

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin

**Hodnocení odolnosti slunečnice roční vůči nepříznivým
abiotickým faktorům na počátku vegetace s ohledem na možnost
časného výsevu v podmínkách ČR**

doktorská disertační práce

Autor: **Ing. Lukáš Tichý**

Školitel: **prof. Ing. Václav Hejnák, Ph.D.**

Praha 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou disertační práci na téma: „**Hodnocení odolnosti slunečnice roční vůči nepříznivým abiotickým faktorům na počátku vegetace s ohledem na možnost časného výsevu v podmínkách ČR**“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii. Jako autor uvedené disertační práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22.2.2021

Podpis autora práce:

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval svému školiteli prof. Ing. Václavu Hejníkovi, CSc. za vedení práce a doc. Ing. Miroslavovi Jursíkovi Ph.D. za cenné rady a dohled nad průběhem všech pokusů.

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíle a hypotézy	2
2.1	Cíle práce.....	2
2.2	Hypotézy	2
3	Literární přehled	3
3.1	Význam slunečnice roční ve světě a v ČR.....	3
3.2	Botanická charakteristika a původ slunečnice roční.....	4
3.2.1	Fotosyntéza.....	6
3.3	Požadavky slunečnice roční na prostředí	7
3.3.1	Voda	7
3.3.2	Teplota.....	8
3.3.3	Světlo.....	9
3.4	Časnější termín výsevu.....	9
3.5	Stres.....	10
3.5.1	Vodní stres.....	11
3.5.2	Stres nízkými teplotami	12
3.5.2.1	Vliv nízkých teplot na fotosyntézu.....	13
3.5.2.2	Vliv nízkých teplot na vodivost průduchů a transpiraci	14
3.5.2.3	Vliv nízkých teplot na vlastnosti buněčných membrán.....	15
3.5.3	Působení chladu.....	16
3.5.4	Působení mrazu	17
3.5.5	Proteiny a adaptace.....	18
3.6	Regulace plevelů ve slunečnici.....	19
3.6.1	Specifika regulace plevelů ve slunečnici.....	19
3.6.2	Selektivita herbicidů.....	20
3.6.3	Technologie využívající odolnosti odrůd k herbicidům (HT technologie).....	21

3.6.3.1	Inhibitory acetolaktát syntézy (ALS inhibitory).....	23
3.6.3.2	Inhibitory ACCasy (listové graminicidy).....	23
4	Materiál a metody.....	25
4.1	Rostlinný materiál	25
4.2	Nádobové pokusy	25
4.2.1	Příprava rostlinného materiálu.....	25
4.2.2	Aplikace herbicidů.....	26
4.2.3	Působení nízkých teplot.....	26
4.2.4	Metody měření fyziologických charakteristik rostlin z nádobových pokusů	27
4.3	Polní pokusy	29
4.3.1	Meteorologická a pedologická charakteristika stanoviště	30
4.3.2	Založení pokusů.....	31
4.3.3	Aplikace herbicidů.....	32
4.3.4	Hodnocení maloparcelních pokusů	33
4.4	Statistické zpracování výsledků	34
5	Výsledky.....	35
5.1	Nádobové pokusy	35
5.1.1	Fluorescence chlorofylu a.....	35
5.1.1.1	ExpressSun slunečnice (výsledky z let 2015-2016)	35
5.1.2	Vizuální hodnocení poškození slunečnice.....	38
5.1.3	Hmotnost nadzemní biomasy a obsah sušiny	39
5.2	Polní pokusy	41
5.2.1	Vizuální hodnocení poškození slunečnice.....	41
5.2.2	Počet úborů.....	46
5.2.3	Výnos nažek	48
6	Diskuze.....	50
6.1	Nádobové pokusy	50
6.2	Polní pokusy	52

7	Vyjádření k hypotézám.....	54
8	Závěry a doporučení pro praxi	55
9	Publikace autora	57
10	Seznam literatury	58

1 Úvod

Olejniny jsou významnou skupinou plodin v rámci světové rostlinné výroby. Významný podíl v olejninách zaujímá právě slunečnice. Ve světě je čtvrtou a v ČR druhou nejdůležitější olejinou. Slunečnice patří na českých polích stále k minoritně pěstovaným plodinám. V roce 2020 byla pěstována na 11,3 tis. ha. O konečné ploše ve velké míře rozhoduje průběh zimního období a stav ploch řepky na jaře, kdy je slunečnice mnohdy volena jako náhradní plodina.

Spotřebitelé se po dlouhé době začali odklánět od rostlinných tuků, které byly ještě před pár lety propagovány jako zdravější než živočišné. Přesto si však slunečnicový olej stále nese známku kvality u konečného spotřebitele. V případě slunečnicového oleje došlo k výraznému posunu. Vedle vysokého obsahu zastoupených nenasycených mastných kyselin spolu s vysokým obsahem vitamínu E v podobě tokoferolů a tokotrienolů je zde také možnost volit ze sortimentu tzv. high olejek, které posunují slunečnicový olej na úroveň kvalitního olivového oleje.

Slunečnice roční je významná plodina zejména v aridních oblastech, kde pěstování jiných olejnin vykazuje určitou výnosovou nestabilitu. V těchto oblastech je slunečnice schopna vegetovat díky své specifické stavbě orgánů, především kořenového systému, což ji řadí mezi relativně suchovzdorné plodiny. Avšak působení vodního deficitu v období vývoje a zrání nažek má negativní vliv na některé výnosotvorné prvky (hmotnost nažek, počet nažek v úboru), což následně způsobuje pokles výnosu. S vodním stresem souvisí i účinnost půdních herbicidů, která se snižuje nebo může dojít k úplnému selhání účinku, což vede k zaplevelení porostu.

Časnější termín výsevu by omezil riziko působení vodního stresu v kritickém období vývoje slunečnice. Začátek tohoto období je cca 20 dnů před a konec cca 20 dnů po kvetení. Posunutí termínu výsevu o cca 1 měsíc oproti tradičnímu výsevu (duben), který se využívá Francii, posouvá počáteční vývojová stadia slunečnice do období s nižšími teplotami (o 5 až 10 °C), proto je důležitá odolnost rostlin slunečnice vůči nízkým teplotám. Slunečnice disponuje určitou odolností vůči nízkým teplotám, ta je nejvyšší na počátku vegetace a postupně se snižuje, což může při výskytu pozdních jarních mrazíků způsobovat poškození rostlin.

2 Cíle a hypotézy

2.1 Cíle práce

Cílem výzkumu je prohloubení znalostí o fyziologických reakcích slunečnice roční na nízké teploty a herbicidní ošetření.

Dílčími cíli práce jsou:

- 1) Stanovit fyziologickou reakci juvenilních rostlin ExpressSun slunečnice na nízkou teplotu a herbicidní ošetření graminicidem a kombinace graminicidu a tribenuronu.
- 2) Ověřit odolnost slunečnice k vybraným stresorům a následně určit podmínky pro časnější výsev slunečnice v ČR.
- 3) Kvantifikovat odolnost juvenilních rostlin slunečnice k herbicidům používaných v ExpressSun technologii.

2.2 Hypotézy

- 1) Působení nízkých teplot v počátečních vegetativních fázích růstu slunečnice ovlivňuje parametry primárního metabolismu.
- 2) Kombinace stresových faktorů (nízká teplota + herbicidní ošetření) ovlivňuje fyziologii a morfologii fotosyntetického aparátu slunečnice roční.
- 3) V podmínkách ČR je možný časný výsev slunečnice roční.

3 Literární přehled

3.1 Význam slunečnice roční ve světě a v ČR

Slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.) je celosvětově za sójovými boby, řepkovým a bavlníkovým semenem, čtvrtou nejvýznamnější olejninou s průměrnou produkcí 41 milionů tun nažek (průměr z let 2016-2020). Mezi tři nejvýznamnější světové pěstitele slunečnice patří Ukrajina (10,8 mil. tun), Rusko (9,6 mil. tun) a země Evropské Unie (7,8 mil. tun). Podíl těchto zemí na celkové světové produkci je téměř 70 % (2020) (ČSÚ, 2020). Více jak polovina světové produkce nažek je vypěstována na severní polokouli. Na jižní polokouli je nejvýznamnějším producentem slunečnicových nažek Argentina, která má celosvětově čtvrtou nejvyšší produkci (Málek et al., 2013).

I když v podmínkách České republiky dosahuje pěstování slunečnice svého nejsevernějšího okraje, má v osevních postupech již své historické místo. Rozvoj pěstování této plodiny jako olejnin započal roku 1985, kdy vznikaly na Slovensku první systémy pro její produkci. V roce 1987 se rozšířilo pěstování slunečnice v okrese Znojmo a v průběhu 90. let minulého století se plochy rozšířily do značné části jižní Moravy a následně i do Čech (Málek, 2011). Průměrný výnos nažek slunečnice v ČR se dlouhodobě pohybuje mezi 2,0 a 2,5 t.ha⁻¹ (ČSÚ, 2020). Sklizňové plochy a průměrné výnosy v letech 1985–2020 jsou uvedeny v tab. 1.

Největší pěstitelská plocha slunečnice v ČR byla podle Málka et al. (2013) zaznamenána v roce 2003, kdy byla pěstována na 48 706 ha. V následných letech se plochy slunečnice v ČR pohybovaly mezi 40 a 47 tis. ha, nicméně v roce 2007 došlo k výraznému propadu o téměř 50 % (24 426 ha), zejména v důsledku velmi nízkých farmářských nákupních cen. K dalšímu poklesu pěstitelských ploch slunečnice došlo v roce 2012 a 2019. Jednou z příčin jsou změny v osevních postupech především ve prospěch zvyšování osevních ploch kukuřice (pro bioplynové stanice).

Z regionálního pohledu jsou největší plochy slunečnice v kraji Jihomoravském, Středočeském a Ústeckém. Výše zmíněný pokles ploch slunečnice v ČR v posledních letech se nejvíce projevuje právě v tradičních krajích pěstování slunečnice, zejména v kraji Jihomoravském a Středočeském. V posledních letech vyjma roku 2012, byly plochy slunečnice vždy vyšší na Moravě než v Čechách (Málek, 2020).

Pěstování slunečnice má v České republice perspektivu a budoucnost, i přestože slunečnice nepatří k plodinám s největším hospodářským významem. S pozvolným

oteplováním planety se bude tato plodina přesouvat do vláhově jistějších oblastí. Svoje opodstatnění najde slunečnice zejména v nejteplejších oblastech ČR (Mottl, 2008). S ohledem na registraci velmi raných hybridů a jejich plasticitu, změnu klimatických podmínek daných regionů, dochází k rozšiřování ploch i do okrajových regionů (Málek, 2005).

Tabulka 1 – Velikost sklizňové plochy a výnosy slunečnice v ČR ve vybraných letech

Rok	Sklizňová plocha (ha)	Výnos (t.ha ⁻¹)
1985	82	2,57
1989	4 453	1,72
1990	10 800	2,70
1995	19 387	1,66
1999	28 450	2,22
2003	48 706	2,35
2006	47 071	2,15
2007	24 425	2,13
2012	24 634	2,31
2017	21 601	2,46
2018	20 202	2,36
2019	11 825	2,44
2020	11 274	2,70*

* odhad SPZO

(Situační a výhledová zpráva – olejniny, 2020; ČSÚ).

3.2 Botanická charakteristika a původ slunečnice roční

Slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.) patří do čeledi hvězdnicovité, dříve složnokvěté (*Asteraceae*, *Compositae*) a k rodu slunečnice (*Helianthus*). Celkově rod slunečnice zahrnuje okolo 60 převážně severoamerických druhů, z nichž největší praktický význam má slunečnice roční. První zmínky o její domestikaci se datují do let 2300 př. n. l., kdy Inkové používali slunečnici jako vypodobení svého boha slunce. Do Evropy byly první nažky slunečnice dovezeny v 16. století (Fábry et al., 1990; Lentz et al., 2001).

Samotný vznik kulturní slunečnice (*Helianthus annuus* L.) je podle Schwanitz (1967) připisován mezidruhové hybridizaci. V oblasti Severní Ameriky došlo k setkání areálů planých druhů (*Heliantus annuus* L., *Helianthus petiolaris* Nutt.) a na styčném území došlo

k hybridizaci a smíšení obou druhů. Přitom vznikly hybridní populace, z nichž vzešly rekombinační formy, a to zčásti plané druhy, zčásti formy plevelné a zčásti kulturní formy, jako např. kulturní slunečnice (Lu et al., 2001).

Kořenový systém slunečnice je dobře vyvinutý a může pronikat až do hloubky 2-3 m. Je velmi silně rozvětvený, přičemž většina tenčích postranních kořenů vyrůstajících z hlavního kořene se nachází v hloubce 20-30 cm pod povrchem. Díky mohutnému kořenovému systému vykazuje slunečnice poměrně vysokou odolnost k suchu a je schopna přijímat vodu a živiny z hlubších vrstev půdy. Tato vlastnost slunečnice předurčuje tuto plodinu pro pěstování v aridních a semiaridních oblastech (Kováčik, 1997).

Lodyha slunečnice je mohutná, dobře olistěná, převážně bylinného charakteru, pouze u báze povrchově zdřevnatělá. Na vrcholu nese květní úbor. V období růstu je lodyha vzpřímená, před začátkem kvetení se však v horní části ohýbá. U kulturní slunečnice roční se lodyha zpravidla nevětví a většinou se v paždí listů ani nezakládají pupeny. Délka lodyhy se pohybuje u olejných hybridů od 40 do 200 cm. Listy jsou dlouze řapíkaté, bez palistů. Lodyha a listy slunečnice jsou charakteristické významným heliotropismem. V období mezi založením poupěte a začátkem kvetení se lodyha svým vrcholem otáčí za sluncem. Po začátku kvetení tento pohyb ustává. Heliotropismus listů se projevuje jen u mladých listů, což má význam pro vyšší účinnost fotosyntézy. Na tvorbě výnosu se tak významně podílejí listy. Celková velikost listové plochy nemá významný vliv na zvětšení počtu nažek v úboru rostliny, ani na jejich hmotnost. Důležité je, aby konečné listové plochy bylo dosaženo co nejrychleji, v co nejvyšší produktivitě a vydržela co nejdéle aktivní (Málek, 2005; Kováčik, 2000).

Květy jsou uspořádány do úboru, který dosahuje průměru 5–75 cm podle hybridu, technologie a pěstebních podmínek. Slunečnice vytváří dva druhy květů: oboupohlavní - trubkovité a bezpohlavní – jazykovité. Jazykovité květy: jejich počet na jednom úboru se pohybuje mezi 30–70. Barvu mají převážně žlutou. Funkce těchto květů je lákání opylujícího hmyzu. Trubkovitých květů je v úboru od 500 až 3 000, u solitérních rostlin až 8 000. Z těchto květů vznikají následně nažky (Baranyk et al., 2010).

Plodem je jednosemenná, nepukavá nažka. Je tvořena dvěma samostatnými částmi: přilnavým kožovitým perikarpem, nazývaným slupka, a semenem. Odrůdy a formy slunečnice pěstované na olej mají malý podíl slupky (kolem 20 % hmotnosti nažky). Hmotnost tisíce nažek pěstovaných hybridů je od 40 do 90 g. Nejlépe vyvinuté nažky jsou v periférii úboru,

nejhůře vyvinuté ve středu úboru. Kritická středová zóna zaujímá 10–15 % plochy úboru (Málek, 2005; Cerkal et al. 2011).

U slunečnice rozlišujeme podle Merrien (1986) pět základních růstových a vývojových fází:

Fáze A (A₀ - A₂): fáze vzcházení, odpovídá růstové fázi BBCH 01 až 09: klíčení a vzcházení, která trvá 7-20 dní podle vlhkosti a teploty půdy. Suma teplot nezbytná pro průběh této fáze je 90 °C.

Fáze B (B₁ – B₄): fáze výhradního vegetativního růstu, odpovídá BBCH 10 (vývoj děložních listů) až 39 (prodlužovací růst – vývoj internodií), trvá přibližně 30–35 dnů. V této fázi se nejintenzivněji rozvíjí kořenový systém. Nedostatek vody v této fázi může způsobit redukci počtu listových i květních základů.

Fáze E (E₁ – E₅): fáze hvězdičky, odpovídá BBCH 51 (květenství je viditelné mezi nejmladšími lístky) až 59 (náznak kvítků viditelný na uzavřeném květenství). Trvá 25–30 dnů a dochází v ní k intenzivnímu růstu nadzemních vegetativních orgánů rostliny. Během této fáze dosahuje listová plocha a její fotosyntetická aktivita i kořenový systém maximální velikosti. Zvyšují se nároky na vodu a příjem živin, protože jejich absorpce dosahuje maxima.

Fáze F (F₁ – F₄): fáze kvetení, odpovídá BBCH 61 (disk kvítků viditelný) až 69 (konec kvetení). Pro její začátek je nutné splnění sumy teplot v celkové výši 800–900 °C. Kvetení porostu trvá 15–20 dnů, jednotlivých rostlin 8–10 dnů. Úbor se intenzivně podílí na fotosyntéze. Rostlina velmi citlivě reaguje na nedostatek vody.

Fáze M (M₀ – M₄): fáze tvorby nažek a zrání, odpovídá BBCH 70 (vývoj nažek), 80 (zrání) a 90 (dozrávání a sklizňová zralost). Je charakteristická tvorbou zásobních látek a redistribucí asimilátů z listů a lodyh do nažek.

3.2.1 Fotosyntéza

Z hlediska typu fixace uhlíku patří slunečnice mezi druhy skupiny C₃ (Nátr, 2002). Fotosyntetický výkon závisí na velikosti listové plochy, stáří listu a jeho umístění. Spodní listy jsou uspořádány ve 2-3 párech, ostatní jsou střídavé (ve spirále 2/5). Nejvyšší

fotosyntetický výkon mají listy v horní třetině rostliny, které zachycují nejvíce slunečných paprsků. Teplotní optimum pro účinnost fotosyntézy je 25 °C. Při této nebo vyšší teplotě dosahuje slunečnice fotosyntetické účinnosti přibližně 30 mg CO₂ na 1 dm² za hodinu. Se stárnutím listu klesá jeho fotosyntetický výkon až na ¼ původní úrovně. Slunečnice je schopna tvořit produkty asimilace i za poměrného sucha, při němž listy vadnou a průduchy jsou uzavřené. Asimiláty jsou z místa vzniku transportovány floémem do míst potřeby. Celkové množství sušiny vyprodukované slunečnicí se pohybuje v rozmezí 8 až 11 t.ha⁻¹ (Kováčik, 1997).

3.3 Požadavky slunečnice roční na prostředí

Slunečnice má velmi širokou ekologickou amplitudu a schopnost adaptace díky svým biologickým vlastnostem. Prakticky většina hybridů je pěstována jak v Evropě, Asii, Africe, Austrálii, tak v Severní a Jižní Americe. K faktorům, které rozhodují o možnosti pěstování slunečnice v té či oné oblasti, se řadí voda, teplota a světlo.

3.3.1 Voda

Voda v rostlině má nezastupitelnou funkci. Ovlivňuje řadu metabolických procesů, má zásadní význam pro fotosyntézu, příjem a rozvod minerálních látek a v neposlední řadě také reguluje teplotu rostliny. Obsah vody v rostlině je v průměru 90 % (Hopkins and Hüner, 2004).

Slunečnice využívá vodu na udržení turgoru, růst buněk a příjem živin. Potřeba vody podle Kováčika (1997) kolísá mezi roky a lokalitami, protože transpirační poměr je závislý na vzdušném prostředí (vlhkosti, teplotě, větru a světle apod.). Z koeficientu spotřeby vody na vytvoření 1 g sušiny fytomasy, vyjádřený transpiračním koeficientem, který je u slunečnice 577, lze usoudit, že slunečnice hůře využívá vodu než například kukuřice (394), cukrovka (377), proso (267), ale lépe než například sója (646), řepka (714), bob (700) nebo oves (583).

Voda je také důležitá pro tvorbu půdního roztoku, z kterého rostliny přijímají minerální látky. Z celkového obsahu vody v půdě je pro rostliny dostupná pouze část, tj. volná voda, která je přijímaná kořeny rostlin. Druhá část tzv. voda vázaná je pro rostliny nedostupná, neboť je pomocí různých sil vázána na povrch půdních částic (Demir et al, 2006).

Stav, kdy rostlina vyčerpá veškerou dostupnou vodu v půdě, je označován jako fyziologické sucho (Novák, 2009).

Obsah vody v půdě úzce souvisí s množstvím půdního vzduchu. Optimální stav je podle Nováka (2009) tehdy, jestliže 60-80 % objemu půdních pórů tvoří voda a 20-40 % půdní vzduch. Při jiném poměru je rostlina postižena suchem nebo zamokřením.

3.3.2 Teplota

Rostliny jsou různě náročné na teplo. Náročnost lze posuzovat z hlediska rozsahu teplot, ve kterém jsou rostliny schopny existovat a také z hlediska nároků rostlin na teplotu. Hopkins and Hüner (2004) uvádí, že pro růst a vývoj rostlin je důležitá nejen teplota vzduchu, ale rovněž i půdy, která je klíčová pro správnou funkci kořenů i jejich tvorbu.

