

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv losartanu ve vodním prostředí na primární
metabolismus rostlin kukuřice seté a čiroku
dvoubarevného
Diplomová práce**

**Bc. Natálie Rančáková
Zemědělství a rozvoj venkova
Ekologické zemědělství**

doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Vliv losartanu ve vodním prostředí na primární metabolismus rostlin kukuřice seté a čiroku dvoubarevného" jsem vypracovala 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 autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu docentovi Františku Hniličkovi za trpělivost, ochotu a pomoc při zpracování této diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala mé rodině za nekonečnou podporu během mého studia. Nesmím opomenout poděkovat mým spolužákům, ze kterých se stali přátelé na celý život. Tento projekt vznikl za finanční podpory grantu NutRisk.

Vliv losartanu ve vodním prostředí na primární metabolismus rostlin kukuřice seté a čiroku dvoubarevného

Souhrn

Tato práce se opírá o shrnutí poznatků vlivu xenobiotika na rostliny a jejich následné reakce. Cílem bylo zhodnotit vliv koncentrací léčiva losartanu ve vodním prostředí hydroponie v koncentraci 0,1, 10, 100, 500 a 1000 $\mu\text{g/l}$ na metabolismus rostlin kukuřice (*Zea mays L.*) a čiroku (*Sorghum bicolor L.*). V průběhu šesti měření byly sledovány hodnoty fotosyntézy, celkového chlorofylu, karotenoidů, vodního potenciálu a fluorescence. Na základě získaných výsledků došlo k zhodnocení hypotéz; Zda existuje vliv koncentrace léčiv na fyziologické parametry juvenilních rostlin kukuřice a čiroku; Existuje fyziologický rozdíl v reakci čiroku a kukuřice v závislosti na použité koncentraci léčiva; Lze prokázat vliv délky působení stresoru na fyziologické parametry kukuřice.

Ze získaných výsledků vyplývá, že koncentrace léčiva losartanu měla za následek vytvoření stresového prostředí, které negativně ovlivnilo zmíněné fyziologické parametry juvenilních rostlin kukuřice a čiroku. Se zvýšenou koncentrací léčiva se u všech pokusných rostlin průkazně snížily hodnoty vodního potenciálu, fluorescence chlorofylu a rychlost fotosyntézy. Existuje fyziologický rozdíl v reakci čiroku a kukuřice v závislosti na použité koncentraci léčiva; tuto hypotézu lze potvrdit. V rámci sledovaných druhů rostlin na působení léčiva citlivěji reaguje čirok v porovnání s kukuřicí. Byl prokázán vliv délky působení stresoru na uvedené fyziologické parametry.

Klíčová slova: kukuřice; čirok; výměna plynů; pigmenty; fluorescence; losartan

Effect of losartan in the aquatic environment on the primary metabolism of maize and sorghum plants

Summary

This work is based on a summary of findings on the effect of the xenobiotic on plants and their subsequent reactions. The aim was to evaluate the effect of concentrations of the drug losartan in the water environment of hydroponics at a concentration of 0,1, 10, 100, 500 and 1000 $\mu\text{g/l}$ on the metabolism of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.) plants. During six measurements, the values of photosynthesis, total chlorophyll, carotenoids, water potential and fluorescence were monitored. Based on the obtained results, the hypotheses were evaluated; Whether there is an effect of drug concentration on the physiological parameters of juvenile maize and sorghum plants; There is a physiological difference in the response of sorghum and maize depending on the drug concentration used; The influence of the duration of the stressor on the physiological parameters of maize can be demonstrated.

The obtained results show that the concentration of the drug losartan resulted in the creation of a stressful environment, which negatively affected the aforementioned physiological parameters of juvenile corn and sorghum plants. With an increased concentration of the drug, the values of water potential, chlorophyll fluorescence and rate of photosynthesis were significantly reduced in all experimental plants. There is a physiological difference in the response of sorghum and maize depending on the drug concentration used; this hypothesis can be confirmed. Among the monitored plant species, sorghum reacts more sensitively to the action of the drug compared to corn. The effect of the duration of the stressor on the mentioned physiological parameters was proven.

Keywords: maize; sorghum; gas exchange; pigments; fluorescence; losartan

Obsah

1	Úvod	9
2	Vědecká hypotéza a cíle práce	10
3	Literární přehled.....	11
3.1	Botanická charakteristika kukuřice seté a čiroku dvoubarevného	11
3.2	Pěstování kukuřice a čiroku v systému ekologického zemědělství	14
3.3	Znečišťující látky v prostředí-léčiva	17
3.3.1	Losartan.....	18
3.4	Stres u rostlin.....	19
3.5	Reakce rostlin na polutanty.....	20
4	Metodika	22
4.1	Popis rostlinného materiálu	22
4.2	Pokusný materiál.....	22
4.3	Založení pokusu.....	23
4.4	Měření fyziologických charakteristik.....	24
4.4.1	Výměna plynů	24
4.4.2	Fluorescence	24
4.4.3	Vodní potenciál	25
4.4.4	Vyhodnocení výsledků	25
5	Výsledky.....	26
5.1	Intenzita transpirace	26
5.2	Rychlost fotosyntézy.....	27
5.3	Koncentrace chlorofylu	27
5.4	Koncentrace karotenoidů	28
5.5	Vodní potenciál.....	29
5.6	Poměr fluorescence	29
5.7	Kukuřice.....	30
5.8	Odrůda Rufuss	35
5.9	Odrůda Ruzrok	39
6	Diskuze.....	44
6.1	Výměna plynů.....	44
6.1.1	Rychlost transpirace	44
6.1.2	Rychlost fotosyntézy	44
6.2	Obsah fotosynteticky aktivních pigmentů	45
6.3	Vodní potenciál.....	45

6.4	Fluorescence	46
7	Závěr.....	47
8	Literatura.....	48
9	Samostatné přílohy.....	I

1 Úvod

Kukuřice i čirok patří mezi prastaré kulturní plodiny, které využívali lidé už v dobách před naším letopočtem. Pro své široké využití se stali nedílnou součástí osetých ploch.

V současné době pravděpodobně není jiných zemědělsky využívaných plodin s tak rozmanitým vzhledem, vlastnostmi a rozsahem využití. Pro jejich všestrannost a plodnost sehrají každoročně značnou roli nejen ve výživě lidí a hospodářských zvířat, ale i v dalších průmyslových odvětvích. Jsou pěstovány především pro své technické využití při výrobě siláží, bioplynu a dalších průmyslových výrobků.

Vzhledem k jejich velké potřebě se celosvětová produkce meziročně pohybuje v milionech tun. Tyto výnosy jsou podmíněné pěstováním ve velkých výměřích, jež mají mnohdy za následek úbytek biodiverzity v zemědělské krajině. Mimo to se pěstování těchto plodin potýká s fenoménem půdní eroze z důvodu širokořádkové pěstební technologie. Dalším problémem představuje ve spojitosti s těmito plodinami hnojení dusíkem. Jak kukuřice, tak čirok patří mezi náročné odběratele živin, zejména dusíku. Z tohoto důvodu dochází v konvenčních způsobech pěstování celosvětově každoročně k velké spotřebě dusíkatých hnojiv.

S rostoucí populací a tím i potřebou těchto plodin roste i antropogenní činnost, a to nejen v používání syntetických hnojiv, ale i jiných xenobiotik (léčiva, pesticidy, těžké kovy), za vzniku negativního vlivu jak na rostliny, tak na životní prostředí. Na základě těchto faktů začalo mnoho výzkumníků hodnotit nejen dosavadně využívané zemědělské postupy, ale i vliv těchto xenobiotik na plodiny a rostliny obecně (Aulakh et al. 2022).

Xenobiotika (cizorodá chemická látka) lze definovat jako jakoukoli látku nepřírodního, chemického či jiného původu, kterou rostliny nijak nevyužívají ke svým energetickým procesům. I přesto jsou ale stejně jako další organismy působení polutantů vystaveny (Shikha et al. 2016).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Zatímco účinek farmaceutických reziduí je znám v metabolismu zvířat, v případě rostlin je toxikologický význam méně prozkoumán. Xenobiotické látky se mohou v rostlinách hromadit různými způsoby a potenciálně kontaminovat potravní řetězec. Studium účinku léčiv a jejich metabolitů byl u rostlin zkoumán dopad na primární metabolismus a transport elektronů.

2.1. Vědecké hypotézy

- a) existuje vliv koncentrace léčiv na fyziologické parametry juvenilních rostlin kukuřice a čiroku;
- b) existuje fyziologický rozdíl v reakci čiroku a kukuřice v závislosti na použité koncentraci léčiva;
- c) lze prokázat vliv délky působení stresoru na fyziologické parametry kukuřice.

2.2. Cíle práce

- a) studium vlivu zvyšujících se koncentrací léčiva na primární metabolismus a fluorescenci chlorofylu jako relevantní charakteristiky stavu juvenilních rostlin kukuřice a čiroku (stav rostliny),
- b) studium vlivu genotypu jako odezvy na působení stresoru (vliv rostliny).

Kukuřice i čirok patří mezi nejpěstovanější plodiny na celém světě. Na mnohých kontinentech tvoří velmi důležitý aspekt ve výživě lidí, při zkrmování hospodářských zvířat a ve výrobě bioplynu. Z tohoto důvodu byly tyto druhy vybrány pro studium vlivu léčiv na jejich metabolismus.

3 Literární přehled

3.1 Botanická charakteristika kukuřice seté a čiroku dvoubarevného

Kukuřice setá (*Zea mays* L.)

Kukuřice je kulturní obilninou původem ze Střední Ameriky, která je běžně pěstovaná v mnoha odrůdách. Občas přechodně zplaněný, zavlečený neofyt, který dorůstá jednoho až tří metrů. V botanickém systému je kukuřice zařazena jako jednoletá, cizosprašná, terofytní C4 rostlina, jednodomá, různopohlavní, typu rostlin diklinických s prašníkovými (samčími) a pestíkovými (samičími) květy, uspořádanými do oddělených květenství. Samičí květy jsou ve tvaru válcovitých palic se nacházejí v úžlabí dolních a prostředních listů. Samčí květy jsou tvořeny hustými lichoklasy nacházející se ve vrcholové části. Doba kvetení se pohybuje od července do října (Kaplan et al. 2021). Kukuřice patří do podtřídy jednoděložných (*Monokotyledonae*), řádu lipnicokvětých (*Poales*), čeledi lipnicovitých (*Poaceae*), skupiny kukuřicovitých (*Maydeae*) (Zimolka 2008).

V rámci druhu se kukuřice rozděluje do osmi poddruhů (Kubeš 2014). Zimolka et al. (2008) uvádí, že většina skupin se dělí na nižší botanické jednotky podle barvy nebo tvaru zrna a podle barvy pluch na větenech palic na tyto poddruhy:

Kukuřice obecná, tvrdá (*Zea mays* convar. *indurata* Sturt., syn. *Z. m.* convar. *vulgaris* Körn.) je velmi polymorfní a patří k nejstarším genotypům. Obilky má tvrdé, okrouhlé, lesklé, s moučnatým endospermem pouze ve střední části zrna. Okrajová část endospermu je sklovitá rohovitěho vzhledu. Zahrnuje odrůdy ranější s rychlejším růstem a vývojem v počátečních stádiích. Uvádí se též nižší výnos v porovnání s kukuřicí koňský zub. Je vyhledávána i pro vedlejší využití, jako například dokrmování drůbeže (Zimolka & kolektiv 2008).

Kukuřice koňský zub (*Zea mays* convar. *indentata* Sturt., syn. *Z. m.* convar. *dentiformis* Körn.) má obilky, které se vyznačují nižší tvrdostí oproti kukuřici obecné. Má však nápadný tvar a strukturu, klínovitý tvar s malou jamkou nahoře. Jamka vzniká vysycháním endospermu při zrání obilek. Po stranách je sklovitá a tvrdá. Vnitřní a horní část endospermu naopak měkká a moučnatá. Odrůdy náležící do této variety jsou zpravidla pozdnější než kukuřice obecná, méně odnožují, jsou však výnosnější. Většina dnes pěstovaných hybridů vznikla z kukuřice obecné a koňského zubu (Zimolka & kolektiv 2008).

Kukuřice polozubovitá (*Zea mays* convar. *aorista* Grebenš., syn. *Zea mays* convar. *semiindentata* Kulesch) vznikla křížením koňského zubu a kukuřice obecné a představuje přechodnou formu mezi těmito dvěma varietami. Jamka na vrcholu zrna není tak zřetelná jako u koňského zubu. Všechny tři uvedené poddruhy kukuřice se pěstují na zrno, dělenou sklizeň (DSK dělený sběr kukuřice) a na siláž. V seznamu odrůd zapsaných ve Státní odrůdové knize převažují hybridy typu koňského zubu. Jsou rovněž vhodnější i pro škrobárenské zpracování pro větší podíl moučnatého endospermu (Zimolka & kolektiv 2008).

Kukuřice pukancová-praskavá (*Zea mays* convar. *everta* Sturt., syn. *Z.m.* convar *microsperma* Körn., Grebensc.) tvoří velmi drobné obilky (HTS 90-130 g). Podle typu obilek se dělí na rýžovou-oryzoides se zobákovitě ukončeným, téměř průhledným zrnem a perlovou-gracillima, která má obilky na vrcholu zakulacené, hladké a lesklé. Moučnatý endosperm se vyskytuje pouze zřídka, a to v blízkosti klíčku. Pražením obilka praská, oplodí a endosperm přitom jako bílá hmota několikrát zvětší objem a vyhřezává. Většina odrůd kukuřice pukancové má poměrně vysokou výživovou hodnotu (Zimolka & kolektiv 2008).

Kukuřice cukrová (*Zea mays* convar. *saccharata* Sturt.) se po dozrání vyznačuje svraštělým endospermem sklovitého vzhledu, který je složen převážně z vodorozpustných glycidů (amylodextrin). Obilka je na lomu lesklá, má málo škrobu. Charakteristická svraštělost zrna se dostavuje až po dozrání, neboť chybí podpurná rohovitá vrstva. Pro svou výživnou hodnotu se používá jako zelenina, kdy se sklízí v konzumní (voskově mléčné) zralosti. Tehdy má zrno okrouhlý tvar. Konzumuje se jako vařená nebo sterilovaná (Zimolka & kolektiv 2008).

Mezi další odrůdy kukuřice řadíme například kukuřici voskovou, kukuřici škrobnatou, kukuřici pluchatou, kukuřici škrobocukrovou a kukuřici pestrolistou coby okrasný kultivar. I když toto rozdělení rodu *Zea* L. zdaleka nepopisuje jeho celkový rozsah, pro praktické účely a široké využití stačí.

Čirok dvoubarevný (*Sorghum bicolor* Moench.)

Rod *Sorghum* L. Moench. zahrnuje jednoleté nebo vytrvalé, terofytní byliny bez oddenku. Čepel listů mají 1-8 cm široké. Květenství ve formě lat jsou hustá, stažená, vejcovitá až elipsoidní, s přímými mnohokvětými větvemi. Ke kvetení dochází stejně tak jako u kukuřice v letních měsících. Vřeteno lamy je vždy zakryté větvemi. Kolénka jsou lysá nebo pýřitá. Přisedlé klásky jsou vejcovité až kulovité, 4-6 milimetrů dlouhé. Obilky se pohybují ve velikosti od 2 do 8 milimetrů. Celková délka rostliny je dle podmínek 1-3 metry (Kaplan et al. 2021). Stejně jako kukuřice i čirok patří mezi C4 rostliny (Kubeš 2014).

Čirok je stará kulturní rostlina stejně jako kukuřice zavlečený neofyt (Kaplan et al. 2021). Kulturní čiroky se vyznačují širokou ekologicko-geografickou a odrůdovou variabilitou.

Jak uvádí Trojáková (2013) v současnosti se z praktického hlediska všechny kulturní čiroky sjednotily v jeden polymorfni druh, *Sorghum bicolor*, s dvěma poddruhy, několika varietami a řadou forem. *Sorghum bicolor* subsp. *bicolor* zahrnuje jak kulturní formy, tak i původní plevelné typy, typické pouze pro Afriku. V zemědělské praxi se však využívá klasifikace, kterou uvádí například Wiersema a Dahlberg (2007) ve své nomenklatuře čiroku. Pěstovaný čirok se dělí podle praktického využití na čtyři praktické druhy:

Čirok obecný zrnový (*Sorghum vulgare* var. *eusorghum*) je druhem čiroku pěstovaným na zrno se značným obsahem bílkovin a škrobu. Většinou se jedná o formy s nižším vzrůstem. Pěstuje se převážně v Africe a Asii na chudých a často ohrožených půdách. Obilky se konzumují rozemleté na mouku či krupici. Tato forma čiroku je vhodná nejen k výživě lidí, ale i hospodářských zvířat, jak bývá běžné v Austrálii či USA. Čirok zrnový se dá zkrmovat nejen skotem, ale je doporučován i pro výkrm prasat či ovcí (Petr & kolektiv 1997).

Čirok obecný technický (metlový) (*Sorghum vulgare* var. *technicum*) je druh čiroku pěstovaný pro latu. Lata technického čiroku se vyznačuje značnou pružností se zkrácenou hlavní osou a velmi dlouhými postranními větvemi, které dorůstají až do 80 cm. Lata je cenná při výrobě kartáčů, štetek a košťat. Obilka je vedlejším produktem, který se dá taktéž zkrmovat (Petr & kolektiv 1997).

Čirok obecný cukrový (*Sorghum vulgare* var. *saccharatum*) patří mezi čiroky s vysokým obsahem sacharidů v dřeni stébla. Má tedy značný význam jako krmná a silážní plodina. Využívá se i v potravinářském průmyslu k výrobě sirupů a pro další zpracování. Stébla dorůstají do 2-5 metrů a obsahují šťávu až s 18 % převážně nekrystalického hroznového cukru (Petr & kolektiv 1997).

Čirok súdánský – súdánská tráva – (*Sorghum vulgare* var. *sudanense*). Tento druh čiroku se pro bujný růst používá jako pícnina, siláž či pastvu a je vhodný pro případné energetické využití (Long et al. 2022). Rostliny po posečení obrůstají (obr. 1). Obvykle poskytuje 2-4 seče. Nevýhodou je u mladých rostlin přítomnost glykosidu durinu, ze kterého se rozkladem uvolňuje kyanovodík. Hospodářská zvířata je nutno na súdánskou travu navykat postupným přidáváním množství do krmné dávky. Obsah durinu se stářím rostliny klesá a po metání je již jeho obsah na nízké úrovni. Na začátku 21. století se ke zkrmování, z důvodu zmíněné skutečnosti, začaly využívat hybridní odrůdy zkříženého čiroku cukrového a súdánské trávy. Výhodou těchto hybridů je vysoká produkce jakostní biomasy, která nedřevnatí (Petr & kolektiv 1997).



Obr. 1: Obrůstající súdánská tráva po seči, (www.greatbasinseeds.com)

3.2 Pěstování kukuřice a čiroku v systému ekologického zemědělství

Pěstování těchto rostlin má v lidské populaci již dlouholetou tradici. V obou případech se zmínky o pěstování objevují již ve starověku. Kolébkou pěstování a kultivace čiroku je Egypt. Jeho pěstování dokládají kresby a reliéfy lat čiroku. Taktéž i obilky, které byly nalezeny ve střevech mumií (Kára et al. 2005; Trojáková 2011). Naproti tomu kukuřici využívali především indiáni nového světa na území Severní a Jižní Ameriky. Všechny typy kukuřice, tak jak je známe dnes už při objevení nového kontinentu existovaly (Mangelsdorf 1950), kdy následně došlo k rozšíření kukuřice v rámci planety (García-Lara & Serna-Saldivar 2018).

