmol cm⁻²), HL 1597 a B 11 (24,177 nmol cm⁻²). Téměř lineární pokles obsahu chlorofylu až do konce sledovaného období, včetně rehydratace, byl zaznamenán u genotypu HL 1194 (20,007 nmol cm⁻² a 13,459 nmol cm⁻²). Ve většině případů mezi sledovanými genotypy nebyly nalezeny statisticky průkazné difference. Po obnovení závlivky se obsah chlorofylu v listech u většiny sledovaných genotypů zvýšil s výjimkou genotypu HL 2010, kde došlo ke statisticky průkaznému snížení v porovnání s variantami stresovanými. Ke zvýšení dále došlo u HL 1185 (19,085 nmol cm⁻²), HL 32 (19,562 nmol cm⁻²), mezi těmito genotypy však nebyly statisticky průkazné rozdíly. U genotypů Reluga (21,304 nmol cm⁻²), HL 601 a Idared (22,840 nmol cm⁻²) nebyly nalezeny statistické rozdíly v obsahu chlorofylů. Poslední zvýšení, kde byla zároveň zjištěna i maximální hodnota sledovaného parametru, 23,588 nmol cm⁻² přísluší genotypu HL 1597, jak dokumentuje tabulka II.

Změny obsahu chlorofylů v závislosti na genotypu a působení vodního deficitu jsou uvedeny v grafu 4. Uvedený graf popisuje reakci sledovaných odrůd na stres v relativních hodnotách, v rámci srovnání s kontrolními rostlinami. Nejvýraznější snížení obsahu chlorofylů v listech bylo zjištěno u stresovaných rostlin genotypu HL 32 a HL 53, jak dokládá graf 4. U těchto genotypů se obsah chlorofylů snížil ve srovnání s kontrolou o 32 % což odpovídá hodnotě 68 %. Naopak u genotypu HL 1311 byl rozdíl nejvyšší, kdy stresované rostliny tohoto genotypu měly vyšší hodnoty obsahu chlorofylů o 52 % v porovnání s kontrolou. Statisticky průkazné zvýšení obsahu chlorofylu v listech v důsledku působení stresu suchem bylo zaznamenáno především u HL 1311, HL 308, Idared a HL 1194, kdy se u této skupiny genotypů bylo stanoveno 40 až 50% zvýšení oproti výsledkům kontrolních měření. Na straně druhé, tedy poklesem obsahu chlorofylu v listech vůči kontrolním hodnotám, reagovaly genotypy HL 32, HL 53, HL 1651 a HL 827. Nejvýznamnější pokles sledovaného znaku proti kontrole zaznamenaly genotypy HL 32, HL 53, a to o 32 %.



Graf 4: Rozdíl v obsahu celkových chlorofylů sledovaných genotypů jabloní v porovnání stresovaných a kontrolních rostlin (%)

5.2 Fotosynteticky aktivní pigmenty – karotenoidy

Obsah karotenoidů kontrolních rostlin, viz tabulka III, zaznamenal průkazné snížení jejich obsahu ve 3. termínu, tedy na počátku působení vodního deficitu u stresovaných rostlin, což mohlo být způsobeno vnějšími faktory, například krátkodobě vyšší teplotou. Na počátku sledovaného období vykazoval nejnižší obsah karotenoidů genotyp HL 155-05 ($0,951 \text{ nmol.cm}^{-2}$) a naopak nejvyšší genotyp HL 1311 ($3,149 \text{ nmol.cm}^{-2}$). V následujícím termínu se obsah karotenoidů průkazně snížil u genotypu HL 1651 ($0,972 \text{ nmol.cm}^{-2}$). Avšak průkazné navýšení bylo zaznamenáno u genotypů Frosta ($4,046 \text{ nmol.cm}^{-2}$), HL 601, HL 1185), HL 2010), HL 1597, Rubinstep, HL 827, HL 1282, HL 155-05 a HL 32 ($2,260 \text{ nmol.cm}^{-2}$). U všech genotypů ve 3. termínu měření byl zaznamenán pokles obsahu karotenoidů u kontrolních rostlin, kdy tento pokles v porovnání s předcházejícími variantami byl statisticky průkazný, avšak rozdíly mezi genotypy byly neprůkazné.

Nejnižší hodnota byla zaznamenána u genotypu HL 1185 ($0,442 \text{ nmol.cm}^{-2}$) a naopak nejvyšší byla stanovena u genotypu HL 1194 ($1,893 \text{ nmol.cm}^{-2}$). V případě genotypu HL 1194 a HL 1651 bylo naopak zaznamenáno zvýšení obsahu karotenoidů s předcházejícím termínem měření, přičemž u genotypu HL 1194 je toto zvýšení průkazné. V následujícím termínu měření, které odpovídá konci období rehydratace, nebyly zaznamenány u stresovaných rostlin průkazné diference u většiny genotypů, u nichž zaznamenáno snížení obsahu karotenoidů v porovnání s předcházejícím variantou. Průkazný rozdíl byl zaznamenán u genotypů Rubinstep ($1,333$

nmol.cm⁻²), HL 1651, HL 601, HL 53, HL 2010, B 11 a HL 32 (3,346 nmol.cm⁻²). U těchto genotypů bylo zaznamenáno zvýšení obsahu karotenoidů, výjimku tvoří genotyp B 11. U tohoto genotypu bylo zaznamenáno průkazné snížení obsahu karotenoidů v listech po rehydrataci. V rámci posledního termínu měření se hodnota obsahu karotenoidů kontrolních rostlin průkazně zvýšila u genotypů HL 53 (4,205 nmol.cm⁻²), HL 32 a HL 1282 (3,828 nmol.cm⁻²). Na straně druhé statisticky neprůkazné rozdíly byly zjištěny u genotypů Frosta (2,147 nmol.cm⁻²), HL 308, HL 2350 a HL 1194 (2,124 nmol.cm⁻²), jak dokládá tabulka III.

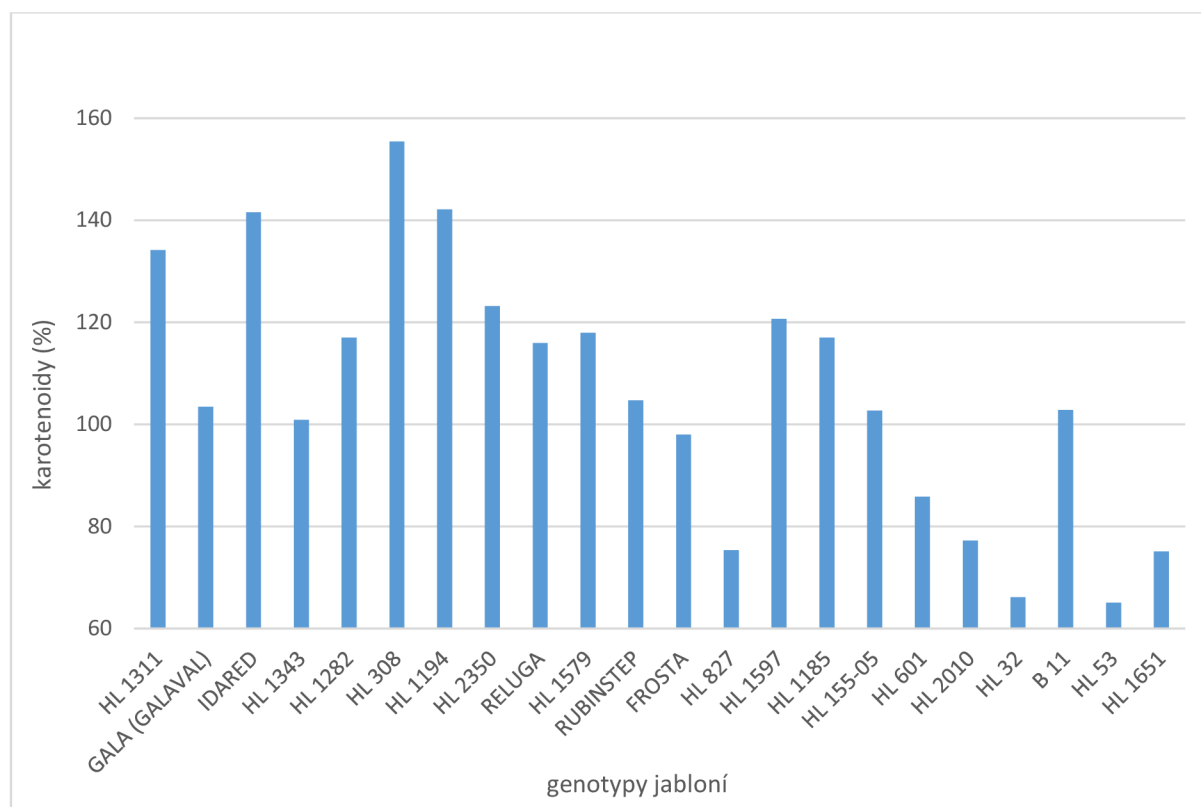
Obsah karotenoidů v listech stresovaných rostlin byl na počátku sledovaného období nejnižší u genotypů HL 155-05 (0,951 nmol.cm⁻²) a naopak nejvyšší u genotypu HL 1311 (3,15 nmol.cm⁻²), jak vyplývá z tabulky IV.

Z uvedené tabulky je patrné, že mezi těmito hodnotami byly statisticky průkazné rozdíly. Na základě statistické analýzy lze dále konstatovat, že genotypy HL 601 (1,675 nmol.cm⁻²), HL 32, HL 2350, HL 1282, HL 601, HL 2010, HL 1185, HL 1597 a HL 827 (2,020 nmol.cm⁻²) mají obdobné hodnoty obsahu karotenoidu v listech, a proto mezi nimi nejsou nalezeny průkazné diference. Naměřená průměrná hodnota obsahu karotenoidů činí 2,186 nmol.cm⁻². Dále nebyly nalezeny průkazné diference mezi genotypy B 11 (2,162 nmol.cm⁻²), Frosta, Rubinstep, Relug a Gala (Galaval) (2,394 nmol.cm⁻²). V následujícím termínu odběru (2. termín) se obsah karotenoidů průkazně zvýšil u genotypů HL 155-05 (2,470 nmol.cm⁻²), HL 827, HL 1282, Reluga, Rubinstep, HL 1597, HL 1185, HL 601 a Frosta (4,046 nmol.cm⁻²). Nejvýraznější nárůst obsahu karotenoidů byl zaznamenán u genotypů Frosta (4,046 nmol.cm⁻²) a HL 601 (4,046 nmol.cm⁻²). U všech zbývajících genotypů se obsah karotenoidů snížil, kdy statisticky průkazné snížení bylo zaznamenáno u genotypu HL 1651 (0,972 nmol.cm⁻²).

Vlivem působení vodního deficitu se obsah karotenoidů na jeho počátku snížil téměř u všech genotypů vyjma HL 1651 (1,110 nmol.cm⁻²), Gala (Galaval), HL 2350, HL 1579, HL 308, HL 1311, Rubinstep a HL 1194 (3,197 nmol.cm⁻²). S prohlubujícím se vodním deficitem by se měl obsah karotenoidů zvyšovat. Tento trend byl potvrzen pouze u genotypu HL 827 (1,043 nmol.cm⁻²), HL 2010, HL 155-05, HL 1597 a B 11 (3,099 nmol.cm⁻²). Na konci sledovaného období, tedy po rehydrataci, se průkazně obsah karotenoidů snížil u genotypu HL 2010 (0,974 nmol.cm⁻²). Na straně druhé neprůkazné snížení bylo zaznamenáno u genotypů HL 155-05 (1,881 nmol.cm⁻²) a HL 1194 (2,442 nmol.cm⁻²). V případě genotypů Idared (3,607 nmol.cm⁻²), B 11, HL 601, Reluga, HL 32, HL 1311, HL 1579, HL 2350, Frosta, HL 1343, Rubinstep a HL 1651 (1,613 nmol.cm⁻²) se obsah karotenoidů vlivem rehydratace zvýšilo. Získané hodnoty obsahu karotenoidů však nedosahovaly hodnot naměřených u kontrolních rostlin.

Obdobně jako v případě chlorofylu, jsou také v případě karotenoidů zaznamenány výrazné odchylky stresovaných rostlin porovnání s kontrolou, viz graf 5. Z něho vyplývá, že se obsah karotenoidů průkazně snížil u genotypů HL 827, HL 601, HL 2010, HL 32, HL 53 a HL 1651. V rámci této skupiny bylo nejvyšší snížení, o 35 %, zaznamenáno u genotypu HL 53 a naopak nejnižší snížení bylo stanoveno u genotypu Frosta. Genotyp Frosta snížil obsah karotenoidů v porovnání s kontrolou o 2 %, na hodnotu 1,934 nmol.cm⁻². Neprůkazné zvýšení obsahu karotenoidů bylo zjištěno u genotypů Gala (Galaval), HL 1343, HL 155-05, B 11. U této skupiny zvýšení bylo v intervalu 1 % až 3 %. Naopak u genotypů HL 308, Idared, HL 1194, HL 1311, HL 2350 bylo zjištěno průkazné zvýšení obsahu karotenoidů v listech, kdy nejvyšší

zvýšení bylo zjištěno u genotypu HL 308, a to o 55 %. Nejvyšší zvýšení bylo zaznamenáno v porovnání genotypů u HL 1282.



Graf 5: Rozdíl v obsahu karotenoidů sledovaných genotypů jabloní v porovnání stresovaných a kontrolních rostlin (%)

5.3 Rychlost výměny plynů (rychlost transpirace a fotosyntézy)

Text Změny hodnot rychlosti transpirace kontrolních rostlin jabloní v závislosti na ontogenetickém vývoji uvádí tabulka V. Z uvedené tabulky je patrné, že nejnižší rychlost transpirace byla stanovena na počátku sledovaného období (31. BBCH), kdy naměřené hodnoty se pohybovaly v intervalu hodnot od 0,14 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹ (HL 53) do 1,58 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹ (HL 1194). Uvedené rozpětí hodnot bylo průkazné. Naopak nejvyšší rychlost transpirace byla stanovena ve vývojové fázi 67. BBCH. V této vývojové fázi byla rychlost transpirace v rozpětí hodnot 1,05 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹ (Frosta) až 5,11 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹ (Rubinstep). Mezi těmito odrůdami byly nalezeny průkazné diference. Ve druhém termínu měření se u všech genotypů rychlost transpirace zvyšovala, s výjimkou genotypu HL1194. U tohoto genotypu se transpirace průkazně snížila na hodnotu 1,58 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹. Statisticky průkazné navýšení transpirace bylo zjištěno u genotypu HL 32, kdy se transpirace zvýšila o 2,17 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹ na hodnotu 2,33 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹. u zbývajících genotypů bylo zaznamenáno zvýšení transpirace, avšak mezi genotypy nebyly nalezeny průkazné diference.

Z tabulky V dále vyplývá, že ve třetím termínu měření (55. BBCH) se u většiny sledovaných genotypů jabloní rychlost transpirace průkazně snížila. Toto snížení mohlo být způsobeno vyšší venkovní teplotou a nižší vlhkostí vzduchu, což u některých genotypů mohlo

vyvolat nepřímo vodní deficit způsobený nadměrnou evaporací. Pouze u genotypů B 11 (1,93 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹), HL 32, HL 2350, Gala (Galaval), HL 53 a HL 1651 (2,98 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹). Mezi uvedenými genotypy byly nalezeny průkazné diference. Relativně stabilní hodnoty rychlosti transpirace vykazují kontrolní rostliny genotypu B 11. Dále nebyly nalezeny průkazné diference mezi 4. a 5. termínem odběru u genotypů HL 155-05, HL 32 a HL 1282.

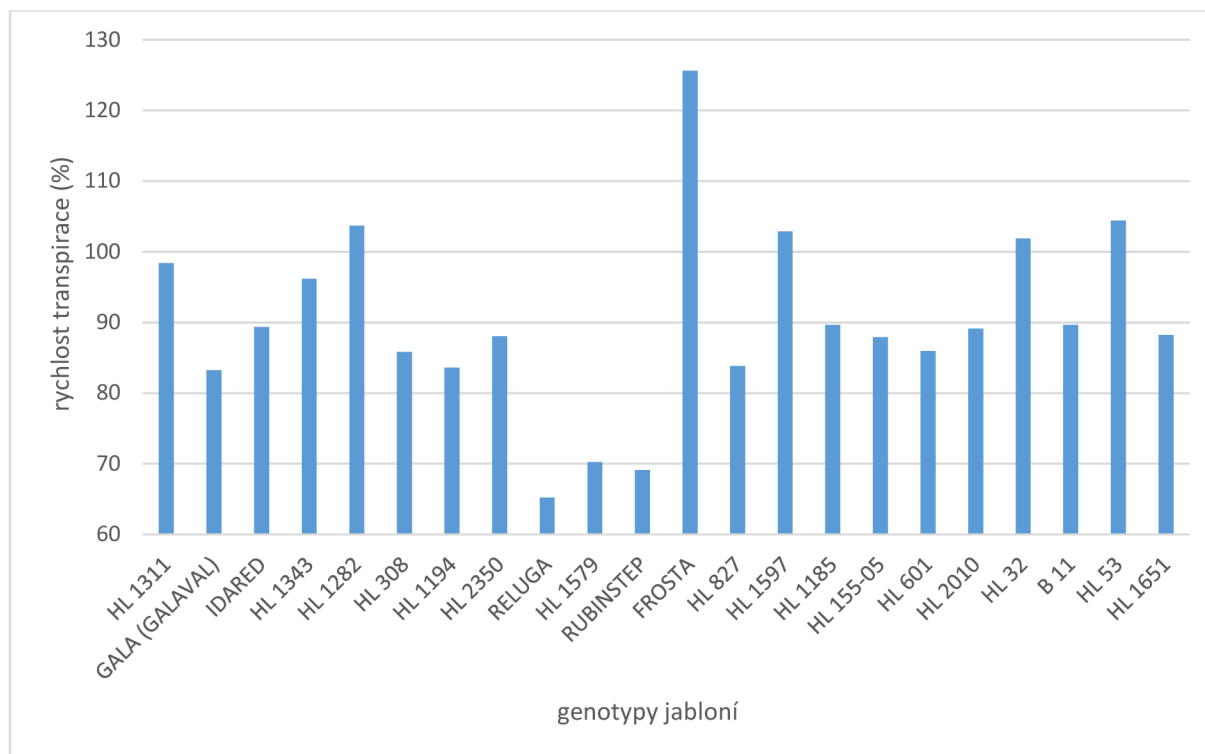
V tab. VI jsou uvedeny hodnoty rychlosti transpirace stresovaných rostlin v závislosti na ontogenetickém vývoji. Na počátku působení vodního deficitu (3. termín, 55. BBCH) byla rychlost transpirace průkazně nejnižší u genotypů HL 601 (1,04 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹) a HL 1343 (1,01 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹) a naopak nejvyšší u HL 32 (2,95 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹). Shodně s kontrolními rostlinami nebyly nalezeny u většiny genotypů průkazné diference, s výjimkou genotypů B 11, HL 1185, HL 155-05, HL 308, HL 2350, HL 827, Gala (Galaval), HL 53, HL 1651 a HL 32. Zároveň je možné konstatovat, že u většiny genotypů bylo shodně s kontrolními rostlinami zaznamenáno průkazné zvýšení transpirace, kdy u těchto genotypů byla rychlost transpirace v rozpětí hodnot od 2,02 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹ (HL 308) do 2,45 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹ (HL 32). Jedná se o tyto genotypy HL 308, HL 2350, Gala (Galaval), HL 53, HL 1651 a HL 32.

Po 14 dnech působení vodního deficitu byl u sledovaných genotypů zaznamenán rozdíl mezi jednotlivými genotypy, kdy tyto je možné rozdělit do dvou skupin. První skupina zahrnuje genotypy, u nichž se rychlost transpirace vlivem působení vodního deficitu zvýšila HL 1343 (1,99 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹), Idared, HL 601 (2,04 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹),

HL 1311 (2,80 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹), HL 2350, Gala (Galaval), HL 1579, HL 1194, HL 1651, HL 2010, HL 308, Reluga, HL 1185 a Rubinstep (2,47 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹). Druhá skupina představuje naopak genotypy, které transpiraci snižují: Frosta (2,47 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹), HL 53, HL 1597 a (2,14 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹). U zbývajících genotypů nebyly nalezeny průkazné diference v rámci měření v období sucha. Na konci působení vodního deficitu byla rychlost transpirace 2,47 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹ (Frosta) až 2,47 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹ (Rubinstep), viz tab. VI.

Z grafu 6 je patrný genotypový rozdíl v rychlosti transpirace během působení vodního deficitu a následné rehydratace. Při porovnání stresovaných rostlin s kontrolními rostlinami (100 %) je možné konstatovat, že odrůda Frosta průkazně zvýšila v porovnání s kontrolou rychlost transpirace o 126 %, přičemž průměrná rychlost transpirace kontrolních rostlin činila 1,36 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹ a stresovaných 1,72 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹. Další zvýšení rychlosti transpirace bylo zaznamenáno u genotypů HL 1282; HL 1597; HL 32 a HL 53. U těchto genotypů se procentický rozdíl v rychlosti transpirace rostlin pohyboval v rozpětí hodnot od 2 % (2,15 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹) do 4 % (2,09 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹). Neprůkazné snížení transpirace o 1,6 % bylo zaznamenáno u genotypu HL 1311 (2,80 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹). Naopak genotypy Reluga, HL 1579 a Rubinstep měly průkazně nižší rychlost transpirace v porovnání s kontrolou. Nejnižší rychlost transpirace byla stanovena u stresovaných rostlin odrůdy Reluga (65 %, 2,13 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹) a naopak nejvyšší u genotypu HL 1579 (70 %, 2,14 mmol H₂O cm⁻² s⁻¹). Na základě těchto výsledků by bylo možné genotypy rozdělit do tří skupin. První skupinu představují genotypy, které vykazovaly vyšší transpiraci v porovnání s kontrolou: Frosta, HL 1282; HL 1597; HL 32 a HL 53. Druhá skupina zahrnuje genotypy, které vykazují snížení transpirace o cca 10 % až 20 %. Jedná se o genotypy: Gala (Galaval), HL 1194, HL 2350, HL 827, HL 155-05, HL 601, HL 2010, HL 1651 a B11.

Genotypy Reluga, HL 1579 a Rubinstep patří do skupiny genotypů, která vykazovala nejvyšší snížení transpirace stresovaných rostlin.



Graf 6: Rozdíl v rychlosti transpirace sledovaných genotypů jabloní v porovnání stresovaných a kontrolních rostlin (%)

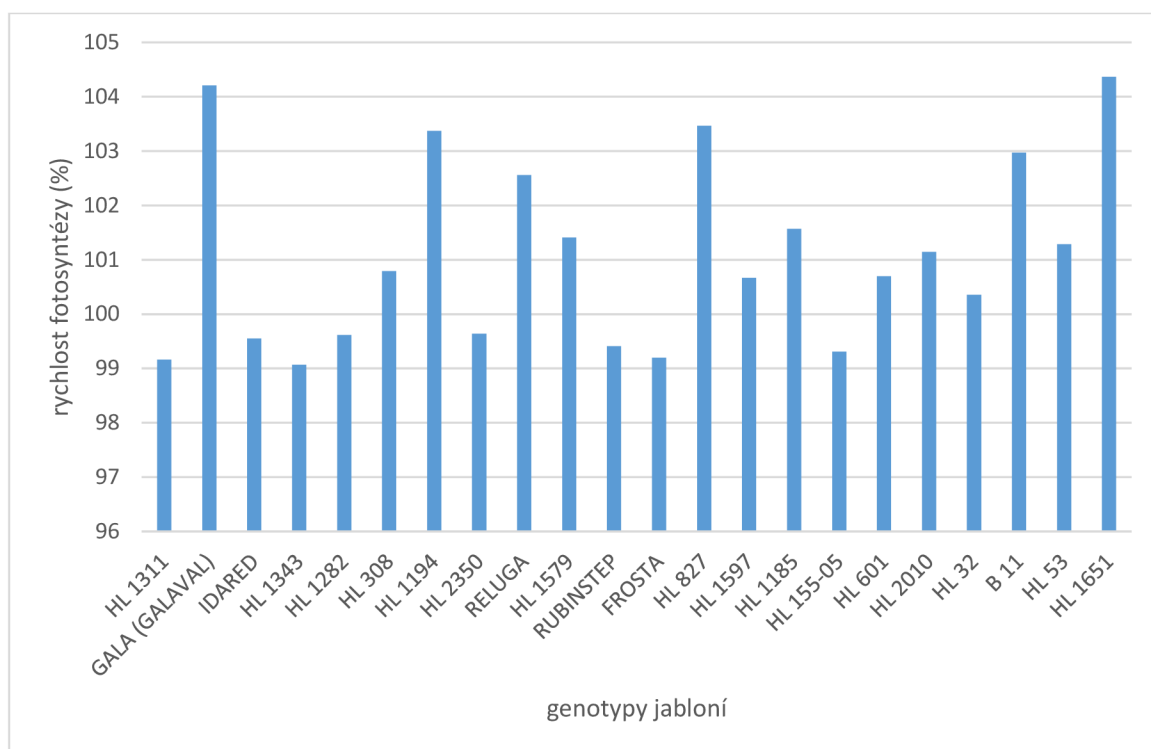
Další měřenou charakteristikou byla rychlost fotosyntézy, změny této charakteristiky v závislosti na genotypu, variantě pokusu a vývojové fázi jsou uvedeny v tab. VII Z uvedené tabulky je patrné, že v případě kontrolních rostlin byla nejnižší rychlost fotosyntézy naměřena v 1. termínu měření. V tomto období se fotosyntéza pohybovala od $7,06 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Reluga) do $7,66 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (HL1311). Mezi těmito genotypy byly nalezeny průkazné difference. Průkazné rozdíly nebyly nalezeny mezi genotypy HL1282, HL 1194 a HL 1311. U těchto genotypů byla průměrná rychlost fotosyntézy $7,64 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Dále mezi genotypy Reluga, HL 827 a HL 1651, kdy průměrná rychlost fotosyntézy byla $7,07 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Průkazné difference byly mezi genotypy HL 2010 a HL 32. Mezi zbývajících genotypy nebyly nalezeny průkazné difference a rychlost fotosyntézy byla vyrovnána (průměrná hodnota činila $7,26 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Rychlost fotosyntézy se v průběhu pokusu u kontrolních rostlin zvyšovala, s výjimkou 3. odběru, kdy u šesti genotypů byl zaznamenán její průkazný pokles, který byl patrně způsoben vyšší teplotou vzduchu a nižší vlhkostí vzduchu v experimentálním foliovém krytu. Snížení rychlosti fotosyntézy bylo zaznamenáno u genotypů HL 827 ($7,25 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), HL 2350, HL 32, Gala (Galaval), HL 155-05 ($7,96 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). V tomto období byla rychlost fotosyntézy nejvyšší u genotypu HL 1579 ($9,03 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a nejnižší u genotypu HL

827 ($7,25 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Na konci pokusu byla rychlost fotosyntézy nejnižší u genotypu B 11 ($7,73 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a naopak nejvyšší u Rubinstep ($9,07 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), viz tab. VII.