Slunečnice je plodinou teplé části mírného pásma. Je považována za rostlinu teplomilnou a suchovzdornou. Snáší lépe chladno než kukuřice, a to jak v období vegetativního růstu, tak i v době dozrávání nažek (Grompone, 2005). Minimální teplota klíčení je 4 °C v 5 cm povrchové vrstvy půdy. Na mráz se stává citlivou teprve za měsíc po vzejití. Ve fázi děložních listů snese bez poškození teploty až -5 °C. Při poškození růstového vrcholu mrazem reaguje slunečnice větvením od báze rostliny. To má za následek opožděný vývoj, nevyrovnaný porost a snížený výnos (Kováčik, 1997).

Zvýšené požadavky na teplotu má slunečnice v době kvetení a při zrání nažek. Od července do poloviny srpna by neměla průměrná noční teplota klesnout pod 18 °C a denní pod 24 °C. Koncem srpna a v září vyžaduje slunečnice průměrnou noční teplotu vyšší než 15 °C a denní teplotu nad 20 °C. Kromě vlivu na růst, vývoj a produktivitu slunečnice má především v době zrání teplota vliv na obsah a skladbu oleje a rovněž na rozsah poškození rostlin houbovými chorobami. Při optimální teplotě (20–26 °C) je dostatečně dlouhá doba pro průběh zrání, takže se všechny volné mastné kyseliny mohou zabudovat do oleje. Při nepříznivém počasí v době zrání (nízké teploty, nadbytek vody, přehnojení dusíkem, pozdní hybrid, houbové choroby) může dojít k zpomalenému zrání, přičemž všechny volné mastné kyseliny se nestačí zabudovat do oleje. Zůstávají v oleji ve volné formě a způsobují jeho nežádoucí kyselost (Kováčik, 1997).

3.3.3 Světlo

Slunečnice vyžaduje dostatek světla. Při zastínění listů více než o 40 % dochází podle Málek et al. (2005) ke snížení výnosu až o 50 %. Fáze kvetení a vývoje nažek je na světlo nejcitlivější. Proto zahuštění porostu nad optimum se může projevit na vývoji porostu slunečnice nepříznivě. Světlo ovlivňuje úroveň fotosyntézy u slunečnice podstatně výrazněji než teplota a zásobení půdy vodou (další možnosti rozšíření v suchých oblastech). Zapojení porostu, to znamená jeho hustota, určuje hodnotu pokryvnosti listoví (LAI). Za optimální je považována jeho hodnota LAI 2,5 – 3,0 (tj. 25 000 – 30 000 m² listové plochy.ha⁻¹).

3.4 Časnější termín výsevu

Slunečnice roční je plodina velice přizpůsobivá různým podmínkám prostředí a relativně suchu odolná. Avšak působení vodního deficitu v období vývoje a zrání nažek má negativní vliv na některé výnosotvorné prvky (hmotnost nažek, počet nažek v úboru), což následně způsobuje pokles výnosu.

Časnější termín výsevu by omezil riziko působení vodního stresu v kritickém období vývoje slunečnice. Hewezi et al. (2006) uvádí začátek tohoto období cca 20 dnů před a konec cca 20 dnů po kvetení. Vodní stres způsobuje ve fázi kvetení sterilitu pylu, odumírání pestíků a embryí a pokles LAI, což negativně ovlivňuje celkový počet nažek, ale i hmotnost 1000 nažek.

S vodním stresem souvisí i účinnost půdních herbicidů, která se snižuje nebo může dojít k úplnému selhání účinku, což vede k zaplevelení porostu. Je omezen růst generativních orgánů (tvoří se menší úbory), kde u takových to porostů se zvyšuje pravděpodobnost napadení houbovými chorobami v době dozrávání (Málek et al., 2005).

U časných termínů výsevu lze předpokládat dosažení vyšších výnosů. Ve Francii se nejvíce využívá časnější výsev o 1 měsíc oproti tradičnímu výsevu (duben). To však podle Allinne (2010) posouvá počáteční vývojová stadia slunečnice do období s nižšími teplotami (o 5 až 10 °C), což způsobuje opožděné a nerovnoměrné vzházení rostlin slunečnice. Barros et al. (2004) uvádí, že nižší teploty na počátku vegetace a s nimi spojené opožděné vzházení slunečnice jsou vykompenzovány příznivějšími vláhovými podmínkami, které stimulují rychlý růst rostlin slunečnice.

Vyšší výnosy u časnějších výsevů předpokládá v podmínkách ČR i Kováčik (2007) a dále uvádí, že pozdní termíny setí negativně ovlivňují výnos nažek, olejnatost, zvyšují slupkatost nažek a způsobují větší problémy při sklizni. Málek (2007) zaznamenal výrazné rozdíly ve výnosu mezi raným a pozdním výsevem (od 0,1 do 0,5 t.ha⁻¹), které jsou však ještě vyšší v pěstitelsky nepříznivých podmínkách.

Jednou z podmínek časného výsevu je odolnost rostlin slunečnice vůči nízkým teplotám na počátku vegetace (Hewezi et al., 2006). Slunečnice, přestože je to teplomilná plodina, vykazuje určitou odolnost vůči nízkým teplotám, ta je nejvyšší na počátku vegetace a postupně se snižuje, což může při výskytu pozdních jarních mrazíků způsobovat poškození rostlin (Kováčik, 1997). V tomto období se u HT (z angl. „Herbicide Tolerant“) hybridů provádí aplikace herbicidů, které mohou v kombinaci s nízkými teplotami poškodit rostliny slunečnice. S nízkými teplotami se však rostliny mohou setkat i v závěru vegetace (časné podzimní mrazíky), kdy mohou rozhodnout o výši výnosu (Málek et al., 2013).

3.5 Stres

Jakýkoli nepříznivý stav nebo látka, která ovlivňuje nebo blokuje metabolismus, růst nebo vývoj rostlin, se považuje za stres. Stres během vegetace může být vyvolán různými přírodními a antropogenními stresovými faktory. Je třeba rozlišovat mezi krátkodobými a dlouhodobými účinky stresu, jakož i mezi samotnou úrovní stresu. Rostlina je schopná čelit nízké úrovni stresu různými aklimatizačními, adaptačními a opravnými mechanismy. V případě, že na rostlinu působí silný stresový faktor nebo je působení dlouhodobého charakteru, může dojít k závažným poškozením, která mohou nakonec vést k smrti buněk a rostlin. Působení stresových faktorů na rostliny se projevuje snižováním jejich vitality a u kulturních plodin také poklesem výnosů. Proto je velký zájem o šlechtění odolných genotypů (Cramer, 2010).

Aklimatizace je obranná reakce rostlin na stres, která je však jen dočasná a má určitou hraniční hodnotu. Při působení stresu nejprve dochází k opravě poškozených buněk, ke změnám metabolismu a následné tvorbě specifických stresových bílkovin (enzymy a proteiny), které zabraňují poškození. Jsou-li buňky nevratně poškozeny, dochází k jejich odstranění. Uplatňuje se aktivita apoptotických drah, jenž vede k programované buněčné smrti (Takahashi et al., 2004).

Rostlina se stresům brání nejen pomocí trvale přítomných, konstitutivních prostředků, ale také tvorbou specifických genů, které vedou k tvorbě specifických stresových bílkovin. Každý stres způsobuje expresi jiné skupiny genů, avšak některé geny se mohou překrývat. Některé typy stresů jsou poměrně dobře popsány (sucho, chlad, horko) v souvislosti s expresí specifických genů a tvorbou stresových bílkovin, avšak u jiných typů stresů tyto informace chybí (Cramer et al., 2011).

Rostliny disponují celou řadou genetických mechanismů, jenž si vyvinuly v průběhu fylogeneze, umožňujících jim vyrovnávat se s různými typy stresů (Aarts and Fiers, 2003).

Odolnost rostlin ke stresovým faktorům spočívá především v dočasné aktivaci fyziologických procesů a zároveň také specifických genů (LEA geny, geny pro dehydriny, geny protimrazových proteinů), které jim zajišťují ochranu. Dlouhá životnost těchto stresových bílkovin (několik dní) poskytuje rostlinám ochranu i v případě, že se působení stresového faktoru v krátké době opakuje, potom jsou rostliny chráněny od samého počátku (Ciarmiello et al., 2011).

3.5.1 Vodní stres

Nedostatečné zásobení rostliny vodou je označováno jako vodní stres. To je stav, kdy výdej vody rostlinou (transpirace) převyšuje její příjem kořeny. Vodní stres však může být způsoben i vysokým obsahem vody v půdě. Každá takováto nerovnováha ovlivňuje růst a vývoj rostliny. Kováčik (1997) uvádí, že slunečnice začne lépe využívat vodu právě až v době vláhového deficitu. Zároveň dodává, že krátké období sucha nemůže podstatně snížit výnos nažek. Bez poklesu výnosu nažek snese slunečnice období sucha trvajícím až 4–6 týdnů při mírném zavadnutí listů. V reakci na nedostatek vody se projevují určité odlišnosti mezi hybridy. I přes relativní suchovzdornost potřebuje slunečnice 450–500 mm srážek během vegetace, zvláště v období, kdy má zvýšený nárok na vodu (20 dní před a 20 dní po kvetení). Naopak i nadbytečné množství vody v půdě rostlinám škodí, neboť půda nasycená vodou obsahuje malé množství kyslíku, který je důležitý pro správnou činnost kořenů.

Voda a její (ne)dostatek je limitujícím faktorem, který ovlivňuje produkci rostlin. Oteplování planety a s ním spojené klimatické změny mohou zesílit působení těchto nepříznivých faktorů, a proto se rostliny těmto změnám snaží přizpůsobit pomocí různých obranných mechanismů (Agarwal and Jha, 2010).

Jedním z mechanismů je regulace hladiny kyseliny abscisové (ABA). Její hladina se významně zvyšuje při nedostatku vody v rostlině. V takovéto situaci reguluje ABA rychlost

transpirace prostřednictvím průduchů, neboť stimuluje jejich uzavření a zároveň inhibuje jejich otevření (Skirycz and Inze, 2010). Další způsob, který uvádí nedávné studie je, že ABA ovlivňuje transpiraci snížením hydraulické vodivosti cévních svazků (Parent et al., 2009; Pantin et al., 2013).

Další z možných obranných strategií je tvorba osmoticky aktivních látek. Osmotické přizpůsobení je důležitým fyziologickým mechanismem, které rostlinám umožňuje vyhnout se suchu. Vyšší obsah osmoticky aktivních látek v rostlinných buňkách vede k udržení buněčného turgoru, který může přispět k omezení vlivu deficitu vody na fotosyntézu a růst rostlin. Jejich význam spočívá v nahrazování vázaných molekul vody v makromolekulách a na povrchu membrán. Osmotická regulace navíc umožňuje ochranu membrán a enzymových systémů, zejména u mladých orgánů. Osmoticky aktivní látky jsou na bázi nízkomolekulárních cukrů, sloučenin obsahujících dusík, jako jsou volné aminokyseliny, amidy, prolin a rozpustné proteiny tzv. dehydriny (Munnik and Meijer, 2001; Pinheiro and Chaves, 2011).

3.5.2 Stres nízkými teplotami

Rostliny lze rozlišovat podle citlivosti a jejich reakce k nízkým teplotám na dvě teplotní oblasti: nízké teploty nad bodem mrazu, které jsou označovány jako tzv. chlad (*chilling stress*), s teplotním rozmezím 0 až 15 °C a mrazové teploty tzv. zmrznutí (*freezing*). Oba typy stresu, tj. chlad a mráz, se od sebe liší způsobem poškození, ale i mechanismem odolnosti rostlin. Chladové poškození obecně souvisí s poklesem rychlosti metabolických pochodů rostliny (Hey et al., 2010), kdežto poškození mrazem je způsobené především mrznutím vody v rostlinných pletivech, které souvisí s dehydratací a růstem ledových krystalů. Již při působení chladu může nastat dehydratace, neboť dochází k poklesu příjmu vody kořeny a zároveň ke ztrátě vody transpirací (Yamaguchi-Shinozaki and Shinozaki, 2006). Velký význam u chladu hraje nejen samotná výše teploty, ale rovněž délka jejího působení. Čím déle jsou rostliny chladu vystaveny, tím nevratnější jsou příslušné změny. Symptomy poškození chladem jsou často patrné až s delším odstupem od jeho působení a důležitá je i teplota, která v tomto období působí na rostliny. Naopak poškození mrazem se často projevuje okamžitě po roztátí ledových krystalů. K symptomům mrazového poškození patří ztráta turgoru poškozených částí, kroucení, vadnutí a černání (Prášil et al., 2010).

Rostliny disponují širokým rozsahem citlivosti k teplotním extrémům. U některých může již působení mírného chladu vést k poškození nebo odumření, naopak řádně aklimatizované rostliny jsou schopny přežít teploty hluboko pod bodem mrazu. Pro rostlinu je nejproblematictější, pokud je stresována mrazovými teplotami během vegetace, kdy je fyziologicky aktivní (Bigras and Colombo, 2001).

3.5.2.1 Vliv nízkých teplot na fotosyntézu

Fotosyntéza je obvykle prvním procesem, který je ovlivněn nízkými teplotami (a stresem obecně) (Hikosaka et al., 2006). Se stoupající intenzitou stresu klesá rychlost fotosyntézy (Koyro, 2006). Feng et al. (2017) ve své práci uvádí snížení fotosyntézy u rostlin stresovaných ozónem a Hniličková et al. (2017) pozorovali u listů rostlin *Eruca sativa* (L.) Mill. výrazné snížení rychlosti fotosyntézy při rostoucím zasolení. Průkazný pokles fotosyntézy byl zaznamenán u bavlníku (*Gossypium* sp.) po působení nočních chladových teplot (Holaday et al., 2016). Ovlivnění nízkými teplotami může podle (Partelli et al., 2009) přetrvat i několik dní, i když byly pro rostliny navozeny optimální teplotní podmínky.

Nízká teplota patří mezi faktory, které významně ovlivňují fotosyntetickou kapacitu (Hendrickson et al., 2004) a pozměňují lipidy a další části membrán chloroplastů, v důsledku změny fluidity membrán. To způsobuje tuhnutí a následné změny funkce membrán (Jouyban et al., 2013). Pokles fotosyntetické aktivity v důsledku působení nízkých teplot je podle Lidon et al. (2001) způsoben poklesem fixace CO₂, což je důsledek snížení aktivity enzymů tylakoidní membrány. Rovněž dochází k výrazné inhibici enzymů temnostní fáze účastnících se fixace CO₂ a zvyšuje se podíl zachycené energie, kterou nelze plně využít pro fotosyntézu (Kingston Smith and Foyer, 2000). To způsobuje hromadění přebytečné energie ve fotosystému II (PS II). Tato energie je uvolněna ve formě tepla a s ní spojený pokles fluorescence chlorofylu a (Špulák a Martincová, 2006). Snadno tak dochází k fotoinhibici, kterou Tyystjärvi (2013) popisuje jako důsledek hromadění přebytečné energie (často při vysoké intenzitě záření) způsobený poklesem fotosyntézy.

3.5.2.2 Vliv nízkých teplot na vodivost průduchů a transpiraci

Působení nízkých teplot na rostliny je podle Zhou et al. (2009) často v souvislosti s poklesem slunečního záření (noční pokles teplot). Kyselina abcisová (ABA) ovlivňuje uzavírání průduchů, avšak nízká teplota v případě k chladu citlivých rostlin způsobuje to, že průduchy se otevírají v reakci na ABA. Nízká teplota (noční) způsobuje otevírání průduchů v noci (Allen and Ort, 2001). To může způsobovat pokles vodního potenciálu listů (Ψ_L) před svítáním a rovněž vést k omezení vodivosti průduchů v průběhu dne (Allen et al., 2000). V případě některých chladu tolerantních rostlinných druhů (*Commelina communis* L., *Pisum sativum* L., *Spinacia oleracea* L.) dochází v reakci na nízkou teplotu k uzavírání průduchů, tím tak zamezují ztrátám vody transpirací (Wilkinson et al., 2001).

Často pozorované vadnutí listů u chladu citlivých rostlin může podle Lukatkin et al. (2012) omezovat jednak růst a fotosyntetickou aktivitu, ale i existenci rostliny. Farooq et al. (2009) uvádí, že uzavřením průduchů si mohou k chladu odolné rostliny (*Triticum aestivum* L., *Hordeum vulgare* L., *Secale cereale* L.) zajistit dostatečný vodní potenciál a zabránit tak ztrátám vody transpirací, naopak citlivé rostlinné druhy je často nechávají otevřené. Wilkinson et al. (2001) ve své práci uvádí, že rostliny chladuvzdorné křížatky obecné (*Commelina communis* L.) uzavřely průduchy krátce po snížení teploty z 27 na 7 °C, zatímco rostliny chladu citlivého tabáku selského (*Nicotiana rustica* L.) až na počátku vadnutí listů.

Při působení nízkých teplot dokáží rostliny pomocí rychlého uzavření průduchů zamezit dehydrataci listů, neboť je limitován příjem vody nízkou teplotou (Allen and Ort, 2001). Rovněž i Aroca et al. (2005) zaznamenali uzavírání průduchů v důsledku působení nízkých teplot, způsobený snížením hydraulické vodivosti kořenů. Uzavírání průduchů v souvislosti s působením nízkých teplot se však může projevit podle Ikkonen et al. (2012) jako důsledek působení nízkých teplot na svěrací buňky průduchu. Velice důležité jsou v tomto případě enzymy, jenž aktivně udržují osmotický potenciál svěracích buněk (Daszkowska-Golec and Szarejko, 2013).

Významnou roli při transpiraci a fotosyntéze hrají průduchy (Ohsumiho et al., 2007). Existuje těsná korelace mezi vodivostí průduchů a procesem fotosyntézy, jak uvádí Kanemura et al. (2005) např. u rýže seté (*Oryza sativa* L.). Podle Fenga and Caoa (2005) na fotosyntézu působí nízká teplota prostřednictvím několika mechanismů, ovlivňuje vodivost průduchů a také fotosyntetické enzymy.

3.5.2.3 Vliv nízkých teplot na vlastnosti buněčných membrán

Nízké teploty inhibují kinetiku chemických reakcí, to ovlivňuje všechny enzymaticky katalyzované reakce probíhající v živých organismech. Fluidita (tekutost) buněčných membrán, respektive její pokles náleží mezi první významné fyziologické změny, ke kterým dochází v důsledku působení nízkých teplot (Prášil et al., 2010). Podle Hopkins and Hüner (2004) je tato fyzikální změna reversibilní. Změna fluidity membrán negativně ovlivňuje některé fyziologické reakce, např. transformaci energie (respirace, fotosyntéza), selektivní transport molekul, metabolickou přeměnu látek, či procesy spojené s přenosem informací, které probíhají v membránách (Prášil et al., 2010).

Stavebními kameny membránových lipidů jsou diacylglyceridy, ty jsou tvořeny dvěma mastnými kyselinami s 16ti nebo 18ti atomy uhlíku, z nichž jsou některé nasycené a jiné nenasycené. U nasycených mastných kyselin (a lipidy, které je obsahují) je vyšší bod tuhnutí v porovnání s nenasycenými. Zastoupení těchto dvou skupin mastných kyselin zásadně ovlivňuje fluiditu membrán. Vyšší podíl nasycených mastných kyselin je prokázán u k chladu citlivých rostlin, což způsobuje přechod membrán z polotekutého stavu do stavu gelu či semikrystalického stavu při vyšší teplotě. Tento stav je označován jako „teplota fázového přechodu“. Naopak u chladuvzdorných rostlin je podíl nasycených mastných kyselin menší, a tudíž dochází k fázovému přechodu při nižší teplotě (Hopkins and Hüner, 2004). U rostlin, které prodělaly chladovou aklimaci, došlo pomocí desaturace membránových lipidů, ke zvýšení podílu nenasycených mastných kyselin, což snížilo teplotu fázového přechodu. To podle Prášil et al. (2010) umožňuje zachování fluidity membrán při nižší teplotě.

Nízká teplota způsobuje mimo membránových změn i řadu dalších změn; tvoří se nové izoenzymy a některé organické kyseliny, zvyšuje se obsah osmoticky aktivních látek (cukry, rozpustné aminokyseliny) a prolinu. Některé tyto změny mají pravděpodobně vliv na stupeň odolnosti k chladu. Dále se při působení nízké teploty tvoří a hromadí některé rozpustné bílkoviny, které zvyšují odolnost k chladu (Sreenivasulu et al., 2007).

Rizika spojená s poškozením buněčné membrány mrazem spočívají v působení mechanické síly tvořícího se ledu v apoplastu (Gusta and Wisniewski, 2012). Při styku biomembrány s krystaly ledu dochází k její desintegraci (Beck et al., 2007).

3.5.3 Působení chladu

K chladu citlivé rostliny jsou zejména druhy tropického a subtropického původu. Lilek rajče (*Solanum lycopersicum* L.), okurka setá (*Cucumis sativus* L.), čočka kuchyňská (*Lens culinaris* L.), sója luštinatá (*Glycine max* (L.) Merrill.), kukuřice setá (*Zea mays* L.), banánovník (*Musa* sp.) a bavlník srstnatý (*Gossypium hirsutum* L.) jsou velice citlivé a symptomy poškození nízkou teplotou se projevují při teplotě pod 10 až 15 °C (Hopkins and Hüner, 2004). U některých tropických druhů, které jsou extrémně citlivé, nastává poškození již při teplotě 22 °C (Prášil et al., 2010). I některé rostliny mírného pásma, např. chřest (*Asparagus* sp.) a lilek brambor (*Solanum tuberosum* L.) mohou být podle Hopkins and Hüner (2004) poškozeny teplotou nad bodem mrazu (0 až 5 °C).

