

VLIV ÚNAVY PŮDY A ZÁVLAHY NA HOSPODÁŘSKÉ VLASTNOSTI A MINERÁLNÍ VÝŽIVU JABLONÍ ODRŮDY 'GALA BROOKFIELD'

INFLUENCE OF THE REPLANT DISEASE AND IRRIGATION MANAGEMENT ON PRODUCTIVITY AND MINERAL NUTRITION OF APPLE TREES OF 'GALA BROOKFIELD'

Martin Mészáros, Klára Scháňková, Tomáš Bílek, Jan Náměstek

VÝZKUMNÝ A ŠLECHTITELSKÝ ÚSTAV OVOCNÁŘSKÝ HOLOVOUSY s.r.o.,
Holovousy 129, 508 01 Holovousy

e-mail: martin.meszaros@vsuo.cz

ABSTRAKT

Únava půdy představuje významnou překážku v opakovaném pěstování trvalých kultur na stejném pozemku. Vliv únavy půdy na minerální výživu ovocných dřevin však doposud nebyl dokumentován. Cílem studie bylo popsat a porovnat pěstitelské vlastnosti a výživový stav jabloní 'Gala Brookfield' na lokalitách v závislosti na výskytu únavy půdy při použití rozličných závlahových strategií. V pokusu byly hodnoceny parametry intenzity růstu, intenzita kvetení, celkový výnos, kvalita plodů a minerální obsah N, P, K, Mg a Ca v listech jabloní. Zjistili jsme, že jabloně rostoucí na unavené půdě se vyznačují 30% poklesem růstu a 16% poklesem plodnosti. Vzhledem k nižšímu výnosu a průměrné hmotnosti plodů bylo potvrzeno, že jabloně pěstované na unavené půdě jsou citlivější k vodnímu deficitu. Nižší specifická plodnost a kvalita plodů u bujně rostoucích jabloní na neunavené půdě dokumentuje potřebu zajištění vhodných světelných podmínek v sadu. Obsah dusíku byl závislý především na poměru generativního a vegetativního růstu, zatímco akumulace fosforu, draslíku, hořčíku a vápníku v listech jabloní byla v rámci hodnocených lokalit více specifická. Jabloně obecně kumulují více hořčíku při pěstování na neunavené půdě. Využití řízené deficitní závlahy v kombinaci s intenzivnější probírkou plodů může v praxi vyžadovat úpravu managementu hnojení zejména fosforem, hořčíkem a vápníkem.

Klíčová slova: intenzita růstu, specifický výnos, řízená deficitní závlaha, probírka plodů, minerální obsah listů

ABSTRACT

Replant disease represents an important obstacle in replantation of horticultural crops. There is a lack of knowledge about the influence of replant disease on nutritional status of fruit trees. This study was focused on comparison of the growth and production characteristics and nutritional status of apple trees 'Gala Brookfield' among different location according to replant problems and used irrigation strategy. In this trial, growth intensity, flowering intensity, yield, fruit quality, and leaf mineral content of N, P, K, Mg, and Ca were assessed. We found that the apple trees planted in replant soils grows 30 % less and bears 16 % less fruit than those in fresh soils. They are more susceptible to water deficit, documented by lower yield and mean fruit weight. Lower yield efficiency and fruit quality of the vigorously growing apple trees in fresh soil shows to the need for establishment of better light conditions in orchard. The nitrogen content was more related to the proportion between generative and vegetative growth, whereas the phosphorus, potassium, magnesium, and calcium were more site specific. Generally, apple trees are prone to accumulate more magnesium in leaves on fresh soils. The use of regulated deficit irrigation with intense fruit thinning may require corrections of the fertilization management with P, Mg, and Ca.

Keywords: growth intensity, yield efficiency, regulated deficit irrigation, fruit set regulation, leaf mineral content.

ÚVOD

Ovocné dřeviny představují z pravidla trvalé kultury pěstované běžně v cyklu 10–15 let na jednom pozemku. Vzhledem ke zvyšující se míře investic (kapková závlaha, opěrné konstrukce, protikroupové sítě atd.) na jednotku plochy většinou dochází k opakovanému pěstování těchto plodin na stejných pozemcích. To je však spojeno s rizikem rozvoje tzv. únavy půdy. Únava půdy je syndrom spojený s významným zhoršením pěstitelských vlastností kulturních rostlin včetně ovocných dřevin, který se projevuje poruchami fyziologických procesů a následným zhoršením vegetativního růstu, produkce a kvality ovoce (Mazzola and Manici 2012, Robinson *et al.* 2012, Manici *et al.* 2013). Výskyt únavy půdy přitom bývá důsledkem vzájemného působení mnoha různých faktorů ovlivňujících fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy. Jednostranné odčerpání živin (Wilson *et al.* 2004, Mahnkopp *et al.* 2018), akumulace kořenových výměšků toxických pro stejný rostlinný druh (Wittenmayer and Szábo 2000, Hofmann *et al.* 2009), nebo změna mikrobiálního složení a nárůstu četnosti výskytu specifických či nespecifických půdních patogenů (Mazzola 1998). Tyto faktory pak zpravidla vedou k inhibici růst nebo přímému poškození kořenové soustavy (Grunewaldt-Stöcker *et al.* 2018, Svoboda *et al.* 2020) a následným ztrátám na produkci (Mazzola and Manici, 2012).