Na základě statistické analýzy je možné rozdělit genotypy do tří skupin, kdy první skupinu tvoří rostliny s nižší rychlostí fotosyntézy, jmenovitě sem lze řadit genotyp B 11, HL 1651, Reluga, HL 1194, HL 53, HL 601, HL 1597, dále navazují genotypy HL 2010, HL 155-05, HL 1185, HL 1579, HL 827, HL 32 a Idared se středními hodnotami sledovaného parametru. Zbývající genotypy vykazují vyšší rychlost fotosyntézy, mezi nejvýkonnějšími v tomto ohledu patří odrůdy Frosta, HL 2350, HL 308 a na pomyslném vrcholu odrůda Rubinstep. Mezi zmíněnými třemi skupinami byly nalezeny průkazné diference.

Rychlost fotosyntézy byla sledována také u stresovaných rostlin, jak dokládá tab. VIII. Z ní je patrné, že po navození vodního deficitu (3. termín měření) se rychlost fotosyntézy mezi jednotlivými genotypy vyrovnala a mezi odrůdami nebyly nalezeny průkazné diference, přičemž nejnižší rychlost fotosyntézy byla naměřena u genotypu HL 53 ($8,14 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a nejvyšší HL 1579 ($8,94 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Na konci období vodního deficitu zůstává rychlost fotosyntézy stabilní bez významných změn v nárůstu či poklesu hodnot, pouze u genotypu HL 827 ($8,82 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a Frosta ($8,62 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) bylo zaznamenáno neprůkazné snížení. Lineární nárůst rychlosti fotosyntézy byl vysledován u genotypu HL 1579 s tím, že tento trval až do fáze rehydratace, kdy byla naměřena nejvyšší rychlost fotosyntézy $9,05 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ze všech sledovaných genotypů. Po rehydrataci zůstávala rychlost fotosyntézy v zásadě stabilní, pouze u genotypů Reluga ($8,63 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Frosta ($8,79 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), HL 827 ($8,89 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), HL 1282 ($8,96 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a Rubinstep ($8,99 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) bylo prokázáno statisticky neprůkazné zvýšení rychlosti fotosyntézy v porovnání s předcházejícím termínem měření.



Graf 7: Rozdíl v rychlosti fotosyntézy sledovaných genotypů jabloní v porovnání stresovaných a kontrolních rostlin (%)

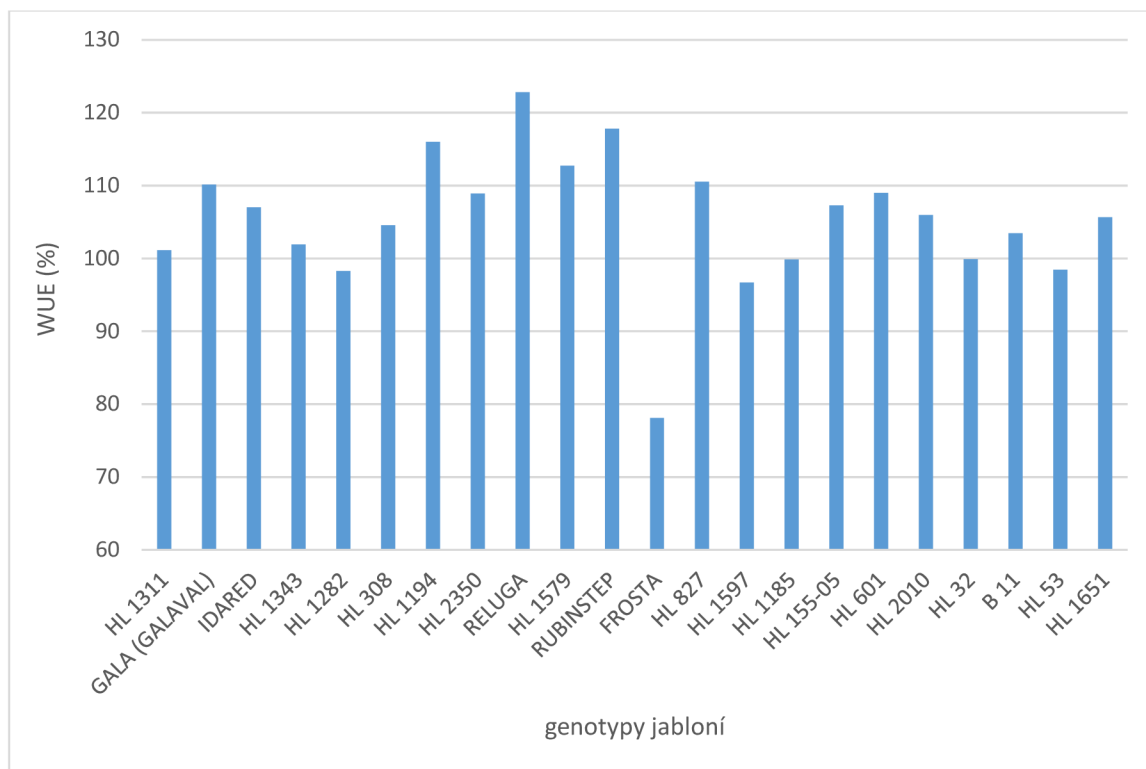
Relativní rozdíl v rychlosti fotosyntézy stresovaných rostlin ve srovnání s rostlinami kontrolními je uveden v grafu 7. Z uvedeného grafu vyplývá, že u genotypů Gala (Galaval), HL 308, HL 1194, Reluga, HL 1579, HL 827, HL 1185, HL 1597, HL 601, HL 2010, HL 32, B11, HL 53, HL 1651 se rychlost fotosyntézy neprůkazně zvýšila v porovnání s kontrolními rostlinami.

Nejnižší zvýšení fotosyntézy bylo zaznamenáno u genotypu HL 2010 (101 %, $8,76 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Na straně druhé nejvyšší zvýšení fotosyntézy bylo zjištěno u genotypu HL 1651 (104 %, $8,33 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Oproti tomu u genotypů HL 1311, Idared, HL 1343, HL 1282, HL 2350, Rubinstep, Frosta a HL 155-50. U této skupiny genotypů nejnižší snížení fotosyntézy v porovnání s kontrolou měly rostliny HL 1343 (99,07 %, $8,69 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a naopak nejvyšší HL 2350 (99,64 %, $8,22 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Hodnoty fotosyntézy lze považovat z pohledu vlivu stresového působení za stabilní.

5.4 Efektivita využití vody

Hodnoty efektivity využití vody (WUE) u kontrolních a stresovaných rostlin vykazovaly obdobný trend v závislosti na ontogenetickém vývoji, kdy její hodnota byla především ovlivněna rychlostí transpirace, jak dokládá tab. IX. Na počátku sledovaného období byla hodnota WUE v intervalu hodnot od $4,36 (10^{-3})$ – HL 1194 do $52,68 (10^{-3})$ – HL 53. Průkazné difference nebyly nalezeny mezi genotypy HL 32, B 11, HL 53. Dále mezi HL 1651, HL 1705. V neposlední řadě nebyly nalezeny difference mezi zbývajících genotypy. Ve druhém termínu odběru se průkazně hodnoty WUE snížily u genotypů HL 32 ($3,32 (10^{-3})$), B 11 ($3,42 (10^{-3})$), HL 53 ($3,50 (10^{-3})$). Ve třetím termínu měření, po navození vodního deficitu, nebyly nalezeny rozdíly mezi kontrolními a stresovanými rostlinami, neboť trend mezi jednotlivými genotypy byl totožný. Zvýšení hodnot WUE v porovnání s předchozím obdobím bylo zaznamenáno u genotypů Frosta ($6,52 (10^{-3})$), Rubinstep, HL 1579, HL 1597, Reluga, HL 2010, Idared, HL 601, HL 1194, HL 1311, HL 1343, HL 1282 ($8,79 (10^{-3})$). Mezi období konce vodního deficitu a rehydratací nebyly nalezeny průkazné difference.

Efektivita využití vody (WUE) stresovaných rostlin v porovnání s kontrolou, uvedenou v relativních hodnotách, je uvedena v grafu 8. Z něho je patrné, že genotypy je možné rozdělit do tří skupin. První skupinu zahrnuje pouze odrůda Frosta, u níž bylo zaznamenáno nejvýraznější snížení hodnot efektivity využití vody. U této odrůdy se WUE snížilo v porovnání s kontrolou o 22 % na hodnotu $5,783 (10^{-3})$. Druhou skupinu představují genotypy, které neprůkazně snížily hodnoty WUE ve srovnání s kontrolou. Jedná se o HL 1282, HL 1597, HL 1185, HL 32, HL 53. U těchto odrůd byl interval hodnot WUE od 97 %, hodnota ($4,926 (10^{-3})$) do 100 %, hodnota ($13,786 (10^{-3})$). Poslední skupina genotypů vykazuje zvýšení hodnot WUE ve srovnání s kontrolou. Do této skupiny lze řadit Gala (Galaval), Idared, HL 1343, HL 308, HL 1194, Reluga, HL 1579, Rubinstep, HL 827, HL 155-05, HL 601, HL 2010, B11 a HL 1651. Do této skupiny jsou zařazeny nejenom genotypy se statisticky neprůkaznými rozdíly, u nichž se interval hodnot pohyboval od 100 %, hodnota ($7,895 (10^{-3})$) do 104 %, hodnota ($8,054 (10^{-3})$), ale také genotypy s průkaznými difference.



Graf 8: Hodnoty efektivity využití vody (WUE) sledovaných genotypů jabloní v porovnání stresovaných a kontrolních rostlin (%)

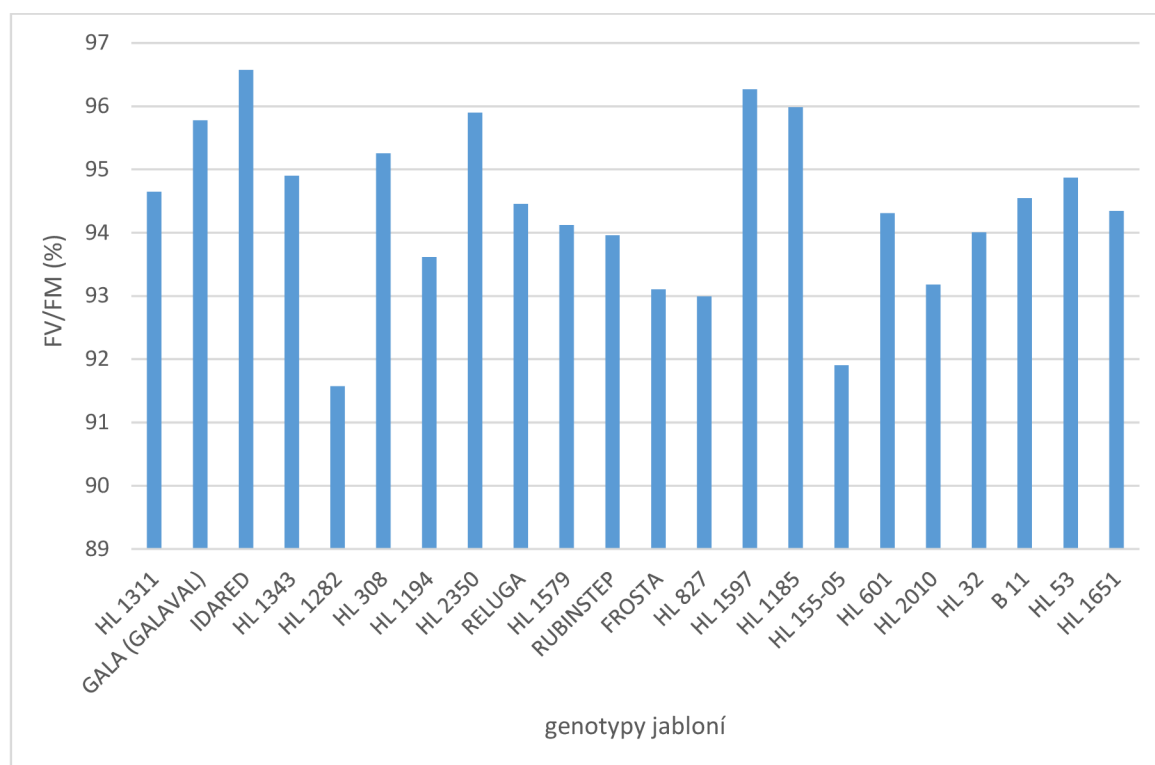
5.5 Fluorescence chlorofylu

Hodnoty fluorescence kontrolních rostlin jabloní jsou uvedeny v tabulce X. Z naměřených hodnot fluorescence je patrné, že mezi sledovanými genotypy v rámci jednotlivých termínů měření byly relativně stabilní. Na počátku sledovaného období se pohybovala hodnota fluorescence na hladině 0,800, kdy mezi odrůdami nebyly nalezeny průkazné diference. Statisticky významný pokles byl zaznamenán ve druhém termínu měření u genotypu HL 32. U tohoto genotypu se fluorescence snížila z hodnoty 0,795 na hodnotu 0,767. Dále bylo zaznamenáno neprůkazné zvýšení sledovaného znaku u genotypu HL 1185, kdy se fluorescence zvýšila v porovnání s 1. termínem o 0,005 na hodnotu 0,803. V následujícím termínu měření se průkazně v porovnání s ostatními genotypy snížila hodnota fluorescence u genotypů HL 1597 (0,645) a HL 1185 (0,635). Ve čtvrtém termínu měření se průkazně zvýšila hodnota fluorescence u genotypu HL 53 (0,817) a HL 155-05 (0,813), avšak mezi těmito genotypy nebyly nalezeny statisticky významné diference. Mezi zbývajících odrůdami nebyly nalezeny průkazné diference a hodnoty fluorescence, pohybující se kolem hladiny 0,800, byly relativně stabilní.

V případě fluorescence kontrolních rostlin je možné zaznamenat, jak dokládá tab. X, statisticky výrazný pokles fluorescence u všech sledovaných genotypů mezi 4. a 5. termínem měření. Na konci sledovaného období byla nejnižší hodnota poměru F_v/F_m zjištěna u genotypu HL 2010 (0,557) a naopak nejvyšších genotypu HL 308 (0,707). Mezi těmito genotypy byly statisticky průkazné diference. Podobně byla statisticky prokazatelná diference zjištěna mezi

odrůdou Idared (0,590) a ostatními genotypy. Mezi zbývajícím genotypy nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly.

Hodnoty fluorescence chlorofylů stresovaných rostlin jsou uvedeny v tab. XI. Z ní je patrné, že statisticky výrazný pokles fluorescence byl zaznamenán na začátku působení vodního deficitu, kdy se její hodnoty pohybovaly od 0,550 (HL 155-05) do 0,685 (HL 308), přičemž nejvýraznější snížení bylo zaznamenáno u genotypu HL 155-05 (0,550), následovaného genotypem HL 1282 (0,574) a HL 2010 (0,584), na straně druhé nejnižší pokles byl zaznamenán u genotypu HL 308 (0,685), Idared a HL 2350 (0,656). Mezi genotypy Idared a HL 2350 nebyly nalezeny průkazné difference. S končícím působením stresu se hodnoty fluorescence ve většině případů zvýšily, pouze u genotypu HL 1185 došlo ke snížení hodnoty fluorescence, nicméně tento pokles nebyl statisticky průkazný. Statisticky průkazné snížení fluorescence bylo zaznamenáno u genotypů Frosta (0,630) a HL 601 (0,671). Nejvýraznější průkazné zvýšení na konci působení vodního deficitu bylo naměřeno u genotypů HL 1311 (0,710), HL 1651 a HL 53 (0,683) s tím, že mezi těmito genotypy nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly. Relativně stabilních hodnot dosahovaly genotypy HL 1597, B 11, HL 53 a Gala (Galaval). Jak dále dokládá tab. XI, tak v průběhu rehydratace byl zaznamenán pokles hodnot fluorescence, s výjimkou genotypů HL 1185 (0,633) a HL 308 (0,685). Nejnižší z naměřených hodnot fluorescence dosahovaly genotypy HL 2010, HL 601 a HL 1282, u těchto genotypů byla průměrná hodnota fluorescence 0,574. Mezi těmito genotypy však nebyly nalezeny průkazné difference. Průkazné rozdíly byly nalezeny mezi genotypy HL 827, HL 601 a Frosta vůči zbývajícím genotypům, vyjma HL 2350, Idared a HL 308, které dosahovaly vyšších hodnot fluorescence než zbývajícím genotypy.



Graf 9: Změny fluorescence chlorofylu u sledovaných genotypů jabloní v porovnání stresovaných a kontrolních rostlin (%)

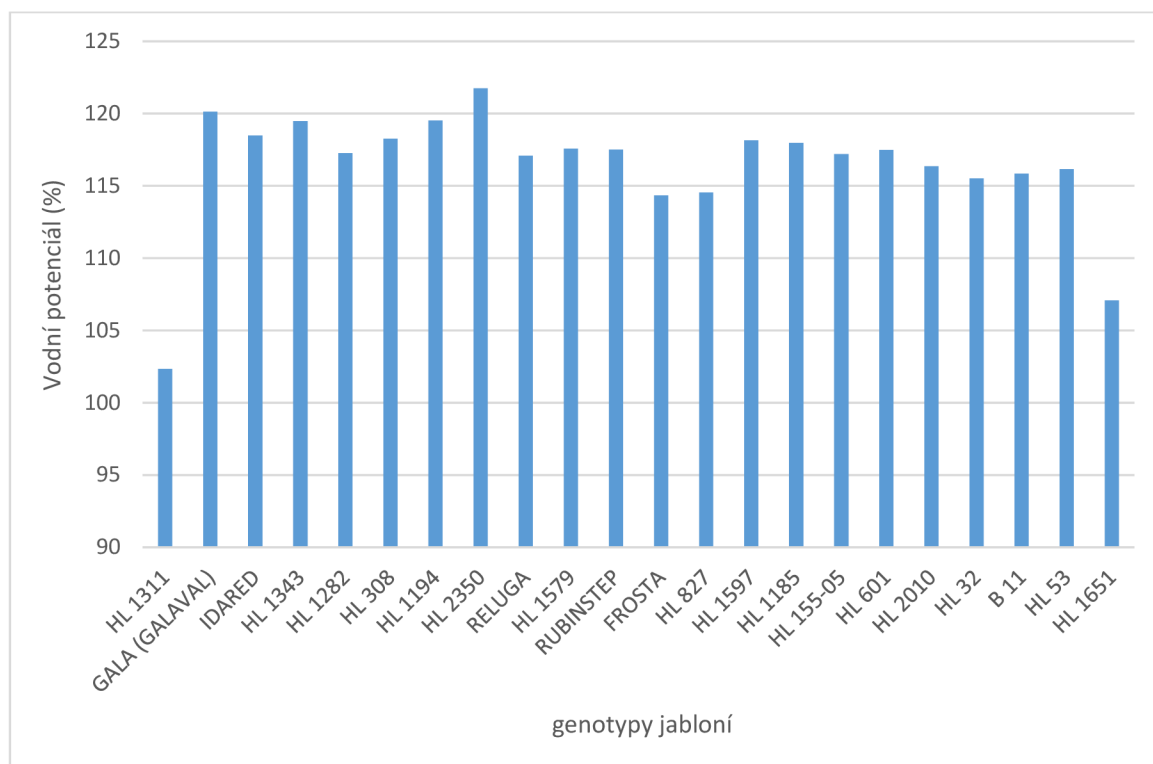
Fluorescenční poměr variabilní ku maximální fluorescenci (FV/FM) je obecným indikátorem snížení funkce nebo poškození reakčních center fotosystému II je uveden v grafu 9. Z grafu je patrný pokles hodnoty sledovaného znaku, a to v průměru o 6 % v rámci všech testovaných genotypů. Žádný ze sledovaných genotypů nedosáhl ve sledovaném parametru hodnot kontrolních měření. Nejnižší pokles, do 5 % oproti kontrolnímu měření, vykazovaly genotypy Idared, HL 1597 a HL 1185. V rámci této skupiny byl interval hodnot od 96 % (0,724) do 97 % (0,740). Na straně druhé průkazné diference v hodnotách fluorescence byly nalezeny u odrůd HL 1282, HL 155-05 a HL 2010, přičemž nejvyšší snížení bylo stanoveno u genotypu HL 155-05 (0,710). Naopak nejnižší snížení fluorescence chlorofylů bylo u genotypu HL 1282 (0,711).

5.6 Vodní potenciál

U rostlin kontrolních nebyly mezi genotypy a termíny měření nalezeny průkazné diference, jak vyplývá z tabulky XII. Z uvedené tabulky je patrné, že u hodnot vodního potenciálu nebyl zaznamenán výrazný trend nárůstu nebo poklesu vodního potenciálu v závislosti na zálivce. Je možné konstatovat, že na začátku pokusu byla nejnižší hodnota vodního potenciálu -1,127 MPa (HL 2010) a nejvyšší u genotypu HL 1194 (-1,02 MPa). Statisticky neprůkazné hodnoty vodního potenciálu byly zjištěny u genotypu HL 155-05 (-1,07 MPa), Reluga, Idared, B 11 (-1,08 MPa). Tyto genotypy vykazovaly obdobný trend ve vývoji hodnot vodního potenciálu. U genotypu HL 1194 (-1,03 MPa), HL 2350, HL 1597, HL32, Reluga, Gala (Galaval), Frosta (-1,107 MPa) byl zaznamenán průkazný pokles vodního potenciálu ve druhém termínu měření. Ve třetím termínu měření se vodní potenciál snížil téměř u všech sledovaných genotypů s výjimkou HL 2010 (-1,097 MPa), HL 1185, HL 1194, Rubinstep, HL 53 a HL 1311 (-1,053 MPa). Na konci sledovaného období se hodnota vodního potenciálu snížila u genotypu HL 2350 (-1,033 MPa), HL 1194, HL 1311, HL 2010, Idared, HL 1185, B11, Frosta a HL 827 (-1,120 MPa). Na konci sledovaného období se hodnota vodního potenciálu pohybovala v intervalu od -1,033 MPa (HL 2350) do -1,133 MPa (HL 32).

Změny hodnot vodního potenciálu stresovaných rostlin jsou uvedeny v tab. XIII. Z ní vyplývá, že hodnoty vodního potenciálu stresovaných genotypů jabloní neměly průkazné diference v závislosti na působení stresoru či rehydratace s výjimkou HL 1311 (-1,053) a HL 1651 (-1,100). Na počátku sledovaného období byl interval hodnot vodního potenciálu od -1,127 MPa (HL 2010) do -1,020 MPa (HL 1194). Vlivem působení vodního deficitu se hodnoty vodního potenciálu snižovaly lineárně u všech genotypů vyjma HL 1651. U tohoto genotypu se na konci stresového období hodnota vodního potenciálu zvýšila na hodnotu -1,10 MPa. Vlivem rehydratace se vodní potenciál zvýšil u všech sledovaných genotypů vyjma HL 1651 u něhož se naopak statisticky průkazně hodnota vodního potenciálu snížila na -1,23 MPa. Nejvýraznější snížení vodního potenciálu bylo zaznamenáno u genotypu HL 1311 u něhož následkem rehydratace byla naměřena hodnota -1,44 MPa, což je srovnatelné s hodnotami vodního potenciálu zavlažovaných rostlin. Vlivem rehydratace se u zbývajících genotypů vodní potenciál snížil, avšak rozdíl mezi nimi nebyly statisticky průkazné. Na konci rehydratace se hodnota vodního potenciálu stresovaných rostlin pohybovala v rozpětí od -1,397 MPa (Gala (Galaval)) do -0,440 MPa (HL 1311).

Hodnoty procentního rozdílu vlivu stresu způsobeného suchem působícím na jabloně shrnuje graf 10. Z něho je patrné, že se hodnota vodního potenciálu stresovaných rostlin proti kontrolním rostlinám zvýšila, a to u všech genotypů. Hodnota vodního potenciálu stresem ovlivněných rostlin dosahovala v průměru o 17 % vyšších hodnot oproti rostlinám kontrolním. Méně výrazný 10% nárůst byl zaznamenán pouze u odrůd HL 1311 a HL 1651. U všech zbývajících genotypů bylo zvýšení vodního potenciálu v intervalu 14 % (Frosta) až 22 % (HL 2350). U tohoto genotypu byla hodnota vodního potenciálu stresovaných rostlin -1,27 MPa.



Graf 10: Změny vodního potenciál u sledovaných genotypů jabloní v porovnání stresovaných a kontrolních rostlin (%)

6 Diskuze

6.1 Obsah fotosynteticky aktivních pigmentů

Obsah fotosynteticky aktivních pigmentů byl ovlivněn nejenom stresem, ale také genotypem a ontogenetickým vývojem rostliny. Z naměřených hodnot obsahu chlorofylů v listech kontrolních a stresovaných rostlin jabloní vyplývá, že v případě kontrolních rostlin dochází spíše k postupnému nárůstu obsahu chlorofylů v listech v důsledku jejich ontogenetického vývoje. Tento závěr potvrzuje Hussein et al. (2022).

Ve shodě s prací Khaleghi et al. (2012), lze konstatovat, že se v důsledku působení stresu suchem se obsah chlorofylu v listech snižuje. Snižování obsahu chlorofylu v důsledku vodního deficitu je způsobeno ztrátou chlorofylu vzhledem ke zvýšené aktivitě enzymu chlorofylasa a následné inaktivaci fotosyntézy. Uvedené tvrzení (vliv na fotosyntézu) potvrzují také pokusy na jabloních, a proto jsou výsledky v souladu s pracemi Liu et al. (2012) u jabloní, Krishna Surendar et al. (2013) a Kovalikova et al. (2020). Dále lze předpokládat, že na počátku působení vodního deficitu může docházet k tzv. neviditelným změnám, které souvisí se změnami na úrovni metabolické a enzymatické aktivity ve své práci uvádí například Jaleel et al. (2009).

Podle Kovalikova et al. (2020) dochází vlivem sucha ke změnám složení fotosynteticky aktivních pigmentů, a to zejména v poměru chlorofylů a a b. Uvedené změny byly také potvrzeny v diplomové práci, avšak tyto výsledky nebyly uvedeny v samotné práci. Podobné závěry uvádí také Tanaka and Tanaka (2006).