Většina rostlinných druhů mírného pásma je k chladu převážně odolná. Avšak některá jejich vývojová stadia mohou být podle Prášil et al. (2010) citlivá, např. klíčení semen a vzcházení rostlin. Obzvláště citlivý na nízké teploty je u některých rostlinných druhů reprodukční vývoj. Hopkins and Hüner (2004) uvádí, že u rostlin rýže seté (*Oryza sativa* L.), které byly vystaveny chladu v době kvetení vznikly sterilní květy. Různou citlivost k chladu vykazují i jednotlivé rostlinné orgány. Velice citlivé jsou podle Prášil et al. (2010) a Thakur et al. (2010) reprodukční a vegetativní orgány, zejména rychle rostoucí pletiva s vysokým obsahem vody.

K chladu citlivá pletiva vykazují celou řadu příznaků a metabolických poruch. Hopkins and Hüner (2004) uvádí: omezení fotosyntézy, dýchání, syntézy bílkovin a narušení proudění protoplazmy. Podle Verlues et al. (2005) je to způsobeno vyšší propustností membrán, neboť k chladu citlivé rostliny nedokážou zachovat polotekutost biomembrán, což by jim umožnilo přizpůsobit se nižší teplotě. Hewezi et al. (2006) zaznamenal ve své práci omezený růst slunečnice roční pěstované při chladových teplotách (7 a 15 °C) v porovnání s rostlinami slunečnice rostoucími v kontrolních podmínkách (25 °C). Mezi faktory, které způsobují poškození u k chladu citlivých rostlin, patří podle Prášil et al. (2010) poruchy metabolismu buněk, příjmu vody a důležitých látek a dále postupné vyčerpání rostliny.

Samostatné působení nízké teploty na rostliny, jako i další environmentální stresy, se vyskytuje velice zřídka. Mezi další faktory, které současně působí s nízkou teplotou, se řadí např.; intenzita světla, relativní vzdušná vlhkost a třeba také citlivost rostliny k nízkým teplotám. Čím delší je působení nízké teploty na rostlinu, tím je větší a nevratnější její

poškození. Regenerace rostliny, která byla poškozená nízkými teplotami, závisí na rostlinném druhu a geneticky podmíněné citlivosti k chladu (Kratsch and Wise, 2000).

3.5.4 Působení mrazu

Rostliny poškozené mrazem vykazují různé příznaky; dochází ke zpomalení či zastavení růstu, objevuje se vadnutí a chlorózy listů, sterilita a v některých případech i uhynutí rostliny (Taulavuori et al., 2011). Poškozeny jsou i procesy fotosyntézy a dýchání, mění se permeabilita membrán, což ovlivňuje proudění cytoplasmy. Membrány jsou považovány za velmi citlivá místa, která svým mrazovým poškozením spouští kaskádu jevů, které způsobují další typy poškození (Ferdous et al., 2017). Mrazové teploty způsobují rychlou tvorbu ledových krystalů nejprve v apoplastu. Apoplastické tekutiny tuhnou při vyšší teplotě, v porovnání s nitrobuňčnou vodou, která má nižší bod tuhnutí. Tento rozdíl způsobuje vznik gradientu a přesun nitrobuňčné vody do mezibuňčných prostor. To způsobuje silnou dehydrataci a kontrakci protoplastů buněk. U rostlin zchlazených na $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ dochází ke ztrátě více než 90 % aktivní vody, což způsobuje různé typy mechanického poškození, zejména u membrán. V opačném procesu, při tání ledových krystalů, dochází k návratu uvolněné vody z apoplastu do cytoplasmy (Prášil et al., 2010).

Významný faktor, který udává schopnost rostliny tolerovat nebo vyhnout se mrazovému poškození je rychlost mrznutí a tání, které podle Nilsen and Orcutt (1996) významně ovlivňuje míru poškození rostlinných pletiv. Rychlé zmrznutí (např. tekutým dusíkem), dokáže rostlinné pletivo podle Scott (2008) přežít, neboť vznikají pouze malé krystaly ledu. Způsobené poškození je tak minimální nebo žádné. V přírodě se však tento typ mrznutí nevyskytuje.

Nízká teplota se řadí mezi vnější faktory, které omezují geografickou distribuci rostlin. Chladová aklimace (otužování) u rostlin mírného pásma může zvyšovat jejich odolnost vůči mrazu. Při tomto procesu dochází k akumulaci kryoprotektivních látek (např. polyaminy) a enzymatickým změnám (Wiese et al., 2004).

3.5.5 Proteiny a adaptace

Působení nízkých teplot způsobuje závažné poškození chloroplastů, zejména jejich membrán, které jsou citlivé na různé environmentální podněty. Zastavuje se tvorba některých proteinů, ale zároveň se tvoří nové typy s ochrannou funkcí (Kadohama et al., 2013).

Rostliny si vyvinuly několik strategií pro přizpůsobení se klimatickým stresům, například úpravami fenologie, morfologie, preferencí zakrslého habitu a úpravou fyziologických a biochemických pochodů (Lukatkin et al., 2012). Nejčastější strategií rostlin je tolerance k mrznutí, která jim umožňuje přežít působení mrazových teplot. Schopnost zvýšit toleranci proti mrznutí v reakci na nízké teploty ($> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$), tj. studená aklimace, je nezbytná pro přežití rostlin v mírném pásmu. Předpokládá se, že studená aklimatizace je řízena komplexem genů indukovaných při nízkých teplotách a zahrnuje řadu změn, které mohou chránit rostlinné buňky před mrazem. Produkty těchto genů vedou ke konečnému zvýšení odolnosti proti mrazu. Vzhledem ke složitosti změn požadovaných pro dosažení maximální odolnosti vůči chladu, může se do celkového procesu chladové aklimace zapojit mnoho genů (Schubert et al., 2017).

Aklimatizované rostliny musí být schopny růst a vyvíjet se i v oblastech, které se vyznačují nízkými teplotami po celý rok. Existují v zásadě dva způsoby, jak toho mohou rostliny dosáhnout; (1) využívají pouze nejteplejší období jinak velmi chladného klimatu, což klade důraz na rychlost růstu a vývoje rostlin nebo (2) jejich růst a vývoj probíhá za převládajících chladných podmínek (Körner, 2016).

Udržení integrity a tekutosti membrán má zásadní význam pro rostliny, které jsou stresovány nízkými nebo naopak vysokými teplotami. Snížení stupně nenasycenosti membránových lipidů při vysokých teplotách a její zvýšení při nízkých teplotách, vede k zachování funkčnosti membrán. Tato strategie nemůže být uplatněna rostlinami v ekosystémech a prostředích s častými změnami teplot (vysoké denní a nízké noční), protože změny v nenasycenosti lipidů jsou složité a vyžadují velké množství energie. Tyto rostliny udržují stejný stupeň nenasycenosti membránových lipidů a místo toho mění složení membránových lipidů, což vyžaduje méně energie (Zheng et al., 2011).

Velký význam v ochraně buněk před působením mrazových teplot mají protimrazové proteiny (Antifreeze proteins), které se nacházejí v širokém spektru přezimujících rostlin, kde inhibují tvorbu ledových krystalů v mezibuněčných prostorech. Například v ozimém žitu (*Secale cereale* L.) dochází k hromadění těchto protimrazových proteinů jako reakce na

působení nízkých teplot, krátkého dne a dehydratace (Yu and Griffith, 2001; Griffith et al., 2003). Poškození buněk je obvykle způsobeno jejich dehydratací, avšak poškození může také nastat, pokud jsou rostliny dlouhodobě zmrzlé, neboť led prochází spontánním procesem tzv. rekrystalizace, při které se ledové krystaly spojují, aby minimalizovaly svoji plochu. Na rozdíl od většiny osmotických látek, které jsou během mrznutí jednoduše tlačeny před ledovými krystaly, se protimrazové proteiny nevrátí na povrch ledu a jsou začleněny do krystalické mřížky ledu. To zamezuje navázání dalších molekul vody na ledové krystaly, které se dále nemohou zvětšovat (Yu et al., 2010).

Mrazové teploty v mnoha oblastech omezují zemědělskou výrobu. Vyšší výnosy mohou být dosaženy zlepšením tolerance přezimujících plodin k mrazu nebo zvýšením odolnosti k mrazu citlivých plodin. Protimrazové proteiny navíc mohou zvyšovat skladovatelnost a zlepšovat kvalitu zmrazených potravin tím, že zamezují rekrystalizaci ledu (Griffith and Yaish, 2004).

3.6 Regulace plevelů ve slunečnici

3.6.1 Specifika regulace plevelů ve slunečnici

Pěstování slunečnice má několik úskalí. Jedním z nich je regulace plevelů, která je základním předpokladem úspěšného pěstování této plodiny (Nadasy et al., 2008). Slunečnice patří k plodinám se střední až nižší konkurenční schopností. V porovnání s ostatními širokořádkovými plodinami jako je cukrovka nebo kukuřice však vykazuje slunečnice vyšší konkurenční schopnost. Kritické období z hlediska konkurence plevelů nastává u slunečnice mezi 20. a 50. dnem od výsevu (Wanjari et al., 2001). V tomto období je třeba zajistit porost bez plevelů. Konkurenční působení plevelů se projevuje snížením výnosu, který v závislosti na době trvání, plevelném spektru, hustotě zaplevelení a dalších faktorech může být snížen o 30–60 %, v extrémních případech až o 80 % (Carranza et al., 1995).

Regulace plevelů ve slunečnici byla v ČR donedávna postavena téměř výhradně na aplikaci preemergentních herbicidů, respektive jejich TM kombinací. Za sucha, a především na těžších půdách však v některých letech docházelo ke snížení účinnosti, a to zejména na plevele vzcházející z hlubších vrstev půdního profilu. Problémem preemergentního ošetření je také nedostatečná účinnost na vytrvalé plevele, především pcháč, kdy na pozemcích se

středním a silným zaplevelením těmito plevele nebylo možné slunečnici pěstovat (Jursík et al., 2012).

V současné době není k regulaci dvouděložných plevelů v konvenčních odrůdách slunečnice k dispozici žádný spolehlivý postemergentní herbicid. S ohledem na plochu slunečnice v ČR a vysokou citlivost k postemergentním herbicidům, je množství herbicidů registrovaných do slunečnice relativně malé. Tato nepříznivá situace se změnila po zavedení HT technologií (Clearfield, ExpressSun), kdy pěstitelé mají možnost použít vysoce účinné postemergentní herbicidy, které dosud nebylo možné aplikovat v konvenčních odrůdách slunečnice z důvodu fytotoxicity. Tyto herbicidy vykazují dobrou účinnost i za sucha a působí také na některé vytrvalé plevele včetně pcháče rolního, které představovaly pro slunečnici neřešitelný problém (Jursík et al., 2017).

3.6.2 Selektivita herbicidů

Selektivita je schopnost herbicidů účinkovat na určité druhy rostlin (plevele), a zároveň nepoškozovat jiné druhy (plodiny). Rozdíly v míře selektivity u jednotlivých herbicidů jsou nejčastěji vyjadřovány tzv. kvociem selektivity (Q_s). Je to poměr mezi dávkou herbicidu, kteroužto dochází k 10 % poškození plodiny a dávkou zajišťující 90% účinnost na plevele (Jursík et al., 2011). Tento vztah lze vyjádřit následujícím vzorcem:

$$Q_s = \frac{ED_{10\text{plodina}}}{ED_{90\text{plevel}}}$$

Čím vyšší je selektivita herbicidu, tím vyšší je rozpětí hodnot těchto dávek a kvociem nabývá větších hodnot. Z celkového množství používaných herbicidů v zemědělství je většina selektivní, avšak je to pouze relativní hodnota, která závisí na mnoha faktorech (podmínky prostředí, termín aplikace, dávka herbicidu, aplikační technika atd.). Pokud je dávka herbicidu dostatečně vysoká mohou k ní být citlivé i tolerantní druhy. Příznaky fytotoxicity se mohou objevit i v případě dodržení aplikačních zásad, nejčastěji za nepříznivých povětrnostních či půdních podmínek nebo u deficitních porostů. Samotný projev závisí na druhu použité účinné látky a podmínkách při aplikaci. Mírné příznaky fytotoxicity bývají poměrně běžné. Po jejich odeznění (několik dnů až týdnů) většinou nemají za následek výnosové ztráty (Soukup 2005).

Selektivita herbicidů je založena na různých mechanismech, které se mohou vzájemně doplňovat. **Fyziologicky podmíněná selektivita (degradace herbicidu v rostlině)** je nejběžnější způsob selektivity, který je založen na fyziologických a biochemických odlišnostech mezi rostlinnými druhy. Odolné rostliny (plodiny) mají schopnost rychlé metabolizace herbicidu, produkují větší množství cílového enzymu, na který má herbicid působit nebo mají jeho strukturu mírně pozměněnou. **Morfologicko-anatomicky podmíněná selektivita** je založena na morfologických či anatomických rozdílech (postavení listů, umístění dělivých pletiv, povrchové bariéry - hustota trichomů, vosková vrstvička atd.) mezi plodinou a citlivými plevely, které ovlivňují průnik herbicidu do rostliny. **Poziční selektivita** bývá využívána u preemergentních herbicidů. Je založena na rozdílné zóně kořenového příjmu herbicidu mezi plevelem a plodinou (hlubší setí). Po preemergentní aplikaci půdního herbicidu se na povrchu půdy vytvoří herbicidní film, který zamezuje vzcházení citlivých plevelů (O'Connor-Marer, 2000; Jursík et al., 2011).

Selektivita herbicidů může být ovlivněna, kromě výše popsaných mechanismů i celou řadou dalších faktorů, jako je např. vrozená citlivost rostlin k herbicidu, dávka herbicidu a jeho formulace, přídavné látky-adjuvanty, termín aplikace, vývojová fáze plodiny, stav počasí, ale také půdní typ a pH (Rao, 2000).

3.6.3 Technologie využívající odolnosti odrůd k herbicidům (HT technologie)

Vývoj nového herbicidu stojí stovky miliónů dolarů a trvá často osm až deset let, než je uveden na trh (Reade and Cobb, 2002). Nově vyvinutý herbicid lze často použít pouze v omezeném počtu plodin, v nichž je selektivní, a proto se taková investice vyplatí pouze u plodin s celosvětově velkým významem. Agrochemické společnosti se proto v posledních 20 letech soustředily na možnost použití stávajících vysoce účinných herbicidů v plodinách, ve kterých nebylo dosud možné tyto herbicidy použít z důvodu fytotoxicity. Začaly tak vznikat technologie ochrany proti plevelům založené na herbicidní toleranci (HT). U některých herbicidů, především ze skupiny ALS inhibitorů (Tan et al., 2005), se podařilo konvenčními šlechtitelskými postupy vytvořit hybridy slunečnice, kukuřice, řepky atd. tolerantní k těmto herbicidům. U jiných herbicidů (glyphosate a glufosinate-NH₄) bylo možné vytvořit tolerantní odrůdy pouze genetickou modifikací (GM), což však brání jejich rozšíření ve státech EU, kde se dosud tyto GM technologie nesmí komerčně využívat. Zavedení HT technologií znamenalo výrazný pokrok v regulaci plevelů především v plodinách, kde byly možnosti herbicidní

ochrany omezené a regulace plevelů byla velmi obtížná, tedy mimo jiné také ve slunečnici (Jursík et al., 2011).

Nejpoužívanější HT technologií aplikovanou ve slunečnici je ClearField[®], jejíž hybridy mají gen odolnosti k imidazolinovým herbicidům (Pfenning et al., 2008), ten byl objeven v Kansasu (USA) v roce 1996 u populace planě rostoucí slunečnice (Al-Khatib et al., 1998). První Clearfield hybridy byly komerčně použity v USA, Argentině a Turecku v roce 2003 (Tan et al., 2005). V ČR jsou do této technologie registrovány herbicidy obsahující účinnou látku *imazamox*, která působí na široké spektrum jednoletých dvouděložných a trávovitých plevelů, ale také na mnohé vytrvalé plevele (Jursík et al., 2015).

Vedle této technologie byla v ČR v roce 2012 zavedena také ExpressSun[®] technologie (Jocic et al., 2011), jež využívá odolnosti hybridů k účinné látce *tribenuron* (herbicid Express 50 SX). ExpressSun hybridy vznikly ze dvou různých genových zdrojů: 1) DuPont Chemical Company a 2) ze spolupráce Dr. Kasim Al-Khatib a Dr. Jerry Miller (Zollinger, 2004). Odolnost těchto hybridů k *tribenuronu* je založena homozygotně (obě rodičovské linie mají odolnost k *tribenuronu*) nebo heterozygotně (jen jedna ze dvou rodičovských linií má odolnost k *tribenuronu*). Hybridy s heterozygotně založenou odolností jsou více citlivé k *tribenuronu*. Tato účinná látka působí pouze na dvouděložné plevele. V případě výskytu trávovitých plevelů lze v systému ExpressSun použít preemergentně některý půdní přípravek, který však může za sucha selhat, nebo aplikovat listový graminicid. Společné ošetření (tank-mix kombinace) sulfonylmočoviny a listového graminicidu však představuje určitá rizika. Jednak může dojít ke snížení účinnosti na trávovité plevele, ale především se zvyšuje riziko poškození slunečnice. To platí zejména u hybridů, jejichž odolnost k *tribenuronu* je založena heterozygotně. Vyšší pravděpodobnost poškození slunečnice je i v případě, že je ošetření slunečnice provedeno za nevhodných povětrnostních podmínek (Jursík et al., 2015).

Obě výše uvedené technologie jsou založeny na hybridech, které nevznikly genetickou modifikací, ale přirozenou mutací acetolaktát syntetázy, jejich pěstování proto nepodléhá ohlašovací ani jiným administrativním a technickým povinnostem, jako je tomu u GM plodin. Ve většině zemí, kde byly HT technologie zavedeny, došlo k jejich rychlému a masivnímu uplatnění. V roce 2020 zaujímaly HT hybridy 62 % a v roce 2019 to bylo 65 % z celkové pěstitelské plochy slunečnice v ČR. Na Slovensku a v jižních státech je podíl těchto technologií ještě podstatně vyšší, pohybující se nad hranicí 70 a více procent z celkové pěstitelské plochy slunečnice dané země (Málek, 2020).

3.6.3.1 Inhibitory acetolaktát syntézy (ALS inhibitory)

Acetolaktát syntéza (ALS) označována též jako acetoxyacid syntéza (AHAS) je klíčový enzym při biosyntéze esenciálních rozvětvených aminokyselin valinu, leucinu a izoleucinu. Všechny herbicidy z této skupiny inhibují aktivitu tohoto enzymu lokalizovaného v chloroplastech rostlinných buněk. Zablokováním funkce ALS se bezprostředně projeví zastavením tvorby jmenovaných aminokyselin a následně i proteinů. Druhotným důsledkem je inhibice syntézy DNA a zástava buněčného dělení v meristematických pletivech, následně pak omezení transportu asimilátů vodivými pletivy a zastavením růstu (Tan et al., 2005, Jursík et al., 2010a).

Přestože k inhibici růstu (zastavení buněčného dělení) dochází okamžitě po aplikaci ALS inhibitorů, vizuální projevy poškození se většinou objevují až za několik dní. To je způsobeno určitou zásobou aminokyselin v buňkách, která může několik dní udržovat funkční metabolismus. Až po vyčerpání těchto zásob pod kritickou hladinu dojde k destruktivním změnám způsobeným rozpadem důležitých biochemických pochodů. Z počátku dochází ke zpomalení až zastavení růstu, později ke žloutnutí zejména mladých listů (mezi nervaturou), u některých dvouděložných rostlin se listová nervatura ze spodní strany zbarvuje do fialova. Typické je také antokyanové zbarvení trávovitých plevelů. Následně dochází k zaschnutí vegetačního vrcholu. Kořeny často nepřirozeně větví. V rostlině jsou ALS inhibitory obvykle dobře rozváděny xylémem i floémem na místo působení – vegetační vrchol (Jursík et al., 2011).

3.6.3.2 Inhibitory ACCasy (listové graminicidy)

Acetyl-CoA karboxylasa (ACCasa) je enzym, který se podílí na transkarboxylaci acetyl-CoA na malonyl-CoA, tedy první reakci při biosyntéze mastných kyselin. ACCasa je víceúčelový protein o velké molekulární hmotnosti s třemi odlišnými funkčními místy působení: biotin karboxylasa, biotin karboxyl proteinový nosič (BCCP) a acetyl-CoA transkarboxylasa. Předpokládá se, že právě acetyl-CoA transkarboxylasa je působením herbicidů z této skupiny ovlivněna (Naylor et al., 2002).

ACCasa je podle Takano et al. (2019) lokalizována v chloroplastech a cytoplazmě buněk dělivých pletiv, proto jsou vizuální příznaky poškození nejvíce patrné v místech s vysokou koncentrací meristémových buněk (mladé listy). Dochází zde k nevratnému porušení tvorby buněčných membrán, především tylakoidních. Druhotně je inhibována také mitóza a syntéza DNA. Většina herbicidů z této skupiny blokuje ACCasu pouze v chloroplastech, pouze *pinoxaden* inhibuje ACCasu také v cytoplazmě (duální efekt).