V dnešní době dochází k celosvětovému intenzivnímu pěstování jak kukuřice, tak čiroku. Jak už napovídá zařazení do skupiny C4, jedná se o teplomilné, suchomilné rostliny, kterým se daří zejména v oblasti tropů a subtropů. Co se týká kukuřice, největším producentem jsou Spojené státy americké, Čína či Brazílie. Také čirok se nejvíce pěstuje na území Ameriky. Dalším kontinentem, kde dochází k jeho významné produkci je Afrika, kde navíc tvoří velmi zásadní aspekt ve výživě. V pořadí významných rostlin pro výživu tamních lidí zastává pátou pozici hned za rýží, pšenicí, kukuřicí a ječmenem (Ahmed et al. 2009).

V důsledku nadměrné potřeby těchto rostlin dochází k jejich intenzivní produkci za pomoci syntetických hnojiv a pesticidů. Konvenční systémy intenzivního obdělávání půdy výrazně zvýšily produkci plodin a efektivitu práce. Na druhou stranu ale také vlivem své energetické náročnosti a nepříznivého působení na produktivitu půdy snižují v dlouhodobém měřítku kvalitu životního prostředí a celkovou biodiverzitu (Dudley & Alexander 2017). Takováto produkce tedy není s výhledem do budoucna udržitelná, jak zmiňují například Sumberg & Giller (2022) ve své studii o konvenčním zemědělství, kde zároveň navrhují přechod na více udržitelné, alternativní a šetrné postupy. Uvádějí například specifické přístupy ekologického, regenerativního či precizního zemědělství, jež jsou v dnešní době velmi aktuální témata. Tyto systémy kladou důraz na zlepšení produktivity ekosystémů, minimalizování environmentálních dopadů či maximalizaci efektivitu využití zdrojů, jako jsou voda, pesticidy i hnojiva. Kromě samotných systémů pěstování rostlin lze zmínit i legislativní opatření za účelem zlepšení podmínek pro biodiverzitu v agroekosystému. V rámci EU existuje hned několik programů a zákonů k ochraně a vytváření podmínek vhodných pro ochranu biodiverzity v zemědělské krajině. Jako vhodný program lze zmínit program Natura 2000 chránící klíčové biotopy či Greening, jehož cíl je zvýšit udržitelnost zemědělství a ochranu životního prostředí. Pokud se zaměříme na zákony adekvátním příkladem může být Směrnice o udržitelném používání pesticidů či Nitrátová směrnice (Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním způsobeném dusičnany ze zemědělských zdrojů), která by dle nejnovější studie Středová et al. (2024) měla na základě výsledků provedeného výzkumu podlehnout novelizaci. V rámci interpretace svých závěrů konstatují, že přes zvyšující se teplotu a zkracující se dobu vegetačního klidu jsou zákazy používání dusíkatých hnojiv v současné době stále nedostatečné.

Kukuřice

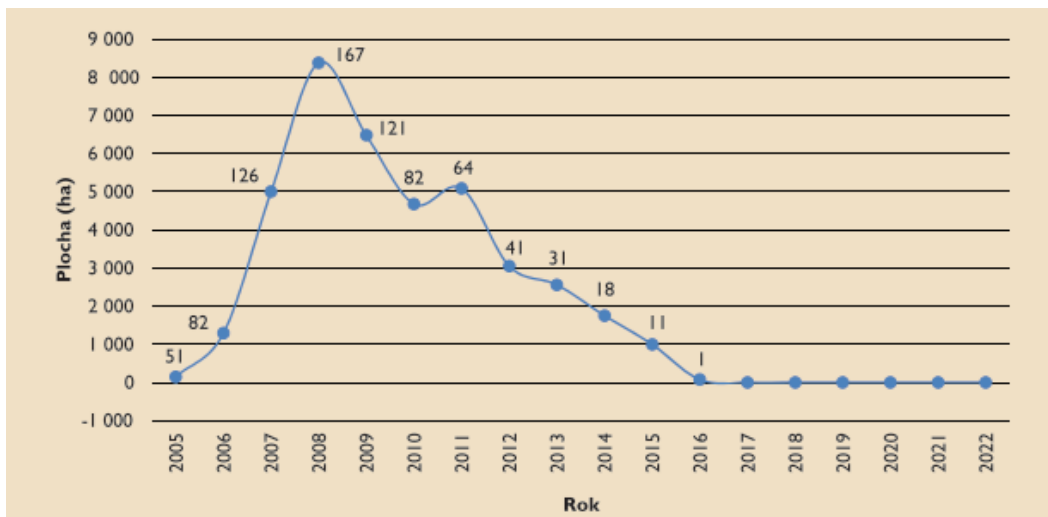
V České republice bylo dle poslední ročenky ekologického zemědělství (Ministerstvo Zemědělství 2023) ekologicky pěstovaná kukuřice na 1 230 hektarech. Celosvětový podíl

ekologicky pěstované tvoří necelé jedno procento, a to i navzdory faktu, že její produkce v systému ekologického zemědělství není obzvlášť obtížná (McConell 2021). Hlavní komplikací je vzhledem k metodám tohoto způsobu pěstování nedostatečné dodání množství dusíku. Absenci dusíku v systému ekologického zemědělství nemůže pěstitel doplnit použitím syntetických hnojiv, a proto musí využít jiných pěstebních způsobů (Kuepper 2002).

Protože je kukuřice, v porovnání s ostatními plodinami, velmi náročným spotřebitelem živin, k jejímu pěstování organickou cestou je zapotřebí dodání dostatečného množství organických hnojiv, setí meziplodin a zeleného hnojení a vhodné zařazení do osevního postupu. Takový postup s vhodnou rotací plodin, a to zejména z pohledu dostatečného zařazení leguminóz, je při pěstování organické kukuřice nejobtížnější. Nejvhodnější jetelovinou je vojtěška setá. Společně s kukuřicí se také dá vysít i jetel plazivý, který plní nejen funkci pozdějšího hnojiva a půdopokryvnou, ale i funkci ochrany proti půdní erozi, jejíž riziko je u pěstování kukuřice, coby širokořádkové plodiny, vysoké. Účinné jsou, ale i jiné rostliny z čeledi bobovitých, z nichž za tímto účelem pěstované jsou například bob obecný, vikev setá či jetel inkarnát (Kuepper 2002). Vedle zanechání velkého množství dusíku v půdě, má zařazení leguminóz do osevního postupu další výhody. Řadíme mezi ně například přínosy v podobě přerušování koloběhů škůdců a onemocnění či zvýšení biodiverzity v agrosystému (Stagnari et al. 2017).

Kromě syntetických hnojiv se při ekologickém způsobu pěstování nemůže používat ani osivo GM kukuřice, která se na území České republiky od roku 2017 nepěstuje (graf 1). V jiných zemích EU a ve světě však ano. Nejvíce geneticky modifikované kukuřice se vypěstuje ve Spojených státech. V EU je největším a zároveň s Portugalskem jediným pěstitelem Španělsko. Podle posledních dostupných dat bylo k roku 2022 ve Španělsku oseto GM kukuřicí přes 67 000 hektarů. I zde má ale pěstování GM kukuřice v dlouhodobém horizontu klesající trend (Ministerstvo zemědělství 2023). Jak zmiňuje Kaiser & Ernst (2021) pole organicky pěstované kukuřice ani nelze založit vedle pozemku s GM kukuřicí a to z důvodu zamezení případného opylení organické kukuřice geneticky modifikovanou.

Z těchto důvodů se musí management pěstování soustředit na vhodnou integraci. Základem je výběr nejvhodnějších pěstebních podmínek pro danou plodinu. Dále je rozhodujícím faktorem i správný výběr osiva. Produkce kukuřice začíná u výběru certifikovaného osiva u ověřeného dodavatele. U pěstování kukuřice je velmi významné číslo ranosti FAO, kterým si agronom určuje termín sklizně na základě délky vegetační doby hybridu. Vyhovujícím osivem tedy budou semena rostlin s vhodnou délkou vegetační doby a resistantní vůči nemocím či hmyzím škůdcům.



Graf 1: Výměra plochy GM kukuřice v ČR v ha, počet pěstitelů v letech 2005–2022, zdroj: MZe

Čirok

Světový rozsah výměry této plodiny činilo k roku 2023 40 milionů hektarů, z toho 50 % bylo vypěstováno na území Afriky. Toto číslo z čiroku dělá pátou nejpěstovanější obilninu na celém světě, jak uvedla ve svém článku společnost Lidea (2023).

Čirok se pěstuje zejména v různých částech tropických a subtropických oblastí. Je tomu tak pro jeho zařazení do C4 skupiny rostlin a vysokou odolností vůči suchu (Hassan et al. 2021). Do Čech byl ve větší míře zaveden ve 20. letech minulého století, kdy se využívalo značné množství technického čiroku. Druhá vlna využití následovala v 50. letech, později však došlo k jeho vytlačení kukuřicí, která se začala masověji využívat. Poslední vlna zvýšeného zájmu o čiroky u nás souvisí především s rozvojem bioplynových stanic, pro které poskytuje velké množství kvalitní hmoty (Hermuth et al. 2012). *Sorghum L.* je tedy především technickou plodinou, a tak se většina produkce, stejně jako u kukuřice, využívá při výrobě průmyslových výrobků, bioplynu a krmných směsí. Množství čiroku, které se použije ve výživě lidí, činí pouze 6 %. Využití čiroku však není spojeno jen s produkcí nadzemní biomasy. Kromě toho nabízí díky svému prokoření půdy i organické zbytky v podobě kořenové biomasy (Marek 2020).

V České republice se dle zařazení do skupiny “ostatní obilniny” čirok pěstuje jen na pár tisících hektarech (Marek 2020). Sejí se především za účelem meziplodiny po brzky sklizených píceňkách. Výborným prokořeněním půdy totiž zlepšují její strukturu a svou biofumigační funkcí také působí proti škůdcům a patogenům (Podrábský 2017). Mimo to hybridy čiroku a súdánské trávy jsou bezkonkurenční v dodání organické hmoty do pěstování opotřebovaných půd. Dokáží konkurovat a ničit plevele, potlačit některé druhy hád'átek či zaoráním dodat velké množství biomasy do půdy (Kolektiv autorů 2007).

Technologie pěstování čiroku na zrno, siláž či biomasu se příliš neliší od technologie pěstování kukuřice. Kromě pěstování ze semen lze rostliny čiroku množit stonkovými řízků. Tato metoda tak může ušetřit náklady osivo čiroku (Pujiharti et al. 2022). I přes tento fakt je však pěstování z osiva majoritním způsobem zakládání porostů čiroku. Veškeré formy *Sorghum L.*, které se

v dnešní době pěstují, pocházejí z vyšlechtěného hybridního osiva. Hybridy čiroku se na trhu s osivem začaly objevovat v druhé polovině 20. století a zásadně změnilly pěstební technologii. V dnešní době se, až na výjimky, žádné jiné osivo nepoužívá (N Kannababu et al. 2023).

Výsledkem vysoké potřeby takových hybridů je intenzifikace produkce, která zahrnuje zvýšení zejména aplikace hnojiv, jež měla už při začátku za následek degradaci půdy. Proto se už v 90. letech minulého století poprvé začalo na území Afriky ve spojitosti s produkcí čiroku používat méně syntetických látek (Basic Foodstuffs Service 1996).

Čirok se i přes jeho plasticitu a nízké nároky na dusík ve větším množství v ekologickém měřítku nepěstují. Procento celosvětově organicky vypěstovaného čiroku zdá se být téměř nulové, a to za předpokladu nenalezení zdrojů, které by udaly konkrétní rozsah.

Pokud se ovšem rozhodne pěstitel touto cestou jít, nároky na pěstování jsou obdobné jako u kukuřice. Z pohledu pěstebních metod jsou si kukuřice a čirok v mnohém podobné s rozdílem nižší potřeby dusíku. I zde je základem nalezení vhodného osiva, jež je v podmínkách ČR limitované pouze na odrůdy, které dokáží dozrát v kratší vegetační době mírného pásma. Za tímto účely byl v roce 2014 ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby, v.v.i. v Ruzyni vyšlechtěn hybrid Ruzrok, ke kterému se v roce 2024 zařadil druhý hybrid Rufuss (Velechovská 2022).

3.3 Znečišťující látky v prostředí-léčiva

Lidské zdraví je jedním z důležitých faktorů moderního světa, a díky vysoké úrovni a dostupnosti zdravotní péče a farmak se v posledních dekádách výrazně zlepšilo. Tato skutečnost je z velké části přisuzována právě používáním velkého množství farmaceutických účinných látek (Kunkel & Radke 2012; Alkimin et al. 2019).

Pokud se zaměříme čistě na léčiva, v minulé dekádě celosvětová spotřeba aktivních léčivých substancí přesahovala 100 000 tun za rok. V zemích Evropské Unie se jednalo o 3000 různých látek (Chupíková 2012). Dnes představují značnou hrozbu zejména antibiotika. Jejich celosvětová spotřeba překročila v roce 2019 100 000 tun. Rostou tak obavy z průniku antibiotik a genů vůči nim rezistentních do vodní a půdní sféry (Danner et al. 2019; Aryal et al. 2020). A jsou to právě antibiotika společně s nesteroidními protizánětlivými léky, u kterých byl prokázán nejen výskyt v odpadních vodách (Hammad et al. 2018). V případě nesteroidních léčiv i jejich působení na vývoj rostliny (Taschina et al. 2022). Hammad et al. (2018) zjistili, že paracetamol, jež do této skupiny léků řadíme, má škodlivý účinek na růst a vývoj *Zea mays*. Při zvýšení dávky paracetamolu se lineárně zvyšovala jeho akumulace v zrna a kořeni rostlin. Samostatný výzkum ukázal, že u rostlin salátu (*Lactuca sativa* L.) ošetřených vysokým množstvím paracetamolu byl zaznamenán výrazný pokles fotosyntézy a fluorescence chlorofylu (Kudrna et al. 2020; Taschina et al. 2022).

Léčiva jsou často z těla vyloučena ve formě konjugovaných nebo nekonjugovaných polárních metabolitů. V čistírnách odpadních vod však může dojít k rozštěpení těchto konjugátů a následnému uvolnění původní aktivní látky (Fent et al. 2006; Chupíková 2012). To představuje značný problém v rozvojových zemích, kde se odpadní voda často používá k zavlažování. Kromě toho mohou být také čistěním vzniklé biosolidy použity jako hnojivo na

orné půdě což má za následek přímou byť necílenou aplikaci farmaceutických reziduí do půdy (Mascellani et al. 2023). Tento scénář může vést k potenciálním nepříznivým účinkům, protože o některých xenobiotikách je již známo, že mají fyto toxické účinky (Daniel et al. 2022).

Rezidua léčiv jsou běžně detekované i ve vodních tocích, kde jejich osud není stále objasněn (Kunkel & Radke 2012). V průběhu let tak byla hodnocena kontaminace zejména povrchových vod nejen farmaky, ale i dalšími biologickými činiteli. Mezi takové činitele můžeme zařadit například viry, koliformní bakterie, toxické kovy či pesticidy. Zásadní problematikou jsou, i pro tuto rešerši, emise léčiv a jejich potenciální rezistence vůči životnímu prostředí (Rzymiski et al. 2017).

S postupně rostoucím množstvím používaných farmak je důležité nabýt rozšířeného povědomí o jejich chování v životním prostředí. Mnoho z těchto polutantů bývá persistentních či pseudo-persistentních, což vede k velmi pomalému nebo postupnému uvolňování do prostředí. Skrz jejich toxicitu představují velkou hrozbu nejen pro lidské zdraví, ale i pro vodní a půdní ekosystémy (Aryal et al. 2020).

Jak už bylo zmíněno výše, farmaka a jejich metabolity se obvykle uvolňují do životního prostředí přes odpadní vody, které pocházejí z domácností, nemocnic či jiných zdravotnických zařízení. Dalším neméně významným zdrojem mohou být i statková hnojiva, do kterých se dostávají rezidua léčiv z veterinární péče. Osud, chování a přístupnost léčiv pro rostliny, závisí na fyzikálních, chemických a biologických vlastnostech půdy i samotné látky. Tyto látky, zapravené určitým způsobem do půdy, jsou přijímány a zadržovány v různých částech rostliny. Gworek et al. (2021) se zabývali studiem přehledu o vlivu farmak na půdu a rostliny a uvádí, že nejvyšší koeficienty akumulace byly obecně zjištěny ve vegetativních částech rostlin v sestupném pořadí: kořeny>listy>stonky, zatímco nejnižší koeficient byl zjištěn v generativních částech, tedy například zrnech obilovin.

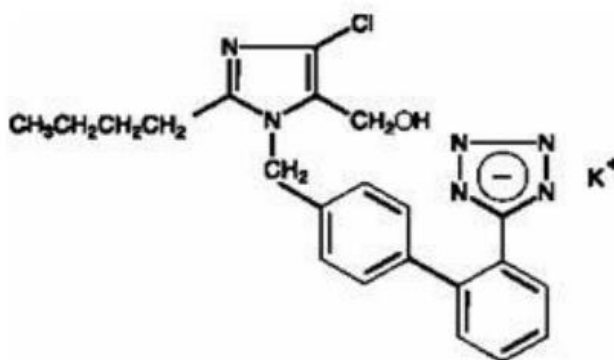
3.3.1 Losartan

Jednou z nejběžnějších kontraindikací, která podle WHO lidstvo zužuje (1,3 miliardy), je vysoký krevní tlak. Toto kardiovaskulární onemocnění se zaléčuje léky, které řadíme do skupiny antihypertenziv. Počet pacientů s hypertenzí se dle dat z portálu WHO zvýšil během posledních třiceti let dvojnásobně. Momentálně se dle statistických šetření na světě léčí s vysokým tlakem 1,3 miliardy lidí.

Losartan potassium je lék patřící do třídy antagonistů receptorů angiotensinu II (ARBs). Do této skupiny řadíme i losartanu velmi podobný valsartan, candesartan či ibersartan (Zellner 2022). Kromě léčení hypertenze zmíněné léky redukuje riziko infarktu myokardu a mrtvice. Zároveň se považují jako pomocná látka při ochraně ledvin v důsledku cukrovky (Ioannidi et al. 2022).

Losartan je nepeptidickou molekulou, jež je chemicky popisována jako 2-butyl-4-chloro-1-[p-(o-1*H*-tetrazol-5-yl)phenyl] benzyl] imidazole-5-methanol monopotassium sůl (obr. 2) (Merck & Co., Inc 2013). Losartan draselný je bílý až téměř bílý sypký krystalický prášek, který je rozpustný ve vodě, alkoholech a slabě rozpustný v běžných organických rozpouštědlech. Množství této látky uvolněné do vodního prostředí může být buď v modifikované či nemodifikované formě (Gurke et al. 2015; Kaur & Dulova 2020; Ioannidi et al. 2022). Mnoho

studií potvrdilo výskyt antihypertenziv v povrchových či odpadních vodách v reálných koncentracích od ng/L do mg/L. Zmiňuje to například studie (Nuel et al. 2018), kde se uvádí, že byly hypertenziva detekována v mořích, řekách a mokřadech v různých koncentracích. To potvrzuje skutečnost, že toto léčivo není plně odbourávané konvenčními procesy biologického zpracování. Může být také transformováno na škodlivější a více odolné sloučeniny, jak zmiňuje například studie Cortez et al. (2018). Jako xenobiotikum vyskytující se v životním prostředí tedy negativně působí na organismy, které v něm žijí. Pokud se zaměříme jen na rostliny, hlavním rizikem může být vyvolání stresové reakce (Ioannidi et al. 2022).