Změny v tvorbě chlorofylů také souvisí se začínajícím oxidativním stresem a snížením odbourávání reaktivních forem kyslíku, což dokládá například práce Kar et al. (2011). Výraznější pokles obsahu chlorofylu v listech stresovaných rostlin souvisí také se snížením transportu vody a příjmu živin, kdy limitujícím faktorem je nedostatek příjmu prvků N, Mg a Fe, které se podílejí na tvorbě chlorofylu a díky tomu na listech vznikají chlorózy a nekrózy, což ve své práci potvrzuje Kirnak et al. (2003). Tento trend změny zabarvení listů v důsledku nedostatečné minerální výživy ve svých pracích dále potvrzuje da Silva et al. (2011). U listů jabloní nebyl tento trend výrazný, neboť docházelo pouze k zasychání špiček listů a k nevýrazné změně zabarvení. Výrazné nekrózy na listech pozorovány nebyly. Patrně je to jednak důsledkem spíše krátkodobého působení vodního deficitu a současně skutečnosti, že se v našem případě jedná o nádobové pokusy.

Vlivem rehydratace dochází k narůstání obsahu chlorofylu u stresovaných genotypů (např. Idared, HL 601, HL 32, Reluga, HL 1579, Frosta, HL 1311) a na straně druhé snížení obsahu chlorofylu po rehydrataci bylo zaznamenáno u genotypů HL 155-05, B 11, HL 1194, HL 2010. U druhé skupiny jmenovaných odrůd lze předpokládat, že nedošlo vlivem vodního deficitu k výraznému poškození fotosyntetického aparátu rostlin a tvorby chlorofylů na rozdíl od prvně jmenovaných, u nichž se lze domnívat, že tyto rostliny jsou z hlediska obsahu chlorofylu v listech k vodnímu deficitu citlivější.

Nelze jednoznačně určit přímý vztah obsahu chlorofylu v listech k fotosyntéze, neboť tento vztah není lineární a fotosyntéza jako metabolický proces je multifaktoriální, což znamená, že je ovlivněna celou řadou faktorů, což vyplývá například z práce Stirbet et al. (2020), Wang and Grimm (2021).

Obsah karotenoidů by měl v důsledku působení stresoru se zvyšovat, neboť tato barviva se mimo jiné podílejí na zabránění oxidativního stresu a poškození chlorofylu a. Zvýšení obsahu karotenoidů v listech je ovlivněno délkou a silou působení stresoru, kdy u rostlin rostoucích v podmínkách dlouhodobého stresu či v silném stresu zvyšují obsah karotenoidů v porovnání s rostlinami z kontrolních podmínek či z podmínek mírného stresu. Uvedený závěr je v souladu s tvrzením Ripoll et al. (2016). Zvýšený obsah karotenoidů na konci období vodního deficitu byl zjištěn např. u genotypů Frosta, HL 827, HL 1597, HL 1185, HL 155-05, HL 601, HL 2010, HL 32, B 11, HL 53, HL 1651.

V případě pokusu s jabloněmi lze konstatovat, že se spíše jednalo o mírný stres, i přesto bylo u některých genotypů zaznamenáno snížení obsahu karotenoidů, jak ve své práci uvádí např. Anderson and Robertson (1960), Koka et al. (1978) či Pérez-Gálvez et al. (2020).

V rámci pokusu s jabloněmi byly zjištěny genotypové rozdíly, kdy např. u genotypů Reluga, HL 1282, HL 1597, HL 1311, HL 308, HL 1194 byly zjištěny vyšší obsahy karotenoidů v porovnání s genotypy HL 827, HL 1651, HL 155-05, HL 53, HL 32, HL 2010, Gala (Galaval).

Genotypové rozdíly v obsahu těchto pigmentů uvádí také Xu et al. (2020). Vlivem rehydratace se obsah karotenoidů v listech zvyšoval.

6.2 Rychlost fotosyntézy

Rychlost fotosyntézy vybraných genotypů jabloní se snižovala v závislosti na působení vodního deficitu, kdy u stresovaných rostlin byly zaznamenány nižší hodnoty fotosyntézy v porovnání kontrolami. Uvedený závěr potvrzují například autoři Bhusal et al. (2019) či Šircelj et al. (2007) nebo v případě zasolení a vysoké teploty Nemeskéri et al. (2009). Uvedení autoři dále uvádí, že snížení rychlosti fotosyntézy u stresovaných rostlin je způsobeno uvařením průduchů v důsledku snížení buněčného napětí neboli turgoru, kdy listy vizuálně počínají vadnout Hernandez-Santana et al. (2021). Vizually bylo patrné, že u některých genotypů byl uvedený efekt pozorovaný. Uzavření průduchů limituje také transpiraci, která se u stresovaných rostlin snižovala. Tento jev je pozorovatelný také v souvislosti se snížením vodního potenciálu u stresovaných rostlin, jak vyplývá z pokusů v této diplomové práci. Pasivní obranou rostlin vůči vodnímu deficitu je v případě jabloní silnější listová čepel, kutikula a trichomy. Toto tvrzení ve své práci potvrzují např. Abdulrahman and Oladele (2011), Yang et al. (2022).

Rostliny jabloně po následné rehydrataci zvýšily rychlost fotosyntézy ve srovnání s rostlinami rostoucími ve vodním deficitu, avšak naměřené hodnoty fotosyntézy nedosahovaly hodnot rostlin kontrolních. Uvedený závěr je v souladu s prací Rivas et al. (2016). Shodně se závěry Shah and Paulsen (2003) a Hnilička et al. (2023), kteří sledovali vliv vodního

deficitu a genotypu na rychlost fotosyntézy, je možné konstatovat, že mezi sledovanými genotypy jabloní byly nalezeny rozdíly. Z výsledků je patrné, že genotypy Frosta, HL 1194 a Rubinstep jsou v ohledu stresu suchem tolerantnější, genotypy Idared a HL 32 mají střední toleranci a genotypy HL 1651 a B 11 jsou vůči vodnímu deficitu citlivé.

Na základě tohoto třídění lze konstatovat, že genotypy méně odolné vůči vodnímu deficitu lze využít v rámci genetického materiálu hůře než ostatní, jak například ve své práci uvádí Wright et al. (2019). Z tohoto důvodu se jeví možnost stanovení rychlosti fotosyntézy jako jedna z možných metod screeningu, jak ve své práci uvádí například Tsiupka et al. (2023).

V případě citlivých genotypů se snižovaly i další parametry související s výměnou plynů, lze tady shodně s Goncharovska et al. (2023) uvést, že u citlivých genotypů dochází již na počátku období sucha k uzavírání průduchů a snížení fotosyntézy. Tento závěr potvrzují například genotypy HL 1651, B 11 a HL 53.

6.3 Rychlost transpirace

Obdobně jako v případě rychlosti fotosyntézy dochází k limitaci rychlosti transpirace v důsledku uzavírání průduchů a ztrátě turgoru a ke snížení hodnot vodního potenciálu vlivem působení vodního deficitu na rostliny. Tento trend byl také potvrzen u jabloní, u nichž se rychlost transpirace vlivem sucha snižovala. Tento trend byl patrný např. u genotypů Reluga, HL 1579 a Rubinstep. Získané výsledky jsou v souladu s pracemi Solomon and Labuschagne (2003) u pšenice, Mohammadkhani et al. (2008) u kukuřice a Pirasteh-Anosheh et al. (2016) u jabloní. Ze získaných výsledků lze předpokládat, že odrůdy se střední mírou odolnosti vůči abiotickým stresorům, tedy především suchu, jmenujme například HL 2350, HL 827, HL 155-05, HL 601 či HL 2010 a podobně odrůdy odolné vůči vodnímu deficitu, kupříkladu Frosta, HL 1282; HL 1597; HL 32 a HL 53, mohou řešit otázku ztráty vody právě stomatální inhibicí, jak dokládá práce Giorio et al. (1999).

Z výsledků Tatar et al. (2016) s pšenicí a Angelopoulos et al. (1996) s olivovníky vyplývá, že se transpirace rostlin vytavených vodnímu deficitu postupně snižuje, ale po následné rehydrataci je možné zaznamenat její nárůst. Avšak hodnoty stresovaných rehydratovaných rostlin nedosahují hodnot kontrolních rostlin. Uvedený závěr byl potvrzen také v případě rostlin jabloní. Patrně by bylo nutné prodloužit dobu rehydratace tak, aby bylo dosaženo hodnot kontrolních rostlin. Délka nastavené rehydratace byla 14 dnů. Oproti tomu Changhai et al. (2010) uvádí, že u některých genotypů pšenice dochází vlivem vodního deficitu ke zvýšení rychlosti transpirace. Tento trend byl potvrzen také v případě některých genotypů jabloní, např.

HL 1292, Frosta, HL 1185, HL 32 a HL 53. U těchto genotypů se v porovnání se zavlažovanými rostlinami rychlost transpirace po působení stresoru zvýšila. Jednou z obranných reakcí rostlin na vodní deficit je také nestomatální inhibice, která souvisí se změnou vodního potenciálu, složením osmoprotektantů a jejich koncentrací v rostlinných pletivech. Lze předpokládat, že u genotypů jabloní, které vykazují vyšší odolnost vůči vodnímu deficitu se v pletivech akumuluje např. aminokyselina prolin. Právě nestomatální inhibicí transpirace ve své práci uvádí Nayak et al. (2023) a Tariq et al. (2023).

6.4 Efektivita využití vody (WUE)

Z pasivních obranných reakcí je možné zmínit tloušťku kutikuly, trichomy, pokožku, tloušťku listu. Uvedené mechanismy souvisí s obranou vůči nadměrnému výparu, obraně proti vysoké/nízké teplotě, slunečnímu záření. Vzhledem ke skutečnosti, že listy jabloní jsou kryté trichomy je možné předpokládat, že i tento mechanismus obrany se podílí na omezení transpirace. Uvedené tvrzení je v souladu s pracemi Bi et al. (2017) u pšenice a Mediavilla et al. (2019) u dubů, kteří sledovali změny anatomické stavby listů u WUE (efektivita využití vody)

Dle publikace Jones (2004) lze efektivitu využití vody (WUE) popsat jako podíl fotosyntézy a transpirací, tedy se jedná o množství vody, které rostlina využívá pro tvorbu sušiny. Efektivita využití vody je hodnota, která velice úzce koreluje mezi rychlostí fotosyntézy a transpirace, kdy je těmito hodnotami ovlivněna. Lze předpokládat, že vyšší hodnoty WUE by měly reprezentovat zvýšenou odolnost vůči stresu suchem nebo jakéhokoliv stresoru v porovnání s kontrolními rostlinami, avšak její limitace a hodnoty jsou ovlivňovány nejenom vnitřními faktory (genotyp, podnož, stáří rostlin), ale také faktory vnějšího prostředí, jak dokládají ve své práci Ma et al. (2010), Liu et al. (2012) a Zhao et al. (2021) u jabloní.

Ze získaných hodnot WUE vyplývá, že např. u genotypů Gala (Galaval), Idared, HL 1343, Rubinstep se její hodnoty zvyšovaly. Tento závěr potvrzuje Medrano (2015). Avšak zároveň bylo potvrzeno tvrzení Gao et al. (2005), že se hodnoty WUE vlivem vodního deficitu snižují. Toto tvrzení potvrzují např. odrůda Frosta. Rozdílné výsledky a jejich interpretace mohou být způsobeny délkou působícího stresoru, kdy pro některé genotypy je i krátkodobý stresor výrazně limitující.

6.5 Fluorescence chlorofylů

Dle literárních údajů jsou hodnoty fluorescence rostlin v optimálním zdravotním a výživovém stavu v hodnotách 0,800 a výše, což bylo potvrzeno pouze u kontrolních rostlin s výjimkou rostlin rostoucích ve třetím termínu odběru u kontrolních variant, kdy došlo k poklesu hodnoty fluorescence pod hodnotu 0,800, což mohlo být způsobeno vysokou teplotou. Získané výsledky potvrzují práce Lang et al. (1996) a Hou et al. (2016).

V případě rostlin stresovaných dochází k výraznému poklesu hodnot fluorescence chlorofylů pod 0,800. Lze uvést, že čím je uvedená hodnota fluorescence nižší, tím vyšší stres na rostlinu působí. Uvedený závěr byl získán také v případě jabloní a je v souladu s tvrzením Hassan (2006). Tyto změny jsou již zaznamenány na počátku sledovaného období sucha, kdy se u některých genotypů např. HL 1185 a HL 1579 hodnoty fluorescence pohybovaly v intervalu hodnot 0,64 až 0,69. Nízké hodnoty fluorescence chlorofylů po působení vodního deficitu ve své práci uvádí také Razavi et al. (2008).

V důsledku následné rehydratace je možné u všech sledovaných genotypů jabloní postupný nárůst hodnot fluorescence, avšak naměřené hodnoty byly nižší než u kontrolních rostlin. Nižší hodnoty fluorescence chlorofylů patrně souvisí také s postupnou obnovou fotosyntetického aparátu po působení vodního deficitu. Uvedené výsledky potvrzují také ječmenům věnované práce autorů Ghotbi-Ravandi et al. (2016) a Li et al. (2016).

V rámci srovnání jednotlivých genotypů jabloní byly mezi nimi nalezeny rozdíly, kdy genotypy HL 1185 a HL 1579 lze považovat za citlivé a naopak např. genotyp HL 1311 za tolerantní. Je tedy v souladu s pracemi Li et al. (2006) a Badr and Brüggemann (2020) konstatovat, že stanovení fluorescence je vhodným detektorem pro stanovení míry stresu.

6.6 Vodní potenciál

Vlivem vodního deficitu dochází k výraznému poklesu hodnot vodního potenciálu v porovnání s kontrolními rostlinami. Jako limitující faktor se obecně uvádí hodnota -1,3 MPa,

což je u většiny půd hodnota tzv. bodu trvalého vadnutí, kdy rostlina není schopna přijímat vodu a dochází tak k vlivu vodního deficitu. Vodní deficit nemusí být způsoben pouze nedostatkem přírodních srážek či nižší hladinou podzemní vody, ale také například vlivem zasolení, působením chemických látek, nadbytku hnojiv, reziduí pesticidů apod., což ve svých pracích uvádí Ambrus et al. (1981), Cominelli et al. (2013) a Dasgan et al. (2018).

Je patrné, že na počátku působení vodního deficitu se průkazně snížila hodnota vodního potenciálu v porovnání s kontrolními rostlinami, přičemž jsou zde patrné genotypové rozdíly, které ve své práci uvádí Sayar et al. (2008). S klesajícím obsahem vody v buňkách rostlin klesá také hodnota vodního potenciálu a současně se zvyšuje sací síla buněk rostlinných pletiv, jak konstatují např. Orcutt and Nilsen (2000). Uvedené závěry potvrdily také pokusy na jabloních.

Dlouhodobějším působením vodního deficitu se hodnoty vodního potenciálu výrazně snížily například u genotypů: Frosta, Reluga, HL 1597, HL 155-05, HL 2350, HL 827, HL 601, HL 308, kdy lze předpokládat, že tyto genotypy jsou citlivé na působení vodního deficitu než genotypy, u nichž se vodní potenciál nezměnil nebo byl naopak v průběhu pokusu nižší. Do této skupiny je možné zařadit např. HL 1651, HL 53, B 11, Rubinstep, Gala (Galaval), HL 1194 a Idared. Meziodrůdové rozdíly v reakci rostlin rýže na vodní deficit ve své práci uvádí například autoři Mambani an Lal 1983 a Dasupta et al. 2015.

Po následné rehydrataci dochází ke zvýšení vodního potenciálu, nicméně tento nedosahuje hodnot kontrolních rostlin, což ve své práci dokládají autoři Yadav and Sharma (2016) a Voronin et al. (2019). Vlivem sníženého vodního potenciálu dochází k postupnému uzavírání průduchů, ztrátě turgoru, což má za následek snížení fotosyntézy a transpirace, omezení tvorby chlorofylu, jak popisuje například Hernandez-Santana (2021).

Změna hodnot vodního potenciálu může být způsobena také změnou anatomické struktury listu nebo kořenového systému, jak uvádí v případě rostlin kukuřice po působení xenobiotik Mascellani et al. (2023).

7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo vyhodnocení fyziologické reakce vybraných genotypů jabloní na působení vodního deficitu. Do pokusu byl zařazen sortiment 17 novošlechtění a 5 srovnávacích odrůd, konkrétně odrůd Frosta, Rubinstep, Reluga, Idared a Galaval pěstovaných na podnoži M9.

Ze získaných výsledků vyplývají následující závěry:

1. Vlivem působení vodního deficitu dochází k postupné ztrátě chlorofylu v listech.
2. Po následné rehydrataci je zaznamenán nárůst obsahu chlorofylu u stresovaných genotypů (např. Idared, HL 601, HL 32, Reluga, HL 1579, Frosta, HL 1311).
3. Naopak snížení obsahu chlorofylu bylo po rehydrataci zaznamenáno u genotypů HL 155-05, B 11, HL 1194, HL 2010. Patrně se může jednat o tolerantnější genotypy.
4. Zvýšený obsah karotenoidů na konci vodního deficitu (14 dnů) byl zjištěn např. u genotypů Frosta, HL 827, HL 1597, HL 1185, HL 155-05, HL 601, HL 2010, HL 32, B 11, HL 53, HL 1651.
5. Nebylo jednoznačně potvrzeno, že vlivem vodního deficitu dochází k nárůstu obsahu karotenoidů v listech u sledovaných genotypů jabloní.
6. Rychlost fotosyntézy vybraných genotypů jabloní se snižovala v závislosti na působení vodního deficitu a po následné rehydrataci je možné pozorovat její zvýšení.
7. Byly prokázány genotypové rozdíly v rychlosti fotosyntézy, kdy genotypy Frosta, HL 1194 a Rubinstep jsou v ohledu stresu suchem tolerantnější, genotypy Idared a HL 32 mají střední toleranci a genotypy HL 1651 a B 11 jsou vůči vodnímu deficitu citlivé.
8. U genotypů HL 1292, Frosta, HL 1185, HL 32 a HL 53 bylo v průběhu vodního deficitu zaznamenáno zvýšení rychlosti transpirace. Uvedené genotypy se jeví jako méně vhodné do sušších oblastí.
9. U genotypů Gala (Galaval), Idared, HL 1343, Rubinstep se hodnoty efektivity využití vody vlivem vodního deficitu zvyšovaly.
10. Po působení vodního deficitu dochází ke snížení hodnot maximálního kvantového výtěžku fluorescence a po následné rehydrataci k postupnému zvyšování.
11. Hodnoty fluorescence se u např. u genotypů např. HL 1185 a HL 1579 snižovaly již při zahájení stresu. Jedná se tedy o genotypy méně vhodné do sušších oblastí.
12. Jako tolerantní k vodnímu deficitu se jeví genotypy Gala (Galaval), Idared, HL 2350, HL 1597, HL 1185.
13. Vlivem vodního deficitu dochází k poklesu hodnot vodního potenciálu stresovaných rostlin.
14. Vodní deficit průkazně snížil hodnoty vodního potenciálu např. u genotypů: Frosta, Reluga, HL 1597, HL 155-05, HL 2350, HL 827, HL 601, HL 308, kdy lze předpokládat, že tyto genotypy jsou citlivé na působení vodního deficitu.
15. Mezi genotypy tolerantní vůči vodnímu deficitu je možné zařadit např. HL 1651, HL 53, B 11, Rubinstep, Gala (Galaval), HL 1194 a Idared.
16. Byla potvrzena hypotéza o genotypových rozdílech ve sledovaných parametrech.
17. Hypotéza o genotypových rozdílech mezi novošlechtěním a referenčními odrůdami byla částečně potvrzena.

18. Uvedené fyziologické parametry je možné využít pro detekci míry odolnosti či citlivosti vůči stresorům.
19. Na základě jednoletých výsledků lze predikovat, že mezi tolerantnější genotypy budou patřit HL 2010, HL 1343, HL 1282, HL 1579, HL 155-05, HL 53 a odrůdy Frosta a Rubinstep. Naopak jako citlivější se projevíly genotypy HL 32, HL 827, HL 2350, HL 308, HL 1651 a referenční odrůda Gala (Galaval).
20. Jako nadějně genotypy s potenciálem pro další výzkum sledujeme genotypy HL 53, B 11 a HL 155-05.

8 Literatura

- Abdulrahaman, A. A., Oladele, F. A. (2011). Response of trichomes to water stress in two species of *Jatropha*. *Insight Botany*, **1**(2): 12.
- Adamkova, S., Luhova, L., Petrivalsky, M., Pec, P. (2006). Role L-fenylalainamoniumlyasy pri obranne reakci rostlin. *Chemické Listy*, **100**(7): 486-494.
- Ambrus, Á., Lantos, J., Visi, É., Csatlós, I., Sárvári, L. (1981). General method for determination of pesticide residues in samples of plant origin, soil, and water. I. Extraction and cleanup. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, **64**(3): 733-742.
- Anderson, I. C., Robertson, D. S. (1960). Role of carotenoids in protecting chlorophyll from photodestruction. *Plant Physiology*, **35**(4): 531.
- Angelopoulos, K., Dichio, B., Xiloyannis, C. (1996). Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. *Journal of Experimental Botany*, **47**(8): 1093-1100.
- Arve, L. E., Torre, S., Olsen, J. E., Tanino, K. K. (2011). Stomatal responses to drought stress and air humidity. In *abiotic stress in plants-Mechanisms and adaptations*. IntechOpen.
- Bailey-Serres, J., Mittler, R. (2006). The roles of reactive oxygen species in plant cells. *Plant Physiology*, **141**(2): 311-311.
- Badr, A., Brüggemann, W. (2020). Comparative analysis of drought stress response of maize genotypes using chlorophyll fluorescence measurements and leaf relative water content. *Photosynthetica*, **58**(2): 38-645.
- Bassett, C. L., Glenn, D. M., Forsline, P. L., Wisniewski, M. E., Farrell, R. E. (2011). Characterizing water use efficiency and water deficit responses in apple (*Malus* × *domestica* Borkh. and *Malus sieversii* Ledeb.) M. Roem. *HortScience*, **46**(8), 1079-1084.
- Beligni, M. V., Lamattina, L. (2000). Nitric oxide stimulates seed germination and de-etiolation, and inhibits hypocotyl elongation, three light-inducible responses in plants. *Planta*, **210**:215-221.
- Bengough, A. G., McKenzie, B. M., Hallett, P. D., Valentine, T. A. (2011). Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany*, **62**(1): 59-68.
- Bezděčková, L., Řezníčková, J. (2009). Metodický postup pro sběr, zpracování, skladování, předosevní přípravu a hodnocení kvality semen svídy krvavé: recenzovaná metodika. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti.
- Bhagsari, A. S., Brown, R. H., Schepers, J. S. (1976). Effect of Moisture Stress on Photosynthesis and Some Related Physiological Characteristics in Peanut I. *Crop Science*, **16**(5): 712-715.
- Bhusal, N., Han, S. G., Yoon, T. M. (2019). 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.). *Scientia Horticulturae*, **246**: 535-543.
- Bhusal, N., Kim, H. S., Han, S. G., Yoon, T. M. (2020). Photosynthetic traits and plant–water relations of two apple cultivars grown as bi-leader trees under long-term waterlogging conditions. *Environmental and Experimental Botany*, **176**: 22–230.
- Bi, H., Kovalchuk, N., Langridge, P., Tricker, P. J., Lopato, S., Borisjuk, N. (2017). The impact of drought on wheat leaf cuticle properties. *BMC Plant Biology*, **17**: 1-13.

- Bláha, L., Hnilička, F. (2006). Význam vlastností kořenů semen pro odolnost rostlin vůči abiotickým stresorům. Page 1-9 in Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2006. Česká Zemědělská univerzita v Praze
- Bláha L., Hnilička F. (2007) Stresy. Růst významu kořenů v měnících se klimatických podmínkách střední Evropy. Page 13 in Vliv abiotických stresorů na vlastnosti rostlin, 2007. Česká Zemědělská univerzita v Praze
- Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, **56**(11): 1159-1168.
- Bray, E. A. (1997). Plant responses to water deficit. *Trends in Plant Science*, **2**(2): 48-54.
- Bruce, W. B., Edmeades, G. O., Barker, T. C. (2002). Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. *Journal of experimental botany*, **53**(366): 13-25.
- Co, A., Abd El-Latif, K., Abdullah, R., Yusoff, M. (2011). Rice production and water use efficiency for self-sufficiency in Malaysia: a review. *Trends in Applied Sciences Research*, **6**(10): 1127-1140.
- Cominelli, E., Conti, L., Tonelli, C., Galbiati, M. (2013). Challenges and perspectives to improve crop drought and salinity tolerance. *New Biotechnology*, **30**(4): 355-361.
- Česko: Situační a výhledová zpráva ovoce 2020, ISBN 978-80-7434-576-0, MZe
- Česko: Situační a výhledová zpráva ovoce 2021, ISBN 978-80-7434-629-3, MZe
- Česko: Situační a výhledová zpráva ovoce 2022, ISBN 978-80-7434-676-7, MZe
- Česko: Situační a výhledová zpráva ovoce 2023, ISBN 978-80-7434-744-3, MZe
- Česko: Statistická ročenka České republiky 2023, ČSÚ
- Dasgupta, P., Das, B. S., Sen, S. K. (2015). Soil water potential and recoverable water stress in drought tolerant and susceptible rice varieties. *Agricultural Water Management*, **152**: 110-118.
- Dasgan, H. Y., Bayram, M., Kusvuran, S., Coban, G. A., Akhoundnejad, Y. (2018). Screening of tomatoes for their resistance to salinity and drought stress. *Screening*, **8**(24).
- da Silva, E. C., Nogueira, R. J. M. C., da Silva, M. A., de Albuquerque, M. B. (2011). Drought stress and plant nutrition. *Plant Stress*, **5**(1): 32-41.
- David, M. M., Coelho, D., Barrote, I., Correia, M. J. (1998). Leaf age effects on photosynthetic activity and sugar accumulation in droughted and rewatered *Lupinus albus* plants. *Functional Plant Biology*, **25**(3), 299-306.
- Demirevska, K., Zashева, D., Dimitrov, R., Simova-Stoilova, L., Stamenova, M., Feller, U. (2009). Drought stress effects on Rubisco in wheat: changes in the Rubisco large subunit. *Acta Physiologiae Plantarum*, **31**: 1129-1138.
- Dempewolf, H., Eastwood, R. J., Guarino, L., Khoury, C. K., Müller, J. V., Toll, J. (2014). Adapting agriculture to climate change: a global initiative to collect, conserve, and use crop wild relatives. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, **38**(4): 369-377.
- Di Marco, G., Massacci, A., Gabrielli, R.: Drought effects on photosynthesis and fluorescence in hard wheat cultivars grown in the field. – *Physiol. Plant.* 74: 385-390, 1988
- Dobeš, M., Vojtěchovská, I. 2008: Řivnáčské sídliště v Úholičkách, okr. Praha-západ, *Archeologické Rozhledy* **60**: 261–297.
- Ehlers, W., Goss, M. (2016). *Water dynamics in plant production*. CABI.
- Emamverdian, A., Ding, Y., Barker, J., Liu, G., Li, Y., Mokhberdorán, F. (2023). Sodium nitroprusside improves bamboo resistance under Mn and Cr toxicity with stimulation of

- antioxidants activity, relative water content, and metal translocation and accumulation. *International Journal of Molecular Sciences*, **24**(3): 1942.
- Estravis-Barcala M, Mattera MG, Soliani C, Bellora N, Opgenoorth L, Hee, K, Arana MV. 2020. Molecular bases of responses to abiotic stress in trees. *Journal of Experimental Botany*. **71**: 3765-3779.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., Siddique, K. H. M. (2012). Drought stress in plants: an overview. *Plant responses to drought stress: From morphological to molecular features*, 1-33.
- Folta, K. M., Gardiner, S. E. (2009). *Genetics and genomics of Rosaceae*. New York: Springer, **6**: 411-506.
- Gao W., Hodgkinson L., Jin K., Watts C.W., Ashton R. W, Shen J., Ren T., Dodd I. C., Binley A., Phillips A. L. et al. 2016. Opinion. Deep roots and soil structure. *Plant, Cell and Environment* **39**: 1662–1668.
- Gao, X., Zou, C., Wang, L., Zhang, F. (2005). Silicon improves water use efficiency in maize plants. *Journal of Plant Nutrition*, **27**(8): 1457-1470.
- Ghosh, D., Xu, J. (2014). Abiotic stress responses in plant roots: a proteomics perspective. *Frontiers in Plant Science*, **5**, 6.
- Ghotbi-Ravandi, A. A., Shahbazi, M., Pessaraki, M., Shariati, M. (2016). Monitoring the photosystem II behavior of wild and cultivated barley in response to progressive water stress and rehydration using OJIP chlorophyll a fluorescence transient. *Journal of Plant Nutrition*, **39**(8): 1174-1185.
- Giorio, P., Sorrentino, G., d'Andria, R. (1999). Stomatal behaviour, leaf water status and photosynthetic response in field-grown olive trees under water deficit. *Environmental and Experimental Botany*, **42**(2): 95-104.
- Gloser, J.: *Fysiologie rostlin*. Brno: Masarykova univerzita, 1998. ISBN 80-210-1789-9.
- Gloser, V., Zwieniecki, M. A., Orians, C. M., Holbrook, N. M. (2007). Dynamic changes in root hydraulic properties in response to nitrate availability. *Journal of Experimental Botany*, **58**(10): 2409-2415.
- Grab, S., Craparo, A. (2011). Advance of apple and pear tree full bloom dates in response to climate change in the southwestern Cape, South Africa: 1973–2009. *Agricultural and Forest Meteorology*, **151**(3): 406-413.
- Goncharovska, I., Iwona, S. Z. O. T. (2023). Anatomical and morphological structure of the leaf of the genus *Malus* spp. *Notulae Scientia Biologicae*, **15**(1), 11–19.
- Haberle, J., Středa, T., Svoboda, P., Henzlová, B., Kurešová, G.: 2018. Kořenový systém plodin pro 21. století–efektivní příjem vody a živin. Monitorování přírodních procesů. MENDELU, VÚMOP, v.v.i. ISBN 978-80-7509-570-1.
- Hassan, I. A. (2006). Effects of water stress and high temperature on gas exchange and chlorophyll fluorescence in *Triticum aestivum* L. *Photosynthetica*, **44**: 312-315.
- Hernandez-Santana, V., Perez-Arcoiza, A., Gomez-Jimenez, M. C., Diaz-Espejo, A. (2021). Disentangling the link between leaf photosynthesis and turgor in fruit growth. *The Plant Journal*, **107**(6): 1788-1801.
- Hirayama, T., Shinozaki, K. (2010). Research on plant abiotic stress responses in the post-genome era: past, present and future. *The Plant Journal*, **61**(6): 1041-1052.