Inhibitory ACCasy jsou dle chemického členění aryloxy-fenoxypropionáty (jejich isomery) neboli „fopy“, cyklohexandiony neboli „dimy“ a nejnověji také phenylpyrazoliny neboli „deny“ (Dayan et al., 2019). Herbicidně účinné jsou však pouze R isomery (S isomery obvykle komerční přípravky neobsahují). Většina fopů je formulována jako estery (ethyl, methyl atd.), které usnadňují příjem a transport do buněk, kde jsou pak rychle přetvořeny cytoplazmatickými esterasami na kyseliny a rozváděny cévními svazky (především floémem) po celé rostlině. Listový příjem dimů může být oproti fopům nižší, zejména při horších aplikačních podmínkách (Jursík et al., 2018).

4 Materiál a metody

V nádobových a maloparcelních polních pokusech byl hodnocen vliv nízkých teplot a herbicidního ošetření na rostliny slunečnice na počátku vegetace (fáze BBCH dle Lancashire et al., 1991). V nádobových pokusech byla jedna skupina rostlina ošetřena jednorázově postřikem ve fázi BBCH 12 a druhá ve fázi BBCH 16. V polních podmínkách byl postřik aplikován ve fázi BBCH 14, kdy se nacházelo v této vývojové fázi 75 % porostu.

4.1 Rostlinný materiál

Do pokusů byl vybrán hybrid PR63E82 (ExpressSun technologie), jehož osivo dodala firma Pioneer. Tento hybrid je odolný k účinné látce *tribenuron*. Jeho odolnost je však založena heterozygotně (pouze jeden z rodičů vnáší gen odolnosti), což může způsobovat nižší odolnost k *tribenuronu*, jestliže je herbicidní ošetření provedeno za nepříznivých povětrnostních podmínek (nízké teploty před i po aplikaci a intenzivní srážky před aplikací).

4.2 Nádobové pokusy

4.2.1 Příprava rostlinného materiálu

Výsev osiva slunečnice se uskutečnil na jaře ve dvou termínech (3. dekáda března a polovina dubna) s cílem dosažení dvou odlišných růstových fází ve stejném termínu (dva pravé listy - BBCH 12 a šest pravých listů - BBCH 16 při ošetření herbicidy).

Nažky slunečnice byly vysety do plastových pěstebních nádob o velikosti 11x11x12 cm s homogenizovanou směsí zahradnického substrátu (základem byla rašelina) a zeminy (černozem; 19,3 % jílovitých částic; 3,5 % humusu; pH 7,5; kationtová výměnná kapacita 209 mmol) do hloubky 2 cm. V každé pěstební nádobě byla jedna rostlina slunečnice. Rostliny byly pěstovány ve vegetační hale, po dosažení požadovaných růstových fází byly ošetřeny herbicidy.

4.2.2 Aplikace herbicidů

Herbicidy byly aplikovány jednorázově v růstové fázi dvou (BBCH 12) a šesti (BBCH 16) pravých listů slunečnice. Popis použitých herbicidů je v tabulce 2. Aplikace herbicidů byly provedeny nádobovým postřikovačem Avico PK-1 s tryskou Lurmark 015 F80, aplikační tlak byl 0,2 MPa a dávka postřikové jichy byla 200 l/ha.

Tabulka 2: Popis použitých herbicidů a adjuvantu

Přípravek	Účinná látka	Formulace	Obsah úč. látky (g.kg ⁻¹)	Použitá dávka úč. látky (g.ha ⁻¹)
Express	<i>Tribenuron-methyl</i>	SX	500	22
Garland Forte	<i>Propaquizafop</i>	EC	100	100
Trend 90*	<i>Isodecyl alcohol ethoxylate</i>	EC	900	225

* adjuvant

4.2.3 Působení nízkých teplot

Po aplikaci herbicidů byly rostliny (včetně neošetřené kontroly) přeneseny do klimatické komory Conviron E8, kde byly vystaveny odlišným teplotním režimům. Rozdíly mezi testovanými teplotními režimy jsou uvedeny v tabulce 3. Světelný režim v komoře byl 14/10 h světlo/tma, relativní vlhkost vzduchu činila 70 % a osvětlení se pohybovalo od 0 až do 560 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (noc/den). Následně byly rostliny přeneseny do vegetační haly k 24 hodinové regeneraci. Po této době bylo zahájeno hodnocení poškození. Celkový přehled variant nádobových pokusů je uveden v tabulce 4. Každá varianta měla 3 opakování.

Tabulka 3: Popis jednotlivých teplotních režimů

teplotní režim	hodina																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
-5 °C	-3	-4	-5	-5	-5	-3	0	3	5	7	8	9	9	10	10	9	8	7	6	4	2	0	-1	-2
0 °C	3	2	1	0	0	1	3	6	8	9	10	11	12	13	13	13	13	13	11	8	7	6	5	4
10 °C	12	11	11	10	10	11	12	13	15	15	16	16	17	17	17	17	17	17	15	14	13	12	12	12

Tabulka 4: Přehled variant nádobového pokusu

Teplotní režim °C	růstová fáze (BBCH)	herbicide (adjuvant)
-5	12	Neošetřená kontrola
		<i>Tribenuron (Isodecyl alcohol ethoxylate)</i>
		<i>Propaquizafop</i>
	16	<i>Tribenuron+ Propaquizafop</i>
		Neošetřená kontrola
		<i>Tribenuron (Isodecyl alcohol ethoxylate)</i>
0	12	<i>Propaquizafop</i>
		<i>Tribenuron+ Propaquizafop</i>
		Neošetřená kontrola
	16	<i>Tribenuron (Isodecyl alcohol ethoxylate)</i>
		<i>Propaquizafop</i>
		<i>Tribenuron+ Propaquizafop</i>
10	12	Neošetřená kontrola
		<i>Tribenuron (Isodecyl alcohol ethoxylate)</i>
		<i>Propaquizafop</i>
	16	<i>Tribenuron+ Propaquizafop</i>
		Neošetřená kontrola
		<i>Tribenuron (Isodecyl alcohol ethoxylate)</i>
	16	<i>Propaquizafop</i>
		<i>Tribenuron+ Propaquizafop</i>

4.2.4 Metody měření fyziologických charakteristik rostlin z nádobových pokusů

Stresové vlivy působící na rostliny (aplikace herbicidů a nízké teploty), mohou v rostlinách krátkodobě snížit intenzitu fotosyntézy a transpirace. Na rostlinách slunečnice byly měřeny následující fyziologické charakteristiky – fluorescence chlorofylu *a*, výměna plynů, koncentrace fotosynteticky aktivních pigmentů, poškození rostlin a stanovení sušiny.

Fluorescence chlorofylu *a*: potenciální fotochemická efektivita elektronového transportu ve fotosystému II (F_v/F_M) podle Kautsky and Hirsch (1934)

Měření fluorescence probíhalo pomocí přenosného fluorometru s technologií pulzní modulace ADC:OSI 1 FL (ADC Bio Scientific Ltd., Hoddeson, UK). Byly měřeny hodnoty potenciální fotochemické efektivy elektronového transportu ve fotosystému II (F_v/F_M), maximální fluorescence (F_M), základní fluorescence (F_0) a hodnoty variabilní fluorescence (F_v), které byly stanoveny přístrojem z hodnot maximální fluorescence (F_M) a základní fluorescence (F_0) na základě matematického vztahu $F_v = F_M - F_0$.

Před měřením byly listy adaptovány ve tmě po dobu nejméně 20 min. v listové klipsně. Na každé rostlině byla provedena 3 měření, a to vždy na vývojově stejně starých listech.

Měření rychlosti čisté fotosyntézy (*A*), stomatální vodivost průduchů (*gs*) a rychlosti transpirace (*E*)

K tomuto účelu byl využit přenosný gazometrický infračervený analyzátor plynů LCpro+ (ADC Bio Scientific Ltd., Hoddeson, UK). Teplota v listové komoře byla nastavena vždy na 25 °C a intenzitě záření na 650 $\text{mmol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$. Měření na každé rostlině probíhalo 12 minut a hodnoty byly zaznamenávány po 1 minutě.

Měřené parametry:

- výkon čisté fotosyntézy *A* [$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$]
- stomatální vodivost průduchů *gs* [$\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$]
- úroveň transpirace *E* [$\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$]

Koncentrace fotosynteticky aktivních pigmentů - chlorofylu *a* a *b* a karotenoidů v listech podle Porry et al. (1989)

Ve fázi BBCH 16 a 19 (po 3 týdnech) byl z 1 listu každé rostliny vyseknut 1 terčík o ploše 0,5 cm^2 . Terčík byl vložen do zkumavky s 1 ml dimethylformamidu a přikryt parafilmem společně s černou látkou proti světelné degradaci. Takto připravené vzorky byly po dobu 10 hodin promíchávány na laboratorní třepačce (OS-20, BioSan). Následující den bylo provedeno měření absorbance spektrofotometrem Helios Gamma (Thermo Scientific,

Waltham, Massachusetts, USA) při vlnových délkách 480; 646,8; 663,8 a 710 nm. Obsah celkových i jednotlivých fotosyntetických pigmentů byl vypočítán podle následujících vzorců:

Rovnice pro výpočet chlorofylu **a**:

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

Rovnice pro výpočet chlorofylu **b**:

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

Rovnice pro výpočet celkového chlorofylu:

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

Rovnice pro výpočet karotenoidů:

$$\text{Carx+c} = \frac{1000A_{480} - 1,12 \times \text{Chl a} - 34,07 \times \text{Chl b}}{5}$$

Výsledky všech rovnic jsou v mg.l^{-1} neboli $\mu\text{g.ml}^{-1}$

Do rovnic se dosazují hodnoty příslušných absorbancí, zmenšené o A_{710} .

Vizuální hodnocení poškození slunečnice a hmotnost biomasy

Hodnocení poškození slunečnice bylo prováděno odhadovou % metodou oproti neošetřené kontrole dle metodiky EPPO v BBCH 16, resp. 19, tedy 3 týdny po aplikaci. Dále byla v tomto termínu odebrána nadzemní část každé rostliny, zaznamenána její čerstvá hmotnost a následně byla při teplotě 105 °C vysušena. Po ukončení sušení byly jednotlivé vzorky opět zváženy a vypočítán obsah sušiny.

4.3 Polní pokusy

V letech 2015 až 2017 proběhly na pozemcích ČZU v Praze tři maloparcelkové polní pokusy, které byly zakládány za účelem posouzení vlivu nízkých teplot a herbicidního ošetření na rostliny slunečnice v počátečních vývojových fázích.

4.3.1 Meteorologická a pedologická charakteristika stanoviště

Charakteristika pokusného pozemku je uvedena v tabulce 5. Meteorologické údaje v období 5 dní před a po aplikaci herbicidů jsou uvedeny v tabulce 6. Ty jsou významné pro správnou interpretaci výsledků pokusů. Všechna data byla naměřena meteorologickou stanicí KARP na ČZU. Meteorologické údaje (průměrná měsíční teplota vzduchu a měsíční úhrn srážek) v průběhu pokusných let, jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 5: Charakteristika pokusného stanoviště

nadmořská výška (m n.m.)	285
půdní typ	černozem
podíl jílovitých částic (%)	19,3
obsah humusu (%)	3,5
pH půdy	7,5
kationtová výměnná kapacita (mmol)	209

Tabulka 6: Teplota a dešťové srážky 5 dní před a po aplikaci herbicidů

Rok	Termín aplikace		Průměr denních teplot (°C)	Průměr teplot přízemního minima (°C)	Úhrn Srážky (mm)
2015	15. 5. T1	před	14,3	2,6	1,6
		po	13,5	4,9	9,2
	22. 5. T2	před	12,6	4,7	9,3
		po	13,3	6,3	0,5
2016	16. 5. T1	před	13,1	5,7	2,5
		po	14,2	4,4	0,5
	20. 5. T2	před	10,6	4,1	0,5
		po	17,0	7,3	29,2
2017	2. 6. T1	před	20,3	8,8	6,8
		po	17,0	7,5	12,1
	8.6. T2	před	17,0	7,6	12,1
		po	19,8	7,9	1,8

Tabulka 7: Základní meteorologická charakteristika pokusných ročníků

Rok	Teplota vzduchu		Srážky	
	Prům. teplota (°C)	Odchylka od normálu (°C)	Úhrn srážek (mm)	% normálu
2015				
Duben	9,1	+1,6	26,4	69,1
Květen	13,6	+0,7	31,9	48,9
Červen	16,8	+1,1	38,6	53,1
Červenec	21,6	+4	31,6	47,7
Srpen	22,9	+5,4	59,7	90,2
Září	14,46	+1,26	7,7	19,3
2016				
Duben	8,8	+1,3	20	52,4
Květen	14,8	+1,6	72,5	111,2
Červen	18,2	+2,5	108,7	149,5
Červenec	19,8	+2,2	81,6	123,3
Srpen	18,8	+1,3	50	75,5
Září	17,4	+4,2	31,5	78,8
2017				
Duben	8,2	+0,7	57,6	150,8
Květen	15,2	+2,3	50	76,7
Červen	19,4	+3,7	95	130,7
Červenec	19,9	+2,3	71,4	107,9
Srpen	19,8	+2,3	80,3	121,3
Září	13	-0,2	21,5	53,8

4.3.2 Založení pokusů

Předplodinou byla v každém pokusném roce pšenice ozimá, na podzim byla provedena orba do 30 cm. Na pozemek byl na jaře aplikován ledek amonný s vápencem v dávce 200 kg/ha, který byl zapraven předseťovou přípravou, pomocí vířivých bran. Hloubka předseťové přípravy činila 10 cm. Setí bylo provedeno přesným secím strojem Monosem (Riboleau Monosem, typ MECA V4). Meziřádková vzdálenost činila 75 cm a semena byla mezi sebou v řádku vyseta na vzdálenost 18 cm. Velikost jednotlivých parcel byla 21 m² (3 x 7 m), uspořádání ve zcela znáhodněných blocích ve třech opakováních. Byl použit hybrid PR63E82 (ExpressSun), jehož odolnost k tribenuronu je založena heterozygotně (pouze jeden z rodičů nese gen odolnosti).

4.3.3 Aplikace herbicidů

Herbicidy byly aplikovány jednorázově ve dvou termínech (T1 a T2) vždy na jinou skupinu rostlin v růstové fázi slunečnice BBCH 12-14 (dva až čtyři pravé listy, 75 % porostu ve fázi BBCH 14). Polovina rostlin na každé parcele (dva řádky) byla ošetřena základní dávkou (1N) a druhá polovina dvojnásobnou dávkou (2N). Kontrolní parcela byla ponechána bez postřiku. Snahou bylo provést jedno ošetření ve dnech s nízkými teplotami nebo větším úhrnem srážek před aplikací herbicidů a jedno ošetření v optimálních teplotních podmínkách pro růst slunečnice. Průběh povětrnostních podmínek v jednotlivých pokusných letech těsně před a po aplikaci je zaznamenán v tabulce 6.

Aplikace herbicidů byla provedena bezezbytkovým maloparcelkovým postřikovačem SCHACHTNER (PSGFE, Christian Schachtner Gerätetechnik). Postřiková jícha byla aplikována v dávce 250 l/ha, při aplikačním tlaku 0,25 MPa. Přehled variant je uveden v tabulce 8, meteorologické údaje v době aplikace herbicidů jsou v tabulce 9.

Tabulka 8: Přehled herbicidních variant v letech 2015-2017

Var. č.	Účinná látka	Přípravek (adjuvant)	Formulace	(1N) Dávka úč. l. (g.ha ⁻¹)	Aplikační termín
1	-	Neošetřená kontrola	-	-	-
2	<i>Tribenuron</i> (<i>Isodecyl alcohol ethoxylate</i>)	Express (Trend 90)	SX EC	22 225	T1
3	<i>Propaquizafop</i>	Garland Forte	EC	100	T1
4	<i>Tribenuron</i> <i>Propaquizafop</i>	Express Garland Forte	SX EC	22 100	T1
5	<i>Tribenuron</i> (<i>Isodecyl alcohol ethoxylate</i>)	Express (Trend 90)	SX EC	22 225	T2
6	<i>Propaquizafop</i>	Garland Forte	EC	100	T2
7	<i>Tribenuron</i> <i>Propaquizafop</i>	Express Garland Forte	SX EC	22 225	T2

Tabulka 9: Počasí a růstové fáze slunečnice v době aplikace herbicidů v pokusných letech

Aplikační termín	Datum	Počasí při aplikaci				BBCH slunečnice
		Oblačnost	Teplota (°C)	Vlhkost půdy	Rychlost a směr větru	
2015						
T1	15.5.	polojasno	15	suchá	JZ 2 m.s ⁻¹	12
T2	22.5.	oblačno	16	suchá	SZ 2,8 m.s ⁻¹	14
2016						
T1	16.5.	zataženo	11	suchá	SV 3,8 m.s ⁻¹	14
T2	20.5.	polojasno	18	suchá	Z 0,5 m.s ⁻¹	14
2017						
T1	2.6.	slunečno	25	suchá	Z 2,6 m.s ⁻¹	14
T2	8.6.	jasno	17	suchá	Z 2,8 m.s ⁻¹	14

4.3.4 Hodnocení maloparcelních pokusů

Hodnocení poškození slunečnice se uskutečnilo odhadovou % metodou oproti neošetřené kontrole dle metodiky EPPO. Fytotoxicita byla hodnocena metodou poškození plodiny, dle stupnice (tabulka 10). Při hodnocení selektivity byly rovněž zaznamenávány symptomy poškození (chlorózy, nekrózy, deformace listů, zbrzdění růstu atd.) a následná regenerace. Při sklizni byly zjišťovány počty úborů a jejich hmotnost. Poškození slunečnice a celkový vývoj porostu byl fotodokumentován.

Poškození slunečnice se také hodnotilo pomocí ukazatelů výměny plynů a fluorescence chlorofylu *a*. Pro měření byly využity stejné přístroje jako v nádobových pokusech, tj. přenosný fluorometr ADC:OSI 1 FL a gazometrický infračervený analyzátor plynů LCpro+. Metodika měření včetně nastavení přístrojů byla stejná jako v nádobových pokusech. První měření bylo v polních podmínkách provedeno 10–14 dní po aplikaci, následná měření probíhala v intervalu cca 14 dní s ohledem na klimatické podmínky a růstovou fázi slunečnice.

Měřené fyziologické ukazatele výměny plynů:

- výkon čisté fotosyntézy A [$\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$]
- stomatální vodivost průduchů gs [$\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$]
- úroveň transpirace E [$\text{mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$]

Měřené ukazatele fluorescence:

- maximální fluorescence (F_M)
- základní fluorescence (F_0)

Hodnoty maximální fluorescence (F_M) a základní fluorescence (F_0) byly použity pro výpočet podílu F_V/F_M .

