

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Vliv herbicidního stresu a aplikace přípravku Atonik na
fluorescenci chlorofylů a obsah pigmentů sóji a slunečnice**

Diplomová práce

Bc. Tomáš Mrština

Rostlinná produkce (AMRR)

doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Vliv herbicidního stresu a aplikace přípravku Atonik na fluorescenci chlorofylů a obsah pigmentů sóji a slunečnice" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 1. dubna 2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D., za pomoc při psaní této diplomové práce při těchto nešťastných časech, za pevné nervy při opravování a celkově za výborné vedení při psaní prací, které tím jsou velice kvalitní.

Vliv herbicidního stresu a aplikace přípravku Atonik na fluorescenci chlorofylů a obsah pigmentů sóji a slunečnice

Souhrn

Herbicidní stres negativně ovlivňuje vegetaci rostlin, snižuje fotosyntézu a tím pádem i finální výnos rostlin. Přípravek Atonik na bázi nitrofenolátů by měl tento stres snížit a zlepšit tak celkovou fotosyntézu rostlin. Cílem této diplomové práce bylo sledovat vliv aplikace herbicidu na fluorescenci chlorofylů a obsah pigmentů sóji a slunečnice a stanovit vliv přípravku Atonik, jako antistresové látky, na fluorescenci a obsah pigmentů sóji a slunečnice.

V polních podmínkách na pokusném pozemku DEP FAPPZ v Praze – Suchdole byl sledován vliv aplikace herbicidu a přípravku Atonik na rostliny sóji a slunečnice. Do porostu slunečnice (vývojová fáze BBCH 12-14) byl aplikován herbicid Bandur (aclonifen) v dávce $1,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$. U sóji byl ve vývojové fázi BBCH 12-16 aplikován herbicid Corum (imazamox + bentazone), o koncentraci $1,9 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$. Dále byly rostliny slunečnice a sóji ošetřeny přípravkem Atonik ($0,6 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$). Schéma pokusu zahrnovalo 4 varianty. Kontrolní varianta byla bez ošetření herbicidem a přípravkem Atonik. Druhá varianta zahrnovala pouze aplikaci herbicidu. Třetí varianta představovala aplikaci herbicidu a přípravku Atonik a čtvrtá varianta byla doplněna o aplikaci 5% roztoku močoviny.

Vliv herbicidního stresu a aplikace přípravku Atonik byl sledován na základě parametru fluorescence chlorofylů přístrojem OS5p. Další měřenou charakteristikou bylo stanovení obsahu pigmentů destruktivní metodou dle Porry za využití spektroskopu UV-Vis Evolution 2000. Reakce na stres byla sledována na základě obsahu aminokyseliny prolin. Prolin bude stanoven na základě spektroskopických metod. V průběhu pokusu se uskutečnilo 7 měření.

Ze získaných výsledků vyplývá, že aplikace herbicidu snížila fluorescenci a obsah chlorofylu u sóji a slunečnice. Herbicidní stres zvýšil obsah prolinu v listech sóji a slunečnice. Citlivěji na herbicidní stres reagují rostliny sóji v porovnání se slunečnicí. Byl zjištěn pozitivní efekt přípravku Atonik na sledované parametry u sóji a slunečnice.

Sledoval se vliv aplikace herbicidu na fluorescenci chlorofylů a obsahy pigmentů u rostlin sóji a slunečnice a potvrdilo se, že herbicidy u těchto rostlin způsobují značnou fytotoxicitu a přípravek Atonik reguluje herbicidní stres a pomáhá omezovat ztrátu fluorescence chlorofylů a obsah pigmentů.

Klíčová slova: sója, slunečnice, herbicidní stres, Atonik, fluorescence chlorofylů, obsah pigmentů

Effects of herbicide stress and application of Atonik on chlorophylls fluorescence and content of pigments soybean and sunflower

Summary

Herbicide stress negatively affects plant vegetation, decreases photosynthesis and, therefore, the final yield of plants. Nitrophenolate-based Atonik should reduce this stress to improve overall plant photosynthesis. The aim of this thesis was to monitor the effect of herbicide application on chlorophyll fluorescence and content of pigments in soybean and sunflower and to determine the effect of Atonik, as an anti-stress substance, on fluorescence and the content of soybean and sunflower pigments. In field conditions on the trial plot of DEP FAPPZ in Prague-Suchdol, the effects of the application of herbicide and Atonik on soya and sunflower plants were monitored.

The herbicide bandur (aclonifen) at a dose of $1.5 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ was applied into sunflower growth (development phase BBCH 12-14). In soy, the herbicide Corum (imazamox + bentazone), with a concentration of $1.9 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$, was applied in the development phase of BBCH 12-16. In addition, sunflower and soybean plants were treated with Atonik ($0.6 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$). The trial scheme included 4 variants.

The control variant was untreated with herbicide and Atonik. The second variant included only the application of the herbicide. The third variant was a herbicide and Atonik application, and the fourth variant was supplemented with a 5% urea solution application. The effect of herbicide stress and the application of Atonik was monitored based on the fluorescence parameter of chlorophylls with the OS5p machine. Another measured characteristic was the determination of pigment content by the destructive Porra method using the UV-Vis Evolution 2000 spectroscope. The stress response was monitored based on the amino acid proline content. The proline will be determined on the basis of spectroscopic methods. During the trial, 7 measurements were made. The results obtained show that the application of herbicide reduced fluorescence and chlorophyll in soy and sunflower. Herbicide stress increased the proline content of soy and sunflower leaves. Soy plants react more sensitively to herbicide stress compared to sunflower. There was a positive effect of Atonik on the observed parameters for soya and sunflower. The effect of herbicide application on chlorophyll fluorescence and pigment content in soya and sunflower plants

has been monitored and it has been confirmed that herbicides in these plants cause significant phytotoxicity and Atonik regulates herbicidal stress and helps to reduce chlorophyll fluorescence loss and pigment content.

Keywords: soybean, sunflower, herbicide stress, Atonik, chlorophyll fluorescence, contain of pigments

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Vědecká hypotéza a cíle práce	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Charakteristika sóji luštinaté (<i>Glycine max</i> L.)	3
3.2	Pěstování sóji ve světě.....	5
3.3	Charakteristika slunečnice roční (<i>Helianthus annuus</i> L.)	7
3.4	Pěstování slunečnice ve světě	9
3.5	Obecná definice stresu	10
3.6	Fytotoxicita.....	12
3.7	Vliv herbicidního stresu na rostliny	14
3.8	Obsah prolinu	22
3.9	Přípravek Atonik.....	23
4	Metodika.....	26
4.1	Pokusný materiál.....	26
4.2	Založení pokusu	26
4.2.1	Agrotechnika	26
4.3	Schéma pokusu.....	27
4.4	Půdní charakteristika.....	28
4.5	Průběh počasí	29
4.6	Měření fyziologických parametrů	30
4.6.1	Měření fluorescence	30
4.6.2	Stanovení obsahu pigmentů.....	31
4.6.3	Stanovení obsahu prolinu.....	31
4.6.4	Statistická analýza.....	32
5	Výsledky.....	33
5.1	Fluorescence chlorofylu.....	33
5.2	Obsah fotosynteticky aktivních pigmentů	41
5.3	Obsah aminokyseliny prolin	53
6	Diskuze	64
6.1	Herbicidy	64
6.2	Regulátory růstu	65
6.3	Fluorescence chlorofylů.....	66
6.4	Obsah fotosynteticky aktivních pigmentů	67
6.5	Obsah prolinu	68

7 Závěr	70
8 Literatura	71

1 Úvod

V zemědělské praxi je možné zaregistrovat poškození rostlin po aplikaci látek na ochranu rostlin. Jedná se především o poškození herbicidy. Z tohoto pohledu je herbicidní stres jedním z chemických stresorů, jehož působení na rostliny je zcela pod antropogenním vlivem. Kulturní rostliny mohou být herbicidy poškozeny přímo po zasažení aplikovanou látkou, dále vlivem úletu postřikových kapek a nepřímo vlivem působení rezidui v půdě či vodě apod. U poškozených rostlin dochází nejenom k vizuálním, barevným změnám, ale také ke změnám v přenosu elektronů, metabolismu, růstu, tvorbě sušiny. Negativní vliv herbicidního stresu je možné do určité míry eliminovat aplikací „antistresových látek“. Se zvyšujícím se stupněm zatížení životního prostředí toxickými látkami (herbicidy) nabývá na aktuálnosti vývoj a uplatnění nových metod pro včasnou indikaci stresu a působení těchto sloučenin na organismy.

Sója luštinatá (*Glycine max* L.) patří ke zlepšujícím plodinám v osevním postupu. Její význam z hlediska vysoké předplodinové hodnoty, ale na území České republiky, zůstává stále nedoceněn, i když se její výměra v posledních letech navýšila. I přes mírný meziroční pokles plocha sóji v ČR v roce 2019 překonala slunečnici.

Význam slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.) spočívá především v získávání vysoce kvalitního, dieteticky hodnotného oleje, využívaného jako technický nebo stolní olej. Užitek slunečnice je však mnohostrannější. Slunečnice se pěstuje také jako krmná plodina nebo plodina na zelené hnojení. Opodstatnění pěstování slunečnice zvyšuje i vhodnost jejího použití jako náhradní plodiny při plošných zaorávkách vymrzlých ozimů a ozimé řepky.

Cílem práce bylo zjistit, jak reagují tyto dvě plodiny na herbicidní stres a jak tento stres dokáže ovlivnit přípravek Atonik.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Herbicidní stres negativně ovlivňuje vegetaci rostlin, snižuje fotosyntézu a tím i konečný výnos rostlin. Přípravek Atonik na bázi nitrofenolátů by měl tento stres snížit a zlepšit tak celkovou fotosyntézu rostlin.

Cíle práce lze shrnout do následujících bodů:

- a) Sledovat vliv aplikace herbicidu na fluorescenci chlorofylů a obsah pigmentů sóji a slunečnice,
- b) stanovit vliv přípravku Atonik jako antistresové látky na fluorescenci chlorofylů a obsah pigmentů sóji a slunečnice.

Na základě výše zmíněných cílů je možné stanovit tyto navrhované hypotézy:

- a) Existují mezidruhové rozdíly v reakci na herbicidní stres,
- b) ovlivňuje herbicidní stres fluorescenci chlorofylů a obsah pigmentů,
- c) má přípravek Atonik „antistresový“ efekt na rostliny ovlivněné herbicidním stresem?

Rostliny sóji a slunečnice jsou citlivé na fytotoxicitu herbicidů a celkově se snižuje jejich budoucí výnosový potenciál. Fytotoxicita omezuje primární metabolismus rostlin a tím zpomaluje rostliny ve vegetaci.

3 Literární rešerše

3.1 Charakteristika sóji luštinaté (*Glycine max* L.)

Sója luštinatá (*Glycine max* L.) je jednoletá luskovina z čeledi bobovitých (*Fabaceae*), viz obr. 1, která se pěstuje na semeno bohaté na rostlinné bílkoviny. Sója je z ekonomického hlediska nejvýznamnější plodinou na světě produkující rostlinné bílkoviny pro miliony lidí a dále je ingrediencí ke stovkám chemických produktů (Encyclopedia Britannica 2019).

Hymowitz (2008) konstatuje, že „shoyu“ neboli „sója“ pochází z japonštiny, objeveno bylo poprvé v Japonském slovníku, který byl publikován roku 1597. Je označována jako zázračná rostlina. Název Žlutý klenot si získala od čínského lidu, který ji považuje za poklad. Odrůdy plodí semena různých tvarů, velikostí a barev. Nejoblíbenější a pro přípravu jídel nejvhodnější je sója žlutá.



Obrázek 1 – Sója luštinatá (*Glycine max* L.)

Zdroj: Ekolist.cz

Původ sóji je nejasný, ale mnoho botaniků se domnívá, že byla poprvé domestikována ve střední Číně již v roce 7000 př. n. l. Je to starobylá plodina, která se používá v Číně, Japonsku a Koreji už tisíce let jako potravina a složka léků. Sójové boby (lusky) byly do Spojených států zavedeny v roce 1804 a v polovině 20. století se staly zvláště důležitými na

jihu a středozápadě země. Hlavními producenty jsou také Brazílie a Argentina (Encyclopedia Britannica 2019).

Prvním Evropanem konzumujícím sóju byl podle Hymowitz (2008) Marco Polo kolem roku 1300 n. l., i když sóju nezmiňuje. Během následujícího půl století se ojediněle vyskytly nenápadné zmínky od různých mořeplavců a botaniků. Pro Evropu představil sóju švédský botanik Carl von Linné v Holandsku v roce 1737. V té době se ale pořád ještě neprosadila jako kulturní plodina. Do Ameriky ji pak přivezl Samuel Bowen v polovině osmnáctého století. V Evropě se postupně začala pěstovat v severní Itálii, Francii, Německu a v Maďarsku. Největším stoupencem sóje v Evropě byl profesor Haberland z Královské Univerzity ve Vídni.

Poptávka po rostlinách bohatých na olej a bílkoviny výrazně vzrostla na začátku sedmdesátých let minulého století. Hlavním důvodem byla špatná úroda podzemnice olejné v zemích afrického Sahelu, klesající výnos ve Spojených státech a rostoucí poptávka v tehdejší Sovětské svazu. Cena sóji se zvýšila v roce 1973 během šesti měsíců o 150 %. K dalšímu prudkému zvýšení poptávky po sóji došlo v Evropě po roce 1996 a to v důsledku krize vyvolané bovinní spongiformní encefalopatií (BSE). Evropská unie tehdy zavedla zákaz zkrmování zpracovaných živočišných bílkovin, který výrazně ovlivnil poptávku po rostlinných bílkovinách. Posledním ekonomicky významným faktorem, který měl vliv na rozšíření sóje v Evropě, byla snížená dostupnost rybí moučky, ke které došlo v důsledku stoupající poptávky chovatelů ryb (Orsillo 2009).

Wang & Murphy (1994) uvádí, že isoflavony jsou léčivé látky, které jsou, ve velkém množství, nedílnou součástí sójových bobů. Hlavní isoflavony obsažené v sóje jsou aglycon, genistein a daidzein, které byly zkoumány po desetiletí. Tyto sloučeniny působí jako antikarcinogeny tím, že vykazují biologický antioxidační účinek.

V Jižní Koreji jsou dováženy geneticky modifikované (GM) sójové boby a kukuřičná zrna schválená pro lidskou spotřebu i pro použití do krmiv pro zvířata, avšak nikoli pro pěstování na polích. Tato studie se uskutečnila za účelem průzkumu šíření geneticky modifikovaných sójových bobů a kukuřice v Jižní Koreji pomocí metod analýzy multiplex-PCR. Vzorky kultivovaných sójových bobů, planých sojových bobů a kukuřice byly odebrány z 26 hlavních oblastí pěstování sóji v osmi provinciích. Byly také zkoumány silniční oblasti poblíž hlavního skladu zrna v Incheonu, aby se prozkoumal únik a šíření geneticky modifikovaných semen a rostlin. Výsledky ukázaly, že nebyla nalezena GM sója nebo kukuřice v odebraných vzorcích z polí. Ve vzorcích odebraných ze silnic poblíž společnosti pro

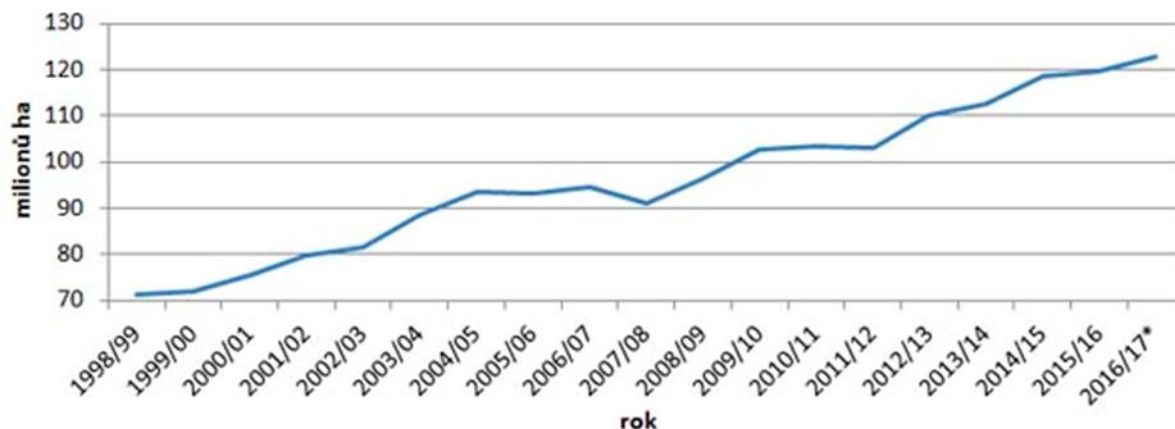
přepřavu zrna v Incheon Port však byly nalezeny čtyři rostliny GM kukuřice. Na základě analýzy PCR s použitím primerů specifických pro GM kukuřici byly specifikovány rostliny kukuřice Mon810, zatímco jiné rostliny mohou být kombinací: Mon863 × Mon810 nebo Mon88017 × Mon810 (Bumkyu et al. 2009).

Quarles (2017) uvádí, že geneticky upravené plodiny (GMO) jsou potřeba ke krmení rostoucího množství světové populace. GMO by měly zvýšit výnosy rostlin, a v některých případech i výživové hodnoty produktu. Tato tvrzení se ukázala být přehnaná. V případě GMO sóji, GMO nevedlo ke zvýšeným výnosům, ale vedly k neustálému růstu znečištění životního prostředí z pesticidů a hnojiv. Zemědělci přijali GMO sóju ne kvůli výnosům, ale protože je lze snadno pěstovat a produkce je celkově rentabilní. Místo namáhavé práce při pěstování, kde bylo zahrnuto mulčování nebo kombinovaná herbicidní ochrana, jsou nyní celá pole letecky postřikována neselektivním herbicidem, který zničí plevele, ale ušetří odolnou plodinu. Zemědělci přijali tuto snadnou metodu ochrany proti plevelům. Ale slib lepších výnosů s menší prací má tmavší realitu, mnoho plevelných druhů se staly rezistentními vůči glyfosátu. Je evidentní, že zde začíná být veliký problém se znečištěním životního prostředí.

3.2 Pěstování sóji ve světě

Celosvětová produkce sóji v ročníku 2018/19 je podle USDA 339 mil. tun. Největšími pěstiteli jsou už tradičně USA, Brazílie a Argentina. Na Evropském kontinentu je největším producentem sóji Ukrajina, která v posledních pěti letech zdvojnásobila její produkci na současných cca 4 mil. tun při výměře cca 1,8 mil. hektarů. Je zde předpoklad ročního nárůstu plochy o dalších 300 tis. ha. Polovina produkce sóji na Ukrajině je však geneticky modifikovaná. Sója (s produkcí cca 54 mil. tun oleje) je po palmě olejné (s produkcí cca 66 mil. tun oleje) druhou nejvýznamnější olejinou světa. Z hlediska rostlinných bílkovin je však téměř nepostradatelnou (odhad produkce pro rok 2020 je přes 227 mil. tun). Největšími importéry sóji jsou Čína (zejména semene - 91 mil. tun) a dále pak Evropská unie (extrahované šroty – 28 mil. tun a semeno - 16 mil. tun) (Štranc 2016).

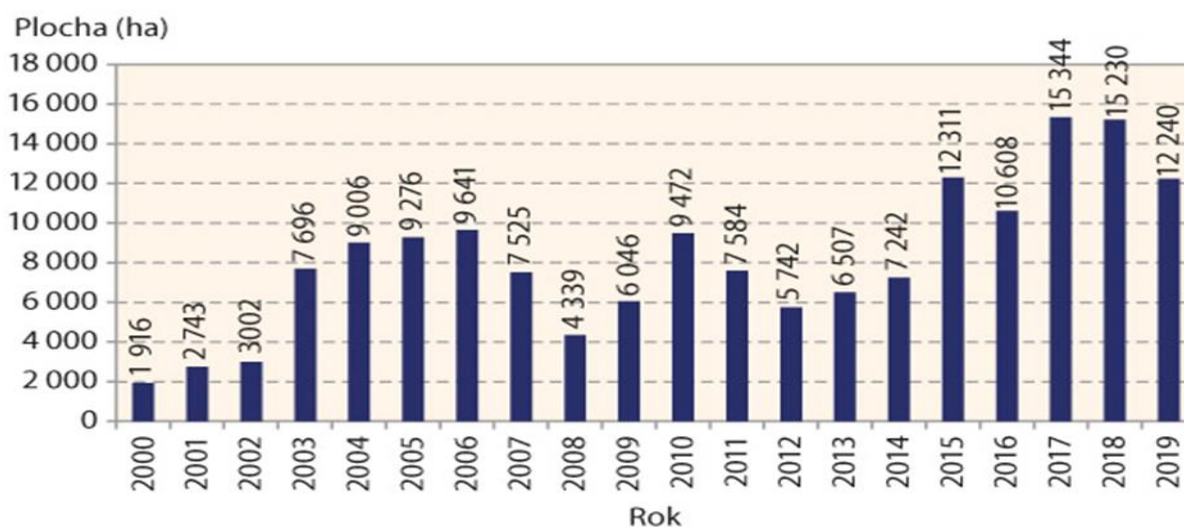
Na následujícím grafu 1 je uveden vývoj sklizňových ploch sóji ve světě.



Graf 1 – Vývoj sklizňové plochy sóji ve světě

Zdroj: Štranc (2016)

V případě České republiky, viz. graf 2, a Slovenské republiky došlo v roce 2018, oproti roku 2017, k poklesu její výměry, a to v ČR o 14 % a v SR o 19 %. V letošním roce se sója v ČR pěstuje na 10,6 tis. ha a na Slovensku na 35,2 tis. ha (podrobněji graf 2). Pokles osevních ploch v roce 2016 ovlivnilo zejména extrémně suché počasí v letních měsících roku 2015, jejímž výsledkem bylo výrazné snížení výnosů. Meziroční pokles výnosu sóji v loňském roce činil v ČR 0,64 t.ha a v SR dokonce 1,1 t.ha (Štranc 2016).



Graf č. 2 – Vývoj osevních ploch sóji v ČR

Zdroj: Štranc(2016)

3.3 Charakteristika slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.)

Slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.) z čeledi hvězdnicovitých (*Asteraceae*) má původ pěstování v Severní a Jižní Americe. Slunečnice je jednoletá rostlina, jejíž stavba těla je značně rozmanitá: slunečnice mohou být až 4 metry vysoké s jediným květem, ale také i 30 cm nízké s několika stonky a květy. Květní úbory dosahují průměru mezi 10 až 40 cm, mohou být jednoduché i plnokvěté. Plnokvěté odrůdy vypadají efektně, ale produkují méně semen a při opylování dochází ke křížení odrůd. Některé druhy jsou pěstovány jako okrasné rostliny. Pěstují se pro svá jedlá semena a některé rostliny, jako slunečnice topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) nebo také Jeruzalémské, pro své jedlé podzemní hlízy (Encyclopedia Britannica 2019).

Kulturní slunečnice roční, jakou známe dnes, prošla dlouholetým vývojem. Za místo jejího původu je považována jihozápadní Amerika, detailněji Nebraska a severní Mexiko (Lentz 2001, Valíček 2002). Místní obyvatelstvo z nažek připravovalo mouku a olej nebo je přímo konzumovalo. Do Evropy se slunečnice dostala se španělskou expedicí v 16. století. Téměř na celém světě se pěstuje řada odrůd, které se liší zejména výškou rostliny a barvou květů od smetanové, přes žlutou, oranžovou až po tmavě červenou. Klasické odrůdy slunečnic uvolňují velké množství pylu, oproti nově vyšlechtěným hybridům, které pyl netvoří. Mezi takové hybridy patří např. tyto odrůdy: Lemon Aura je plnokvětá slunečnice s citrónově žlutou barvou květů. Prado Gold je oblíbená u pěstitelů květin, neboť se rozvětjuje, dorůstá do výšky 90 cm a může mít až 5 tmavě žlutých květů, které mají v průměru 15 cm. Sunrich Orange má pouze jediný květ žluté barvy. Mezi odrůdy, které kvetou červeně, patří např. Prado Red, Double Dandy, Red Sun či Teddy Bear (Málek 2005, Lu et al. 2007).

Slunečnice (obr. 2) je ceněná nejen z ekonomického, ale i z okrasného hlediska. Listy se používají jako krmivo a semena, která obsahují olej, mají využití v potravinářském průmyslu. Sladký žlutý olej získaný kompresí semen se považuje za jeden z kvalitních olejů jako je olivový nebo mandlový. Vyextrahovaná semena nebo také pokrutiny se používají pro krmení a výživu drůbeže. Olej se používá také jako mýdlo, složka nátěrů a jako mazivo. Semena mohou být konzumovaná sušená, pražená nebo rozemletá na máslo a jsou běžná v semenných směsích pro ptactvo (Encyclopedia Britannica 2019).

Poddruh *Helianthus annuus* L. ssp. *macrocarpus* se s léty vyvinul do několika typů, které se v současnosti rozdělují na:

1. Formu semennou: - typ olejný,
- typ cukrářský,
- typ silážní.
2. Formu okrasnou: - typ plnokvětý (ornamentální).



Obrázek 2 – Slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.)

Zdroj: Herbář Wendys

Olejný typ je charakteristický nažkami střední velikosti se slabou slupkou a vysokým obsahem oleje. Cukrářský typ má nažky větší velikosti se silnou slupkou a vyšším obsahem cukrů a bílkovin (Cerkal 2011).

Olejný typ slunečnice je dále rozdělen do tří podtypů:

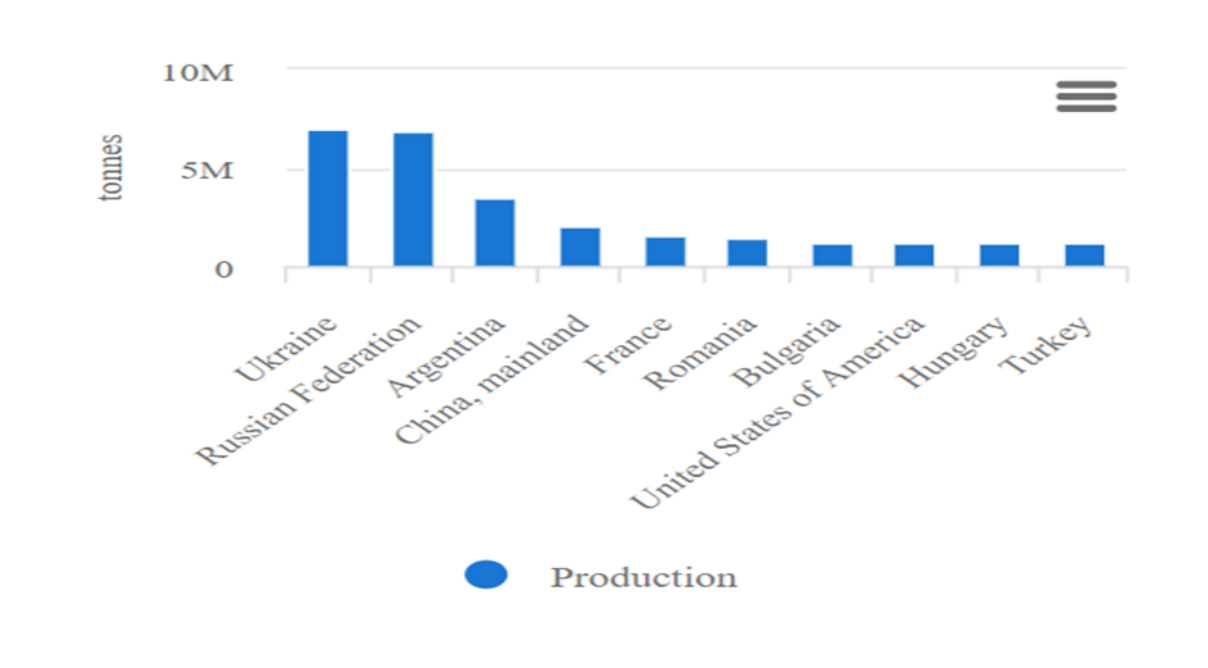
- Typ linolový – převahuje zde kyselina linolová (57 – 70 %), kyseliny olejové je zde 18 – 35 %,
- typ středně olejný NuSun – obsah kys. olejové je 55 – 75 % a 15 – 35 % kys. linolové,
- typ se zvýšeným obsahem kyseliny olejové až 82 % (Švachula et al. 2009).

Slunečnice je z ekonomického hlediska nákladná, neboť vyžaduje značné množství pesticidů, které se aplikuje během jejího pěstování. Nižší náklady jsou za minerální hnojiva a

osivo (Baranyk et al. 2010). Vzhledem k současnému stavu zpracovatelských podniků jsou nažky vývozním artiklem. Olej nachází uplatnění v kosmetickém, potravinářském a technickém průmyslu. Je zdrojem obnovitelné energie. Díky svým antikarcinogenním účinkům je nedílnou a důležitou součástí vyvážené stravy člověka a působí jako prevence aterosklerózy (Lunn 2006). Nažky bývají součástí velkého množství druhů potravin jako pečiva nebo cukrovinek. Samotné nažky se využívají ke krmení okrasného ptactva a v loupáném stavu jsou výborným zpestřením lidského jídelníčku (Lu et al. 2007).