Ve starší literatuře se sporadicky vyskytují zmínky o propojení syndromu únavy půdy s výskytem deficitu některých minerálních živin (Hoestra 1968). Nicméně tyto prameny uvádí, že případný deficit prvků není primárním důvodem špatného růstu a

vývoje ovocných dřevin, nakolik se nevyskytují pravidelně a při pěstování jiného rostlinného druhu na stejném pozemku se nemusí vůbec projevit. Nicméně omezení fyziologických procesů v kořenovém systému ovocných dřevin (Henfrey *et al.* 2015) způsobené únavou půdy může následně měnit obsah živin v rostlinných pletivech (Nielsen *et al.* 1990). Avšak zmínky o akumulaci živin v listech ovocných dřevin v podmínkách únavy půdy pocházejí zpravidla pouze z pokusů porovnávajících fumigační (Winkelman *et al.* 2019) nebo mykorizní (Lü and Wu 2018, Przybyłko *et al.* 2021) ošetření kořenů společně s aplikací kompostů nebo jiných hnojiv (van Schoor a kol., 2009), popřípadě před – nebo povýsadbových ošetřeních mladých ovocných stromů (Nielsen *et al.* 1990). Ucelené informace o kumulaci živin v listech plodné výsadby jabloní pěstovaných v půdních podmínkách s přítomností a bez přítomnosti příznaků půdní únavy nejsou k dispozici.

Vegetativní a generativní růst je u ovocných dřevin do jisté míry kompetitivní. Při omezení počtu plodů pomocí probírky dochází k podpoře růstu mladých letorostů (Racsó 2006). Na druhou stranu dřívější ukončení vegetativního růstu letorostů umožňuje intenzivnější alokaci asimilátů do rostoucích plodů (Forshey and Elfving 1989, Lakso and Goffinet 2013). Z výsledků dosavadního výzkumu vyplývá, že minerální kompozice listů je do jisté míry závislá na intenzitě vegetativního růstu a celkové plodnosti stromů (Mészáros *et al.* 2021). Zároveň růst jednotlivých orgánů ovocných stromků vyžaduje odlišné čerpání a distribuci živin (Hansen 1971). Nielsen *et al.* (2010) ve své práci uvádí vedle vlivu plodnosti na minerální výživu jabloní i vliv doplňkové závlahy. Závlaha je přitom vedle doplnění živin hnojením považována za faktor zmírňující projevy půdní únavy (Hipps 1997). Porovnání vlivu těchto faktorů na výživný stav jabloní v podmínkách jejich pěstování na unavené i neunavené půdě však chybí.

Cílem publikace je dokumentace rozdílů v minerální výživě v souvislosti s pěstitelskými vlastnostmi jabloní vysazených v podmínkách unavené a neunavené půdy s využitím různých závlahových strategií. Naše výsledky tak přispívají k prohloubení poznatků a umožňují stanovení potenciálních rozdílů v managementu výživy a závlahy jabloňových výsadb v různých podmínkách půdní kvality definované přítomností syndromu půdní únavy.

MATERIÁL A METODY

Pokus byl proveden v letech 2019 a 2020 v sedmileté zavlažované výsadbě jabloní odrůdy 'Gala Brookfield' pěstované na podnoži M9. Spon výsadby je 3,5 × 1,0 m. Stromy jsou pěstovány ve tvaru štíhlého větene s modifikací řezu „na klik“. Pokusný sad se nachází na středně těžké, hlinité půdě na pozemku VŠÚO Holovousy s.r.o. Část výsadby se nachází na pozemku s předpokládaným vlivem únavy půdy, která byla po dobu minimálně 40 let intenzivně využívána ke školkařské výrobě jaderovin a peckovin. Druhá část porostu je pěstovaná na ploše bez příznaků únavy půdy, kde byl v předchozích cca 15 letech pěstován rybíz (varianty označeny písmenem R). Ve výsadbě jsou využívány nadkrývací systémy s šedou sítí se stínícím efektem 13 % a

velikosti ok $2,9 \times 8$ mm. Příkmené pásy ve výsadbě byly udržovány v bezplevelném stavu pomocí herbicidů (Tab. 1), meziřadí bylo trvale zatravněno a v pravidelných intervalech sežínáno. U jabloní byla ve fenologické fázi BBCH 72 (velikost plodů cca 20 mm) provedena ruční probírka plodů s pomůckou „Equilifruit“ (Obr. 1, INRA, Montpellier, Francie). Tato pomůcka je využívána ke stanovení optimálního zatížení jednotlivých větví plody s přihlédnutím k jejich síle a pěstované odrůdě.

Pro závlahu byla použita kapková závlaha s vydatností kapkovačů 2,3 l/hod a rozestupem 0,5 m. Na obou lokalitách byly vzhledem k výskytu únavy půdy hodnoceny 4 závlahové varianty blíže popsané v tabulce 2. Aplikace závlahy byla prováděna v období dubna až září v obou hodnocených letech. Potřeba závlahové vody byla stanovována výpočtem přes vodní bilanci pozemku dle aktuální plodiny evapotranspirace (ETc). Data o denním průběhu ETc, dešťových srážek, včetně termínů a dávek závlahy pokrývající ETc v letech 2019–2020 jsou uvedena v grafu 1. Ta představuje celkový výpar vody z dané plochy, tedy z povrchu půdy i rostlin. Průběh počasí a data pro výpočet evapotranspirace na experimentální lokalitě byla zaznamenávána meteostanicí umístěnou přímo v porostu. Takto získaná data byla ověřována porovnáním s daty naměřenými nejbližší stanicí ČHMÚ.

Celkové množství aplikované vody představovalo v plné dávce 298 mm pro rok 2019 a 54 mm pro rok 2020. U variant s označením RDI (Regulated Deficit Irrigation = řízená deficitní závlaha) bylo v průběhu sezóny dávkování vody variabilní dle závislosti jednotlivých fenologických fází na zásobování vodou. Od období rašení (BBCH 56 – fenofáze zeleného poupěte, první polovina dubna) až do 30 dnů po odkvětu (BBCH 71–72 – velikost plodů 15–20 mm, první polovina června) byly tyto varianty zavlažovány plnou dávkou vody. Následně byla dávka vody snížena na 50 % ETc až do fenofáze BBCH 77 (velikost plodů do 50 mm), která nastává na začátku srpna přibližně 4–6 týdnů před plánovanou sklizní. Snížené dávky vody u těchto variant v souhrnu dosahovaly 196 mm v roce 2019 a 48 mm v roce 2020. Souhrnné informace o dávkování množství závlahové vody je uvedeno v tabulce 2. U variant označených písmenem „a“ byla navíc provedena intenzivnější probírka plodů, kdy bylo zatížení jabloní sníženo na 50–60 % běžné násady upravované pomocí Equilifruit (viz v textu výše, obr. 1). Je třeba dodat, že v roce 2020 byla násada plodů obecně nízká, a proto intenzivnější probírka v uvedené variantě neproběhla.