Tabulka 10: Stupnice pro hodnocení poškození plodiny podle metodiky EPPO (1996)

Poškození v %	Popis a rozsah poškození plodiny
0	žádný rozdíl mezi ošetřenou a neošetřenou variantou
3	velmi mírný, ale zaznamatelný rozdíl mezi ošetřenou a neošetřenou variantou (tj. slabé nekrotické tečky na listech, nejasné chlorotické skvrny na listech)
5	slabé, ale rozpoznatelné rozdíly mezi ošetřenými a neošetřenými variantami (např. nekrotické skvrny dosahující 5% plochy listů)
10	zjistitelné rozdíly mezi ošetřenou a neošetřenou variantou, kterých si trénované oko povšimne v rámci pole
15	rozdíly, které budou představovat zjistitelné poškození v rámci pole (např. 15% listové plochy zbledlo, nově rozvinuté listy jsou taky bledé)
25	silné poškození rostliny
50	velmi silné poškození plodiny
75	extrémně silné poškození plodiny
100	zcela uhynulé rostliny

4.4 Statistické zpracování výsledků

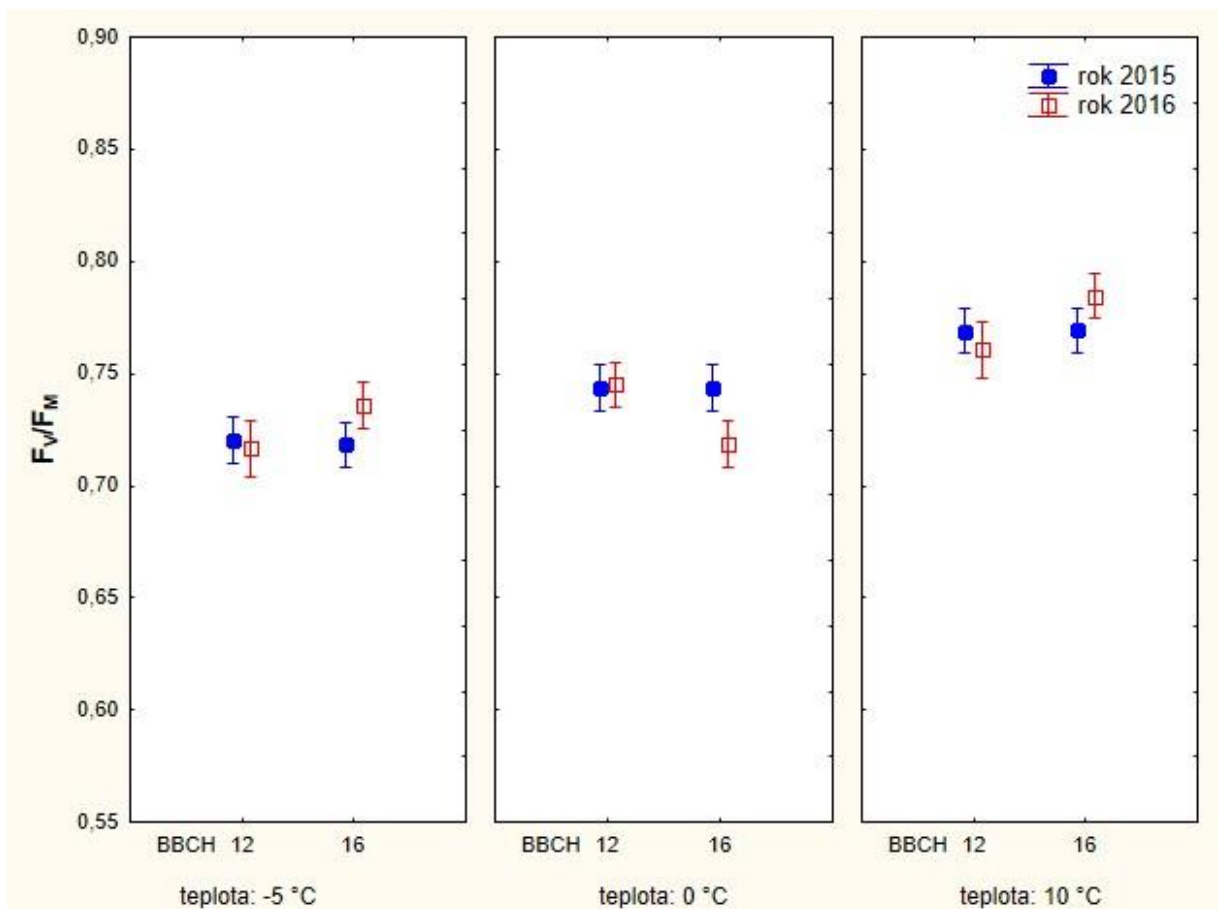
Získaná data byla statisticky vyhodnocena pomocí vícefaktorové analýzy rozptylu (ANOVA). Statistická významnost rozdílů mezi testovanými variantami byla hodnocena pomocí Tukeyho (HSD) testu na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

5 Výsledky

5.1 Nádobové pokusy

5.1.1 Fluorescence chlorofylu a

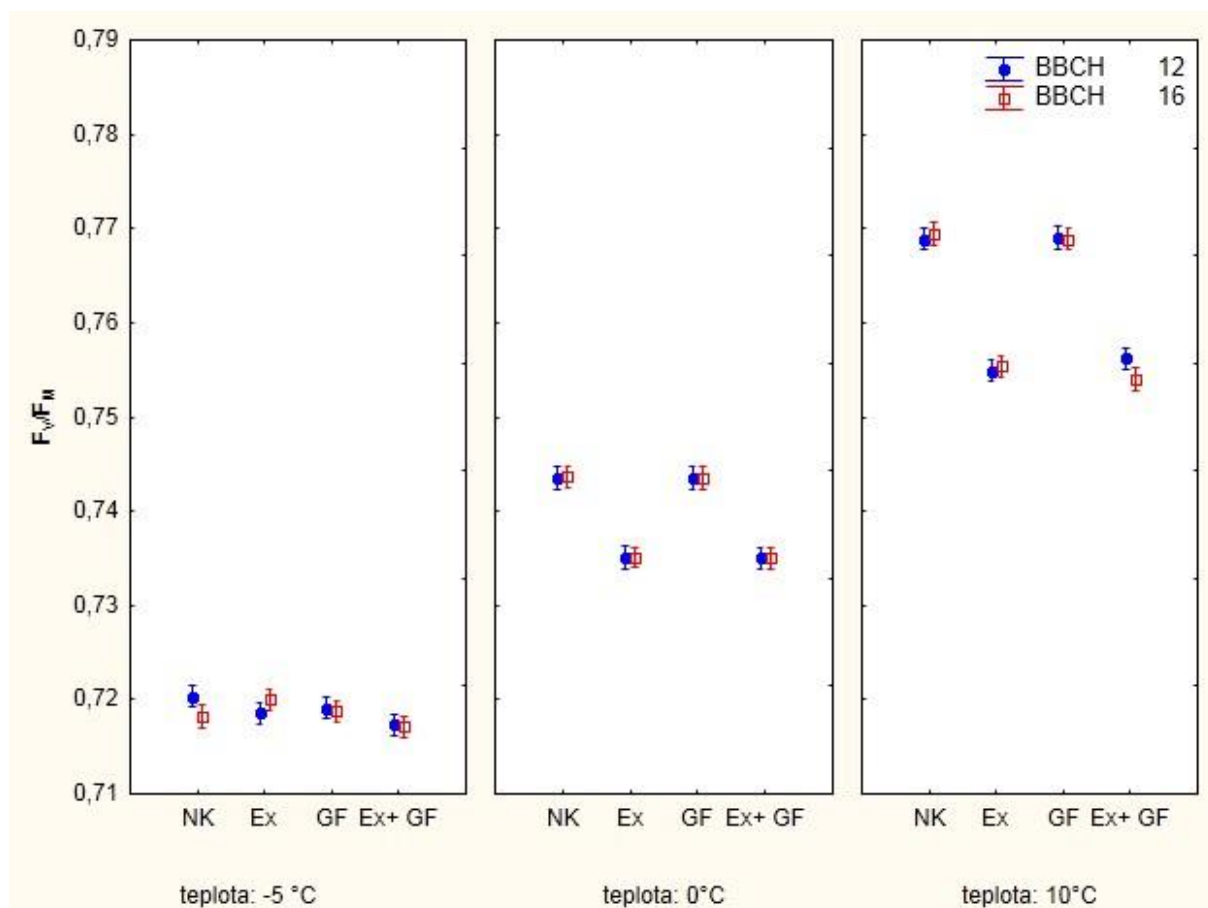
5.1.1.1 ExpressSun slunečnice (výsledky z let 2015-2016)



Obr. 1: Vliv teploty, růstové fáze na aktivitu PSII u kontrolní (neošetřené) varianty, $F(2, 91) = 1,9133$, $p = 0,15348$

Legenda: BBCH – růstové fáze u slunečnice

Průkazný rozdíl v naměřených hodnotách F_V/F_M mezi dvěma pokusnými roky (2015 a 2016) u neošetřené varianty byl zaznamenán u slunečnice v růstové fázi BBCH 16, rostoucí v testovaném režimu 0 °C (Obr. 1). V růstové fázi BBCH 12 rostla se s vzrůstající teplotou hodnota F_V/F_M (0,72; 0,74 a 0,76), přičemž rozdíly mezi teplotními režimy byly průkazné. V růstové fázi BBCH 16 byl zaznamenán v roce 2016 při teplotním režimu 0 °C statisticky neprůkazný pokles F_V/F_M (o 3 %) oproti růstové fázi BBCH 12 (Obr. 1).

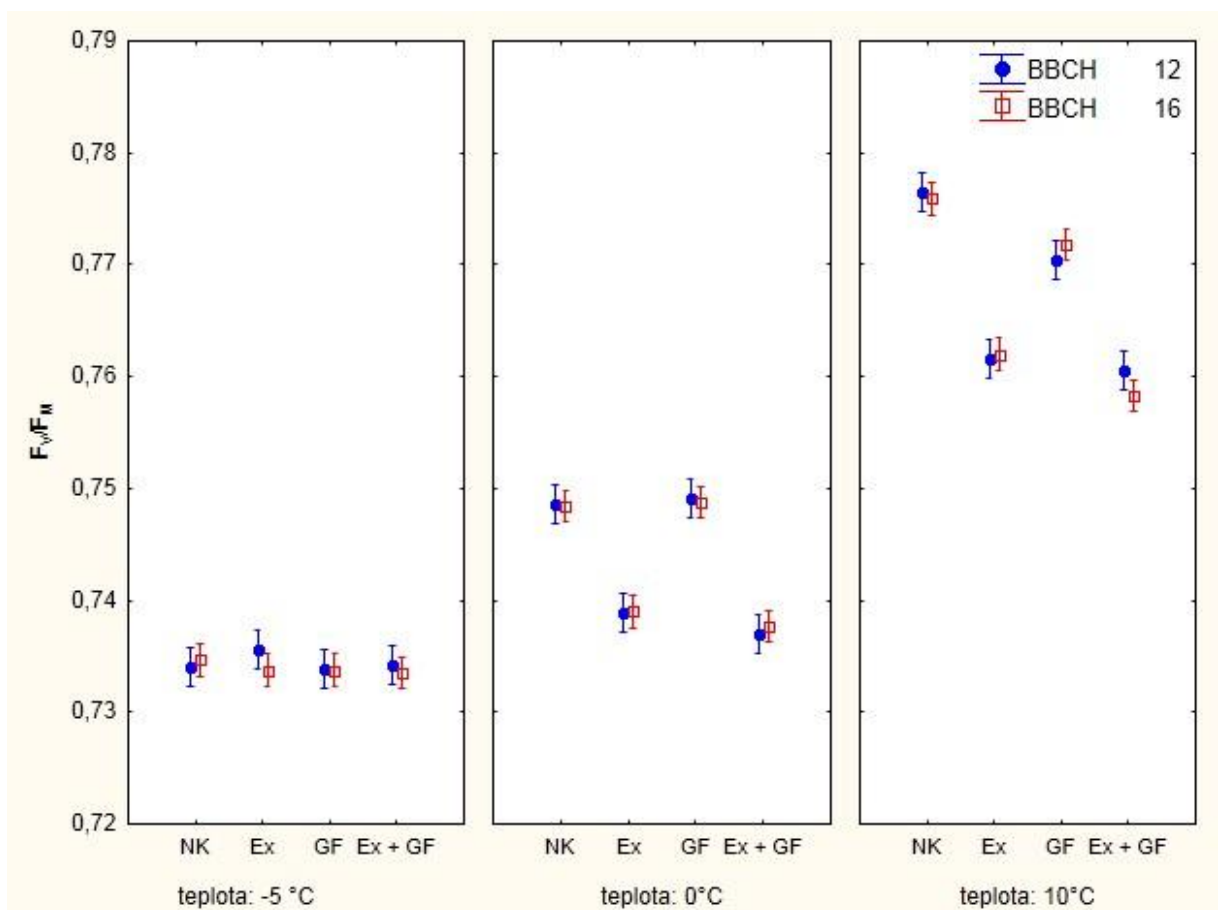


Obr. 2: Vliv teploty a herbicidního ošetření na aktivitu PSII u rostlin slunečnice v růstové fázi BBCH 12 a BBCH 16 v roce 2015, $F(6, 193) = 1,8518$, $p=0,09107$

Legenda: NK – neošetřená kontrola, GF – Garland Forte (propaquizafop), Ex – Express (tribenuron), Ex+GF – tank-mix kombinace přípravků Express a Garland Forte (tribenuron + propaquizafop)

V roce 2015 byly nejvyšší hodnoty F_V/F_M slunečnice (Obr. 2) naměřeny při nejvyšším testovaném teplotním režimu (10 °C) na slunečnici neošetřené herbicidy ($F_V/F_M = 0,768$) a na

slunečnici ošetřené propaquizafopem ($F_V/F_M = 0,769$). V případě, že ve stejném teplotním režimu ($10\text{ }^\circ\text{C}$), byla slunečnice ošetřena tribenuronem, došlo k průkaznému snížení F_V/F_M ($0,755$). Velice podobné hodnoty F_V/F_M (BBCH 12 = $0,754$; BBCH 16 = $0,756$) byly naměřeny po aplikaci tank-mix (TM) kombinace tribenuron + propaquizafop. Rozdíly hodnot F_V/F_M mezi testovanými růstovými fázemi byly neprůkazné. Naměřené hodnoty F_V/F_M u rostlin slunečnice, ošetřených tribenuronem ($0,735$), rostoucí v teplotním režimu $0\text{ }^\circ\text{C}$, byly oproti rostlinám bez herbicidního ošetření průkazně nižší ($F_V/F_M = 0,743$). Průkazný pokles hodnot F_V/F_M ($0,735$) byl zaznamenán také po aplikaci TM kombinace tribenuron + propaquizafop. Listový graminicid propaquizafop průkazně neovlivnil hodnoty F_V/F_M slunečnice při teplotním režimu $0\text{ }^\circ\text{C}$. Nejnižší hodnoty F_V/F_M byly zaznamenány, pokud slunečnice rostla v teplotním režimu $-5\text{ }^\circ\text{C}$. V tomto teplotním režimu byl zaznamenán průkazný rozdíl pouze mezi hodnotami F_V/F_M mezi neošetřenou kontrolou (BBCH 12 = $0,720$) a variantou ošetřenou TM kombinací tribenuron + propaquizafop ($F_V/F_M = 0,717$).



Obr. 3: Vliv teploty a herbicidního ošetření na hodnoty F_V/F_M u rostlin slunečnice v růstové fázi BBCH 12 a BBCH 16 v roce 2016, $F(6, 156) = 1,1553$, $p=0,33320$

Legenda: NK – neošetřená kontrola, GF – Garland Forte (propaquizafop), Ex – Express (tribenuron), Ex+GF – tank-mix kombinace přípravků Express a Garland Forte (tribenuron + propaquizafop)

V roce 2016 (Obr. 3) byly nejvyšší hodnoty F_V/F_M (BBCH 12 = 0,777; BBCH 16 = 0,776) naměřeny na neošetřené slunečnici při nejvyšším teplotním režimu (10 °C). Po aplikaci listového graminicidu propaquizafopu došlo u slunečnice rostoucí v teplotním režimu 10 °C k průkaznému poklesu hodnot F_V/F_M (BBCH 12 = 0,771; BBCH 16 = 0,772) oproti neošetřené kontrole. Průkazně vyšší pokles hodnot F_V/F_M byl zaznamenán po aplikaci tribenuronu (BBCH 12 = 0,761; BBCH 16 = 0,762) a TM kombinace tribenuron + propaquizafop (BBCH 12 = 0,761; BBCH 16 = 0,758) u rostlin slunečnice rostoucí při teplotním režimu 10 °C. Rozdíly hodnot F_V/F_M mezi testovanými růstovými fázemi byly neprůkazné. V teplotním režimu 0 °C byly nejvyšší hodnoty F_V/F_M naměřeny u neošetřené slunečnice ($F_V/F_M = 0,748$) a slunečnice ošetřené listovým graminicidem propaquizafopem ($F_V/F_M = 0,749$). Naměřené hodnoty F_V/F_M (0,739) u rostlin slunečnice ošetřených tribenuronem a rostoucí v teplotním režimu 0 °C byly oproti rostlinám bez herbicidního ošetření ($F_V/F_M = 0,748$) průkazně nižší. Průkazný pokles hodnot F_V/F_M byl zaznamenán také po aplikaci TM kombinace tribenuron + propaquizafop (BBCH 12 = 0,737, BBCH 16 = 0,738). Nejnižší hodnoty F_V/F_M byly zaznamenány, pokud slunečnice rostla v teplotním režimu -5 °C. V tomto teplotním režimu nebyly zaznamenány průkazné rozdíly hodnot F_V/F_M mezi testovanými růstovými fázemi ani herbicidy. Hodnoty F_V/F_M se v tomto teplotním režimu pohybovaly na úrovni 0,734.

Z výsledků dále vyplývá (obr. 2 a 3), že reakce rostlin slunečnice na aplikaci herbicidů při snížené teplotě (z pohledu PSII) má ve fázích BBCH 12 i 16 vždy stejný průběh. Lze tedy předběžně konstatovat, že vývojová fáze slunečnice nemá vliv na chování PSII po aplikaci herbicidů a rozhodujícími faktory jsou teplota a herbicid.

5.1.2 Vizuální hodnocení poškození slunečnice

V roce 2015 byla nejvíce poškozena (fytotoxicity 28,7 %) slunečnice ošetřená TM kombinací tribenuron + propaquizafop v šesti pravých listech (BBCH 16) rostoucí při nejnižším teplotním režimu (- 5 °C) viz tabulka 11. Příznaky poškození rostlin zahrnovaly chlorózy a deformace listů. Průkazně nižší fytoxicita (25,3 %) byla zaznamenána u

slunečnice ošetřené ve dvou pravých listech (BBCH 12). Naopak nejnižší poškození slunečnice (6,3 %) bylo u této herbicidní kombinace zaznamenáno u rostlin ošetřených v BBCH 12 při nejvyšších testovaných teplotách (10 °C). Po aplikaci propaquizafopu byly zaznamenány jen velmi mírné příznaky fytoxicity (0,7 – 4,3 %), které spočívalo ve slabém kadeření nejmladších listů. Mezi testovaným herbicidem a neošetřenou kontrolou nebyly průkazné rozdíly. Tribenuron vykázal nejvyšší fytoxicitu (21 %) pokud bylo ošetření provedeno na větší rostliny (BBCH 16) při nejnižším teplotním režimu (-5 °C). Mezi příznaky poškození rostlin patřily především chlorózy listů. Nejnižší poškození (1,7 %) způsobil tento herbicid, pokud byl použit na rostliny v růstové fázi šesti pravých listů, které rostly v teplotním režimu 10 °C.

V roce 2016 byla nejvíce poškozena (fytoxicita 25,7 %) slunečnice, která byla ošetřena TM kombinací tribenuron + propaquizafop v šesti pravých listech (BBCH 16) rostoucí při nejnižším teplotním režimu (-5 °C). Příznaky poškození rostlin zahrnovaly chlorózy a deformace listů. U slunečnice ošetřené ve dvou pravých listech (BBCH 12) bylo poškození průkazně nižší (21,3 %). V případě, že k ošetření slunečnice došlo v růstové fázi dvou pravých listů a nejvyšším teplotním režimu (10 °C), bylo poškození nejnižší (6,7 %). Listový graminicid propaquizafop poškodil slunečnici ze sledovaných herbicidů nejméně. Slunečnice ošetřená tímto herbicidem vykazovala velmi mírné kadeření nejmladších listů. Nejvyšší poškození (3,7 %) bylo zaznamenáno u slunečnice ošetřené ve dvou pravých listech (BBCH 12) a nejnižším teplotním režimu (-5 °C). Po aplikaci tribenuronu bylo zaznamenáno průkazně vyšší poškození slunečnice, kdy nejvíce poškozené rostliny (fytoxicita 19,3 %) byly ošetřeny v růstové fázi šesti pravých listů (BBCH 16) a rostly v teplotním režimu -5 °C. Mezi příznaky poškození rostlin patřily především chlorózy listů. Naopak nejnižší poškození tímto herbicidem (3 %) bylo zaznamenáno u rostlin ošetřených v BBCH 16 při nejvyšších testovaných teplotách (10 °C).

5.1.3 Hmotnost nadzemní biomasy a obsah sušiny

V roce 2015 se hmotnost nadzemní biomasy u slunečnice ošetřené ve dvou pravých listech pohybovala v intervalu 2,9 – 4,2 g (tabulka 11), v roce 2016 to bylo velmi podobné (2,6 – 4,3 g). U rostlin ošetřených později (BBCH 16) se hmotnost nadzemní biomasy pohybovala mezi 14,1 a 19 g (2015), resp. 9,6 a 15 g (2016). Vliv herbicidu a teploty na hmotnost nadzemní biomasy slunečnice se nepodařilo prokázat (tabulka 12).

Obsah sušiny slunečnice ošetřené ve dvou pravých listech (BBCH 12) se v roce 2015 pohyboval od 10,5 % do 13,2 % (tabulka 11). V roce 2016 byl tento interval širší (9,2 - 15,2 %). U rostlin ošetřených později (BBCH 16), se obsah sušiny v roce 2015 pohyboval mezi 12,9 % a 19,1 %. V roce 2016 to bylo 12,6 - 18,2 %.

Vliv teploty prostředí a herbicidního ošetření na obsah sušiny slunečnice nebyl prokázán (tabulka 12).