Obr. 2: *Strukturní vzorec losartanu potassium (MERCK & CO., INC., 2013)*

3.4 Stres u rostlin

Stres je pro rostliny definován jako nepříznivý stav vyvolaný působením stresoru. Je způsoben nadbytkem nebo nedostatkem pro rostlinu běžného faktoru (voda, kyslík, světlo) (Cerhová 2017). Stresové situace hrají zásadní roli v produktivitě, přežívání a reprodukční biologii rostlin i plodin (Rout & Das 2013).

Původní obecný koncept stresu pro živé organismy vypracoval Hans Selye (1936) a lze ho shrnout do dvou vět: „*Všechny činitele mohou působit jako stresory, které mohou vyvolat jak stres, tak specifické působení,*“ a „*Existují specifické a nespecifické reakce na tyto stresory*“ (Lichtenthaler 2004).

U rostlin existuje několik typů stresu, jež se odlišují hlavně charakterem stresoru a tím i následnou reakcí rostliny (Přerostová 2009). Reakci na stres lze rozdělit do třífázového modelu. První fáze je poplachová. Tímto stádiem rostlina zjišťuje přítomnost stresu. O stresoru se dozví pomocí senzorů (např. fotosenzory). Druhá fáze se nazývá restituční. Zde už dochází k aktivaci obranných mechanismů. Poslední fází je rezistence, kdy rostlina překonává stres pomocí obranných mechanismů. V poslední fázi může dojít k uhynutí z vyčerpání či překonání stresového období (Alkimin et al. 2019).

Opatření, kterými lze zmírnit účinky stresu, lze rozdělit na 3 základní typy. Prvním typem jsou evoluční opatření, která jsou geneticky fixovaná. Byla tvořena průběhem evoluce (např.: rozmístění průduchů, typ metabolismu, schopnost tvorby jedovatých látek atd.), rostlina se těmito opatřeními snaží stresu vyhnout. Další kategorií protistresových reakcí jsou pomalá ontogenetická opatření. Během ontogeneze rostlina využívá geny zmírňující působení stresu (např. pomocí velikosti listové plochy). Třetím typem protistresových reakcí rostlin jsou reakce modulační. Jedná se o velice rychlé reakce. Příkladem může být otvírání a zavírání stomat, natočení listů nebo náhlá změna koncentrace různých látek (Cerhová 2017).

Stresory jsou obecně rozlišovány na biotické a abiotické (Lichtenthaler 2004). Biotické stresory jsou povahy biologické. Patří sem zejména působení patogenů (viry, mikroby, houby), konkurenčních druhů rostlin (alelopatie, parazitizmus) a poškození rostliny způsobené živočichy. Průběh a výsledek stresové reakce závisí na mnoha činitelích týkajících jak stresoru, tak reagující rostliny. U stresoru je nutné brát v úvahu především jeho charakter, velikost (odchylku od optimálního stavu), rychlost nástupu a dobu působení. Zda biotický stresor způsobí v rostlině rozsáhlejší poškození závisí na jejím genotypu, vývojovém stádiu a fyziologickém stavu. V přirozených podmínkách obvykle působí více stresorů současně. Tím se jejich efekt vzájemně prohlubuje (Rhodes & Orczyk 2002).

Abiotické stresory jsou povahy fyzikální nebo chemické. Patří sem zejména příliš vysoké nebo nízké UV záření, taktéž vysoké i nízké extrémní teploty, nedostatek vody i zaplavení stanoviště vodou vedoucí k nedostatku kyslíku. Dalším nedostatkem může být nízká koncentrace esenciálních minerálních prvků v půdě, nadbytek iontů v půdním roztoku (zasolení půd), vysoké nebo nízké pH půdního roztoku, mechanické působení pohybů vzduchu v podobě větru a přítomnost xenobiotik v prostředí agrosystému (Gull et al. 2019).

3.5 Reakce rostlin na polutanty

Zvýšená antropogenní činnost zhoršila výskyt různých chemických polutantů (xenobiotik) v životním prostředí. Xenobiotika mohou být chemické, průmyslové či léčivé látky, které rostliny nijak pro svůj růst a vývoj nevyužívají. Vzhledem k jejich přítomnosti v životním prostředí však dochází k jejich absorpci rostlinami spolu se základními živinami (Zellner 2022). Samy o sobě, nebo v kombinacích, mohou přijaté substance vyvolat stresovou situaci a ovlivnit tak růst i fyziologii každého organismu (Shikha et al. 2016). Míra poškození závisí na mnoha faktorech. Liší se koncentrací vstupující do rostliny či například taxonem, který dávku xenobiotika přijme. Zda se po příjmu bude xenobiotikum transportovat xylémem do listů nebo díky translokaci floémem do plodů, závisí na schopnosti sloučeniny procházet membránami (Zellner 2022). Absorbovaný polutant může nejen svým působením vyvolat stresovou reakci, ale může ovlivnit i koordinační signální dráhy, které mění genovou expresi a regulaci u vyšších rostlin (Shikha et al. 2016).

Mezi nejčastější polutanty vyskytující se v životním prostředí řadíme těžké kovy (kadmium, arsen atd.), organické látky (TNT či fenantren), pesticidy a vzdušné polutanty. Ty se mohou do životního prostředí dostat nejen antropogenním vlivem, ale i skrz lesní požáry, vulkanickou činnost nebo biodegradaci (Shikha et al. 2016).

Aby rostliny zabránily poškození buněk a tkání působením výše zmíněných abiotických stresorů, mohou zahájit obrannou reakci produkcí rozmanitých sekundárních metabolitů. Rostliny buď syntetizují nové chemické látky, nebo zvyšují koncentraci (ve většině případů) stávajících chemických látek. Velké množství těchto metabolitů produkovaných za různých podmínek abiotického stresu jsou obranné chemické látky, které mají funkčně protizánětlivý a antioxidační účinek. Hlavní skupinou sekundárních metabolitů jsou terpenoidy, dále alkaloidy a fenolové sloučeniny (Yesi et al. 2022).

Kromě produkce metabolitů je pro rostliny nejdůležitějším mechanismem proces mobilizace xenobiotik. Mechanismus se diferencuje do tří fází a to na transformaci, konjugaci a kompartmentaci (Shikha et al. 2016).

Příjem xenobiotik začíná u příjmu kořeny z okolní rhizosféry pasivní difuzí (Zellner 2022). Dále se léčivo dostane k plazmatické membráně, přes kterou je látka přenesena pomocí transformačního proteinu (Shikha et al. 2016). Absorbované cizorodé látky bývají často lipofilní povahy, snadno se vstřebávají a kumulují do vysoké míry toxicity (Coleman et al. 1997). Aby mohly být rostlinou účinně metabolizovány, je nutná jejich aktivace za pomoci zvýšení rozpustnosti ve vodě. Děje se tak při procesu oxygenace prostřednictvím enzymů fáze I. Nejčastějšími enzymy pro fázi I jsou peroxidasy, peroxygenasy či cytochrom P450. Zvýšením hydrofilních vlastností xenobiotik se umožňuje v druhé fázi činnost konjugace s polárními biomolekulami, jako jsou aminokyseliny, sacharidy nebo peptidy. V mnoha případech jde o konjugaci s UDP-glukosou, přičemž deprivatizovaná xenobiotika mohou vystupovat jako akceptory tohoto cukru za vzniku O – glykosidické vazby (Chupíková 2012).

Vzhledem k tomu, že rostliny nemohou vyloučit konjugáty xenobiotik močí jako živočichové, musí metabolismus rostlin v rámci třetí fáze kompartmentace uložit rozpustné konjugáty do vakuol. Nerozpustné konjugáty jsou zabudovány do buněčné stěny (Trapp & Karlson 2001; Chupíková 2012).

Rostliny si tak evolučně vyvinuly strategii, jak se vyrovnat s negativními dopady xenobiotik na jejich růst a ontogenezi. Některé druhy rostlin jsou schopny xenobiotika absorbovat a detoxikovat. Avšak stres typicky vyvolaný chemickými polutanty vede k aktivaci několika biochemických a fyziologických procesů, které mohou výrazně snížit růst, vývoj a produktivitu rostliny. Vystavení rostlin účinným farmaceutickým látkám s velkou pravděpodobností ovlivní vývoj rostlin s neznámými důsledky (Mascellani et al. 2023). Aby byl tento negativní dopad co nejnižší, rostliny svými metabolickými procesy polutanty detoxikují. Metabolické procesy v podstatě degradují xenobiotika na netoxické formy a přerozdělí je do jednotlivých komponentů buňky. Zabraňují tak narušení základních biochemických drah či dynamiku životně zásadních buněčných dějů (Wei et al. 2023). Tyto vícestupňové procesy vykazují složitost a zároveň mimořádnou druhovou rozmanitost. Jedna z nejdůležitějších detoxifikací je chemická modifikace pomocí kovalentní vazby na endogenní glutathion. Vzniklé konjugáty jsou exportovány z cytosolu do vakuoly pomocí tonoplastového transportéru závislého na ATP. Tato detoxikační cesta má mnoho společných rysů s cestou, kterou rostliny používají pro syntézu a vakuolární ukládání sekundárních metabolitů, mezi které řadíme například antokyanin. Tento glutathion skládající se z tripeptidické struktury molekul glutamátu, cysteinu a glycinu hraje významnou roli v procesech detoxikace (Shikha et al. 2016).

4 Metodika

4.1 Popis rostlinného materiálu

Pro pokus byly použity rostliny kukuřice seté RGT EXXOTIKA (*Zea mays L.*) a čiroku dvoubarevného (*Sorghum bicolor L.*) dvou genotypů Ruzrok a Rufuss (RUJH03). U pokusných rostlin byl sledován v rámci šesti variant vliv xenobiotik na fyziologické charakteristiky v juvenilním stádiu růstu.

4.2 Pokusný materiál

KUKUŘICE

RGT EXXOTIKA (obr. 3) odrůda je středně raný (FAO 290), dvouliniový hybrid koňského zubu, v České republice registrován v roce 2014. Hybrid je pěstován pro zrno, siláž a na biomasu pro výrobu bioplynu. Mezi výhody pěstování této odrůdy se řadí rovnoměrné dozrávání a vysoká tolerance k suchu, dobrý zdravotní stav a odolnost k lámání stébla (RGT EXXOTIKA 2021).



Obr. 3 Dozrálé klasy kukuřice RGT EXXOTIKA (www.ragt-semences.fr)

ČIROK

Rufuss je novou českou odrůdou čiroku vyšlechtěnou v roce 2023 ve VÚRV, v.v.i. v Praze-Ruzyni. Vyrůstem je střední velikosti mezi zrnovými čiroky na siláž (1,6 m). Vyznačuje se širokými listy a mohutnou latou s velkými zrny (obr. 4), což představuje základ předpokladu pro poskytování vysokých výnosů a energie píce. K oficiální registraci ÚKZÚZ došlo v roce 2024 a to v segmentu zrnových silážních odrůd (Klír 2023). Osivo pro založení pokusu bylo získané na základě smlouvy SMTA-CRI no. 2023/SK09.



Obr. 4 Odrůda Rufuss (www.vurv.cz)

Ruzrok (obr. 5) je extrémně raná, univerzální česká odrůda taktéž vyšlechtěná ve VÚRV, v.v.i. v Praze-Ruzyni. Vhodná i do okrajových oblastí, schopná bez problémů dozrát i v chladnější řepařské oblasti. Je využívána pro zrno, senáž a okrajově i siláž. Vyniká i dobrými vlastnostmi pro využití jako meziplodiny. Pro své fumigační vlastnosti se také používá k ozdravení půdy před výsadbou brambor a různých druhů zeleniny (Klír 2023).



Obr. 5 Odrůda Ruzrok (www.vurv.cz)

4.3 Založení pokusu

Rostliny byly pěstované v hydroponických vanách o objemu 15 l v pokusném skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin v částečně řízených podmínkách, za přirozeného světelného režimu. Teplota ve dne byla 25 °C a v noci 20 °C. Osivo bylo vyseto do sadbovačů s rockwoolovými kostkami (obr. 7 a 8 přílohy). Schéma pokusu zahrnovalo 6 variant pokusu: kontrola, 10 µg/l (S1), dále 10 µg/l (S2), 100 µg/l (S3), 500 µg/l (S4) a 1000 µg/l (S5). Pokus byl založen ve fázi 4. listu a ukončen ve fázi 6 (obr. 9 a 10 přílohy). Fyziologické charakteristiky byly měřeny v následujících termínech: 0, 24, 72, 168, 240 a 336 hodin. Rostliny byly pěstovány v 5 opakováních.

4.4 Měření fyziologických charakteristik

4.4.1 Výměna plynů

Výměna plynů (rychlost fotosyntézy a transpirace) byla měřena nedestruktivní metodou infračervenými analyzátoři plynů LCpro+ (obr. 6) (ADC BioScientific Ltd.). LCpro+ je gazometrický přenosný přístroj. Používá se k analýze výkonu čisté fotosyntézy, transpirace a stomatální vodivosti. S přístrojem lze také měřit teplotu vzduchu a listu, intenzitu osvětlení a atmosférický tlak. Zařízení je složeno z měřící hlavičky a hlavní programovatelné konzoly s LCD displejem. Rychlost fotosyntézy a transpirace se vypočítá z průtoku a změny koncentrace plynů výstupem a vstupem komory (ADC BioScientific Ltd.). Rychlost výměny byla měřena v dopoledních hodinách při hustotě ozáření $650 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Dále byla tato výměna sledována v souladu s prací Holá et al. (2010).



Obr. 6: LCpro+ (foto: Dominika Džačovská)

4.4.2 Fluorescence

Parametry fluorescence chlorofylu Fv/Fm byly měřeny pomocí fluorometru Opti – Sciences OS5p+. Přístroj OS5p+ je přenosný fluorometr založený na pulsní amplitudové modulaci. Je složen z programovatelné konzole s LCD displejem a přístrojem měření, který generuje různorodé typy záření, včetně slabě modulovaného, saturačního a aktinického záření (Opti-Science 2023). Dle Roháčka & Bartáka (1999) po uplynutí doby zatemnění listů, která je 20 minut, dojde k reoxidaci všech reakčních center fotosystému II (PSII). Následně je měřen minimální výtěžek fluorescence v adaptovaném stavu F0 pomocí slabě modulovaného záření. Naměřená hodnota je konstantní a nezávislá na fotosyntetické aktivitě. V dalším kroku dojde k ozáření listů krátkým saturačním světlem a následovně k opětovné redukci elektronových akceptorů (uzavření) PSII. Dále dochází k vzrůstu fluorescence chlorofylu a změření maximální fluorescence v temnotě adaptovaném stavu Fm. Rozdíl mezi Fm a F0 značíme jako maximální výtěžek proměnlivé fluorescence chlorofylu v temnotě adaptovaném stavu (Fv). Pomocí naměřených hodnot Fm, F0 a vypočítaného Fv lze vypočítat poměry: Fv/Fm, což je maximální kvantový výtěžek fluorescence.

4.4.3 Vodní potenciál

Osmotický potenciál vyjadřuje rozdíl mezi aktivitou vody v pletivech a aktivitou chemicky čisté vody (Ehler & Gos 2016). Tento tlak byl stanoven měřením jednotlivě odebraných vzorků za pomoci přístroje WP4C od METER Group, Inc. WP4C měří vodní potenciál technikou rosného bodu chlazeného zrcadla. V tomto typu zařízení je vzorek vyvážen pomocí metody headspace v uzavřené komoře, která obsahuje zrcadlo a příslušenství pro identifikaci míry kondenzace na zrcadle. Při rovnováze jsou jak vodní potenciál vzduchu v komoře, tak vodní potenciál vzorku stejný. Ke konci měření se vodní potenciál vzorku vypočítá na základě hodnot tlaku v prostoru a saturačních par s vodou (Haghverdi et al. 2020).

4.4.4 Vyhodnocení výsledků

K vyhodnocení výsledků byla použita statistická analýza vícefaktorové ANOVY sledující vliv dvou nezávislých faktorů na závislou proměnnou v programu STATISTICA 12 od StatSoft. ANOVA nám umožňuje zjistit, zda existuje hlavní efekt jednotlivých faktorů a interakce mezi nimi. Následná interakce nám ukáže, zda se vliv jednoho faktoru mění v závislosti na úrovni druhého. V tomto pokusu jsem sledovala změnu fyziologického stavu rostlin, a to mezi nezávisle proměnnými odběru, varianty a odrůdy na závisle proměnných hodnotách naměřené transpirace, fotosyntézy, vodního potenciálu, karotenoidů a fluorescence. Charakteristiky byly dále zpracovány v MS Excel.

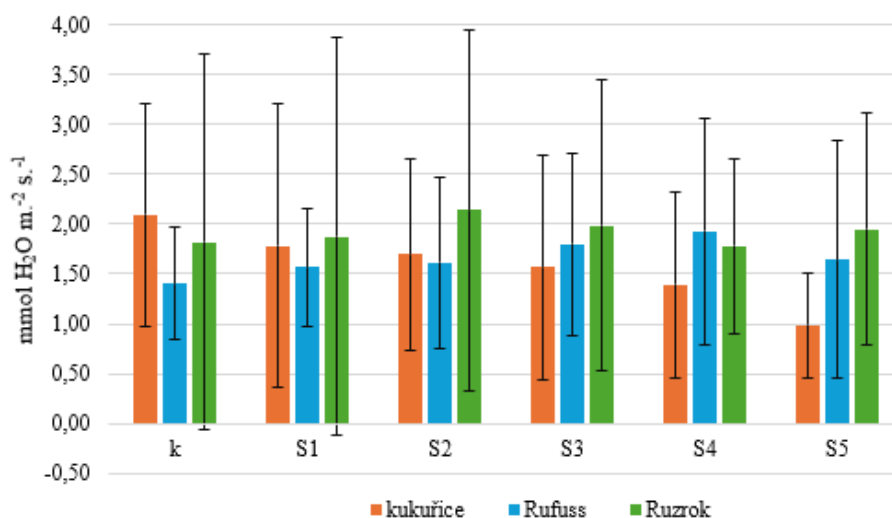
5 Výsledky

Během juvenilního růstového stadia čiroku a kukuřice pěstovaných v hydroponii byly systematicky šestkrát odebrány vzorky k analýze fyziologických parametrů. Tyto parametry zahrnují intenzitu transpirace, rychlost fotosyntézy, vodní potenciál, poměr fluorescence a koncentraci karotenoidů a chlorofylů.