Hodnocení jednotlivých pokusných variant probíhalo vždy na 10 vybraných stromech. Hodnoceny byly parametry intenzita kvetení na bodové stupnici 1–9 (1 = nejmenší intenzita kvetení, 9 = největší intenzita kvetení), celkový výnos v kg/strom, počet plodů na strom a plocha příčného průřezu kmene (PPK) v cm^2 dopočítaná z obvodu kmínků naměřených po skončení vegetační sezóny 20 cm nad místem očkování. Cílem zhodnocení intenzity kvetení v roce 2019 a jejím porovnáním s výsledky v roce 2020 bylo popsat výchozí stav porostu vzhledem k potenciální plodnosti jabloní. Ze získaných hodnot byla pak dopočítána průměrná hmotnost plodu v gramech a specifická plodnost na PPK v kg/cm^2 . V první polovině srpna byl v jednotlivých variantách proveden odběr listů pro minerální rozbor obsahu živin (N, P, K, Mg, Ca). Pro stanovení obsahu dusíku byly vzorky listů mineralizovány

metodou dle Kjeldahla v prostředí kyseliny sírové a analýza probíhala na Kontinuálním průtokovém analyzátoru SAN++. Při stanovení obsahu dalších makroelementů byly vzorky mineralizovány v prostředí kyseliny dusičné a následně analyzovány metodou ICP – MS.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Z výsledků uvedených v tabulce 3 vyplývá, že vliv závlahové varianty na intenzitu kvetení nebyl významný. Vliv ročníku na intenzitu kvetení byl patrný pouze u některých jedinců, u kterých pravděpodobně souvisel s jejich plodností nebo květní tvorbou před založením pokusu v roce 2019. Jabloně na neunavené půdě se obecně vyznačovaly vyšším výnosem plodů než jabloně pěstované na unavené půdě. V roce 2019 rozdíl činil 4,18 kg/strom (varianta RDI 50a a RDI 50aR) až 10,04 kg/strom (ETc-50 a ETc-50R). Vliv závlahy se na plodnosti jabloní projevil především ve druhém roce 2020, kdy na unavené půdě byl nejnižší výnos ve variantě ETc-50 (18,22 kg/strom) v porovnání s ostatními variantami (20,52–22,49 kg/strom). Naopak na neunavené půdě byl výnos nejvyšší u varianty ETc-50R (24,50 kg/strom) a RDI-50R (23,15 kg/strom) v porovnání s plně zavlažovanou variantou (ETc-100R = 18,29 kg/ha). Průměrná hmotnost plodů byla mezi hodnocenými variantami přibližně stejná nezávisle na závlahové dávce či přítomnosti symptomů únavy půdy (Tab. 3). Nicméně na unavené půdě je patrný určitý trend v nižší hmotnosti plodů ve variantě ETc-50 (139,4–141,6 g, Tab. 4) v porovnání s variantou ETc-100 (159,6–148,5 g), resp. RDI-50a (173,5–160,3 g).

Získané výsledky růstu a produkce ovoce vhodně dokumentují pokles růstu o 30 % a pokles plodnosti o 16 % u jabloní pěstovaných na unavené půdě. U jabloní pěstovaných na neunavené půdě byla taktéž pozorována obecně neuspokojivá průměrná hmotnost plodů (135,2–150,5 g, Tab. 4) související především s vysokou násadou plodů v roce 2019, resp. vysokou intenzitou růstu v roce 2020. Intenzita růstu byla především v roce 2020 významně vyšší u jabloní pěstovaných na neunavené půdě, kdy roční přírůstek plochy průřezu kmene představoval 3,35–4,56 cm². Vliv závlahy na intenzitu růstu byl pouze nevýznamný (Tab. 3). Tyto výsledky jsou v souladu s dřívějšími zkušenostmi (Manici *et al.* 2013) při pěstování jabloní na unavené půdě a potvrzují vyšší citlivost jabloní ke stresu suchem na unavené půdě, dokumentovanou v předešlé práci (Mészáros *et al.* – *v tisku*). V závislosti na kombinaci použité odrůdy a podnože, řízená deficitní závlaha u jabloní na unavené půdě může vést při zachování přibližně optimální násady plodů k rozumné úspoře vody se zachováním dobré kvality plodů (Mészáros a Scháňková 2021). Zajímavým zjištěním pak bylo, že specifická plodnost jabloní na neunavené půdě byla podobná (rok 2019) nebo spíše nižší (rok 2020) v porovnání s jabloněmi pěstovanými na unavené půdě (Tab. 4). Tyto výsledky jsou v rozporu s publikovanými zkušenostmi autorů Robinson *et al.* (2012). Tito autoři uvádějí u mladých jabloní odrůdy 'Royal Gala', pěstovaných na různých podnožích a lokalitách v USA až na výjimky vyšší specifickou plodnost na půdě ošetřené proti výskytu půdní únavy. V našem pokusu byl v plně plodné výsadbě

jabloní pozorován větší rozdíl v intenzitě růstu na půdě bez symptomů únavy půdy v porovnání s jedinci pěstovanými na unavené půdě. Při intenzivnějším růstu letorostů zpravidla dochází k většímu zastínění vnitřní části koruny, což může při méně vhodných světelných podmínkách v deštivém roce ovlivňovat množství asimilátů určených pro výživu plodů (Lakso and Goffinet 2013) i tvorbu květů (Forshey and Elfving 1989) a snižovat tak produkci či kvalitu plodů. Potenciálním řešením by byla vyšší finální pěstitelská výška jabloní umožňující lepší rozložení růstu letorostů a vyšší světelnost v koruně.