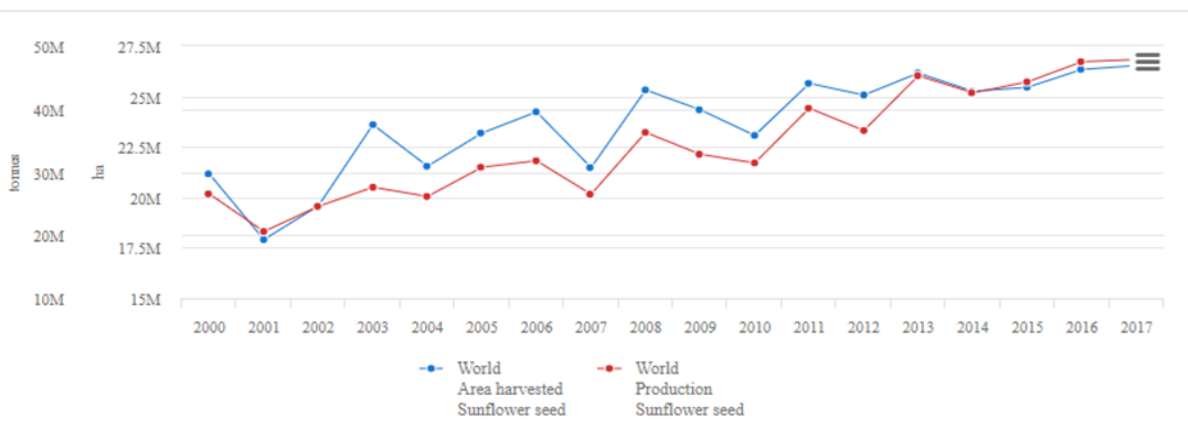
3.4 Pěstování slunečnice ve světě

Největší pěstitel této plodiny na světě je Ukrajina (viz. graf 3), která produkuje 7 milionů tun semen. Na druhém místě je Ruská federace s 6,6 miliony tun semen. Dále s 3,1 miliony tun je na třetím místě Argentina.



Graf 3 – 10 největších pěstitelů slunečnice na světě
FAOSTAT (2019)

Celková světová produkce je 44,5 milionů tun semen (viz graf 4).



Graf 4 – Světová produkce semene slunečnice
FAOSTAT (2019)

Celková produkce v ČR je 47 420 tun semen (Miaschi 2017).

3.5 Obecná definice stresu

„Stres“ v rostlinách lze definovat jako jakýkoli vnější faktor, který negativně ovlivňuje růst rostlin, produktivitu, reprodukční kapacitu nebo přežití. To zahrnuje širokou škálu faktorů, které lze rozdělit do dvou hlavních kategorií: abiotické nebo environmentální stresové faktory a biotické nebo biologické stresové faktory (Rhodes & Nadolska-Orczyk 2001).

Ve většině definic je stres považován za významnou odchylku od optimálního stavu života. Stres vyvolává změny a reakce ve všech funkčních úrovních organismu. Zpočátku mohou být tyto změny a reakce reverzibilní, ale mohou se také stát trvalými. Dokonce, i když je stresující událost pouze dočasná, vitalita rostliny se zhoršuje (Larcher 2003).

Rejeb et al. (2014) uvádí, že rostliny na stres složitě reagují a zahrnují řadu fyziologických, molekulárních a buněčných adaptací. Kombinace abiotického a biotického stresoru může mít pozitivní vliv na výkon rostliny snížením náchylnosti na biotický stresor. Taková interakce mezi oběma typy stresorů vede k příslušným signalizačním cestám. Tyto signály mohou být synergické nebo antagonistické a zahrnují mimo jiné zapojení fytohormonů, transkripčních faktorů, kinázových kaskád a reaktivních forem kyslíku (ROS). Baxter et al. (2014) doplňují, že reaktivní formy kyslíku (ROS) hrají nedílnou roli jako signální molekuly při regulaci četných biologických procesů, jako je růst, vývoj a reakce na biotické

a/nebo abiotické stimuly v rostlinách. Do jisté míry jsou funkce ROS připisovány rozdílům v regulačních mechanismech homologů respirační burstoxidázy (RBOH), které se podílejí na mnoha různých signálních transdukčních drahách aktivovaných v různých typech pletiv a buněk za kolísajících podmínek prostředí. Nedávná zjištění odhalila, že stresové reakce v rostlinách jsou zprostředkovány časově-prostorovou koordinací mezi ROS a dalšími signály, které se spoléhají na produkci chemických látek, sloučenin a hormonů specifických pro stres. Existují také signály, které udělují rostlinám systémově získanou rezistenci (SAR) nebo systémově získanou aklimaci (SAA).

Sunkar et al. (2012) konstatují, že objev mikroRNA (miRNA) jako genový regulátor vedl k posunu paradigmatu v porozumění post-transkripční regulaci genů v rostlinách. miRNA se objevily jako hlavní regulátory růstu a vývoje rostlin. Důkaz nasvědčující tomu, že miRNA hrají roli v rostlinných stresových reakcích, vychází z objevu, že miR398 se zaměřuje na geny se známými rolemi v toleranci stresu. Kromě toho expresní profily většiny miRNA, které se podílejí na růstu a vývoji rostlin, se během stresu významně mění. Tato pozdější zjištění naznačují, že oslabený růst a vývoj rostlin při stresu může být pod kontrolou miRNA reagujících na stres. V některých případech může takový signál vést ke křížové toleranci a zvýšení odolnosti rostlin proti patogenům (Rejeb et al. 2014).

Rostliny podléhají v přirozeném prostředí trvalému vystavení různým biotickým a abiotickým stresům, proto si vyvinuly složité mechanismy pro vnímání vnějších signálů a umožnily tak reagovat na změny životního prostředí. Fytohormony jako kyselina salicylová (SA), kyselina jasmonová (JA), ethylen (ET) a kyselina abscisová (ABA) jsou endogenní látky s nízkou molekulovou hmotností, které primárně regulují odezvu rostlin proti biotickým a abiotickým stresům. Vytvářejí synergické nebo antagonistické akce, které jsou označovány jako signály (Fujita 2006).

Larcher (2003) dále uvádí, že když se u rostliny dosáhne hranice schopnosti regulovat stres, tak se dosud latentní poškození rozvíjí v chronické onemocnění nebo nevratné poškození. Doslovný význam slova "stres" je dychtivost (odvozená z latinského stringera) nebo strach.

Podle Blum (2016) je proto definice stresu a způsobu jeho vzájemného propojení s rostlinou zásadní pro vysledování příčiny, následku a adaptace ve svém skutečném fyziologickém a genomickém zázemí. Správné definice nejsou jen otázkou formality, ale základním plánem pro výzkum směrem k pochopení tohoto jevu a jeho důsledkům při

navrhování lepšího výzkumu a získávání správných závěrů. Jacob Levitt (1972), který se zabýval stresem u rostlin ve své době, nastínil klíčové pracovní definice abiotického stresu a stresové odolnosti, které byly v souladu se známou fyziologií stresu v té době a které byly přijaty jeho vrstevníky (Blum 2016).

Různé redoxně aktivní sloučeniny, jako je askorbát, glutathion, NAD(P)H a proteiny z nadrodiny thioredoxinu, přispívají k obecné redoxní homeostáze v rostlinné buňce. Myriády interakcí mezi redoxně aktivními sloučeninami a vlivy prostředí byly zařazeny do pojmu buněčný redoxní stav. Tento koncept usnadnil pokrok v porozumění stresové signalizace obrany v rostlinách. Navzdory prokázané užitečnosti pojmu redoxní stav však neexistuje jediná operační definice, která by umožňovala kvantitativní analýzu a testování hypotéz (Potters et al. 2010).

3.6 Fytotoxicita

Herbicidey používané v porostech nemají pouze pozitivní efekt v podobě regulace plevelů, ale v některých případech mohou mít při snížené selektivitě i fytotoxické projevy na pěstované plodině. Takto vzniklý stres, který může být dále podpořen například nepříznivými meteorologickými podmínkami, zapříčiňuje zpomalení růstu, deformace rostlin, snížení kvality produktu nebo oddálení sklizně. Pro snížení nežádoucí reakce rostlin na stresový faktor lze aplikovat stimulant fyziologických procesů (Šuk et al. 2018).

Poškození herbicidey se vyskytuje poměrně často. Na porostu se mohou vyskytnout prakticky jakékoliv známé příznaky fytotoxicity, kterými jsou vyblednutí, změna barvy, nekrózy, deformace a hynutí rostlin. Fytotoxicita se může vyskytnout i u správně aplikovaných registrovaných účinných látek, např. rozklesnutí a vyblednutí rostlin po fluroxypyru, vyblednutí rostlin až mírné nekrózy okrajů nejstarších listů po mezotrionu a tembotrionu (Havel 2016).

Pokud jsou dodržena doporučená opatření, hlavně tloušťka voskové vrstvy na listech (3 dny odstup od posledního deště dle starších doporučení) a správná vývojová fáze rostlin, tak se fytotoxicita vůbec nemusí projevit nebo její příznaky jsou slabé a poměrně rychle zmizí. Projev fytotoxicity závisí na komplexu faktorů, nelze proto říci, zda a v jaké míře se fytotoxicita objeví. U opakovaných pokusů se stejnými přípravky se u každého pokusu

projevily poněkud odlišně vypadající příznaky fytotoxicity, přestože byly striktně dodrženy všechny požadované podmínky pro aplikaci. Dokonce i mezi jednotlivými pokusy v témže roce se příznaky poměrně výrazně lišily, přestože tyto pokusy byly založeny na velmi podobných pozemcích a ošetřeny ve stejnou dobu (Havel 2016).

Rutherford & Krieger-Liszkay (2001) informují o tom, že některé herbicidy působí vazbou na vyměnitelné chinonové místo v reakčním centru fotosystému II (PSII), čímž blokují přenos elektronů. Předpokládá se, že rostlina je usmrcena indukovaným oxidačním stresem iniciovaným poškozením způsobeným tvorbou volného kyslíkového radikálu v samotném reakčním centru. K tomu dochází, když světlem indukovaná dvojice nábojů indukuje rozklad v PSII cestou rekombinace náboje. Tato rekombinace zahrnuje vytvoření tripletového stavu chlorofylu, který je schopen aktivovat kyslík. Vazba fenolických herbicidů zvýhodňuje tuto cestu zvýšením účinnosti světelného poškození.

Cílem práce Filová et al. (2010) bylo zhodnotit fytotoxicitu mesotrionu v máku (*Papaver somniferum* L.). Rovněž bylo porovnáno množství postřikové vody (150, 300 a 450 l na hektar). Nakonec byly testovány různé stimulanty růstu (Atonik - 0,6 l.ha⁻¹, Route – 0,8 l.ha⁻¹) a pomocné látky (roztok Atplus 463 - 0,5%, Silwet 77 - 0,1 l.ha⁻¹). Stupeň fytotoxicity jednotlivých variant byl hodnocen měřením fluorescence chlorofylu (parametr: maximální kvantový výtěžek transportu elektronů ve fotosystému II-QY) 1. až 21. den po ošetření. Výsledky ukázaly, že aplikace mesotrionu způsobuje fytotoxicitu na rostlinách máku. Nejvýznamnější fytotoxicita je patrná při dávkách 450 l postřikové vody na hektar. Přidání růstových stimulantů a pomocných látek zvyšuje fytotoxicitu (snižuje hodnotu QY) ve srovnání se samotnou aplikací herbicidů. Mezotrion snížil hmotnost suchých rostlin o 15 % (150 l postřikové vody), 1 % (300 l postřikové vody) a 64 % (450 l postřikové vody) ve srovnání s kontrolní variantou.

Grossmann (2009) uvádí, že syntetické sloučeniny, které působí jako fytohormonální „superauxiny“, patří k nejúspěšnějším herbicidům používaných v zemědělství více než 60 let. Tyto takzvané auxinové herbicidy jsou v rostlinách stabilnější než nativní auxin, kyselina indol-3-octová (IAA), a vykazují systémovou mobilitu a selektivní působení, přednostně proti dvouděložným plevelům v obilninách. Patří do různých chemických tříd, které zahrnují fenoxycarboxylové kyseliny, benzoové kyseliny, pyridinkarboxylové kyseliny, aromatické karboxymethyl deriváty a chinolinkarboxylové kyseliny. Identifikovaly se receptory pro vnímání auxinů a objevily se nové hormonální interakce při signalizaci mezi auxinem,

ethylenem a zvýšenou regulací biosyntézy kyseliny abscisové představujících velkou část auxinových herbicidů, které zahrnují inhibici růstu, senescence a rozpad pletiv u citlivých dvouděložných rostlin. Další jev je způsoben chinolinkarboxylovou kyselinou chinclorac, která také reguluje travní plevel. Hromadění fyto toxických hladin kyanidu v pletivech stimulovaných chincloracem, zde hraje klíčovou roli při vyvolání herbicidních symptomů u citlivých trav (Grossmann 2009).

V letech 2001–2003 byly na třech lokalitách v Čechách provedeny parcelové pokusy srovnávající rozdělení postemergentní aplikace herbicidů do 3 a do 5 termínů u cukrové řepy (*Beta vulgaris* var. *altissima*). Ve variantách se srovnatelnými účinnými látkami (phenmedipham, desmedipham, ethofumesat, metamitron) postačovalo k odplevelení porostu u pětinasobné aplikace menší celkové množství účinných látek. Výnos cukrovky (polarizačního cukru) byl při pětinasobné aplikaci v průměru o 7 % vyšší (Chochola 2004).

CONVISO® SMART je nový způsob kontroly plevelů v cukrové řepě, založený na odrůdách se speciální herbicidní tolerancí k inhibitorům acetolaktát-syntetázy (ALS) a na použití dvou nových herbicidních látek právě ze skupiny ALS. Herbicidní tolerance vznikla klasickými šlechtitelskými metodami, nebyla uměle vytvořena ani indukována pomocí genetické modifikace. Nový systém je dílem společností KWS a Bayer. Technologie CONVISO® SMART má potenciál stát se řešením výše popsaných problémů. Herbicidní látky foramsulfuron a thien carbazon-methyl mají velmi široké spektrum účinnosti, dlouhodobý reziduální půdní účinek a u tolerantních odrůd nevzniká herbicidní stres. Při aplikaci jediného přípravku by mohlo dojít ke snížení počtu aplikací a ke zmírnění omezujících vlivů (teplota) (Chochola & Pavlů 2013).

3.7 Vliv herbicidního stresu na rostliny

Reddy et al. (2008) uskutečnili pokus ve skleníku a v růstové komoře, kde zkoumali vliv glyfosátu (N-(fosfonomethyl)glycin) na růst, obsah chlorofylu, množství hlízkových bakterií a leghemoglobinu na sóju luštinatou (*Glycine max* L.). Z jejich výsledků vyplývá, že glyfosát negativně ovlivnil sledované charakteristiky.

Dle Huang et al. (2012) je v rostlinné produkci kritické včasné detekování poškození plodin v důsledku fyto toxicity. Změny v odrazivosti pokožky mohou být poměrně dobře využity k informování, zdali je rostlina ve stresu či nikoli. Sledoval se vliv glyfosátu na rostliny

sóji luštinaté (*Glycine max* L.) a následné poškození, které bylo zjištěno pomocí fluorescence chlorofylů. Odrazivost chlorofylu a měření fluorescence mohou být využity k detekci herbicidního stresu v počátečních fázích.

U citlivé rostliny sóji se při použití 0,28 kg.ha⁻¹ přípravku snižuje obsah chlorofylu o 49 %. U glyfosát-rezistentní sóji nebyl žádný významný vliv na tyto parametry jednorázovou aplikací do 1,12 kg.ha⁻¹, ale dávka 2,24 kg.ha⁻¹ redukovala sušinu nadzemní i podzemní biomasy o 25 až 30 %. Použití 1,12 kg.ha⁻¹ glyfosátu, následované sekvenčními aplikacemi 1,12 kg.ha⁻¹ přípravku nemělo vliv na růst rostlin a obsah chlorofylu. Při použití 2,24 kg.ha⁻¹ glyfosátu následované sekvenčním použitím 2,24 kg.ha⁻¹ přípravku se snížil růst kořenů. U glyfosát-rezistentní sóji použití 1,12 kg.ha⁻¹ glyfosátu neovlivnilo hmotnost hlízkových bakterií, ale 2,24 kg.ha⁻¹ tyto parametry snížily o 30 až 39 %. Obsah leghemoglobinu byl snížen o 6 až 18 %. Při teplotě 18.13 °C (den/noc) po ošetření neměl glyfosát, při dávce 1,12 kg.ha⁻¹ nebo 2,24 kg.ha⁻¹, vliv na růst a obsah chlorofylu u glyfosát-rezistentní sóji. Výsledky ukázaly jemné snížení inokulace hlízkovými bakteriemi u sóji při aplikaci glyfosátu, ale tyto účinky mohou mít minimální následky díky potenciálu sóji kompenzovat ztrátu po krátkém trvání stresu (Reddy et al. 2008).

Syntetické auxinové herbicidy se často používají ke kontrole turanky kanadské (*Conyza canadensis* L.) před výsevem sóji. Halauxifen-methyl je nový syntetický auxinový herbicid pro regulaci turanky v sóje. Polní pokusy se uskutečnily v letech 2015 a 2016 v Indianě za účelem vyhodnocení fytotoxicity u rostlin sóji při aplikaci halauxifen-methylu (5 g.ha⁻¹) v pěti předběžných intervalech (0, 1, 2, 3 a 4 týdny před výsevem). V roce 2015 nebyla fytotoxicita u sóje vyzorována u žádného z intervalů na žádném místě. V roce 2016 byla pozorována 0% až 15% fytotoxicita 14 dní po výsevu. Při biotestech v růstové komoře se při 30 °C ve srovnání s 20 nebo 15 °C objevilo snížení biomasy sóji, délky rostlin a rychlosti vzejití, když se halauxifen-methyl aplikoval při 20 nebo 40 g.ha⁻¹ (Zimmer et al. 2019).

Slunečnice (*Helianthus annuus* L.) je jedna z mála plodin, která je ve Spojených státech přirozeným druhem. V současnosti Germplazma (USDA – ARS) má největší existující sbírku druhů slunečnic na světě, která obsahuje 53 druhů – 39 trvalých a 14 ročních. Pro plné využití sbírek genových bank však výzkumní pracovníci potřebují podrobnější informace o množství a distribuci genetické rozmanitosti, která je v kolekci přítomna. Volně žijící druhy jsou přizpůsobeny široké škále stanovišť a mají značnou variabilitu pro většinu biotických a abiotických rysů. To představuje značnou část genetické rozmanitosti, která je k dispozici pro

mnoho agronomických znaků kultivovaných slunečnic, které mají velmi úzkou genetickou základnu. Slunečnice obsadila pátou nejvyšší pozici mezi 13 plodinami největšího významu pro globální bezpečnost potravin, která byla zjišťována od poloviny osmdesátých let do roku 2005 při používání znaků z porostů volně rostoucích příbuzných rostlin.

Odhadovaný roční ekonomický zisk při použití genů volně rostoucích druhů pro pěstování slunečnice je od 267 do 384 miliónů dolarů tzn. asi od 6 do 9 miliard Kč. Většina této hodnoty je odvozena od polypeptidu PET₁ cytoplasmu z planého druhu slunečnice *Helianthus petiolaris*, která obsahuje geny odolnosti proti chorobám, tolerance k zasolení půdy a odolnosti vůči herbicidům imidazolinonu a sulfonylmočoviny. Volně rostoucí druhy *Helianthus* nadále přispívají specifickými rysy k boji proti škůdcům a ekologickým výzvám a současně jsou zachovány pro budoucí generace (Seiler et al. 2017).

Balabanova et al. (2016) konstatují, že herbicid imazamox, za stresových podmínek prostředí, může vyvolat dočasné žloutnutí a zpomalení růstu hybridů slunečnice (*Helianthus annuus* L.). Může být ovlivněn i fotosyntetický proces, přestože není místem účinku imazamoxu. Biostimulanty rostlinného typu se ukázaly jako vhodným prostředkem pro nápravu škod způsobených různými stresovými faktory rostlin, ale existují velmi omezené informace o jejich účincích. Za účelem charakterizování fotosyntetického výkonu rostlin, byly uskutečněny pokusy včetně jednoduchého i kombinovaného ošetření imazamoxu a rostlinných biostimulantů obsahujících extrakt aminokyselin. Zjistilo se, že použití imazamoxu ve výši 132 µg na rostlinu (ekvivalent 40 g aktivní složky na ha) vyvolalo negativní účinky, jak na světelnou fázi redoxní reakce, tak na proces výměny plynů z listu, které byly mnohem méně výrazně po kombinované aplikaci imazamoxu a extraktu aminokyselin.

Černý & Veverková (2012) v polních zkouškách sledovali vliv ročních povětrnostních podmínek a listové aplikace přípravku Atonik u slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.). Byla měřena výtěžnost a obsah tuku u slunečnicových nažek (hybridy Alexandra PR, NK Alego a NK Brio). Experiment byl realizován v oblasti produkce kukuřice (klimatická oblast: teplá; podnebná podoblast: suchá; podnebná zóna: teplá, suchá s mírnou zimou a dlouhodobé sluneční paprsky, hnědá půda). Zjistilo se, že povětrnostní podmínky a aplikace přípravku Atonik nemají statisticky významný dopad na výnos slunečnice (*Helianthus annuus* L.). Dopad sledovaných faktorů na obsah tuku byl ale statisticky velmi významný. V proměnlivých ročních povětrnostních podmínkách byl dosažen vyšší průměrný výnos a obsah tuku v nažkách.

Plesňiar et al. (1994) konstatují, že vliv koncentrace fosfátů na růst rostlin a fotosyntetické procesy v primárních listech mladých rostlin slunečnice (*Helianthus annuus* L.). Rostliny byly pěstovány po dobu 3 týdnů na Hoaglandově roztoku o poloviční koncentraci obsahujícím 0; 0,1; 0,5; 1,0 a 3,0 mol.m⁻³ orthofosfátu (Pi). Optimální fotosyntéza a nejvyšší využití světla byla dosažena při 0,5 mol.m⁻³ Pi v růstovém médiu, které obsahovalo požadované množství fosforu pro listy. Nízká koncentrace fosfátů v médiu inhibovala rychlost růstu rostlin. Nedostatek fosforečanů znatelně snížil fotosyntézu, účinnost fotochemie fotosystému II (PSII) a kvantová účinnost přenosu elektronů PSII. Vysoký oxidační stav primárního akceptoru elektronů QA při 0,1 mol.m⁻³ Pi však naznačuje, že fotosyntetický transport elektronů přes PSII neomezoval fotosyntézu v listech s nedostatkem Pi. Snížená fotosyntéza při sub- a supraoptimálním Pi byla způsobena především sníženou účinností regenerace ribulózy 1, 5-bisfosfátu (RuBP) při vysokých intenzitách světla.

Listy slunečnice obsahují neidentifikované sloučeniny, které interferují s fluorescencí propidium jodidu (PI). Listy hrachu vykazují větší fluorescenci PI než listy slunečnice. Rozdíly ve fluorescenci přetrvávají po smíchání vzorků hrachu obarveného PI a společně nasekaných vzorků hrachu/slunečnice, tj. barvení PI chrání před účinky inhibitoru (Price et al. 2000).

Měření fyziologických parametrů plodiny poskytuje informace pro interpretaci její reakce na životní prostředí. Dálkové snímání se rychle stává uznávaným cenným nástrojem, který má potenciál posoudit širokou škálu fyziologických vlastností na velké ploše v krátkém čase. Byl sledován vztah spektrální odezvy listů kukuřice (*Zea mays* L.) na obsah chlorofylu a relativní obsah vody. Účinky stresu N a vody byly zkoumány na každý z těchto fyziologických parametrů. Výsledky tedy naznačují, že spektrální odrazivost je slibná pro hodnocení některých fyziologických parametrů na úrovni listů (Schlemmer et al. 2005).

Obsah chlorofylu tedy může přímo určovat fotosyntetický potenciál a primární produkci. Kromě toho chlorofylu (Chl a) poskytuje nepřímý odhad stavu živin v rostlinách, protože velké množství dusíku z listů je vloženo do chlorofylu (Gitelson et al. 2002).

Datt (1998) konstatuje, že spektrální pásy ve viditelných a blízkých infračervených oblastech spektra se používají k vývoji řady ukazatelů pro odhad obsahu chlorofylu. Odrazivost v hlavní absorpční oblasti chlorofylu v blízkosti 675 nm se dlouhodobě používá jako indikátor obsahu chlorofylu v listech. Ukázalo se však, že vztah mezi odrazivostí blízkou 675 nm a obsahem chlorofylu je nasycený při středním až vysokém obsahu chlorofylu, a proto je tento index vhodný pouze pro odhad velmi nízkých hladin obsahu chlorofylu v

listech. Běžně používaný normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI), definovaný jako $(RNIR - RRED) / (RNIR + RRED)$, byl vyvinut kontrastem silné absorpce chlorofylu v červených vlnových délkách s vysokou odrazivostí v blízkých infračervených vlnových délkách. Bylo také zjištěno, že NDVI není citlivý na střední a vysoké koncentrace chlorofylu.

Gitelson & Merzlyak (2010) uvádí, že indexy pro nedestruktivní odhad obsahu chlorofylu byly formulovány za použití různých nástrojů k měření reflektivních a absorpčních spekter ve viditelných a blízkých infračervených rozsazích. Navrhované nové algoritmy jsou jednoduché poměry mezi procentní odrazivostí ve spektrálních oblastech, které jsou vysoce citlivé (540 až 630 nm a přibližně 700 nm) a necitlivé (téměř infračervené) na změny obsahu chlorofylu: R_{NIR}/R_{700} a R_{NIR}/R_{550} . V predikci chlorofylu byla dosažena chyba menší než 4,2 mg.cm². Použití zelených a červených (téměř 700 nm) spekter zvyšuje citlivost NDVI na obsah chlorofylu asi pětkrát.

Zengin & Kirbag (2006) zkoumali účinek chloridu měďnatého (CuCl₂) na úroveň chlorofylu (a + b), prolinu, bílkovin a kyseliny abscisové v rostlinách slunečnice (*Helianthus annuus* L.). Kontrolní a ošetřené rostliny chloridem měďnatým o koncentraci (0,4; 0,5 a 0,6 mM) byly pěstovány po dobu deseti dnů v roztoku Hoaglanda. Obsah kyseliny abscisové bylo stanoveno v kořenech, stoncích a pletivech listů rostlin pomocí HPLC. Stres účinkem mědi způsobil významné zvýšení obsahu kyseliny abscisové v kořenech, stoncích a listech rostlin. Nárůst byl závislý na koncentraci soli mědi. Zvýšená akumulace prolinu ve stresovaných listech rostlin byla indukovaná mědí, stejně jako pokles chlorofylu (a + b) a celkového proteinu ($p < 0,05$ nebo $p < 0,01$). Bylo pozorováno, že hladina chlorofylu (a + b) a celkový protein ($p < 0,05$ nebo $p < 0,01$) se výrazně snížil se zvyšující se koncentrací mědi na 0,6 mM, i když hladiny prolinu a kyseliny abscisové v listech rostlin byly zvýšeny v závislosti na dávce. Obsah mědi v chlorofylu, prolinu, proteinu a kyselině abscisové v rostlinách slunečnice (*Helianthus annuus* L.) je závislá na dávce chloridu měďnatého. Byla pozorována inhibice růstu rostlin a celkově negativní účinky.

Dayan & Zaccaro (2012) konstatují, že fotosyntéza je nejdůležitějším zdrojem O₂ a organické energie, která je nezbytná pro podporu života všech forem heterotrofů. Stresory (biotické nebo abiotické), které oslabují integritu rostlinné buňky, mohou ovlivnit fotosyntézu a změnit fluorescenci chlorofylu. Indukovaná sluneční fluorescence chlorofylu je

vhodná ke sledování vegetačních odezev na sucho a tepelné vlny v širokém měřítku (Wang et al. 2019).

Testy fytoxicity se dají vyhodnocovat mnoha způsoby; nejčastěji měřením a vážením, vizuálním srovnáním (např. defekty chlorofylu a zdravotní stav), dále existuje velká skupina metodik hodnotících metabolickou aktivitu (gazometrie, spektrofotometrie a fluorescence). V gazometrii se běžně měří spotřeba CO₂ nebo uvolňování kyslíku, spektrofotometricky se dá hodnotit nárůst počtu buněk (optická hustota) nebo enzymatické reakce s chromogenními substráty. Měření inhibice enzymů je však stále častěji hodnoceno fluorescenční detekcí z důvodů vysoké citlivosti metod a soustavného technického vývoje možností měřících přístrojů. Příkladem využití detekce s fluorescenčním substrátem je hodnocení esterázové aktivity s fluoresceindiacetátem (FDA). FDA je lipofilní molekula bez fluorescence, která po rozštěpení v organismu a indukci světlem $\lambda = 488$ nm emituje fluorescenční záření při $\lambda = 530$ nm s autofluorescencí nad 620 nm. Principem tohoto typu testů je snadný průnik substrátu a jeho přeměna na fluoreskující produkt v živých buňkách. Tato metoda umožňuje opustit testy s radioaktivním značeným uhlíkem ¹⁴C a vykazuje vysokou korelaci s fotosyntézou. Nevýhodou může být přítomnost esterázové aktivity jiných organismů (např. bakterií) v přírodním vzorku a do jisté míry také skutečnost, že se jedná o cizorodou látku (Gala & Giesy 1994, Barták et al. 2000).

Byla vyvinuta jednoduchá třístupňová zkouška, která testovala vybrané herbicidy reprezentující známé herbicidní mechanismy účinku a řadu přirozených fyto toxinů pro stanovení jejich vlivu na fotosyntézu, která byla měřena obsahem chlorofylu. Neaktivnějšími sloučeninami byly ty, které přímo souvisí s fotosyntézou (inhibitory fotosystému I a II), které potlačovaly syntézu karotenoidů, a ty, které vytvářely reaktivní kyslíkové sloučeniny a peroxidovaly. Fluorescence chlorofylu je dobrým biomarkerem, který pomáhá identifikovat určité aktivity herbicidu (Dayan & Zaccaro 2012).

Ohashi et al. (2006) studovali změny v růstu rostlin, fotosyntetické výměny plynu, fluorescence chlorofylu a průměru stonku rostlin sóji (*Glycine max* L.) vlivem vodního deficitu. Celková sušina rostlin byla ve srovnání s dobře zavlažovanými kontrolními rostlinami snížena o 30 %. Potenciál vody v listech byl mírně snížen vodním stresem. Rychlost fotosyntézy, vodivost stomatu a rychlost transpirace byly významně sníženy vodním stresem, zatímco mezibuněčná koncentrace CO₂ byla změněna jen mírně na začátku stresu.

Maximální fotochemická účinnost fotosystému II. a zdánlivá rychlost transportu fotosyntetických elektronů nebyla změněna vodním stresem.