5.1 Intenzita transpirace

V grafu 2 je znázorněna intenzita transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) sledovaných rostlin v závislosti na variantě. Z něho je patrné, že nejvyšší intenzita transpirace byla zaznamenána u odrůdy Ruzrok ve variantě S2 s hodnotou $2,14 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Naopak na straně druhé nejnižší intenzita transpirace byla naměřena u genotypu kukuřice ve variantě S5 ($0,98 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$). V případě rostlin kukuřice je možné konstatovat prudký pokles v porovnání zmíněné hodnoty varianty S5 oproti hodnotě u rostlin z varianty kontrolní ($2,09 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$). U odrůdy Ruzrok byla nejnižší průměrná intenzita transpirace zaznamenána u varianty S4 ($1,78 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a nejvyšší u S2 ($2,14 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Nejnižší intenzitu transpirace měly rostliny odrůdy Rufuss. Rostoucí trend byl zaznamenán ve variantě S4 ($1,93 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a naopak klesající u varianty kontroly ($1,40 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

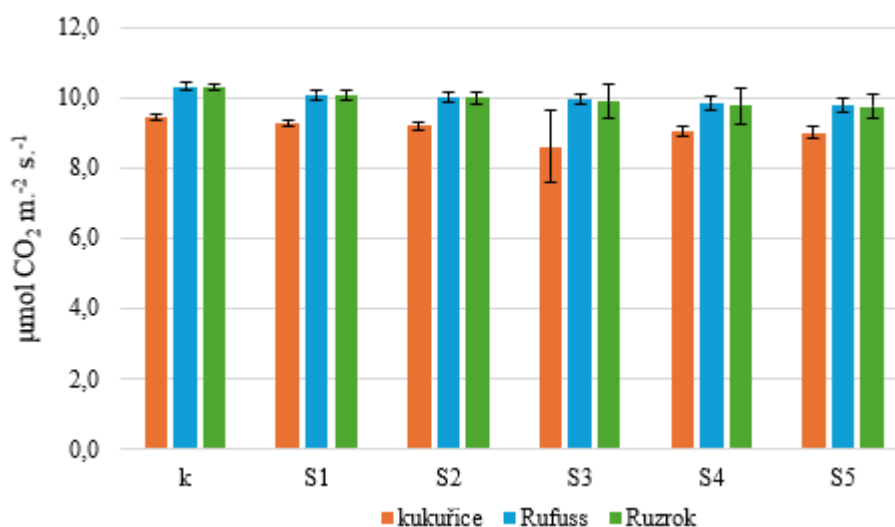
Ze sledovaných variant pokusu vykazovaly nejnižší průměrnou intenzitu transpirace rostliny rostoucí ve variantě S5 ($1,52 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Naopak nejvyšší intenzita transpirace byla stanovena u rostlin z varianty S2 ($1,82 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Intenzita transpirace byla nejnižší u odrůdy kukuřice ($1,58 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a naopak nejvyšší u hybridu Ruzrok ($1,92 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$).



Graf 2: Změna intenzity transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) linií kukuřice, Ruzrok a Rufuss se závislostí mezi variantou a plodinou

5.2 Rychlost fotosyntézy

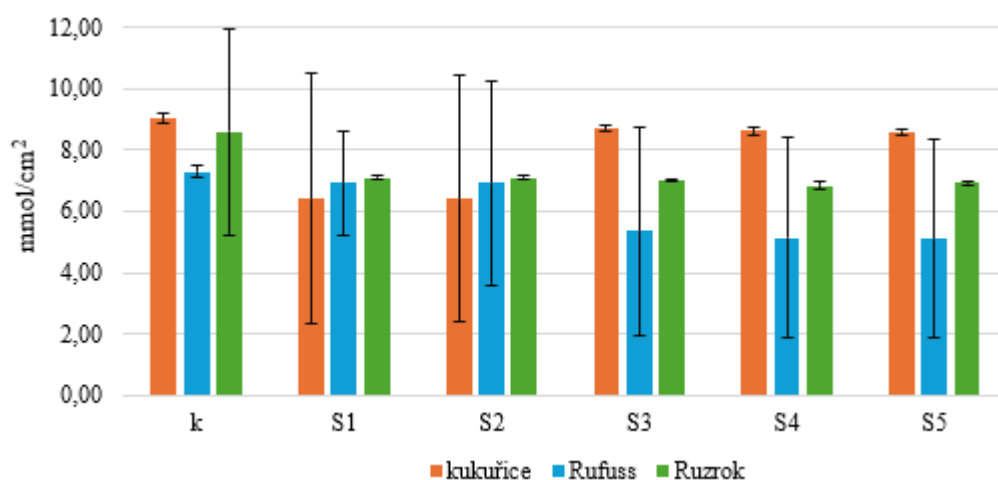
V grafu 3 jsou uvedené hodnoty rychlosti fotosyntézy v závislosti na aplikaci léčiva do roztoku v rámci sledovaných rostlin. Nejvyšší zaznamenaná rychlost fotosyntézy byla stanovena u obou odrůd čiroku, kdy u odrůdy Rufuss byla $10,33 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a u odrůdy Ruzrok $10,29 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Naopak nejnižší rychlost fotosyntézy byla zjištěna u rostlin kukuřice u varianty S3 ($8,61 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Z grafu 3 vyplývá, že nejvyšší rychlost fotosyntézy vykazovaly kontrolní rostliny, kdy jejich průměrná fotosyntéza byla $10,02 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a nejnižší u rostlin z varianty S3 ($9,48 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). V rámci plodin měly rostliny kukuřice nejnižší průměrnou rychlost fotosyntézy ($9,09 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a nejvyšší u odrůdy Rufuss ($9,99 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).



Graf 3: Rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) u linií kukuřice, Ruzrok a Rufuss se závislosti mezi variantou a plodinou

5.3 Koncentrace chlorofylu

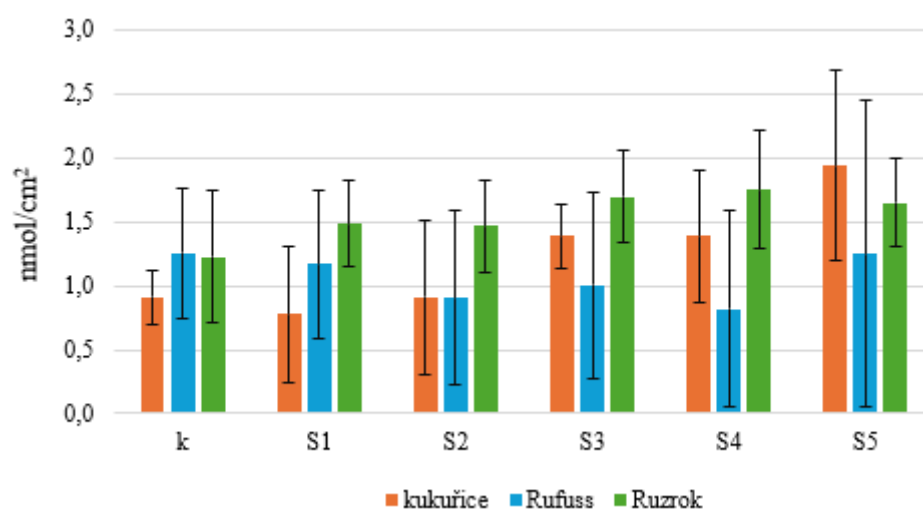
Graf 4 uvádí hodnoty obsahu chlorofylu (mmol/cm^2) jednotlivých plodin v závislosti na variantě. Zde je patrné, že k nejnižší hodnoty obsahu chlorofylu byly zaznamenány u odrůdy Rufuss, kde docházelo se zvyšující se koncentrací léčiva ke klesajícímu trendu v koncentraci chlorofylu. Nejnižší hodnota byla naměřena ve variantě S5 ($5,09 \text{ mmol}/\text{cm}^2$). Pro porovnání s kontrolní se s nejvyšší koncentrací léčiva se obsah chlorofylu snížil o $2,21 \text{ mmol}/\text{cm}^2$. V případě kontrolních rostlin je možné zaznamenat vyšší obsah chlorofylů v listech v porovnání s variantami stresovanými. U této varianty byla průměrná hodnota obsahu chlorofylů $8,30 \text{ mmol}/\text{cm}^2$. Nejnižší průměrnou koncentraci chlorofylu měly rostliny z varianty S4 ($6,87 \text{ mmol}/\text{cm}^2$). V rámci plodin byla nejvyšší koncentrace chlorofylu u rostlin kukuřice s průměrnou hodnotou $7,96 \text{ mmol}/\text{cm}^2$. Na straně druhé nejnižší obsah chlorofylů byl zjištěn u odrůdy Rufuss ($6,12 \text{ mmol}/\text{cm}^2$). Průkazné diference v obsahu chlorofylů byly nalezeny u odrůdy Rufuss mezi variantami S2 a S3-S5. V případě odrůdy Ruzrok byly rozdíly nalezeny mezi kontrolou a všemi následujícími variantami a u kukuřice mezi kontrolou a S1 a S2.



Graf 4: Koncentrace chlorofylu v mmol/cm^2 u linií kukuřice, Rufuss a Ruzrok v závislosti mezi variantou a plodinou

5.4 Koncentrace karotenoidů

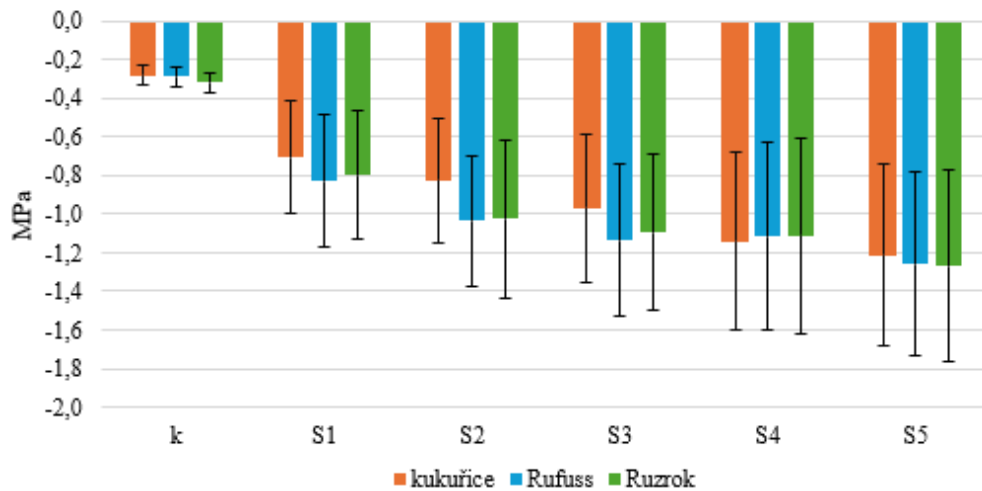
V následujícím grafu 5 je znázorněna koncentrace karotenoidů (nmol/cm^2) v závislosti na plodině a variantě pokusu. Nejvyšší koncentrace karotenoidů byla obsažena u kukuřiči ve variantě S5 ($1,94 \text{ nmol}/\text{cm}^2$). Na straně druhé nejnižší koncentrace byla, obdobně jako u chlorofylu, naměřena u odrůdy Rufuss ($0,82 \text{ nmol}/\text{cm}^2$) ve variantě S4. U odrůdy Rufuss byl stanoven nejnižší průměrný obsah karotenoidů ($1,05 \text{ nmol}/\text{cm}^2$). Nejvyšší obsah karotenoidů byl naměřen u odrůdy Ruzrok, kdy průměrná koncentrace karotenoidů u této odrůdy byla $1,55 \text{ nmol}/\text{cm}^2$. Průkazné difference byly nalezeny mezi všemi sledovanými variantami pokusu v rámci plodin.



Graf 5: Koncentrace karotenoidů (nmol/cm^2) u linií kukuřice, Rufuss a Ruzrok se závislostí mezi plodinou a variantou

5.5 Vodní potenciál

Graf 6 znázorňuje hodnoty vodního potenciálu. Z grafu je patrné, že se stoupajícím množstvím léčiva klesá vodní potenciál v rostlinách. Průměrná hodnota vodního potenciálu byla ve variantě S5 nižší v porovnání s kontrolou o -0,95 MPa, u kontrolních rostlin byl vodní potenciál ve výši -0,86 MPa. Statisticky průkazné snížení vodního potenciálu bylo zjištěno mezi kontrolními rostlinami a rostlinami rostoucími ve variantě S5. V případě těchto rostlin se vodní potenciál snížil celkově o 1 MPa. V případě hodnocení plodin je možné konstatovat, že průměrně vyšší hodnoty vodního potenciálu vykazují rostliny kukuřice (-0,85 MPa) a nejnižší rostliny odrůdy Rufuss (-0,94 MPa). Vodní potenciál se průkazně snižuje vlivem působení léčiva, v rámci testovaných koncentrací.

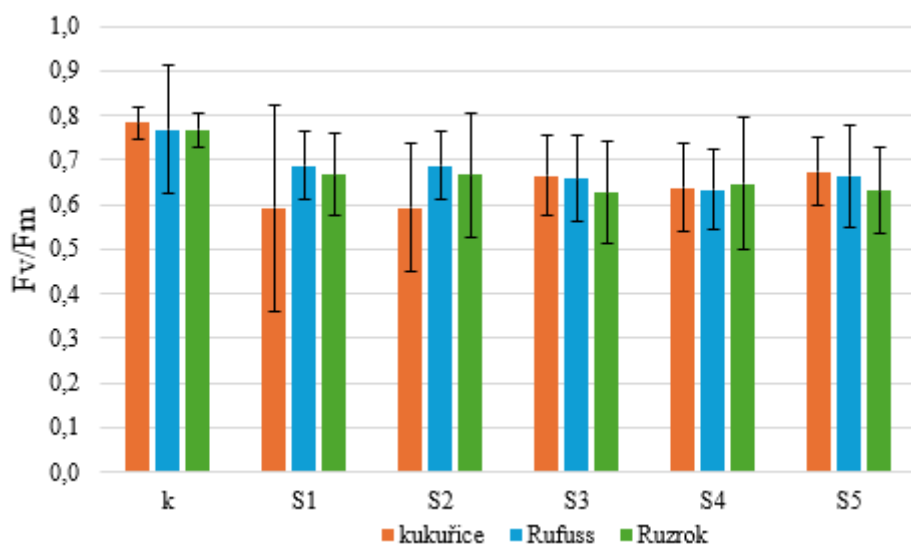


Graf 6: Vodní potenciál (MPa) u linií kukuřice, Rufuss a Ruzrok se závislostí mezi plodinou a variantou

5.6 Poměr fluorescence

Z grafu 7 je patrné, že nejvyšší hodnota fluorescence (F_v/F_m) byla u kontrolních rostlin, kdy nejvyšší naměřenou fluorescenci měly rostliny kukuřice (0,78), u linií čiroku se poměr v kontrolní vaně pohyboval na stejné úrovni (0,76). Proto u kontrolních rostlin byla také nejvyšší průměrná hodnota fluorescence (0,77). Nejnižší hodnota fluorescence byla zaznamenána u stresovaných rostlin, varianta S1 a S2, kukuřice (0,59). V dalších variantách se obsah buď mírně snížil či stagnoval nejčastěji v rozmezí od 0,63 do 0,68. Celkově se však nejnižší průměr fluorescence všech plodin projevil ve variantě S4 (0,64).

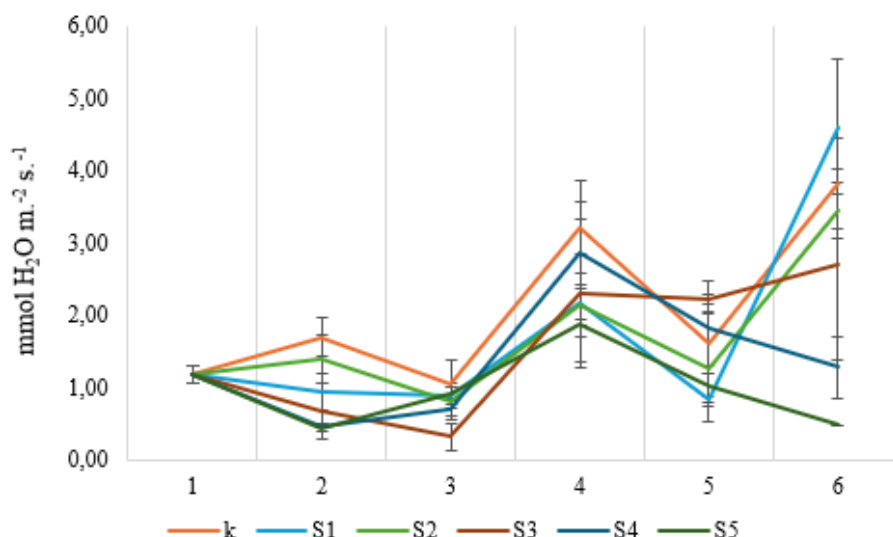
Průměrná hodnota fluorescence činila u kukuřice 0,65 a odrůd čiroku Rufuss a Ruzrok 0,68 a 0,67. V případě rostlin kukuřice byly nalezeny difference mezi kontrolou a variantami S1 a S2. U hybridů Rufuss a Ruzrok byly nalezeny průkazné rozdíly mezi kontrolou a všemi stresovanými variantami.



Graf 7: Poměr fluorescence (F_v/F_m) u linií kukuřice, Rufuss a Ruzrok se závislostí mezi plodinou a variantou

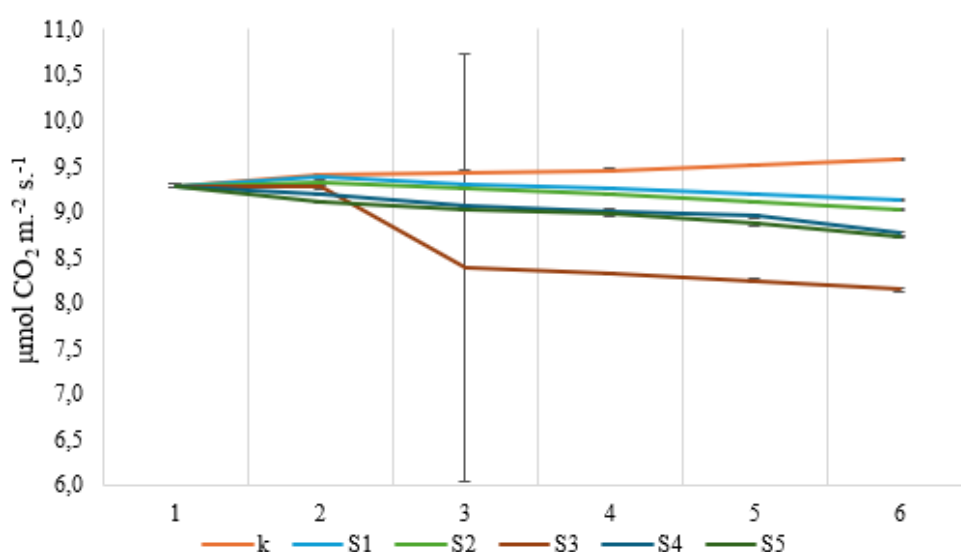
5.7 Kukuřice

V grafu 8 jsou uvedeny změny intenzity transpirace juvenilních rostlin kukuřice v závislosti na variantě pokusu a termínu měření. Z uvedeného grafu je patrné, že intenzita transpirace v průběhu termínu nevykazuje výrazné změny v nárůstu či poklesu hodnot. Na počátku pokusu byla intenzita transpirace ve výši $1,17 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Na konci pokusu se hodnoty intenzity transpirace pohybovaly v intervalu hodnot od $0,48 \text{ (mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ do $4,60 \text{ (mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$. U kontrolních rostlin kukuřice se intenzita transpirace po 24 hodinách od zahájení pokusu zvýšila na hodnotu $1,70 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, avšak v následujícím termínu měření bylo zaznamenáno statisticky průkazné snížení transpirace ($1,04 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Toto snížení bylo vystřídáno opětovným průkazným zvýšením intenzity transpirace o $2,16 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Na konci sledovaného období byla intenzita transpirace ve výši $3,82 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. V případě rostlin rostoucích ve variantě S1 se nejprve neprůkazně intenzita transpirace snižovala, kdy na počátku pokusu byla v defaultní hodnotě $1,17 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, po 24 hodinách $0,94 \text{ (mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ a po 72 hodinách $0,89 \text{ (mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$. Tento pokles byl vystřídán shodně s kontrolními rostlinami s průkazným nárůstem intenzity transpirace ($2,18 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Průkazný nárůst transpirace byl znovu zaznamenán po 336 hod. od založení pokusu, kdy byla naměřena maximální intenzita transpirace $4,60 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Uvedenému zvýšení předcházelo snížení intenzity transpirace. Obdobný trend, jak dokládá graf 8, je možné zaznamenat také u variant S2 a S3. U těchto variant byla naměřena nejnížší rychlost transpirace ($0,45$ a $0,32 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Naopak nejvyšší rychlost transpirace dosahovaly u těchto variant po 336 hodinách po zahájení pokusu, kdy byla naměřena intenzita transpirace ve výši u S2 $3,44 \text{ (mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ a u S3 $2,70 \text{ (mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$. Trend v poklesu a navýšení intenzity transpirace byl do 5. termínu měření zjištěn také u variant S4 a S5. Avšak u těchto dvou variant se na konci pokusu transpirace průkazně snížila na hodnoty $1,28 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (S4) a $0,48 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (S5).