Tabulka 11: Vizuální poškození, hmotnost nadzemní biomasy a sušina slunečnice 3 týdny po aplikaci herbicidů

Herbicidní varianta	BBCH slunečnice	Teplotní režim (°C)	Fytotoxicita (%)		Hmotnost nadzemní biomasy (g)		Sušina (%)	
			2015	2016	2015	2016	2015	2016
Neošetřená kontrola	12	-5	2,3 ^{ab}	2 ^{abcd}	3,9 ^a	2,8 ^a	12,6 ^{abcd}	13,8 ^{cdefg}
		0	0,3 ^a	0,3 ^{ab}	4 ^a	2,5 ^a	12,1 ^{abc}	9,8 ^{ab}
		10	0 ^a	0 ^a	4 ^a	3,4 ^{abc}	13,2 ^{abcdef}	14 ^{cdefg}
	16	-5	2,3 ^{ab}	2,3 ^{bcd}	15,1 ^{bc}	13,8 ^d	19,1 ^g	15,4 ^{defgh}
		0	0,7 ^a	0,3 ^{ab}	18,1 ^{bc}	15 ^d	18,1 ^{defg}	16 ^{fgh}
		10	0 ^a	0 ^a	16,7 ^{bc}	12,1 ^d	16,9 ^{bcdefg}	17 ^{gh}
TBM (+NIS)	12	-5	18,7 ^g	16,3 ^h	3,2 ^a	2,7 ^a	11,7 ^{ab}	12,6 ^{abcdef}
		0	8,7 ^{de}	6,7 ^f	3,4 ^a	3,5 ^{abc}	11,7 ^{ab}	12,5 ^{abcdef}
		10	4,3 ^{bc}	3,7 ^{de}	3,2 ^a	4,3 ^{abc}	12,2 ^{abc}	15,2 ^{defgh}
	16	-5	21 ^g	19,3 ^{ch}	17 ^{bc}	11,2 ^d	18,6 ^{efg}	14 ^{cdefg}
		0	7 ^{cd}	5,7 ^{ef}	18,4 ^c	11,9 ^d	18,9 ^{fg}	15,5 ^{defgh}
		10	1,7 ^{ab}	3 ^{cd}	15,9 ^{bc}	13,6 ^d	18,1 ^{defg}	18,2 ^h
PQF	12	-5	4,3 ^{bc}	3,7 ^{de}	3,7 ^a	2,6 ^a	12,2 ^{abc}	12,1 ^{abcde}
		0	1,3 ^{ab}	0,7 ^{ab}	3,5 ^a	3,8 ^{abc}	11,6 ^{ab}	9,2 ^a
		10	0,7 ^a	0,3 ^{ab}	4,2 ^a	3,2 ^{ab}	13,1 ^{abcdef}	11,9 ^{abcd}
	16	-5	4,3 ^{bc}	2,3 ^{bcd}	16,9 ^{bc}	10,8 ^d	18,6 ^{efg}	13 ^{bcdef}
		0	1,7 ^{ab}	1,3 ^{abc}	19 ^c	12,7 ^d	18,8 ^{fg}	12,6 ^{abcdef}
		10	1,3 ^{ab}	1 ^{abc}	16 ^{bc}	12,1 ^d	17,8 ^{cdefg}	17,1 ^{gh}

		-5	25,3 ^h	21,3 ^{ch}	3,1 ^a	3,1 ^{ab}	11,2 ^{ab}	10,8 ^{abc}
	12	0	12,3 ^f	10,7 ^g	2,9 ^a	2,7 ^a	10,5 ^a	13,9 ^{cdefg}
		10	6,3 ^{cd}	6,7 ^f	3,7 ^a	2,8 ^a	10,5 ^a	13,1 ^{bcdef}
TBM + PQF		-5	28,7 ^{ch}	25,7 ⁱ	14,1 ^b	9,6 ^{cd}	19,1 ^g	13,8 ^{cdefg}
	16	0	14,7 ^f	15,3 ^h	17,5 ^{bc}	12,3 ^d	12,9 ^{abcde}	17,1 ^{gh}
		10	11,7 ^{ef}	12 ^g	17,6 ^{bc}	9 ^{bcd}	17,7 ^{cdefg}	15,8 ^{efgh}
Transformace dat			AT	AT	-	-	-	-

Hodnoty ve sloupci se stejným písmen se průkazně neliší (LSD $\alpha = 0.05$); TBM – tribenuron methyl; PQF – propaquizafop; NIS – non-ionic surfactant (isodecyl alcohol ethoxylate)

Tabulka 12: Vyhodnocení vlivu teploty prostředí, herbicidního ošetření a růstové fáze na hodnocené ukazatele poškození slunečnice v letech 2015 a 2016

	Fytotoxicita		Hmotnost nadzemní biomasy		Sušina	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
<i>P</i> -hodnota (teplota)	0,00002	0,00015	0,82018	0,79354	0,60338	0,02367
<i>P</i> -hodnota (herbicid)	< 0,0001	< 0,0001	0,99211	0,76949	0,42508	0,07303
<i>P</i> -hodnota (BBCH)	0,66664	0,45873	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

5.2 Polní pokusy

5.2.1 Vizuální hodnocení poškození slunečnice

V roce 2015 bylo nejvyšší poškození slunečnice zaznamenáno po aplikaci TM kombinace tribenuron + propaquizafop u rostlin ošetřených v druhém aplikačním termínu (T2). Počáteční příznaky fytotoxicity se začaly projevovat několik dní po ošetření slunečnice. Zejména u rostlin ošetřených 2N dávkou (fytoxicita 50 %) došlo k výraznému prožloutnutí listů mezi žilnatinou. V dalším průběhu vegetace se objevily deformace listů, zmenšila se

listová plocha, došlo k větvení lodyh a zpomalení růstu slunečnice, což mělo za následek celkově nižší vzrůst rostlin (Obr. 5). Fytotoxicita po aplikaci registrovaných dávek (1N) byla u této tank-mix kombinace 37,3 % (tabulka 13). K poškození slunečnice došlo i po aplikaci tribenuronu samostatně s adjuvancem isodecyl alcohol ethoxylate. K nejvyššímu poškození slunečnice došlo, pokud byl tento herbicid aplikován v termínu T2 (1N, 32,7 %; 2N, 37,7 %). Ošetřené rostliny slunečnice vykazovaly zpočátku mírné prožloutnutí listů mezi žilnatinou (Obr. 4), což bylo velmi patrné zejména u rostlin ošetřených dvojnásobnou dávkou (2N). Tyto příznaky fytotoxicity však během vegetace odezněly. Zpomalený růst, deformace listů, větvení lodyhy a celkově nižší listová plocha však byly dalšími/následnými příznaky fytotoxicity, které se projevovaly v průběhu celé vegetace. Poškození slunečnice po aplikaci propaquizafopu (fytoxicita 1,7 %) bylo patrné pouze v případě ošetření dvojitou dávkou (2N), kde na nejmladších listech byly patrné drobné nekrózy (Obr. 6). V registrované dávce (1N) nebyly pozorovány žádné příznaky poškození slunečnice graminicidem propaquizafop.

V roce 2016 bylo fytotoxické působení herbicidů výrazně vyšší. Symptomy poškození jednotlivých variant byly stejné jako v roce 2015. Nejvyšší fytotoxicita 48 %, resp. 62 % (1N, resp. 2N) byla zaznamenána po ošetření TM kombinací tribenuron + propaquizafop ve vyšší růstové fázi, tedy v termínu T2. Velmi silné poškození slunečnice bylo zaznamenáno také po aplikaci tribenuronu (37,3 % v 1N dávce; 56,3 %, ve 2N dávce). Nejméně, přesto významně byla poškozená slunečnice po aplikaci propaquizafopu (10-12,7 %).

V roce 2017 bylo naopak zaznamenáno nejnižší poškození slunečnice. Nejvyšší fytotoxicitu způsobovala TM kombinace tribenuron + propaquizafop v termínu T1 (v 1N dávce 9 %; ve 2N dávce 14,3 %). Fytotoxicita 4,6 % a 5,9 % (1N a 2N) byla zjištěna na parcelách ošetřených tribenuronem v termínu T1. Po aplikaci herbicidu propaquizafop bylo zaznamenáno minimální poškození (do 0,1 %).



Obr. 4: Listové chlorózy ExpressSun slunečnice (hybrid PR63E82) 10 dní po aplikaci tribenuronu v registrované dávce (1N)



Obr. 5: Listové chlorózy a deformace listů po aplikaci herbicidní tank-mix kombinace tribenuron + propaquizafop v dvojnásobné dávce (2N)



Obr. 6: Poškození vegetačního vrcholoslunečnice způsobené propaquizafopem v dvojnásobné dávce (2N) v roce 2016

Tabulka 13: Poškození slunečnice 3 týdny po aplikaci herbicidů v polních pokusech

Herbicidní varianta	Fytotoxicita (%)				
	termín aplikace	dávka	2015	2016	2017
TBM (+NIS)	T1	1N	8.3 ^{de}	37.3 ^d	4.6 ^c
		2N	25 ^c	56.3 ^{ab}	5.9 ^{bc}
PQF	T1	1N	0 ^f	11.3 ^e	0.1 ^d
		2N	0.3 ^f	12 ^e	0 ^d
TBM+PQF	T1	1N	14 ^d	38 ^d	9 ^b
		2N	31 ^{bc}	53 ^{bc}	14.3 ^a
TBM (+NIS)	T2	1N	32.7 ^b	35 ^d	4 ^c
		2N	37.7 ^b	49.3 ^{bc}	4.7 ^c
PQF	T2	1N	0 ^f	10 ^e	0 ^d
		2N	1.7 ^{ef}	12.7 ^e	0 ^d
TBM+ PQF	T2	1N	37.3 ^b	48 ^c	3.3 ^c
		2N	50 ^a	62 ^a	5.3 ^{bc}
<i>P</i> -hodnota (herbicid)			< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
<i>P</i> - hodnota (dávka)			< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
<i>P</i> - hodnota (herbicid*dávka)			< 0.0001	< 0.0001	0.0002
<i>P</i> - hodnota (termín aplikace)			0.0188	0.8154	0.0412
<i>P</i> - hodnota (ročník)				< 0.0001	
Transformace dat			-	-	AT

Hodnoty ve sloupci se stejným písmen se průkazně neliší (LSD $\alpha = 0.05$); T1 – první aplikační termín; T2 – druhý aplikační termín; 1N – registrovaná dávka; 2N – dvojnásobná dávka; TBM – tribenuron methyl; PQF – propaquizafop; NIS – non-ionic surfactant (isodecyl alcohol ethoxylate)

5.2.2 Počet úborů

Slunečnice reaguje na stres tvorbou bočních výhonů. Tyto výhony pak mohou v některých situacích tvořit úbory, které však dozrávají výrazně později než terminální úbor. Vedle toho bývá kvalita nažek na adventivních úborech výrazně nižší než kvalita hlavního úboru.

V roce 2015 byl nejvyšší nárůst počtu úborů (o 153,8 % oproti neošetřené kontrole) zaznamenán na parcelách ošetřených TM kombinací tribenuron + propaquizafop (T1, 2N) viz tabulka 14. Vysoký nárůst počtu úborů byl zaznamenán také u slunečnice ošetřené v pozdějším aplikačním termínu T2 (v 1N dávce o 119,1 %; ve 2N dávce o 111,5 %). Výrazné zvýšení počtu úborů bylo zaznamenáno také po aplikaci tribenuronu ve 2N dávce (v T1 o 95,8 %; v T2 o 67,6 %). Minimální zvýšení počtu úborů (max. o 1,2 %) bylo zjištěno po ošetření propaquizafopem.

V roce 2016 byla situace velice podobná. Nejvyšší nárůst počtu úborů (o 72 %) byl zaznamenán po aplikaci TM kombinace tribenuron + propaquizafop (T1, 2N). U slunečnice ošetřené tribenuronem v časnějším termínu (T1) bylo rovněž zaznamenáno průkazné zvýšení počtu úborů o 14 %, resp. 56,7 % (1N, resp. 2N). Neprůkazné zvýšení počtu úborů (do 10 %) bylo zjištěno po aplikaci propaquizafopu.

Nejnižší tvorba postranních výhonů, potažmo adventivních úborů byla v roce 2017. Rozdíly v počtu úboru mezi testovanými variantami pokusu byly neprůkazné (Tabulka 14).

Tabulka 14: Navýšení počtu úborů slunečnice po aplikaci herbicidů

Herbicidní varianta	Navýšení počtu úborů oproti neošetřené kontrole (%)				
	termín aplikace	dávka	2015	2016	2017
TBM (+NIS)	T1	1N	1.2 ^{cd}	14 ^{bcd}	3.3 ^a
		2N	95.8 ^{ab}	56.7 ^{ab}	0 ^a
PQF	T1	1N	0 ^d	4.5 ^{cd}	0 ^a
		2N	0 ^d	1.1 ^d	6.7 ^a
TBM + PQF	T1	1N	1.2 ^{cd}	50.1 ^{abc}	0 ^a
		2N	153.8 ^a	72 ^a	6.7 ^a
TBM (+NIS)	T2	1N	12.6 ^{bc}	9.3 ^{bcd}	3.3 ^a
		2N	67.6 ^{ab}	23.2 ^{abcd}	3.3 ^a
PQF	T2	1N	0 ^d	10 ^{bcd}	0 ^a
		2N	1.2 ^{cd}	4.5 ^{cd}	0 ^a
TBM + PQF	T2	1N	119.1 ^a	19.3 ^{abcd}	0 ^a
		2N	111.5 ^a	46.6 ^{abc}	0 ^a
<i>P</i> - hodnota (herbicid)			< 0.0001	< 0.0001	0.7443
<i>P</i> - hodnota (dávka)			< 0.0001	0.0041	0.3747
<i>P</i> - hodnota (herbicid*dávka)			< 0.0001	0.0955	0.5487
<i>P</i> - hodnota (termín aplikace)			0.6005	0.0788	0.3481
<i>P</i> - hodnota (ročník)				< 0.0001	
Transformace dat			LT	AT	-

Hodnoty ve sloupci se stejným písmen se průkazně neliší (LSD $\alpha = 0.05$); T1 – první aplikační termín; T2 – druhý aplikační termín; 1N – registrovaná dávka; 2N – dvojnásobná dávka; TBM – tribenuron methyl; PQF – propaquizafop; NIS – non-ionic surfactant (isodecyl alcohol ethoxylate)

5.2.3 Výnos nažek

V roce 2015 byl výnos nažek slunečnice na neošetřené kontrole 5,2 t.ha⁻¹ (tabulka 15). Neprůkazně vyšší výnos 5,6 t.ha⁻¹ byl zaznamenán na variantě ošetřené registrovanou dávkou propaquizafopu v T1, aplikačním termínu. Průkazně nižší výnos 3,1 t.ha⁻¹, resp. 2,4 t.ha⁻¹ (1N, resp. 2N) byl zjištěn na parcelách ošetřených TM kombinací tribenuron + propaquizafop v pozdějším aplikačním termínu (T2). Rovněž po aplikaci tribenuronu v tomto termínu došlo k průkaznému snížení výnosu (o 2,4 t.ha⁻¹ při 1N dávce a o 1,9 t.ha⁻¹ ve 2N dávce) v porovnání s neošetřenou kontrolou.

V roce 2016 byl výnos nažek slunečnice na neošetřené kontrole 4,9 t.ha⁻¹. Výnos slunečnice ošetřené propaquizafopem byl neprůkazně nižší (4,4-5,3 t.ha⁻¹). Po aplikaci dvojnásobné dávky (2N) tribenuronu došlo k průkaznému poklesu výnosu slunečnice na 1,9 t.ha⁻¹ a 2,5 t.ha⁻¹ (T1, resp. T2). K průkazné redukci výnosu slunečnice došlo rovněž po aplikaci TM kombinace tribenuron + propaquizafop (Tabulka 15).

Nejvyšší výnosy nažek byly zaznamenány v roce 2017, kdy z neošetřené kontroly bylo sklizeno v přepočtu 6,7 t.ha⁻¹. Neprůkazně vyšší výnos (7-7,9 t.ha⁻¹) byl zaznamenán na parcelách ošetřených tribenuronem. K průkaznému snížení výnosu nedošlo ani na parcelách ošetřených TM kombinací tribenuron + propaquizafop a to ani v případě předávkování (2N). Výnos slunečnice ošetřené propaquizafopem se pohyboval v rozmezí 6,4-6,9 t.ha⁻¹.

Tabulka 15: Výnos nažek v letech 2015-2017

Herbicidní varianta	Výnos nažek (t.ha ⁻¹)				
	termín aplikace	dávka	2015	2016	2017
Neošetřená kontrola			5.2 ^{de}	4.9 ^{de}	6.7 ^a
TBM (+NIS)	T1	1N	3.9 ^{bcd}	3.5 ^{abcd}	7.3 ^a
		2N	4.1 ^{bcd}	1.9 ^a	7.9 ^a
PQF	T1	1N	5.6 ^e	4.6 ^{de}	6.7 ^a
		2N	5.1 ^{de}	4.4 ^{de}	6.4 ^a
TBM + PQF	T1	1N	3.6 ^{abc}	3.6 ^{bcd}	7.2 ^a
		2N	4.2 ^{cde}	2.2 ^{ab}	6.2 ^a
TBM (+NIS)	T2	1N	2.8 ^{ab}	4.2 ^{de}	7.3 ^a
		2N	3.3 ^{abc}	2.5 ^{abc}	7.0 ^a
PQF	T2	1N	5.2 ^{de}	5.3 ^e	6.9 ^a
		2N	5.1 ^{de}	4.5 ^{de}	6.7 ^a
TBM+ PQF	T2	1N	3.1 ^{abc}	3.9 ^{cde}	6.9 ^a
		2N	2.4 ^a	1.9 ^a	6.6 ^a
<i>P</i> - hodnota (herbicid)			< 0.0001	< 0.0001	0.1272
<i>P</i> - hodnota (dávka)			0.9883	0.0006	0.2634
<i>P</i> - hodnota (herbicid*dávka)			0.0730	0.0627	0.3516
<i>P</i> - hodnota (termín aplikace)			0.0295	0.3958	0.8013
<i>P</i> - hodnota (ročník)				< 0.0001	

Hodnoty ve sloupci se stejným písmenem se průkazně neliší (LSD $\alpha = 0.05$); T1 – první aplikační termín; T2 – druhý aplikační termín; 1N – registrovaná dávka; 2N – dvojnásobná dávka; TBM – tribenuron methyl; PQF – propaquizafop; NIS – non-ionic surfactant (isodecyl alcohol ethoxylate)

6 Diskuze

6.1 Nádobové pokusy

Fluorescence chlorofylů je jednou z nejpoužívanějších a nedestruktivních metod ve fyziologii rostlin. Poskytuje poměrně detailní informace o stavu fotosystému II (PSII) za relativně nízké náklady. Má významnou úlohu při porozumění základních mechanismů fotosyntézy, reakcí rostlin na změny v prostředí, genetickým změnám a ekologické rozmanitosti (Murchie and Lawson 2013). Fluorescenční poměr F_V/F_M patří mezi významné charakteristiky používané k hodnocení aktivity fotosyntetického aparátu. Lze ho charakterizovat jako potenciál fotochemické účinnosti elektronového transportu v PSII (Demning and Björkman 1987). C3 rostliny, mezi které patří i slunečnice, mají teoretické maximum F_V/F_M na úrovni 0,83 (Murchie and Lawson, 2013). V případě působení nějakého stresu na fotosyntetický aparát rostliny nebo na celou rostlinu, dochází k negativnímu ovlivnění funkce PS II, což se projeví snížením hodnoty F_V/F_M . Stresovaná rostlina vykazuje podle Richie (2006) hodnoty $F_V/F_M < 0,6$.

V našich pokusech se naměřené hodnoty F_V/F_M pohybovaly v rozmezí od 0,717 do 0,769 v roce 2015 a od 0,734 do 0,777 v roce 2016. Nejvyšší hodnoty F_V/F_M byly vždy naměřeny u neošetřených slunečnic rostoucích v nejteplejším režimu (10 °C). S poklesem teploty byl zaznamenán průkazný pokles hodnot F_V/F_M . Redukci hodnot F_V/F_M zaznamenali při poklesu teploty také Gillies and Binder (1996), kteří tuto závislost sledovali u smrku sivého (*Picea glauca* [Moench.] Voss). Pokles hodnot F_V/F_M v závislosti na teplotě uvádí také Zheng et al. (2009), kteří dělali pokusy s dávicem černým (*Jatropha curcas* L.).

Po ošetření slunečnice tribenuronem byl zaznamenán průkazný pokles hodnot F_V/F_M u rostlin rostoucích v teplotním režimu 10 °C a 0 °C. To bylo pravděpodobně způsobeno vyšší citlivostí námi testovaného hybridu (PR63E82) k tribenuronu. Přestože tento herbicid, patřící do skupiny ALS inhibitorů, nepůsobí primárně na fotosystém II (PSII), vyvolá jeho aplikace na citlivou rostlinu stres, který vede k redukci hodnot F_V/F_M . Dayan and Zaccaro (2012) testovali imazapyr a metsulfuron (rovněž patří do skupiny ALS inhibitorů) na okurkách (*Cucumis sativus* L.), kde zaznamenaly pokles hodnot F_V/F_M po ošetření herbicidy. Zároveň uvádí, že tyto herbicidy působí na rostliny okurek již ve velmi nízkých koncentracích, avšak jejich působení je poměrně pomalé. Proto se očekával jejich nedostatečný účinek na fotosyntetický přenos elektronů během 24 hodin po aplikaci.

Poškození slunečnice ošetřené tribenuronem se projevovalo chlorózami listů. Hmotnost nadzemní biomasy a obsah sušiny nebyl herbicidním ošetřením ovlivněn. Nejvýraznější fytotoxicita byla zaznamenána u slunečnice ošetřené v růstové fázi šesti pravých listů, která rostla při nejnižších teplotách (teplotní minimum $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$). S rostoucí teplotou se poškození snižovalo (nejnižší poškození bylo u slunečnice, která rostla při teplotách, které neklesali pod $10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Jursík et al. (2014) uvádí, že k poškození slunečnice může dojít, pokud je ošetření tribenuronem provedeno za nevhodných povětrnostních podmínek (nízké teploty, srážky před nebo po aplikaci). Výrazněji u hybridů, jejichž odolnost vůči tribenuronu je založena heterozygotně.