- Hnilička F, Lysytskyi S, Rygl T, Hnilickova H, Pecka J. 2023. Effect of Short-Term Water Deficit on Some Physiological Properties of Wheat (*Triticum aestivum* L.) with Different Spike Morphotypes. *Agronomy* **13**:1-17.
- Hou, W., Sun, A. H., Chen, H. L., Yang, F. S., Pan, J. L., Guan, M. Y. (2016). Effects of chilling and high temperatures on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in leaves of watermelon seedlings. *Biologia plantarum*, **60**: 148-154.
- Hussein, H. A. A., Alshammari, S. O., Kenawy, S. K., Elkady, F. M., Badawy, A. A. (2022). Grain-priming with L-arginine improves the growth performance of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants under drought stress. *Plants*, **11**(9): 1219.
- Changhai, S., Baodi, D., Yunzhou, Q., Yuxin, L., Lei, S., Mengyu, L., Haipei, L. (2010). Physiological regulation of high transpiration efficiency in winter wheat under drought conditions. *Plant, Soil and Environment*, **56**(7): 340-347.
- Chaves, M. M., Maroco, J. P., Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, **30**(3): 239-264.
- Chen, Z., Gallie, D. R. (2004). The ascorbic acid redox state controls guard cell signaling and stomatal movement. *The Plant Cell*, **16**(5): 1143-1162.
- Jackson, R. B., Sperry, J. S., Dawson, T. E. (2000). Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions. *Trends in Plant Science*, **5**(11): 482-488.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R., Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, **11**(1): 1-6.
- Janik, E. (2011). *Apple: A global history*. Reaktion Books.
- Jones, H. (2004). What is water use efficiency. *Water use efficiency in plant biology*, 27-41.
- Kamanga, R., Mbega, E., Ndakidemi, P. (2018). Drought tolerance mechanisms in plants: physiological responses associated with water deficit stress in *Solanum lycopersicum*. *Advances in Crop Science and Technology*, **6**(3): 1-8.
- Kar, R. K. (2011). Plant responses to water stress: role of reactive oxygen species. *Plant Signaling Behavior*, **6**(11): 1741-1745.
- Kautz T., Amelung W., Ewert F., Gaiser T., Horn R., Jahn R., Javaux M., Kemna A., Kuzyakov Y., Munch J. (2013). Nutrient acquisition from arable subsoils in temperate climates: A review. *Soil Biology and Biochemistry* **57**: 1003–1022.
- Kim, Y., Chung, Y. S., Lee, E., Tripathi, P., Heo, S., Kim, K. H. (2020). Root response to drought stress in rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, **21**(4): 1513.
- Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N., Barzegar, M. (2012). Evaluation of chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters and relationships between chlorophyll a, b and chlorophyll content index under water stress in *Olea europaea* cv. Dezful. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, **6**(8): 636-639.
- Kirnak, H., Kaya, C., Higgs, D., Tas, I. (2003). Responses of drip irrigated bell pepper to water stress and different nitrogen levels with or without mulch cover. *Journal of Plant Nutrition*, **26**(2): 263-277.
- Koka, P., Song, P. S. (1978). Protection of chlorophyll a by carotenoid from photodynamic decomposition. *Photochemistry and Photobiology*, **28**(4-5): 509-514.

- Kovalikova, Z., Jiroutova, P., Toman, J., Dobrovolna, D., Drbohlavova, L. (2020). Physiological responses of apple and cherry in vitro culture under different levels of drought stress. *Agronomy*, **10**(11): 1689.
- Kozłowski, T. T. (2000). Responses of woody plants to human-induced environmental stresses: issues, problems, and strategies for alleviating stress. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **19**(2), 91-170.
- Krishna Surendar, K., Durga Devi, D., Ravi, I., Jeyakumar, P., Velayudham, K. (2013). Water stress affects plant relative water content, soluble protein, total chlorophyll content and yield of ratoon banana. *International Journal of Horticulture*, **3**(17): 96-103.
- Kůdela V., Ackermann P., Prášil I. T., Rod J., Veverka K. (2013) *Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění*. Praha: Academia.
- Kuklova, M.; Hnilickova, H.; Kukla, J.; Hnilicka, F. (2015). Environmental impact of the Al smelter on physiology and macronutrient contents in plants and Cambisols. *Plant Soil and Environment*, **61**: 72–78.
- Kumar R., Pandey S., Pandey A. (2006). Plant Roots and Carbon Sequestration. *Current Science* **91**(7): 885–890.
- Kumar, J., Pratap, A., Kumar, S. (2015). Plant Phenomics: An overview. *Phenomics in crop plants: trends, options and limitations*. New Delhi: Springer India. 1-10.
- Lafitte, R. (2002). Relationship between leaf relative water content during reproductive stage water deficit and grain formation in rice. *Field Crops Research*, **76**(2-3): 165-174.
- Lambers, H., Chapin, F. S., Pons, T. L. (2008). *Plant physiological ecology*. New York: Springer, 2: 11–99.
- Lambers, H., Oliveira, R. S., Lambers, H., Oliveira, R. S. (2019). Plant water relations. *Plant Physiological Ecology*, 187-263.
- Lang, M., Lichtenthaler, H. K., Sowinska, M., Heisel, F., Miehe, J. A. (1996). Fluorescence imaging of water and temperature stress in plant leaves. *Journal of Plant Physiology*, **148**(5): 613-621.
- Lang, K., Mosinger, J. Wagnerová, D. M. (2006). Singletový kyslík v praxi–současnost a perspektiva. *Chemické Listy*, **100**(3): 169-177.
- Larcher, W.: *Fyziologická ekologie rostlin*, Praha: Academia nakladatelství Československé akademie věd. 1988.
- Lata, C., Prasad, M. (2011). Role of DREBs in regulation of abiotic stress responses in plants. *Journal of Experimental Botany*, **62**(14): 4731-4748.
- Lawlor, D. W., Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*, **25**(2): 275-294.
- Levy, P. E., Moncrieff, J. B., Massheder, J. M., Jarvis, P. G., Scott, S. L., Brouwer, J. (1997). CO₂ fluxes at leaf and canopy scale in millet, fallow and tiger bush vegetation at the HAPEX-Sahel southern super-site. *Journal of Hydrology*, **188**: 612-632.
- Li, R. H., Guo, P. G., Michael, B., Stefania, G., Salvatore, C. (2006). Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China*, **5**(10): 751-757.
- Li, X., Sheng, J. (2016). Effect of drought stress and rehydration on chlorophyll fluorescence characteristics of two species of capsicum. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, **29**(11): 2567-2572.

- Liu, B., Cheng, L., Ma, F., Zou, Y., Liang, D. (2012). Growth, biomass allocation, and water use efficiency of 31 apple cultivars grown under two water regimes. *Agroforestry Systems*, **84**: 117-129.
- Lichtenthaler, H. K. (1998). The stress concept in plants: an introduction. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **851**: 187-198.
- Lim, C. W., Baek, W., Jung, J., Kim, J. H., Lee, S. C. (2015). Function of ABA in stomatal defense against biotic and drought stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, **16**(7): 15251-15270.
- Liu, B. H., Cheng, L., Ma, F. W., Liang, D., Zou, Y. J. (2012). Influence of rootstock on drought response in young 'Gala Gala' apple (*Malus domestica* Borkh.) trees. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **92**(12): 2421-2427.
- Lynch, J. P. (2019). Root phenotypes for improved nutrient capture: an underexploited opportunity for global agriculture. *New Phytologist*, **223**(2): 548-564.
- Ma, X., Ma, F., Li, C., Mi, Y., Bai, T., Shu, H. (2010). Biomass accumulation, allocation, and water-use efficiency in 10 *Malus* rootstocks under two watering regimes. *Agroforestry Systems*, **80**: 283-294.
- Mambani, B., Lal, R. (1983). Response of upland rice varieties to drought stress: I. Relation between root system development and leaf water potential. *Plant and Soil*, **73**: 59-72.
- Manning, G. S., Kay, A. R. (2023). The physical basis of osmosis. *Journal of General Physiology*, **155**(10): e202313332.
- Maroco, J. P., Pereira, J. S., Chaves, M. M. (2000). Growth, photosynthesis and water-use efficiency of two C4 Sahelian grasses subjected to water deficits. *Journal of Arid Environments*, **45**(2): 119-137.
- Martínez-Vilalta, J., Poyatos, R., Aguadé, D., Retana, J., Mencuccini, M. (2014). A new look at water transport regulation in plants. *New Phytologist*, **204**(1): 105-115.
- Mascellani, A., Mercl, F., Kurhan, S., Pierdona, L., Kudrna, J., Zemanova, V., Hnilicka, F., Kloucek, P., Tlustos, P., Havlik, J. (2023). Biochemical and physiological changes in *Zea mays* L. after exposure to the environmental pharmaceutical pollutant carbamazepine. *Chemosphere*, **329**: 133-139.
- Mata, C. G., Lamattina, L. (2001). Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. *Plant Physiology*, **126**(3): 1196.
- Mediavilla, S., Martín, I., Babiano, J., Escudero, A. (2019). Foliar plasticity related to gradients of heat and drought stress across crown orientations in three Mediterranean *Quercus* species. *PLoS One*, **14**(10): 1-9.
- Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Flexas, J., Hernández, E., Rosselló, J., ... Bota, J. (2015). From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. *The Crop Journal*, **3**(3): 220-228.
- Mittler, R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science*, **11**(1): 15-19.
- Mohammadkhani, N., Heidari, R. (2008). Water stress induced stomatal closure in two maize cultivars. *Research Journal of Life Sciences*, **3**(7): 750-754.
- Morgan, J., and Richards, A. (1993). *The Book of Apples*. Ebury Press, London, 304 pp. ISBN: 0-09-177759-3.

- Nayak, L., Lal, M.K., Tiwari, R.K., Kumar, R., Lal, P., Das, R., Behera, B., Thakur, P., Altaf, M.A. and Kumar, A., 2023. A balancing act: exploring the interplay between HSPs and osmoprotectants in temperature stress responses. *South African Journal of Botany*, **162**:64-71.
- Neill, S. J., Desikan, R., Clarke, A., Hurst, R. D., Hancock, J. T. (2002). Hydrogen peroxide and nitric oxide as signalling molecules in plants. *Journal of Experimental Botany*, **53**(372): 1237-1247.
- Neill, S., Desikan, R., Hancock, J. (2002). Hydrogen peroxide signalling. *Current Opinion in Plant Biology*, **5**(5): 388-395.
- Nemeskéri, E., Sárdi, É., Kovács-Nagy, E., Stefanovits-Bányai, É., Nagy, J., Nyéki, J., Szabó, T. (2009). Studies on the drought responses of apple trees (*Malus domestica* Borkh.) grafted on different rootstocks. *International Journal of Horticultural Science*, **15**(1-2): 29-36.
- Orcutt, D. M., Nilsen, E. T. (2000). *Physiology of plants under stress: Soil and biotic factors* (Vol. 2). John Wiley Sons.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., Tran, L. S. P. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science*, **5**: 86.
- Pajević, S., Borišev, M., Nikolić, N., Krstić, B., Pilipović, A., Orlović, S. (2009). Phytoremediation capacity of poplar (*Populus* spp.) and willow (*Salix* spp.) clones in relation to photosynthesis. *Archives of Biological Sciences*, **61**(2): 239-247.
- Patel, R. P., McAndrew, J., Sellak, H., White, C. R., Jo, H., Freeman, B. A., Darley-Usmar, V. M. (1999). Biological aspects of reactive nitrogen species. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, **1411**(2-3): 385-400.
- Pedroncelli, L., Carter-House, D., Nghacd, B. (2019). The consequences of drought on plant pathology. *The Journal of Science Policy and Governance*. **15**(1): 1-6.
- Pérez-Gálvez, A., Viera, I., Roca, M. (2020). Carotenoids and chlorophylls as antioxidants. *Antioxidants*, **9**(6): 505.
- Pessina, S., Palmieri, L., Bianco, L., Gassmann, J., Van De Weg, E., Visser, R. G., ... Malnoy, M. (2017). Frequency of a natural truncated allele of MdMLO19 in the germplasm of *Malus domestica*. *Molecular Breeding*, **37**: 1-12.
- Piasecka A, Kachlicki P, Stobiecki M. 2019. Analytical methods for detection of plant metabolome changes in response to biotic and abiotic stresses. *International Journal of Molecular Sciences*. **20**: 379.
- Pirasteh-Anosheh, H., Saed-Moucheshi, A., Pakniyat, H., Pessarakli, M. (2016). Stomatal responses to drought stress. *Water stress and crop plants: A Sustainable Approach*, **1**: 24-40.
- Piterková, J., Tománková, K., Luhová, L., Petřivalský, M., Peč, P. (2005). Oxidativní stres: Lokalizace tvorby aktivních forem kyslíku a jejich degradace v rostlinném organismu. *Chemické Listy*, **99**: 455-466.
- Pokorný, P. (2008). Nález zuhelnatělého plodu jabloně (*Malus sylvestris*/domestica). *Archeologické Rozhledy*, **60**: 303-305.
- Razavi, F., Pollet, B., Steppe, K., Van Labeke, M. C. (2008). Chlorophyll fluorescence as a tool for evaluation of drought stress in strawberry. *Photosynthetica*, **46**: 631-633.
- Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, **161**(11): 1189-1202.
- Ripoll, J., Urban, L., Brunel, B., Bertin, N. (2016). Water deficit effects on tomato quality depend on fruit developmental stage and genotype. *Journal of Plant Physiology*, **190**: 26-35.

- Rivas, R., Falcão, H. M., Ribeiro, R. V., Machado, E. C., Pimentel, C., Santos, M. G. (2016). Drought tolerance in cowpea species is driven by less sensitivity of leaf gas exchange to water deficit and rapid recovery of photosynthesis after rehydration. *South African Journal of Botany*, **103**: 101-107.
- Roháček K., Barták M. (1999): Technique of the modulated chlorophyll fluorescence: basic concepts, useful parameters, and some applications. *Photosynthetica*, **37**: 339-363.
- Sayar, R., Khemira, H., Kameli, A., Mosbahi, M. (2008). Physiological tests as predictive appreciation for drought tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Agronomy Research*, **6**(1): 79-90.
- Shah, N. H., Paulsen, G. M. (2003). Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. *Plant and Soil*, **257**: 219-226.
- Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., Zhao, C. X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, **331**(3): 215-225.
- Shekoofa, A., Sinclair, T. R. (2018). Aquaporin activity to improve crop drought tolerance. *Cells*, **7**(9): 123.
- Siddique, M. R. B., Hamid, A. I. M. S., Islam, M. S. (2000). Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, **41**.
- Siddique, Z., Jan, S., Imadi, S. R., Gul, A., Ahmad, P. (2016). Drought stress and photosynthesis in plants. *Water stress and crop plants: A Sustainable Approach*, **1**: 1-11.
- Solomon, K. F., Labuschagne, M. T. (2003). Variation in water use and transpiration efficiency among durum wheat genotypes grown under moisture stress and non-stress conditions. *The Journal of Agricultural Science*, **141**(1): 31-41.
- Srivastava, A. K., Penna, S., Nguyen, D. V., Tran, L. S. P. (2016). Multifaceted roles of aquaporins as molecular conduits in plant responses to abiotic stresses. *Critical Reviews in Biotechnology*, **36**(3): 389-398.
- Stirbet, A., Lazár, D., Guo, Y., Govindjee, G. (2020). Photosynthesis: basics, history and modelling. *Annals of Botany*, **126**(4): 511-537.
- Subrahmanyam, D., Subash, N., Haris, A., Sikka, A. K. (2006). Influence of water stress on leaf photosynthetic characteristics in wheat cultivars differing in their susceptibility to drought. *Photosynthetica*, **44**: 125-129.
- Sun T, Zhang J, Zhang Q, Li X, Li M, Yang Y, Zhou Y, Wei Q, Zhou B. 2021. Integrative physiological, transcriptome, and metabolome analysis reveals the effects of nitrogen sufficiency and deficiency conditions in apple leaves and roots. *Environmental and Experimental Botany*. **192**: 100-103.
- Suzuki, N., Rivero, R. M., Shulaev, V., Blumwald, E., Mittler, R. (2014). Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytologist*, **203**(1): 32-43.
- Šircelj, H., Tausz, M., Grill, D., Batič, F. (2007). Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. *Scientia Horticulturae*, **113**(4): 362-369.
- Tanaka, A., Tanaka, R. (2006). Chlorophyll metabolism. *Current Opinion in Plant Biology*, **9**(3): 248-255.
- Tariq, A., Zeng, F., Graciano, C., Ullah, A., Sadia, S., Ahmed, Z., Murtaza, G., Ismoilov, K. and Zhang, Z., 2023. Regulation of metabolites by nutrients in plants. *Plant Ionomics: Sensing, Signaling, and Regulation*.

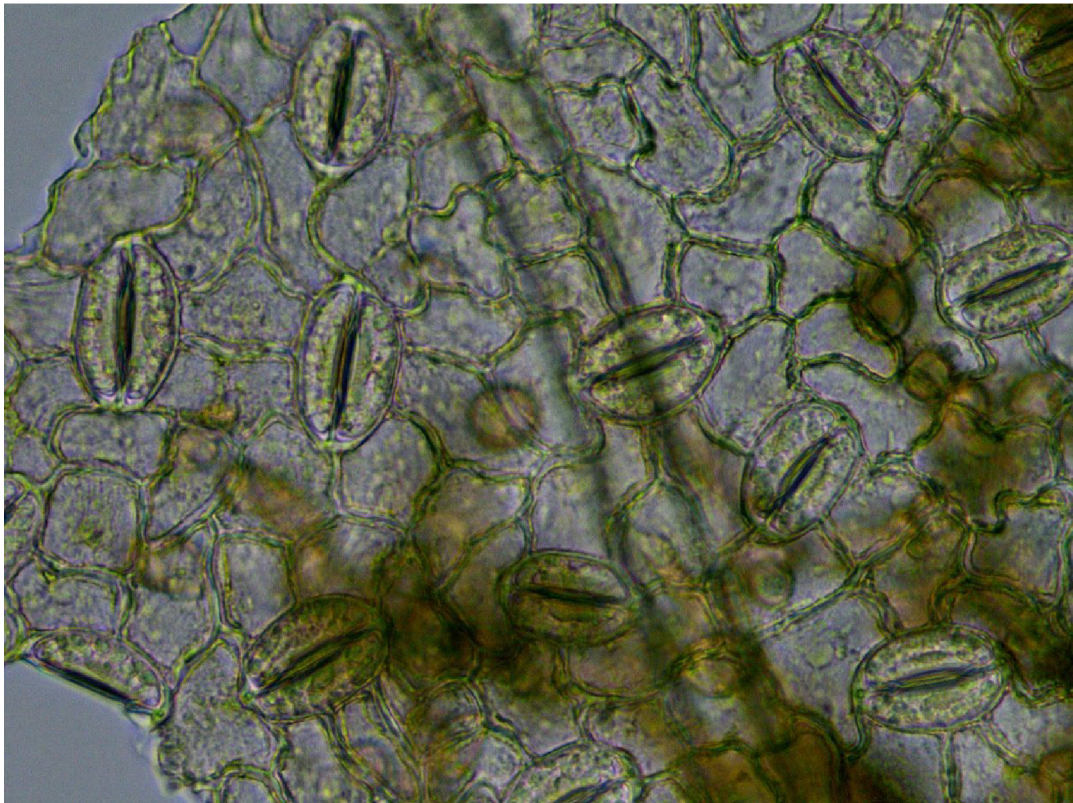
- Tatar, Ö., Brück, H., Asch, F. (2016). Photosynthesis and remobilization of dry matter in wheat as affected by progressive drought stress at stem elongation stage. *Journal of Agronomy and Crop Science*, **202**(4): 292-299.
- Tokarz, B., Wójtowicz, T., Makowski, W., Jędrzejczyk, R. J., Tokarz, K. M. (2020). What is the difference between the response of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) to salinity and drought stress? - A physiological study. *Agronomy*, **10**(6): 833.
- Tsiupka, V., Tsiupka, S., Plugatar, Y., Bulavin, I., Komar-Tyomnaya, L. (2023). Assessment of the Drought-Tolerance Criteria for Screening Peach Cultivars. *Horticulturae*, **9**(9), 1045.
- Turdieva, M., Bernis-Fonteneau, A., Esenalieva, M., Kayimov, A., Saparmyradov, A., Safaraliev, K., Shalpykov, K., Colangelo, P., Jarvis, D. I. (2024). A Regional Perspective of Socio-Ecological Predictors for Fruit and Nut Tree Varietal Diversity Maintained by Farmer Communities in Central Asia. *World*, **5**(1): 22-35.
- Turner, N. C. (1986). Crop water deficits: a decade of progress. *Advances in Agronomy*, **39**: 1-51.
- Uga, Y., Sugimoto, K., Ogawa, S., Rane, J., Ishitani, M., Hara, N., ... Yano, M. (2013). Control of root system architecture by DEEPER ROOTING 1 increases rice yield under drought conditions. *Nature Genetics*, **45**(9): 1097-1102.
- Vandelle, E., Delledonne, M. (2008). Methods for nitric oxide detection during plant-pathogen interactions. *Methods in Enzymology*, **437**: 575-594.
- Vavilov, N. (1951). Estudios sobre el origen de las plantas cultivadas. ACME Agency, Buenos Aires, 147 s.
- Voronin, P. Y., Maevskaya, S. N., Nikolaeva, M. K. (2019). Physiological and molecular responses of maize (*Zea mays* L.) plants to drought and rehydration. *Photosynthetica*, **57**(3): 850-856
- Vranová, E., Inzé, D., Van Breusegem, F. (2002). Signal transduction during oxidative stress. *Journal of Experimental Botany*, **53**(372): 1227-1236.
- Wang, P., Grimm, B. (2021). Connecting chlorophyll metabolism with accumulation of the photosynthetic apparatus. *Trends in Plant Science*, **26**(5): 484-495.
- Wang, N., Guo, T., Sun, X., Jia, X., Wang, P., Shao, Y., Bowen, L., Xiaoqing, G., Ma, F. (2017). Functions of two *Malus hupehensis* (Pamp.) Rehd. YTPs (MhYTP1 and MhYTP2) in biotic- and abiotic-stress responses. *Plant Science*, **261**: 18-27.
- Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O., Altman, A. (2004). Role of plant heat-shock proteins and molecular chaperones in the abiotic stress response. *Trends in Plant Science*, **9**(5): 244-252.
- Wright, D. E. J., Cline, J. A., Earl, H. J. (2019). Physiological responses of four apple (*Malus domestica* Borkh.) rootstock genotypes to soil water deficits. *Canadian Journal of Plant Science*, **99**(4): 510-524.
- Xu, C., He, C. G., Wang, Y. J., Bi, Y. F., Jiang, H. (2020). Effect of drought and heat stresses on photosynthesis, pigments, and xanthophyll cycle in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Photosynthetica*, **58**(5).
- Yadav, S., Sharma, K. D. (2016). Molecular and morphophysiological analysis of drought stress in plants. *Plant Growth*, **10**.
- Yang, F., Han, Y., Zhu, Q. H., Zhang, X., Xue, F., Li, Y., Luo, H., Qin, J., sun, J., Liu, F. (2022). Impact of water deficiency on leaf cuticle lipids and gene expression networks in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *BMC Plant Biology*, **22**(1): 404.