Pokud se zaměříme na výsledky minerálních analýz listů, obsah dusíku v sušině listů jabloní se u hodnocených variant měnil v závislosti na specifické plodnosti, ročníku a přítomnosti únavy půdy (Tab. 5). Zatímco v roce 2019 byl nejnižší obsah N ve variantách s intenzivnější probírkou plodů (Tab. 6) RDI-50a (2,31 %) a RDI-50aR (2,38 %), v roce 2020 byl pokles patrný u ETc-50 (2,28 %) a téměř u všech variant pěstovaných na neunavené půdě. Obsah fosforu se měnil především v letech, kdy v relativně suchém roce 2019 dosahoval v sušině listů deficit hodnot 0,163–0,168 % nezávisle na závlahové variantě (Tab. 5 a 6). Ve výrazně vlhčím roce 2020 pak jabloně akumulovaly fosfor v sušině listů na úrovni 0,230–0,260 %. Zde byl patrný i rozdíl mezi závlahovými variantami, kdy nejnižší obsah P v listech byl u varianty RDI-50 (0,237 %), ETc-100R (0,230 %) a RDI-50aR (0,237 %). Naopak nejvyšší obsah P byl vyhodnocen u ETc-100 (0,260 %). Hansen (1971) ve své studii prokázal nižší míru akumulace živin N a P v listech jabloní z důvodu jejich vyšší spotřeby pro vegetativní růst. Námi zjištěné výsledky se s tímto tvrzením shodují především v obsahu dusíku, který výrazně stoupá s klesajícím poměrem vegetativního ke generativnímu růstu jabloní. Únava půdy v tomto směru působí jako faktor omezující vegetativní růst, tedy za podmínek porovnatelné plodnosti lze na neunavené půdě očekávat intenzivnější vegetativní růst i vyšší spotřebu N. Obsah fosforu se však choval odlišně a byl zde patrný vliv efektivnějšího příjmu prvku u bujněji rostoucích jabloní. Na unavené půdě je akumulace fosforu pravděpodobně více závislá na dostupné vláze (Hipps, 1997), což je v souladu s našimi výsledky.

Vedle obsahu N a P byl vliv ročníku patrný i v obsahu draslíku a s určitou tendencí i hořčíku (Tab. 5), které byly v sušině listů jabloní v roce 2020 vyšší (Tab. 6). Obsah K se v roce 2019 pohyboval na hranici deficitu. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny ve variantě RDI-50a (1,31 %), nejnižší ve variantě ETc-50 (0,94 %). Vzhledem k lokalitě jabloně vykazovaly určitou tendenci k lepší akumulaci K v sušině listů na unavené půdě, a to zejména ve variantách s vyšší dávkou vody. Draslík je prvek preferenčně kumulovaný v plodech jabloní a jeho vyšší obsah v listech bývá spojen s nižší plodností (Hansen 1971) přičemž jeho obsah v listech je přímo závislý na vzdálenosti listů k plodům (Mészáros *et al.* 2021). Z našich výsledků je patrné, že na unavené půdě jsou rozdíly v jeho kumulaci patrné již při menší změně v poměru plodnosti k vegetativnímu růstu. Obsah hořčíku a vápníku byl ve variantách s omezenou dávkou vody spíše vyšší, jak je patrné v roce 2019 (Tab. 6) u varianty RDI-50 (0,328 %), ETc-50R (0,379 %) a RDI-50R (0,381 %) a v roce 2020 u ETc-50 (3,70 %), ETc-50R (0,420 %) a RDI-50R (0,447 %). Obsah vápníku byl v sušině listů na unavené půdě

v roce 2019 nejvyšší ve variantě RDI-50 (1,74 %) a v roce 2020 u jabloní ve variantě ETc-50 (1,97 %). Na unavené půdě byly výsledky podobné, kdy nejvyšší hodnoty byly zjištěny ve variantách ETc-50R (1,71 % – 2019, resp. 1,86 % – 2020) a RDI-50R (2,07 % – 2020). Výsledek je v souladu s poznatky Trompa (1980), který pozoroval vyšší příjem vápníku v porovnání s draslíkem u mladých jabloní se snižující se dostupností půdní vláhy. Vyšší intenzita regulace plodnosti vzhledem ke změně poměru vegetativního a generativního růstu tento efekt opět spíše brzdí. U jabloní pěstovaných na neunavené půdě se příjem živin K, Mg a Ca, podobně jako u fosforu, zdá být více závislý na celkové intenzitě růstu. Naše výsledky také poukazují na významně vyšší akumulaci hořčíku v listech jabloní pěstovaných na neunavené půdě. To pravděpodobně souvisí s dalšími fyziologickými procesy spojenými s lepší efektivitou kořenového systému v příjmu živin spíše než ovlivněním dávkováním závlahy nebo samotného poměru vegetativního a generativního růstu. Ověření této hypotézy by však vyžadovalo podrobnější rozbor akumulace živin v jednotlivých pletivech jabloní se současným průzkumem kořenového systému v souvislosti s výskytem únavy půdy.

ZÁVĚR

Jabloně pěstované na unavené půdě se vyznačují až o 16 % nižší plodností, o 30 % nižší intenzitou růstu a jsou obecně citlivější na sníženou dostupnost vody omezující jejich plodnost a kvalitu produkce. Při pěstování jabloní na neunavené půdě je potřeba dbát na poskytnutí dostatečného prostoru pro růst a rozvoj koruny, který zajistí lepší světelné podmínky v porostu, omezí nadměrný vegetativní růst a podporuje specifický výnos dřevin. Příjem a akumulace dusíku v listech jabloní se řídí primárně podílem vegetativního a generativního růstu. Při adekvátním hnojení N (120 kg N/ha/rok) vliv půdní únavy na příjem a akumulaci dusíku v listech nebyl pozorován. Příjem a akumulace fosforu, draslíku, hořčíku a vápníku v listech jabloní pěstovaných na neunavené půdě je pravděpodobně závislý na celkové intenzitě růstu, zatímco na unavené půdě se může více projevit vliv vodního deficitu. Jabloně na neunavené půdě jsou schopny akumulovat v listech více hořčíku.