Ředkev setá (*Raphanus sativus* L.) je významná plodina pro pozdní letní sklizně ve středozápadní Brazílii. Má krátký růstový cyklus, je vysoce produktivní a disponuje vlastnostmi, které zvyšují její šlechtitelský potenciál jako alternativa v brazilském programu Biodiesel. Měření fluorescence chlorofylu rostlin může být zjištěna informace, která pomůže vyhodnotit účinek herbicidu, což by mohlo být dobrým ukazatelem poškození fotosyntetického aparátu herbicidem. Účinek glyfosátu byl při této studii zjištěn pomocí měření fluorescence a chlorofylu, stability buněčné membrány a obsahu chloroplastů v rostlinách ředkve seté (*Raphanus sativus* L.). Hodnocené vlastnosti chlorofylu, fluorescence, obsahu chloroplastů a rychlost úniku elektrolytu, naznačovaly, že rostliny ředkve seté (*Raphanus sativus* L.) jsou citlivé na glyfosát, neboť bylo zaznamenáno snížení úrovně fotosyntetického výkonu a ke zvýšenému poškození buněčných membrán, což vedlo ke snížení obsahu pigmentu (Silva et al. 2014).

Aucique-Perez et al. (2019) prokázali, že hniloba pupenů způsobená plísní kokosovou (*Phytophthora palmivora*) a původce fytoplazmy rodu *Candidatus asteris* jsou dvě onemocnění, které v současné době představují hrozbu pro průmysl palmových olejů (*Elaeis guineensis* Jacq). Plíseň kokosová poprvé ohlášená v roce 1964, zničila více než 85 000 ha. Fytoplazma poprvé ohlášená v roce 1994 v Llanos Orientales v Kolumbii, zničila více než 5 000 ha. Fluorescence chlorofylu je užitečná jako poskytovatel informací o účinnosti fotosyntézy, když jsou rostliny vystaveny biotickým nebo abiotickým stresorům. Olejné palmy ovlivněné plísní a fytoplazmou vykazovaly anomálie ve fotosyntetickém systému, což se projevilo snížením F_v/F_M a Φ PSII. Od začátku infekce plísní byly pozorovány změny ve Φ PSII, variabilní výtěžnost fluorescence (F_v) a maximální fluorescence v listech adaptovaných na světlo (F_M'). Podle Aucique-Perez et al. (2019) nejcitlivějšími a časnými ukazateli fytoplazmy byla teplota listů a bazální fluorescence (F_0). F_v/F_0 se významně změnil u nemocných palem, což ukazuje na problémy s pohybem elektronů. Teplota listů se změnila v reakci na obě choroby, ale změna byla vyšší u fytoplazmy. Poškození fotochemického systému způsobené nemocemi ovlivnilo procesy, kterými rostlina zachycuje a transportuje energii, což způsobuje fyziologickou nerovnováhu v rostlině, která se odráží v pozorovaných změnách chlorofylu, fluorescence a teploty listů.

Qiu et al. (2013) zjistili, že Bisfenol A (BPA) je reprezentativně endokrinní disruptor, který vykazuje vysoce toxický účinek na živé organismy. Jeho potenciální toxicita na rostliny není dobře zdokumentována. Byl zkoumán účinek BPA na růst, fotosyntézu, obsah chlorofylu (Chl), počáteční fluorescenci (F0), maximální fotochemickou účinnost (Fv/Fm), efektivní kvantový výtěžek fotosystému II (Φ PSII) a rychlost fotosyntetického přenosu elektronů (ETR)) u rostlin sóji pomocí systému pro měření výměny plynů a fluorescence chlorofylu. Bylo zjištěno, že když byly rostliny sóji ošetřeny BPA při nízké koncentraci ($1,5 \text{ mg.l}^{-1}$), byly růstové indexy (výška rostliny, čerstvé a suché hmotnosti stonků, čerstvé a suché hmotnosti listů, plocha listů) zvýšeny ve srovnání s kontrolami. Když byly rostliny sóji ošetřeny vysokými koncentracemi BPA (7,0; 12,0; 17,2 a $50,0 \text{ mg.l}^{-1}$), růstové indexy, rychlost fotosyntézy, obsah chlorofylu, Fv/Fm, Φ PSII, ETR byly sníženy, zatímco F0 byl zvýšen ve srovnání s kontrolami. Je zřejmé, že BPA při vysokých koncentracích vykazuje toxický účinek na rostliny sóji. Korelační analýza ukázala, že inhibice růstu rostlin sóji ošetřených BPA souvisí s poklesem fotosyntézy kvůli poklesu obsahu chlorofylu a změně fluorescence chlorofylu.

U listů pšenice seté byl sledován vliv zasolení na aktivitu PSII. Z výsledků vyplynulo, že poškození, způsobené vysokou salinitou ovlivňuje část donorů elektronů nežli akceptora. Poškození PS II je na straně akceptoru do jisté míry vratné. V případě donoru je míra obnovy nižší než 85 % (Mehta et al. 2010).

Pavlovic et al. (2015) zjišťovali možnosti kontroly plevelů v neobhospodařovaných oblastech, pomocí organických přípravků s herbicidním účinkem (Segador), který použili samostatně nebo v kombinaci s nízkou dávkou syntetického herbicidu (Roundup, 360 g.l^{-1} glyfosátu). Samostatné použití přípravku Segador, při dávce 18 l.ha^{-1} , způsobilo potlačení ročních trávovitých plevelů a přípravek měl také velmi dobrý účinek proti plevelům v travních porostech (85–95 % účinnost). Pokus s kombinací přípravků Segador s Roundup v různých dávkách významně zvýšily účinnost herbicidní směsi. Její použití záviselo na převládajícím druhu plevelu. Kombinace přípravku Segador a Roundup, každý při dávce 6 l.ha^{-1} , dobře působilo na roční plevele a čirok halepský (*Sorghum halepense* L.), ale jistá míra odolnosti byla zjištěna u několika vytrvalých plevelů (*Convolvulus arvensis*, *Rumex crispus* a *Cynodon dactylon*). Na uvedené druhy plevelů působila pozitivně zvýšená dávka Segador do 12 l.ha^{-1} v kombinaci s Roundup 6 l.ha^{-1} .

3.8 Obsah prolinu

Prolin je v rostlinách podle Hayat et al. (2012) syntetizován dvěma cestami. První cesta je glutamátová a druhá se nazývá ornitinová cesta. Během osmotického stresu je stěžejní glutamátová cesta, která je významná během tohoto stresu. Prolin je syntetizován z kyseliny glutamátové přes intermediární Δ' -pyrrolin-5-karboxylát (P5C). Reakce je katalyzována pomocí Δ' -pyrrolin-5-karboxylát syntetázy (P5CS) a Δ' -pyrrolin-5-karboxylátové reduktázy (P5CR). P5CS je kódován dvěma geny, zatímco P5CR je kódován pouze jedním jako u většiny rostlinných druhů.

Uvedení autoři dále konstatují, že prolinový katabolismus je situován do mitochondrií. Zde dochází vlivem působení prolindehydrogenázy nebo prolinoxidas (PDH nebo POX) k tvorbě glutamátu. Tato reakce se děje přes produkci P5C z prolinu za součinnosti enzymu P5C dehydrogenázy (P5CDH), která přeměňuje P5C na glutamát. PDH transkripce je aktivována rehydratací a prolinem, ale potlačena dehydratací, čímž se zabrání degradaci prolinu během abiotického stresu. Prolin může být dále syntetizován z ornitinu, který je transaminován na P5C ornithinem-S-aminotransferázou. Ornitinová dráha je důležitá během vývoje semen a v některých rostlinách v průběhu působení stresu indukovanou akumulací prolinu.

Akumulace prolinu přispívá ke stresové toleranci mnoha způsoby. Protože prolin působí jako molekulární chaperon, je schopen udržet integritu proteinu a zvýšit aktivitu různých enzymů (Hayat et al. 2012).

Prolin může působit jako signalizační molekula, která moduluje funkce mitochondrií, ovlivňuje proliferaci buněk nebo buněčnou smrt a spouští specifickou expresi genu, což může být nezbytné pro obnovu rostliny ze stresu (Szabados & Saviouré, 2010).

Ashraf & Foolad (2007) uvádí, že prolin má pozitivní vliv na integritu enzymů a membrán spolu s adaptivními úlohami při osmotickém přizpůsobení rostlin pěstovaných za stresu. Alternativním přístupem je exogenní aplikace prolinu na rostliny za stresových podmínek, kdy dle Ashraf & Foolad (2007) např. u ječmene setého (*Hordeum vulgare* L.), kukuřice seté (*Zea mays* L.) a čiroku (*Sorghum* sp.), způsobuje významné zvýšení růstu a výnosu u stresovaných rostlin.

Nedávné objevy Kavi Kishor et al. (2015) poukazují na to, že prolin hraje důležitou roli v růstu a diferenciaci rostlin v celém životním cyklu. Je to klíčový determinant mnoha

proteinů buněčných stěn. Protein arabinogalaktan, proteiny bohaté na hydroxyprolin a prolin jsou důležitými složkami proteinů v buněčných stěnách, které hrají klíčovou roli v signální transdukcii buněk, vývoji rostlin a stresové toleranci.

3.9 Přípravek Atonik

Rostlinný stimulátor pro omezení stresů během vegetace, pro rychlejší regeneraci poškozených kultur a celkově vyšší výnos plodin. Aplikace se provádí postřikem na list, odkud je přípravek rychle vstřebáván do rostlinných pletiv. Účinné látky přípravku Atonik jsou 2-methoxy-5-nitrofenol sodný (1 g), 2-nitrofenol sodný (2 g) a 4-nitrofenol sodný (3 g), které urychlují transportní procesy v jednotlivých buňkách a následně anabolické pochody v rostlinách. Mechanismus účinku je jedinečný a nezaměnitelný s jinými rostlinnými stimulátory. Je především ve formě s vodou mísitelného kapalného koncentrátu (Agromanuál 2019).

Atonik ovlivňuje pohyb plasmy v buňkách rostlin, což se projevuje lepším zakořeňováním, lepším příjmem živin a intenzivnějším růstem. Aplikace před květem významně ovlivňuje klíčení pylových zrn, má pozitivní vliv na násadu plodů, semen a jejich lepší vyžrávání. Atonik výrazně pomáhá rostlinám překonávat stres (např. po negativním působení některých pesticidů, po poškození rostlin mrazem, krupobitím, přesazením apod.) (eAGRI 2019).

V roce 2000 byl založen maloparcelkový pokus v Semčicích v lokalitách Řepařského institutu na cukrové řepě. Podrobně byla sledovaná varianta, v které byl Atonik aplikovaný dvakrát spolu s trojsložkovým herbicidem. Aplikace zvýšila výnos o 3,2 %. Obdobný pokus se uskutečnil i na lokalitě Bezno a Straškov. Atonik napomáhá k urychlení postresové regeneraci porostu (Pulkrábek et al. 2006). Taktéž z pokusu firmy Ditana spol. s r.o., vyplývá, že Atonik PRO má uplatnění už při počátečních vývojových stádiích. V kombinaci s herbicidy napomáhá snižovat brzdicí účinek na rostliny cukrové řepy a v konečné fázi dokáže zvýšit úrodu až o 2 t.ha⁻¹ (Peza 2009).

V letech 2002-2003 v Zemědělské Univerzitě Tamil Nadu se uskutečnilo terénní šetření na rajčatech a bavlníku. Zkoumalo se zde reziduální množství přípravku Atonik (nitrofenolátová sloučenina) v půdě, listech a plodech/tobolkách. Průměrné procento

výtěžnosti různých složek Atoniku se pohybovalo mezi 85-97 %. Bylo zjištěno, že u výnosu byly naměřeny limitní rezidua a plody/tobolky jsou tudíž bezpečné pro spotřebu. Použité nitrofenoly mohly být degradovány různými mikroorganismy jako zdroj uhlíku a dusíku nebo fotooxidací (Djanaguiraman et al. 2004).

Koupil (1996) studoval vliv Atoniku na růst výhonků jabloní a chemické složení listů v kultivarech jablek Gloster, Idared, Melrose a Starkrimson v letech 1993-1995. Atonik byl aplikován jako postřik na listy v koncentraci 0,05 %. Atonik, s výjimkou kultivaru Gloster, statisticky významně stimuloval růst výhonků (konečná délka výhonku) o 9,0 - 48,1 %. Relativní rychlost růstu nebyla statisticky významně ovlivněna. Bylo stanoveno zvýšení obsahu Ca a Mg, snížení obsahu N a K a poměru K: (Ca + Mg) v listech. Chemické složení Atoniku: 0,1 % natrium-5-nitroguajakát, 0,2 % natrium-1-nitrofenolát, 0,3% natrium-4-nitrofenolát.

Djanaguiraman et al. (2005) sledovali vliv Atoniku, resp. účinné látky nitrofenolátu, na rostliny bavlníku (*Gossypium* sp.). V období kvetení byl proveden postřik přípravkem Atonik o koncentraci 0,25 %. Výsledkem bylo, že Atonik pozitivně ovlivnil růst rostliny, její výšku a zvýšení listové plochy. U enzymů kataláza, peroxidáza a superoxid dismutáza se zvýšila aktivita v rostlině po aplikaci Atoniku. Přípravek zvýšil výnos bavlny a zvýšil se počet tobolek na rostlinu.

Atonik SL v koncentraci 0,1 % byl aplikován čtyřikrát v týdenních intervalech jako postřik růží proti padlí růžovitých (*Sphaerotheca pannosa* var. *rosae*) a způsobil více než 3x nižší výskyt choroby. Také při použití proti padlí chmele (*Sphaerotheca humuli*) byly příznaky plísni zaznamenány jen sporadicky. V polním experimentu Atonik SL, který se používal jako postřik 9x v týdenních intervalech proti černé skvrnitosti listů růže (*Diplocarpon rosae*), způsobil více než 3krát nižší výskyt onemocnění než na kontrolních rostlinách. Také v případě chryzantémy u bílé rzi chryzantémové (*Puccinia horiana*) byl na listech zaznamenán asi 5x nižší počet telií ve srovnání s neošetřenými rostlinami (Wojdyla 2004).

Haroun et al. (2011) zkoumali aplikaci přípravku Atonik (250, 500 a 1000 ppm) a benzyl adeninu (25, 50 a 100 ppm) na list rajčete (*Solanum lycopersicum* var. Beto 86). Veškeré růstové parametry (délka kořene, hmotnost čerstvých a suchých kořenů, délka rostliny, počet listů, plocha listů a relativní obsah vody) byly inhibovány v reakci na aplikaci při vernalizaci. Vernalizace v kombinaci s měnící se koncentrací Atoniku nebo benzyl adenin (BA) vedl k významnému zvýšení těchto parametrů. Jarovizace samostatně nebo v kombinaci

s Atonikem nebo benzyl adeninem zrychlil kvetení, zejména v reakci na 1000 ppm Atoniku nebo 50 ppm BA. Výzkum při vernalizaci výrazně zvýšila koncentraci chlorofylu a a b, karotenoidů a následně celkových pigmentů. Obecně platí, že vernalizace a různé koncentrace Atoniku nebo BA vedly k masivnímu nárůstu těchto pigmentů. V rostlinách byl zvýšený obsah glukózy, sacharózy, polysacharidů, amoniaku, celkového dusíku a bílkovin při vernalizaci samostatně nebo v kombinaci s Atonikem nebo BA. Navíc následovalo významné zvýšení obsahu K^+ , Na^+ a Ca^{2+} , které byly detekovány v kořeni stonku rajčat. Vernalizace způsobila významné snížení celkových auxinů, kyseliny gibberelové a různých cytokininových frakcí ve stonku rostlin rajčete, zatímco kyselina abscisová se výrazně zvýšila tímto ošetřením. Ošetření Atonikem nebo BA dané změny zvrátí.

V současné době je jednou z největších výzev, kterým čelí zemědělský průmysl, vývoj udržitelných a ekologicky šetrných systémů pro uspokojení nutričních požadavků neustále rostoucí světové populace. Nedávno se uskutečnilo několik výzkumných studií s cílem uvést typy parametrů používaných v rostlinné produkci, které by byly schopné zlepšit růst rostlin, jakož i kvalitu výnosu, a pomoci rostlinám vyrovnat se s environmentálním stresem. Zavedení udržitelné zemědělské technologie založené na používání syntetických biostimulantů umožní nejen zvýšení výnosu a kvality plodiny, ale také zlepšení nákladové efektivity pěstování běžných rostlin. Ve vegetačním období byly rostliny ošetřeny biostimulanty Atonik a Tytanit ve formě jednoduchého nebo dvojitého postřiku. Byly stanoveny biometrické znaky, výnos semen, počet semen a HTS. Další analýzy zahrnovaly obsah nutričního potenciálu. Vypočítal se také ekonomický účinek používání biostimulantů. Výsledkem bylo, že implementace udržitelné zemědělské technologie založené na použití syntetických přípravků byla účinnou metodou pro zvýšení produktivity rostlin a následně i hospodářských zisků pro zemědělce (Szparaga et al. 2019).

4 Metodika

V polních podmínkách na pokusném pozemku DEP FAPPZ v Praze – Suchdole byl sledován vliv aplikace herbicidu a přípravku Atonik na rostliny sóji a slunečnice. Do porostu slunečnice (vývojová fáze BBCH 12-14) byl aplikován herbicid Bandur (aclonifen) v dávce $1,5 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$. V případě sóji byl ve vývojové fázi BBCH 12-16 aplikován herbicid Corum (imazamox + bentazone), o koncentraci $1,9 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$. Dále byly rostliny slunečnice a sóji ošetřeny přípravkem Atonik ($0,6 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Vliv herbicidního stresu a aplikace přípravku Atonik byl sledován na základě parametru fluorescence chlorofylů, obsahu pigmentů a prolinu.

4.1 Pokusný materiál

Pokusnými rostlinami byly sója a slunečnice.

Jako odrůda sóji byl použit Mentor od firmy Saatbau Linz. Je to středně raná odrůda s průměrnou vegetací 150 dní. Vyznačuje se velmi vysokým výnosem a světlým pupkem semene (Mentor 2020).

Použitá odrůda slunečnice byla NK Neoma od firmy Syngenta. Vyznačuje se střední raností. Je to hybrid vycházející z genetiky NK Brio s normálním typem oleje pro technologii Clearfield. Má velmi dobrý a stabilní výnos potvrzený v různých regionech ČR a SR, ale v extrémních podmínkách může reagovat předčasným dozráváním. Hybrid nízkého vzrůstu a převislým, mírně vypouklým úborem. Vyznačuje se velmi dobrou odolností k poléhání a dobrou odolností vůči chorobám (NK Neoma 2020).

4.2 Založení pokusu

4.2.1 Agrotechnika

U sóji se jako první agrotechnická operace vykonala orba do 25 cm, poté následovaly vířivé brány do hloubky 7 cm. Setí se uskutečnilo 12. 4. 2019 do hloubky 3 cm. Ošetření během vegetace se poté neprovádělo.



Foto by Tomáš Mrština – Pokus na DEP FAPPZ - sója luštinatá (*Glycine max* L.)

U slunečnice se zakládá porost orbou do 25 cm, poté se vířivými branami do 10 cm pole urovnalo a pokusná plodina se zasela 26. 4. 2019 do hloubky 7 cm. Ošetření během vegetace se neuskutečnilo.



Foto by Tomáš Mrština – Pokus na pozemku Brandejsův statek – slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.)

4.3 Schéma pokusu

K založení pokusu se použila tato schémata, kde jsou znázorněna čísla variant:

Sója:

3	1	4	2	2	4	1	3
1	2	3	4	1	3	2	4

Slunečnice:

3	1	4	2
4	3	2	1
2	4	1	3
1	2	3	4

Dále jednotlivým termínům měření odpovídají tyto body:

1. termín měření odpovídá době před aplikací herbicidu,
2. termín měření je 1 den po aplikaci herbicidu,
3. termín měření jsou 3 dny po aplikaci herbicidu,
4. termín měření je 5 dní po aplikaci herbicidu,
5. termín měření je 7 dní po aplikaci herbicidu,
6. termín měření je 10 dní po aplikaci herbicidu,
7. termín měření je 14 dní po aplikaci herbicidu.

4.4 Půdní charakteristika

Pokus sóji byl založen v areálu Demonstračních a pokusných pozemků FAPPZ. Hlavní půdní jednotka, na které se pokus sóji pěstoval, je černozem modální (hlinitá).

Na tomto pozemku bylo pH 6,5. Obsah jednotlivých makroprvků zde byl následující:

$P = 76 \text{ mg.kg}^{-1}$, $K = 251 \text{ mg.kg}^{-1}$, $Mg = 183 \text{ mg.kg}^{-1}$ a obsah Ca v půdě byl $3\,316 \text{ mg.kg}^{-1}$.

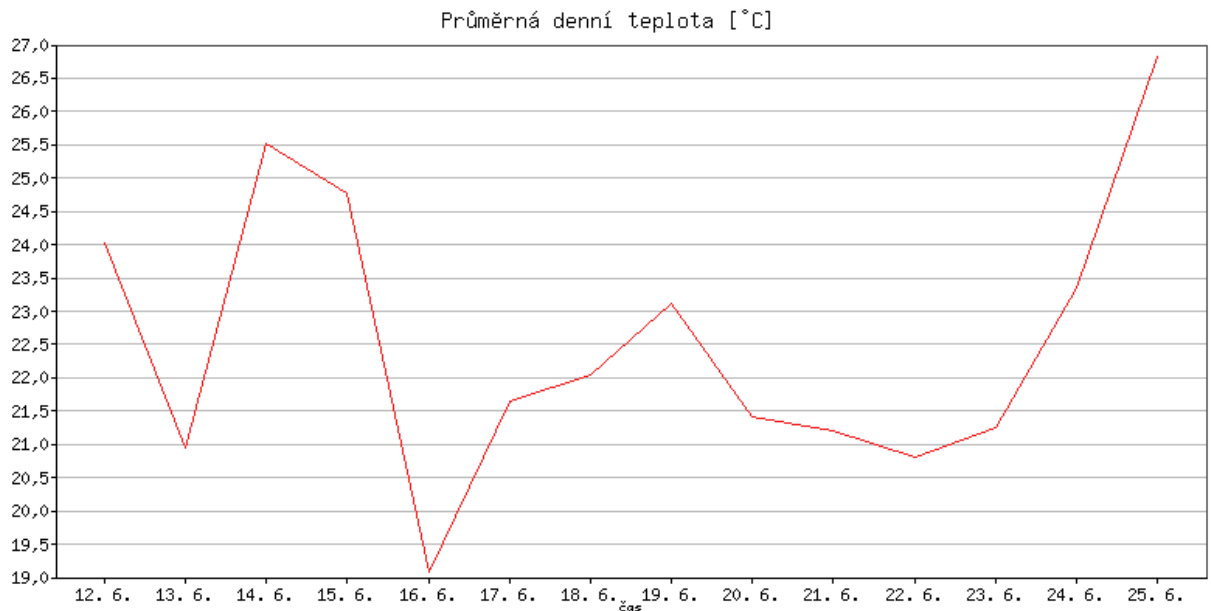
Pokus slunečnice byl založen na pozemku u Brandejsova statku. Hlavní půdní jednotka, na které se slunečnice pěstovala, je černozem modální (hlinitá).

Na této parcele bylo pH 6,7. Obsah jednotlivých makroprvků byl následující:

$P = 72 \text{ mg.kg}^{-1}$, $K = 275 \text{ mg.kg}^{-1}$, $Mg = 185 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $Ca = 3\,296 \text{ mg.kg}^{-1}$.

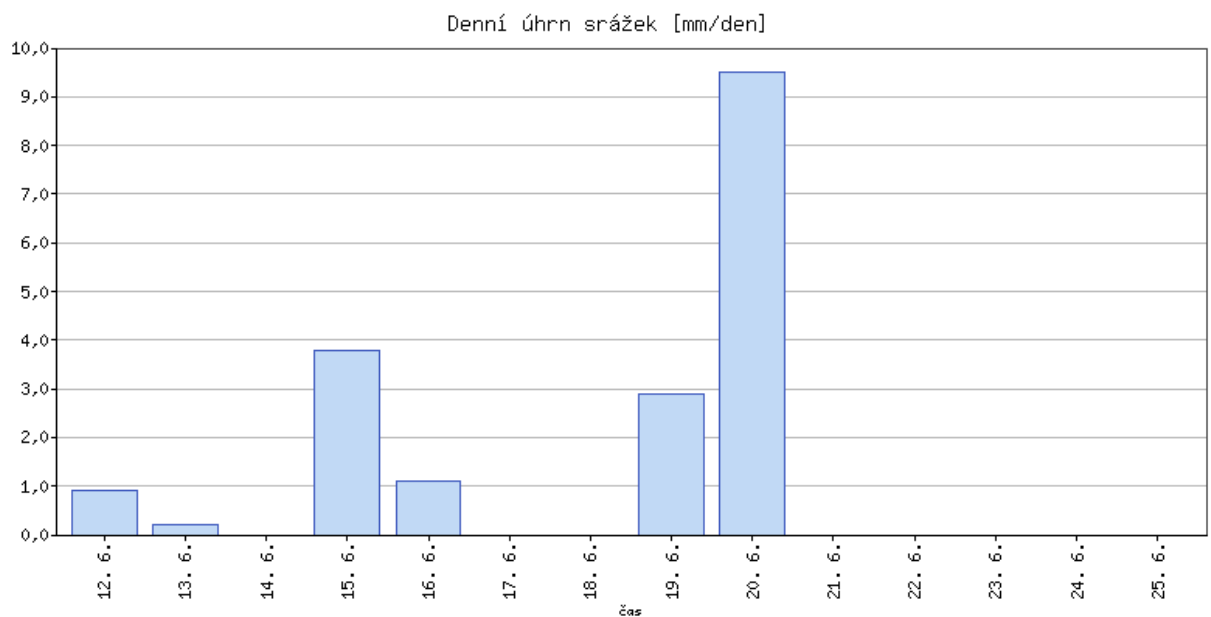
4.5 Průběh počasí

Graf 5 ukazuje průměrné denní teploty, při měření pokusu. Průměrná teplota termínů měření byla 22,6 °C.



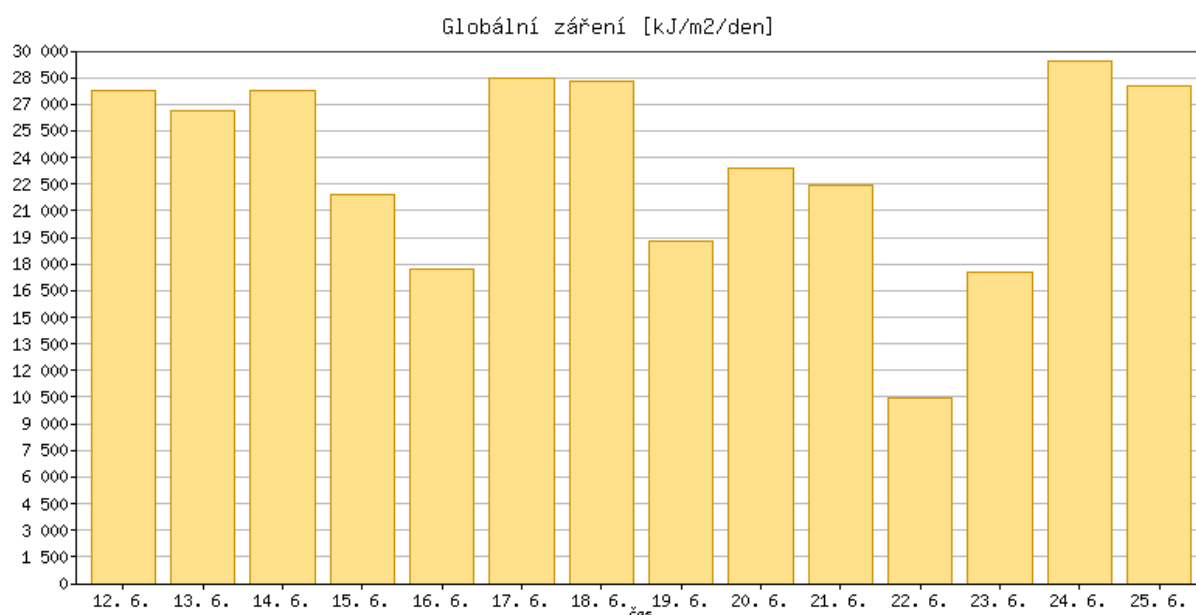
Graf 5 – Průměrná denní teplota (°C) dnů, kdy byl pokus prováděn,

Graf 6 představuje denní úhrn srážek při provádění měření pokusu. Suma srážek za pokus bylo 18,4 mm.den a průměrný úhrn byl 1,31 mm.den.



Graf 6 – Denní úhrn srážek (mm/den) při měření pokusu

V grafu 7 je uveden denní úhrn slunečního záření v termínech měření pokusu. Průměr slunečního záření byl 23 508,4 kJ.m².den.



Graf 7 – Celkové sluneční záření za měřené období pokusu (kJ/m²/den)

4.6 Měření fyziologických parametrů

4.6.1 Měření fluorescence

Fluorescence chlorofylů byla stanovena pomocí fluorometru OS5p, což je přenosný fluorometr určený pro detekci a přesné změření většiny typů rostlinného stresu (Ekotechnika.cz 2019). Bylo měřeno vždy 5 listů od každého genotypu ve všech čtyřech variantách s celkovým počtem měření na jednu rostlinu 25.

Rozšíření fotoinhibice vyvolané stresem v jakémkoliv prostředí, může být dle Hopkinse a Hünera (2004) rychle hodnocena měřením poklesu optimálního kvantového výtěžku, který se vypočítá jako:

$$(F_M - F_0)/F_M - F_V/F_M$$

4.6.2 Stanovení obsahu pigmentů

Ke stanovení chlorofylu v listech byla použita metoda podle Porra (1989). Z každé rostliny variant se odebralo cca 5 listů, z kterých byly pomocí korkovrtu vyseknuty 2 terčíky o ploše 0,5 cm². Terčíky byly poté vloženy do dvou epruvet. Následně se přidalo 1 ml dimethylformamidu (DMF). Epruvety byly popsány a následně uzavřeny. Přes noc se extrahovaly pigmenty v chladu, temnu za promíchávání. Druhý den byl extrakt přelit do kyvet určených ke spektrofotometrickému vyhodnocení pomocí přístroje UV-Vis Evolution 2000 (ThermoScientific). Jako slepý vzorek se použil čistý dimethylformamid. Měření absorbancí probíhalo při vlnových délkách 480; 648,8; 663,8 a 710 nm.