- Yu, J., Lai, Y., Wu, X., Wu, G., Guo, C. (2016). Overexpression of OsEm1 encoding a group I LEA protein confers enhanced drought tolerance in rice. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, **478**(2): 703-709.
- Yue, C., Gallardo, R. K., Luby, J., Rihn, A., McFerson, J. R., McCracken, V., Bedford, M., Brown, S., Evans, K., Weebadde, Ch., Sebolt, A., Iezzoni, A. F. (2013). An investigation of US apple producers' trait prioritization—evidence from audience surveys. *HortScience*, **48**(11): 1378-1384.
- Zhang, C., Yao, F. E. N. G., Liu, Y. W., Chang H. Q., Li, Z. J., Xue, J. M. (2017). Uptake and translocation of organic pollutants in plants: A review. *Journal of Integrative Agriculture*, **16**(8): 1659-1668.
- Zhao J, Lu Z, Wang L, Jin B. 2020. Plant responses to heat stress: physiology, transcription, noncoding RNAs, and epigenetics. *International Journal of Molecular Sciences*. **22**: 117.
- Zhao, S., Gao, H., Jia, X., Wei, J., Mao, K., Ma, F. (2021). MdHB-7 regulates water use efficiency in transgenic apple (*Malus domestica*) under long-term moderate water deficit. *Frontiers in Plant Science*, **12**, 740492.

9 Fotografická dokumentace



Obrázek I: Spodní epidermis s trichomy (zvětšení 100x) (Zdroj: Autor)



Obrázek II: Spodní epidermis listové čepele s průduchy (zvětšeno 100x) (Zdroj: Autor)



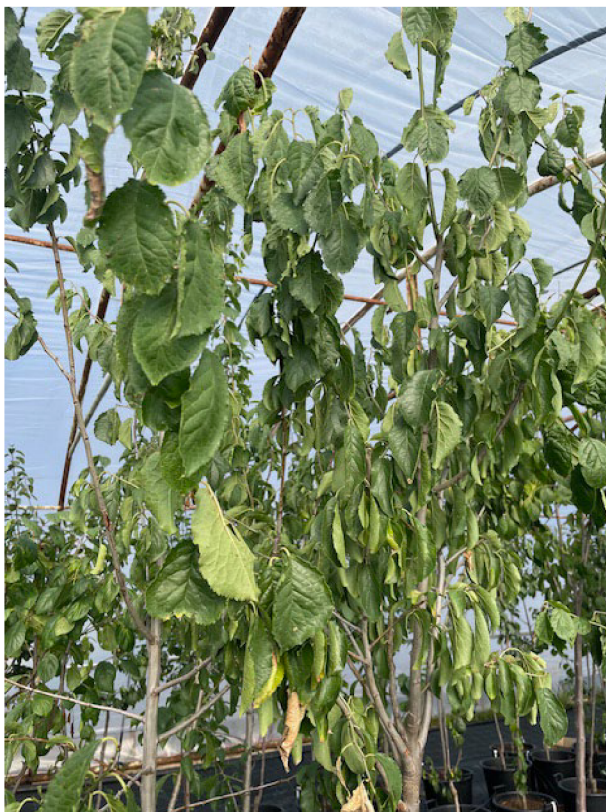
Obrázek III: Nádobové pokusy – kontrola (Zdroj: Autor)



Obrázek IV: Stres suchem 7 dnů – tvarové změny listů (Zdroj: Autor)



Obrázek V: Stres suchem 14 dnů – změna barvy listů nárůst karotenoidů (Zdroj: Autor)



Obrázek IV: Stres suchem 14 dnů – tvarové změny listů (Zdroj: Autor)

10 Přílohy

Tabulky I – XIV

Grafy I - XIV

Tabulka č. I: Fotosynteticky aktivní pigmenty - Chlorofyl (nmol cm⁻²)					
Kontrolní varianta					
	1	2	3	4	5
HL 1311	21,115 ± 0,423	11,187 ± 3,448	3,540 ± 0,723	4,961 ± 4,735	17,818 ± 0,404
GALA (GALAVAL)	14,768 ± 1,377	8,945 ± 0,097	4,944 ± 0,028	4,268 ± 1,724	20,208 ± 3,646
IDARED	12,775 ± 1,222	11,410 ± 4,103	2,170 ± 0,305	2,493 ± 0,874	14,280 ± 1,458
HL 1343	18,485 ± 4,595	16,315 ± 5,079	5,620 ± 1,212	6,191 ± 1,223	20,418 ± 3,614
HL 1282	11,867 ± 2,986	16,485 ± 9,077	7,000 ± 1,014	3,019 ± 1,662	24,750 ± 11,531
HL 308	19,096 ± 5,486	10,898 ± 1,086	10,064 ± 3,479	1,485 ± 0,494	13,577 ± 3,607
HL 1194	17,440 ± 3,137	9,094 ± 0,113	13,747 ± 6,264	4,000 ± 0,530	14,901 ± 3,927
HL 2350	13,072 ± 1,870	13,534 ± 8,160	10,350 ± 7,270	5,253 ± 1,930	16,029 ± 3,160
RELUGA	15,456 ± 1,779	20,098 ± 0,127	3,287 ± 1,216	4,033 ± 0,707	23,053 ± 6,578
HL 1579	18,216 ± 4,764	14,984 ± 0,567	6,019 ± 0,344	4,392 ± 0,352	17,623 ± 3,263
RUBINSTEP	11,301 ± 2,022	18,820 ± 12,481	5,827 ± 0,110	11,261 ± 5,691	19,842 ± 4,982
FROSTA	13,297 ± 3,155	30,716 ± 3,508	6,762 ± 1,253	4,080 ± 5,771	14,633 ± 1,941
HL 827	13,868 ± 7,346	22,498 ± 5,031	2,122 ± 0,615	4,347 ± 2,616	24,401 ± 11,499
HL 1597	12,540 ± 8,600	21,425 ± 1,672	2,488 ± 0,488	6,528 ± 3,959	23,011 ± 0,345
HL 1185	12,028 ± 6,165	20,712 ± 13,469	1,154 ± 0,251	4,561 ± 1,109	20,947 ± 0,066
HL 155-05	6,354 ± 1,154	19,635 ± 6,114	2,355 ± 1,688	3,107 ± 1,020	22,241 ± 1,923
HL 601	11,661 ± 4,128	24,253 ± 14,589	4,427 ± 0,088	14,135 ± 15,564	24,304 ± 1,005
HL 2010	12,961 ± 0,342	23,763 ± 1,826	4,556 ± 0,465	17,095 ± 11,818	22,301 ± 4,901
HL 32	11,347 ± 0,867	17,881 ± 2,129	5,925 ± 1,437	25,887 ± 1,190	25,687 ± 0,144
B 11	13,390 ± 1,628	14,506 ± 2,765	6,298 ± 0,394	25,883 ± 12,974	18,922 ± 0,000
HL 53	15,253 ± 2,836	17,153 ± 5,800	9,111 ± 3,742	15,823 ± 4,506	26,489 ± 2,929
HL 1651	17,241 ± 3,190	5,601 ± 2,916	7,046 ± 4,541	15,019 ± 0,377	18,068 ± 1,137

Tabulka č. II: Fotosynteticky aktivní pigmenty - Chlorofyl (nmol cm ⁻²)					
Stresovaná varianta					
	1	2	3	4	5
HL 1311	21,115 ± 0,423	11,187 ± 3,448	24,166 ± 2,308	9,384 ± 0,075	18,650 ± 0,138
GALA (GALAVAL)	14,768 ± 1,377	8,945 ± 0,097	13,549 ± 9,775	9,715 ± 3,953	11,383 ± 4,458
IDARED	12,775 ± 1,222	11,410 ± 4,103	9,791 ± 1,254	5,905 ± 0,685	22,840 ± 3,309
HL 1343	18,485 ± 4,595	16,315 ± 5,079	14,384 ± 2,096	7,983 ± 1,275	16,728 ± 1,227
HL 1282	11,867 ± 2,986	16,485 ± 9,077	16,271 ± 2,681	15,793 ± 2,831	19,103 ± 9,480
HL 308	19,096 ± 5,486	10,898 ± 1,086	19,671 ± 0,209	13,433 ± 0,190	18,737 ± 11,919
HL 1194	17,440 ± 3,137	9,094 ± 0,113	23,616 ± 0,183	20,007 ± 1,285	13,459 ± 14,713
HL 2350	13,072 ± 1,870	13,534 ± 8,160	22,298 ± 11,610	9,066 ± 1,130	15,061 ± 8,622
RELUGA	15,456 ± 1,779	20,098 ± 0,127	13,689 ± 3,213	10,819 ± 1,332	21,304 ± 2,857
HL 1579	18,216 ± 4,764	14,984 ± 0,567	22,099 ± 6,959	6,714 ± 0,828	16,531 ± 4,789
RUBINSTEP	11,301 ± 2,022	18,820 ± 12,481	21,447 ± 4,299	6,579 ± 0,974	12,599 ± 4,946
FROSTA	13,297 ± 3,155	30,716 ± 3,508	3,530 ± 2,984	4,517 ± 0,011	14,224 ± 14,528
HL 827	13,868 ± 7,346	22,498 ± 5,031	2,520 ± 0,728	6,716 ± 1,415	8,041 ± 2,589
HL 1597	12,540 ± 8,600	21,425 ± 1,672	6,202 ± 0,602	21,779 ± 1,954	23,588 ± 2,245
HL 1185	12,028 ± 6,165	20,712 ± 13,469	4,724 ± 0,813	15,432 ± 0,585	19,085 ± 3,072
HL 155-05	6,354 ± 1,154	19,635 ± 6,114	5,167 ± 1,522	15,120 ± 3,949	12,958 ± 0,499
HL 601	11,661 ± 4,128	24,253 ± 14,589	3,334 ± 0,631	7,587 ± 0,304	22,386 ± 4,227
HL 2010	12,961 ± 0,342	23,763 ± 1,826	10,408 ± 8,195	13,951 ± 2,879	5,791 ± 2,673
HL 32	11,347 ± 0,867	17,881 ± 2,129	4,145 ± 0,022	6,124 ± 2,023	19,562 ± 5,783
B 11	13,390 ± 1,628	14,506 ± 2,765	4,051 ± 1,322	24,177 ± 2,428	21,412 ± 9,386
HL 53	15,253 ± 2,836	17,153 ± 5,800	3,720 ± 0,534	8,702 ± 1,810	12,211 ± 6,263
HL 1651	17,241 ± 3,190	5,601 ± 2,916	7,983 ± 8,355	7,223 ± 1,335	11,357 ± 2,734

Tabulka č. III: Fotosynteticky aktivní pigmenty - Karotenoidy (nmol cm⁻²)					
Kontrolní varianta					
	1	2	3	4	5
HL 1311	3,149 ± 0,049	2,377 ± 0,400	0,838 ± 0,091	0,688 ± 0,478	2,828 ± 0,191
GALA (GALAVAL)	2,394 ± 0,617	1,586 ± 0,043	0,951 ± 0,011	0,629 ± 0,161	3,516 ± 0,447
IDARED	1,727 ± 0,293	1,731 ± 0,399	0,628 ± 0,032	0,448 ± 0,092	2,131 ± 0,243
HL 1343	2,778 ± 0,500	2,832 ± 1,527	0,790 ± 0,316	0,810 ± 0,116	3,599 ± 0,254
HL 1282	1,801 ± 0,712	2,603 ± 1,277	1,166 ± 0,009	0,517 ± 0,145	3,828 ± 1,822
HL 308	2,951 ± 0,942	2,025 ± 0,474	0,621 ± 0,149	0,347 ± 0,041	2,111 ± 0,519
HL 1194	2,543 ± 0,646	1,694 ± 0,110	1,893 ± 0,753	0,559 ± 0,009	2,124 ± 0,580
HL 2350	1,853 ± 0,295	2,000 ± 1,008	1,469 ± 0,832	0,628 ± 0,223	2,214 ± 0,345
RELUGA	2,290 ± 0,467	2,679 ± 0,059	0,674 ± 0,165	0,538 ± 0,145	3,675 ± 1,014
HL 1579	2,753 ± 0,683	2,437 ± 0,208	0,964 ± 0,101	0,559 ± 0,105	2,823 ± 0,468
RUBINSTEP	2,206 ± 1,036	2,780 ± 1,736	0,973 ± 0,116	1,333 ± 0,586	3,000 ± 0,694
FROSTA	2,130 ± 0,427	4,046 ± 0,321	1,043 ± 0,133	0,504 ± 0,713	2,147 ± 0,394
HL 827	2,020 ± 0,979	2,604 ± 1,187	0,558 ± 0,073	0,566 ± 0,284	3,700 ± 1,691
HL 1597	1,952 ± 1,307	2,929 ± 0,239	0,600 ± 0,080	0,792 ± 0,433	3,485 ± 0,010
HL 1185	1,868 ± 0,953	3,183 ± 2,184	0,442 ± 0,048	0,546 ± 0,102	2,821 ± 0,015
HL 155-05	0,951 ± 0,192	2,470 ± 0,918	0,623 ± 0,248	0,456 ± 0,105	3,207 ± 0,562
HL 601	1,675 ± 0,668	3,836 ± 2,925	0,868 ± 0,010	2,078 ± 2,334	3,610 ± 0,056
HL 2010	1,932 ± 0,116	2,978 ± 0,518	0,939 ± 0,084	2,292 ± 1,482	3,240 ± 0,810
HL 32	1,796 ± 0,223	2,260 ± 0,237	1,111 ± 0,007	3,346 ± 0,140	3,819 ± 0,004
B 11	2,162 ± 0,214	1,749 ± 0,312	1,066 ± 0,063	2,861 ± 2,873	2,670 ± 0,003
HL 53	2,552 ± 0,431	2,205 ± 0,743	1,320 ± 0,313	2,171 ± 0,879	4,205 ± 0,399
HL 1651	2,602 ± 0,416	0,972 ± 0,311	1,189 ± 0,545	1,877 ± 0,183	3,238 ± 0,325

Tabulka č. IV: Fotosynteticky aktivní pigmenty - Karotenoidy (nmol cm⁻²)					
Stresovaná varianta					
	1	2	3	4	5
HL 1311	3,149 ± 0,049	2,377 ± 0,400	2,917 ± 0,192	1,453 ± 0,076	2,576 ± 0,394
GALA (GALAVAL)	2,394 ± 0,617	1,586 ± 0,043	2,021 ± 1,326	1,538 ± 0,686	1,848 ± 0,748
IDARED	1,727 ± 0,293	1,731 ± 0,399	1,357 ± 0,036	1,012 ± 0,127	3,607 ± 0,609
HL 1343	2,778 ± 0,500	2,832 ± 1,527	1,983 ± 0,264	1,078 ± 0,155	2,236 ± 0,524
HL 1282	1,801 ± 0,712	2,603 ± 1,277	2,223 ± 0,517	2,156 ± 0,408	2,816 ± 1,258
HL 308	2,951 ± 0,942	2,025 ± 0,474	2,814 ± 0,040	1,989 ± 0,117	2,742 ± 2,118
HL 1194	2,543 ± 0,646	1,694 ± 0,110	3,197 ± 0,239	2,652 ± 0,189	2,442 ± 2,638
HL 2350	1,853 ± 0,295	2,000 ± 1,008	2,734 ± 2,163	1,161 ± 0,137	2,311 ± 1,574
RELUGA	2,290 ± 0,467	2,679 ± 0,059	2,044 ± 0,407	1,400 ± 0,206	3,016 ± 0,575
HL 1579	2,753 ± 0,683	2,437 ± 0,208	2,736 ± 1,197	0,944 ± 0,108	2,375 ± 1,110
RUBINSTEP	2,206 ± 1,036	2,780 ± 1,736	3,078 ± 0,704	0,861 ± 0,107	1,853 ± 0,884
FROSTA	2,130 ± 0,427	4,046 ± 0,321	0,600 ± 0,298	0,733 ± 0,007	2,165 ± 2,118
HL 827	2,020 ± 0,979	2,604 ± 1,187	0,489 ± 0,090	1,043 ± 0,207	0,963 ± 0,532
HL 1597	1,952 ± 1,307	2,929 ± 0,239	0,932 ± 0,020	2,727 ± 0,335	3,234 ± 0,668
HL 1185	1,868 ± 0,953	3,183 ± 2,184	0,612 ± 0,106	2,023 ± 0,055	2,678 ± 0,800
HL 155-05	0,951 ± 0,192	2,470 ± 0,918	0,742 ± 0,184	1,869 ± 0,534	1,881 ± 0,321
HL 601	1,675 ± 0,668	3,836 ± 2,925	0,581 ± 0,050	1,094 ± 0,036	3,172 ± 0,811
HL 2010	1,932 ± 0,116	2,978 ± 0,518	1,283 ± 0,905	1,624 ± 0,385	0,974 ± 0,361
HL 32	1,796 ± 0,223	2,260 ± 0,237	0,594 ± 0,012	0,863 ± 0,181	2,647 ± 1,200
B 11	2,162 ± 0,214	1,749 ± 0,312	0,612 ± 0,051	3,099 ± 0,253	3,180 ± 1,618
HL 53	2,552 ± 0,431	2,205 ± 0,743	0,679 ± 0,117	1,053 ± 0,047	1,614 ± 0,896
HL 1651	2,602 ± 0,416	0,972 ± 0,311	1,110 ± 0,954	1,124 ± 0,175	1,613 ± 0,333

Tabulka č. V: Rychlost výměny plynů - Rychlost transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
Kontrolní varianta					
	1	2	3	4	5
HL 1311	$0,95 \pm 0,03$	$1,76 \pm 0,02$	$1,13 \pm 0,02$	$2,01 \pm 0,03$	$2,82 \pm 0,13$
GALA (GALAVAL)	$0,58 \pm 0,02$	$1,55 \pm 0,02$	$2,49 \pm 0,02$	$2,49 \pm 0,02$	$3,38 \pm 0,31$
IDARED	$1,12 \pm 0,02$	$1,77 \pm 0,03$	$1,13 \pm 0,02$	$2,19 \pm 0,02$	$2,70 \pm 0,42$
HL 1343	$0,76 \pm 0,02$	$1,60 \pm 0,02$	$1,07 \pm 0,02$	$1,55 \pm 0,03$	$2,19 \pm 0,14$
HL 1282	$0,63 \pm 0,03$	$1,74 \pm 0,02$	$1,07 \pm 0,03$	$1,42 \pm 0,02$	$1,48 \pm 0,12$
HL 308	$0,66 \pm 0,04$	$1,63 \pm 0,01$	$2,14 \pm 0,02$	$1,85 \pm 0,02$	$3,48 \pm 1,12$
HL 1194	$1,75 \pm 0,03$	$1,58 \pm 0,02$	$1,19 \pm 0,02$	$1,71 \pm 0,02$	$2,83 \pm 0,84$
HL 2350	$1,14 \pm 0,02$	$1,94 \pm 0,01$	$2,38 \pm 0,03$	$2,08 \pm 0,01$	$2,91 \pm 0,48$
RELUGA	$1,03 \pm 0,01$	$2,04 \pm 0,02$	$1,21 \pm 0,03$	$3,11 \pm 0,02$	$4,99 \pm 0,09$
HL 1579	$0,43 \pm 0,02$	$1,86 \pm 0,01$	$1,30 \pm 0,02$	$2,97 \pm 0,02$	$3,96 \pm 0,28$
RUBINSTEP	$1,15 \pm 0,02$	$2,06 \pm 0,02$	$1,32 \pm 0,01$	$3,22 \pm 0,02$	$5,11 \pm 0,16$
FROSTA	$0,75 \pm 0,03$	$2,15 \pm 0,02$	$1,39 \pm 0,01$	$1,47 \pm 0,02$	$1,05 \pm 0,66$
HL 827	$0,57 \pm 0,01$	$2,36 \pm 0,02$	$2,13 \pm 0,75$	$2,90 \pm 0,23$	$3,23 \pm 0,69$
HL 1597	$1,16 \pm 0,03$	$2,28 \pm 0,02$	$1,32 \pm 0,37$	$2,15 \pm 0,25$	$1,76 \pm 0,89$
HL 1185	$0,80 \pm 0,03$	$2,38 \pm 0,02$	$1,99 \pm 0,28$	$1,53 \pm 0,26$	$3,91 \pm 0,48$
HL 155-05	$0,78 \pm 0,02$	$2,15 \pm 0,02$	$2,21 \pm 0,05$	$2,23 \pm 0,08$	$2,38 \pm 0,60$
HL 601	$0,66 \pm 0,04$	$2,44 \pm 0,02$	$1,20 \pm 0,35$	$1,99 \pm 0,05$	$2,78 \pm 0,16$
HL 2010	$0,85 \pm 0,03$	$2,47 \pm 0,01$	$1,18 \pm 0,03$	$1,92 \pm 0,19$	$3,46 \pm 0,10$
HL 32	$0,16 \pm 0,02$	$2,33 \pm 0,01$	$2,17 \pm 0,34$	$2,41 \pm 0,18$	$2,57 \pm 0,42$
B 11	$0,15 \pm 0,02$	$2,24 \pm 0,02$	$1,93 \pm 0,13$	$1,97 \pm 0,07$	$2,16 \pm 0,19$
HL 53	$0,14 \pm 0,02$	$2,22 \pm 0,02$	$2,74 \pm 0,29$	$2,16 \pm 0,05$	$1,46 \pm 0,08$
HL 1651	$0,45 \pm 0,02$	$1,94 \pm 0,01$	$2,98 \pm 0,04$	$2,32 \pm 0,24$	$3,69 \pm 0,94$

Tabulka č. VI: Rychlost výměny plynů - Rychlost transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
	Stresovaná varianta				
	1	2	3	4	5
HL 1311	$0,95 \pm 0,03$	$1,76 \pm 0,02$	$1,08 \pm 0,01$	$1,94 \pm 0,02$	$2,80 \pm 0,04$
GALA (GALAVAL)	$0,58 \pm 0,02$	$1,55 \pm 0,02$	$2,37 \pm 0,02$	$2,19 \pm 0,01$	$2,02 \pm 0,02$
IDARED	$1,12 \pm 0,02$	$1,77 \pm 0,03$	$1,08 \pm 0,02$	$1,69 \pm 0,01$	$2,29 \pm 0,01$
HL 1343	$0,76 \pm 0,02$	$1,60 \pm 0,02$	$1,01 \pm 0,02$	$1,52 \pm 0,01$	$1,99 \pm 0,02$
HL 1282	$0,63 \pm 0,03$	$1,74 \pm 0,02$	$1,01 \pm 0,03$	$1,41 \pm 0,02$	$1,79 \pm 0,02$
HL 308	$0,66 \pm 0,04$	$1,63 \pm 0,01$	$2,04 \pm 0,02$	$2,02 \pm 0,01$	$2,00 \pm 0,02$
HL 1194	$1,75 \pm 0,03$	$1,58 \pm 0,02$	$1,12 \pm 0,02$	$1,40 \pm 0,01$	$1,66 \pm 0,01$
HL 2350	$1,14 \pm 0,02$	$1,94 \pm 0,01$	$2,27 \pm 0,02$	$2,03 \pm 0,01$	$1,79 \pm 0,01$
RELUGA	$1,03 \pm 0,01$	$2,04 \pm 0,02$	$1,15 \pm 0,02$	$1,64 \pm 0,01$	$2,13 \pm 0,02$
HL 1579	$0,43 \pm 0,02$	$1,86 \pm 0,01$	$1,24 \pm 0,02$	$1,69 \pm 0,01$	$2,14 \pm 0,02$
RUBINSTEP	$1,15 \pm 0,02$	$2,06 \pm 0,02$	$1,26 \pm 0,01$	$1,88 \pm 0,01$	$2,47 \pm 0,10$
FROSTA	$0,75 \pm 0,03$	$2,15 \pm 0,02$	$1,33 \pm 0,01$	$1,90 \pm 0,01$	$2,47 \pm 0,02$
HL 827	$0,57 \pm 0,01$	$2,36 \pm 0,02$	$2,25 \pm 0,02$	$2,20 \pm 0,11$	$2,22 \pm 0,01$
HL 1597	$1,16 \pm 0,03$	$2,28 \pm 0,02$	$1,14 \pm 0,02$	$1,92 \pm 0,04$	$2,66 \pm 0,01$
HL 1185	$0,80 \pm 0,03$	$2,38 \pm 0,02$	$1,82 \pm 0,02$	$2,02 \pm 0,04$	$2,23 \pm 0,02$
HL 155-05	$0,78 \pm 0,02$	$2,15 \pm 0,02$	$1,93 \pm 0,01$	$1,86 \pm 0,12$	$1,87 \pm 0,02$
HL 601	$0,66 \pm 0,04$	$2,44 \pm 0,02$	$1,04 \pm 0,02$	$1,57 \pm 0,07$	$2,04 \pm 0,02$
HL 2010	$0,85 \pm 0,03$	$2,47 \pm 0,01$	$1,13 \pm 0,01$	$1,86 \pm 0,23$	$2,43 \pm 0,01$
HL 32	$0,16 \pm 0,02$	$2,33 \pm 0,01$	$2,95 \pm 0,02$	$2,45 \pm 0,26$	$2,15 \pm 0,01$
B 11	$0,15 \pm 0,02$	$2,24 \pm 0,02$	$1,65 \pm 0,02$	$1,77 \pm 0,18$	$1,78 \pm 0,02$
HL 53	$0,14 \pm 0,02$	$2,22 \pm 0,02$	$2,47 \pm 0,02$	$2,31 \pm 0,06$	$2,09 \pm 0,01$
HL 1651	$0,45 \pm 0,02$	$1,94 \pm 0,01$	$2,85 \pm 0,02$	$2,48 \pm 0,01$	$2,12 \pm 0,02$