Při využití řízené deficitní závlahy na unavené půdě je nezbytné pro udržení dostatečné kvality plodů provádět intenzivní probírku. Z pohledu minerální výživy však taková kombinace může v praxi vyžadovat úpravu managementu hnojení zejména fosforem, hořčíkem a vápníkem.

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum byl podpořen Národní agenturou pro zemědělský výzkum Ministerstva zemědělství prostřednictvím projektu QK1910165 a infrastrukturou projektu RO1521. Autoři dále děkují technickému a laboratornímu personálu za pomoc při údržbě výsadeb, získávání dat z jabloňového sadu, odběry a zpracování vzorků.

POUŽITÁ LITERATURA

- FORSEY, C.G. and D. C. ELFVING. The relationship between vegetative growth and fruiting in apple trees. *Hort. Rev.* 1989, **11**: 229–287. DOI: 10.1002/9781118060841.ch7.
- HANSEN, P. The effect of cropping on uptake, contents and distribution of nutrients in apple trees. *Tidsskr. Planteavl.* 1971, **75**: 615–625.
- HENFREY, J. L., G. BAAB and M. SCHMITZ. Physiological stress responses in apple under replant conditions. *Sci. Hortic.* 2015, **194**: 111–117. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.07.034
- HIPPS, N. A. Effects of nitrogen, phosphorus, water and pre-planting soil sterilisation on growth and yield of Queen Cox/M9 apple trees. *Acta Hortic.* 1997, (448): 125–132. DOI: 10.17660/ActaHortic.1997.448.19
- HOESTRA, H. *Replant diseases of apple in the Netherlands*. Wageningen: Veenman, 1968. 105 p.
- HOFMANN, A., L. WITTENMAYER, G. ARNOLD, A. SCHIEBER and W. MERBACH. Root exudation of phloridzin by apple seedling (*Malus × domestica* Borkh.) with symptoms of apple replant disease. *J. App. Bot. and Food qual.* 2009, **82**: 193–198.
- GRUNEWALDT-STÖCKER, G., F. MAHNKOPP, C. POPP, E. MAISS and T. WINKELMANN. Diagnosis of apple replant disease (ARD): Microscopic evidence of early symptoms in fine roots of different apple rootstock genotypes. *Sci Hortic.* 2018, **243**: 583–594. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.09.014
- LAKSO, A. N. and M. C. GOFFINET. Apple fruit growth. *New York Fruit Quarterly.* 2013, **21**(1): 11–14.
- LÜ, L-H. and Q-S WU. Mitigation of replant Disease by mycorrhization in horticultural plants: A review. *Folia Hort.* 2018, **30**(2): 269–282. DOI: 10.2478/fhort-2018-0023.
- MAHNKOPP, F., M. SIMON, E. LEHNDORFF, S. PÄTZOLD, A. WREDE and T. WINKELMANN. Induction and diagnosis of apple replant disease (ARD): a matter of heterogenous soil properties? *Sci. Hortic.* 2018, **241**: 167–177. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.06.076
- MANICI, L. M., M. KELDERER, I. H. FRANKE-WHITTLE, T. RÜHMER, G. BAAB, F. NICOLETTI, F. CAPUTO, A. TOPP, H. INSAM AND A. NAEF. Relationship between root-endophytic microbial communities and replant disease in specialized apple growing areas in Europe. *App. Soil Ecol.* 2013, **72**: 207–214. DOI: 10.1016/j.apsoil.2013.07.011
- MAZZOLA, M. Elucidation of the microbial complex having causal role in the development of apple replant disease in Washington. *Phytopathology.* 1998, **88**: 930–938. DOI: 10.1094/PHYTO.1998.88.9.930
- MAZZOLA, M. and L. M. MANICI. Apple replant disease: Role of microbial ecology in cause and control. *Annu. Rev. Phytopathol.* 2012, **50**: 45–65. DOI: 10.1146/annurev-phyto-081211-173005
- MÉSZÁROS, M. a K. SCHÁŇKOVÁ. Řízená deficitní závlaha u jabloní Gala Brookfield. *Zahradnictví.* 2021, 20(9): 16–21.