Následující rovnice popisují výpočet chlorofylů:

$$\text{Chl a} = 12,0 \cdot A_{663,8} - 3,11 \cdot A_{646,8}$$

$$\text{Chl b} = 20,78 \cdot A_{646,8} - 4,88 \cdot A_{663,8}$$

Rovnice pro výpočet celkového chlorofylu:

$$\text{Chl a+b} = 7,12 \cdot A_{663,8} + 17,67 \cdot A_{646,8}$$

Rovnice pro výpočet karotenoidů:

$$\text{Car}_{x+c} = (1000 A_{480} - 1,12 \text{ Chl a} - 34,07 \text{ Chl b}) / 245$$

Výsledky všech rovnic jsou v mg.l⁻¹ neboli μg.ml⁻¹.

Pro přepočet výsledků na nmol/ml byly hodnoty pro chlorofyly vynásobeny jejich koeficienty. Chl a s koeficientem 1,118 a Chlorofyl b vynásoben hodnotou 1,102.

4.6.3 Stanovení obsahu prolinu

Metodika stanovení prolinu vychází z práce Batese (1973). Bylo odebráno 0,5 g listového pletiva bez středního žebra od každé varianty. Vzorek byl rozmělněn v třecí misce spolu s 5 ml 3% kyseliny sulfosalicylové. Po důkladném rozmělnění byl vzorek přefiltrován přes filtrační papír určený pro kvalitativní analýzu. Z filtrátu byl odebrán 1 ml vzorku a přidalo se 1 ml koncentrované kyseliny octové a 1 ml ninhydrinu. Tripletly se následně třepaly 15 minut pro důkladné promíchání. Protřepané vzorky se umístily do vodní lázně o teplotě 80–90 °C

na dobu 30 minut k inkubaci. Po inkubaci směs vychladla. Do zchladlé vytemperované směsi se přidalo 3 ml toluenu. Tato směs byla opět umístěna do třepačky na 30 minut. Po protřepání se separovaly dvě vrstvy. Z horní „toluenové“ části se odebral vzorek do kyvety a následovalo měření na spektrofotometru UV-Vis Evolution 2000. Měření probíhalo měřením absorpance horní vrstvy při 520 nm. Jako slepý vzorek posloužil čistý toluen. Naměřené hodnoty byly přes kalibrační křivku přepočteny na $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

4.6.4 Statistická analýza

V programu Statistica 12 byly data zhodnoceny základní statistikou, tedy popisnou statistikou. Na zhodnocení statistického rozdílu mezi variantami a mezi termíny měření byl použit T-test a k porovnání těchto dat byla použita Friedmanova ANOVA. Statistické šetření bylo při hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

5 Výsledky

U rostlin slunečnice a sóji byl sledován vliv herbicidního stresu a aplikace přípravku Atonik na fluorescenci chlorofylů, obsah pigmentů a prolinu. Schéma pokusu zahrnovalo čtyři varianty: kontrola (K), ošetřené rostliny herbicidem Corum (sója) nebo Bandur (slunečnice) (H), ošetřené rostliny herbicidem Corum nebo Bandur + Atonik (HA) a ošetřené rostliny herbicidem Corum nebo Bandur + Atonik + 5% močovina (HAM). Fyziologické charakteristiky byly měřeny v 7 termínech (1-7).

5.1 Fluorescence chlorofylu

Graf 1 obsahuje dílčí grafy 1a – 1f, které názorně ukazují jednotlivé interakce v termínech měření u parametrů fluorescence všech variant sóji.

Dílčí graf 1a porovnává fluorescenci chlorofylů u kontrolní varianty rostlin (K) s variantou rostlin ošetřených herbicidem Corum (H). Lze zde vidět celkový průběh těchto dvou variant v termínech měření. První varianta kontrolní má relativně konstantní hodnoty fluorescence. Ve druhé variantě je patrný účinek herbicidu na rostliny a jeho fytotoxicitu, která postupně v termínech měření snižovala fluorescenci. Pokud se porovnají hodnoty fluorescence 7. termínu měření, tak u K varianty byla nejnižší hodnota fluorescence 0,820 a u H varianty 0,602. Rozdíl mezi variantami je 26,67 %.

Dále na grafu 1b lze spatřit rozdíly mezi variantou kontrolní (K) a variantou ošetřenou herbicidem Corum a Atonikem (HA). Druhý termín měření se lišila fluorescence u variant o 2,73 %. U varianty HA lze spatřit pokles fluorescence. V 7. měření u K varianty byla hodnota fluorescence 0,820 a u HA varianty to bylo 0,771. Oproti kontrole byl pokles u HA varianty o 6,05 %.

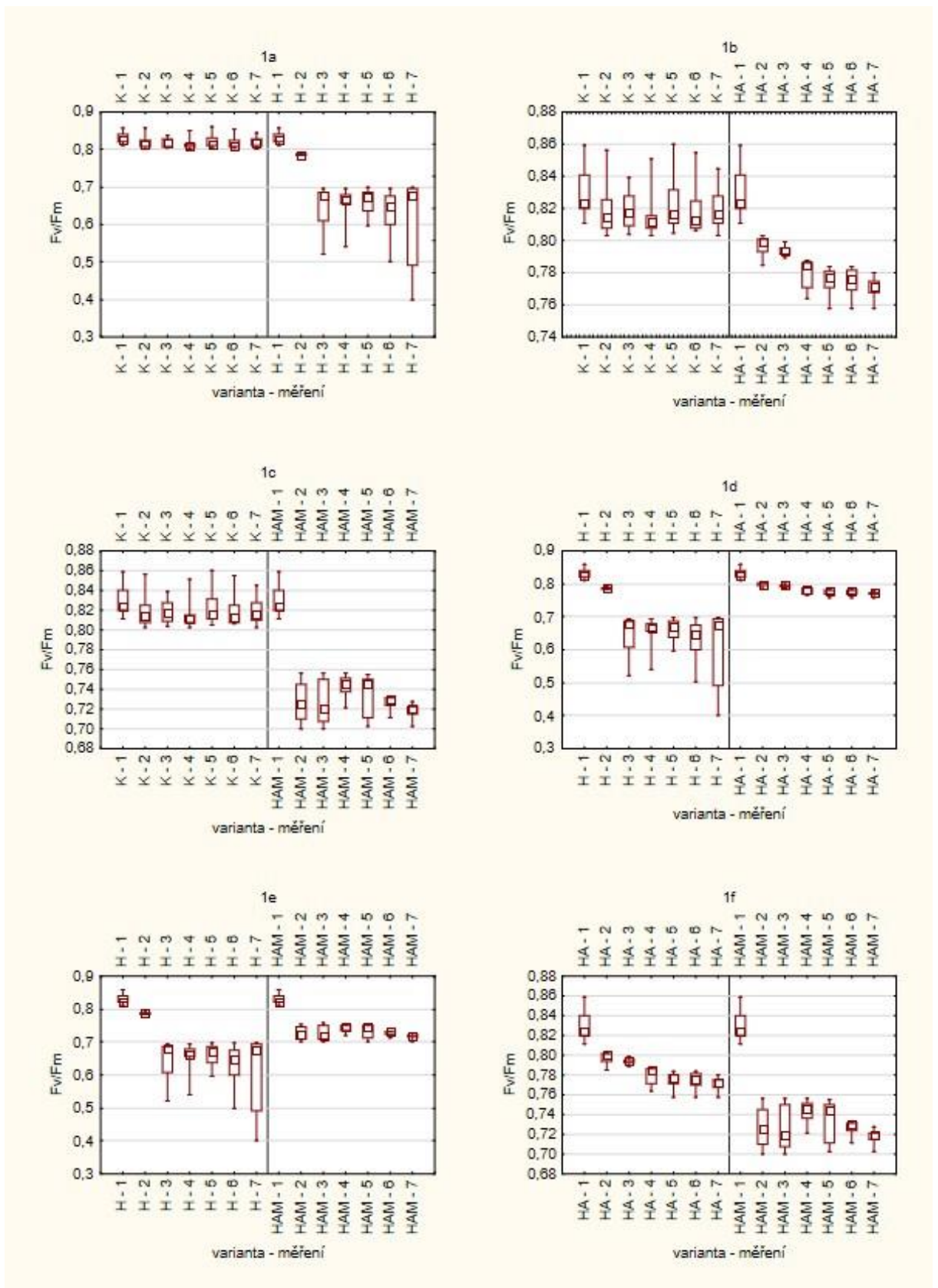
Graf 1c porovnává kontrolu (K) s variantou ošetřenou herbicidem Corum, Atonikem a močovinou (HAM). Průběh kontrolní varianty byl konstantní. U HAM varianty byl naměřen propad u druhého měření. Rozdíl 7. termínu měření mezi K variantou, jejíž hodnota byla 0,820, a HAM variantou, kde hodnota byla 0,718, je 12,49 %.

Variantu ošetřenou herbicidem Corum (H) a variantu ošetřenou herbicidem Corum a Atonikem (HA) porovnává graf 1d. Lze zde spatřit regenerační účinek Atoniku vůči fytotoxicitě herbicidu. Fluorescence u varianty s Atonikem byla vyšší než u varianty bez

přípravku. Posledních 5 měření lze konstatovat, že byl procentuální rozdíl podobný. Lišili se zde varianty asi o 15 %. Nejnižší hodnota u varianty ošetřené herbicidem byla 0,602 a u varianty HA se naměřilo 0,771. Přidáním Atoniku se fluorescence zvýšila o 28,13 % oproti variantě pouze s herbicidem.

Dalším grafem je 1e, na kterém jsou zaznamenány rozdíly mezi variantami ošetřeny herbicidem Corum (H) a varianty ošetřené herbicidem Corum, Atonikem a močovinou (HAM). Od třetího měření se rozdíly mezi variantami u fluorescence pohybovaly od 9 % po 11 %. Byl zde teoreticky očekáván vyšší rozdíl, ale rozdíl u nejnižších hodnot v sedmém měření byl 19,33 %.

Poslední graf 1f ukazuje rozdíly mezi variantou ošetřenou herbicidem Corum a Atonikem (HA) a variantou ošetřenou herbicidem Corum, Atonikem a močovinou (HAM). Varianty při prvním měření měly shodnou fluorescenci. Na grafu 1f je patrné, že Atonik s močovinou snížil fluorescenci oproti variantě pouze s Atonikem. U varianty HA-7 byla naměřená hodnota fluorescence 0,771 a u varianty HAM-7 to bylo 0,718. U varianty s Atonikem a močovinou byl zaznamenán rozdíl 6,86 % ku variantě pouze s Atonikem.



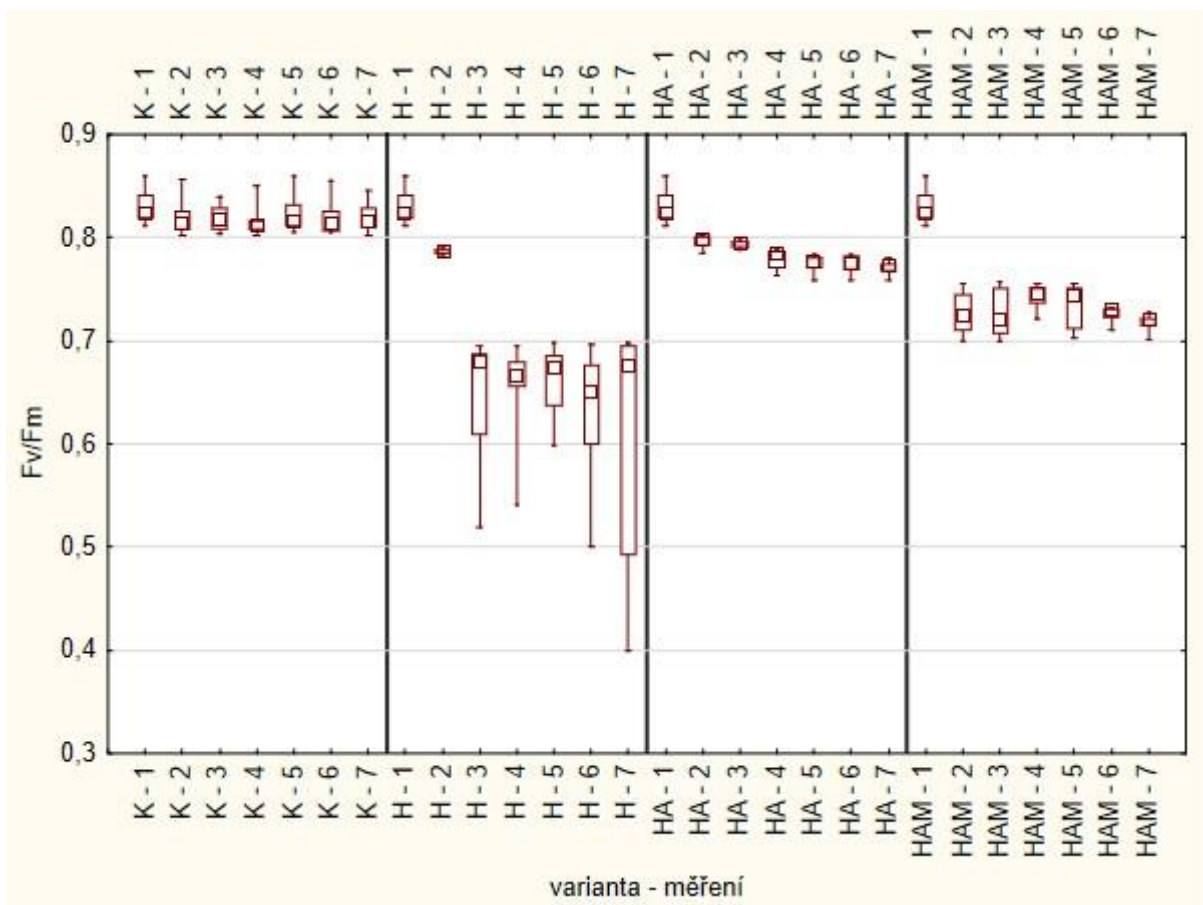
Graf 1 – Změny v hodnotách fluorescence chlorofylů sóji luštinaté (*Glycine max* L.) v závislosti na variantě a termínu pokusu

Graf 2 porovnává vliv varianty a termíny měření u základního parametru fluorescence (poměr F_v/F_m) u rostlin sóji. Z uvedeného grafu je patrné, že fluorescence chlorofylu byla v rámci jednotlivých termínů měření stabilní. V rámci termínu měření se poměr F_v/F_m pohyboval v intervalu hodnot od 0,602 (H-7) do 0,831, což náleželo kontrolní variantě v 1. termínu měření (K-1). Statisticky průkazné rozdíly v rámci termínu měření byly nalezeny mezi prvním termínem měření (0,831) a zbývajícími termíny měření, vyjma 5. termínu měření, kdy hodnota uvedené charakteristiky byla 0,822. Nejvyšší rozdíl v rámci měření byl nalezen mezi termíny 1 a 7, kdy rozdíl činil 0,103 (12,4 %) ve prospěch 1. termínu.

Porovnání hodnot fluorescence chlorofylů rostlin z varianty kontrolní (K) a ošetřené herbicidem Corum (H) je uvedeno v grafu 2. Z grafu je patrný statisticky průkazný pokles hodnot fluorescence chlorofylů u varianty ošetřené herbicidem Corum. Poměr F_v/F_m byl u této varianty v rozpětí hodnot od 0,831 (1.) do 0,602 (7.), zatímco u rostlin kontrolních byl 0,831 (1.) až 0,817 (4.). Snížení fluorescence chlorofylů je způsobeno aplikací herbicidu. Před aplikací herbicidu byla fluorescence ve výši 0,831, kdežto v termínu po aplikaci se poměr F_v/F_m průkazně snížil o 27,6 % na hodnotu 0,602.

V případě aplikace přípravku Atonik a herbicidu Corum, varianty HA, byl v porovnání s rostlinami kontrolními také zaznamenán pokles hodnot fluorescence, ale ve srovnání s rostlinami ošetřenými pouze herbicidem nebyl tento pokles tak výrazný, jak dokládá graf 2. Z něho je dále patrné, že fluorescence byla nejvyšší u varianty HA v termínu před zahájením pokusu (0,831) a naopak nejnižší hodnota byla změřena v 5. termínu (0,771), tedy 14 dnů po aplikaci přípravků. Jedná se o průkazný pokles o 7,23 %. Jak je z uvedeného grafu patrné, tak byl v případě kombinace přípravku Atonik a herbicidu zaznamenán pozitivní efekt regulátoru růstu, který snížil možný fytotoxický efekt herbicidu.

Z grafu 2 dále vyplývá, že v případě kombinace regulátoru růstu, herbicidu a močoviny je fluorescence nižší v porovnání s variantou kontrolní a ošetřenou regulátorem růstu a herbicidem. Nebyl zde zaznamenán pozitivní efekt dusíkatého hnojení na uvedenou charakteristiku. Fluorescence rostlin rostoucích v této variantě byla nejnižší 14 dnů po aplikaci látek (0,718) a naopak nejvyšší na počátku pokusu (0,831). V porovnání s kontrolními rostlinami (K) byla fluorescence v průměru nižší o 12,16 % a u varianty HA o 7,20 %. V případě srovnání s variantou ošetřenou pouze herbicidem byl poměr F_v/F_m vyšší o 9,94 %.



Graf 2 – Souhrnný graf změny fluorescence chlorofylu sóji luštinaté (*Glycine max* L.) v závislosti na variantě a termínu pokusu

Graf 3 obsahuje dílčí grafy 3a – 3f, které názorně ukazují jednotlivé interakce v termínech měření u parametrů fluorescence všech variant slunečnice.

Dílčí graf 3a porovnává fluorescenci chlorofylů u kontrolní varianty rostlin (K) s variantou rostlin ošetřených herbicidem Bandur (H). Lze konstatovat, že fluorescence od 3. měření se pohybovaly v rozdílu 22 %. Nejnižší naměřená hodnota u varianty K byla v 7. termínu měření 0,814 a u H varianty to byla hodnota 0,623 ve 4. termínu měření. Procentuální rozdíl zde byl 23,48 %.

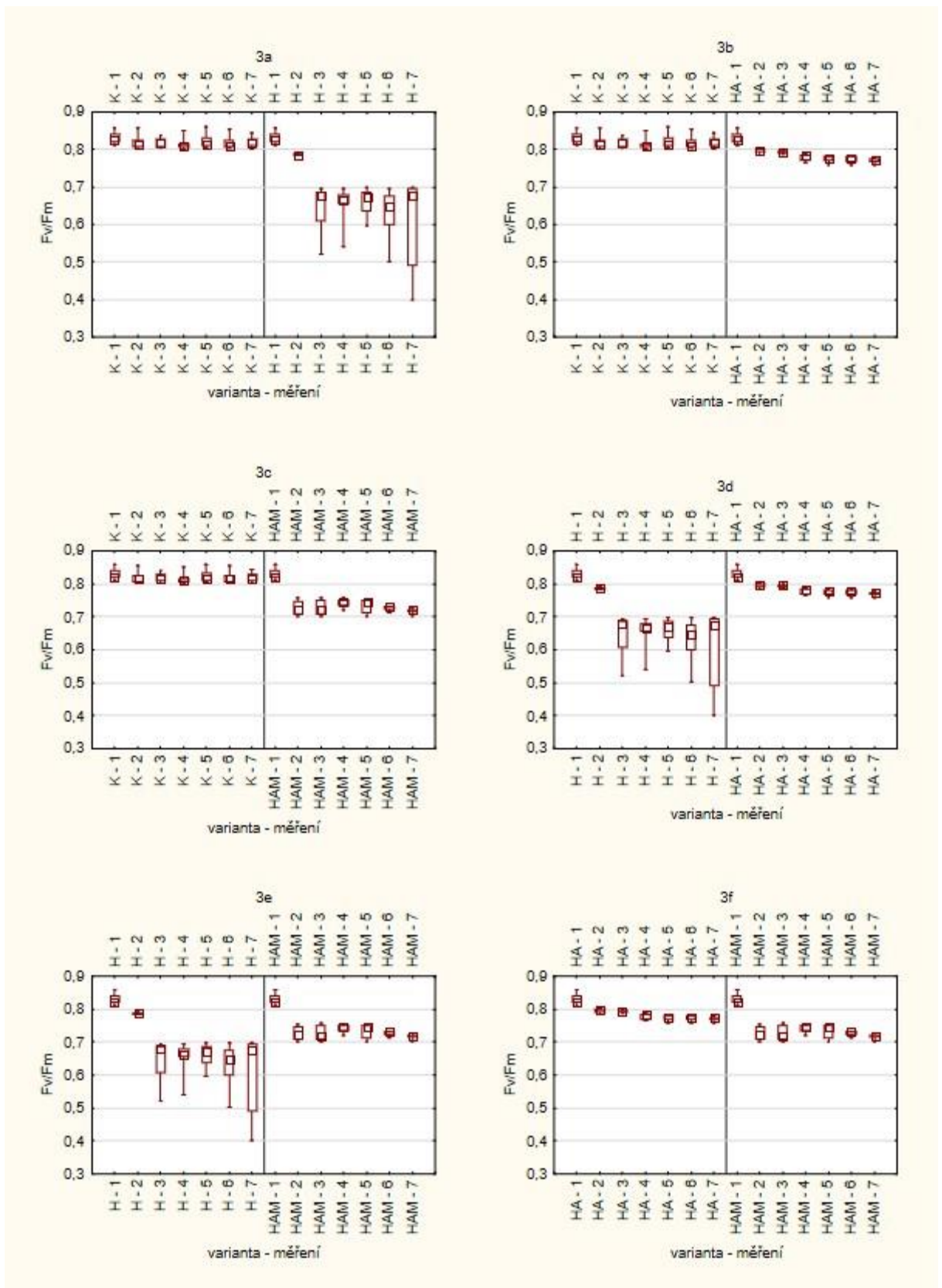
Dále, na grafu 3b, jsou uvedeny rozdíly mezi variantou kontrolní (K) a variantou ošetřenou herbicidem Bandur a Atonikem (HA). Je zde patrný pokles hodnot fluorescence u varianty HA. Pokles byl od 3,6 % (2. měření) po 4,49 % (4. měření). V sedmém měření u kontrolní varianty rostlin byla nejnižší hodnota 0,814 a u varianty s herbicidem a Atonikem byla hodnota 0,767. Pokles zde byl vypočítán na 5,83 %, což je mírnější než u varianty H.

Graf 3c porovnává varianty kontrolní (K) s variantou ošetřenou herbicidem Bandur, Atonikem a močovinou (HAM). Od druhého měření po páté jsou zde procentuální rozdíly podobné a to kolem 11 %. Poté se hodnoty fluorescence u 4. varianty snížily. Nejnižší naměřená hodnota u kontrolní varianty byla 0,814 a u varianty rostlin ošetřených herbicidem, Atonikem a močovinou se hodnota fluorescence zastavila na 0,711. Kontrolní varianta měla v poslední termín měření o 14,55 % vyšší hodnotu fluorescence než HAM varianta.

Variantu ošetřenou herbicidem Bandur (H) a variantu ošetřenou herbicidem Bandur a Atonikem (HA) srovnává graf 3d. Z grafu je zcela zřetelné, že přípravek Atonik snížil fytotoxicitu herbicidu, a tudíž hodnoty fluorescence byly vyšší než herbicidně ošetřené rostliny. Z grafu jsou patrné shodné hodnoty u prvního a druhého měření. Páté, šesté a sedmé měření má podobné rozdíly mezi sebou a to asi 15 %. Nejnižší hodnota u H varianty byla ve 4. měření 0,623 a u varianty HA byla nejnižší hodnota ve 4. měření 0,785. Přípravek Atonik snížil herbicidní stres a zvýšil fluorescenci u varianty HA o 25,97 %.

Dalším grafem je 3e, na kterém jsou patrné rozdíly mezi variantami ošetřené herbicidem Bandur (H) a ošetřené herbicidem Bandur, Atonikem a močovinou (HAM). U varianty H se naměřila fluorescence chlorofylů 0,663 a u HAM varianty bylo změřeno 0,711. Oproti variantě H je to procentuální nárůst fluorescence o 7,21 %.

Poslední graf 3f srovnává rozdíly mezi variantou ošetřenou herbicidem Bandur a Atonikem (HA) a variantou ošetřenou herbicidem Bandur, Atonikem a močovinou (HAM). První měření mělo shodné hodnoty fluorescence. Dalším termínem měření hodnoty klesly u obou variant. Varianta HA měla hodnotu 0,798 a HAM varianta 0,731. Byl zde vypočítán rozdíl 10,89 %. Při 3. měření se rozdíl snížil na 8,35 % a u čtvrtého měření se fluorescence snížila na rozdíl 5,1 %. U pátého měření byl změřen rozdíl 4,27 %. Zvýšení rozdílu nastalo při šestém termínu měření, kdy se rozdíl zvýšil na 6,31 %, kde měla varianta HA hodnotu 0,776 a HAM varianta 0,727. V 7. termínu měření měly obě varianty nejnižší hodnoty. U HA varianty se naměřilo 0,767 a u HAM varianty to byla hodnota 0,711. Celkový rozdíl to tedy byl 7,29 % v hodnotách naměřené fluorescence.



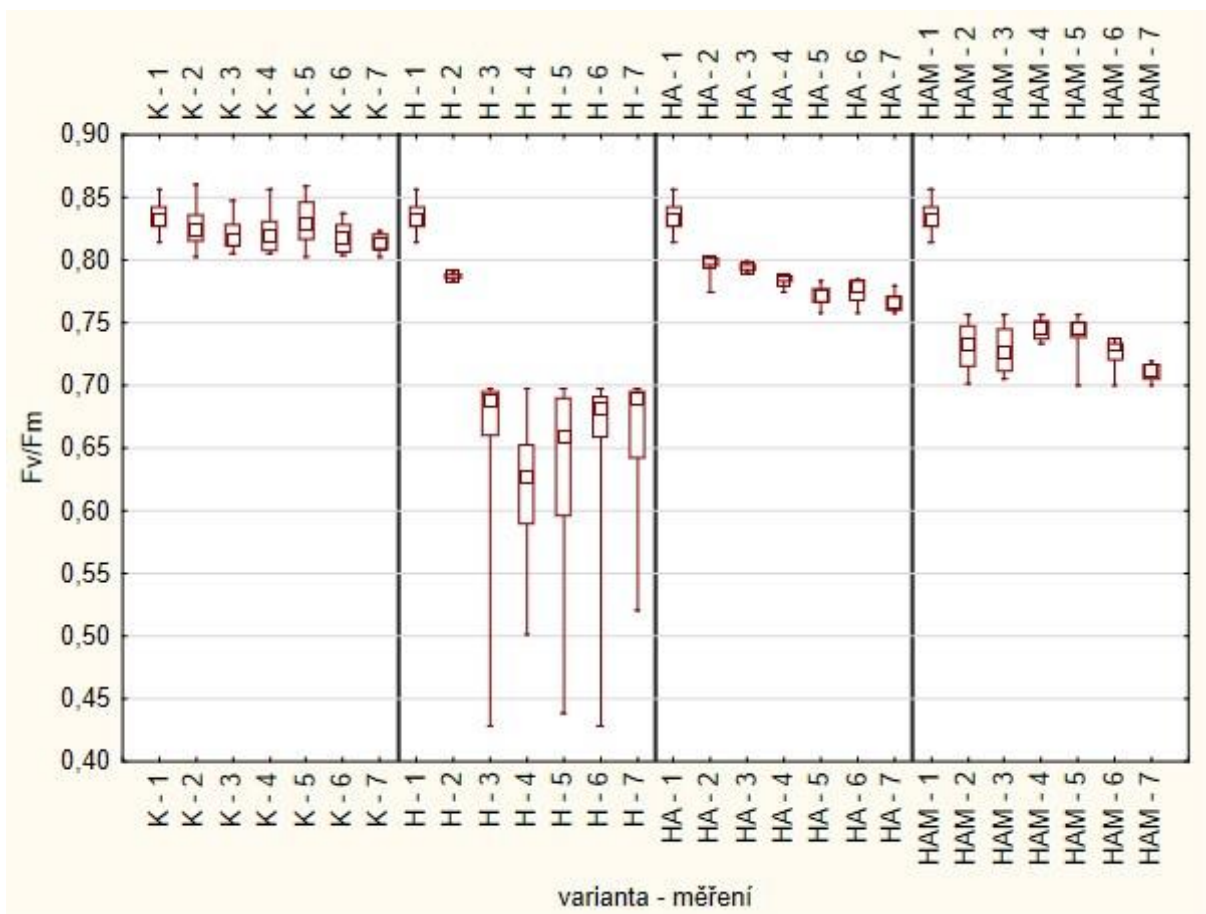
Graf 3 – Změny v hodnotách fluorescence chlorofylů slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.) v závislosti na variantě a termínu pokusu

Graf 4 porovnává vliv varianty a termíny měření u základního parametru fluorescence (poměr F_v/F_m) u rostlin slunečnice. Z tohoto grafu je patrné, že fluorescence chlorofylu byla stabilní v rámci jednotlivých měření u kontrolní varianty, varianty HA a HAM, kdy v závěru pokusu snižovaly hodnoty fluorescence chlorofylu. V rámci termínu měření se poměr F_v/F_m pohyboval v intervalu hodnot od 0,623 (H-4) do 0,834 (K-1). Statisticky průkazné rozdíly v rámci termínu měření byly nalezeny mezi prvním termínem měření (0,834) a zbývajících termíny měření, kromě 2. a 5. termínu měření, kdy hodnota uvedené charakteristiky byla u obou termínů měření ve výši 0,834. Nejvyšší rozdíl v rámci měření byl nalezen mezi termíny 7 a 1, kdy rozdíl činil 0,096 (11,5 %) ve prospěch 1. termínu.