Tabulka č. VII: Efektivita využití vody ((10 ⁻³))					
Kontrolní varianta					
	1	2	3	4	5
HL 1311	8,05 ± 0,26	4,68 ± 0,05	7,71 ± 0,13	4,40 ± 0,08	3,17 ± 0,15
GALA (GALAVAL)	12,57 ± 0,54	5,15 ± 0,07	3,05 ± 0,03	3,15 ± 0,02	2,41 ± 0,28
IDARED	6,60 ± 0,14	4,57 ± 0,08	7,56 ± 0,13	3,92 ± 0,04	3,27 ± 0,52
HL 1343	9,56 ± 0,31	5,11 ± 0,05	8,20 ± 0,16	5,70 ± 0,10	4,08 ± 0,27
HL 1282	12,20 ± 0,52	4,77 ± 0,05	8,40 ± 0,24	6,30 ± 0,08	6,13 ± 0,45
HL 308	10,77 ± 0,58	4,73 ± 0,03	3,59 ± 0,04	4,54 ± 0,05	3,16 ± 1,92
HL 1194	4,36 ± 0,07	5,50 ± 0,07	7,55 ± 0,10	4,95 ± 0,06	3,02 ± 0,81
HL 2350	6,25 ± 0,11	3,96 ± 0,03	3,12 ± 0,03	3,97 ± 0,03	3,21 ± 0,68
RELUGA	6,84 ± 0,09	3,83 ± 0,03	7,08 ± 0,16	2,64 ± 0,02	1,57 ± 0,03
HL 1579	17,05 ± 0,85	4,45 ± 0,04	6,93 ± 0,11	2,96 ± 0,02	2,17 ± 0,14
RUBINSTEP	6,33 ± 0,13	3,98 ± 0,04	6,77 ± 0,08	2,80 ± 0,01	1,78 ± 0,05
FROSTA	9,75 ± 0,56	3,70 ± 0,03	6,19 ± 0,23	6,03 ± 0,09	10,89 ± 4,54
HL 827	12,44 ± 0,31	3,23 ± 0,05	3,06 ± 1,08	2,91 ± 0,26	2,81 ± 0,67
HL 1597	6,18 ± 0,15	3,40 ± 0,03	6,59 ± 1,12	3,93 ± 0,72	5,89 ± 2,97
HL 1185	9,06 ± 0,32	3,30 ± 0,02	4,37 ± 0,94	5,66 ± 0,72	2,23 ± 0,27
HL 155-05	9,34 ± 0,25	3,63 ± 0,02	3,61 ± 0,17	3,71 ± 0,12	3,82 ± 0,99
HL 601	10,82 ± 0,60	3,16 ± 0,03	7,19 ± 1,26	4,14 ± 0,18	2,91 ± 0,19
HL 2010	8,77 ± 0,28	3,28 ± 0,02	7,36 ± 0,11	4,48 ± 0,41	2,43 ± 0,11
HL 32	48,76 ± 6,92	3,32 ± 0,02	3,67 ± 1,30	3,40 ± 0,25	3,49 ± 0,50
B 11	50,75 ± 7,13	3,42 ± 0,03	4,11 ± 0,31	4,00 ± 0,12	3,60 ± 0,41
HL 53	52,68 ± 6,79	3,50 ± 0,03	2,92 ± 0,42	3,70 ± 0,12	5,55 ± 0,32
HL 1651	15,65 ± 0,75	3,78 ± 0,03	2,54 ± 0,08	3,34 ± 0,29	2,49 ± 1,54

Tabulka č. VIII: Efektivita využití vody (10^{-3})					
Stresovaná varianta					
	1	2	3	4	5
HL 1311	8,05 ± 0,26	4,68 ± 0,05	7,99 ± 0,11	4,48 ± 0,04	3,13 ± 0,04
GALA (GALAVAl)	12,57 ± 0,54	5,15 ± 0,07	3,53 ± 0,04	3,83 ± 0,03	4,18 ± 0,04
IDARED	6,60 ± 0,14	4,57 ± 0,08	7,84 ± 0,12	5,05 ± 0,03	3,75 ± 0,03
HL 1343	9,56 ± 0,31	5,11 ± 0,05	8,54 ± 0,16	5,74 ± 0,05	4,36 ± 0,15
HL 1282	12,20 ± 0,52	4,77 ± 0,05	8,79 ± 0,28	6,34 ± 0,08	5,02 ± 0,05
HL 308	10,77 ± 0,58	4,73 ± 0,03	4,14 ± 0,04	4,21 ± 0,03	4,26 ± 0,05
HL 1194	4,36 ± 0,07	5,50 ± 0,07	7,92 ± 0,16	6,39 ± 0,05	5,42 ± 0,04
HL 2350	6,25 ± 0,11	3,96 ± 0,03	3,60 ± 0,03	4,03 ± 0,03	4,61 ± 0,04
RELUGA	6,84 ± 0,09	3,83 ± 0,03	7,37 ± 0,16	5,20 ± 0,04	4,04 ± 0,04
HL 1579	17,05 ± 0,85	4,45 ± 0,04	7,21 ± 0,10	5,32 ± 0,05	4,23 ± 0,04
RUBINSTEP	6,33 ± 0,13	3,98 ± 0,04	7,03 ± 0,07	4,73 ± 0,06	3,65 ± 0,15
FROSTA	9,75 ± 0,56	3,70 ± 0,03	6,52 ± 0,04	4,55 ± 0,18	3,56 ± 0,02
HL 827	12,44 ± 0,31	3,23 ± 0,05	3,94 ± 0,03	4,01 ± 0,14	4,01 ± 0,03
HL 1597	6,18 ± 0,15	3,40 ± 0,03	7,25 ± 0,11	4,37 ± 0,03	3,16 ± 0,02
HL 1185	9,06 ± 0,32	3,30 ± 0,02	4,80 ± 0,04	4,30 ± 0,03	3,93 ± 0,03
HL 155-05	9,34 ± 0,25	3,63 ± 0,02	4,23 ± 0,03	4,42 ± 0,35	4,37 ± 0,04
HL 601	10,82 ± 0,60	3,16 ± 0,03	7,86 ± 0,15	5,29 ± 0,14	4,08 ± 0,04
HL 2010	8,77 ± 0,28	3,28 ± 0,02	7,66 ± 0,10	4,70 ± 0,52	3,61 ± 0,02
HL 32	48,76 ± 6,92	3,32 ± 0,02	2,77 ± 0,02	3,40 ± 0,49	3,85 ± 0,02
B 11	50,75 ± 7,13	3,42 ± 0,03	4,96 ± 0,05	4,68 ± 0,39	4,63 ± 0,04
HL 53	52,68 ± 6,79	3,50 ± 0,03	3,30 ± 0,02	3,54 ± 0,07	3,90 ± 0,02
HL 1651	15,65 ± 0,75	3,78 ± 0,03	2,90 ± 0,02	3,35 ± 0,01	3,92 ± 0,03

Tabulka č. IX: Fluorescence chlorofylu

Kontrolní varianta					
	1	2	3	4	5
HL 1311	0,798 ± 0,013	0,801 ± 0,006	0,803 ± 0,004	0,805 ± 0,002	0,651 ± 0,031
GALA (GALAVAL)	0,793 ± 0,012	0,799 ± 0,005	0,807 ± 0,005	0,800 ± 0,003	0,605 ± 0,007
IDARED	0,793 ± 0,010	0,796 ± 0,004	0,798 ± 0,006	0,793 ± 0,002	0,590 ± 0,009
HL 1343	0,799 ± 0,011	0,793 ± 0,009	0,797 ± 0,001	0,794 ± 0,001	0,653 ± 0,054
HL 1282	0,797 ± 0,009	0,797 ± 0,003	0,805 ± 0,002	0,793 ± 0,001	0,650 ± 0,034
HL 308	0,797 ± 0,010	0,795 ± 0,003	0,790 ± 0,003	0,801 ± 0,003	0,707 ± 0,158
HL 1194	0,798 ± 0,007	0,795 ± 0,003	0,805 ± 0,002	0,805 ± 0,002	0,630 ± 0,022
HL 2350	0,800 ± 0,006	0,794 ± 0,003	0,808 ± 0,003	0,804 ± 0,002	0,603 ± 0,025
RELUGA	0,798 ± 0,014	0,797 ± 0,005	0,793 ± 0,001	0,805 ± 0,002	0,612 ± 0,036
HL 1579	0,804 ± 0,004	0,796 ± 0,002	0,800 ± 0,002	0,799 ± 0,001	0,611 ± 0,034
RUBINSTEP	0,804 ± 0,009	0,800 ± 0,004	0,798 ± 0,001	0,813 ± 0,002	0,650 ± 0,025
FROSTA	0,795 ± 0,004	0,790 ± 0,003	0,802 ± 0,001	0,797 ± 0,002	0,627 ± 0,011
HL 827	0,794 ± 0,005	0,798 ± 0,002	0,796 ± 0,001	0,796 ± 0,002	0,631 ± 0,042
HL 1597	0,797 ± 0,008	0,801 ± 0,002	0,645 ± 0,043	0,802 ± 0,003	0,645 ± 0,043
HL 1185	0,798 ± 0,007	0,803 ± 0,002	0,635 ± 0,042	0,806 ± 0,003	0,635 ± 0,042
HL 155-05	0,797 ± 0,006	0,800 ± 0,002	0,790 ± 0,002	0,813 ± 0,002	0,618 ± 0,041
HL 601	0,793 ± 0,010	0,800 ± 0,003	0,790 ± 0,001	0,796 ± 0,001	0,600 ± 0,047
HL 2010	0,795 ± 0,006	0,797 ± 0,002	0,802 ± 0,001	0,795 ± 0,002	0,557 ± 0,034
HL 32	0,795 ± 0,008	0,767 ± 0,088	0,805 ± 0,003	0,804 ± 0,001	0,602 ± 0,024
B 11	0,795 ± 0,012	0,800 ± 0,002	0,799 ± 0,002	0,798 ± 0,002	0,612 ± 0,043
HL 53	0,801 ± 0,005	0,792 ± 0,003	0,800 ± 0,002	0,817 ± 0,001	0,598 ± 0,027
HL 1651	0,796 ± 0,003	0,796 ± 0,002	0,788 ± 0,001	0,798 ± 0,001	0,604 ± 0,056

Tabulka č. X: Fluorescence chlorofylu					
Stresovaná varianta					
	1	2	3	4	5
HL 1311	0,798 ± 0,013	0,801 ± 0,006	0,628 ± 0,006	0,710 ± 0,018	0,628 ± 0,006
GALA (GALAVAL)	0,793 ± 0,012	0,799 ± 0,005	0,660 ± 0,016	0,664 ± 0,021	0,660 ± 0,016
IDARED	0,793 ± 0,010	0,796 ± 0,004	0,659 ± 0,052	0,681 ± 0,025	0,659 ± 0,052
HL 1343	0,799 ± 0,011	0,793 ± 0,009	0,645 ± 0,034	0,678 ± 0,036	0,645 ± 0,034
HL 1282	0,797 ± 0,009	0,797 ± 0,003	0,574 ± 0,027	0,640 ± 0,045	0,574 ± 0,027
HL 308	0,797 ± 0,010	0,795 ± 0,003	0,685 ± 0,027	0,668 ± 0,035	0,685 ± 0,027
HL 1194	0,798 ± 0,007	0,795 ± 0,003	0,627 ± 0,033	0,640 ± 0,054	0,627 ± 0,033
HL 2350	0,800 ± 0,006	0,794 ± 0,003	0,656 ± 0,050	0,680 ± 0,036	0,656 ± 0,050
RELUGA	0,798 ± 0,014	0,797 ± 0,005	0,658 ± 0,047	0,627 ± 0,051	0,643 ± 0,033
HL 1579	0,804 ± 0,004	0,796 ± 0,002	0,627 ± 0,051	0,633 ± 0,033	0,633 ± 0,063
RUBINSTEP	0,804 ± 0,009	0,800 ± 0,004	0,625 ± 0,025	0,671 ± 0,051	0,634 ± 0,042
FROSTA	0,795 ± 0,004	0,790 ± 0,003	0,618 ± 0,054	0,630 ± 0,052	0,607 ± 0,029
HL 827	0,794 ± 0,005	0,798 ± 0,002	0,602 ± 0,031	0,652 ± 0,007	0,590 ± 0,008
HL 1597	0,797 ± 0,008	0,801 ± 0,002	0,633 ± 0,046	0,641 ± 0,051	0,621 ± 0,021
HL 1185	0,798 ± 0,007	0,803 ± 0,002	0,620 ± 0,023	0,611 ± 0,023	0,633 ± 0,049
HL 155-05	0,797 ± 0,006	0,800 ± 0,002	0,550 ± 0,024	0,659 ± 0,043	0,574 ± 0,046
HL 601	0,793 ± 0,010	0,800 ± 0,003	0,615 ± 0,062	0,671 ± 0,044	0,595 ± 0,072
HL 2010	0,795 ± 0,006	0,797 ± 0,002	0,584 ± 0,058	0,634 ± 0,049	0,573 ± 0,034
HL 32	0,795 ± 0,008	0,767 ± 0,088	0,616 ± 0,043	0,659 ± 0,054	0,616 ± 0,042
B 11	0,795 ± 0,012	0,800 ± 0,002	0,637 ± 0,043	0,644 ± 0,014	0,633 ± 0,035
HL 53	0,801 ± 0,005	0,792 ± 0,003	0,624 ± 0,030	0,683 ± 0,030	0,631 ± 0,045
HL 1651	0,796 ± 0,003	0,796 ± 0,002	0,607 ± 0,011	0,682 ± 0,043	0,618 ± 0,029

Tabulka č. XI: Vodní potenciál (Mpa)

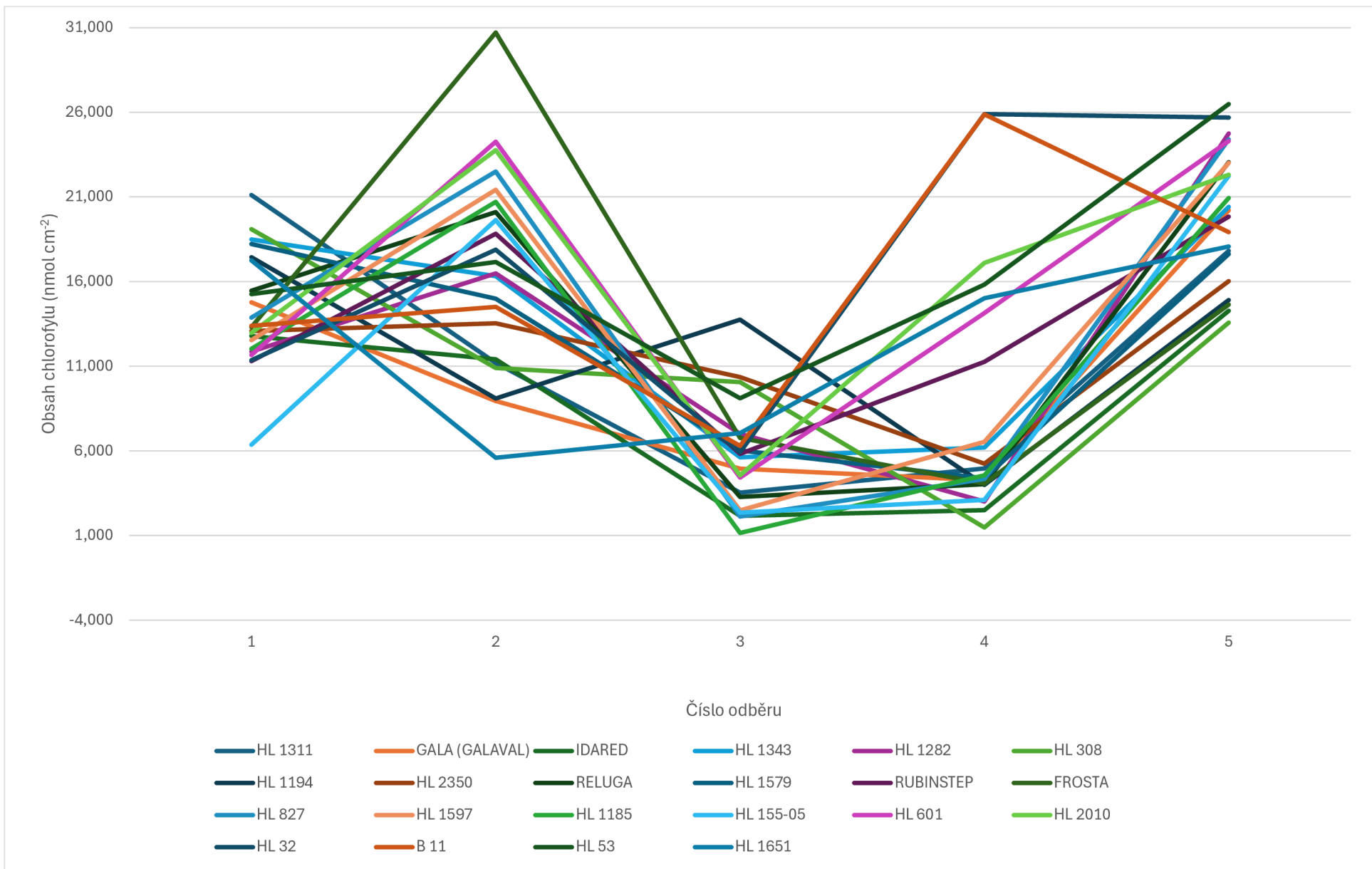
Kontrolní varianta					
	1	2	3	4	5
HL 1311	-1,053 ± 0,015	-1,060 ± 0,017	-1,053 ± 0,031	-1,067 ± 0,023	-1,047 ± 0,025
GALA (GALAVAL)	-1,067 ± 0,012	-1,103 ± 0,021	-1,067 ± 0,015	-1,087 ± 0,031	-1,070 ± 0,010
IDARED	-1,077 ± 0,006	-1,070 ± 0,020	-1,083 ± 0,031	-1,093 ± 0,015	-1,067 ± 0,015
HL 1343	-1,060 ± 0,017	-1,053 ± 0,015	-1,057 ± 0,035	-1,067 ± 0,006	-1,067 ± 0,025
HL 1282	-1,063 ± 0,015	-1,087 ± 0,035	-1,100 ± 0,020	-1,100 ± 0,035	-1,077 ± 0,025
HL 308	-1,073 ± 0,015	-1,083 ± 0,015	-1,057 ± 0,025	-1,080 ± 0,020	-1,073 ± 0,015
HL 1194	-1,020 ± 0,017	-1,030 ± 0,020	-1,067 ± 0,025	-1,053 ± 0,015	-1,037 ± 0,046
HL 2350	-1,023 ± 0,012	-1,037 ± 0,025	-1,073 ± 0,015	-1,060 ± 0,030	-1,033 ± 0,025
RELUGA	-1,077 ± 0,006	-1,067 ± 0,015	-1,113 ± 0,021	-1,087 ± 0,029	-1,097 ± 0,029
HL 1579	-1,080 ± 0,010	-1,077 ± 0,012	-1,090 ± 0,030	-1,087 ± 0,006	-1,093 ± 0,025
RUBINSTEP	-1,053 ± 0,015	-1,057 ± 0,015	-1,057 ± 0,015	-1,053 ± 0,015	-1,057 ± 0,015
FROSTA	-1,093 ± 0,015	-1,107 ± 0,025	-1,113 ± 0,021	-1,113 ± 0,021	-1,107 ± 0,025
HL 827	-1,050 ± 0,020	-1,050 ± 0,017	-1,087 ± 0,025	-1,127 ± 0,038	-1,120 ± 0,026
HL 1597	-1,040 ± 0,020	-1,067 ± 0,025	-1,103 ± 0,031	-1,067 ± 0,021	-1,070 ± 0,040
HL 1185	-1,093 ± 0,015	-1,073 ± 0,032	-1,083 ± 0,021	-1,073 ± 0,047	-1,077 ± 0,047
HL 155-05	-1,073 ± 0,015	-1,073 ± 0,015	-1,110 ± 0,020	-1,077 ± 0,025	-1,097 ± 0,012
HL 601	-1,047 ± 0,015	-1,057 ± 0,023	-1,117 ± 0,025	-1,087 ± 0,038	-1,087 ± 0,025
HL 2010	-1,127 ± 0,015	-1,103 ± 0,032	-1,097 ± 0,031	-1,090 ± 0,044	-1,067 ± 0,047
HL 32	-1,047 ± 0,015	-1,097 ± 0,035	-1,110 ± 0,026	-1,093 ± 0,015	-1,133 ± 0,006
B 11	-1,077 ± 0,015	-1,073 ± 0,021	-1,100 ± 0,036	-1,093 ± 0,055	-1,080 ± 0,044
HL 53	-1,110 ± 0,020	-1,080 ± 0,036	-1,053 ± 0,015	-1,080 ± 0,017	-1,103 ± 0,032
HL 1651	-1,100 ± 0,017	-1,063 ± 0,015	-1,093 ± 0,025	-1,067 ± 0,025	-1,097 ± 0,042

Tabulka č. XII: Vodní potenciál (Mpa)

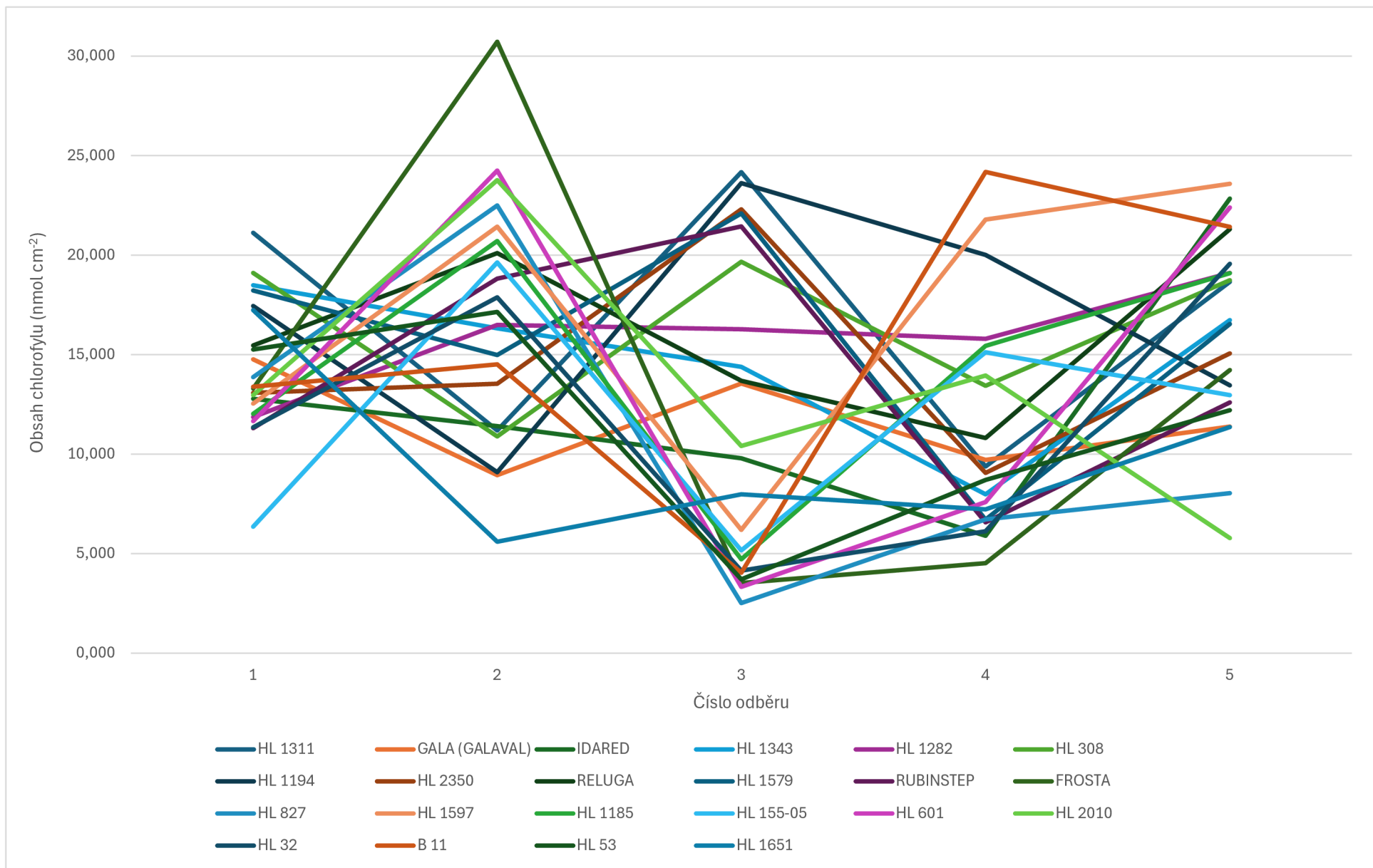
Stresovaná varianta					
	1	2	3	4	5
HL 1311	-1,053 ± 0,015	-1,060 ± 0,017	-1,317 ± 0,031	-1,533 ± 0,025	-0,440 ± 1,602
GALA (GALAVAL)	-1,067 ± 0,012	-1,103 ± 0,021	-1,370 ± 0,030	-1,543 ± 0,025	-1,397 ± 0,021
IDARED	-1,077 ± 0,006	-1,070 ± 0,020	-1,323 ± 0,035	-1,523 ± 0,012	-1,393 ± 0,021
HL 1343	-1,060 ± 0,017	-1,053 ± 0,015	-1,313 ± 0,040	-1,560 ± 0,020	-1,350 ± 0,030
HL 1282	-1,063 ± 0,015	-1,087 ± 0,035	-1,300 ± 0,036	-1,527 ± 0,045	-1,387 ± 0,015
HL 308	-1,073 ± 0,015	-1,083 ± 0,015	-1,293 ± 0,032	-1,607 ± 0,025	-1,290 ± 0,020
HL 1194	-1,020 ± 0,017	-1,030 ± 0,020	-1,317 ± 0,025	-1,513 ± 0,029	-1,343 ± 0,021
HL 2350	-1,023 ± 0,012	-1,037 ± 0,025	-1,353 ± 0,035	-1,617 ± 0,023	-1,333 ± 0,029
RELUGA	-1,077 ± 0,006	-1,067 ± 0,015	-1,340 ± 0,030	-1,593 ± 0,031	-1,293 ± 0,040
HL 1579	-1,080 ± 0,010	-1,077 ± 0,012	-1,353 ± 0,035	-1,587 ± 0,025	-1,283 ± 0,012
RUBINSTEP	-1,053 ± 0,015	-1,057 ± 0,015	-1,320 ± 0,026	-1,487 ± 0,035	-1,283 ± 0,045
FROSTA	-1,093 ± 0,015	-1,107 ± 0,025	-1,310 ± 0,046	-1,560 ± 0,026	-1,257 ± 0,035
HL 827	-1,050 ± 0,020	-1,050 ± 0,017	-1,287 ± 0,025	-1,560 ± 0,040	-1,277 ± 0,057
HL 1597	-1,040 ± 0,020	-1,067 ± 0,025	-1,320 ± 0,030	-1,573 ± 0,035	-1,317 ± 0,040
HL 1185	-1,093 ± 0,015	-1,073 ± 0,032	-1,323 ± 0,035	-1,563 ± 0,031	-1,317 ± 0,031
HL 155-05	-1,073 ± 0,015	-1,073 ± 0,015	-1,330 ± 0,040	-1,590 ± 0,026	-1,297 ± 0,040
HL 601	-1,047 ± 0,015	-1,057 ± 0,023	-1,313 ± 0,035	-1,590 ± 0,030	-1,330 ± 0,026
HL 2010	-1,127 ± 0,015	-1,103 ± 0,032	-1,297 ± 0,035	-1,540 ± 0,030	-1,313 ± 0,031
HL 32	-1,047 ± 0,015	-1,097 ± 0,035	-1,350 ± 0,020	-1,567 ± 0,032	-1,270 ± 0,030
B 11	-1,077 ± 0,015	-1,073 ± 0,021	-1,343 ± 0,031	-1,493 ± 0,025	-1,297 ± 0,040
HL 53	-1,110 ± 0,020	-1,080 ± 0,036	-1,347 ± 0,025	-1,493 ± 0,042	-1,273 ± 0,035
HL 1651	-1,100 ± 0,017	-1,063 ± 0,015	-1,317 ± 0,035	-1,097 ± 0,032	-1,227 ± 0,032