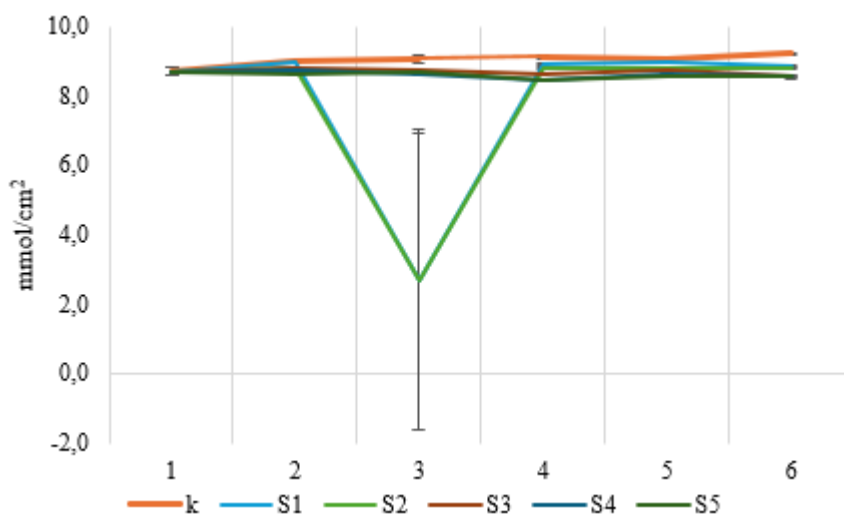
Graf 8: Intenzita transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) u kukuřice se závislostí na odběru a variantě

Graf 9 se zaměřuje na sledování rychlosti fotosyntézy u kukuřice v závislosti na odběrech a variantě. U variant S1-S5 došlo oproti variantě kontroly k viditelnému poklesu, který měl až do šestého odběru klesající trend. Tento pozvolně snižující se trend zaznamenal u variant S1, S2, S4 a S5 po 336 hodinách expozice léčivem o 0,16 (S1), 0,25 (S2), 0,52 (S4) a 0,56 (S5) $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ pomalejší fotosyntézu než ve 0 hodin. Prokazatelně největší propad v rychlosti nastal po 72 hodinách ve variantě S3, kdy se rychlost fotosyntézy snížila o 0,89 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Tento pokles byl následován pozvolným zpomalováním fotosyntézy až do šestého odběru, kde rychlost naměřené fotosyntézy byla o 1,14 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ nižší než v 0 hodin. U rostlin v kontrolní variantě prokazatelně proběhlo od 0 až do 336 hodin konstantní zrychlování fotosyntézy. Naměřená hodnota fotosyntézy byla po 336 hodinách pokusu o 0,28 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ vyšší než v nulté hodině.



Graf 9: Rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) u kukuřice se závislostí na odběru a variantě

Graf 10 demonstruje hodnoty obsahu chlorofylu kukuřice v závislosti na odběru a variantě. Počáteční hodnota obsahu chlorofylů byla 8,71 mmol/cm². S měřením po 24 hodinách bylo zaznamenáno neprůkazné zvýšení obsahu chlorofylu u variant K, S1, S2, S3 a S4, u varianty S5 naopak k decentnímu poklesu. Průkazné snížení bylo zaznamenáno u variant S1 a S2 ve třetím měření po 72 hodinách expozice léčivem, kdy obsah chlorofylu se u varianty S1 snížil o 6,27 mmol/cm² a u S2 o 6,17 mmol/cm². Po 168 hodinách od aplikace se obsah chlorofylů u těchto variant opět zvýšil na hodnoty uvedené ve 2. termínu. Tento trend byl zachován až do konce pokusu, kdy u varianty S1 byl obsah chlorofylů 8,85 mmol/cm² a u S2 8,79 mmol/cm². U kontrolních rostlin byl zaznamenán mírný nárůst obsahu chlorofylů v závislosti na čase, neboť na počátku pokusu byl jejich obsah (8,71 mmol/cm²) a na konci 9,21 mmol/cm².

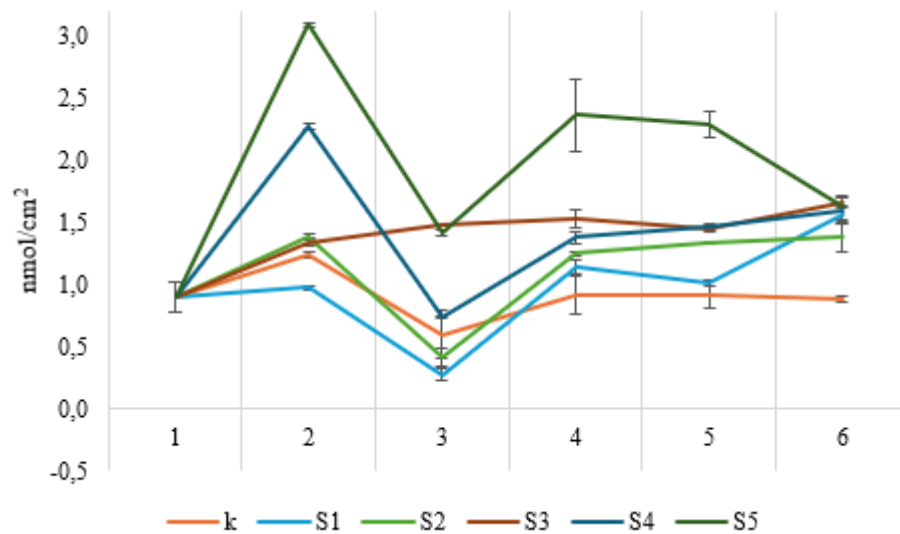


Graf 10: Koncentrace chlorofylu (mmol/cm²) u kukuřice se závislostí na odběru a variantě

V grafu 11 jsou znázorněny koncentrace karotenoidů (nmol/cm²) v průběhu odběrů. Pro všechny varianty se počáteční koncentrace v 0 hodin pohybovala v 0,89 nmol/cm². S dalším odběrem po 24 hodinách došlo k průkaznému nárůstu těchto hodnot ve všech variantách. K největšímu vzrůstu koncentrace došlo u varianty S5 a S4, kde byla naměřená hodnota v S5 o 2,19 nmol/cm² a v S4 o 1,38 nmol/cm² vyšší než v předchozím odběru. Další, byť ne tak signifikantní nárůst byl naměřen i u všech zbylých variant, který byl následován průkazným propadem hned v dalším odběru kromě varianty S3, kde se koncentrace pohybovala v míře 1,47 nmol/cm². Ani v dalším odběru ve 168 hodinách nedošlo u této varianty k poklesu. V rámci čtvrtého odběru se po opětovném prokazatelném vzrůstu koncentrace karotenoidů u všech ostatních variant nejvíce zvýšila hodnota ve variantě S1 (o 0,86 nmol/cm²), S2 (o 0,83 nmol/cm²), S4 (o 0,64 nmol/cm²) a S5 (o 0,95 nmol/cm²). S dalšími odběry kromě varianty S2 (vzrůstající trend v posledním odběru) a S5 (klesající trend v posledním odběru) se neprojevil žádné významné odchylky.

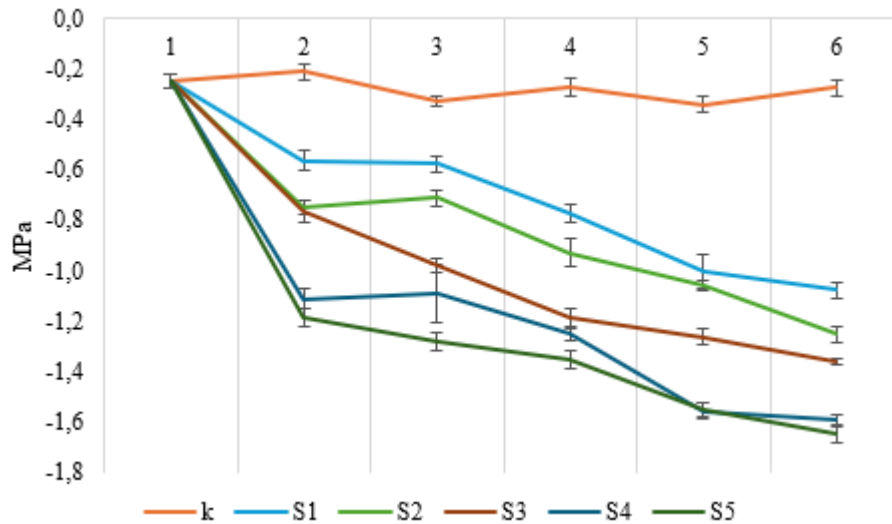
Závěrem lze říci, že největší koncentrace karotenoidů byla naměřena prokazatelně po 24 hodinách (1,72 nmol/cm²) a nejnižší hned v dalším odběru po 72 hodinách (0,81 nmol/cm²).

Zaměřením na jednotlivé varianty byla nejnižší koncentrace naměřena v kontrolní vaně (0,91 nmol/cm²) a nejvyšší v S5 (1,94 nmol/cm²).



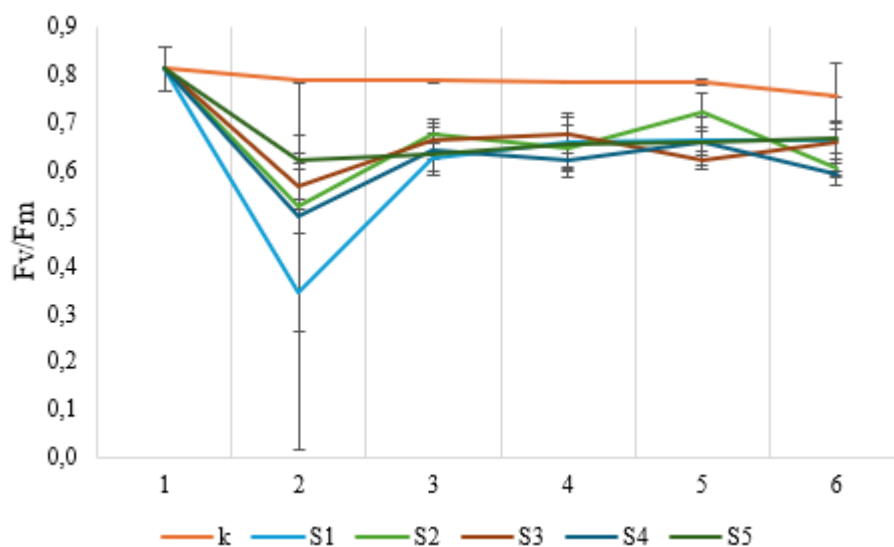
Graf 11: Koncentrace karotenoidů (nmol/cm²) u kukuřice se závislostí na odběru a variantě

Vodní potenciál (MPa) u kukuřice měl po celkovou dobu odebrání vzorků prokazatelně klesající tendenci. Z grafu 12 je vidět, že byl zaznamenán prokazatelný velmi rapidní pokles všemi variantami kromě kontrolní, kde po celou dobu měření docházelo ke střídavému mírnému vzrůstu a poklesu. Odběrem v nulté hodině byl zjištěn potenciál -0,25 MPa pro všechny varianty. Kromě kontroly se hodnota vodního potenciálu u ostatních variant změnila hned druhým odběrem po 24 hodinách, kde pro S1 činil -0,56, pro S2 -0,75, pro S3 -0,76, pro S4 -1,11 a pro S5 -1,18 MPa. Potenciál i nadále v těchto variantách klesal, až do šestého odběru, kde pro S1 zastával hodnotu -1,08, pro S2 -1,25, pro S3 -1,36, pro S4 -1,59 a pro S5 -1,65. Z grafu 12 je tedy patrné, že nejvíce klesl ve variantě S5, kde se průměrná hodnota pohyboval v -1,21 MPa a nejméně v kontrolní variantě (-0,28 MPa). Dále z grafu vyplývá, že nejnižší průměrná hodnota byla změřena po 336 hodinách (-1,20 MPa) a nejvyšší v 0 hodin (-0,25 MPa).



Graf 12: Vodní potenciál (MPa) u kukuřice se závislostí na odběru a variantě

Co se týče fluorescence u kukuřice, i zde je zřetelný rozdíl mezi variantami k a S1-S5. Z grafu 13 lze vyčíst, že k nejnižšímu prokazatelnému propadu od kontroly došlo u varianty S1 v druhém odběru, kde byl naměřen poměr fluorescence o 0,47 Fv/Fm nižší než v 0 hodin (0,81). S dalším odběrem se prokazatelně zvýšil poměr u variant S1 o 0,28, S2 o 0,15, S3 o 0,1 a S4 o 0,14. S dalšími odběry docházelo opět střídavě ke klesajícímu a vrůstajícímu trendu, kde prokazatelně vzrostl poměr fluorescence u varianty S2 v pátém odběru na hodnotu 0,72 a s dalším odběrem prokazatelně klesl na 0,60. V porovnání variant se vany S1-S5 pohybovaly průměrným poměrem fluorescence 0,65 oproti kontrole, kde se průměr poměru fluorescence vyznačil 0,78. Celkově nejvyšší poměr byl naměřen v 0 hodin (0,81) a nejnižší hned po 24 hodinách (0,55).



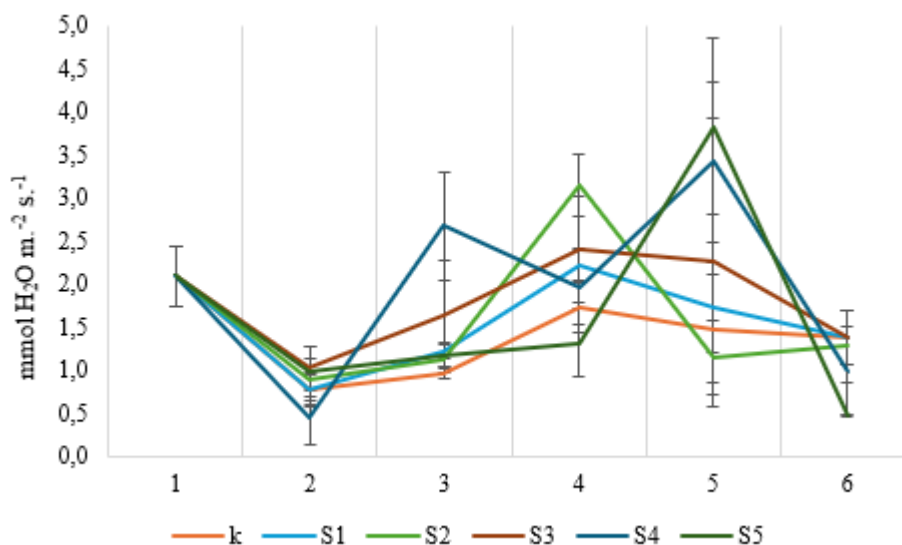
Graf 13: Poměr fluorescence (Fv/Fm) u kukuřice v závislosti na odběru a variantě

5.8 Odrůda Rufuss

Následujících šest grafů pojednává o sledování zkoumaných parametrů u odrůdy Rufuss v závislosti na odběru a variantě.

Graf 14 zobrazuje intenzitu transpirace u odrůdy Rufuss, kde se počáteční intenzita naměřila v $2,09 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. S druhým odběrem po 24 došlo u všech variant k průkaznému poklesu. Nejnižší hodnota ve druhém odběru byla změřena u varianty S4 ($0,45 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). S dalším odběrem se u stejné varianty zaznamenal prokazatelný prudký nárůst ($2,68 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), který lze demonstrovat i na variantě S3. Transpirace zde stoupla se třetím odběrem o $0,61 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Čtvrtým odběrem po 168 hodinách se prokazatelně snížila hodnota transpirace varianty S4 (o $0,72 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a prokazatelně stoupla u varianty S2 (o $2,03 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). K dalším prokazatelným vzestupům došlo i u variant K, S1, a S3. Pátý odběr 240 hodinách opět ukázal prokazatelně zásadní pokles, a to u varianty S2, kde se transpirace snížila o $2,01 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a naopak prokazatelně zvýšení transpirace u variant S4 ($3,41 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a S5 ($3,82 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Se šestým odběrem se tímto poklesem tak s nejnižšími hodnotami prokázaly stejné varianty (S4; $0,98 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; S5; $0,48 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

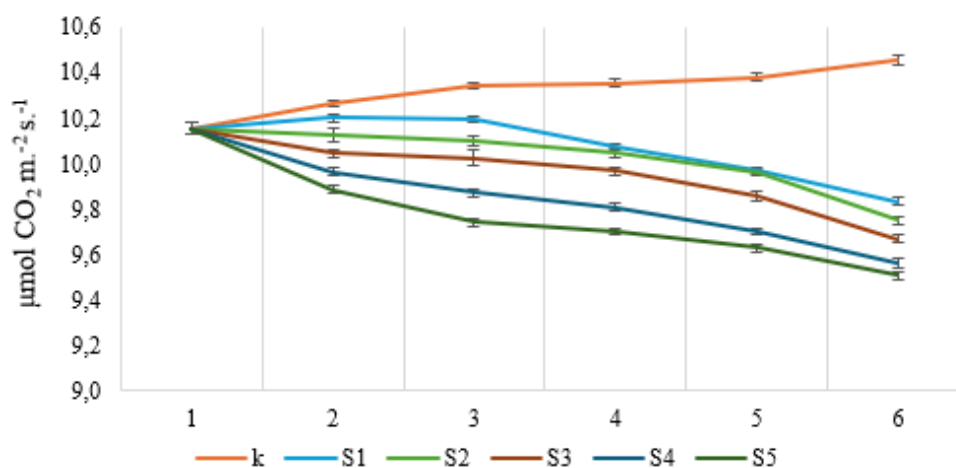
Průměrně nejnižší hodnoty se celkově naměřily po 24 hodinách ($0,82 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a nejvyšší po 240 hodinách ($2,3 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Ve variantě S4 pak došlo k nejvyšší transpiraci ($1,93 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a v kontrolní k nejnižší ($1,40 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).



Graf 14: Intenzita transpirace ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) odrůdy Rufuss v závislosti na odběru a variantě

Rychlost fotosyntézy u odrůdy Rufuss se vyvíjela podobně jako u kukuřice. V grafu 15 je zřetelná statistická průkaznost v propadu u variant S1-S5 oproti kontrolní variantě bez léčiv, kde rychlost postupem odběrů narůstala. Nejvyšší naměřená hodnota tak byla v šestém odběru v kontrolní vaně ($10,455 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Prvním odběrem byla zjištěna rychlost o $10,16 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Tato hodnota se s odběrem po jednom dni slabě navýšila u variant K a S1, a naopak klesla u S4 ($9,96 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a S5 ($9,88 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Klesající trend

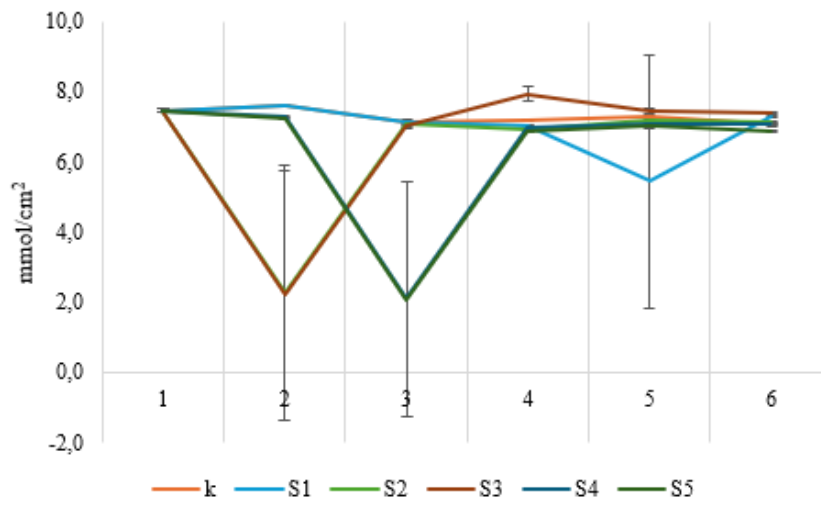
se projevoval až do šestého měření, kde byly pro varianty S1-S5 naměřeny prokazatelně nejnižší rychlosti fotosyntézy za celou dobu pozorování. Zcela nejnižší byla rychlost u S5 ($9,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a tedy i průměrná rychlost v této variantě ($9,77 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).