Porovnání hodnot fluorescence chlorofylů rostlin z varianty kontrolní (K) a ošetřené herbicidem Bandur (H) je uvedeno v grafu 4. Z grafu je patrný statisticky průkazný pokles hodnot fluorescence chlorofylů u varianty ošetřené herbicidem Bandur. Poměr F_v/F_m byl u této varianty v rozpětí hodnot od 0,834 (1.) do 0,623 (4.), zatímco u rostlin kontrolních byl 0,834 (1.) až 0,814 (7.). Snížení fluorescence chlorofylů je způsobeno aplikací herbicidu. Před aplikací herbicidu byla fluorescence ve výši 0,834, kdežto v termínu po aplikaci se poměr F_v/F_m průkazně snížil o 20,5 % na hodnotu 0,663.

V případě aplikace přípravku Atonik a herbicidu Bandur, u varianty HA, byl v porovnání s rostlinami kontrolními také zaznamenán pokles hodnot fluorescence, ale ve srovnání s rostlinami ošetřenými pouze herbicidem nebyl tento pokles tak výrazný, jak dokládá graf 4. Z něho je dále patrné, že fluorescence byla nejvyšší u varianty HA v termínu před zahájením pokusu (0,834) a naopak nejnižší hodnota byla změřena v 7. termínu (0,767), tedy 14 dnů po aplikaci přípravků. Jedná se o průkazný pokles o 8,1 %. Jak je z uvedeného grafu patrné, tak byl v případě kombinace přípravku Atonik a herbicidu zaznamenán pozitivní efekt regulátoru růstu, který snížil možný fytotoxický efekt herbicidu.

Z grafu 4 dále vyplývá, že v případě kombinace regulátoru růstu, herbicidu a močoviny je fluorescence nižší v porovnání s variantou kontrolní a ošetřenou regulátorem růstu a herbicidem. Nebyl zde zaznamenán pozitivní efekt dusíkatého hnojení na uvedenou charakteristiku. Fluorescence rostlin rostoucích v této variantě byla nejnižší 14 dnů po aplikaci látek (0,711) a naopak nejvyšší na počátku pokusu (0,834). V porovnání s kontrolními rostlinami (K) byla fluorescence v průměru nižší o 10,6 % a u varianty HA o 5,9 %. V případě srovnání s variantou ošetřenou pouze herbicidem byl poměr F_v/F_m vyšší o 6,8 %.



Graf 4 – Souhrnný graf změny fluorescence chlorofylu slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.) v závislosti na variantě a termínu pokusu

5.2 Obsah fotosynteticky aktivních pigmentů

Graf 5 obsahuje dílčí grafy 5a – 5f, které názorně ukazují jednotlivé interakce v termínech měření u obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů všech variant sóji.

Dílčí graf 5a porovnává obsah fotosynteticky aktivních pigmentů u kontrolní varianty rostlin (K) s variantou rostlin ošetřených herbicidem Corum (H). U prvního měření nebyly zaznamenány patrné rozdíly. Kontrolní varianta v druhém měření měla hodnotu $23,94 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ a varianta H obsahovala $22,69 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ pigmentů. Varianta K měla o 5,5 % vyšší obsah pigmentů než varianta H. Třetí měření zaznamenalo vyrovnanost v hodnotách obsahu chlorofylů. Také u 4. měření nebyl zaznamenán výrazný rozdíl v obsahu pigmentů. U 5. měření byl obsah pigmentů vyšší u varianty ošetřené herbicidem a to $22,33 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$. To bylo oproti kontrolní variantě ($19,09 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) o 16,9 % více. Kontrolní variantě se v 6.

měření dále snížil obsah chlorofylů na hodnotu 18,10 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Oproti variantě ošetřené herbicidem (21,04 $\mu\text{g. cm}^{-2}$) to bylo o 13,9 % menší obsah pigmentů, než u kontrolní varianty rostlin. Posledním 7. měřením se kontrolní varianta obsahem pigmentů dostala na 23,56 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. U varianty ošetřené herbicidem se zaznamenal pokles obsahu chlorofylů na hodnotu 19,79 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Rozdíl variant byl 19,1 %.

V grafu 5b jsou uvedeny rozdíly mezi variantou kontrolní (K) a variantou ošetřenou herbicidem Corum a Atonikem (HA). První den měření se hodnoty obsahu pigmentů nelišily. Druhý termín měření měla HA varianta (19,27 $\mu\text{g. cm}^{-2}$) nižší obsah chlorofylů o 19,51 %, než varianta kontrolní, která obsahovala 23,94 $\mu\text{g. cm}^{-2}$ chlorofylu. Třetí termín měření byla varianta kontrolní stále na vyšší hodnotě, než varianta ošetřená herbicidem a Atonikem. Rozdíl zde byl 16,4 % v obsahu chlorofylů. U 4. termínu byl zaznamenán účinek Atoniku, který u této varianty ovlivnil obsah chlorofylů a tím i rozdíl mezi porovnávanými variantami. Varianta HA měla o 20,5 % vyšší obsah chlorofylu než varianta kontrolní. 5. termín měření byla HA varianta o 20,8 % horší než kontrolní varianta, kde se naměřil obsah 19,09 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Menší rozdíl už byl vyhodnocen u 6. termínu měření, kdy byl rozdíl v obsahu pigmentů 6,5 %. Posledním termínem měření varianta ošetřená herbicidem a Atonikem vykazovala vysoký nárůst obsahu pigmentů na hodnotu 31,82 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Oproti kontrolní variantě to by nárůst v obsahu chlorofylů o 35,1 %.

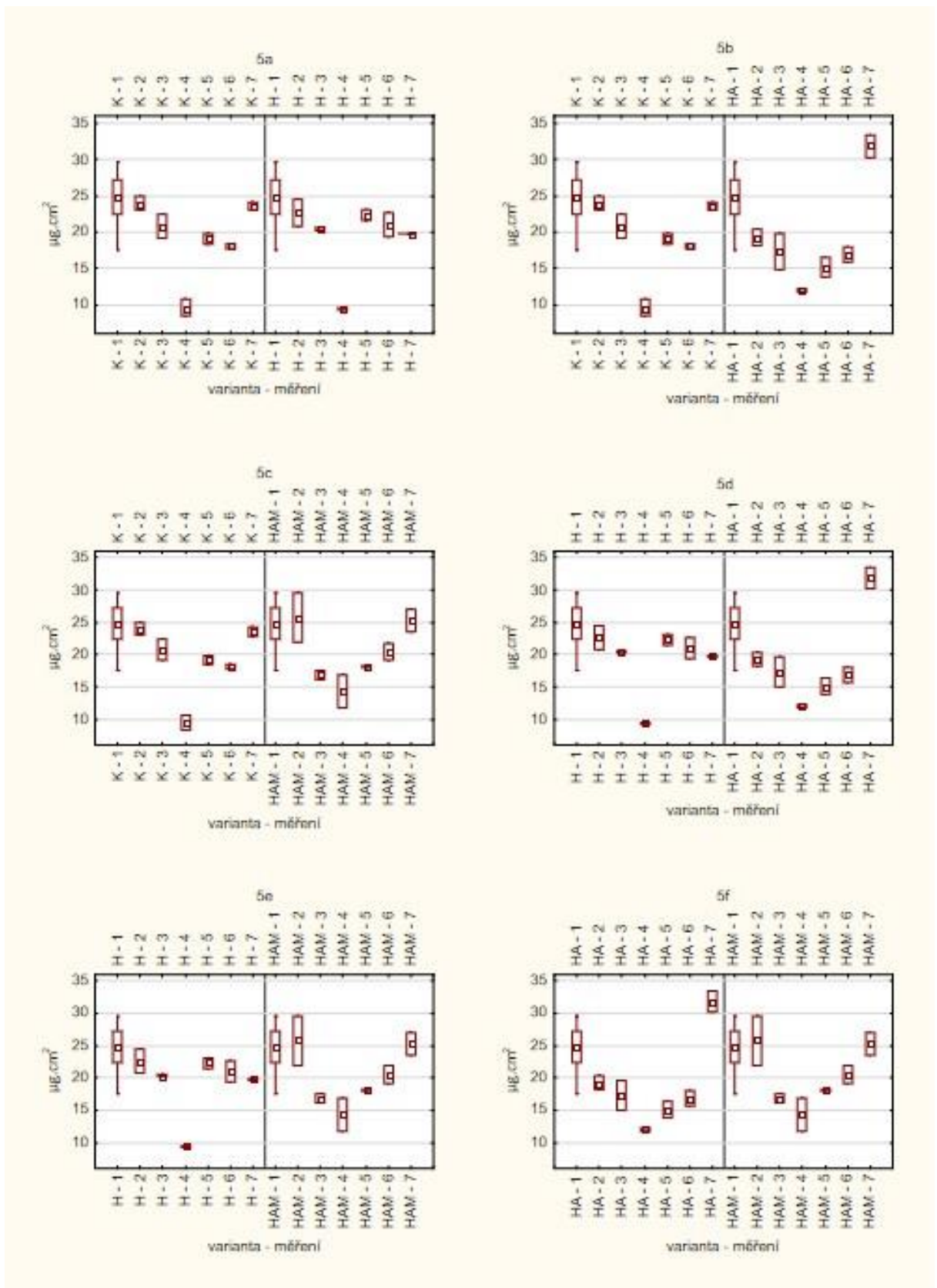
Graf 5c srovnává varianty kontrolní (K) s variantou ošetřenou herbicidem Corum, Atonikem a močovinou (HAM). U kontrolní varianty nebyly nalezeny výrazné rozdíly v obsahu pigmentů. V druhém termínu měření byl naměřen vyšší obsah u varianty ošetřené herbicidem, Atonikem a močovinou a to 25,75 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Byl to o 7,6 % vyšší obsah pigmentů, než u kontrolní varianty (23,94 $\mu\text{g. cm}^{-2}$). Třetím termínem měření se obsahy chlorofylů obou variant snížily, ale nižší obsah byl zaznamenán u varianty HAM, kde byla hodnota 16,81 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Pokles oproti kontrole (20,74 $\mu\text{g. cm}^{-2}$) zde byl o 18,9 %. Variantě HAM se ve 4. termínu měření naměřil obsah celkového chlorofylu 14,38 $\mu\text{g. cm}^{-2}$, což bylo oproti kontrolní variantě, která měla 9,56 $\mu\text{g. cm}^{-2}$, o 50,4 % vyšší obsah. Pátým termínem byl u kontrolní varianty (19,09 $\mu\text{g. cm}^{-2}$) vyšší obsah pigmentů o 5,1 % než u varianty HAM, která obsahovala 18,16 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. U 6. termínu měření byl patrný nárůst na obsahu chlorofylů u varianty ošetřené herbicidem, Atonikem a močovinou na hodnotu 20,54 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Byla to o 13,5 % vyšší hodnota obsahu pigmentů než u kontrolní varianty (18,10 $\mu\text{g. cm}^{-2}$). Na konci pokusu bylo u HAM varianty zaznamenáno zvýšení obsahu chlorofylu na hodnotu

25,32 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Oproti kontrolní variantě, která obsahovala 23,56 $\mu\text{g. cm}^2$ pigmentů, to byl nárůst o 7,5 %.

Variantu ošetřenou herbicidem Corum (H) a variantu ošetřenou herbicidem Corum a Atonikem (HA) porovnává graf 5d. Rozdíl ve variantách byl zaznamenán ve 2. měření, kdy varianta ošetřená herbicidem vykazovala vyšší obsah pigmentů (22,67 $\mu\text{g. cm}^{-2}$), než varianta ošetřená herbicidem a Atonikem (19,27 $\mu\text{g. cm}^{-2}$). Rozdíl zde byl oproti variantě HA o 17,6 %. Ve třetím termínu měření byl obsah pigmentů vyšší u varianty ošetřené herbicidem (20,44 $\mu\text{g. cm}^{-2}$) oproti variantě HA, která obsahovala 17,35 $\mu\text{g. cm}^2$. Rozdíl zde byl o 17,8 %. Čtvrtým termínem měření se hodnota celkového chlorofylu u varianty ošetřené herbicidem snížila až na hodnotu 9,43 $\mu\text{g. cm}^{-2}$ a oproti variantě s herbicidem a Atonikem (12,02 $\mu\text{g. cm}^{-2}$) byla o 21,5 % nižší. U 5. termínu měření byl obsah celkového chlorofylu u varianty ošetřené herbicidem 22,33 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Varianta ošetřená herbicidem a Atonikem měla hodnotu 15,12 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Byl zde zaznamenán pokles o 32,3 %. Při 6. měření byla naměřena vyšší hodnota u varianty H a to 21,04 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Oproti variantě ošetřené herbicidem a Atonikem, která obsahovala 16,91 $\mu\text{g. cm}^{-2}$ chlorofylů, byl uvedený rozdíl o 19,6 % nižší. 7. termín měření byl zaznamenán nárůst obsahu chlorofylů u varianty HA, u které byl naměřen obsah pigmentů 31,82 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Ku H variantě to byl nárůst o 60,8 % v obsahu pigmentů.

Dalším grafem je 5e, z něhož jsou patrné difference mezi variantami ošetřenými herbicidem Corum (H) a ošetřenými herbicidem Corum, Atonikem a močovinou (HAM). V prvním termínu měření zde není rozdíl v obsahu pigmentů. Ve 2. termínu měření bylo zaznamenáno zvýšení obsahu chlorofylů u varianty ošetřené herbicidem, Atonikem a močovinou na hodnotu 25,75 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Bylo to o 11,9 % více než u varianty ošetřené herbicidem. U 3. měření měla varianta H hodnotu 20,44 $\mu\text{g. cm}^2$ a HAM varianta 16,81 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Varianta HAM snížila hodnotu obsahu pigmentů o 17,8 %. Ve 4. měření měla varianta H obsah chlorofylu 9,43 $\mu\text{g. cm}^{-2}$ a varianta HAM obsahovala v tomto termínu 14,38 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Oproti H variantě měla o 52,5 % více celkového chlorofylu. H varianta v 5. termínu měření zvýšila svůj obsah celkového chlorofylu na hodnotu 22,33 $\mu\text{g. cm}^{-2}$, oproti variantě ošetřené herbicidem, Atonikem a močovinou měla o 22,9 % vyšší obsah pigmentů. V šestém termínu měření se zdají být hodnoty vyrovnané a není v nich zásadní rozdíl. Na konci měření měla varianta HAM vyšší obsah celkového chlorofylu a to 25,32 $\mu\text{g. cm}^{-2}$. Nižší hodnotu měla H varianta 19,79 $\mu\text{g.cm}^2$. Oproti 4. variantě zde byl pokles o 21,8 %.

Poslední graf 5f definuje rozdíly mezi variantou ošetřenou herbicidem Corum a Atonikem (HA) a variantou ošetřenou herbicidem Corum, Atonikem a močovinou (HAM). U prvního termínu měření nejsou rozdíly v obsahu pigmentů. Ty byly stanoveny až u druhého měření kde má HAM varianta vyšší hodnotu celkového chlorofylu a to $25,75 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Varianta HA měla v tento termín $19,27 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Je to pokles o 25,2 %. Třetí termín měření se obě varianty snížily ve svých obsazích chlorofylů a neměly zcela rozdílné hodnoty. Rozdíl nastal až ve 4. měření, kdy varianta HA měla obsah chlorofylů $12,02 \mu\text{g. cm}^{-2}$ a HAM varianta $14,38 \mu\text{g.cm}^2$. Čtvrtá varianta zaznamenala nárůst obsahu pigmentů o 19,6 %. V pátém termínu měření oproti předchozímu obsahy pigmentů vzrostly u obou variant. Nejvíce však u varianty HAM, kde byla naměřena hodnota $18,16 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Rozdíl mezi oběma variantami byl 20,1 %. Nárůst v obsahu pigmentů byl také zaznamenán u 6. měření, kdy varianta HAM měla hodnotu $20,54 \mu\text{g. cm}^{-2}$ a varianta HA jen $16,91 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Obrat nastal u HA varianty v sedmém měření, kdy obsah celkového chlorofylu se zvýšil na hodnotu $31,82 \mu\text{g. cm}^{-2}$. HAM varianta měla v tomto termínu $25,32 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Rozdíl mezi variantami zde byl 25,7 %.



Graf 5 - Změny v obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů sóji luštinaté (*Glycine max* L.) v závislosti na variantě a termínu pokusu

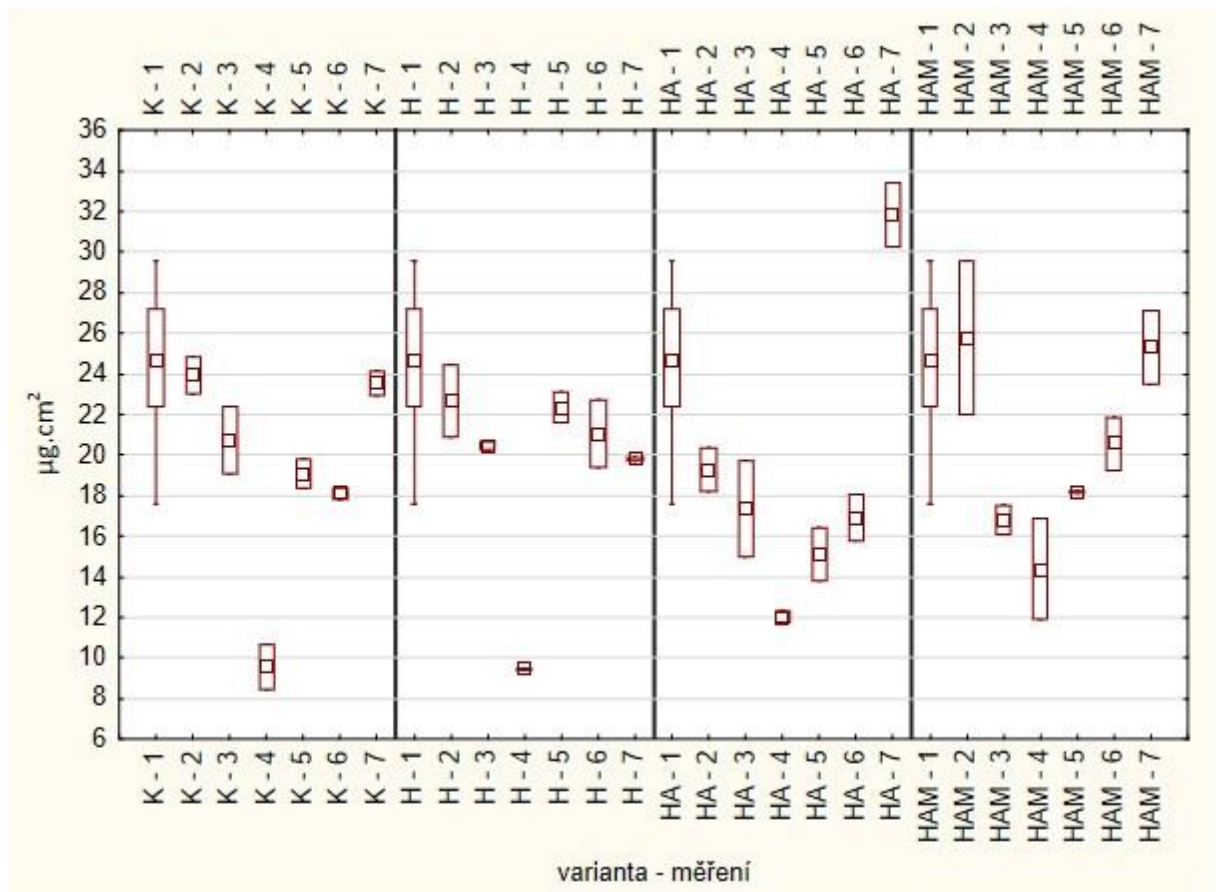
Graf 6 porovnává vliv varianty a termíny měření u obsahu chlorofylů ($\mu\text{g. cm}^{-2}$) u rostlin sóji. Z tohoto grafu je patrné, že obsah chlorofylů se u všech variant po aplikaci herbicidu Corum snižoval do 4. termínu měření, kde byla průměrná hodnota obsahu chlorofylů $9,43 \mu\text{g. cm}^{-2}$ a poté se jeho obsah v rostlinách začal zvyšovat. Zde je patrná fytotoxicita herbicidu a jeho vliv na rostliny. V rámci termínu měření se obsah chlorofylů pohyboval v intervalu hodnot od $9,43 \mu\text{g. cm}^{-2}$ (H-4) do $31,82 \mu\text{g. cm}^{-2}$ (HA-7). Statisticky průkazné rozdíly v obsahu pigmentů byly nalezeny u kontrolní varianty v prvním měření ($24,45 \mu\text{g. cm}^{-2}$) a 4. termínu měření u varianty ošetřené herbicidem, kdy hodnota uvedené charakteristiky byla $9,43 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Nejvyšší rozdíl v obsahu chlorofylů v rámci měření byl nalezen mezi termíny 7 (HA) a 4 (H), kdy rozdíl činil $22,39 \mu\text{g. cm}^{-2}$ (70,3 %) ve prospěch 7. termínu.

Porovnání obsahu chlorofylů rostlin z varianty kontrolní (K) a ošetřené herbicidem Corum (H) je uvedeno v grafu 6. Z grafu je patrný statisticky průkazný pokles obsahu chlorofylů u varianty ošetřené herbicidem Corum. Obsah chlorofylů byl u této varianty v rozpětí hodnot od $9,43 \mu\text{g. cm}^{-2}$ (4.) do $24,45 \mu\text{g. cm}^{-2}$ (1.), zatímco u rostlin kontrolních byl $9,56 \mu\text{g. cm}^{-2}$ (4.) až $24,45 \mu\text{g. cm}^{-2}$ (1.). Toto rozpětí je dané aplikací herbicidu, kdy se obsah chlorofylů nejprve snížil vlivem fytotoxicity a poté se ke konci pokusu zvýšil na hodnotu $19,79 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Před aplikací herbicidu byl obsah chlorofylů ve výši $24,45 \mu\text{g. cm}^{-2}$, ale v termínu po aplikaci se obsah chlorofylů výrazně snížil o 61,4 % na hodnotu $9,43 \mu\text{g. cm}^{-2}$.

V případě aplikace přípravku Atonik a herbicidu Corum, u varianty HA, byl v porovnání s rostlinami kontrolními také zaznamenán nejprve pokles obsahu chlorofylů ($12,02 \mu\text{g. cm}^{-2}$) a poté nárůst ($31,82 \mu\text{g. cm}^{-2}$), ale ve srovnání s rostlinami ošetřenými pouze herbicidem nebyl tento pokles výrazný, jak dokládá graf 6. Z něho je dále patrné, že obsah chlorofylů byl nejvyšší u varianty HA v termínu na konci pokusu ($31,82 \mu\text{g. cm}^{-2}$) a naopak nejnižší hodnota byla změřena v 4. termínu ($12,02 \mu\text{g. cm}^{-2}$). Jedná se o nárůst, ze 4. do 7. termínu, v obsahu chlorofylů o 164,7 %. Kombinace přípravku Atonik a herbicidu měl podobný průběh jako varianta pouze s herbicidem Corum, ale obsahy chlorofylů byly v termínech měření u HA v průměru nižší než u varianty H, což znamená, že regulátor růstu neovlivnil pozitivně variantu HA.

Z grafu 6 dále vyplývá, že v případě kombinace regulátoru růstu, herbicidu a močoviny je v průměru obsah chlorofylů vyšší v porovnání s variantou kontrolní a ošetřenou

regulátorem růstu a herbicidem. Projevil se zde pozitivní efekt dusíkatého hnojení na obsah chlorofylů. Obsah chlorofylů rostlin rostoucích v této variantě byla nejnižší 5 dní po aplikaci látek ($14,38 \mu\text{g. cm}^{-2}$) a naopak nejvyšší 1 den po aplikaci herbicidu ($25,45 \mu\text{g. cm}^{-2}$). V porovnání s kontrolními rostlinami (K) byl obsah chlorofylů v průměru vyšší o 4,1 %, u varianty H o 3,6 % a u varianty HA o 5,8 %.



Graf 6 – Souhrnný graf změny obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů sóji luštinaté (*Glycine max L.*) v závislosti na variantě a termínu pokusu

Graf 7 obsahuje dílčí grafy 7a–7f, kde jsou uvedeny jednotlivé interakce v termínech měření u obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů u všech variant slunečnice.

Dílčí graf 7a porovnává obsah chlorofylů kontrolní varianty rostlin (K) s variantou rostlin ošetřených herbicidem Bandur (H). U druhého měření jsou obsahy variant více rozdílné. Varianta kontrolní obsahovala $22,32 \mu\text{g. cm}^{-2}$ a H varianta měla hodnotu $23,95 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Oproti kontrolní variantě to bylo o 7,3 % více. V třetím měření kontrolní varianta obsahovala více pigmentů než varianta ošetřená herbicidem a to $17,99 \mu\text{g. cm}^{-2}$. H

varianta obsahovala $16,04 \mu\text{g. cm}^{-2}$, tedy o 10,8 % méně pigmentů. Čtvrtý termín měření se obsahy pohybovaly na podobné hodnotě, bez významného rozdílu. Pátým termínem se obsah chlorofylu více zvýšil u varianty ošetřené herbicidem, která měla hodnotu $22,22 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Kontrola obsahovala $18,93 \mu\text{g. cm}^{-2}$ chlorofylů. Varianta ošetřená herbicidem předposledním termínem měření obsahovala $23,39 \mu\text{g. cm}^{-2}$, tedy o 6,5 % více než varianta kontrolní, která měla obsah pigmentů $21,96 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Při posledním termínu měření měla H varianta $30,52 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Oproti variantě kontrolní ($28,40 \mu\text{g. cm}^{-2}$) obsahovala o 7,5 % více chlorofylů.

Dále jsou v grafu 7b rozdíly mezi variantou kontrolní (K) a variantou ošetřenou herbicidem Bandur a Atonikem (HA). U 2. termínu měření obsahovala varianta HA více chlorofylů než kontrolní varianta. Rozdíl zde byl 7,7 %. Třetím měřením se nezaznamenaly výrazné rozdíly v obsazích pigmentů u variant. Varianta kontrolní při čtvrtém termínu měření obsahovala $15,58 \mu\text{g. cm}^{-2}$ a varianta HA měla hodnotu $13,71 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Oproti variantě HA to bylo o 13,6 % více. V pátém termínu měření obsahovala více pigmentů varianta HA, tedy $22,93 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Oproti kontrolní variantě měla o 21,1 % více pigmentů. Varianta ošetřená herbicidem a Atonikem náhle snížila při šestém termínu svůj obsah chlorofylu na $19,17 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Bylo to snížení oproti kontrolní variantě v obsahu pigmentů o 12,7 %. Zvýšení obsahu chlorofylů u obou sledovaných variant bylo zjištěno při sedmém měření, kde měla varianta HA s hodnotou $29,23 \mu\text{g. cm}^{-2}$ o nepatrně vyšší obsah chlorofylů než varianta kontrolní.

Graf 7c porovnává varianty kontrolní (K) s variantou ošetřenou herbicidem Bandur, Atonikem a močovinou (HAM). Lze se z tohoto grafu shodnout, že u variant v 1. a 2. měření nebyly zjištěny výrazné rozdíly v obsahu chlorofylů. Třetím termínem měření má varianta kontrolní vyšší obsah pigmentů než varianta HAM a to $17,99 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Je to o 23,6 % vyšší obsah chlorofylů než u varianty HAM. V pátém termínu měření obsahovala kontrolní varianta $18,93 \mu\text{g. cm}^{-2}$ pigmentů a varianta ošetřená herbicidem, Atonikem a močovinou měla hodnotu $16,65 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Rozdíl zde byl vypočten na 12,1 %. Hodnoty v 6. termínu nebyly významně odlišné. Poté až v posledním termínu měření se hodnoty lišily. U kontrolní varianty se naměřilo $28,40 \mu\text{g. cm}^{-2}$, což bylo o 12,5 % více než u HAM varianty.

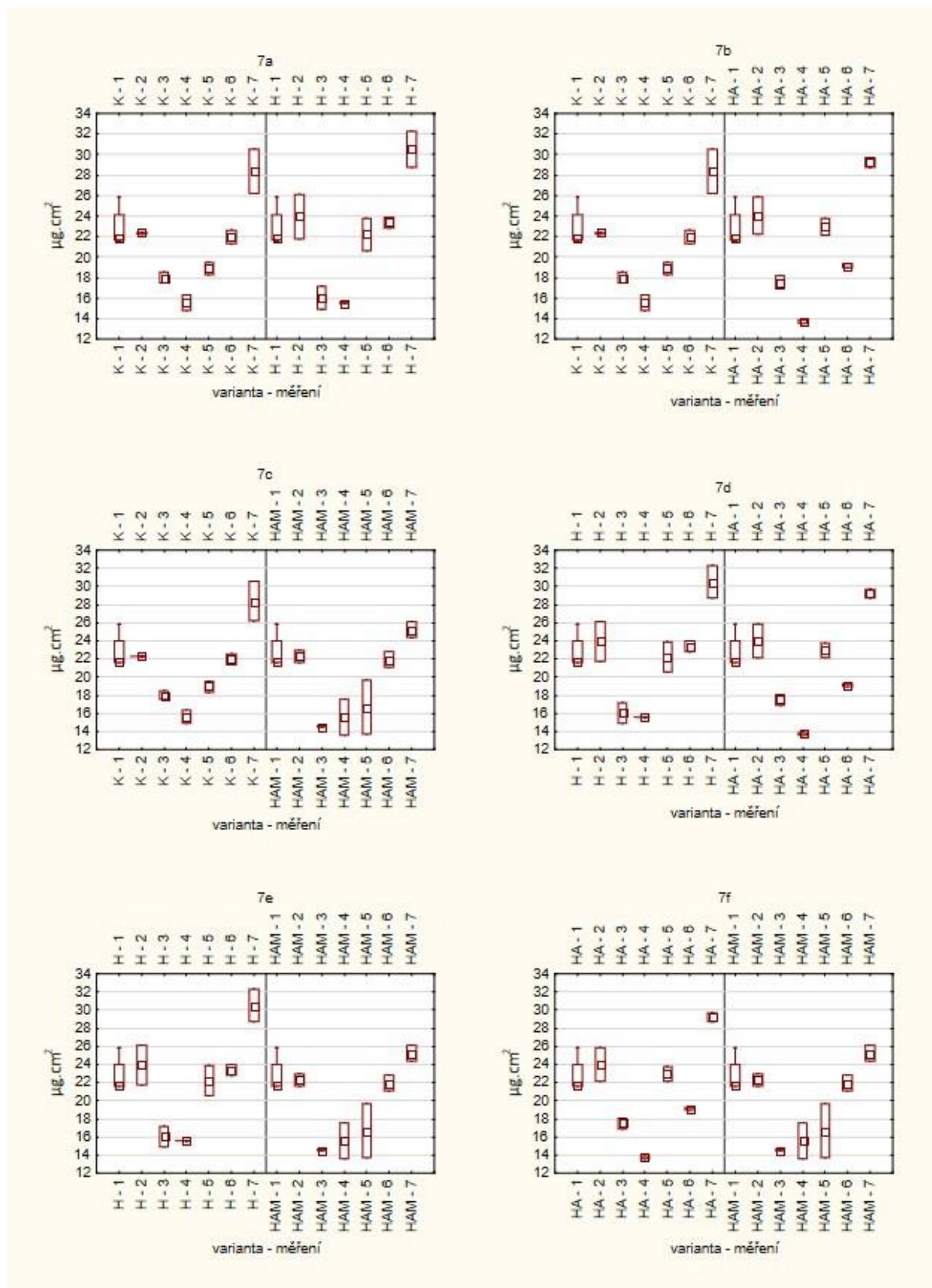
Variantu ošetřenou herbicidem Bandur (H) a ošetřenou herbicidem Bandur a Atonikem (HA) ukazuje graf 7d. Třetí termín měření byl naměřen nižší rozdíl u variant.