Tabulka č. XIII: Rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					
Kontrolní varianta					
	1	2	3	4	5
HL 1311	7,66 ± 0,02	8,25 ± 0,02	8,72 ± 0,02	8,82 ± 0,02	8,92 ± 0,05
GALA (GALAVAL)	7,26 ± 0,02	7,99 ± 0,02	7,61 ± 0,01	7,84 ± 0,01	8,05 ± 0,02
IDARED	7,37 ± 0,02	8,07 ± 0,02	8,54 ± 0,02	8,60 ± 0,01	8,63 ± 0,01
HL 1343	7,26 ± 0,03	8,14 ± 0,01	8,74 ± 0,01	8,82 ± 0,01	8,89 ± 0,02
HL 1282	7,62 ± 0,08	8,28 ± 0,02	8,94 ± 0,02	8,97 ± 0,01	9,00 ± 0,02
HL 308	7,14 ± 0,03	7,70 ± 0,02	7,69 ± 0,02	8,39 ± 0,01	9,07 ± 0,01
HL 1194	7,64 ± 0,03	8,70 ± 0,01	8,95 ± 0,01	8,44 ± 0,01	7,93 ± 0,01
HL 2350	7,14 ± 0,03	7,67 ± 0,01	7,43 ± 0,02	8,24 ± 0,02	9,05 ± 0,01
RELUGA	7,06 ± 0,02	7,83 ± 0,01	8,55 ± 0,01	8,20 ± 0,01	7,84 ± 0,02
HL 1579	7,34 ± 0,02	8,29 ± 0,03	9,03 ± 0,02	8,80 ± 0,02	8,55 ± 0,02
RUBINSTEP	7,31 ± 0,02	8,17 ± 0,01	8,95 ± 0,02	9,01 ± 0,01	9,07 ± 0,01
FROSTA	7,29 ± 0,42	7,95 ± 0,02	8,62 ± 0,32	8,87 ± 0,02	9,01 ± 0,02
HL 827	7,07 ± 0,02	7,62 ± 0,10	7,25 ± 2,55	8,39 ± 0,05	8,68 ± 0,19
HL 1597	7,16 ± 0,02	7,77 ± 0,02	8,33 ± 0,09	8,28 ± 0,09	8,18 ± 0,13
HL 1185	7,23 ± 0,02	7,88 ± 0,02	8,47 ± 0,04	8,50 ± 0,09	8,58 ± 0,02
HL 155-05	7,26 ± 0,03	7,83 ± 0,01	7,96 ± 0,19	8,27 ± 0,04	8,58 ± 0,19
HL 601	7,13 ± 0,01	7,69 ± 0,02	8,25 ± 0,13	8,21 ± 0,12	8,07 ± 0,10
HL 2010	7,43 ± 0,03	8,09 ± 0,02	8,72 ± 0,15	8,51 ± 0,12	8,39 ± 0,18
HL 32	7,53 ± 0,01	7,73 ± 0,01	7,56 ± 0,43	8,15 ± 0,12	8,77 ± 0,37
B 11	7,26 ± 0,02	7,65 ± 0,02	7,90 ± 0,16	7,85 ± 0,04	7,73 ± 0,12
HL 53	7,18 ± 0,02	7,77 ± 0,02	7,90 ± 0,02	7,96 ± 0,09	8,05 ± 0,05
HL 1651	7,08 ± 0,02	7,33 ± 0,01	7,56 ± 0,12	7,68 ± 0,07	7,91 ± 0,02

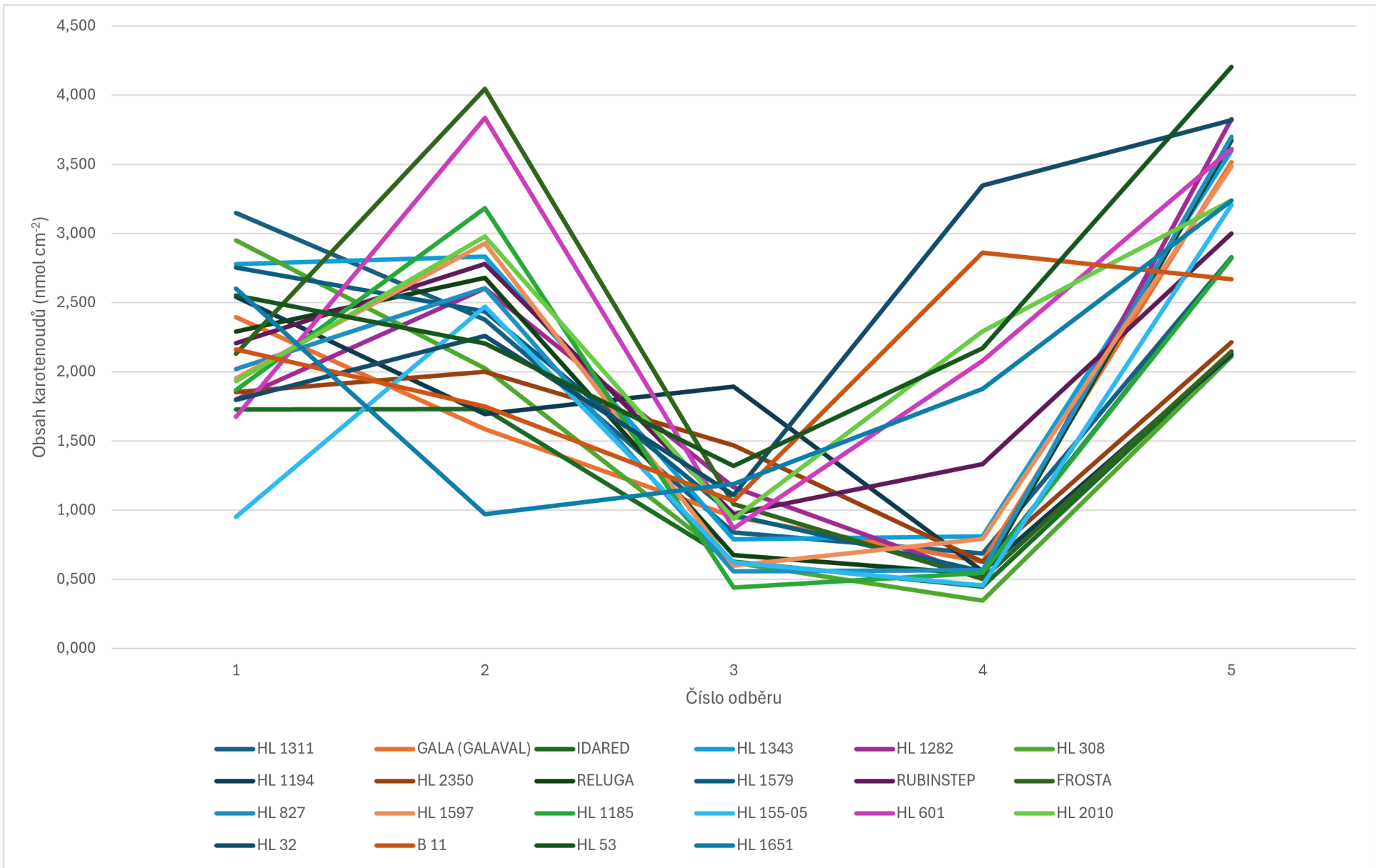
Tabulka č. XIV: Rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					
Stresovaná varianta					
	1	2	3	4	5
HL 1311	7,66 ± 0,02	8,25 ± 0,02	8,63 ± 0,02	8,69 ± 0,01	8,76 ± 0,01
GALA (GALAVAL)	7,26 ± 0,02	7,99 ± 0,02	8,36 ± 0,01	8,40 ± 0,01	8,44 ± 0,02
IDARED	7,37 ± 0,02	8,07 ± 0,02	8,46 ± 0,02	8,53 ± 0,01	8,59 ± 0,02
HL 1343	7,26 ± 0,03	8,14 ± 0,01	8,65 ± 0,02	8,71 ± 0,02	8,69 ± 0,31
HL 1282	7,62 ± 0,08	8,28 ± 0,02	8,87 ± 0,02	8,90 ± 0,02	8,96 ± 0,01
HL 308	7,14 ± 0,03	7,70 ± 0,02	8,45 ± 0,02	8,49 ± 0,01	8,53 ± 0,01
HL 1194	7,64 ± 0,03	8,70 ± 0,01	8,86 ± 0,02	8,91 ± 0,02	9,00 ± 0,02
HL 2350	7,14 ± 0,03	7,67 ± 0,01	8,16 ± 0,02	8,19 ± 0,02	8,22 ± 0,01
RELUGA	7,06 ± 0,02	7,83 ± 0,01	8,47 ± 0,01	8,54 ± 0,01	8,63 ± 0,01
HL 1579	7,34 ± 0,02	8,29 ± 0,03	8,94 ± 0,02	9,00 ± 0,02	9,05 ± 0,01
RUBINSTEP	7,31 ± 0,02	8,17 ± 0,01	8,87 ± 0,01	8,90 ± 0,07	8,99 ± 0,02
FROSTA	7,29 ± 0,42	7,95 ± 0,02	8,64 ± 0,02	8,62 ± 0,36	8,79 ± 0,02
HL 827	7,07 ± 0,02	7,62 ± 0,10	8,86 ± 0,02	8,82 ± 0,17	8,89 ± 0,02
HL 1597	7,16 ± 0,02	7,77 ± 0,02	8,27 ± 0,02	8,38 ± 0,13	8,41 ± 0,02
HL 1185	7,23 ± 0,02	7,88 ± 0,02	8,75 ± 0,01	8,69 ± 0,19	8,75 ± 0,02
HL 155-05	7,26 ± 0,03	7,83 ± 0,01	8,15 ± 0,03	8,19 ± 0,04	8,19 ± 0,01
HL 601	7,13 ± 0,01	7,69 ± 0,02	8,20 ± 0,02	8,31 ± 0,15	8,32 ± 0,01
HL 2010	7,43 ± 0,03	8,09 ± 0,02	8,67 ± 0,01	8,65 ± 0,16	8,76 ± 0,02
HL 32	7,53 ± 0,01	7,73 ± 0,01	8,17 ± 0,02	8,22 ± 0,01	8,26 ± 0,02
B 11	7,26 ± 0,02	7,65 ± 0,02	8,20 ± 0,02	8,21 ± 0,03	8,25 ± 0,01
HL 53	7,18 ± 0,02	7,77 ± 0,02	8,14 ± 0,02	8,17 ± 0,05	8,16 ± 0,01
HL 1651	7,08 ± 0,02	7,33 ± 0,01	8,25 ± 0,02	8,30 ± 0,02	8,33 ± 0,01



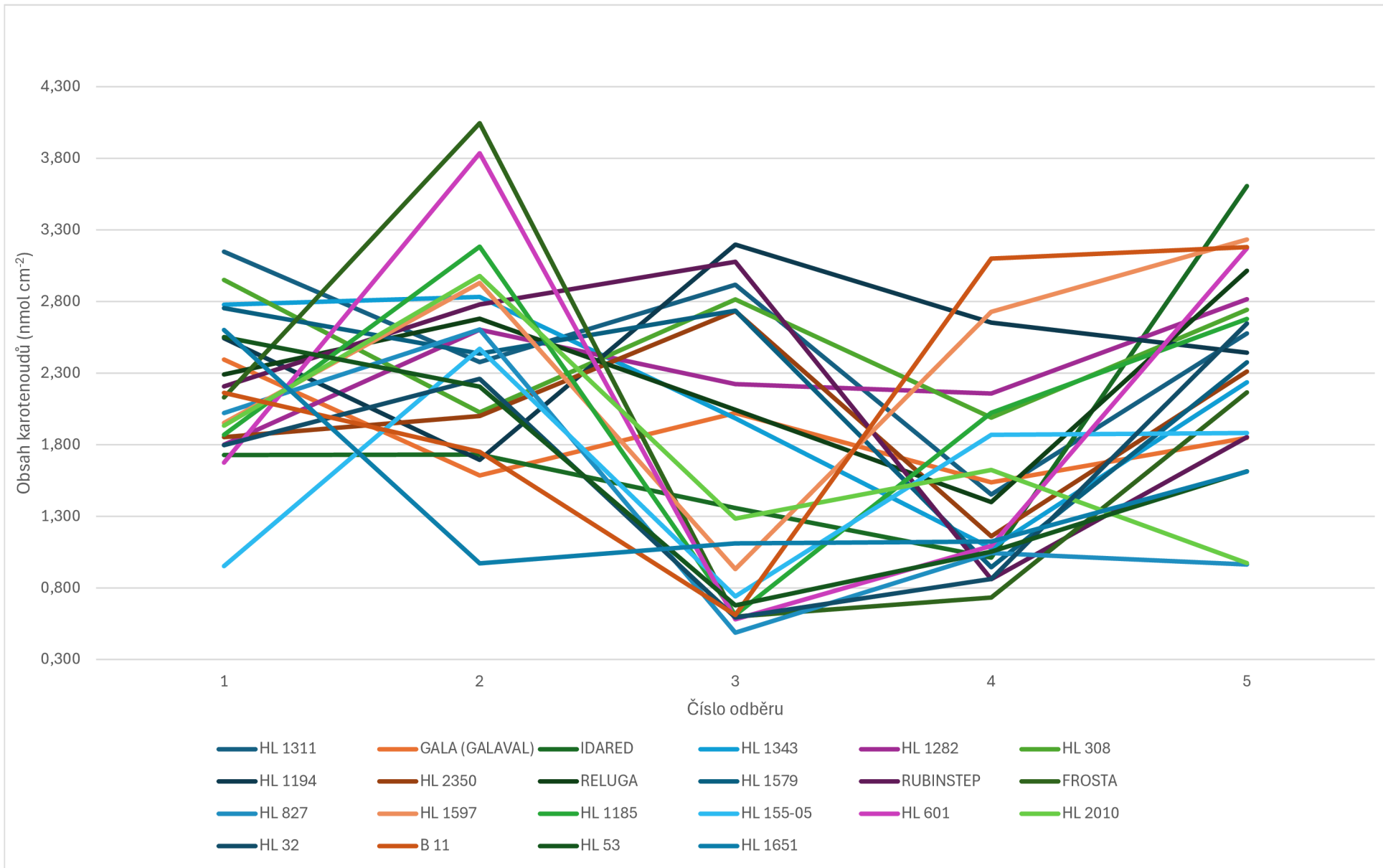
Graf I: Obsah fotosynteticky aktivního pigmentu (chlorofylu) v listech - kontrolní měření



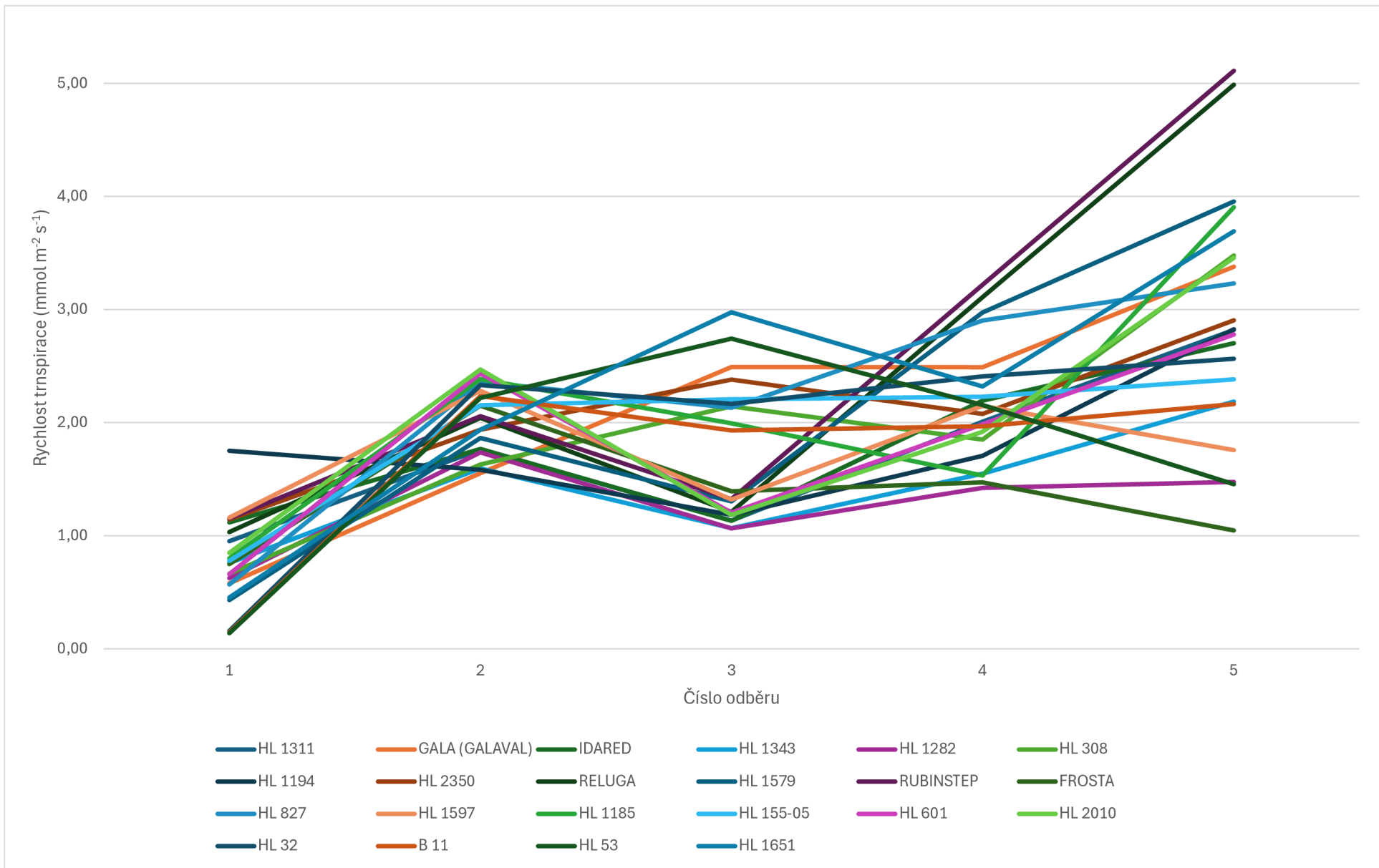
Graf II: Obsah fotosynteticky aktivního pigmentu (chlorofylu) v listech - stresovaná varianta



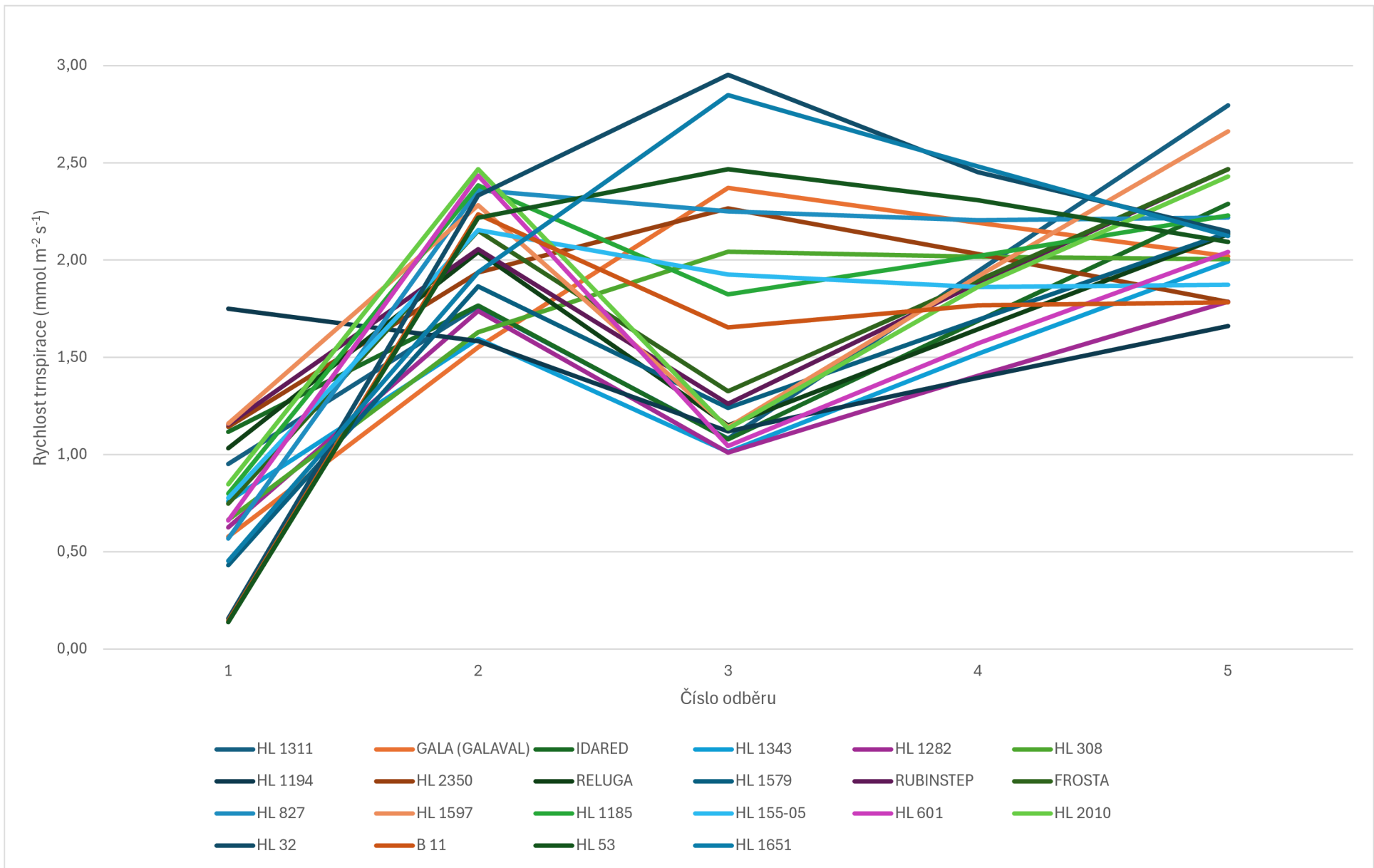
Graf III: Obsah fotosynteticky aktivního pigmentu (karotenoidů) v listech - kontrolní měření



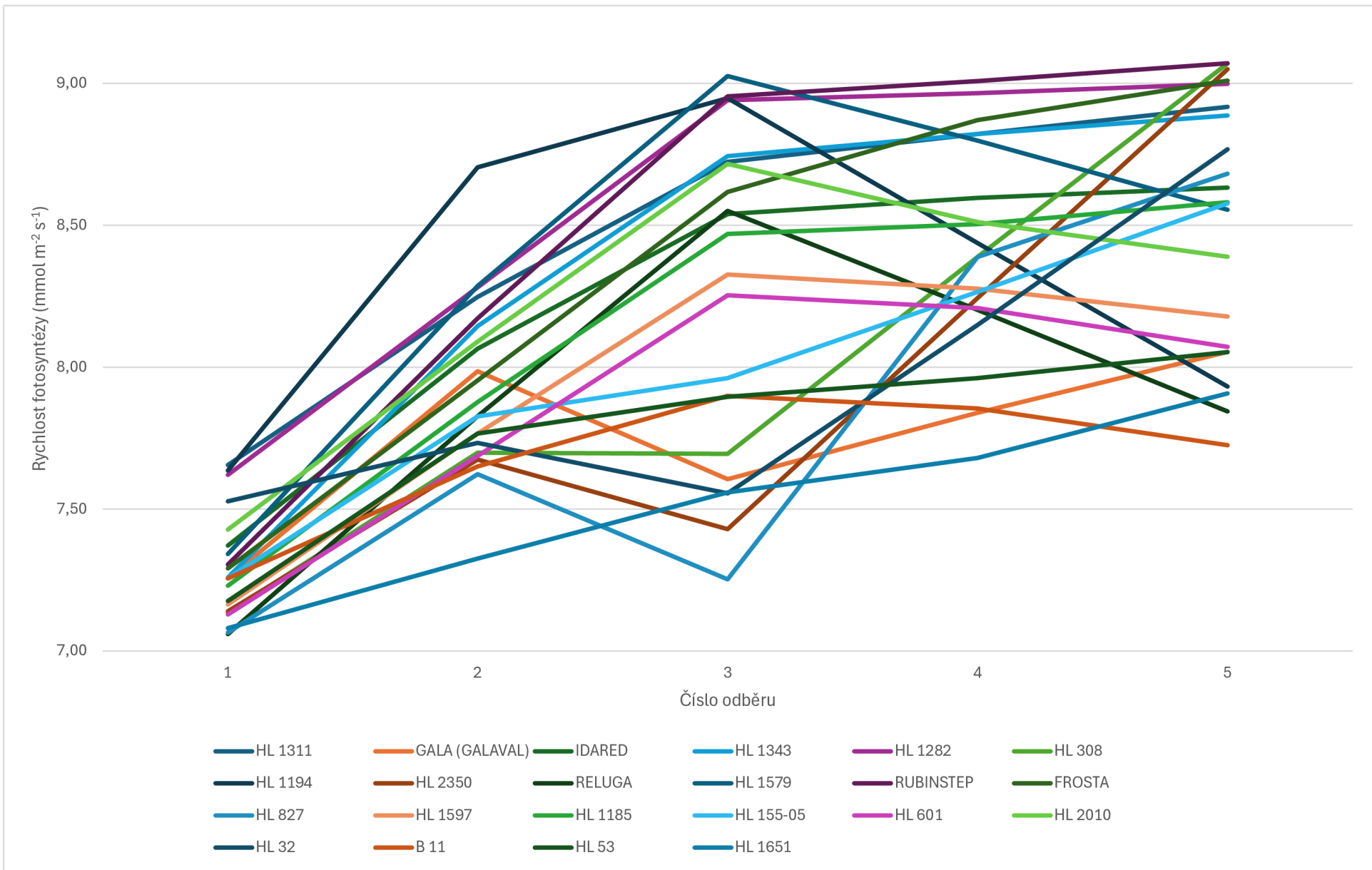
Graf IV: Obsah fotosynteticky aktivního pigmentu (karotenoidů) v listech - stresovaná varianta