Graf 15: Rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) odrůdy Rufuss v závislosti na odběru a variantě

Koncentrace chlorofylu v grafu 16 se u této odrůdy potýkala se prokazatelným propadem, a to ve variantě S2 ($2,25 \text{ mmol/ cm}^2$) a S3 ($2,20 \text{ mmol/ cm}^2$) v druhém odběru a S4 ($2,09 \text{ mmol/ cm}^2$) a S5 ($2,08 \text{ mmol/ cm}^2$) ve třetím odběru. S následujícími odběry se hodnoty všech zmíněných variant dostaly opět do rozmezí výchozí koncentrace v nultém odběru ($7,46 \text{ mmol/ cm}^2$). V dalších odběrech nedošlo poté u těchto variant k žádným jiným výkyvům až na variantu S1. U té byl zaznamenán propad v pátém odběru, kdy se po 240 hodinách snížila koncentrace chlorofylu o $1,59 \text{ mmol/ cm}^2$ a poté zase prokazatelně vzrostla po 336 hodinách na celkovou koncentraci $7,29 \text{ mmol/ cm}^2$. V konečném měření tak měli všechny varianty velmi podobnou koncentraci, jejíž průměr byl $7,15 \text{ mmol/ cm}^2$.

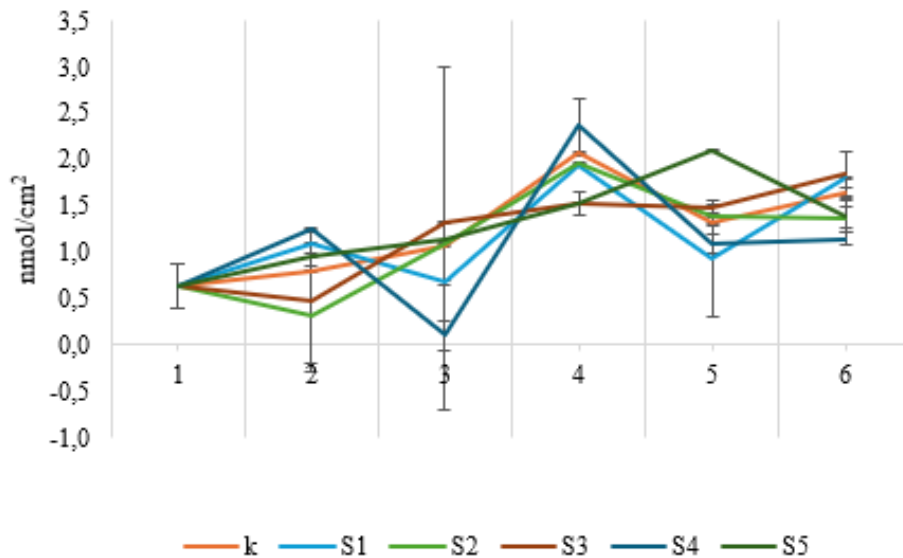
Vzhledem k vícenásobným poklesům, které lze v grafu 16 vidět, je možné říci, že nejnižší koncentrace chlorofylu byla naměřena po 240 hodinách ($5,42 \text{ mmol/ cm}^2$) a nejvyšší v nulté hodině ($7,46 \text{ mmol/ cm}^2$).



Graf 16: Koncentrace chlorofylu (nmol/cm^2) odrůdy Rufuss v závislosti na odběru a variantě

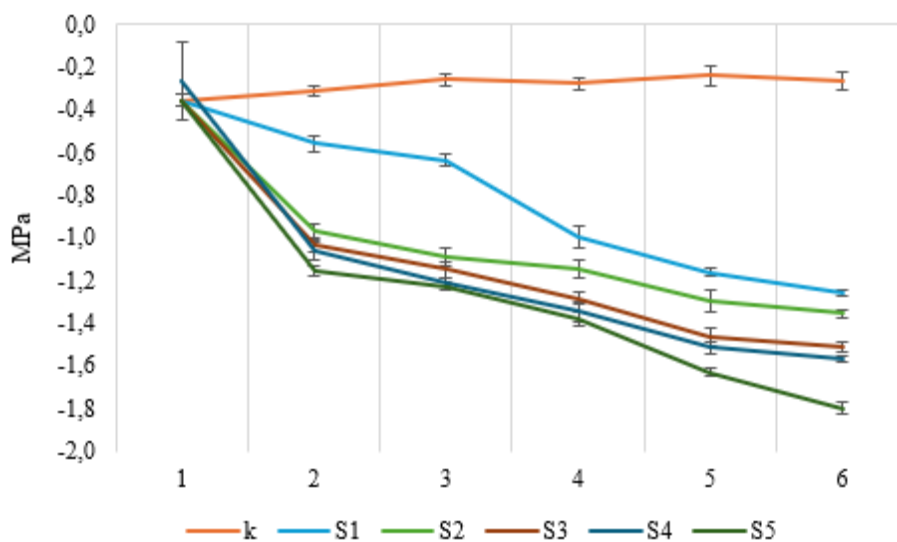
V následujícím grafu 17 je znázorněna vzestupná tendence koncentrace karotenoidů u odrůdy Rufuss s prokazatelnými mírnými propady. Prvním odběrem byla zjištěna hodnota $0,63 \text{ nmol}/\text{cm}^2$. Tato hodnota se s druhým odběrem prokazatelně zvedla u variant k ($0,79 \text{ nmol}/\text{cm}^2$), S1 ($1,1 \text{ nmol}/\text{cm}^2$), S4 ($1,26 \text{ nmol}/\text{cm}^2$) a S5 ($1,15 \text{ nmol}/\text{cm}^2$) a naopak prokazatelně snížila u S3 ($0,47 \text{ nmol}/\text{cm}^2$) a S2 ($0,33 \text{ nmol}/\text{cm}^2$). S dalším odběrem po 72 hodinách se koncentrace chlorofylů ve variantě S4 prokazatelně snížila na hodnotu $0,1 \text{ nmol}/\text{cm}^2$. Ke prokazatelnému snížení ve stejném odběru došlo i u varianty S1 ($0,67 \text{ nmol}/\text{cm}^2$). Se čtvrtým odběrem se po 168 opět projevila u varianty S4 prokazatelně vyšší koncentrace oproti předešlému odběru a to o $2,27 \text{ nmol}/\text{cm}^2$. Prokazatelně vyšší koncentrace se naměřila i u variant K ($2,06 \text{ nmol}/\text{cm}^2$), S1 ($1,95 \text{ nmol}/\text{cm}^2$) a S2 ($1,97 \text{ nmol}/\text{cm}^2$). V odběru po 240 hodinách se prokázal důsledek klesajícího trendu u varianty K, S1, S2 a S4 a naproti tomu rostoucího trendu u varianty S5, kde se koncentrace v porovnání s předešlým odběrem zvýšila o $0,58 \text{ nmol}/\text{cm}^2$. V konečném odběru se nejvyšší koncentrace projevila u varianty S3 ($1,84 \text{ nmol}/\text{cm}^2$) a nejnižší u S4 ($1,1 \text{ nmol}/\text{cm}^2$).

Obecně se nejnižší koncentrace zjistila taktéž ve variantě S4 ($1,1 \text{ nmol}/\text{cm}^2$) a nejvyšší v S5 ($1,29 \text{ nmol}/\text{cm}^2$). Z hlediska odběrů je z grafu 17 patrné, že nejnižší koncentrace byla zjištěna v prvním odběru ($0,63 \text{ nmol}/\text{cm}^2$) a nejvyšší ve čtvrtém ($1,90 \text{ nmol}/\text{cm}^2$).



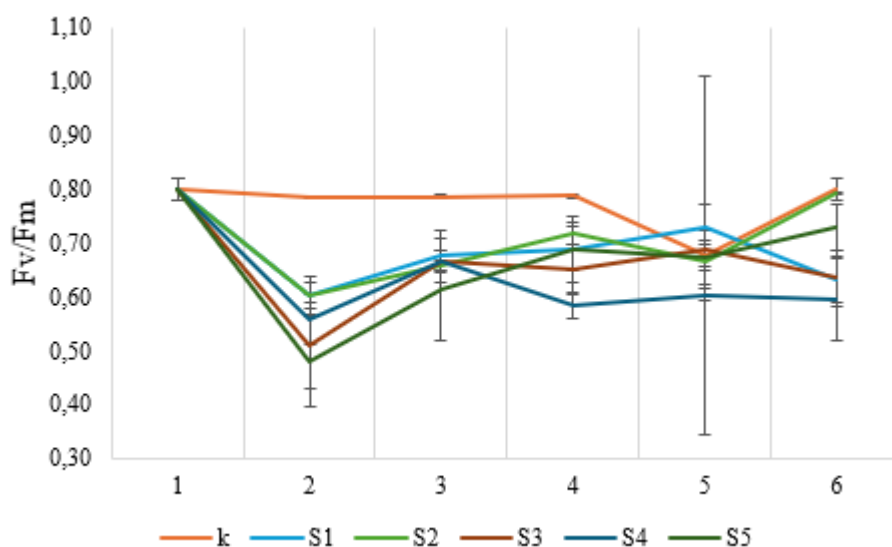
Graf 17: Koncentrace karotenoidů (nmol/cm²) odrůdy Rufuss v závislosti na odběru a variantě

Graf 18 sleduje opět klesající tendenci vodního potenciálu (MPa). I zde je, stejně jako u kukuřice, možné sledovat velký rozdíl mezi variantou kontroly a ostatními variantami. K prokazatelnému poklesu došlo hned u odběru po jednom dni v porovnání s odběrem 1. (-0,36 MPa). Největší propad byl zaznamenán u variant S2 (-0,97 MPa), S3 (-1,03 MPa), S4 (-1,06 MPa) a S5 (-1,15 MPa). S posledním odběrem se vodní potenciál odrůdy Rufuss u variant S1-S5 dostal na nejnižší naměřené hodnoty. Pro S1 -1,16 MPa, pro S2 -1,29 MPa, pro S3 (-1,47 MPa), pro S4 (-1,51 MPa) a pro S5 (-1,63 MPa). Hodnoty těchto variant získané šestým měřením byly ve velkém kontrastu s konečným potenciálem kontrolní varianty (-0,24 MPa).



Graf 18: Vodní potenciál (MPa) odrůdy Rufuss v závislosti na odběru a variantě

Graf 19 pojednává o poměru fluorescence F_v/F_m , která měla u odrůdy Rufuss prokazatelně klesající a stoupající tendenci. Největší pokles byl zjištěn hned druhým odběrem taktéž u všech variant kromě kontrolní. K prokazatelně největšímu poklesu došlo u varianty S5. Poměr fluorescence se zde snížil o 0,32. Dalším odběrem se prokazatelně zvýšil poměr F_v/F_m u varianty S3 z 0,51 na hodnotu 0,67. Další vzrůst se prokázal v odběru po 240 hodinách u varianty S1, kde se projevil druhý největší naměřený poměr u této varianty (0,73). Naopak se pátým odběrem prokazatelně projevil i pokles hodnot u variant K a S2, který následným odběrem zase vzrostl na nejvyšší hodnoty z šestého odběru. Nejnižší poměr v 336 hodinách měření byl začleněn do varianty S4 (0,59).



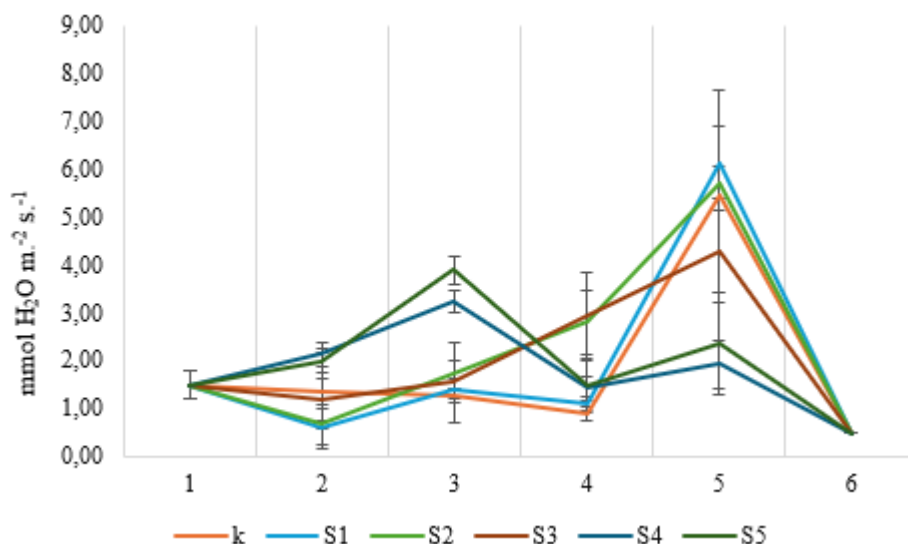
Graf 19: Poměr fluorescence (F_v/F_m) odrůdy Rufuss v závislosti mezi odběrem a variantou

5.9 Odrůda Ruzrok

V dalších grafech se výzkum zaměřuje na vyhodnocení sledovaných parametrů u čiroku odrůdy Ruzrok v závislosti na odběru a variantě.

V grafu 20 je studována intenzita transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Ta se s výchozí hodnotou $1,45 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ změnila ihned v druhém odběru. Kde se ve variantě S4 zvýšila na $2,13 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a v S5 na $1,95 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$. U všech ostatních variant došlo ke klesajícímu trendu, kdy se u variant S1 ($0,62 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a S2 ($0,67 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) prokazatelně nejvíce transpirace snížila. S navazujícím odběrem po 72 hodinách se ovšem transpirace rostlin v těchto vanách zvýšila. K navýšení prokazatelně došlo v samém odběru i u variant S4 ($3,23 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a S5 ($3,89 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Po 168 hodinách měla však transpirace v těchto variantách klesající trend, kdy pro S4 bylo naměřeno $1,42 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a pro S5 $1,5 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Pátým odběrem se zjistil prokazatelně stoupající trend u všech variant. Nejmarkantnější transpirace proběhla u rostlin ve variantách K ($5,44 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), S1 ($6,14 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), S2 ($5,71 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a S3 ($4,28 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Na konci měření byl následně zaznamenán prokazatelně prudký pokles transpirace všech variant na $0,48 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

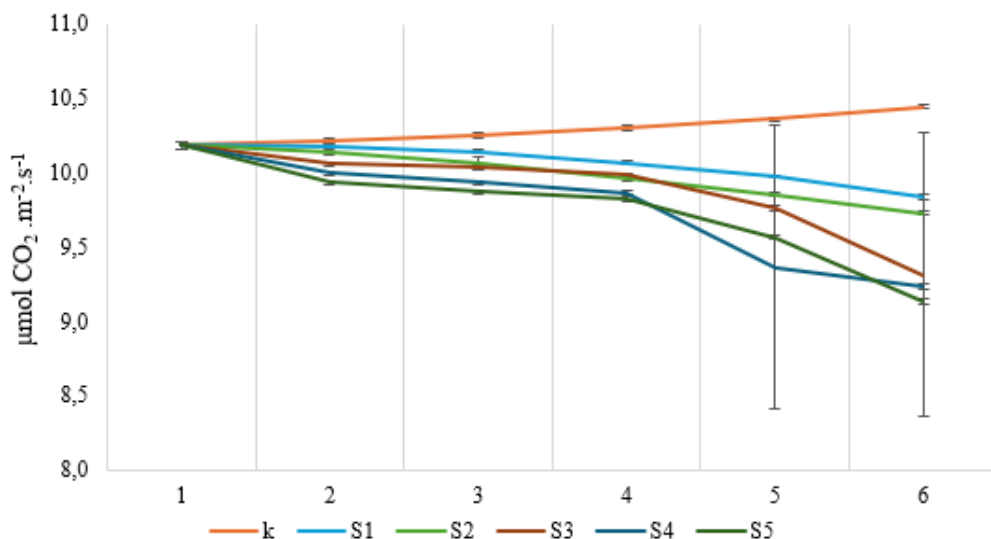
Pátým odběrem byla vzhledem k velkému výkyvu naměřena nejvyšší transpirace za celé období měření, a to $4,3 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Na druhé straně nejméně rostliny transpirovaly v druhém odběru ($1,32 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Dle zanalyzovaných hodnot nejvíce transpirovaly rostliny ve vaně S2 ($2,14 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a nejméně v S4 ($1,77 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).



Graf 20: Intenzita transpirace ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) odrůdy Ruzrok v závislosti na odběru a variantě

Graf 21 pojednává o vyhodnocení výsledků rychlosti fotosyntézy. Tak jako u předešlých plodin, i u odrůdy Ruzrok se projevil v rychlosti klesající trend. Opět je možné z grafu velmi zřetelně vyčíst prokazatelný propad variant S1-S5 oproti kontrolní variantě, kde byl v rychlosti trend stoupající. Výchozí rychlost fotosyntézy byla naměřena v hodnotě $10,19 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. První více zřetelný pokles rychlosti nastal po 72 hodinách, kde se průměrná rychlost pohybovala okolo $10 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Následující větší pokles rychlosti se prokazatelně stal u variant S3 ($9,76 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), S4 ($9,36 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a S5 ($9,56 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) v odběru po 240 hodinách. Po 336 hodinách pokles pokračoval u variant S3 ($9,31 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a S5 ($9,13 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

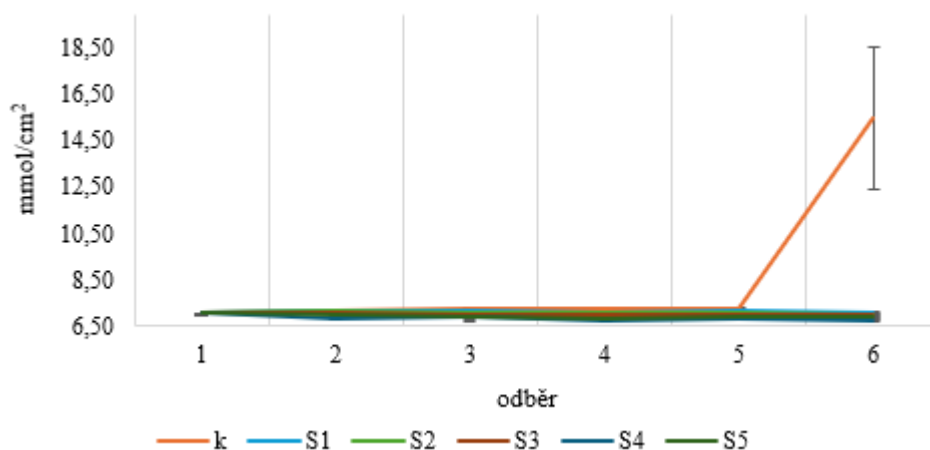
Z grafu 21 je zřejmé, že k nejvyšší naměřené rychlosti fotosyntézy došlo v kontrolní variantě v posledním odběru ($10,44 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Zároveň se ve stejném odběru projevila průměrně nejpomalejší fotosyntéza ($9,62 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).