Druhým testovaným herbicidem byl propaquizafop, který náleží do skupiny inhibitorů ACCasy (listové graminicidy). Tyto herbicidy blokují biosyntézu lipidů, které jsou důležité v buněčných membránách, kutikule a v neposlední řadě to jsou také významné zásobní látky buněk. Vysoká selektivita listových graminicidů k dvouděložným rostlinám je způsobena odlišnou strukturou jejich ACCasy (Jursík et al. 2010b). V roce 2015 nebyl zaznamenán průkazný vliv tohoto herbicidu na hodnoty F_V/F_M . Žádné průkazné změny v hodnotách F_V/F_M nezaznamenal ani Ali (2011), který ve své práci testoval herbicid quzalafof-P (rovněž inhibitor ACCasy) na artyčoku (*Cynara cardunculus* L.) v teplotním rozmezí od $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. V roce 2016 byl zaznamenán průkazný pokles hodnot F_V/F_M po aplikaci propaquizafopu, avšak významné poškození slunečnice se v průběhu růstu neprojevilo.

Příznaky poškození slunečnice spočívaly v mírném krabacení nejmladších listů. Toto poškození bylo výraznější u slunečnice rostoucí při nízkých teplotách s minimem $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, nijak však negativně neovlivnilo další vývoj rostliny. Podobné výsledky uvádí také Meti et al. (2016), kteří po ošetření slunečnice propaquizafopem nezaznamenal žádné příznaky fytotoxicity (pozorování bylo provedeno v Indii).

U slunečnice ošetřené TM kombinací tribenuron + propaquizafop byl zaznamenán průkazný pokles hodnot F_V/F_M a to v teplotním režimu 0 a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. V teplotním režimu $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebyly zaznamenány průkazné rozdíly hodnot F_V/F_M mezi herbicidními variantami a neošetřenou kontrolou. Stres vyvolaný nízkou teplotou byl v tomto případě již tak vysoký, že herbicidní ošetření již nemohlo hodnoty F_V/F_M více negativně ovlivnit.

Mezi hlavní příznaky poškození slunečnice patřily chlorózy a mírné deformace listů. Více byla poškozena slunečnice, která byla touto kombinací ošetřena v růstové fázi šesti pravých listů. Zároveň byl zaznamenán průkazný vliv teploty na poškození touto herbicidní kombinací. Kammler et al. (2010) a Matzenbacher et al. (2015) tuto kombinaci nedoporučují

z důvodu rizika poškození slunečnice. Zejména pokud je odolnost hybridu vůči tribenuronu založena heterozygotně (pouze jeden z rodičů nese gen odolnosti).

6.2 Polní pokusy

Významný vliv na poškození slunečnice herbicidy měly povětrnostní podmínky před a po aplikaci, zejména srážky před druhou aplikací v roce 2015. V roce 2016 byl zase porost zasažen silnou bouřkou s kroupami, které velmi výrazně poškodily listy slunečnice. Matzenbacher et al. (2014) uvádí, že srážky před aplikací herbicidu zvyšují účinnost, ale zároveň mohou snižovat selektivitu, tím, že porušují ochranné bariéry na povrchu listů. Takovými ochrannými bariérami mohou být voskové útvary na povrchu kutikuly nebo trichomy. Přestože v roce 2017 byly před aplikacemi herbicidů zaznamenány rovněž srážky, kdy před prvním termínem aplikace spadlo 6,8 mm a 12 mm před druhým, fytotoxicita byla výrazně nižší (4–6 %), pravděpodobně s ohledem na pozdnější výsev slunečnice (11.5.), a tedy také výrazně vyšší teploty (17–20 °C) v době obou aplikací a krátce po nich. Při vyšších teplotách je schopna rostlina herbicid rychleji metabolizovat, takže herbicid je inaktivován dříve, než se u rostliny projeví vizuální příznaky poškození (McCullough and Hart, 2006; Vidal et al. 2017). Žádné příznaky fytotoxicity na hybridu P63LE10 (ExpressSun) po aplikaci tribenuronu nezaznamenal ani Jursík et al. (2017) - odolnost tohoto hybridu k tribenuronu je však založena homozygotně. V důsledku fytotoxického působení herbicidů na rostliny slunečnice docházelo v našich pokusech k větvení lodyh, přičemž na některých větvích docházelo k vytvoření kvetoucích úborů. V roce 2015 došlo po předávkování (2N dávka) ke zvýšení počtu úborů o 67,6 % -95,8 % v porovnání s neošetřenou kontrolou. Málek et al. (2013) uvádí, že poškozená (stresovaná) slunečnice tvoří boční výhony ze spodní části lodyhy. Větvení stonku je řízeno fytohormony konkrétně auxiny, které udržují apikální dominanci a cytokininy, které ji naopak porušují a stimulují větvení stonku. Při odstranění, poškození nebo při inhibici transportu auxinů dochází porušení apikální dominance a rozvětvení stonku (Shimizu-Sato et al., 2008; Dun et al., 2006). Poškození slunečnice tribenuronem mělo v konečném důsledku vliv také na výnos nažek, který byl v roce 2015 (u1N i 2N) průkazně nižší oproti neošetřené kontrole. Průkazný pokles výnosu na parcelách ošetřených tribenuronem byl zaznamenán také v roce 2016, ovšem pouze v případě jeho

předávkování (2N dávka). V roce 2017, s ohledem na velmi malé poškození slunečnice herbicidem, nedošlo k průkaznému snížení výnosu. Carvalho et al. (2009) uvádí, že v případě nízkého poškození (fytotoxicity) plodiny nemusí docházet k významnému ovlivnění výnosu.

Poškození slunečnice listovým graminicidem propaquizafopem bylo minimální v roce 2015 a 2017, kdy byla fytoxicita pozorována pouze na rostlinách, které byly ošetřeny dvojitou dávkou (2N), kde na nejmladších listech (vegetační vrchol) byly patrné drobné nekrózy. Minimální poškození slunečnice, sóji a brambor listovými graminicidy zaznamenal také Bedmar (1997). Vyšší fytoxicita (10–13 %) byla v našich pokusech zaznamenána pouze v roce 2016, což bylo pravděpodobně způsobeno oslabením porostu krupobitím, které nastalo 2 dny po druhé aplikaci. Poškozené rostliny měly zkrabacené listy (včetně nově vytvořených) a tvořili také více postranních větví, což vedlo k tvorbě většího počtu úborů (o 1 až 10 % oproti neošetřené kontrole). Přestože poškození slunečnice neovlivnilo výnosy nažek, může být oslabený vegetační vrchol snadno napaden nejrůznějšími patogeny, zejména plísní šedou, či mšicemi, které nejraději sají právě na nejmladších listech slunečnice (Kazda et al., 2018; Jursík et al., 2018).

TM kombinace tribenuron + propaquizafop poškozovala rostliny slunečnice ze všech testovaných herbicidních variant nejvíce. Vysoká fytoxicita (31-62%) byla zaznamenána v letech 2015 a 2016. Naopak, v roce 2017 byla fytoxicita výrazně nižší (3-14%). Společné ošetření sulfonylmočovinou a inhibitorem ACCasy může způsobit pokles účinnosti graminicidu (Jursík a kol. 2017), ale také snížení selektivity ošetření (Isaacs et al. 2003; Kammler et al. 2010; Matzenbacher et al. 2015), což se však v našich pokusech nepotvrdilo, neboť poškození samotným tribenuronem způsobilo velmi silnou fytoxicitu a její další zvýšení přidáním graminicidu již nebylo průkazné.

Povětrnostní podmínky krátce před a po aplikaci významně ovlivňují účinnost a selektivitu herbicidů (Stewart et al. 2010). Nízká selektivita herbicidů byla v našich pokusech zaznamenána zejména v letech 2015 a 2016, kdy rostliny slunečnice byly stresovány nepříznivými povětrnostními podmínkami (nízké teploty před a po aplikaci a intenzivní srážky před aplikací). Nejnižší fytoxicita byla zaznamenána v roce 2017, kdy byla aplikace herbicidu provedena na začátku června. Optimální teploty pro růst (10–25 °C) v tomto období pravděpodobně eliminovaly možný negativní vliv intenzivních srážek před aplikací herbicidů.

7 Vyjádření k hypotézám

- 1) Působení nízkých teplot v počátečních vegetativních fázích růstu slunečnice ovlivňuje parametry primárního metabolismu.

Hypotéza byla potvrzena. Byla prokázána závislost mezi teplotou a aktivitou PSII. Mezi všemi třemi testovanými teplotními režimy byly zaznamenány průkazné rozdíly v intenzitě fotosyntézy a vizuálním poškození rostlin slunečnice.

- 2) Kombinace stresových faktorů (nízká teplota + herbicidní ošetření) ovlivňuje fyziologii a morfologii fotosyntetického aparátu slunečnice roční.

Hypotéza byla potvrzena pouze z části. Kombinace stresových faktorů ovlivnila aktivitu fotosyntézy pouze v méně extrémních situacích, tedy při teplotách do 0°C. V případě vystavení rostlin slunečnice velmi nízkým teplotám (-5 °C) se již aditivní vliv herbicidního ošetření neprojevil.

- 3) V podmínkách ČR je možný časný výsev slunečnice roční.

Hypotéza potvrzena s výhradami. Přestože se prokázal negativní vliv nízkých teplot a přívalových srážek na selektivitu herbicidů používaných v HT technologiích, je vhodné provádět výsevy této plodiny včas, s ohledem na možný nedostatek srážek v průběhu dubna či května. Navíc se v posledních několika letech výrazně zvýšila odolnost ExpressSun hybridů k tribenuronu, takže k poškození těchto hybridů herbicidem dochází jen zcela výjimečně.

8 Závěry a doporučení pro praxi

Zavedení technologií využívajících odolnosti hybridů slunečnice k herbicidům, vůči nimž jsou konvenční hybridy citlivé (HT technologie), znamenalo výrazný pokrok v regulaci plevelů v této plodině. Po úspěšném zavedení ExpressSun technologie se však začaly projevovat také určité problémy, které bylo třeba výzkumně řešit a pěstitelům slunečnice navrhnout co možná nejefektivnější využití této technologie. Cílem této práce bylo prohloubení znalostí o fyziologických reakcích slunečnice roční na nízké teploty a herbicidní ošetření.

Působení nízké teploty a tank-mix kombinace tribenuronu s graminicidem negativně ovlivnilo aktivitu PSII při teplotách do 0 °C. V případě působení velmi nízkých teplot (-5 °C) byl vliv herbicidního ošetření neprůkazný. Poškození slunečnice ošetřené touto kombinací se zvyšovalo s poklesem teploty. V testovaném rozsahu teplot nebyl zjištěn aditivní vliv graminicidu na aktivitu PSII a poškození slunečnice.

Byl prokázán negativní vliv nízkých teplot a přívalových srážek na selektivitu herbicidů používaných v HT technologiích.

Je vhodné provádět výsevy této plodiny včas, s ohledem na půdní a klimatické podmínky, jakož i na možný nedostatek srážek v průběhu dubna či května. V posledních několika letech se výrazně zvýšila odolnost ExpressSun hybridů k tribenuronu (homozygotní odolnost - obě rodičovské linie mají odolnost k tribenuronu), takže k poškození těchto hybridů herbicidem dochází jen zcela výjimečně.

ExpressSun technologie využívá hybridů, kteří jsou přirozeně odolní k účinné látce tribenuron. Tento herbicid se používá postemergentně a působí pouze na dvouděložné plevely. Při výskytu trávovitých plevelů je třeba použít některý z půdních přípravků nebo listový graminicid. Tank-mix kombinace tribenuronu a graminicidu není doporučována, neboť u citlivých hybridů (jejichž odolnost k tribenuronu je založena heterozygotně) způsobuje poškození.

K poškození slunečnice však může dojít i po samotné aplikaci tribenuronu, pokud je provedeno za nevhodných povětrnostních podmínek, kdy je slunečnice mimo herbicidního ošetření stresována také nízkými teplotami nebo pokud je ošetření provedeno před nebo po vydatných srážkách. V případě aplikace listového graminicidu dochází jenom k velmi mírnému poškození slunečnice, které nijak neovlivňuje její další vývoj.

U ExpressSun technologie byl, po jejím zavedení, poměrně velký problém s vyšší citlivostí hybridů k tribenuronu, zejména v případech, kdy byla aplikace provedena za nevhodných povětrnostních podmínek (vysoké srážky před aplikací, či nízké teploty krátce před a po aplikací). Tento nedostatek se však podařilo vyřešit a v současnosti jsou pěstitelům nabízeny již jen vysoce odolné ExpressSun hybridy. Takže je možné je ošetřovat tank-mix kombinacemi tribenuronu s listovým graminicidem, ale v případě ošetření na porost stresovaný nízkými teplotami se fytotoxicita může projevit. Z tohoto důvodu je vhodné zohledňovat povětrnostní podmínky při výběru termínu aplikace.

9 Publikace autora

Andr, J., Kočárek, M., Jursík, M., Fendrychová, V., **Tichý, L.** 2017. Effect of adjuvants on the dissipation, efficacy and selectivity of three different pre-emergent sunflower herbicides. *Plant, Soil and Environment*. 63. 409-415.

Tichý, L., Jursík, M., Kolářová, M., Hejnák, V., Andr, J., Martínková, J. 2018. Sensitivity of sunflower hybrid PR63E82 to tribenuron and propaquizafop in different weather conditions. *Plant, Soil and Environment*. 64. 479-483.

Jursík, M., Kočárek, M., Kolářová, M., **Tichý, L.** 2020. Effect of different soil and weather conditions on efficacy, selectivity and dissipation of herbicides in sunflower. *Plant, Soil and Environment*. 66. 468-476.

Tichý, L., Jursík, M., Andr, J. 2016. Sensitivity of hybrid PR63E82 to tribenuron and propaquizafop in different weather conditions. In: 7th International Weed Science Congress. Prague. 430. ISBN: 978-80-213-2648-4

Tichý, L., Jursík, M. 2015. Testování citlivosti hybridu PR63E82 k tribenuronu a listovému graminicidům v různých povětrnostních podmínkách. In: 32. vyhodnocovací seminář: Systém výroby řepky – Systém výroby slunečnice. Hluk. 228-231.

Tichý, L., Jursík, M., Hejnák, V., Andr, J. 2016. Citlivost hybridu PR63E82 k tribenuronu a listovým graminicidům v různých povětrnostních podmínkách a růstových fázích. In: 33. vyhodnocovací seminář: Systém výroby řepky – Systém výroby slunečnice. Hluk. 236-240.

Tichý, L., Jursík, M., Andr, J., Hejnák, V. 2017. Citlivost hybridu PR63E82 k tribenuronu a listovým graminicidům v různých povětrnostních podmínkách v letech 2015-2017. In: 34. vyhodnocovací seminář: Systém výroby řepky – Systém výroby slunečnice. Hluk. 228-230.

10 Seznam literatury

Aarts, M. G. M., Fiers, M. W. E. J. 2003. What drives plant stress genes? Trends Plant Science. 8. 99–102.

Agarwal, P. K., Jha, B. 2010. Transcription factors in plants and ABA dependent and independent abiotic stress signalling. Biologia Plantarum. 54. 201-212.

Ali, S. 2011. Leaf yield and polyphenols of artichoke (*Cynara cardunculus* L.) influenced by harvest frequency and herbicide stress. VVB LAUFERSWEILER VERLAG. Giessen. 127 s. ISBN: 978-3-8359-5783-1

Al-Khatib, K., Baumgartner, J., Peterson, D., Currie, R. 1998. Imazethapyr resistance in common sunflower (*Helianthus annuus*). Weed Science. 46. 403–407.

Allen, D. J., Ort, D. R. 2001. Impacts of chilling temperature on photosynthesis in warm-climate plants. Trends in Plant Science 6. 36–42.

Allen, D. J., Ratner, K., Giller, Y. E., Gussakovsky, E. E., Shahak, Y., Ort, D. R. 2000. An overnight chill induces a delayed inhibition of photosynthesis at midday in mango (*Mangifera indica* L.). Journal of Experimental Botany. 51. 1893-1902.

Allinne, C. 2010. Modélisation écophysiological et analyse génétique pour la recherche de génotypes de tournesol adapté aux basses températures causées par des semis précoces [on-line]. Institut National Polytechnique de Toulouse. 12. února 2010 [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000998/>

Anon. 2017. Situační a výhledová zpráva-olejniny. Ministerstvo zemědělství. Praha. 63 s. ISBN: 978-80-7434-360-5

Aroca, R., Amodeo, G., Fernández-Illescas, S., Herman, E. M., Chaumont, F., Chrispeels, M. J. 2005. The role of aquaporins and membrane damage in chilling and hydrogen peroxide induced changes in the hydraulic conductance of maize roots. Plant Physiology. 137. 341-353.

Baranyk, P., Hájková, M., Havel, J., Kazda, J., Lošák, T., Málek, B., Markytán, P., Plachká, E., Richter, R., Soukup, J., Stražil, Z., Šaroun, J., Škeřík, J., Šmirous, P., Štranc, P., Štranc, J., Štranc, D., Volf, M., Vrbovský, V., Zehnálek, P., Zelený, V. 2010. Olejníny. Profipress. Praha. 206 s. ISBN: 978-80-86726-38-0

Barros, J. F. C., de Carvalho, M., Basch, G. 2004. Response of sunflower (*Helianthus annuus*, L.) to sowing date and plant density under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*. 21. 347-356.

Beck, E. H., Fettig, S., Knake, C., Hartig, K., Bhattarai, T. 2007. Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress. *Journal of Biosciences*. 32. 501-510.

Bigras, F. J., Colombo, S. J. 2001. Conifer cold hardiness. Springer Science & Business Media. Dordrecht. 596 s. ISBN: 978-90-481-5587-3

Björkman, O., Deming, B. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. *Planta*. 170. 489-504.

Carranza, P., Saavedra, M., Garcia-Torrez, L. 1995. Competition between *Radolfia segetum* and sunflower. *Weed Research* 35. 369-376.

Carvalho, S. J. P., Nicolai, M., Ferreira, R. R., Figueira, A. V. O., Christoffoleti, P. J. 2009. Herbicide selectivity by differential metabolism: Considerations for reducing crop damages. *Scientia Agricola*. 66. 136-142.

Cerkal, R., Kamler, J., Škarpa, P., Pokorný, R., Mareček, V., Fajman, M., Muška F. 2011. Methods of cultivation and important factors affecting the yield and quality of sunflower. In Hughes, V.C.: *Sunflowers: Cultivation, Nutrition and Biodiesel Uses*. Nova Science Publishers. New York. 47-98. ISBN: 978-1-61761-309-8

Ciarmiello, L. F., Woodrow, P., Fuggi, A., Pontecorvo, G., Carillo, P. 2011. Plant genes for abiotic stress. *IntechOpen*. 22. září 2011[cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/abiotic-stress-in-plants-mechanisms-and-adaptations/plant-genes-for-abiotic-stress>

- Cramer, G. R. 2010. Abiotic stress and plant responses from the whole vine to the genes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 16. 86–93.
- Cramer, G. R., Urano, K., Delrot, S., Pezzotti, M., Shinozaki, K. 2011. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biology*. 11. 163-177.
- Daszkowska-Golec, A., Szarejko, I. 2013. Open or close the gate – stomata action under the control of phytohormones in drought stress conditions. *Frontiers in Plant Science*. 4 (138). 1-16.
- Dayan, F. E., Barker, A. L., Bough, R., Ortiz, M., Takano, H. K., Duke, S. O. 2019. Herbicide mechanisms of action and resistance. In: Moo-Young, M. (eds.). *Comprehensive biotechnology*. Elsevier. Amsterdam. 4826
- Dayan, F. E., Zaccaro, M. L. M. 2012. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 102. 189-197.
- Dermin, A. O., Göksoy, A. T., Büyükcangaz, H., Turan, Z. M., Köksal, E. S. 2006. Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in a sub-humid climate. *Irrigation Science* 24. 279-289.
- Dun, E. A., Ferguson, B. J., Beveridge, C. A. 2006. Apical dominance and shoot branching. Divergent opinions or divergent mechanisms?. *Plant Physiology*. 142. 812-819.
- Fábry, A., Schreier, J., Šinský, T., Škaloud, V., Štaud, J., Vašák, J. 1990. *Jarní olejniny*. Ministerstvo zemědělství ČR. Praha. 48 s.
- Farooq, M., Aziz, T., Wahid, A., Lee, D.-J., Siddique, K. H. M. 2009. Chilling tolerance in maize: agronomic and physiological approaches. *Crop & Pasture Science*, 60, 501-516.
- Feng, G., Catalayud, V., Paoletti, E., Hoshika, Y., Feng, Z. 2017. Water stress mitigates the negative effect of ozone on photosynthesis and biomass in poplar plants. *Environmental Pollution*. 230. 268-279.