Varianta H obsahovala $16,04 \mu\text{g. cm}^{-2}$ a HA varianta měla hodnotu $17,50 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Rozdíl zde byl 9,1 %. Ve 4. měření měla nižší obsah chlorofylů varianta HA, u které se naměřilo $13,71 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Varianta H obsahovala chlorofylů o 13,3 % více tedy $15,54 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Patrně lze usoudit, že u pátého měření nejsou výrazné rozdíly v obsahu pigmentů u variant. V šestém termínu měření byl obsah chlorofylů u varianty ošetřené herbicidem $23,39 \mu\text{g. cm}^{-2}$ a u varianty HA tato hodnota činila $19,17 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Varianta HA měla oproti druhé variantě o 18,1 % méně chlorofylů. Poslední termín měření nebyly naměřeny výrazné rozdíly mezi obsahy pigmentů variant. Varianty se lišily pouze o 4,4 %, kde varianta ošetřená herbicidem měla vyšší hodnotu obsahu pigmentů $30,52 \mu\text{g. cm}^{-2}$.

Dalším grafem je graf 7e. V něm jsou uvedeny rozdíly mezi variantami ošetřenými herbicidem Bandur (H) a ošetřenými herbicidem Bandur, Atonikem a močovinou (HAM). V prvním měření nejsou žádné rozdíly v obsahu pigmentů. Rozdílné obsahy jsou patrné u druhého měření, kdy varianta H obsahovala $23,95 \mu\text{g. cm}^{-2}$ a varianta HAM měla hodnotu pigmentů $22,29 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Varianta H měla vyšší obsah chlorofylů o 7,5 %. Ve třetím termínu měření měla varianta ošetřená herbicidem $16,04 \mu\text{g. cm}^{-2}$ a varianta HAM obsahovala $14,58 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Oproti H variantě to byl rozdíl 9,1 %. Ve čtvrtém termínu nebyly naměřeny statisticky průkazné rozdíly v obsahu pigmentů. Různé obsahy u variant se naměřily v pátém termínu měření, kdy varianta ošetřená herbicidem obsahovala $22,22 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Oproti HAM variantě ($16,65 \mu\text{g. cm}^{-2}$) to bylo o 33,5 % vyšší obsah pigmentů. Šesté měření vykazovalo malé rozdíly mezi variantami, kde hodnota u varianty ošetřené herbicidem byla $23,39 \mu\text{g. cm}^{-2}$ a HAM varianta obsahovala $21,93 \mu\text{g. cm}^{-2}$ chlorofylů. V posledním měření bylo zaznamenána nejvyšší hodnota u varianty H a to $30,52 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Varianta HAM měla obsah chlorofylů $25,24 \mu\text{g. cm}^{-2}$, tudíž zde byl rozdíl 20,9 %.

Poslední graf 7f srovnává rozdíly mezi variantou ošetřenou herbicidem Bandur a Atonikem (HA) a variantou ošetřenou herbicidem Bandur, Atonikem a močovinou (HAM). U druhého termínu měření měla varianta HA hodnotu $24,03 \mu\text{g. cm}^{-2}$ a varianta HAM obsahovala $22,29 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Třetím termínem se zvýšily rozdíly u variant tak, že HA varianta ($17,50 \mu\text{g. cm}^{-2}$) obsahovala o 20,0 % více chlorofylů než varianta HAM s $14,58 \mu\text{g. cm}^{-2}$. Varianta HA obsahovala ve čtvrtém termínu $13,71 \mu\text{g. cm}^{-2}$ pigmentů. Oproti HAM variantě, u které se naměřilo $15,60 \mu\text{g. cm}^{-2}$, měla varianta HA o 13,8 % vyšší obsah pigmentů. Vyšší obsah chlorofylů v pátém měření byl naměřen u varianty HA, kde bylo naměřeno

22,93 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$. Rozdíl byl 37,7 % . Zvrat nastal při šestém měření, kdy varianta HAM měla hodnotu 21,93 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ a varianta HA obsahovala 19,17 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$. Posledním měřením měla vyšší obsah pigmentů varianta HA a to 29,23 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$. Oproti HAM variantě (25,24 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) měla o 15,8 % vyšší obsah celkového chlorofylu.



Graf 7 - Změny v obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.) v závislosti na variantě a termínu pokusu

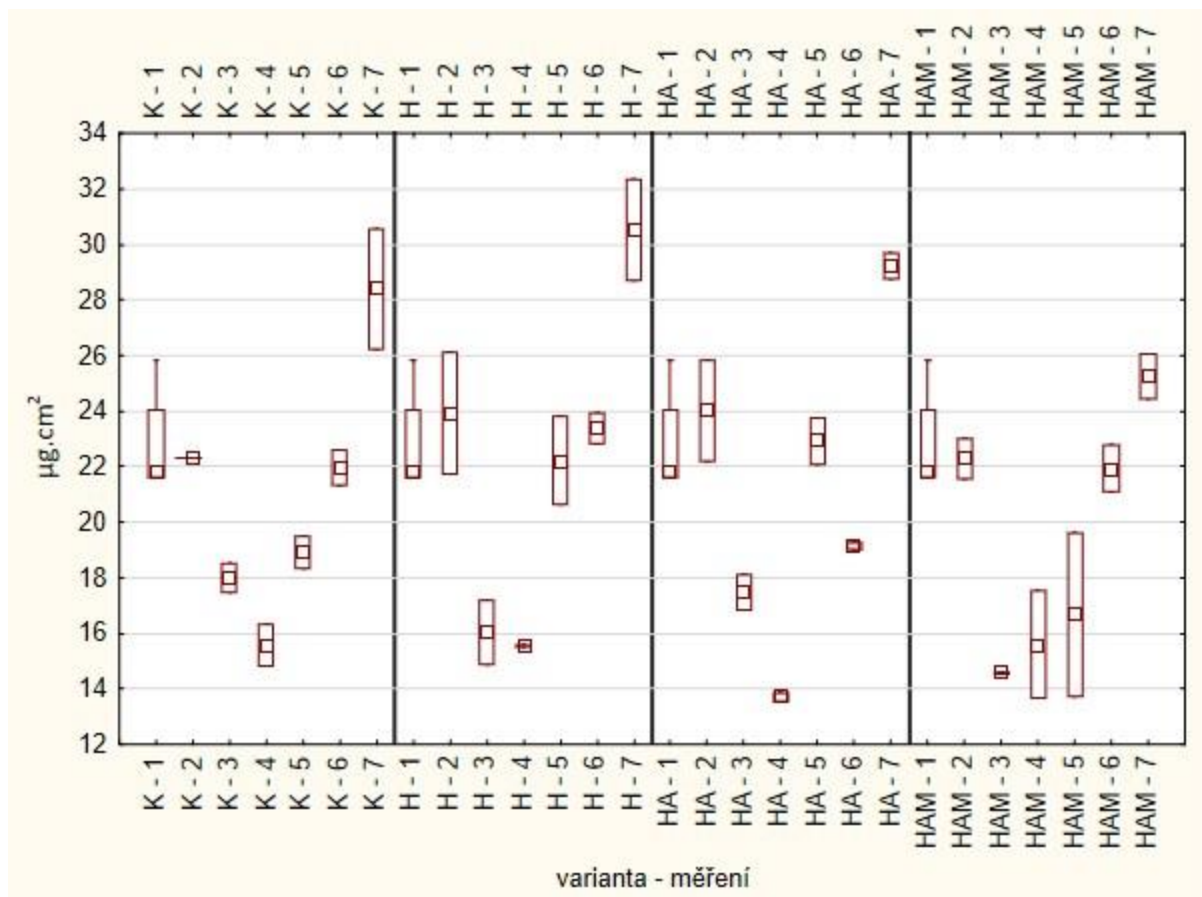
Graf 8 porovnává vliv varianty a termíny měření obsahu chlorofylů ($\mu\text{g. cm}^{-2}$) rostlin slunečnice. Z tohoto grafu je patrné, že obsah chlorofylů se u všech variant po aplikaci herbicidu Bandur snižoval do 4. termínu měření, kde byl průměrný obsah chlorofylů $15,54 \mu\text{g. cm}^{-2}$ a poté se jeho obsah v rostlinách začal zvyšovat do posledního termínu na průměrnou hodnotu $30,52 \mu\text{g. cm}^{-2}$ chlorofylů. Shodně s rostlinami sóji je zde patrná fytotoxicita herbicidu a jeho vliv na rostliny slunečnice. V rámci termínu měření se obsah chlorofylů pohyboval v intervalu hodnot od $13,71 \mu\text{g. cm}^{-2}$ (HA-4) do $30,52 \mu\text{g. cm}^{-2}$ (H-7). Statisticky průkazné rozdíly v rámci termínu měření byly nalezeny u všech termínů, kromě 2. měření. Nejvyšší rozdíl v rámci měření byl nalezen mezi termíny 4 (HA) a 7 (H), kdy rozdíl činil $16,81 \mu\text{g. cm}^{-2}$ (55,1 %) ve prospěch 7. termínu varianty ošetřené herbicidem.

Porovnání obsahu chlorofylů rostlin z varianty kontrolní (K) a ošetřené herbicidem Bandur (H) je uvedeno v grafu 8. Z grafu je patrný pokles obsahu chlorofylů u varianty ošetřené herbicidem Bandur. Obsah chlorofylů byl u této varianty v rozpětí hodnot od $15,54 \mu\text{g. cm}^{-2}$ (4.) do $30,52 \mu\text{g. cm}^{-2}$ (7.), zatímco kontrolní varianta měla rozsah $15,58 \mu\text{g. cm}^{-2}$ (4.) až $28,40 \mu\text{g. cm}^{-2}$ (7.). Toto rozpětí je dané aplikací herbicidu, kdy se obsah chlorofylů nejprve snížil fytotoxicitou a poté se ke konci pokusu zvýšil. Před aplikací herbicidu byl obsah chlorofylů $22,80 \mu\text{g. cm}^{-2}$, ale 5 dní po aplikaci se obsah chlorofylů snížil o 31,8 % na hodnotu $15,54 \mu\text{g. cm}^{-2}$.

V případě aplikace přípravku Atonik a herbicidu Bandur, u varianty HA, byl v porovnání s rostlinami kontrolními také zaznamenán nejprve pokles obsahu chlorofylů ($13,71 \mu\text{g. cm}^{-2}$) a poté nárůst obsahu pigmentů na $29,23 \mu\text{g. cm}^{-2}$, ale ve srovnání s rostlinami ošetřenými pouze herbicidem byl tento pokles výrazný, jak dokládá graf 8. Z něho je dále patrné, že obsah chlorofylů byl nejvyšší u varianty HA v termínu na konci pokusu ($29,23 \mu\text{g. cm}^{-2}$) a naopak nejnižší hodnota byla změřena ve 4. termínu ($13,71 \mu\text{g. cm}^{-2}$). Jedná se o nárůst obsahu chlorofylů o 113,4 %. Kombinace přípravku Atonik a herbicidu měl podobný průběh jako varianta pouze s herbicidem Bandur, ale obsahy chlorofylů byly v termínech měření u HA v průměru nižší než u varianty H, což znamená, že regulátor růstu neovlivnil pozitivně variantu HA.

Z grafu 8 dále vyplývá, že v případě kombinace regulátoru růstu, herbicidu a močoviny jsou v průměru obsahy chlorofylů nižší v porovnání s variantou kontrolní a ošetřenou regulátorem růstu a herbicidem. Neprojevil se zde pozitivní efekt dusíkatého

hnojení na obsah chlorofylů. Obsah chlorofylů rostlin rostoucích v této variantě byla nejnižší 3 dny po aplikaci látek ($14,58 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) a naopak nejvyšší 14 dní po aplikaci herbicidu ($25,24 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$). V porovnání s kontrolními rostlinami (K) byl obsah chlorofylů v průměru nižší o 6,4 %, u varianty H o 11,1 % a u varianty HA o 7,4 %.



Graf 8 – Souhrnný graf změny obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.) v závislosti na variantě a termínu pokusu

5.3 Obsah aminokyseliny prolin

Graf 9 znázorňuje jednotlivé interakce v termínech měření u obsahu aminokyseliny prolin u všech variant sóji.

Dílčí graf 9a porovnává obsah prolinu u kontrolní varianty rostlin (K) s variantou rostlin ošetřených herbicidem Corum (H). V prvním termínu měření byly obsahy prolinu u sóji stejné. Další měření se obsah prolinu zvýšil u varianty ošetřené herbicidem o 2,23 % na hodnotu $254,44 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$. Ve třetím termínu měření se obsah u H varianty opětovně zvýšil na hodnotu $270 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$. Rozdíl variant v tomto termínu byl 15,17 %. Čtvrtý termín měření

zaznamenal opětovné zvýšení obsahu prolinu u varianty ošetřené herbicidem. Obsah se zvýšil na 285,56 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a rozdíl byl s kontrolní variantou 21,23 %. Dalším měřením byl rozdíl variant nejvyšší, kdy varianta ošetřená herbicidem měla hodnotu 291,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a rozdíl mezi variantami v tomto měření byl tedy 23,58 %. V šestém termínu měření varianta H poklesla v obsahu prolinu na 277,78 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a v posledním termínu měření obsah klesl na 260 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

V grafu 9b jsou uvedeny rozdíly mezi variantou kontrolní (K) a ošetřenou herbicidem Corum a Atonikem (HA). V druhém termínu měření, u varianty HA, se obsah prolinu zvýšil na hodnotu 327,78 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Byl zde vypočten rozdíl variant 31,7 %. V dalším měření u varianty HA nastal pokles v obsahu prolinu a rozdíl variant se snižoval (28,91 %). Byl zde naměřen obsah prolinu 302,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Ve čtvrtém měření byl rozdíl v obsahu prolinu u variant 25,47 %. Pátým měřením byl obsah prolinu 277,78 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u varianty ošetřené herbicidem a Atonikem. V šestém měření byl rozdíl variant 14,22 % a v posledním měření by zaznamenán nárůst obsahu prolinu, který zvýšil rozdíl variant na 20,39 %.

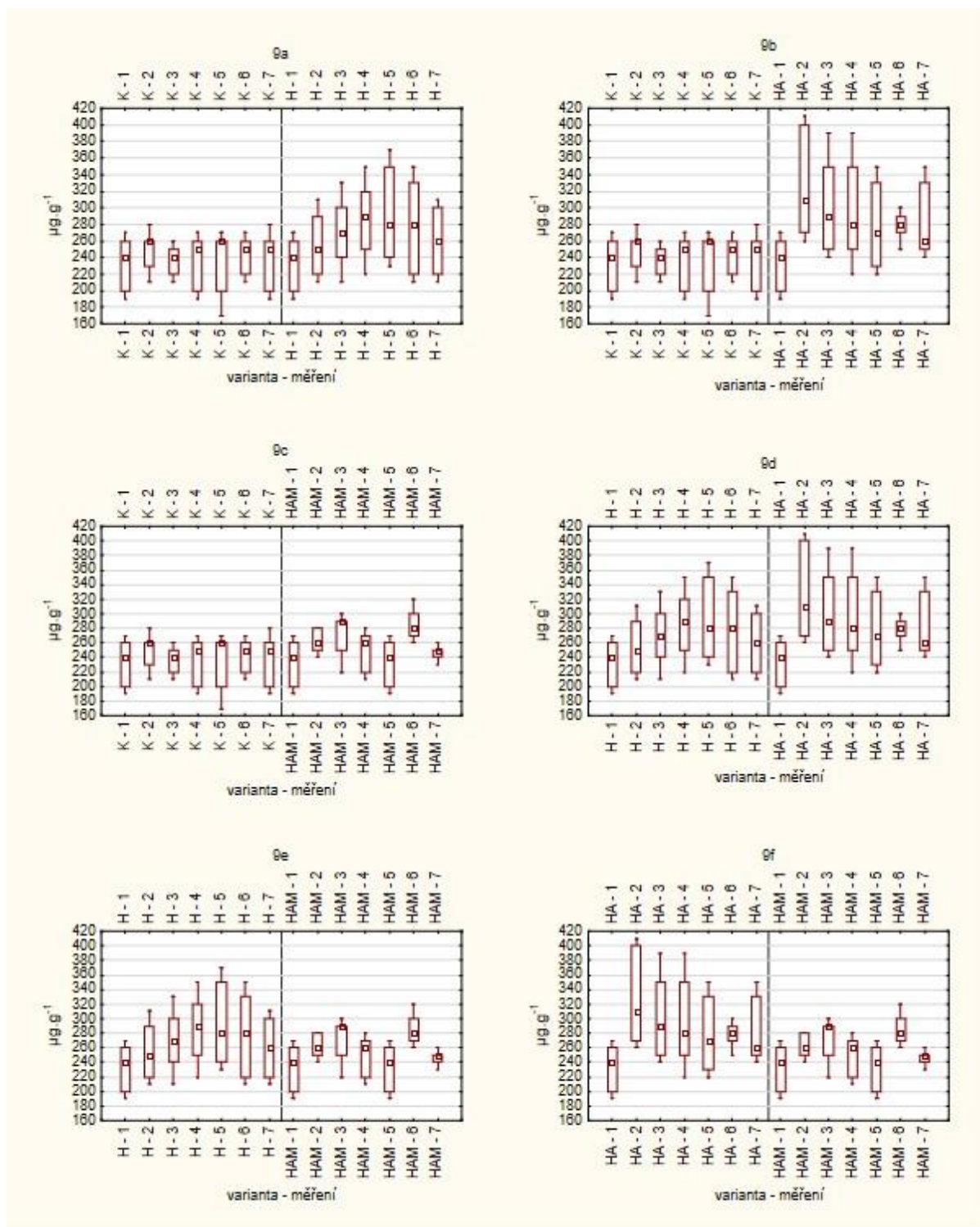
Graf 9c porovnává varianty kontrolní (K) s variantou ošetřenou herbicidem Corum, Atonikem a močovinou (HAM). Při druhém měření měla varianta HAM oproti kontrole o 5,36 % vyšší obsah prolinu. V třetím měření se zaznamenalo zvýšení obsahu prolinu u varianty ošetřené herbicidem, Atonikem a močovinou. Rozdíl variant v tomto termínu měření byl 15,64 %, kdy varianta HAM obsahovala 271,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ prolinu. U čtvrtého měření lze konstatovat, že se rozdíl variant v obsazích prolinu snížil na 6,6 %. V pátém měření byly naměřené hodnoty téměř shodné, naopak v šestém termínu měření se zjistil nejvyšší rozdíl variant. Varianta kontrolní měla obsah prolinu 242,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a u varianty HAM byl obsah prolinu 282,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Rozdíl činil 16,51 %. Posledním měřením se rozdíl variant snížil na 4,74 %.

Variantu ošetřenou herbicidem Corum (H) a ošetřenou herbicidem Corum a Atonikem (HA) srovnává graf 9d. V prvním měření byly obě hodnoty shodné. Poté se druhým měřením obsahy prolinu zvýšily. U varianty ošetřené herbicidem to bylo 254,44 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a u varianty HA se naměřila hodnota prolinu 327,78 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Následný rozdíl variant byl poté 28,82 %. Ve třetím měření se rozdíl snížil na 11,93 % a u čtvrtého termínu měření byl rozdíl pouhých 3,5 %. Pátým měřením měla varianta H vyšší obsah prolinu a to 291,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, kdežto u varianty ošetřené herbicidem a Atonikem se naměřilo 277,78 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Rozdíl zde byl vypočítán na 4,8 %. V šestém měření byly téměř shodné obsahy prolinu u variant H a HA. Při

posledním termínu měření se zjistilo zvýšení obsahu prolinu u varianty HA, kde se obsah zvýšil na 282,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Rozdíl v tomto termínu u variant byl 8,55 %.

Z grafu 9e je patrný rozdíl mezi variantami ošetřené herbicidem Corum (H) a ošetřené herbicidem Corum, Atonikem a močovinou (HAM). V druhém termínu měření měla varianta ošetřená herbicidem nižší obsah prolinu, a to 254,44 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, než varianta HAM, která obsahovala 262,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Rozdíl mezi variantami byl 2,97 %. U třetího měření lze konstatovat, že naměřené hodnoty obsahu prolinu jsou u obou variant stejné a není zde průkazný rozdíl. Čtvrtý termín měření zaznamenal nárůst v obsahu prolinu u varianty ošetřené pouze herbicidem, kde se hodnota prolinu zvýšila na 285,56 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Varianta HAM snížila obsah prolinu při tomto měření na 251,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Rozdíl mezi variantami byl 12,06 %. V pátém měření obsah prolinu u varianty ošetřené herbicidem vystoupal na 291,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, oproti tomu HAM varianta obsah prolinu snížila na 233,33 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a vytvořil se tak rozdíl 19,85 %. Šesté měření zaznamenalo vyrovnání v obsahích prolinu v rostlinách a varianty se mezi sebou nelišily o více jak 1,5 %. V posledním měření měla varianta ošetřená herbicidem vyšší obsah prolinu, než varianta ošetřená herbicidem, Atonikem a 5% močovinou, a to 260 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Rozdíl variant byl tedy 5,56 %.

Poslední graf 9f srovnává varianty ošetřené herbicidem Corum a Atonikem (HA) a ošetřené herbicidem Corum, Atonikem a močovinou (HAM). Při druhém měření se obsah prolinu u varianty ošetřené herbicidem a Atonikem zvýšil na 327,78 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, oproti variantě HAM, která měla obsah prolinu 262,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Byl zde naměřen vysoký rozdíl obou variant a to 20 %. Ve třetím měření se zaznamenal pokles obsahu prolinu u varianty HA, kde se hodnota snížila na 302,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Varianta HAM obsahovala 271,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ prolinu. Rozdíl se zde snížil, oproti předchozímu měření, na 10,29 %. Čtvrtým měřením se snížil obsah prolinu u obou variant. Varianta ošetřená herbicidem a přípravkem Atonik obsahovala 295,56 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ prolinu a varianta HAM měla 251,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ prolinu. Rozdíl zde byl 15,04 %. Páté měření zaznamenalo snížení obsahu prolinu u obou variant a vypočítaný rozdíl mezi variantami byl 16 %. V šestém měření varianta ošetřená herbicidem, Atonikem a 5% močovinou zvýšila svůj obsah prolinu na 282,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Varianta HA nadále snížila svůj obsah prolinu na 276,67 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Výsledný rozdíl mezi variantami byl 1,97 %. Sedmý termín měření se u varianty HA naměřil nárůst obsahu prolinu a to na hodnotu 282,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a varianta HAM snížila svůj obsah prolinu na 245,56 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, kdy rozdíl činil 12,99 %.



Graf 9 - Změny v obsahu prolinu sóji luštěnaté (*Glycine max* L.) v závislosti na variantě a termínu pokusu

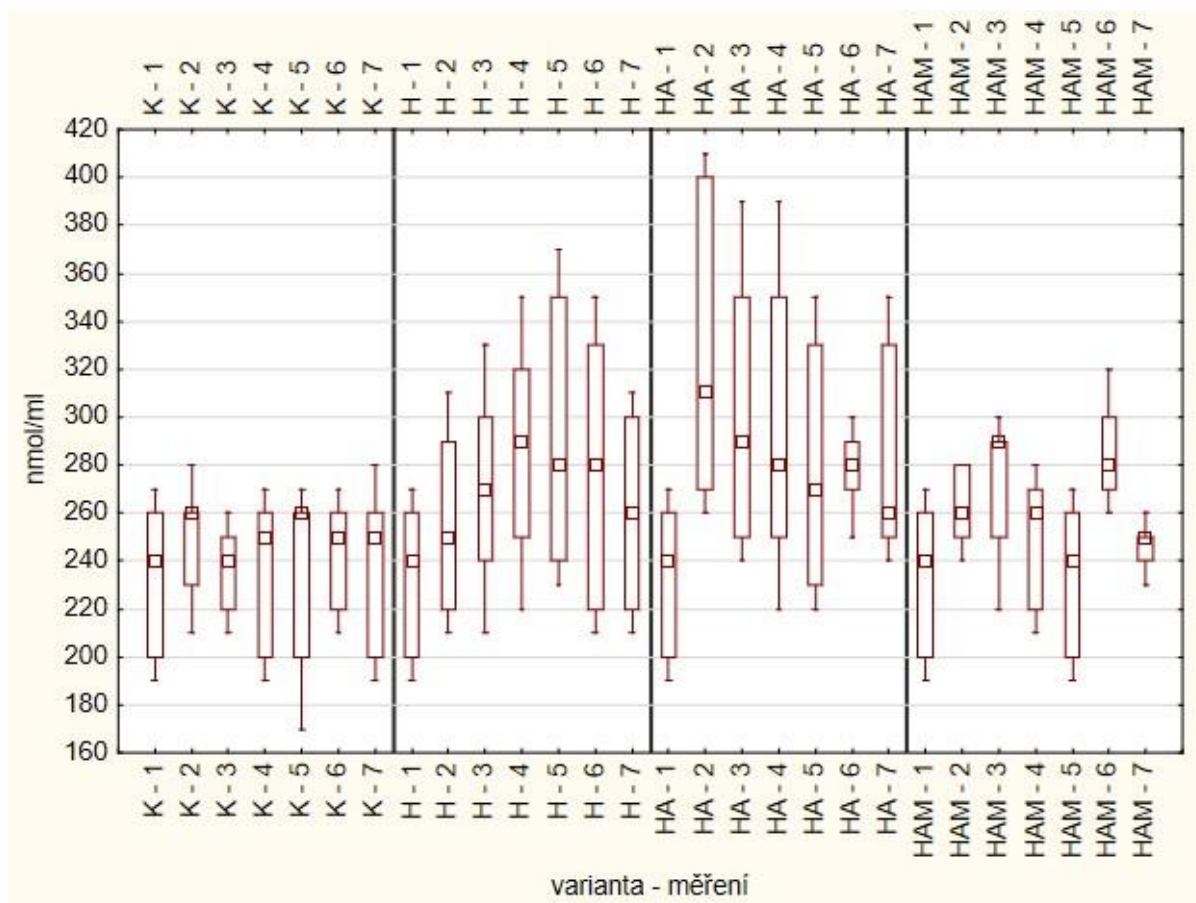
Graf 10 porovnává vliv varianty a termíny měření u obsahu prolinu ($\mu\text{g.g}^{-1}$) u rostlin sóji. Z grafu je patrné, že obsah prolinu se u kontrolní varianty neměnil, u variant po aplikaci herbicidu Corum se prolin zvýšil ($291,11 \mu\text{g.g}^{-1}$) a ke konci pokusu se obsah snižoval na

260 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Z těchto výsledků je patrné, že rostlina začala produkovat aminokyselinu prolinu po aplikaci herbicidu. V rámci termínu měření se obsah prolinu pohyboval v intervalu hodnot od 231,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (1) do 327,78 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (HA-2). Statisticky průkazné rozdíly v rámci termínu měření nebyly nalezeny u variant K a HAM. Nejvyšší rozdíl v rámci měření byl nalezen mezi termíny 1 (231,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) a 2, kdy rozdíl činil 42,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (18,3 %) ve prospěch 2. termínu.

Porovnání obsahu prolinu rostlin z varianty kontrolní (K) a ošetřené herbicidem Corum (H) je uvedeno v grafu 10. Z něho je patrné průkazné navýšení obsahu prolinu u varianty ošetřené herbicidem Corum. Obsah prolinu byl u této varianty v rozpětí hodnot od 231,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (1.) do 291,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (5.). Zatímco kontrolní rostliny měly obsah prolinu v intervalu hodnot od 231,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (1.) do 248,89 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (2.). U varianty H se indukovala produkce prolinu, jakožto osmoprotektantu herbicidem, a proto se po aplikaci herbicidu jeho obsah zvýšil. Je patrná reakce rostliny na fytotoxicitu herbicidu Corum. Před aplikací herbicidu byl obsah prolinu 231,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, ale 7 dní po aplikaci se obsah prolinu zvýšil o 25,9 % na hodnotu 291,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

V případě aplikace přípravku Atonik a herbicidu Corum, u varianty HA, byl v porovnání s rostlinami kontrolními zaznamenán nejprve prudký nárůst obsahu prolinu a poté obsah klesal. Ve srovnání s rostlinami ošetřenými pouze herbicidem byl tento nárůst průkazný, jak dokládá graf 10, než u varianty H, které obsah prolinu narůstal pomaleji. Z grafu je dále patrné, že obsah prolinu byl nejvyšší u varianty HA v termínu po aplikaci herbicidu a Atoniku (327,78 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) a naopak nejnižší hodnota byla změřena v 1. termínu (231,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Jedná se o nárůst obsahu prolinu o 41,83 %. Kombinace přípravku Atonik a herbicidu měl za následek statisticky průkazný nárůst prolinu tzn., že regulátor růstu indukoval spolu s herbicidem produkci prolinu v rostlinách u varianty HA.