Graf 21: Rychlost fotosyntézy ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) odrůdy Ruzrok v závislosti na odběru a

Graf 22 znázorňuje výsledky koncentrace chlorofylu (mmol/cm^2) v průběhu odebírání vzorků. U odrůdy Ruzrok nedošlo prokazatelně u koncentrace chlorofylu k žádným výkyvům kromě kontrolní varianty v posledním odběru, kdy se průkazně zvýšila koncentrace o $8,25 \text{ mmol}/\text{cm}^2$.

Dle průměrných hodnot se nejvyšší koncentrace naměřila v šestém odběru ($8,35 \text{ mmol}/\text{cm}^2$), na druhé straně nejnižší ve čtvrtém ($6,99 \text{ mmol}/\text{cm}^2$). Z hlediska variant se v důsledku vychýlení naměřila celkově největší koncentrace o $8,58 \text{ mmol}/\text{cm}^2$ v kontrolní variantě. Nejnižší v S4 ($6,84 \text{ mmol}/\text{cm}^2$).

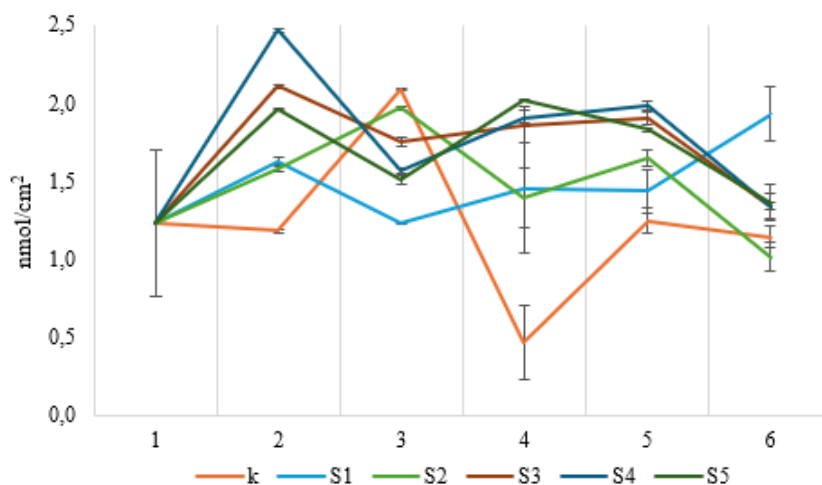


Graf 22: Koncentrace chlorofylu (mmol/cm^2) odrůdy Ruzrok v závislosti na odběru a variantě

Graf 23 hodnotí výsledky koncentrace karotenoidů (nmol/cm^2) v průběhu odběrů. Z grafu je patrný střídavě stoupající a klesající trend, a to ve všech variantách. Při prvním měření koncentrace karotenoidů činila $1,23 \text{ nmol}/\text{cm}^2$. Po 24 hodinách se druhým měřením zjistil

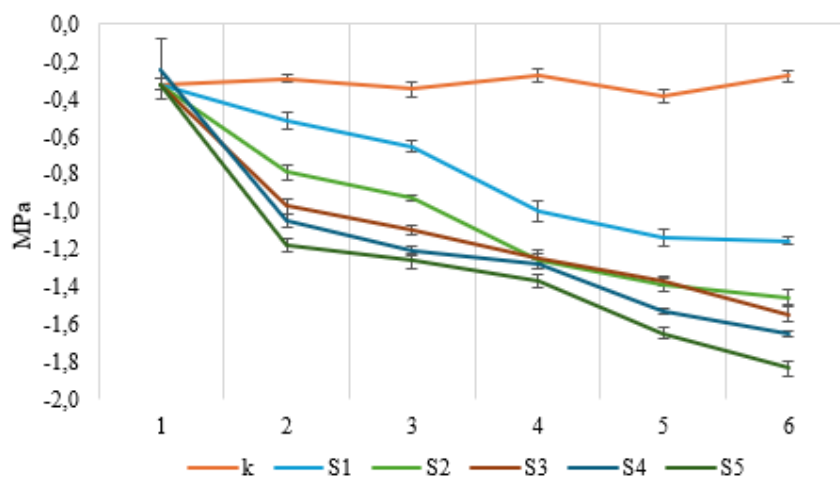
prokazatelný nárůst koncentrace ve variantách S1-S5, kdy nejvyšší koncentrace ve variantě byla v S5 1,96 nmol/cm². S měřením v po 72 hodinách se zjistil prokazatelný pokles koncentrace ve variantách S1 (1,22 nmol/cm²), S3 (1,75 nmol/cm²), S4 (1,57 nmol/cm²), a S5 (1,51 nmol/cm²) a zároveň prokazatelná nárůst v S2 (1,96 nmol/cm²) a kontrole (2,08 nmol/cm²). Ve čtvrtém měření se stal prokazatelný velký propad také v kontrolní variantě při získané koncentraci 0,46 nmol/cm², která v dalším odběru prokazatelně stoupla na 1,24 nmol/cm². V pátém odběru taktéž prokazatelně stoupla po předchozím sestupu koncentrace karotenoidů ve variantě S2 (1,64 nmol/cm²). Posledním měřením po 336 hodinách se nejvyšší koncentrace zjistila ve variantě S1 (1,93 nmol/cm²). Nejnižší způsobené předchozím průkazným úbytkem ve variantě S2 (1,01 nmol/cm²).

Prudkými snižování koncentrace karotenoidů se nejnižší hodnota naměřila v kontrolní vaně (1,22 nmol/cm²). Protikladně lze uvést hodnoty v S1 (1,47 nmol/cm²). Odběrem se mezi sebou průkazně nejvíce liší odběr v nulté hodině a po 24 hodinách.



Graf 23: Koncentrace karotenoidů (nmol/cm²) odrůdy Ruzrok v závislosti na odběru a variantě

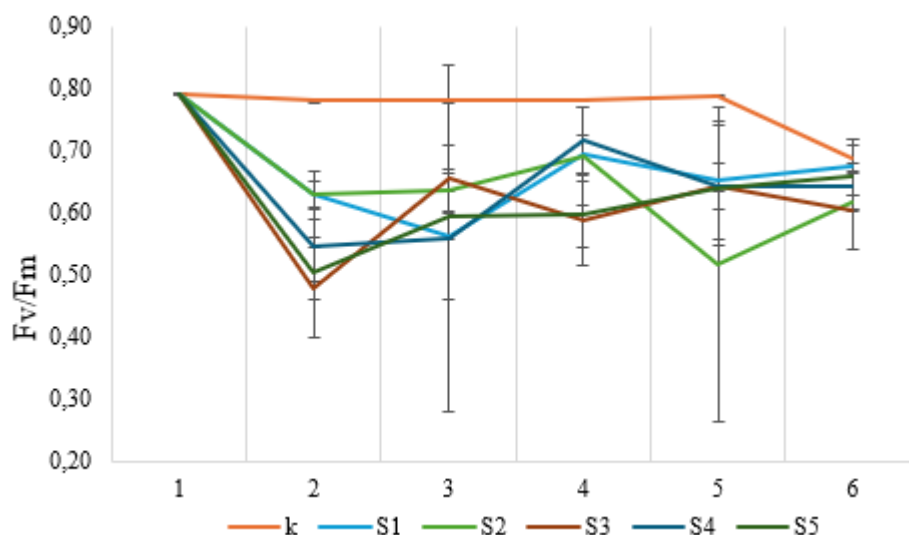
Vodní potenciál značně klesl u všech zkoumaných plodin. Graf 24 poukazuje na klesající trend vodního potenciálu (MPa) u odrůdy Ruzrok. K vodní depresi došlo hned po prvním měření (-0,32 MPa), kde nejvíce klesl u varianty S5 a to na -1,17 MPa. Prokazatelné klesání se zaznamenalo u všech variant kromě kontrolní. Zde opět, tak jako u předchozích plodin, došlo k mírné stoupající tendenci. S postupem měření tak lze pozorovat kontrast s ostatními variantami.



Graf 24: Vodní potenciál (MPa) odrůdy Ruzrok v závislosti na odběru a variantě

Fluorescence se u Ruzroku vyvíjela podobně jako vodní potenciál. V grafu 25 můžeme vidět výrazný prokazatelný sestup v poměru F_v/F_m variant S1-S5 hned v druhém odběru, kdy nejnižší poměr byl v S3 (0,48). Následnými dvěma odběry se průkazně v těchto variantách poměry fluorescence zvyšovaly. Ve čtvrtém odběru činil největší poměr hodnotu 0,71 ve variantě S4. S dalším odběrem po 240 hodinách byl zaznamenán prokazatelně signifikantní pokles u varianty S2 (0,51). Tento pokles je v následujícím měření zaměněn za prokazatelný nárůst poměru (0,61).

Pokud mezi sebou porovnáme varianty, nejvyšší poměr fluorescence byl zjištěn v kontrolní variantě (0,77) a nejnižší v S3 (0,62). Z hlediska odběrů, jak je i z grafu patrné, byl nejvyšší poměr naměřen v prvním odběru (0,79) a nejnižší v S3 (0,63).



Graf 25: Poměr fluorescence (F_v/F_m) odrůdy Ruzrok v závislosti na odběru a variantě

6 Diskuze

Do pokusu byly vybrány 2 plodiny (kukuřice RGT EXXOTIKA a širok odrůdy Rufuss a Ruzrok), které byly ovlivněny rozdílnými koncentracemi léčiva v roztoku. U rostlin byla měřena rychlost transpirace, rychlost fotosyntézy, koncentrace chlorofylu a karotenoidů, tlak vodního potenciálu a fluorescence. K měření došlo v 0, 24, 72, 168, 240 a 336 hodin.

6.1 Výměna plynů

6.1.1 Rychlost transpirace

Obecně lze konstatovat že vlivem působení léčiva dochází u sledovaných rostlin k poklesu intenzity transpirace. Nejméně intenzivní byla u kukuřice, byť se v posledním měření na rozdíl od široků zvýšila. Naopak k nejintenzivnější transpiraci došlo u hybridu Ruzrok. Tento závěr potvrzují ve své práci Schneider et al. (2020). Shodně s těmito autory i Kudrna et al. (2023), kteří sledovali vliv léčiv na kukuřici lze konstatovat, že kontaminace léčivem zřejmě způsobila uzavření průduchů, a tím i snížení transportu plynů a transpiračního toku. Obdobný závěr uvádí např. Lhotská et al. (2023) kde ve svém pokusu se salátem uvádí, že toxické polutanty a jejich případné kombinace mají negativní dopad na výměnu plynů. V průběhu pokusu taktéž pozorovali klesající trend kontaminovaných variant v porovnání s kontrolní. Po sedmi dnech pokusu, se hodnoty transpirace v kontaminovaných variantách snížily o 48.9 %.

Schneider et al. (2020), Nietupski et al. (2022) uvádí, že působení stresoru závisí nejen na koncentraci xenobiotika, ale i vývojovém stádiu, délce expozice. Uvedený závěr byl potvrzen, neboť u rostlin docházelo v závislosti na čase ke snížení transpirace.

6.1.2 Rychlost fotosyntézy

Rychlost fotosyntézy se u všech rostlin a variant vlivem zvyšující se koncentrace a délky působení stresoru snižovala. Z výsledků je patrné, že při zvyšování koncentrace xenobiotika, docházelo ke snižování rychlosti fotosyntézy. K celkově nejnižším hodnotám rychlosti fotosyntézy dospěla kukuřice, kde se průměrná rychlost pohybovala ve výši $9,09 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Tento pokles lze vysvětlit korelací se zavíráním průduchů a tím i menší absorpcí plynů, potřebných pro proces fotosyntézy. Dokazuje to například studie Opriş et al. (2019) kde autoři popisují snížení fotosyntetické aktivity související se snížením stomatální vodivosti. Lichtenthaler (2004) také zmiňuje, že vyvolaný stres mění podíly absorbované světelné energie a tím ovlivňují fotosyntetickou kvantovou přeměnu. Obdobné výsledky dokládá také Mascellani et al. (2023) u karbamazepinu.

V závislosti na délce působení stresoru je možné konstatovat, že v případě těchto rostlin s dobou působení léčiva klesá rychlost fotosyntézy. Což vyplývá i z tohoto pokusu výsledků naměřených u variant vystavených působení léčiva. Naopak v případě rostlin kontrolních bylo možné zaznamenat postupný nárůst rychlosti, a to u všech pokusných plodin. Tento závěr potvrzují např. Džáčovská (2019), Kudrna et al. (2020).

6.2 Obsah fotosynteticky aktivních pigmentů

Redukce chlorofylu a karotenoidů je typickým příznakem enviromentálního stresu, jež byl popsán v několika studiích. K tomuto snížení může dojít v důsledku poškození biosyntézy pigmentů způsobené stresem (Aghaie et al. 2018).

V případě chlorofylů nelze vyznívat jednoznačný trend v poklesu jejich obsahu v listech v závislosti na čase a variantě pokusu. Přesto je možné konstatovat, že nižších hodnot bylo dosaženo u stresovaných variant v porovnání s kontrolou. Uvedené výsledky potvrzují grafy 10 a 16.

V rámci času bylo průkazné snížení zaznamenáno ve 3. termínu měření. Tato snížení by mohly být přisuzovány, jak konstatuje Lichtenthaler (2004), xenobiotikem vyvolanému stresu, a tím i snižujícím se podílu absorbované energie světla, která rostlina využívá při fluorescenci chlorofylu. Proto lze také chování fluorescence chlorofylu zdárně použít při detekci stresu v rostlině. Schneider et al. (2020) uvádí, že aplikace xenobiotik snížila koncentraci fotosyntetických pigmentů, což následně mohlo způsobit nižší absorpci fotonů molekulami chlorofylů a karotenoidů, čímž se celkově snížila schopnost rostliny absorbovat sluneční záření potřebného pro fotosyntézu. Tento fakt mohl tudíž přispět ke klesajícímu trendu fotosyntézy u rostlin vystavených stresoru v našem pokusu.

U karotenoidů lze konstatovat, že se jejich koncentrace postupným přidáváním léčiva v případech kontaminovaných variant zvyšovala. Tyto výsledky se shodují s výsledky práce Mascellani et al. (2023), kde po studiu vlivu kabamazepinu taktéž došli k závěru zvyšující se koncentrace karotenoidů a zároveň snížené koncentrace chlorofylu akumulací léčiva v rostlinách (*Zea mays* L.).

Obsah fotosyntetických pigmentů je velmi důležitým parametrem ovlivňující fotosyntézu. Kraus et al. (2022) hovoří o průkaznosti snižující se koncentrace fotosyntetických pigmentů v důsledku působení stresových faktorů. Ve své studii dále popisuje, že obsah chlorofylů a karotenoidů záleží na vegetační fázi rostliny a genotypu. Tento závěr byl potvrzen, neboť rostliny kukuřice vykazovaly nižší množství pigmentů ve srovnání s čiroky.

6.3 Vodní potenciál

Vodní potenciál zaznamenal průkazné snížení u všech plodin, a to ve všech kontaminovaných variantách. Nejnižší potenciál byl naměřen u odrůdy Ruzrok (-0,94 MPa). Nejvyšší naopak u kukuřice (-0,85 MPa). Se zvyšující se koncentrací se vodní potenciál snižoval, jak také dokládá ve své Zgallaï et al (2006) u plevelů, Mascellani et al. (2023) či Kudrna et al. (2023) u kukuřice. Faktor, který klesající trend vodního potenciálu podpořil nebyl jen vliv léčiva, ale i stres způsobený suchem, kterému byly rostliny nepřímě vystaveny. Snížení vodního potenciálu má u mnoha rostlin za následek fotosyntetickou kompetenci. Při mírném stresu suchem se za důsledek snížení fotosyntézy obecně považuje snížení dostupnosti CO₂ uzavřením průduchů. Delší stresové období vyvolané suchem tak může mít za následek pokles fotosyntézy (Grzesiak et al. 2006).

6.4 Fluorescence

Podle Maxwella a Johnsona (2000) lze z poměru F_v/F_m velmi dobře určit účinek stresu na rostlinu. Autoři uvádí, že optimální poměr se pohybuje v rozmezí od 0,79 do 0,84. V tomto rozmezí se pohybují i počáteční poměry F_v/F_m všech pokusných plodin. Tento poměr však s rostoucím stresem klesá. S vyhodnocením výsledků poměrů F_v/F_m z následujících měření se prokázal zřetelný pokles u kontaminovaných variant v porovnání s kontrolní. Nejnižší poměr celkově byl naměřen u hybridu Ruzrok (0,66) a naopak nejvyšší u linie Rufuss (0,68). Negativní dopad farmak na poměr F_v/F_m byl již potvrzen výsledky výzkumů například Kudrnou et al. (2020) působením Acetaminophenu na salát setý (*Lactuca sativa* L.) či Hniličkou et al. (2022) působením Acetaminophenu na primární metabolismus juvenilních rostlin kukuřice.

7 Závěr

V této práci byl sledován vliv xenobiotik na vybrané fyziologické parametry juvenilních rostlin kukuřice, čiroku.

Ze získaných výsledků vyplývají následující závěry:

- Byl prokázán negativní vliv koncentrace losartanu na sledované fyziologické parametry.
- Se zvýšenou koncentrací léčiva se u všech pokusných rostlin průkazně snížily hodnoty vodního potenciálu, fluorescence chlorofylu a rychlost fotosyntézy.
- Neprůkazné změny byly zaznamenány u koncentrace chlorofylu u hybridu Ruzrok.
- Středně citlivě na zvyšující se koncentraci léčiva reaguje Ruzrok.
- Existuje fyziologický rozdíl v reakci čiroku a kukuřice v závislosti na použité koncentraci léčiva; tuto hypotézu lze potvrdit.
- V rámci sledovaných druhů rostlin na působení léčiva citlivěji reaguje čirok v porovnání s kukuřicí.
- Mezi testovanými odrůdami čiroku nebyly nalezeny průkazné rozdíly.
- Byl prokázán vliv délky působení stresoru na uvedené fyziologické parametry.

8 Literatura

Internetové zdroje

Foreign Agricultural Service. 2024. Sorghum Explorer. U.S. Department of agriculture. Dostupné z <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=0459200> (zprístupněno únor 2024).

Jan Klír/Výzkumný ústav rostlinné výroby. 2023. Nová ruzyňská odrůda čiroku Rufuss. VÚRV, v.v.i. Dostupné z <https://www.vurv.cz/2023/09/29/nova-ruzynska-odruda-ciroku-rufuss/> (zprístupněno březen 2024).

Michael McConell/Economic Research Service. 2021. U.S. organic corn and soybean acreage increases but remains less than 1 percent of total. U.S. Department of agriculture. Dostupné z <https://www.ers.usda.gov/data-products/chart-gallery/gallery/chart-detail> (zprístupněno únor 2024).

Ministerstvo zemědělství. Nitrátová směrnice. eAGRI. Dostupné z <https://eagri.cz/public/portal/mze/zivotni-prostredi/nitratova-smernice> (zprístupněno duben 2024).

Podrábský Marek/Kurent s.r.o. 2017. Pěstování a využití čiroků. Agromanuál. Dostupné z <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/pestovani-a-vyuziti-ciroku> (zprístupněno březen 2024).

RAGT. 2021. RGT EXXOTIKA. Dostupné z <https://ragt-osivo.cz/sites/default/files/public/medias/variety/pdfs/RGT%20Exxotika.pdf> (zprístupněno duben 2024).

Velechovská Jana. 2022. Čirok a bér na našich polích. ProfiPress. Dostupné z <https://uroda.cz/cirok-a-ber-na-nasich-polich/> (zprístupněno únor 2024).