- Feng, Y. L., Cao, K. F. 2005. Photosynthesis and photoinhibition after night chilling in seedlings of two tropical trees species grown under three irradiances. *Photosynthetica*. 43. 567-574.
- Ferdous, J., Mamun, Md., Sarafat Ali, Md. 2017. Impact of environmental and stress factors on the photosynthetic capabilities of plants. *Universal Journal of Agricultural Research*. 5. 113-118.
- Gillies, S. L., Binder, W. D. 1996. The effect of sub-zero temperatures in the light and dark on cold-hardened, dehardened and newly flushed white spure (*Picea glauca* [Moench.] Voss) seedlings. *New Forests*. 13. 91-104.
- Grieu, P., Maury, P., Debaeke, P., Sarrafi, A. 2008. Ecophysiological and genetical studies to improve drought tolerance of sunflower genotypes. In: *Proceedings of the I. Prague Plant Scientific Workshop*. Prague.
- Griffith, M., Lumb, C., Wiseman, S. B., Johnson, R. W., Wisniewski, M., Loewen, M. C. 2003. Winter rey antifreeze proteins are not cryoprotective, rather they modify the growth of ice in planta. *Acta Horticulturae*. 618. 31-37.
- Griffith, M., Yaish, M. W. F. 2004. Antifreeze proteins in overwintering plants: a tale of two activities. *TRENDS in Plant Science*. 9. 399-405.
- Grompone M. A. 2005. Sunflower oil. In Shadini, F. *Bailey's industrial oil and fat Products*. John Wiley & Sons. New Jersey. 655-730.
- Gusta, L. W., Wisniewski, M. 2012. Frost tolerance in plants. In: Shabala, S. (ed.). *Plant stress physiology*. CAB International, USA. 132-147.
- Hallgren, J., Öquist, G. Adaptation to low temperature. In: Alscher, R. G., Cumming, J. R. 1990. *Stress Responses in Plants: Adaptation and Acclimation Mechanisms*. Wiley-Liss. New York. 265-293. ISBN: 978-04-7156-810-0

- Hendrickson, L., Ball, M. C., Wood, J. T., Chow, W. S., Furbank, R. T. 2004. Low temperature effects on photosynthesis and growth of grapevine. *Plant, Cell and Environment*. 27. 795–809.
- Hewezi, T., Léger, M., El Kayal, W., Gentzbittel, L. 2006. Transcriptional profiling of sunflower plants growing under low temperatures reveals an extensive down-regulation of gene expression associated with chilling sensitivity. *Journal of Experimental Botany*. 57. 3109-3122.
- Hey, S. J., Byrne, E., Halford, N. G. 2010. The interface between metabolic and stress signalling. *Annals of Botany*. 105. 197–203.
- Hikosaka, K., Ishikawa, K., Borjigidai, A., Muller, O., Onda, Y. 2006. Temperature acclimation of photosynthesis: Mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *Journal of Experimental Botany*. 57. 291-302.
- Hniličková, H., Hnilička, F., Martínková, J., Kraus, K. 2017. Effects of salt stress on water status, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of rocket. *Plant, Soil and Environment*. 63. 362-367.
- Holaday, A. S., Mahan, J. R., Payton, P. 2016. Effects of chilling temperatures on photosynthesis. *The Journal of Cotton Science*. 20. 220-231.
- Hopkins, W. G., Hüner, N. P. A. 2004. *Introduction to plant physiology - 3rd edition*. John Wiley and Sons, Inc. New Jersey. 560 s.
- Hrůza, M., Kazda, J., Říha, K. 2005. *Metodika pěstování slunečnice*. SPZO s.r.o., Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin. Praha. 65 s. ISBN: 80-903464-9-9
- Ikkonen, E. N., Shibaeva, T. G., Sysoeva, M. I., Sherudilo, E. G. 2012. Stomatal conductance in *Cucumis sativus* upon short-term and long-term exposures to low temperatures. *Russian Journal of Plant Physiology*. 59. 696-699.

- Jocic S., Malidza G., Cvejic S., Hladni N., Miklic V., Skoric D. 2011. Development of sunflower hybrids tolerant to tribenuron methyl. *Genetica-Belgrade*, 43 (1). 175-182.
- Jouyban, Z., Hasanzade, R., Sharafi, S. 2013. Chilling stress in plants. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 5. 2961-2968.
- Jursík M., Andr J., Holec J., Kolářová M. 2013. Optimalizace používání ClearField a ExpressSun technologie ve slunečnici. *Úroda* 61 (1), 50-53.
- Jursík, M., Andr, J., Hřimanová, D., Venclová, V. 2012. Optimalizace preemergentní regulace plevelů ve slunečnici. *Úroda* 60 (4). 40-45.
- Jursík, M., Andr, J., Kolářová, M. 2014. Clearfield a ExpressSun technologie ve slunečnici a očekávané trendy. *Úroda* 62 (3). 44-47.
- Jursík, M., Fendrychová, V., Andr, J., Kolářová, M. 2015. Clearfield a ExpressSun technologie ve slunečnici v roce 2015 a trendy do budoucna. In: 32. vyhodnocovací seminář: Systém výroby řepky – Systém výroby slunečnice. Hluk. 223-227.
- Jursík, M., Fendrychová, V., Kolářová, M., Andr, J. 2014. Současná situace a problémy při regulaci plevelů ve slunečnici. In: 31. vyhodnocovací seminář: Systém výroby řepky – Systém výroby slunečnice. Hluk. 208-211.
- Jursík, M., Fendrychová, V., Kolářová, M., Andr, J., Soukup, J. 2017. Optimising Clearfield and ExpressSun sunflower technologies for Central European conditions. *Plant Protection Science*. 53. 265-272.
- Jursík, M., Holec, J., Hamouz, P., Soukup, J. 2011. Plevelé – biologie a regulace. Kurent. České Budějovice. 232 s. ISBN: 978-80-87-111-27-7
- Jursík, M., Holec, J., Hamouz, P., Soukup, J. 2018. Biologie a regulace plevelů. Kurent. České Budějovice. 359 s. ISBN: 978-80-87111-71-0

- Jursík, M., Kazda, J., Spitzer, T., Říha, K. 2018. Technologie integrované ochrany slunečnice proti chorobám, škůdcům a plevelům. ČZU v Praze. Praha. 33 s. ISBN: 978-80-213-2898-3.
- Jursík, M., Soukup, J., Holec, J., Andr, J. 2010a. Inhibitory acetolaktát syntézy (ALS inhibitory). Listy cukrovarnické a řepařské. 126. 376-379.
- Jursík, M., Soukup, J., Holec, J., Venclová, V. 2010b. Inhibitory biosyntézy lipidů – Inhibitory ACCasy (listové graminicidy). Listy cukrovarnické a řepařské. 126. 446-447.
- Kadohama, N., Goh, T., Ohnishi, M., Fukaki, H., Mimutra, T., Suzuki, Y. 2013. Sudden collapse of vacuoles in *Saintpaulia* sp. palisade cells induced by a rapid temperature decrease. Plos One. 8.18-30.
- Kammler, K. J., Walters, S. A., Young, B. G. 2010. Effect of adjuvants, halsulfuron and grass herbicides on *Cucurta* spp. injury and grass control. Weed Technology. 24. 147-152.
- Kanemura, T., Homma, K., Ohsumi, A., Narisu Horie, T., Shirawia, T., Ebana, K., Uga, Y., Kojima, Y., Fukuoka, S. 2005. Analysis of genetic variability in yield-related trans of rice using global core collection. II. Leaf photosynthetic rate and associated factors. Japanese Journal of Crop Science. 74. 238-239.
- Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C., Roupheal, Y., 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. Agric. Water Manage. 90. 213–223.
- Kautsky, H., Hirsch, A. 1934. Chlorophyllfluoreszenz und Kohlensäureassimilation. Das Fluoreszenzverhalten grüner Pflanzen. Biochem. Zeitschrift. 274. 423-434.
- Kazda, J., Říha, K., Stejskalová, M., Spitzer, T. 2018. Ochrana slunečnice roční (*Helianthus annuus*) proti chorobám a živočišným škůdcům podle zásad IOR. ČZU v Praze. Praha. 35 s. ISBN: 978-80-213-2818-1

Kingston-Smith, A. H., Foyer, C. H. 2000. Bundle sheath proteins are more sensitive to oxidative damage than those of the mesophyll in maize leaves exposed to paraquat or low temperatures. *Journal of Experimental Botany*. 51. 123-130.

Körner, Ch. 2016. Plant adaptation to cold climates. *F1000Research*. 5. 2769-2774.

Kováčik, A. 1993. *Základy pěstování slunečnice*. Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR. Praha. 46 s.

Kováčik, A. 2000. *Slunečnice*. Agrospoj. Praha. s. 108. ISBN: 80-239-4238-7

Kováčik, A. 2007. Dvacet let pěstování slunečnice v ČR. *Úroda*. 55. 19-20.

Koyro, H. W. 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environmental and Experimental Botany*. 56. 136-146.

Kratsch, H. A., Wise, R. R. 2000. The ultrastructure of chilling stress. *Plant, Cell and Environment*. 23. 337-350.

Lancashire, P. D., Bleiholder, H., Van Den Boom, T., Langelüdeke, P., Stauss, R., Weber, E., Witzemberger, A. 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology*, 119. 561-601.

Lentz, D. L., Mary, M. E. D., Pope, K. O., Wyatt, A. R. 2001. Prehistoric sunflower (*Helianthus annuus* L.) domestication in Mexico. *Economic Botany* 55. 370-376.

Lidon, F. C., Loureiro, A. S., Vieira, D. E., Bilhó, E. A., Nobre, P., Costa, R. 2001. Photoinhibition in chilling stressed wheat and maize. *Photosynthetica*. 39. 161-166.

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

Lukatkin, A.S., Brazaittyte, A., Bobinas, C., Duchovskis, P. 2012. Chilling injury in chill-sensitive plants: A review. *Zemdirbyste-Agriculture*. 99. 111-124.

Málek B., Povolný, M., Richter, R., Hřivna, L., Jursík, M., Holec, J., Kohout V., Bartoška, J., Hruža, M., Kazda, J., Říha, K. 2005. Metodika pěstování slunečnice. SPZO s.r.o., Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin. Praha. 65 s. ISBN: 80-903464-9-9

Málek, B. 2007. O úspěchu pěstování slunečnice rozhoduje jaro. *Květy olejnin*. 12. 6-7.

Málek, B. 2011. Slunečnice v podmínkách České Republiky v roce 2011. In: 28. vyhodnocovací seminář: Systém výroby řepky – Systém výroby slunečnice. Hluk. 198–215.

Málek, B. 2012. Slunečnice v podmínkách České Republiky v roce 2012. In: 29. vyhodnocovací seminář: Systém výroby řepky – Systém výroby slunečnice. Hluk. 195-210.

Málek, B. 2017. Slunečnice v podmínkách České republiky v roce 2017. In: : 34. vyhodnocovací seminář: Systém výroby řepky – Systém výroby slunečnice. Hluk. 189-207.

Málek, B. 2020. Slunečnice v podmínkách České republiky v roce 2020. In: : 37. vyhodnocovací seminář: Systém výroby řepky – Systém výroby slunečnice. Hluk. 171-186.

Málek, B., Andr, J., Jursík, M., Škarpa, P., Říha, K., Kazda, J., Richter, R. 2013. Slunečnice – technologie pěstování. Kurent. České Budějovice. 125 s. ISBN: 978-80-87111-41-3

Matzenbacher F. O., Kalsing, A., Dalazen, G., Markus, C., Merotto, A. J. 2015. Antagonism is the predominant effect of herbicide mixtures used for imidazolinon-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* L.) control. *Planta Daninha*. 33. 587-597.

Merrien, A., Arjaure, G., Maisonneuve, C. 1986. Besoins en éléments minéraux che zle Tournesol dans les conditions francaises. *Info. Techn. CETIOM* 95. II: 8-19

Meti, R. N., Geetha, K. N., Shankar, A. G., Kalyanamurrthy, K. N., Prathima, A. S. 2016. Effect of weed management practices on weed growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *The Bioscan*. 11. 2621-2624.

- Mottl, V. 2008. Slunečnice, hořčice, mák setý, sója luštinatá, len olejný. Agro. 9. 7-12
- Munnik, T., Meijer, H. J. G. 2001. Osmotic stress activates distinct lipid and MAPK signalling pathways in plants. FEBS Letters. 498. 172-178.
- Murchie, E. H., Lawson, T. 2013. Chlorophyll fluorescence analysis: a Guide to good practice and undrestanding some new applications. Journal of Experimental Botany. 64. 3983-3998.
- Nadasy, E., Nadasy, M., Nagy, V. 2008. Effect of soil herbicides on developoment of sunflower hybrid. Cereal Research Commmunications 36. 847-850.
- Nátr, L. 2002. Fotosyntetická produkce a výživa lidstva. ISV. Praha. 423 s. ISBN: 80-85866-92-7
- Naylor, R. E. L. (eds.). 2002. Weed management Handbook. British Crop Protection Council. Blackwell Science. Oxford. 432 s. ISBN: 978-0632057320
- Nilsen, E., Orcutt, D. M. 1996. The physiology of plants under stress - Abiotic factors. John Wiley and Sons, Inc. New York. 689 s.
- Novák, V. 2009. Physiological drought – how to quantify it?. In: Střelcová, K. (eds) Bioclimatology and natural hazards. Springer. Dordrecht. 89-95. ISBN: 978-1-4020-88-75-9
- O'Connor-Marer, P. J. 2000. The safe and effective use of pesticides. Agriculture and Natural Resources. Oakland. 342 s. ISBN: 1-879906-43-0
- Ohsumi, A., Kanemura, T., Homma, K., Horie, T., Shiraiwa, T. 2007. Genotypic variation of stomatal conductnce in relation to stomatal density and lenght in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Production Science. 10. 322-328.
- Pantin, F., Monnet, F., Jannaud, D., Costa, J. M., Renaud, J., Muller, B., Simonneau, T., Genty, B. 2013. The dual effect of abscisic acid on stomata. New Phytologist. 197. 65-72.

Parent, B., Hachez, C., Redondo, E., Simonneau, T., Chaumont, F., Tardieu, F. 2009. Drought and abscisic acid effects on aquaporin content translate into changes in hydraulic conductivity and leaf growth rate: A trans-scale approaching. *Plant Physiology*. 149. 2000–2012.

Partelli, F. L., Vieira, H. D., Viana, A. P., Batista-Santos, P., Rodrigues, A. P., Leitao, A. E., Ramalho, J. C. 2009. Low temperature impact on photosynthetic parameters of coffee genotypes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 44. 1404-1415.

Pinheiro, C., Chaves, M. M. 2011. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? *Journal of Experimental Botany*. 62. 869–882.

Porra, R. J., Thompson, W. A., Kriedemann, P. E. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochim Biophys Acta*. 975. 384-394.

Prášil, I. T., Kosová, K., Vítámvás, P., Prášilová, P., Zelenková. 2010. Současné možnosti zvyšování odolnosti plodin vůči stresu mrazu a chladu. In: Bláha, L., Hnilička, F., Martinková, J. (eds.). *Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci rostlin (vybrané kapitoly)*. VÚRV, v.v.i. a ČZU v Praze. Praha. 69-83.

Rao, V. S. 2000. *Principles of weed science*. Science Publisher, Inc. Enfield. USA. 559 s. ISBN: 1-57808-069-X

Reade, P. H., Cobb, A. H. 2002. *Herbicides: Mode of Action and Metabolism*. In Naylor, R. E. L.: *Weed Management Handbook*. British Crop Protection Council. Blackwell Science. Oxford. 2002.

Ritchie, G. A. 2006. Chlorophyll Fluorescence: What is it and what do the numbers mean? In: Riley, L. E., Dumroese, R. K., Landis, T. D. (Tech. coords.) *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Association*. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 34-43.

Scott, P. 2008. *Physiology and behaviour*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 305 s.

Sharma, D. K., Andersen, S. B., Ottosen, C. O., Rosenqvist, E. 2015. Wheat cultivars selected for high Fv/Fm under heat stress maintain high photosynthesis, total chlorophyll, stomatal conductance, transpiration and dry matter. *Physiologia Plantarum*. 153. 284-298.

Shimizu-Sato, S., Tanaka, M., Mori, H. 2008. Auxin-cytokinin interactions in the control of shoot branching. *Plant Molecular Biology*. 69. 429-435.

Schneiter, A., Miller, J. F. 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Science*, 21. 901-903.

Schubert, M., Groenvold, L., Sandve, S. R., Hvidsten, T. R., Fjellheim, S. 2017. Evolution of cold acclimation in temperate grasses (*Pooideae*) [on-line]. *bioRxiv*. 27. října 2017 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1101/210021>

Schwanitz, F. 1969. Vývoj kulturních rostlin. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 544 s.

Skirycz, A., Inze, D. 2010. More from less: plant growth under limited water. *Current Opinion in Biotechnology*. 21. 197–203.

Soukup, J. 2005. Metody regulace zaplevelení. In: Mikulka, J., Kneifelová, M., a kol.: Plevelné rostliny. Profi Press, Praha. 148 s. ISBN: 80-86726-02-9

Sreenivasulu, N., Sopory, S. K., Kavi Kishor, P. B. 2007. Deciphering the regulatory mechanisms of abiotic stress tolerance in plants by genomic approaches. *Gene* 388. 1-13.

Stewart, C. L., Nurse, R. E., Hamill, A. S., Sikkema, P. H. 2010. Environment and soil conditions influence pre- and postemergence herbicide efficacy in soybean. *Weed Technology*. 24. 234–243.

Špulák, O., Martincová, J. 2006. Hodnocení změn fluorescence chlorofylu smrku ztepilého na začátku jarní růstové aktivity. In: Jurásek, A., Novák, J., Slodičák, M. (eds.). Proceedings of International Scientific Conference - Stabilization of the forest functions in biotopes disturbed by anthropogenic activity under changing ecological conditions. Opočno. s. 425-434.

- Takahashi, S., Seki, M., Ishida, J., Satou, M., Sakurai, T., Narusaka, M., Kamiya, A., Nakajima, M., Enju, A., Akiyama, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K.. 2004. Monitoring the expression profiles of genes induced by hyperosmotic, high salinity, and oxidative stress and abscisic acid treatment in *Arabidopsis* cell culture using a full-length cDNA microarray. *Plant Molecular Biology*. 56. 29–55.
- Takano, H. K., Ovejero, R. F. L., Belchior, G. G., Maymone, G. P. L., Dayan, F. E. 2019. ACCase-inhibiting herbicides: mechanism of action, resistance evolution and stewardship. *Scientia Agricola*. 78. 1-11.
- Tan, S., Evans, R. R., Dahmer, M. L., Singh, B. K., Shaner, D. L. 2005. Imidazoline-tolerant crops: history, current status and future. *Pest Management Science*. 61. 246-257.
- Taulavuori, K., Bauer, E., Taulavuori, E. 2011 Overwintering stress of *Vaccinium vitisidaea* in the absence of snow cover. *Environmental and Experimental Botany*. 72. 397-403.
- Thakur, P., Kumar, S., Maik, J. A., Berger, J. D., Nayyar, H. 2010. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: An overview. *Environmental and Experimental Botany*. 67. 429-443.
- Tyystjärvi, E. 2013. Chapter Seven- Photoinhibition of Photosystem II. *International Review of Cell and Molecular Biology*. 300. 243-303.
- Verlues, P. E., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J., Zhu, J. K. 2005. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*. 45. 523-539.
- Wanjari, R. H., Yaduraju, N. T., Ahuja, K. N. 2001. Critical period of crop-weed competition in rainy-season sunflower (*Helianthus annuus*). *Indian Journal of Agronomy*. 46. 309-313.
- Wiese, J., Kranz, T., Schubert, S. 2004. Induction of pathogen resistance in barley by abiotic stress. *Plant Biology*. 6. 529-536.

Wilkinson, S., Clephan, A. L., Davies, W. J. 2001. Rapid low temperature-induced stomatal closure occurs in cold-tolerant *Commelina communis* leaves but not in cold-sensitive tobacco leaves, via a mechanism that involves apoplastic calcium but not abscisic acid. *Plant Physiology*. 126. 1566-1578.

Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. 2006. Transcriptional regulatory networks in cellular responses and tolerance to dehydration and cold stresses. *Annual Review of Plant Biology*. 57. 781-803.

Yu, S., Brown, A., Middleton, A., Tomczak, M., Walker, V., Davies, P. 2010. Ice restructuring inhibition activities in antifreeze proteins with distinct differences in thermal hysteresis. *Cryobiology*. 61. 327-334.

Yu, X. M., Griffith, M. 2001. Winter rye antifreeze activity increases in response to cold and drought, but not abscisic acid. *Plant Physiology*. 112. 78-86.

Zheng, G., Tian, B., Zhang, F., Tao, F., Li, W. 2011. Plant adaptation to frequent alterations between high and low temperatures: Remodeling of membrane lipids and maintenance of unsaturation levels. *Plant, Cell and Environment*. 34. 1431-1442.

Zheng, Y. L., Feng, Y. L., Lei, Y. B., Yang, C. Y. 2009. Different photosynthetic responses to night chilling among twelve populations of *Jatropha curcas*. *Photosynthetica*. 47. 559-566.

Zhou, Y. H., Wu, J. X., Zhu, L. J., Shi, K., Yu, J. Q. 2009. Effects of phosphorus and chilling under low irradiance on photosynthesis and growth of tomato plants. *Biologia Plantarum*. 53. 378-382.

Zollinger, R. K. 2004. Advances in sunflower weed control in the USA. In: *Proceedings 16th International Sunflower Conference*. Aug 29-Sept 2. 2004. Fargo. USA: 435-439.