Z grafu 10 dále vyplývá, že v případě kombinace regulátoru růstu, herbicidu a močoviny je v průměru obsah prolinu nižší v porovnání s variantou ošetřenou regulátorem růstu a herbicidem nebo samotným herbicidem, ale oproti kontrolní variantě je obsah prolinu vyšší. Obsah prolinu v rostlinách rostoucích v této variantě byla nejnižší před aplikací přípravků (231,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) a naopak nejvyšší 10 dní po aplikaci herbicidu (282,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). V porovnání s kontrolními rostlinami (K) byl obsah prolinu v průměru vyšší o 6,4 %, ale u varianty H byl obsah prolinu naopak nižší o 5,3 % a u varianty HA o 12,2 %.



Graf 10 – Souhrnný graf změny obsahu aminokyseliny prolinu v sóji luštinaté (*Glycine max* L.) v závislosti na variantě a termínu pokusu

Graf 11 srovnává jednotlivé interakce v termínech měření obsahu aminokyseliny prolinu u všech variant slunečnice.

Dílčí graf 11a porovnává obsah prolinu u kontrolní varianty rostlin (K) s variantou rostlin ošetřených herbicidem Bandur (H). Při prvním měření byly obsahy prolinu stejné a u druhého měření H varianta neprůkazně zvýšila obsah prolinu. Vyšší rozdíl 9,86 % byl zaznamenán ve třetím měření, kdy měla varianta ošetřená herbicidem obsah prolinu $260 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Dalším měřením se obsah prolinu u varianty H zvýšil na hodnotu $268,89 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a oproti variantě kontrolní, která měla $240 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, to byl rozdíl 12,04 %. Pátým měřením se rozdíl obsahu prolinu mezi porovnávanými variantami zvýšil na 18,69 %, kdy varianta ošetřená herbicidem obsahovala $282,22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ prolinu. Dále se rozdíl zvyšoval i v šestém měření, kdy měla varianta ošetřená herbicidem $284,44 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ prolinu. V posledním měření se náhle rozdíl variant snížil. Varianta ošetřená herbicidem obsahovala $254,44 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a kontrolní varianta měla hodnotu prolinu $221,11 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Rozdíl zde byl vypočten na 15,07 %.

V grafu 11b jsou uvedeny rozdíly mezi variantou kontrolní (K) a variantou ošetřenou herbicidem Bandur a Atonikem (HA). Druhým termínem měření varianta HA zvýšila svůj obsah prolinu na hodnotu $302,22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Tento obsah byl o 25,93 % vyšší, než u varianty kontrolní, která měla obsah $240 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ prolinu. Varianta ošetřená herbicidem a přípravkem Atonik snížila svůj obsah prolinu ve třetím měření na $262,22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a rozdíl se tedy snížil na 10,80 %. Ve čtvrtém termínu měření byl opět zaznamenán nárůst v obsahu prolinu u varianty ošetřené herbicidem a Atonikem, kdy se obsah zvýšil na $314,44 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Varianta kontrolní měla obsah prolinu $240 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a výsledný rozdíl variant byl tedy 31,02 %. U pátého měření se zaznamenalo snížení v rozdílu variant o 16,82 %, kdy varianta HA měla obsah prolinu $277,78 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. V šestém termínu měření se rozdíl mezi variantami snížil o 9,9 %. Posledním termínem měření se zaznamenal nárůst v obsahu prolinu u varianty ošetřené herbicidem a přípravkem Atonik o 54,78 %, kdy tato varianta měla $342,22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ prolinu.

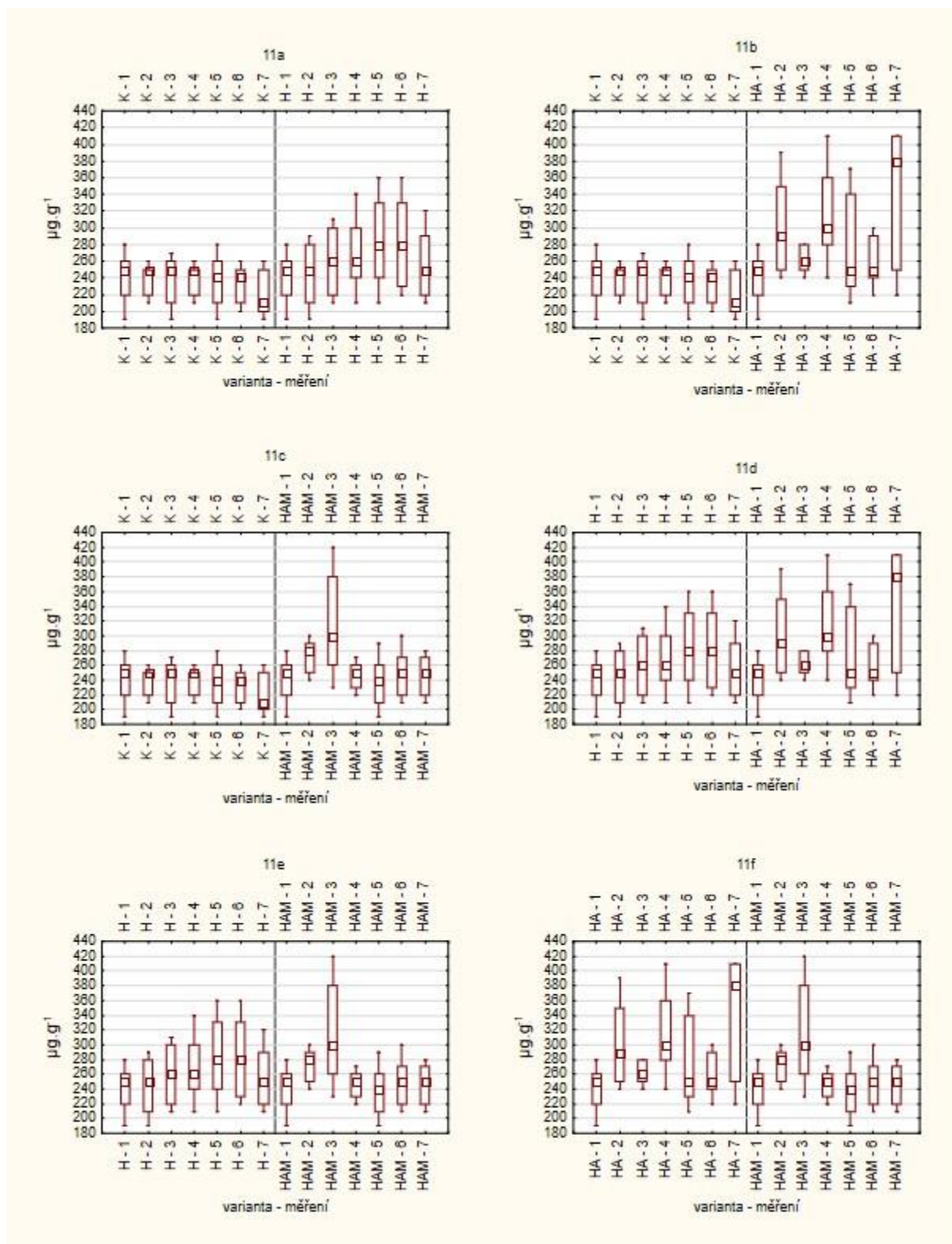
Graf 11c porovnává kontrolu (K) s variantou ošetřenou herbicidem Bandur, Atonikem a močovinou (HAM). V prvním termínu měření jsou obsahy prolinu stejné. Změna nastává u druhého měření, kdy se obsah prolinu u HAM varianty zvýšil na $273,33 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a oproti kontrolní variantě je to zvýšení o 13,89 %. Varianta HAM měla největší nárůst v obsahu prolinu ve třetím termínu měření, kdy se obsah zvýšil na $315,56 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Kontrolní varianta měla obsah prolinu $236,67 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, proto byl rozdíl variant 33,33 %. Další měření nebyly naměřeny výrazné rozdíly v obsahích prolinu. Ve čtvrtém měření byl rozdíl 1,85 % a v pátém měření byl rozdíl 0,94 %. Nárůst byl zaznamenán v dalších měřeních, kdy se, v šestém měření, variantě HAM, zvýšil obsah prolinu o 5,19 % a v sedmém měření se obsah zvýšil o 11,06 % oproti kontrolní variantě.

Variantu ošetřenou herbicidem Bandur (H) a variantu ošetřenou herbicidem Bandur a Atonikem (HA) udává graf 11d. V prvním měření nejsou rozdíly v obsahu prolinu u variant. Zvýšení nastává ve druhém měření u varianty HA, kdy se její obsah zvýšil na $302,22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Varianta ošetřená herbicidem měla obsah prolinu $245,56 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, tudíž je zde rozdíl 23,07 %. Ve třetím termínu měření jsou obsahy na skoro stejných hodnotách a není zde velký rozdíl. Rozdíl 16,94 % se vyhodnotil u čtvrtého měření, kdy měla varianta ošetřená herbicidem a přípravkem Atonik $314,44 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ prolinu. V pátém měření měla varianta ošetřená herbicidem o 1,6 % vyšší obsah prolinu než varianta HA. Rozdíl se dalším měřením zvýšil o 9,87 %, kdy varianta H měla vyšší obsah prolinu. V posledním měření se stanovil velký nárůst v obsahu

prolinu u varianty HA, kdy obsah prolinu narostl na $342,22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a byl zde vypočítán rozdíl 34,5 %.

Graf 11e demonstruje rozdíly mezi variantami ošetřené herbicidem Bandur (H) a ošetřenou herbicidem Bandur, Atonikem a močovinou (HAM). V druhém termínu měření vzrostl obsah prolinu u HAM varianty na hodnotu $273,33 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a byl tudíž mezi variantami 11,31 % rozdíl. Při třetím měření se opět zaznamenal nárůst v obsahu prolinu u varianty ošetřené herbicidem, Atonikem a močovinou o $315,56 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Oproti variantě ošetřené herbicidem zde byl rozdíl 21,37 %. Další měření byl obsah prolinu vyšší u varianty ošetřené pouze herbicidem, kdy se naměřila hodnota prolinu $268,89 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a rozdíl variant zde byl tudíž 10 %. Tato varianta měla i při 5. měření vyšší obsah prolinu a to $282,22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Oproti HAM variantě zde byl rozdíl 19,81 %. Zvyšování obsahu prolinu u H varianty se zastavilo při šestém měření, kdy se naměřila hodnota $284,44 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Byl zde vypočten 14,8 % rozdíl oproti variantě ošetřené herbicidem, přípravkem Atonik a močovinou. Při posledním měření se zaznamenaly poklesy obsahu prolinu u obou variant, kdy mezi sebou měly obě varianty 3,62 % rozdíl.

Graf 11f ukazuje rozdíly mezi variantou ošetřenou herbicidem Bandur a Atonikem (HA) a variantou ošetřenou herbicidem Bandur, Atonikem a močovinou (HAM). U druhého měření byl vyšší obsah prolinu u varianty HA, kde byl obsah $302,22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a rozdíl mezi variantami byl 10,57 %. Ve třetím měření nastal obrat v obsazích prolinu variant, kdy varianta HAM měla vyšší obsah prolinu $315,56 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, než HA varianta, která měla $262,22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ prolinu. Rozdíl zde byl 20,34 %. Čtvrtý termín měření opět zaznamenal změnu v obsazích prolinu. Varianta HA obsah prolinu $314,44 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a mezi variantami byl tedy rozdíl 28,64 %. Vyšší obsah u HA varianty se naměřil i u pátého měření, kde byl obsah prolinu $277,78 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a byl zde rozdíl variant 17,92 %. U šestého měření byl rozdíl variant už jen 4,48 %, kdy varianta HA měla vyšší hodnotu. Posledním měřením se obsah prolinu u HA varianty zvýšil na $342,22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a rozdíl variant byl 39,36 %.



Graf 11 - Změny v obsahu aminokyseliny prolin ve slunečnici roční (*Helianthus annuus* L.) v závislosti na variantě a termínu pokusu

Graf 12 porovnává vliv varianty a termínů měření u obsahu prolinu ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) u rostlin slunečnice. Z tohoto grafu je patrné, že obsah prolinu se u varianty K neměnil, u variant po

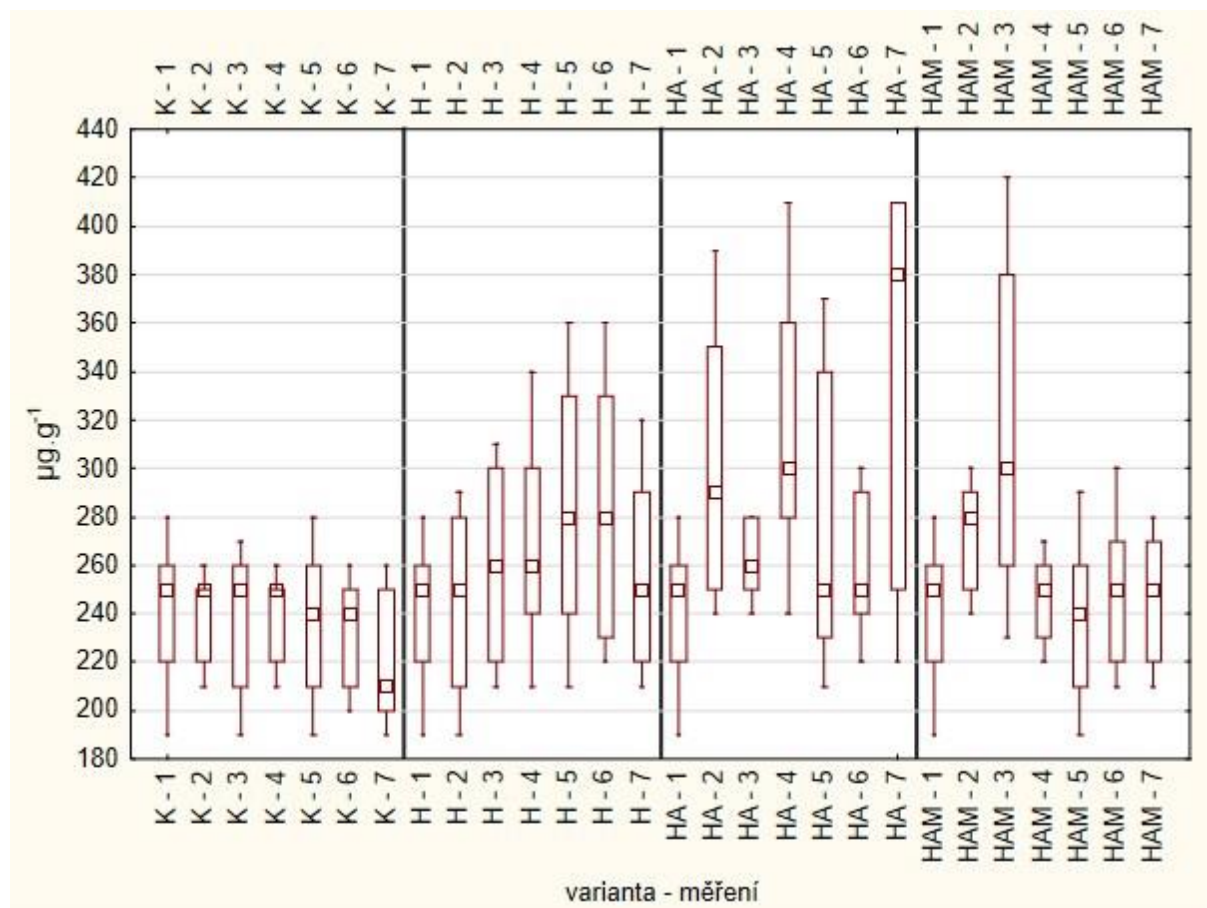
aplikaci herbicidu Bandur se prolin zvýšil na 284,44 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a na konci pokusu jeho obsah klesl na 254,44 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Rostlina reagovala na postřik herbicidem produkcí aminokyseliny prolin. V rámci termínu měření se obsah prolinu pohyboval v intervalu hodnot od 221,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (K-7) do 342,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (HA-7). Statisticky průkazné rozdíly v rámci termínu měření byly nalezeny mezi variantami K-7 (237,78 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) a HA-7 (342,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Nejvyšší rozdíl v rámci měření byl nalezen mezi termíny K-7 a HA-7, kdy rozdíl činil 121,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (54,8 %) ve prospěch termínu HA-7 (342,22).

Porovnání obsahu prolinu rostlin z varianty kontrolní (K) a ošetřené herbicidem Bandur (H) je uvedeno v grafu 12. Z něho vyplývá zvýšení obsahu prolinu u varianty ošetřené herbicidem Bandur. Obsah prolinu byl u této varianty v rozpětí hodnot od 237,78 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (1.) do 284,44 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (6.), zatímco varianta K měla rozsah 221,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (7.) až 240,00 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (2. a 4.). U varianty H se začal produkovat a zvyšovat obsah prolinu po aplikaci herbicidu Bandur. Shodně s rostlinami sóje byla u rostlin slunečnice zjištěna obdobná reakce na herbicidní stres. Před aplikací herbicidu byl obsah prolinu 237,78 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, ale 10 dní po aplikaci se obsah prolinu zvýšil o 19,6 % na hodnotu 284,44 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

V případě aplikace přípravku Atonik a herbicidu Bandur, u varianty HA, byly v porovnání s rostlinami kontrolními zaznamenány střídavé obsahy prolinu. Nejprve byl zaznamenán prudký nárůst obsahu prolinu při 2. měření, poté obsah klesl, pátý den po aplikaci se obsah prolinu zvýšil a poté klesl (258,89 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Nejvyšší nárůst byl vyhodnocen 14 dní po aplikaci (342,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Ve srovnání s rostlinami ošetřenými pouze herbicidem jsou průměry u této varianty vyšší (8,9 %), jak dokládá graf 12, než u varianty H, která má průměrný obsah prolinu nižší. Z uvedeného grafu je dále patrné, že obsah prolinu byl nejvyšší u varianty HA v termínu 14 dní po aplikaci (7.) herbicidu a Atoniku (342,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) a naopak nejnižší hodnota byla změřena v 1. termínu (237,78 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Jedná se o nárůst obsahu prolinu o 43,92 %. Kombinací přípravku Atonik a herbicidu se dosáhlo zvýšení obsahu prolinu tzn., že regulátor růstu indukoval spolu s herbicidem produkci prolinu v rostlinách u varianty HA.

Z grafu 12 dále vyplývá, že v případě kombinace regulátoru růstu, herbicidu a močoviny je v průměru obsah prolinu nižší v porovnání s variantou ošetřenou regulátorem růstu a herbicidem nebo samotným herbicidem, ale oproti kontrolní variantě je obsah prolinu vyšší. Výjimkou je 3. měření, kdy se obsah prolinu u varianty HAM zvýšil. Obsah prolinu v rostlinách rostoucích v této variantě byla nejnižší 7 dní po aplikaci přípravků

(235,55 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) a naopak nejvyšší 3 dny po aplikaci herbicidu (315,56 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). V porovnání s kontrolními rostlinami (K) byl obsah prolinu v průměru vyšší o 8,4 %, ale u varianty H byl obsah prolinu naopak nižší o 1,9 % a u varianty HA o 10,9 %.



Graf 12 – Souhrnný graf změny obsahu aminokyseliny prolinu u slunečnice roční (*Glycine max* L.) v závislosti na variantě a termínu pokusu

6 Diskuze

6.1 Herbicidy

Boger & Sandmann (1993) konstatují, že k chemické regulaci plevelů se používají herbicidy, které narušují pouze procesy specifické pro rostliny, jako je fotosyntéza, biosyntéza pigmentů nebo esenciálních aminokyselin. V souladu s tím je pozornost na vývoj herbicidů zaměřena na chloroplast jako typickou rostlinnou organelu.

Metodika této práce zahrnuje použití herbicidu Corum u sóji, který se skládá z účinných látek imazamox, který inhibuje produkci ALS (syntéza acetolaktátu), a bentazon, který inhibuje fotosystém II. U slunečnice byl použit herbicid Bandur s účinnou látkou aclonifen, který inhibuje syntézu karotenoidů. Tyto herbicidy se použili, aby se zjistila reakce rostlin a interakce s přípravkem Atonik.

Jak konstatují Kilinc et al. (2009), tak účinná látka aclonifen patří do skupiny difenylétherů, kde lze nalézt silné herbicidy s fotodependentním účinkem.

Stranc et al. (2016) konstatují, že výběr herbicidů je vždy založen na spektru plevelů a agroekologických podmínkách lokality, v neposlední řadě na riziku možné fytotoxicity pro rostliny sóji. Ke zvýšení produkce a kvality sójových semen lze úspěšně použít vhodné stimulanty růstu, jako jsou Litofol Active a Lexin.

U tohoto pokusu byl použit herbicid Corum, který měl na rostliny sóji prokazatelný fytotoxický účinek. Jako stimulant růstu byl použit Atonik. Získané výsledky potvrzují závěry Strance et al. (2016).

Postemergentní ošetření Biathlonem (tritosulfuron) způsobila silnou inhibici růstu lilku hulevníkolistého (*Solanum sisymbriifolium* Lam.). Plná aplikační dávka herbicidu Boxer (prosulfocarb) a 3/4 Novitronu (aclonifen + clomazone) byla inkompatibilní pro rostliny. Srovnatelně dobrá snášenlivost byla u 0,25 l.ha⁻¹ Centium (klomazon), 1,0 l.ha⁻¹ Bandur (aclonifen), 0,9 kg.ha⁻¹ Novitron, 1,0 kg.ha⁻¹ Proman (metobromuron) (Augistin & Weinheimer 2018).

U této práce se u slunečnice použil herbicid Bandur (aclonifen) v dávce 1,5 l.ha⁻¹. Což oproti Augistin & Weinheimer (2018) bylo o 0,5 l.ha⁻¹ vyšší množství účinné látky. Zjišťoval se fytotoxický účinek této dávky.

Aclonifen, při dávce 0,75 kg.ha⁻¹, reguloval mnoho konkurenčních plevelů a zvyšoval výnos slunečnicových semen (Serim et al. 2018).

V této práci Aclonifen (Bandur) u slunečnice byl při dávce 1,5 l.ha⁻¹ fytotoxický a snižoval celkovou fotosyntézu a její ukazatele.

6.2 Regulátory růstu

Razina et al. (2018) testovali účinek stimulatoru růstu rostlin Stimmunol EF na jarní pšenici. Byla hodnocena imunizační, antistresová a růst stimulační aktivita přípravku.

V tomto pokusu byl, jako antistresová látka, použit přípravek Atonik na bázi nitrofenolátů. Přípravek byl použit hlavně pro zjištění jeho „antistresových“ vlastností.

Výsledky s aplikací přípravku Atonik, potvrdili hypotézu Kuryata et. al (2019), že ošetření rostlin kombinací postřiku chlormequat a treptolem, jakožto regulátorů růstu, během období před květem vede ke zvýšení produktivity plodin.

Atonik tvořil silnější stonky, vysoký počet a hmotnost listů. Plocha listů a zvýšená tvorba kořenů, rostliny toulcovky kolumbijské (*Spathiphyllum wallisii* L.), byla nejvyšší s Atonikem. Většina biostimulačních ošetření výrazně zvýšily chlorofyl a indukovaly maximální obsah chlorofylu b. Postřik rostlin Atonikem účinně zvýšil obsah karotenoidů (El-Khateeb et al. 2018). Sijinjak (2017) uskutečnil podobný pokus s Atonikem u *Citrus amblycarpa*.

Tento závěr se osvědčil i na rostlinách sóji a slunečnice, kde Atonik při herbicidním stresu zvýšil obsahy sledovaných parametrů.

Dobré antioxidační účinky byly získány po jedné aplikaci biostimulátoru na bázi fenolových sloučenin (Atonik), bez ohledu na použitou koncentraci, jakož i po dvojnásobném použití nižší koncentrace u sóji luštinaté (*Glycine max* L.) (Kocira et al. 2017).

Ošetření 0,05% Atonikem mělo za následek zvýšení klíčivosti odrůdy cibule (*Allium cepa* L.) Alice, a to jak v podmínkách optimálních, tak za snížené vlhkosti, ale účinek nebyl ve srovnání s kontrolou významný (Dolezalova et al. 2015).

6.3 Fluorescence chlorofylů

Ze získaných výsledků je patrné, že vlivem působení herbicidu dochází ke snížení hodnot fluorescence, jako i v případě dalších chemických stresorů. Tento závěr potvrzují (Ohashi et al. 2006, Strauss et al. 2006). Herbicidní stres ovlivňuje primárně fotosyntézu rostlin a její dílčí charakteristiky.

Výsledky Bredemeier & Schmidhalter (2005) ukázaly, že absorpci dusíku a biomasu lze spolehlivě detekovat pomocí měření fluorescence chlorofylu v polních a kontrolovaných podmínkách růstu.

Varianta pokusných plodin zahrnovala vliv dusíku na fluorescenci chlorofylů.

Hu et al. (2011) konstatují, že měření odraznosti je vhodnější pro lepší vyhodnocení stavu dusíku než metody fluorescence chlorofylu. Je zde úzký lineární vztah mezi $F(m)$ a spektrální odrazivostí listu v rozsahu 400-1100 nm. Fluorescenční parametry $F(v)/F(m)$ mohou být užitečné pro rychlý, včasný a nedestruktivní odhad stavu N v listech rostlin rýže. Pro zhodnocení vlivu dusíku u pokusných plodin byla měřena fluorescence chlorofylu.

Výsledky ukázaly, že různé stavy dusíku rostlin byly identifikovány fluorescenčními obrazy a vykazovaly vysokou přesnost rozpoznávání (Zhou et al. 2019).

Zasolení působí inhibičním účinkem na fotosyntézu sóji různými mechanismy (Kao et al. 2003). Tato hypotéza se u tohoto pokusu mohla potvrdit, protože fytotoxicita je stresový faktor a na rostliny sóji působila negativně. Rostliny soji reagovaly obdobně na herbicidní stres.

Látka bisfenol A má při vysokých koncentracích toxický účinek na změnu fluorescence chlorofylu (Qiu et al. 2013). U pokusu byl použit přípravek Atonik, který naopak stimuloval fluorescenci chlorofylu a dále patří k regulátorům růstu, které mají velmi nízkou fytotoxicitu.

Nízký pokles F_v/F_m může být způsobeno zvýšením fotorespirace C3 rostliny pod osmotickým stresem (Maxwell & Johnson 2000, Zivcak et al. 2013). Pokles poměru F_v/F_m byl spojen se snížením hodnoty F_m pod stresem zasolení, sucha a kombinací těchto stresorů indikující narušení komplexu PSII (Vieira Santos et al. 2001).

Poměr F_v/F_m u slunečnice se snížil až na 38 % pod kombinací zasolení a sucha (Umar et al. 2019). Při tomto pokusu u slunečnice se nejvyšší pokles poměru F_v/F_m zaznamenal 20,53 % z důvodu fytotoxického stresu. Zaghdoudi et al. (2011) zjistili, že po poklesu F_v/F_0 následovala větší inhibice PSI a PSII vzhledem k přerušení toku elektronů.

6.4 Obsah fotosynteticky aktivních pigmentů

Barufi et al (2011) konstatují, že hromadění pigmentů, fotoprotektivních sloučenin a fotosyntetických parametrů ruduch přímo souvisí s dostupností N. Všechny proměnné klesly při nízkých dávkách N a dosáhly konstantních maximálních hodnot s doplňky vyššími než 0,5 mM NO₃⁻. V provedeném pokusu se zjistil zvýšený obsah pigmentů u sóji při aplikaci dusíku ve formě roztoku 5% močoviny.

Při použití 0,28 kg.ha přípravku glyfosát se snižuje obsah chlorofylu o 49 % u rostlin sóji (Reddy et al. 2008). V tomto pokusu se na rostliny sóji použil přípravek Corum o množství 1,9 l.ha⁻¹. K nejvyššímu poklesu v obsahu pigmentů došlo při 4. měření, kdy se obsah snížil o 61,4 % na 9,43 μg.cm⁻².

Halauxifen-methyl je nový syntetický auxinový herbicid pro regulaci turanky v sóje. Fytotoxicita u rostlin sóji při aplikaci halauxifen-methylu (5 g.ha⁻¹) nebyla vyzorována a nebyl zde zaznamenán pokles obsahu pigmentů (Zimmer et al. 2019).

Aplikace rhizobakterií podporujících růst rostlin (PGPR) je udržitelným přístupem ke zlepšení fyziologických procesů plodin a překonání abiotických stresů. Účinky rhizobakterií *Bradyrhizobium japonicum* aplikované samostatně nebo v kombinaci s *Pseudomonas putida* byly zkoumány u rostlin sóji a sledoval se obsah fotosyntetických pigmentů a obsah dusíku v listech. Rostliny byly vystavené souběžně nízkému obsahu fosforu (P) a mírnému suchu. Nejnižší obsah pigmentů byl zjištěn u rostlin vystavených oběma abiotickým faktorům. Výsledky naznačily, že aplikace *B. japonicum* a *P. putida* výrazně zlepšila obsah dusíku a fotosyntetických pigmentů v listech, zejména chlorofylu *a* a *b* za dočasného sucha. Aplikace rhizobakterie *B. japonicum* samostatně nebo společně s *P. putida* významně zvýšily koncentraci karotenoidů (Rotaru 2019). Přípravek Atonik u rostlin sóji luštinaté (*Glycine max* L.) zvýšil, za fytotoxicity, obsah pigmentů v listech a celkově ošetřené rostliny Atonikem obsahovaly více pigmentů než rostliny ošetřené pouze herbicidem Corum.

Salinita snížila významně obsah fotosyntetických pigmentů. Během zasolení se poškodily strukturálně i funkčně fotosyntetické pigmenty (Srieng et al. 2015), zvýšila se aktivita chlorofylásového enzymu a iontové cytotoxicity (Ashraf et al. 2010). Jsou to hlavními prvky, které způsobují pokles obsahu zelených pigmentů. Podle Siddiqi et al. (2009) je snížení rychlosti fotosyntézy způsobeno snížením obsahu fotosyntetických pigmentů. Tento výsledek byl prokázán v mnoha plodinách např. kukuřici seté (*Zea mays* L.) (Perveen et al. 2017), pepři

černém (*Piper nigrum*) (Abbas et al. 2013), pšenici seté (*Triticum aestivum* L.) (Kausar & Shahbaz 2017), rýži seté (*Oryza sativa* L.) (Jamil et al. 2012), slunečnici roční (*Helianthus annuus* L.) (Akram & Ashraf 2011) a světlici barvířské (*Carthamus tinctorius* L.) (Siddiqi et al. 2009).