- MÉSZÁROS, M., H. HNÁTKOVÁ, P. ČONKA and J. NÁMĚSTEK. Linking mineral nutrition and fruit quality to growth intensity and crop load in apple. *Agronomy*. 2021, **11**(3): 506–521. DOI: 10.3390/agronomy11030506
- MÉSZÁROS, M., H. BĚLÍKOVÁ, P. ČONKA and J. NÁMĚSTEK. Influence of the environmental conditions under hail nets on efficiency of irrigation and fertilization in 'Golden Delicious' apple trees on replant soils. *Acta Hortic.* (v tisku)
- NEILSEN, D., G. H. NEILSEN, L. HERBERT and S. QUAK. Effect of irrigation and crop load management on fruit nutrition and quality for Ambrosia/M.9 apple. *Acta Hortic.* 2010, **868**: 63–72. DOI:10.17660/ActaHortic.2010.868.4.
- PRZYBYŁKO, S., W. KOWALCZYK and D. WRONA. The effect of mycorrhizal Fungi and PGPR on Tree nutritional status and growth in organic apple production. *Agronomy*. 2021, **11**(7): 1402–1416. DOI: 10.3390/agronomy11071402.
- RACSKÓ, J. Crop load, fruit thinning and their effects on fruit quality of apple. *J. Agri. Sci.* 2006, **24**: 29–35. DOI: 10.34101/actaagrar/24/3221.
- ROBINSON, T., W. AUTIO, J. CLEMENTS, W. COWGILL, C. EMBREE, V. GONZALEZ, S. HOYING, M. KUSHAD, M. PARKER, R. PARRA and J. SCHUPP. Rootstock tolerance to apple replant disease for improved sustainability of apple production. *Acta Hortic.* 2012, (940): 521–528. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.940.75
- SVOBODA, P., J. HABERLE a M. MÉSZÁROS. Kořenový systém ovocných dřevin – efektivní zavlažování a hnojení. *Zahradnictví*. 2020, **19**(8): 11–14.
- TROMP, J. Mineral absorption and distribution in young apple trees under various environmental conditions. In: ATKINSON, D., J. E. JACKSON and R. O. SHARPLES, eds. *Mineral Nutrition of Fruit Trees, 1st. edition*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1980, 173–182. ISBN: 9781483164281.
- VAN SCHOOR, L., S. DENMAN and N. C. COOK. Characterisation of apple replant disease under South African conditions and potential biological management strategies. *Sci. Hortic.* 2009, **119**: 153–162. DOI: 10.1016/j.scienta.2008.07.032
- WILSON, S., P. ANDREWS and T. S. NAIR. Non-fumigant management of apple replant disease. *Sci. Hortic.* 2004, **102**: 221–231. DOI: 10.1016/j.scienta.2004.01.001
- WINKELMANN, T., K. SMALLA, W. AMELUNG, G. BAAB, G. GRUNEWALDT-STÖCKER, X. KANFRA, R. MEYHÖFER, S. REIM, M. SCHMITZ, D. VETTERLEIN, A. WREDE, S. ZÜHLKE, J. GRUNEWALDT, S. WEISS and M. SCHLOTTER. Apple replant Disease: Cuses and mitigation strategies. *Curr. Issues Mol. Biol.* 2019, **30**(1): 89–106. DOI: 10.21775/cimb.030.089.
- WITTENMAYER, L., K. SZABÓ. The role of root exudates in specific apple (*Malus × domestica* Borkh.) replant disease (SARD). *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2000, **163**(4): 399–404. DOI: 10.1002/1522-2624(200008)163:4<399::AID-JPLN399>3.0.CO;2-8.

TABULKY

Tabulka 1. Seznam použitých herbicidů, počet aplikací a aplikační dávky za rok

Table 1. Summary of the used herbicides, number and dosage per application during the year

Herbicide ¹⁾	Počet aplikací ²⁾	Dávka ³⁾
Stomp 400 SC	1	4,5 l
Clinic	2	5 l
Roundup Klasik	1	5 l

1) Herbicide, 2) Number of applications, 3) Dosage

Tabulka 2. Popis jednotlivých variant experimentu

Table 2. Description of experimental treatments

Varianta ¹⁾	Dávka závlahy ²⁾	Období ³⁾	Násada plodů ⁴⁾	Projevy únavy půdy ⁵⁾
ETc-100	plná dávka	duben–září	Optimalizovaná plná násada plodů	ano
ETc-50	50 % plné dávky	duben–září	Optimalizovaná plná násada plodů	ano
RDI-50	100/50 % plné dávky	snížená dávka v období BBCH 72–77	Optimalizovaná plná násada plodů	ano
RDI-50a	100/50 % plné dávky	snížená dávka v období BBCH 72–77	50–60 % optimalizované plné násady plodů	ano
ETc-100R	plná dávka	duben–září	Optimalizovaná plná násada plodů	ne
ETc-50R	50 % plné dávky	duben–září	Optimalizovaná plná násada plodů	ne
RDI-50R	100/50 % plné dávky	snížená dávka v období BBCH 72–77	Optimalizovaná plná násada plodů	ne
RDI-50aR	100/50 % plné dávky	snížená dávka v období BBCH 72–77	50–60 % optimalizované plné násady plodů	ne

1) Treatment, 2) Dose of irrigation water, 3) Term, 4) Fruit set, 5) Symptoms of Apple replant disease

Tabulka 3. Statistický vliv jednotlivých faktorů a jejich interakcí na intenzitu kvetení, výnos, průměrnou hmotnost plodu, příčný průřez kmínku (PPK), přírůstek PPK a specifickou plodnost přepočítanou na PPK za období 2019–2020

Table 3. The statistical influence of different factors and their interactions on flowering intensity, yield, average fruit weight, trunk cross-sectional area (PPK), increment of PPK and yield efficiency on PPK in 2019–2020

Faktor ¹⁾	Intenzita kvetení ²⁾	Výnos ³⁾	Průměrná hmotnost plodu ⁴⁾	PPK ⁵⁾	Přírůstek PPK ⁶⁾	Výnos/PPK ⁷⁾
Závlaha	Ns.	*	Ns.	+	Ns.	**
Ročník	Ns.	***	Ns.	***	***	***
Únava	*	***	Ns.	***	***	***
Závlaha*Ročník	***	**	Ns.	Ns.	Ns.	***
Závlaha*Únava	Ns.	***	Ns.	***	*	*
Ročník*Únava	***	***	Ns.	Ns.	Ns.	**

1) Factor, 2) Flowering intensity, 3) Yield, 4) Average fruit weight, 5) Trunk cross-sectional area, 6) Increment of trunk cross-sectional area, 7) Yield per trunk cross-sectional area

„Ns.“ – statisticky nesignifikanční rozdíl (non-significant difference), „+“ – pozitivní trend (positive trend), „* – ***“ signifikantní rozdíl na hladině $\alpha = 0,05, 0,01, \text{ resp. } 0,001$ (significant difference at $\alpha = 0,05, 0,01, \text{ or. } 0,001$)

Tabulka 4. Výsledky hodnocení intenzity kvetení, výnosu, průměrné hmotnosti plodu, příčného průřezu kmínku (PPK), přírůstku PPK a specifické plodnosti přepočítané na PPK v letech 2019 a 2020 v různých závlahových variantách na půdě s/bez projevů půdní únavy

Table 4. Results of flowering intensity, yield, average fruit weight, trunk cross-sectional area (PPK), increment of PPK and yield efficiency on PPK in different irrigation treatments on ARD un/affected soil in 2019 and 2020