World Health Organization. First WHO report details devastating impact of hypertension and ways to stop it. WHO, New York. Dostupné z <https://www.who.int/news/item/19-09-2023-first-who-report-details-devastating-impact-of-hypertension-and-ways-to-stop-it> (zprístupněno duben 2024).

Odborná literatura

Aghaie P, Hosseini Tafreshi SA, Ebrahimi MA, Haerinasab M. 2018. Tolerance evaluation and clustering of fourteen tomato cultivars grown under mild and severe drought conditions. *Scientia Horticulturae* **232**:1–12. Elsevier. Available from <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.041>.

Ahmed AG, Orabi SA, Gomaa AM. 2009. Physiological effects of bio-organic farming on growth parameters, yield and antioxidant enzymes activity of grain sorghum. *Egyptian Journal of Agronomy* **31**:237–252.

Alkimin GD, Daniel D, Dionisio R, Soares AMVM, Barata C, Nunes B. 2019. Effects of diclofenac and salicylic acid exposure on *Lemna minor*: Is time a factor? *Environmental*

Research **177**.

- Aryal N, Wood J, Rijal I, Deng D, Jha MK, Ofori-Boadu A. 2020. Fate of environmental pollutants: A review. *Water Environment Research* **92**:1587–1594.
- Aulakh CS, Sharma S, Thakur M, Kaur P. 2022. A review of the influences of organic farming on soil quality, crop productivity and produce quality. *Journal of Plant Nutrition* **45**:1884–1905. Taylor & Francis. Available from <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2027976>.
- Autorů K. 2007. Managing Cover Crops Profitably. Page (Clark A, editor)3. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE) program. Available from <https://www.sare.org/wp-content/uploads/Managing-Cover-Crops-Profitably.pdf>.
- Cerhová M. 2017. Reakce kořenového systému rostlin na stres suchem. MASARYKOVA UNIVERZITA.
- Chupíková A. 2012. Interakce farmak s vyššími rostlinami jako model fytoimediačních procesů. UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE.
- Coleman JOD, Blake-Kalff MMA, Davies TGE. 1997. Detoxification of xenobiotics by plants: Chemical modification and vacuolar compartmentation. *Trends in Plant Science* **2**:144–151.
- Cortez FS et al. 2018. Ecotoxicological effects of losartan on the brown mussel *Perna perna* and its occurrence in seawater from Santos Bay (Brazil). *Science of the Total Environment* **637–638**:1363–1371. Elsevier B.V. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.069>.
- Daniel D, Dias de Alkimin G, Nunes B. 2022. Plant seeds and their use as test organisms for the assessment of toxicity of a model xenobiotic. *Acta Physiologiae Plantarum* **44**:1–10. Springer Berlin Heidelberg. Available from <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03341-y>.
- Danner MC, Robertson A, Behrends V, Reiss J. 2019. Antibiotic pollution in surface fresh waters: Occurrence and effects. *Science of the Total Environment* **664**:793–804. Elsevier B.V. Available from <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.406>.
- Dudley N, Alexander S. 2017. Agriculture and biodiversity: a review. *Biodiversity* **18**:45–49. Taylor & Francis. Available from <https://doi.org/10.1080/14888386.2017.1351892>.
- Durilová A, editor. 2023. Zemědělství 2022. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Džačovská D. 2019. Vliv zasolení na rychlost výměny plynů a fluorescenci chlorofylů u juvenilních rostlin z čeledi Cucurbitaceae. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Ehler W, Gos JM. 2016. Water dynamics in plant production druhé. CABI. Available from https://www.researchgate.net/publication/299595022_Water_Dynamics_in_Plant_Production_2nd_Edition_Available_at_httpwwwcabiorgbookshopbook9781780643816.
- Fent K, Weston AA, Caminada D. 2006. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquatic Toxicology* **76**:122–159.
- García-Lara S, Serna-Saldivar SO. 2018. Corn History and Culture. *Corn: Chemistry and Technology, Third Edition*:1–18.
- Grzesiak MT, Grzesiak S, Skoczowski A. 2006. Changes of leaf water potential and gas exchange during and after drought in triticale and maize genotypes differing in drought tolerance. *Photosynthetica* **44**:561–568.
- Gull A, Lone AA, Wani Islam NU. 2019. Biotic and Abiotic Stresses in Plants. Pages 3–5 in de Oliveira AB, editor. *Abiotic and Biotic Stress in Plants* první. IntechOpen, London. Available from https://books.google.cz/books?hl=en&lr=&id=sHH8DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=what+are+abiotic+stresses&ots=AOODAOxTQd&sig=uV8BjZCDhQOsWf0gvH_KL7seeL4&redir_esc=y#v=onepage&q=what+are+abiotic+stresses&f=false.
- Gurke R, Rößler M, Marx C, Diamond S, Schubert S, Oertel R, Fauler J. 2015. Occurrence

- and removal of frequently prescribed pharmaceuticals and corresponding metabolites in wastewater of a sewage treatment plant. *Science of the Total Environment* **532**:762–770. Elsevier B.V. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.067>.
- Grzesiak M, Grzesiak S, Skoczowski A. 2006. Changes of leaf water potential and gas exchange during and after drought in triticale and maize genotypes differing in drought tolerance. **44**:561-568. Available from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11099-006-0072-z>
- Gworek B, Kijeńska M, Wrzosek J, Graniewska M. 2021. Pharmaceuticals in the Soil and Plant Environment: a Review. *Water, Air, and Soil Pollution* **232**.
- Haghverdi A, Najarchi M, Öztürk HS, Durner W. 2020. Studying unimodal, bimodal, PDI and bimodal-PDI variants of multiple soil water retention models: I. Direct model fit using the extended evaporation and dewpoint methods. *Water (Switzerland)* **12**:16–23. Available from <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/3/900>.
- Hammad HM, Zia F, Bakhat HF, Fahad S, Ashraf MR, Wilkerson CJ, Shah GM, Nasim W, Khosa I, Shahid M. 2018. Uptake and toxicological effects of pharmaceutical active compounds on maize. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **258**:143–148.
- Hassan LB, Usman IS, Usman A, Ibrahim H, Ahmed HO, Sami RA. 2021. EFFECT OF *Colletotrichum graminicola* ON APIGENINIDIN PRODUCTION, YIELD AND YIELD COMPONENTS IN RED SORGHUM (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) **17**:13.
- Hermuth J, Janovská D., Stražil Z., Ust'ak S., Hýsek J. 2012. Čirok obecný - *Sorghum bicolor* (L.) MOENCH : možnosti využití v podmínkách České republiky : metodika pro praxi, 1st edition. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha. Available from <https://invenio.nusl.cz/record/124035?ln=cs>.
- Hnilička F, Kudrna J, Kubeš J, Jozífek M. 2022. The effect of paracetamol (acetaminophen/APAP) on the primary metabolism of juvenile maize plants. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Holá V, Ruzicka F, Horka M. 2010. Microbial diversity in biofilm infections of the urinary tract with the use of sonication techniques. *FEMS Immunology and Medical Microbiology* **59**:525–528.
- Ioannidi A, Arvaniti OS, Nika MC, Aalizadeh R, Thomaidis NS, Mantzavinos D, Frontistis Z. 2022. Removal of drug losartan in environmental aquatic matrices by heat-activated persulfate: Kinetics, transformation products and synergistic effects. *Chemosphere* **287**:131952. Elsevier Ltd. Available from <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131952>.
- Kaiser C, Ernst M. 2021. Organic sweet corn. Center for Crop Diversification Crop:4.
- Kaplan Z, Batoušek P, Bureš P, Businský R, Čáp J, Dančák M. 2021. Klíč ke květeně České republiky. Page (Danihelka J, Chrtek jun. J, Kaplan Z, Kirschner J, Kubát K, Štech M, Štěpánek J, editors)Druhé, roz. ACADEMIA, Praha.
- Kára J, Stražil Z, Hutla P, Ust'ak S. 2005. Energetické rostliny, technologie pro pěstování a využití. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha.
- Kaur B, Dulova N. 2020. UV-assisted chemical oxidation of antihypertensive losartan in water. *Journal of Environmental Management* **261**:110170. Elsevier Ltd. Available from <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110170>.
- Kraus K, Hnilickova H, Pecka J, Lhotska M, Bezdickova A, Martinek P, Kucirkova L, Hnilicka F. 2022. The Effect of the Application of Stimulants on the Photosynthetic Apparatus and the Yield of Winter Wheat. *Agronomy* **12**:1–15.
- Kubeš P. 2014. Pěstování čiroku a kukuřice pro pícninářské účely. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH.
- Kudrna J, Hnilicka F, Kubes J, Vachova P, Hnilickova H, Kuklova M. 2020. Effect of acetaminophen (Apap) on physiological indicators in *Lactuca Sativa*. *Life* **10**:1–14.

- Kudrna J, Popov M, Hnilička F, Lhotská M, Zemanová V, Vachová P, Kubeš J, Česká J, Tunklová B. 2023. Effects of Acetaminophen Contamination on 5-Methylcytosine Content in *Zea mays* and Plant Physiological Parameters. *Agriculture (Switzerland)* **13**.
- Kuepper G. 2002. Organic Field Corn Production:16. Available from www.attra.ncat.org.
- Kunkel U, Radke M. 2012. Fate of pharmaceuticals in rivers: Deriving a benchmark dataset at favorable attenuation conditions. *Water Research* **46**:5551–5565. Elsevier Ltd. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.07.033>.
- Lhotská M, Zemanová V, Pavlíková D, Hnilička F. 2023. Changes in the photosynthetic response of lettuce exposed to toxic element multicontamination under hydroponic conditions. *Photosynthetica* **61**:390–397. *Photosynthetica*. Available from <https://doi.org/10.32615/ps.2023.034>.
- Lichtenthaler HK. 2004. The Stress Concept in Plants. *Political Studies* **6**:182–194. Available from <http://proxyau.wrlc.org/login?url=http://search.proquest.com/docview/37942344?accountid=8285>.
- Lidea. 2023, June. SORGHUM, A PROMISED OLD CEREAL:3.
- Long RF, Doran M, Poppenga R, Putnam D. 2022. Is sudangrass save for livestock grazing? Maybe! Available from <https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=53824#:~:text=What is sudangrass%3F,chop%2C silage%2C and grazing.>
- Ltd. AB. (n.d.). The ultra compact photosynthesis system.
- Mangelsdorf PC. 1950. The Mystery of Corn. *Scientific American* **183**:20–24.
- Marek V. 2020. Zakládání porostů čiroků a jejich požadavky na prostředí. *Úroda*:38–40.
- 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**:10. Elsevier Ltd. Available from <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138689>.
- Maxwell K, Johnson GN. 2000. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Jurnal of Experimental Botany* **51**:659–668. Available from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10938857/>.
- Merck & Co. I. 2013. Cozaar® (Losartan Potassium Tablets). Page In Vitro.
- N Kannababu, Sooganna, K Raghunath, B Venkatesh Bhat. 2023. Sorghum hybrid seed production and quality maintenance. *Indian Farming* **73**:79–83.
- Nietupski M, Ludwiczak E, Olszewski J, Gabryś B, Kordan B. 2022. Effect of Aphid Foraging on the Intensity of Photosynthesis and Transpiration of Selected Crop Plants in Its Early Stages of Growing. *Agronomy* **12**.
- Nuel M, Laurent J, Bois P, Heintz D, Wanko A. 2018. Seasonal and ageing effect on the behaviour of 86 drugs in a full-scale surface treatment wetland: Removal efficiencies and distribution in plants and sediments. *Science of the Total Environment* **615**:1099–1109. Elsevier B.V. Available from <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.061>.
- Oprış O, Ciorîță A, Soran ML, Lung I, Copolovici D, Copolovici L. 2019. Evaluation of the photosynthetic parameters, emission of volatile organic compounds and ultrastructure of common green leafy vegetables after exposure to non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs). *Ecotoxicology* **28**:631–642.
- Opti-Science. 2023. The Standard in Plant Stress Measurement Systems. Available from <https://www.optisci.com/index.html>.
- Petr J, Húska J a kolektiv. 1997. Speciální produkce rostlinná – I. (Obecná část obilniny) ČZU. Page (Striegl M, editor), 1st edition. *Agronomická fakulta ČZU v Praze, katedra rostlinné výroby, Praha.*

- Přerostová S. 2009. NENÍ NOUZE JAKO NOUZE : Porovnání odpovědi rostlinné buňky na solný stres , obecný osmotický stres a nedostatek vody. Univerzita Karlova v Praze.
- Procházka S, Macháčková S, Krekule I, Šebánek J, Al. E. 1998. Fyziologie rostlin, 1st edition. ACADEMIA, Praha.
- Pujiharti Y, Paturohman E, Ikhwan. 2022. Prospect of sorghum development as corn substitution in Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science **978**.
- Rhodes D, Orczyk AN. 2002. Plant stress physiology. Plant Stress Physiology:1–318.
- Roháček K, Barták M. 1999. Technique of the Modulated Chlorophyll Fluorescence: Basic Concepts, Useful Parameters, and Some Applications. PHOTOSYNTHETICA **37**:339–363. Available from <https://www.researchgate.net/publication/226740733%0ATEchnique>.
- Rout GR, Das AB. 2013. Molecular Stress Physiology of Plants, 1st edition. Springer India, London.
- Rzymiski P, Drewek A, Klimaszyk P. 2017. Pharmaceutical pollution of aquatic environment: an emerging and enormous challenge. Limnological Review **17**:97–107.
- Schneider JR, Müller M, Klein VA, Rossato-grando LG, Barcelos P, Dalmago GA, Chavarria G. 2020. Xenobiotic and Antioxidant Agent Application. biology **9**:23. Available from www.mdpi.com/journal/biology.
- Selye H. 1936. A syndrome produced by various nucuous agents. Nature **138**:32–34.
- Service BF. 1996. The world sorghum and millet economies (facts, trends and outlook). FAO AND ICRISAT.
- Shikha S, Prasad SM, Singh A, Bashri G. 2016. Plant responses to xenobiotics in Higher Plants: Signalling and Detoxification. Pages 39–56 Plant Responses to Xenobiotics in Higher Plants. Springer Nature, Singapore.
- Stagnari F, Maggio A, Galieni A, Pisante M. 2017. Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. Chemical and Biological Technologies in Agriculture **4**:1–13. Springer International Publishing.
- Středová H, Fukalová P, Chuchma F, Haberle J, Středa T. 2024. Nitrates directive restriction: To change or not to change in terms of climate change, that is the question. Science of the Total Environment **917**:8. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724005163>.
- Sumberg J, Giller KE. 2022. What is ‘conventional’ agriculture? Global Food Security **32**:100617. Elsevier B.V. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211912422000086>.
- Taschina M, Moisa C, Lupitu A, Copolovici DM, Copolovici L. 2022. Influence of Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drugs (NSAIDs) on Photosynthetic Parameters and Secondary Metabolites of Plants from Fabaceae Family. Applied Sciences (Switzerland) **12**.
- Trapp S, Karlson U. 2001. Aspects of phytoremediation of organic pollutants. Journal of Soils and Sediments **1**:37–43.
- Trojáková G. 2011. Perspektivy pěstování a využití čiroku a prosa v podmínkách Č R. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- Trojáková G. 2013. DIPLOMOVÁ PRÁCE Produkce biomasy a sušiny u kukuřice a čiroku k silážním účelům.
- Wei H, Tang M, Xu X. 2023. Mechanism of uptake, accumulation, transport, metabolism and phytotoxic effects of pharmaceuticals and personal care products within plants: A review. Page Science of the Total Environment. Available from [https://pdf.sciencedirectassets.com/271800/1-s2.0-S0048969723X0028X/1-s2.0-S0048969723030346/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEIz%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVz](https://pdf.sciencedirectassets.com/271800/1-s2.0-S0048969723X0028X/1-s2.0-S0048969723030346/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEIz%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVz)

- LWVhc3QtMSJHMEUCIQDAnEcek4srb%2B4vxTv0XVO7z2YbXm83sYlur0johclEL
QIgfU4OD02iVD.
- Wiersema JH, Dahlberg J. 2007. The nomenclature of *Sorghum bicolor* (L.) Moench (Gramineae). *Taxon* **56**:941–946.
- Yeshi K, Crayn D, Ritmejeryte E, Wangchuk P. 2022. Plant secondary metabolites produced in response to abiotic product development. *Molecules* **27**:31.
- Zellner L. 2022. Uptake and metabolism of valsartan and candesartan in different plants. Johannes Kepler University Linz. Available from <https://epub.jku.at/download/pdf/8218806.pdf>.
- Zemědělství M. 2023. ROČENKA / YEARBOOK 2021 EKOLOGICKÉ ZEMĚDĚLSTVÍ V ČESKÉ REPUBLICE. Praha.
- Zgallai H, Steppe K, Lemeur R. 2006. Effects of different levels of water stress on leaf water potential, stomatal resistance, protein and chlorophyll content and certain anti-oxidative enzymes in tomato plants. *Journal of Integrative Plant Biology* **48**:679–685.
- Zimolka J a kolektiv. 2008. Kukuřice- hlavní a alternativní užitkové směry. Page (Malypetrová E, editor)1. Profi Press, s.r.o., Praha.

9 Samostatné přílohy



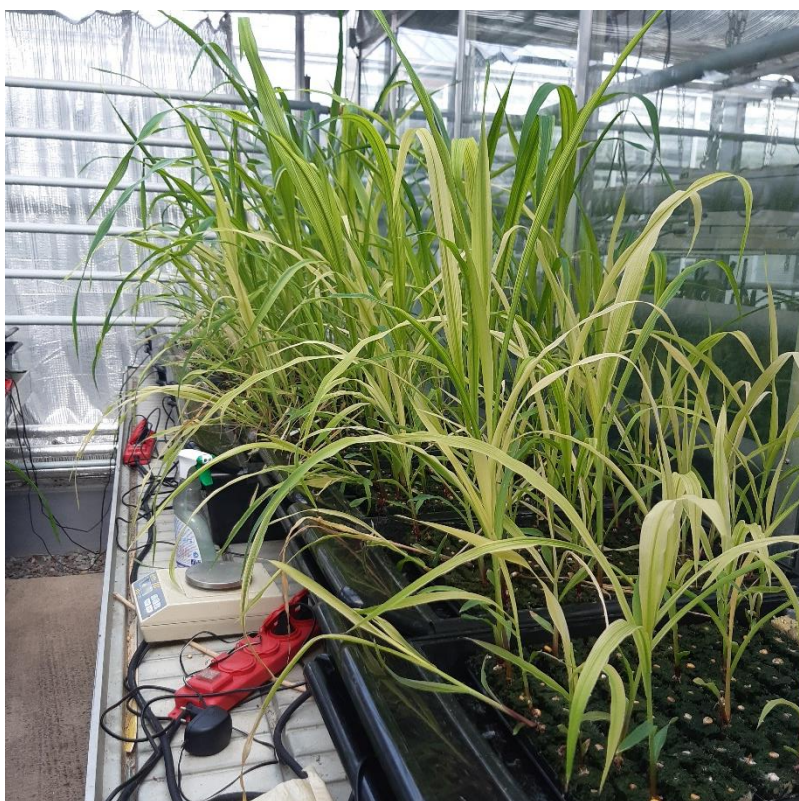
Obr. 7: Zakládání pokusu (foto: autor)



Obr 8: Založený pokus s vybranými hybridy (foto: autor)



Obr 9: Juvenilní rostliny hybridu Ruzrok ve stádiu 6. listu (foto: autor)



Obr 10: Juvenilní rostliny hybridu RGT EXXOTIKA v stádiu 6. listu (foto: autor)