V tomto pokusu byl sledován vliv fytotoxicity herbicidu Bandur na obsah pigmentů v slunečnici roční a lze konstatovat, že jako u předchozích autorů, herbicid negativně ovlivňoval obsah pigmentů v listech slunečnice roční.

Thongchuang et al. (2019) zjistili, při analýze obsahu chlorofylu a obsahu karotenoidů ve klíčku slunečnice roční po dobu 14 dnů, nejvyšší obsah chlorofylu a, celkového chlorofylu a karotenoidů při 0,37, 0,12, 0,57 a 7,4 mg.g⁻¹ čerstvé hmotnosti. Genotyp semen slunečnice ovlivnil antioxidační kapacitu slunečnicového klíčku. Dominantními látkami, v antioxidační kapacitě, při vychytávání volných radikálů DPPH jsou fenolové sloučeniny.

6.5 Obsah prolinu

Listy sóji listy akumulovaly vyšší obsah prolinu. Sójové listy pěstované za podmínek stínování vyvinuly antioxidační obranné mechanismy, včetně urychlených aktivit superoxid dismutázy, peroxidázy, askorbát peroxidázy a katalázy. Pro srovnání, listy sóji, které byly v polostínu vykazovaly nižší úroveň aktivity antioxidačních enzymů než listy rostlin, které byly v úplném zastínění, což ukazuje, že rostliny sóji vykazovaly v polozastínění méně stresu ve srovnání s ošetřením úplného zastínění (Raza et al. 2019).

Tento pokus zaznamenal zvýšení prolinu u varianty, která byla ošetřena herbicidem, u které se naměřilo 291,11 µg.g⁻¹ prolinu. Zde je patrná reakce rostliny na fytotoxicitu herbicidu zvýšením obsahu prolinu v listovém pletivu. Také u varianty ošetřené herbicidem a přípravkem Atonik se naměřil vyšší obsah prolinu a to 282,22 µg.g⁻¹. U této varianty rostlina reagovala spolu s herbicidem i na přidaný Atonik u kterého reagoval zvýšením obsahu prolinu. Atonik zvýšil anabolické a transportní procesy a tím pádem se i obsah prolinu zvýšil v listovém pletivu.

Sója při nedostatku základních nutrientů vykazuje produkci prolinu v pletivech jako reakci na stres (Kale 2019, Gavli 2010). Obdobně reaguje i na herbicidní stres.

Osmoprotektanty jsou vysoce rozpustné, neutrální a netoxické chemické sloučeniny, které mají nízkou molekulovou hmotnost. Tyto molekuly pomáhají rostlinám regulovat osmotické přizpůsobení a zvyšují toleranci abiotického stresu v rostlinách (Noreen et al. 2019).

Rostlina zmírnila stres z vodního deficitu zvýšením koncentrace prolinu, kyseliny olejové a linoleové, avšak hnojení draslíkem také zvýšilo toleranci rostliny při stresu zvýšením těchto složek ve srovnání s kontrolou. Použití hnojení draslíkem při 300 kg·ha⁻¹ bylo nejúčinnějším zásahem při zmírňování stresu. Je zajímavé, že při stresu ze sucha přispěl draslík ke zvýšení množství a kvality slunečnice zvýšením složek semen a zlepšením biochemických vlastností rostliny, což může také zlepšit fyziologické mechanismy plodiny (Zamani et al. 2019).

Při tomto pokusu se naměřila hodnota prolinu 342,22 µg·g⁻¹ u varianty ošetřené herbicidem a přípravkem Atonik. Fytotoxicita a možná i reakce na přípravek Atonik měla za následek takový to nárůst obsahu prolinu v listových pletivech.

Eissa & Roshdy (2018) zjistili, že dusík zmírnil účinek stresu z těžkých kovů zvýšením obsahu prolinu a zvýšil akumulaci Cd v nadzemních částech rostlin lebedy. Hnojení dusíkem by mohlo být účinným nástrojem ke zvýšení Cd-fytoextrakce ze znečištěných míst. U tohoto pokusu hnojení dusíkem negativně ovlivnilo obsah prolinu v rostlinách sóji a slunečnice.

Zvýšená biosyntéza prolinu vede ke zvýšené asimilaci dusíku a uhlíku buňkami (Majumdar et al. 2016). Uskutečněný pokus tuto hypotézu nepotvrdil.

7 Závěr

V diplomové práci byl sledován vliv aplikace herbicidu na fluorescenci chlorofylů a obsah pigmentů sóji a slunečnice. Stanovil se vliv přípravku Atonik jako antistresové látky na fluorescenci chlorofylů a obsah pigmentů sóji a slunečnice. Ze získaných výsledků vyplývají tyto závěry:

- Aplikace herbicidu snížila fluorescenci sóji a slunečnice v průměru o 15,9 %.
- Herbicidní stres zvýšil obsah prolinu v průměru o 11,8 % a obsah chlorofylu o 2,5 % v listech sóji a slunečnice.
- Citlivěji na herbicidní stres reagují rostliny sóje v porovnání se slunečnicí.
- Byl zjištěn pozitivní efekt přípravku Atonik na sledované parametry u sóje a slunečnice.
- Přípravek Atonik zvýšil obsah pigmentů v listech sóji o 51,8 %. V případě slunečnice byl zaznamenán efekt opačný (4,2 %).
- Kombinace regulátoru růstu, herbicidu a hnojiva u obou plodin snížila hodnoty fluorescence o 5,6 %, prolinu o 10,3 % a u slunečnice fotosynteticky aktivních pigmentů o 6,9 % oproti kombinaci herbicidu a regulátoru růstu.
- Kombinace regulátoru růstu, herbicidu a hnojiva zvýšila obsah fotosynteticky aktivních pigmentů u sóji o 6,2 %.
- Testované herbicidy u pokusných rostlin způsobují značnou fytoxicitu a přípravek Atonik reguluje herbicidní stres a pomáhá omezovat ztrátu fluorescence chlorofylů a obsah pigmentů.
- Navrhované hypotézy práce byly potvrzeny tzn., že za a) existují mezidruhové rozdíly na herbicidní stres, za b) herbicidní stres ovlivňuje fluorescenci chlorofylů a obsah pigmentů, a za c) přípravek Atonik má „antistresový“ efekt na rostliny.

8 Literatura

Abbas G, Saqib M, Rafique Q, ur-Rahman MA, Akhtar J, ul-Haq MA, Nasim M. 2013. Effect of salinity on grain yield and grain quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pakistan Journal of Agricultural Sciences **50**:185-189.

Agromanuál. 2019. Atonik. Agromanuál. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/pripravky/ostatni/pripravek/atonik> (accessed October 2019)

Akram NA, Ashraf M. 2011. Improvement in growth, chlorophyll pigments and photosynthetic performance in salt-stressed plants of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by foliar application of 5-aminolevulinic acid. Agrochemica **55**:94-104.

Ashraf M, Foolad MR. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany **59 (2)**:206-216.

Ashraf M, Akram NA, Arteca RN, Foolad MR. 2010. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. Critical Reviews of Plant Sciences **29(3)**:162-190.

Aucique-Perez CE, Daza ES, Avila-Diazgranados RA, Romero HM. 2019. Chlorophyll a fluorescence and leaf temperature are early indicators of oil palm diseases. Scientia Agricola **77(2)**.

Augustin B, Weinheimer S. 2018. Efficiency and crop compatibility of different herbicides in *Solanum sisymbriifolium*. 28th German Conference on Weed Biology and Weed Control **458**:209-213.

Balabanova DA, Paunov M, Goltsev V, Cuyppers A, Vangronsveld J, Vassilev A. 2016. Photosynthetic performance of the imidazolinone resistant sunflower exposed to single and combined treatment by the herbicide imazamox and an amino acid extract. Frontiers in Plant Science **7**:1559-1568.

Baranyk P. 2010. Olejniny. Praha: ProfiPress. ISBN 978-80-8672638-0.

Barták M, Hájek J, Gloser J. 2000. Heterogeneity of Chlorophyll Fluorescence over Thalli of Several Foliose Macrolichens Exposed to Adverse Environmental Factors: Interspecific Differences as Related to Thallus Hydration and High Irradiance. *Photosynthetica* **38(4)**:531-537.

Barufi JB, Korbee N, Oliveira MC, Figueora FL. 2011. Effects of N supply on the accumulation of photosynthetic pigments and photoprotectors in *Gracilaria tenuistipitata* (Rhodophyta) cultured under UV radiation. *Journal of Applied Phycology* **23(3)**:457-466.

Baxter A, Mittler R, Suzuki N. 2014. ROS as key players in plant stress signalling. *Journal of Experimental Botany* **65(6)**:1229-1240.

Blum A. 2016. Stress, strain, signaling, and adaptation –not just a matter of definition. *Journal of Experimental Botany* **67(3)**:562–565.

Boger P, Sandmann G. 1993. Pigment Biosynthesis and Herbicide Interaction. *Photosynthetica* **28(4)**:481-493.

Bredemeier C, Schmidhalter U. 2005. Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing to determine biomass and nitrogen uptake of winter wheat under controlled environment and field conditions. *Precision Agriculture* 05 273-280.

Bumkyu L, Chang-Gi K, Ji-Young P, Kee Woong P, Hyo-Jeong K, Hoonbok Y, Soon-Chun J, Won Kee Y, Hwan Mook K. 2009. Monitoring the occurrence of genetically modified soybean and maize in cultivated fields and along the transportation routes of the Incheon Port in South Korea. *Food Control* **20(3)**:250-254.

Cerkal R. 2011. Methods of cultivation and important factors affecting the yield and quality of sunflower. Sunflowers: Cultivation, Nutrition and Biodiesel Uses. Nova Science Publishers. ISBN 978-1-61761-309-8

Černý I, Veverková A. 2012. Production parameters of sunflower (*Helianthus annuus* L.) influenced by weather conditions and foliar application of Pentakeep-V and Atonik. The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences **1**:887-896.

Chochola J. 2004. Nízké, časté dávky herbicidů. Agris. Available from <http://www.agris.cz/clanek/132394/nizke-caste-davky-herbicidu> (accessed November 2019)

Chochola J, Pavlů K. 2013. Zkušenosti s herbicidy a dvouděložnými plevely v cukrové řepě. Listy cukrovarnické a řepářské (**129**):83-89.

Datt B. 1998. Remote Sensing of Chlorophyll a, Chlorophyll b, Chlorophyll a+b, and Total Carotenoid Content in Eucalyptus Leaves. Remote Sensing of Environment **66(3)**:111-121.

Dayan FE, Zaccaro MLDM. 2012. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action. Pesticide Biochemistry and Physiology **102 (3)**:189-197.

Djanaguiraman M, Kathirvelan P, Manivannan V, Sheeba JA, Devi DD, Bangarusamy U. 2004. Harvest Time Residue of Atonik (Nitro Phenols) in Tomato and Cotton. Asian Journal of Plant Sciences **3(5)**:624-627.

Djanaguiraman M, Sheeba JA, Devi DD, Bangarusamy U. 2005. Response of Cotton to Atonik and TIBA for Growth, Enzymes and Yield. Journal of Biological Sciences **5(2)**:158-162.

Dolezalova J, Koudela M, Sus J, Ptacek V. 2015. Germination of Onion Seeds after Application of Atonik at Optimum and Reduced Moisture Conditions. Seed and Seedlings XII 57-63.

eAGRI. 2019. Atonik. eAGRI. Available from http://eagri.cz/public/app/rhpub/etikety/etiketa_12137.pdf?id=12137 (accessed October 2019)

Eissa MA, Roshdy NMK. 2018. Nitrogen fertilization: Effect on Cd-phytoextraction by the halophytic plant quail bush [*Atriplex lentiformis* (Torr.) S. Wats]. *South African Journal of Botany* **115**:126-131.

Ekolist.cz. 2017. Jaký je původ sóji v potravinách i v krmivech v Česku? S jistotou se to zjistit nedá. Ekolist.cz. Available from <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/jaky-je-puvod-soji-v-potravinach-i-v-krmivech-v-cesku-s-jistotou-se-to-zjistit-neda> (accessed November 2019)

El-Khateeb MA, El-Madaawy AE, Saber AA. 2018. Growth and Quality of *Spathiphyllum wallisii* L. Plants as Affected by Foliar Sprays of Algae, Chitosan, Atonik and Humic Acid. *Bioscience Research* **15(2)**:618-627

Encyclopedia Britannica. 2019. Soybean. Encyclopedia Britannica. Available from <https://www.britannica.com/plant/soybean> (accessed October 2019)

Encyclopedia Britannica. 2019. Sunflower. Encyclopedia Britannica. Available from <https://www.britannica.com/plant/sunflower-plant> (accessed October 2019)

FAOSTAT. 2019. Production/Yield quantities of Sunflower seed in World + (Total). FAOSTAT. Available from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> (accessed November 2019)

FAOSTAT. 2019. Production of Sunflower seed: top 10 producers. FAOSTAT. Available from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> (accessed November 2019)

Filová J, Kocurek V, Smutný V. 2010. Use of the method of measurement of chlorophyll fluorescence to determine the phytotoxicity of mesotrione in poppy (*Papaver somniferum*) in relation to application factors. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brun* **58**:107-116.

Fujita M, Fujita Y, Noutoshi Y, Takahashi F, Narusaka Y, Yamaguchi-Schinozaki K, Shinozaki K. 2006. Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the points of convergence in the stress signaling networks. *Current Opinion in Plant Biology* **9(4)**:436-442.

Gala WR, Giesy JP. 1994. Flow Cytometric Determination of the Photoinduced Toxicity of Anthracene to the Green Alga *Selenastrum Capricornutum*. *Environmental Toxicology and Chemistry* **13(5)**:831-840.

Gavli AS. 2010. Study of performance of soybean (*Glycine max* L. Merrill) varieties for drought tolerance. Thesis. 116.

Gitelson AA, Merzlyak MN. 2010. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International Journal of Remote Sensing* **18(12)**:2691-2697.

Gitelson AA, Gritz Y, Merzlyak MN. 2002. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology* **160**:271-282.

Grossmann K. 2009. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. *Pest Management Science*. **66(2)**:113-120.

Havel J. 2016. Neobvyklá abiotická a biotická poškození máku. *Agromanuál*. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/ochrana-obecne/neobvykla-abioticka-a-bioticka-poskozeni-maku> (accessed December 2019)

Haroun SA, Shukry WM, Abbas MA, Mowafy AM. 2011. Growth and physiological responses of *Solanum lycopersicum* to atonik and benzyl adenine under vernalized conditions. *Journal of Ecology and the Natural Environment* **3(9)**:319-331.

Hayat S, Hayat Q, Alyemeni MN, Wani AS, Pichtel J, Ahmad A. 2012. Role of proline under changing environments. *Plant Signal Behavior* **7 (11)**:1456–1466.

Herbář Wendys. 2015. *Helianthus annuus*-slunečnice roční. Herbář Wendys. Available from <https://botanika.wendys.cz/index.php/14-herbar-rostlin/386-helianthus-annuus-slunecnice-rocni> (accessed November 2019)

Hu H, Zheng KF, Zhang XM, Lu YT, Zhang H. 2011. Nitrogen Status Determination of Rice by Leaf Chlorophyll Fluorescence and Reflectance Properties. *Sensor Letters* **9(3)**:1207-1211.

Huang Y, Thomson SJ, Molin WT, Reddy KN, Yao H. 2012. Early detection of soybean plant injury from glyphosate by measuring chlorophyll reflectance and fluorescence. *Journal of Agricultural Science* **4(5)**:117-124.

Hussain M, Farooq S, Hasan W, Ul-Allah S, Tanveere M, Farooq M, Nawaz A. 2018. Drought stress in sunflower: physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agriculture and Water Management* **201**:152–166.

Hymowitz T. 2008. The History of the Soybean. *Soybeans: Chemistry, Production, Processing, and Utilization*. AOCS Press. Johnson

Jamil M, Bashir S, Anwar S, Bibi S, Bangash A, Ullah F, Rha ES. 2012. Effect of salinity on physiological and biochemical characteristics of different varieties of rice. *Pakistan Journal of Botany* **44**:7-13.

Kale PJ. 2019. Effect of microbial consortia on soybean (*glycine max*) stress tolerance behaviour and soil nutrient availability in vertisol. Thesis. 129.

Kao WY, Tsai TT, Shih CN. 2003. Photosynthetic Gas Exchange and Chlorophyll a Fluorescence of Three Wild Soybean Species in Response to NaCl Treatments. *Photosynthetica* **41(3)**:415-419.

Kausar F, Shahbaz M. 2017. Influence of strigolactone (GR24) as a seed treatment on growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence of wheat under saline conditions. *International Journal of Agriculture and Biology* **19**:321-327.

Kavi Kishor PB, Hima Kushari P, Sunita MSL, Streenivasulu N. 2015. Role of proline in cell wall synthesis and plant development and its implications in plant ontogeny. *Frontiers in Plant Science* **6**:544.

Kilinc Ö, Reynaud S, Perez L, Tissut M, Ravanel P. 2009. Physiological and biochemical modes of action of the diphenylether acetonifen. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **93(2)**:65-71.

Kocira A, Kocira S, Bronowicka-Mielniczuk U, Kornas R, Kozłowicz K. 2017. Foliar Application of Biostimulants and the Antioxidant Properties of Soybean Seeds. *Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture* 164-169.

Koupil S. 1996. Effect of growth regulator Atonik on some apple cultivars - effect on the shoots growth. *Agris FAO* **23(4)**:121-127.

Kuryata VG, Polyvanyi SV, Shevchuk OA, Tkachuk OO. 2019. Morphogenesis and the effectiveness of the production process of oil poppy under the complex action of retardant chlormequat chloride and growth stimulant treptolem. *Ukrainian Journal of Ecology* **9(1)**:127-134.

Larcher W. 2003. *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. New York: Springer.

Lentz DL. 2001. Prehistoric sunflower (*Helianthus annuus* L.) domestication in Mexico. *Economic Botany* **55(3)**:370-376.

Levitt J. 1972. Responses of plants to environmental stresses. New York: Academic Press.

Lu G, Hu X, Bidney DL. 2007. Sunflower. *Biotechnology in Agriculture and Forestry* **61**:39-58.

Lunn J, Theobald HE. 2006. The health effects of dietary unsaturated fatty acids. *Nutrition Bulletin* **31(3)**:178-224.

Majumdar R, Barchi B, Turlapati SA, Gagne M, Minocha R, Long S, Minocha SC. 2016. Glutamate, Ornithine, Arginine, Proline, and Polyamine Metabolic Interactions: The Pathway Is Regulated at the Post-Transcriptional Level. *Frontiers in Plant Science* **7**.

Málek B. 2011. Slunečnice v podmínkách České republiky v roce 2011. In *Sborník Hluk 2011: 28. vyhodnocovací seminář*. Praha

Maxwell K, Johnson GN. 2000. Chlorophyll fluorescence: a practical guide **51**:659-668.

Mehta P, Jajoo A, Mathur S, Bharti S. 2010. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. *Plant Physiology and Biochemistry* **48(1)**:16-20.

Mentor. 2020. Mentor. Saatbau Linz. Available from <https://www.saatbau.com/cz/saatgut/soja-4/olejniny-luskoviny/soja/mentor-cs-cz?id=581> (accessed March 2020)

Miaschi J. 2017. The Top Sunflower Seed Producing Countries In The World. *WorldAtlas*. Available from <https://www.worldatlas.com/articles/the-top-sunflower-seed-producing-countries-in-the-world.html> (accessed October 2019)

Nakajima N, Ohshima Y, Serizawa S, Kouda T, Edmonds JS, Shiraishi F, Aono M, Kubo A, Tamaoki M, Saji H, Morita M. 2002. Processing of Bisphenol A by Plant Tissues: Glucosylation by Cultured BY-2 Cells and Glucosylation/Translocation by Plants of *Nicotiana tabacum*. *Plant and Cell Physiology* **43(9)**:1036-1042.

NK Neoma. 2020. NK Neoma. Syngenta. Available from <https://www.syngenta.cz/produkt/osiva/slunecnice/nk-neoma> (accessed March 2020)

Noreen S, Faiz S, Akhter MS, Shah KH. 2019. Influence of Foliar Application of Osmoprotectants to Ameliorate Salt Stress in Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Sarhad Journal of Agriculture* **35(4)**:1316-1325.

Ohashi Y, Nakayama N, Saneoka H, Fujita K. 2006. Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biologia Plantarum* **50(1)**:138-141.

Orsillo N. 2009. Co mají společného vlk hřivnatý, děti v brazilském slumu a kuře ze supermarketu? : české velkochovy a expanze sóji v Latinské Americe, Brno :Hnutí Duha. ISBN 978-80-86834-31-3.

Pavlovic D, Nikolic B, Djurovic S, Waisi H, Andjelkovic A, Marisavljevic D. 2015. Chlorophyll as a measure of plant health: Agroecological aspects **29(1)**:21-34.

Perveen S, Iqbal M, Parveen A, Akram MS, Shahbaz M, Akber S, Mehboob A. 2017. Exogenous triacontanol-mediated increase in phenolics, proline, activity of nitrate reductase and shoot K⁺ confers salt tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Brazilian Journal of Botany* **40(1)**:1-11.

Peza Z. 2007. Nové možnosti využití stimulatoru ATONIK PRO v ozimé řepce – Aplikace na podzim a do květu. Arysta LifeScience Czech s.r.o.. Available from http://konference.agrobiologie.cz/2007-1212/33_peza_nove_moznosti_vyuziti_stimulatoru_atonik_pro_v_ozime_repce_aplikace_na_podzim_a_do_kvetu.pdf (accessed November 2019)

Plesňiar M, Kastori R, Petrović N, Panković D. 1994. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence in sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaves as affected by phosphorus nutrition. *Journal of Experimental Botany* **45(7)**:919-924.

Potters G, Horemans N, Jansen MAK. 2010. The cellular redox state in plant stress biology – A charging concept. *Plant Physiology and Biochemistry* **48(5)**:292-300.

Price JH, Hodnett G, Johnston SJ. 2000. Sunflower (*Helianthus annuus*) Leaves Contain Compounds that Reduce Nuclear Propidium Iodide Fluorescence. *Annals of Botany* **86(5)**:929-934.

Pulkrábek J, Urban J, Bečková L. 2016. Využití atoniku pro k urychlení postresové a zmírnění dopadu herbicidního na rostliny cukrovky. Česká zemědělská univerzita v Praze. Available from http://konference.agrobiologie.cz/2006-02-13/nh38_pulkrabek_urban_beckova_vyuziti_atoniku_pro_k_urychleni.pdf (accessed November 2019)

Qiu Z, Wang L, Zhou Q. 2013. Effects of bisphenol A on growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence in above-ground organs of soybean seedlings. *Chemosphere* **90(3)**:1274-1280.

Quarles W. 2017. Glyphosate, GMO Soybean Yields and Environmental Pollution. *The IPM Practitioner* **35(11)**:1-7.

Raza M, Feng L, Iqbal N, Khan I, Meraj T, Xi Z, Naeem M, Ahmed S, Sattar M, Yuan Ch, Huan Ch, Ahmed M, Feng Y, Yang W. 2019. Effects of contrasting shade treatments on the carbon production and antioxidant activities of soybean plants. *Functional Plant Biology*.

Razina AA, Dyatlova OG, Ryabchinskaya TA, Bobreshova IYu. 2018. Efficiency of Biological Plant Growth Stimulator Stimmunol EF on Spring Wheat. *Agrokimiya* **7**:50-56.

- Reddy KN, Hoagland RE, Zablotowicz RM. 2008. Effect of Glyphosate on Growth, Chlorophyll, and Nodulation in Glyphosate-Resistant and Susceptible Soybean (*Glycine max*) Varieties. *Journal of New Seeds* **2(3)**:37-52.
- Rejeb IB, Pastor V, Mauch-Mani B. 2014. Plant Responses to Simultaneous Biotic and Abiotic Stress: Molecular Mechanisms *Plants* **3(4)**:458–475.
- Rhodes D, Nadolska-Orczyk A. 2001. *Plant Stress Physiology*. DOI: 10.1038/npg.els.0001297.
- Rotaru V. 2019. Rhizobacteria Effects on Photosynthetic Pigments and Nitrogen Contents of Soybean Plants Cultivated under Low Phosphorus and Water Limited Conditions. *Scientific Papers. Series A. Agronomy* **62(1)**.
- Rutherford AW, Krieger-Liszkay A. 2001. Herbicide-induced oxidative stress in photosystem II. *Trends in Biochemical Science* **26(11)**:648-654.
- Schlemmer MR, Francis DD, Shanahan JF, Schepers JS. 2005. Remotely Measuring Chlorophyll Content in Corn Leaves with Differing Nitrogen Levels and Relative Water Content. *Agronomy Journal* **97(1)**:106-112.
- Seiler GJ, Qi LL, Marek LF. 2017. Utilization of sunflower crop wild relatives for cultivated sunflower improvement. *Crop Science* **57(3)**:1083-1101.
- Serim AT, Asav AU, Turkseven SG, Dursun E. 2018. Banded herbicide application in a conventional sunflower production system. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **42(5)**:354-363.
- Siddiqi EH, Ashraf M, Hussain M, Jamil A. 2009. Assessment of inter-cultivar variation for salt tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) using gas Exchange characteristics as selection criteria. *Pakistan Journal of Botany* **41(5)**:2251-2160.

Silva FB, Costa AC, Alves RRP, Megguer CA. 2014. Chlorophyll fluorescence as an indicator of cellular damage by glyphosate herbicide in *Raphanus sativus* L. plants. *American Journal of Plant Sciences* **5 (16)**:2509-2519.

Sitinjak RR. 2018. The Response of Growth on Shoot Cuttings and Stem Cuttings of *Citrus amblycarpa* L. after Giving Atonik. *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences* **8(2)**:872-881.

Srinieng K, Saisavoey T, Karnchanatat A. 2015. Effect of salinity stress on antioxidative enzyme activities in tomato cultured in vitro. *Pakistan Journal of Botany* **47**:1-10.

Strauss AJ, Krüger GHJ, Strasser RJ, Van Heerden PDR. 2006. Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. *Environmental and Experimental Botany* **56(2)**:147-157.

Sunkar R, Li YF, Jagadeeswaran G. 2012. Functions of microRNAs in plant stress responses. *Trends in Plant Science* **17(4)**:196-203.

Szabados L, Savouré A. 2010. Proline: multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science* **15 (2)**:89-97.

Szpagara A, Kubon M, Kocira S, Czerwinska E, Pawlowska A, Hara P, Kobus Z, Kwasniewski D. 2019. Towards Sustainable Agriculture-Agronomic and Economic Effects of Biostimulant Use in Common Bean Cultivation. *Sustainability* **11 (17)**:119-127.

Štranc P. 2016. Výhled produkce sójových bobů pro rok 2016. *Agromanuál*. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/sklizen-a-skladovani/sklizen-1/vyhled-produkce-sojovych-bobu-pro-rok-2016> (accessed October 2019)

Stranc P, Prochazka P, Stranc J, Stranc D. 2016. Soya trials. *Prosperující Olejnin* 2016 148-152.

Švachula V, Vach M, Bečka D. 2009. Prosperující olejniny 2009. ČZU v Praze. 185. ISBN 80-88720-02-8.

Šuk J, Šuk J, Zusková E. 2018. Vliv stimulátorů fyziologických procesů na fytotoxické působení herbicidů. Agromanuál. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/stimulace/vliv-stimulatoru-fyziologickyh-procesu-na-fytotoxicke-pusobeni-herbicidu> (accessed November 2019)

Thongchuang M, Kunsombat Ch, Taothong R, Nankawa W, Kraboun K, Ajavakom V, Wutipraditkul N. 2019. Antioxidant capacity in different cultivars of sunflower sprouts and their harvesting indices. *The Journal of Applied Science* **18(2)**.

Umar M, Uddin Z, Siddiqui ZS. 2019. Responses of photosynthetic apparatus in sunflower cultivars to combined drought and salt stress. *Photosynthetica* **57(2)**:627-639.

Valíček P. 2002. Užitkové rostliny tropů a subtropů. 2. vyd. Praha: Academia. ISBN 80-200-0939-6.

Vieira Santos CL, Campos A, Azevedo H, Caldeira G. 2001. In situ and in vitro senescence induced by KCl stress: Nutritional imbalance, lipid peroxidation and antioxidant metabolism. **52**:351-360.

Wang H, Murphy PA. 1994. Isoflavone Content in Commercial Soybean Food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **42 (8)**:1666-1673.

Wang X, Qiu B, Li W, Zhang Q. 2019. Impacts of drought and heatwave on the terrestrial ecosystem in China as revealed by satellite solar-induced chlorophyll fluorescence. *Science of the Total Environment* **693**.

Wojdyla AT. 2004. Effectiveness of Atonik SL in the control of powdery mildew, black spot, and rust. *Agris* **161**:175-181.

Zaghdoudi M, Msilini N, Govindachary S. 2011. Inhibition of photosystems I and II activities in salt stress-exposed Fenugreek (*Trigonella foenum graecum*). *Photobio* **105**:14-20.

Zamani S, Naderi MR, Soleymani A, Nasiri BM. 2019. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) biochemical properties and seed components affected by potassium fertilization under drought conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **190(1)**:110-117.

Zengin FK, Kirbag S. 2006. Effects of copper on chlorophyll, proline, protein and abscisic acid level of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings. *Journal of Environmental Biology* **28(3)**:561-566.

Zhou CY, Le J, Hua DX, He TY, Mao JD. 2019. Imaging analysis of chlorophyll fluorescence induction for monitoring plant water and nitrogen treatments. *Measurement* **136**:478-486.

Zimmer M, Young BG, Johnson WG. 2019. Halauxifen-methyl preplant intervals and environmental conditions in soybean. *Weed Technology* **33 (5)**:680-685.

Zivcak M, Brestic M, Balatova Z. 2013. Photosynthetic electron transport and specific photoprotective responses in wheat leaves under drought stress. *Photosynthesis* **117**:529-546.