Rok ¹⁾	Projevy únavy půdy ²⁾	Varianty ³⁾	Intenzita kvetení (1–9) ⁴⁾	Výnos (kg/strom) ⁵⁾	Průměrná hmotnost plodů (g) ⁶⁾	PPK (cm ²) ⁷⁾	Přírůstek PPK (cm ²) ⁸⁾	Výnos/PPK (kg/cm ²) ⁹⁾
2019	Ano	ETc-50	7,0 b	19,73 bc	139,4 bc	8,7 c	0,8 a	2,26 ab
		ETc-100	6,2 b	20,83 bc	159,6 ab	9,4 bc	1,3 a	2,25 ab
		RDI-50	6,2 b	22,84 abc	138,4 bc	9,2 bc	1,0 a	2,53 a
		RDI-50a	5,9 b	18,78 c	173,5 a	10,2 bc	1,4 a	1,85 b
	Ne	ETc-50R	6,5 b	29,77 a	142,1 bc	14,5 a	2,1 a	2,12 ab
		ETc-100R	8,5 a	26,55 ab	135,2 c	11,9 abc	1,8 a	2,24 ab
		RDI-50R	7,4 ab	28,69 a	137,1 bc	14,5 a	2,0 a	2,04 ab
		RDI-50aR	6,4 b	22,96 abc	150,5 abc	12,8 ab	2,2 a	1,79 b
2020	Ano	ETc-50	7,2 ab	18,22 e	141,6 b	10,9 b	2,23 c	1,67 abc
		ETc-100	8,0 a	21,21 cd	148,5 ab	11,9 b	2,58 bc	1,79 a
		RDI-50	7,4 a	20,52 d	151,0 ab	11,8 b	2,56 bc	1,76 ab
		RDI-50a	7,9 a	22,49 bc	160,3 a	13,1 b	2,89 abc	1,73 ab
	Ne	ETc-50R	6,3 abc	24,50 a	147,8 ab	18,6 a	4,04 ab	1,35 cd
		ETc-100R	5,2 c	18,29 e	135,5 b	15,3 ab	3,35 abc	1,22 d
		RDI-50R	5,7 bc	23,15 ab	138,0 b	19,1 a	4,56 a	1,25 d
		RDI-50aR	7,3 abc	22,45 bc	135,9 b	16,0 ab	3,15 abc	1,43 bcd

1) Year, 2) Symptoms of ARD, 3) Irrigation treatment, 4) Flowering intensity, 5) Yield, 6) Average fruit weight, 7) Trunk cross-sectional area, 8) Increment of trunk cross-sectional area, 9) Yield per trunk cross-sectional area

Variety s rozdílným označením písmeny pro danou proměnnou v jednotlivých letech znamenají statisticky významný rozdíl na úrovni $p = 0,05$ (Tukey HSD test).

Treatments signed with different letter in particular variable and year are statistically different at $p = 0.05$ (Tukey HSD test).

Tabulka 5. Statistický vliv jednotlivých faktorů a jejich interakcí na obsah makroživin N, P, K, Mg a Ca v listech jabloní za období 2019–2020

Table 5. The statistical influence of different factors and their interactions on macroelements N, P, K, Mg, Ca content in apple leaves in 2019–2020

Faktor ¹⁾	N	P	K	Mg	Ca
Specifický výnos	**	*	Ns.	+	Ns.
Závlaha	Ns.	Ns.	*	*	***
Ročník	***	***	***	+	Ns.
Únava	**	Ns.	*	***	**
Plodnost*Závlaha	Ns.	*	Ns.	Ns.	Ns.
Plodnost*Ročník	+	+	Ns.	Ns.	*
Plodnost*Únava	Ns.	Ns.	Ns.	Ns.	Ns.
Závlaha*Ročník	Ns.	Ns.	Ns.	Ns.	+
Závlah*Únava	Ns.	***	*	Ns.	*
Ročník*Únava	+	Ns.	Ns.	Ns.	**

1) Factor

Ns. –statisticky nesignifikantní rozdíl (non-significant difference), „+“ – pozitivní trend (positive trend), „*– ***“ signifikantní rozdíl na hladině $\alpha = 0,05, 0,01, \text{ resp. } 0,001$ (significant difference at $\alpha = 0,05, 0,01, \text{ or. } 0,001$)

Tabulka 6. Výsledky hodnocení obsahu makroprvků N, P, K, Mg, Ca v listech v různých závlahových variantách na půdě s/bez projevů půdní únavy v letech 2019 a 2020

Table 6. Content of macroelements N, P, K, Mg, Ca in apple leaves in different irrigation treatments on ARD un/affected soil in 2019 and 2020

Rok ¹⁾	Projevy únavy půdy ²⁾	Varianty ³⁾	N	P	K	Mg	Ca
2019	Ano	ETc-50	2,52 a	0,164 a	0,94 c	0,293 cd	1,64 ab
		ETc-100	2,51 a	0,168 a	1,06 bc	0,322 bc	1,62 abc
		RDI-50	2,44 ab	0,164 a	1,05 bc	0,328 b	1,74 a
		RDI-50a	2,31 c	0,163 a	1,31 a	0,281 d	1,45 c
	Ne	ETc-50R	2,38 bc	0,166 a	1,11 b	0,379 a	1,71 a
		ETc-100R	2,51 ab	0,164 a	1,05 bc	0,338 b	1,52 bc
		RDI-50R	2,48 ab	0,167 a	0,98 bc	0,381 a	1,63 ab
		RDI-50aR	2,38 bc	0,164 a	1,02 bc	0,353 ab	1,61 abc
2020	Ano	ETc-50	2,28 bcd	0,240 abc	1,66 ab	0,370 abc	1,97 a
		ETc-100	2,44 ab	0,260 a	1,81 ab	0,297 cd	1,57 bc
		RDI-50	2,39 abc	0,237 bc	1,85 ab	0,297 cd	1,34 c
		RDI-50a	2,45 a	0,240 abc	1,86 a	0,280 d	1,33 c
	Ne	ETc-50R	2,35 abc	0,253 ab	1,67 ab	0,420 ab	1,86 ab
		ETc-100R	2,13 d	0,230 c	1,75 ab	0,377 ab	1,62 b
		RDI-50R	2,24 cd	0,250 ab	1,56 b	0,447 a	2,07 a
		RDI-50aR	2,24 cd	0,237 bc	1,79 ab	0,357 bcd	1,60 bc