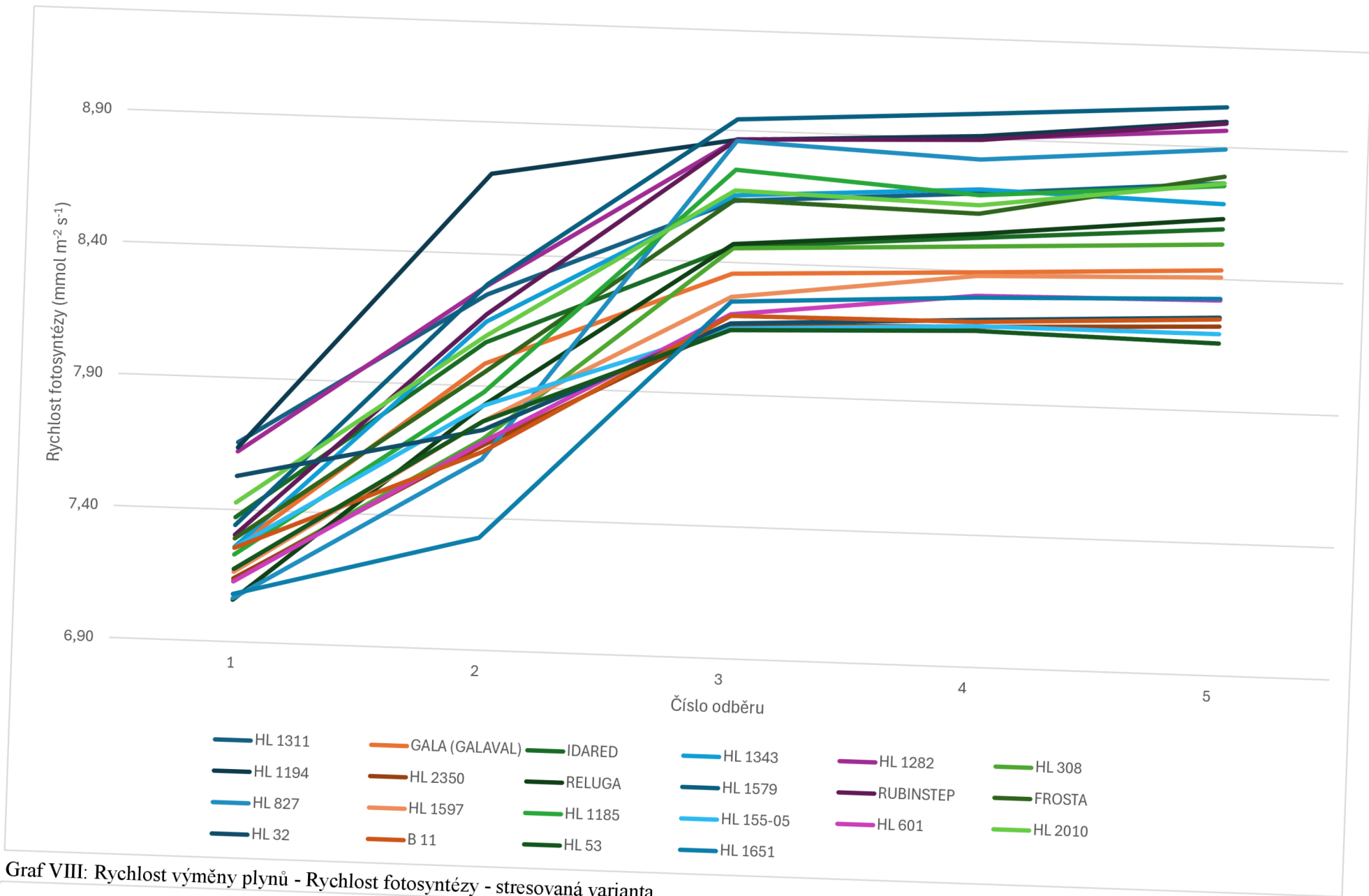
Graf V: Rychlost výměny plynů - Rychlost transpirace - kontrolní měření



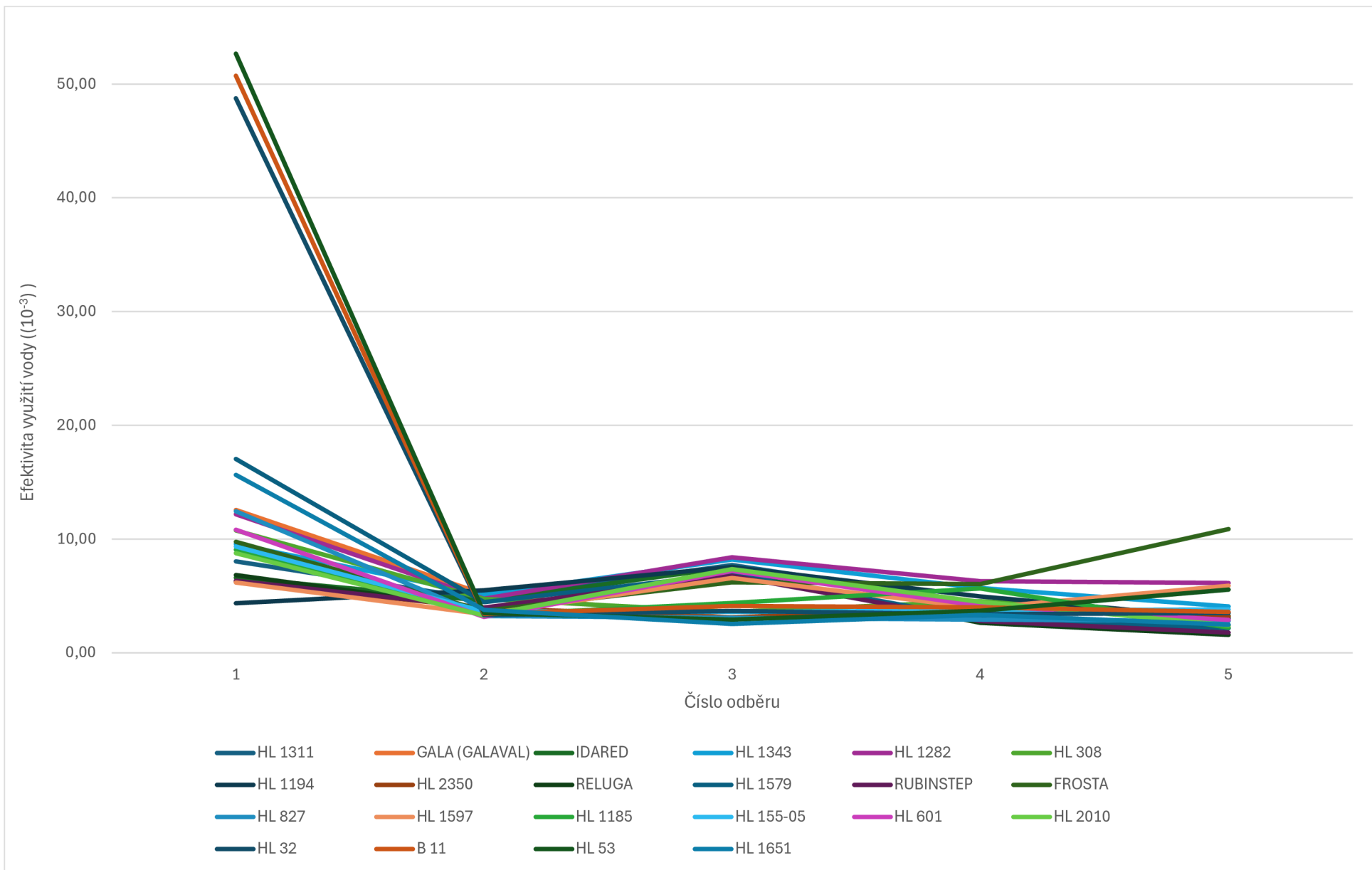
Graf VI: Rychlost výměny plynů - Rychlost transpirace - stresovaná varianta



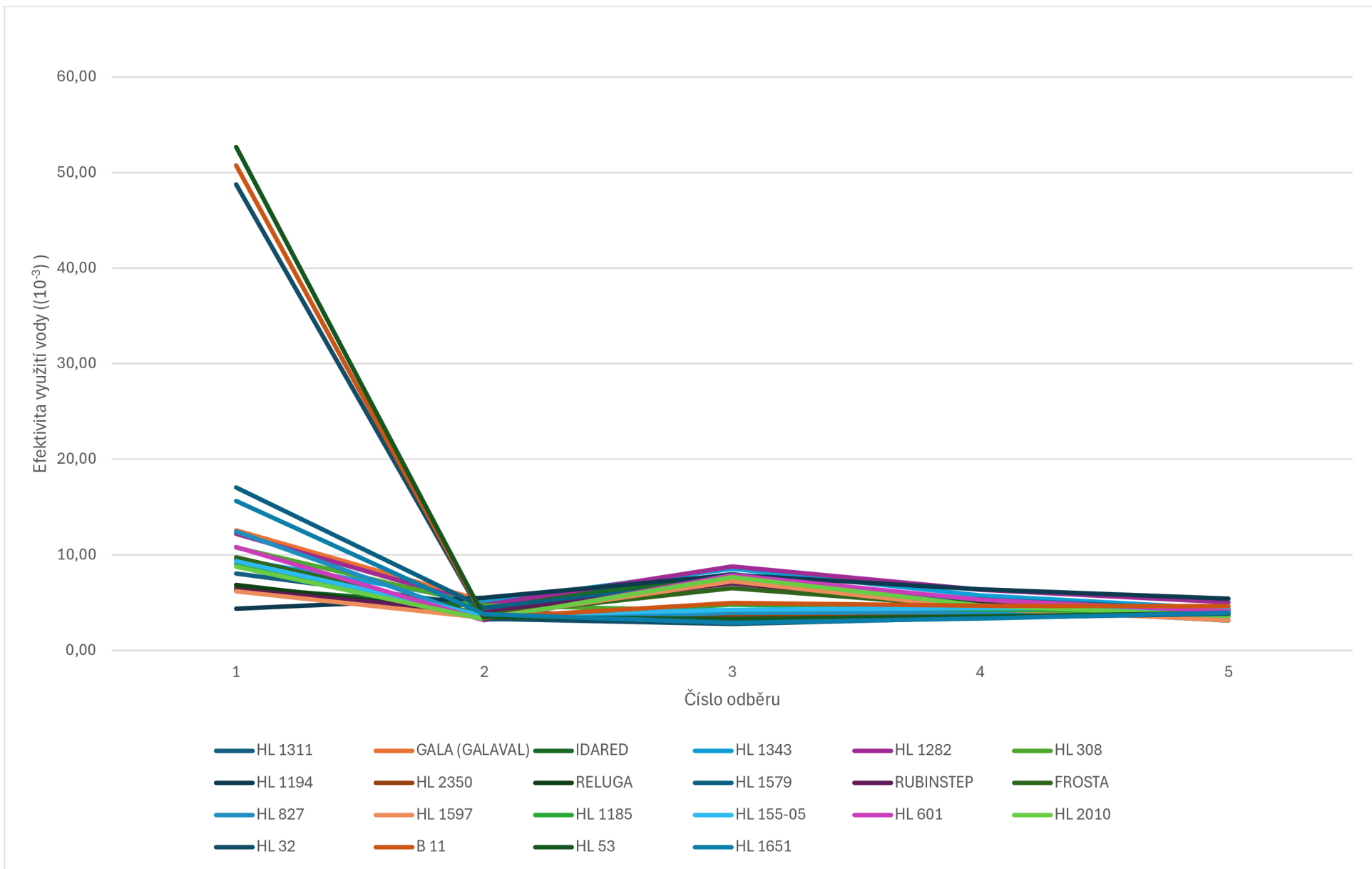
Graf VII: Rychlost výměny plynů - Rychlost fotosyntézy - kontrolní měření



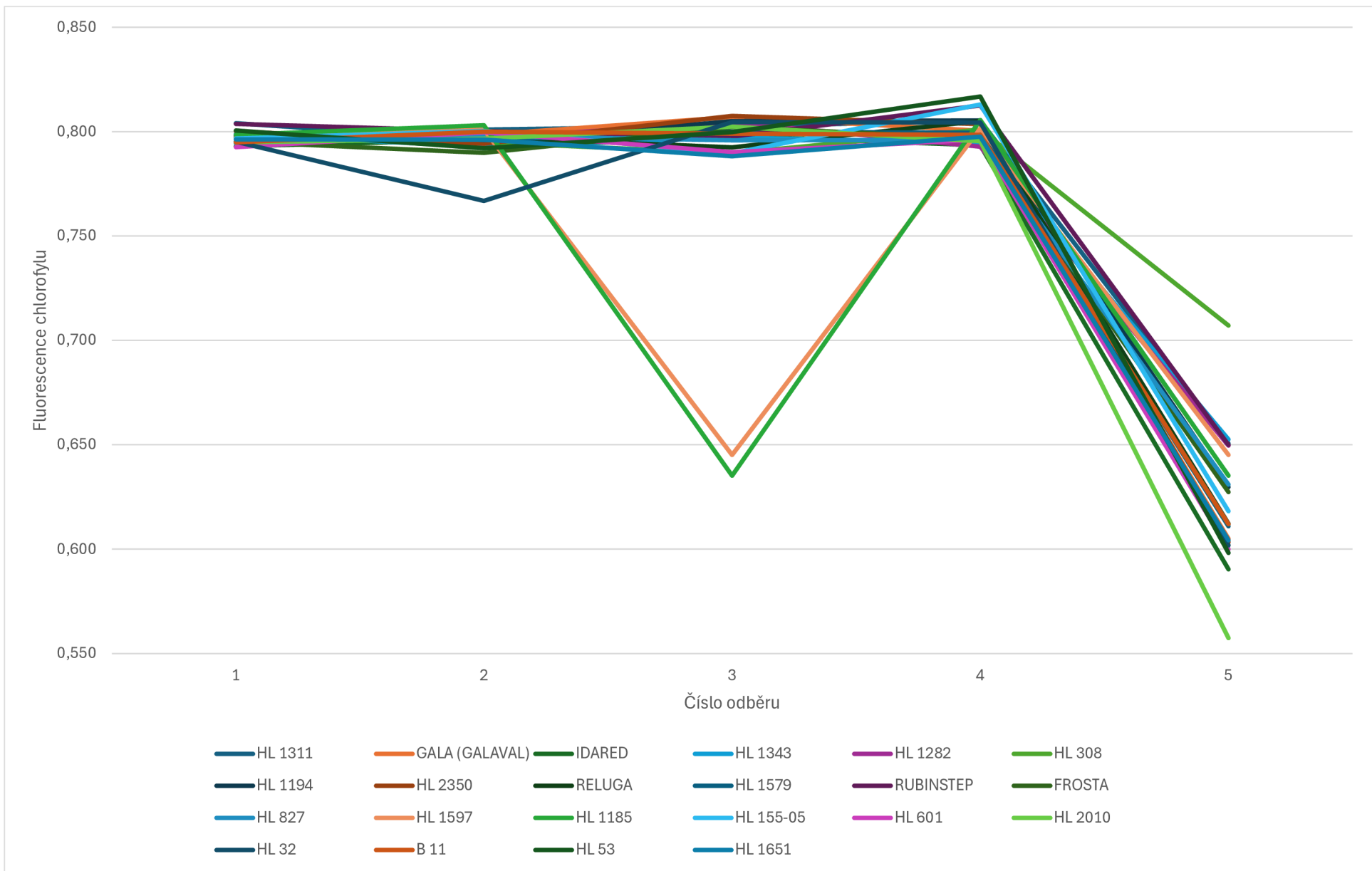
Graf VIII: Rychlost výměny plynů - Rychlost fotosyntézy - stresovaná varianta



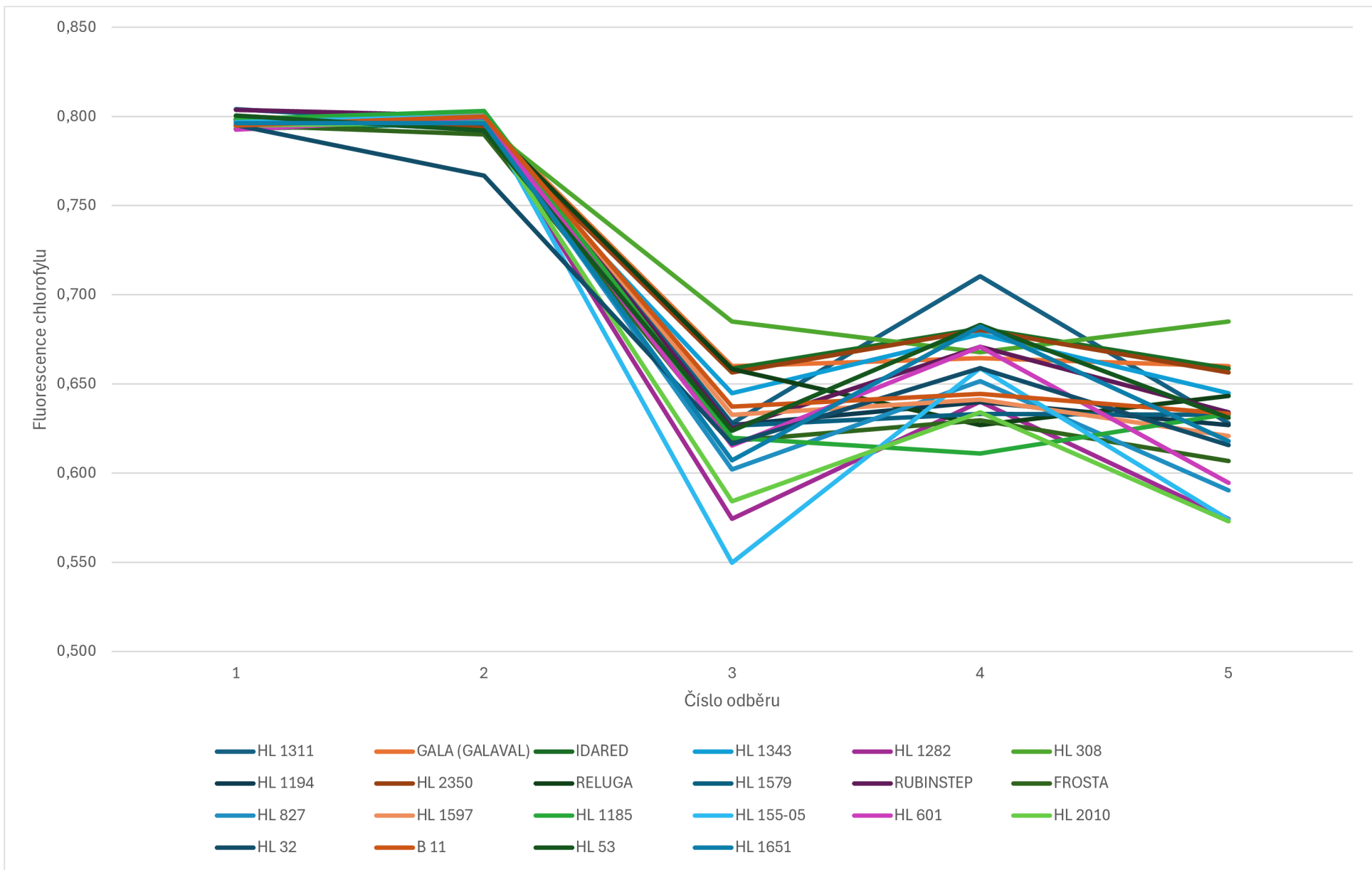
Graf IX: Efektivita využití vody (WUE) - kontrolní měření



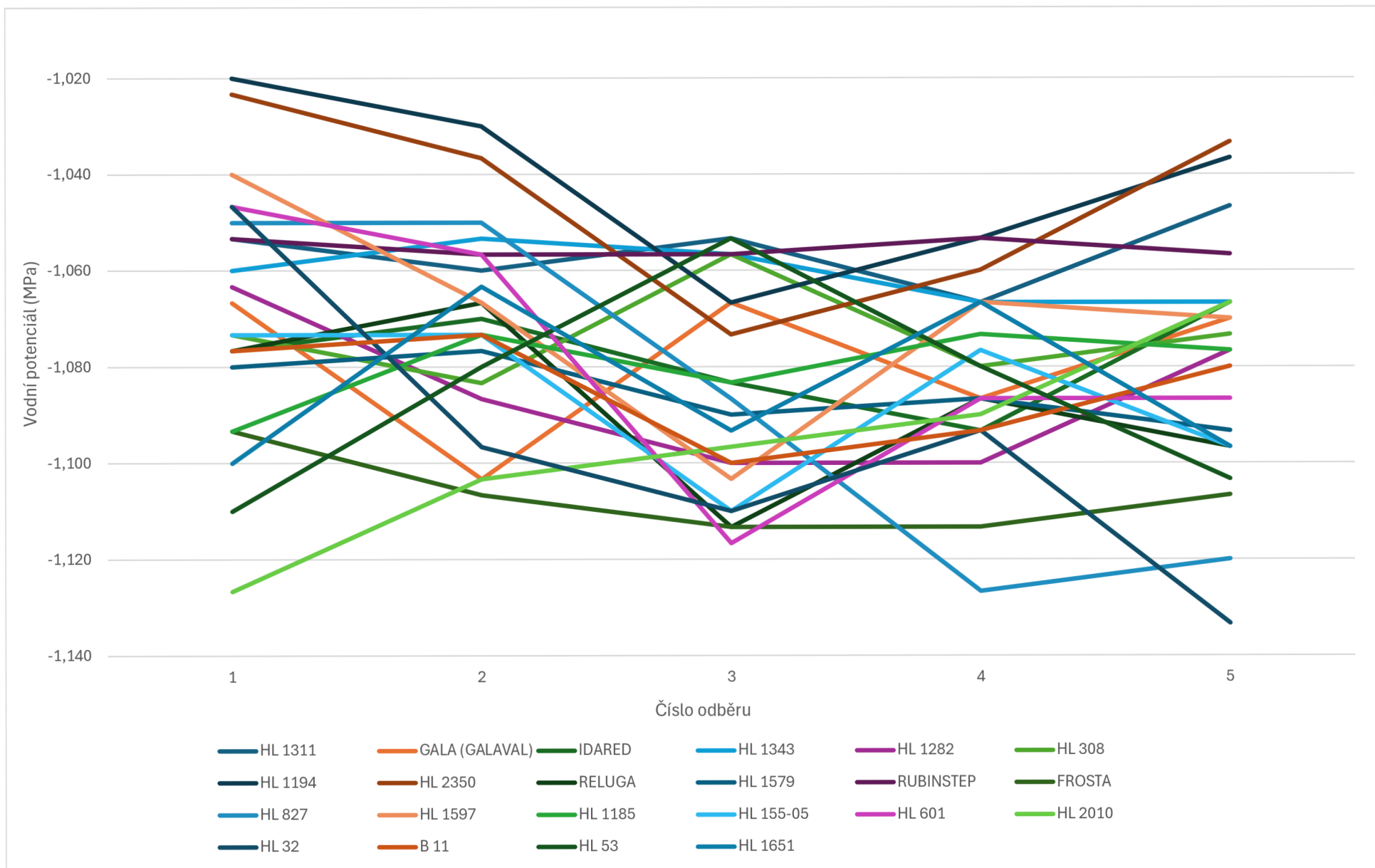
Graf X: Efektivita využití vody (WUE) - stresovaná varianta



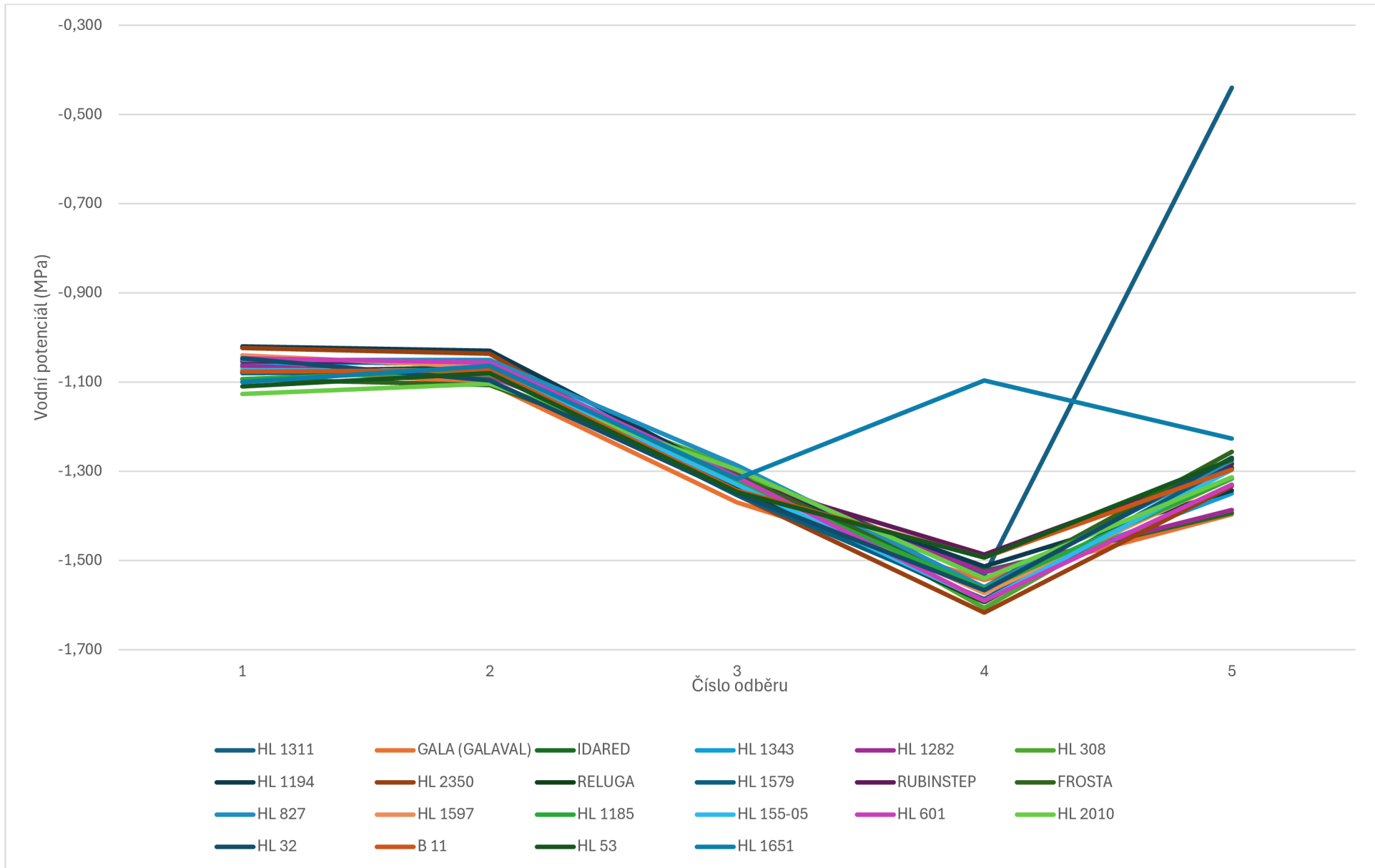
Graf XI: Fluorescence chlorofylu - kontrolní měření



Graf XII: Fluorescence chlorofylu - stresovaná varianta



Graf XIII: Vodní potenciál - kontrolní měření



Graf XIV: Vodní potenciál - stresovaná varianta