1) Year, 2) Symptoms of ARD, 3) Irrigation treatment

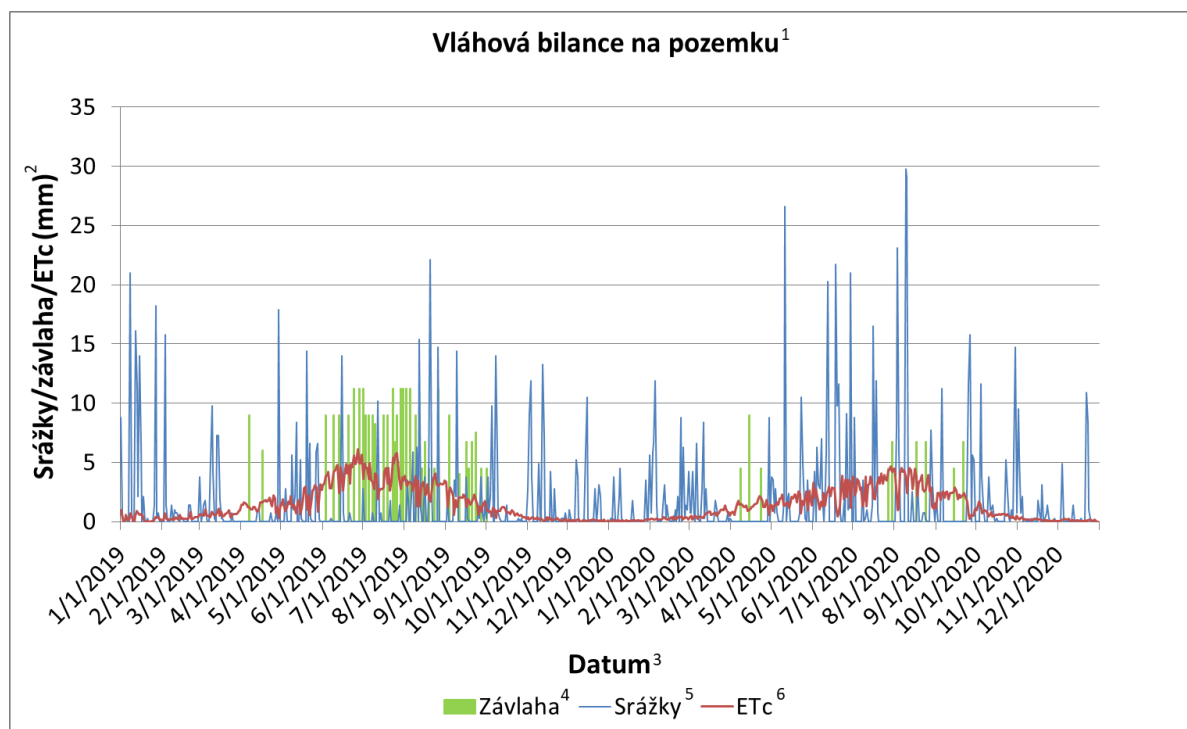
Varianty s rozdílným označením písmeny pro danou proměnnou v jednotlivých letech znamenají statisticky významný rozdíl na úrovni $p = 0,05$ (Tukey HSSD test).

Treatments signed with different letter in particular variable and year are statistically different at $p = 0.05$ (Tukey HSD test).

GRAFY A OBRÁZKY

Graf 1. Průběh rozložení a vydatnosti srážek, závlahy a plodinové evapotranspirace v denním sledu v letech 2019 a 2020

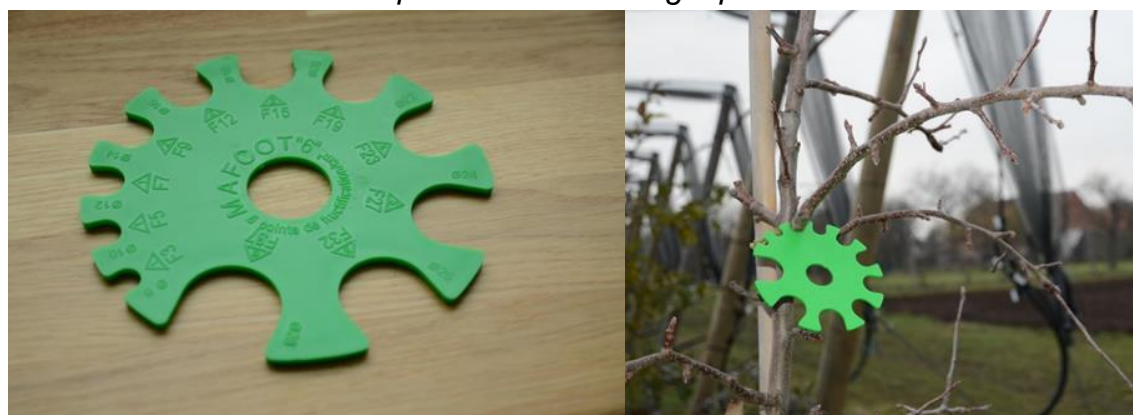
Graph 1. The daily precipitation, irrigation and crop evapotranspiration during 2019–2020



1) Water balance in the orchard, 2) Precipitation/irrigation/Evapotranspiration (mm), 3) Date, 4) Irrigation, 5) Precipitation, 6) Crop evapotranspiration

Obrázek 1. Equilifruit – pomůcka pro stanovení optimální násady plodů jabloní podle počtu smíšených pupenů (plodných výhonů) na bazální průměr větví, vpravo znázornění použití v praxi

Picture 1. Equilifruit – special tool for determining the optimal fruit number according to the number of mixed buds (bearing shoots) on the basal diameter of the branches. The illustration of its use in practice is on the right picture



(autor fotografie: Luděk Laňar)