

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



Klíčení vybraných odrůd pšenice v podmínkách vodního stresu

Bakalářská práce

Autor práce: Anna Omesová

Obor studia: Ekologické zemědělství

Vedoucí práce: Ing. Jaroslava Martinková, Ph.D.

© 2018 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Klíčení vybraných odrůd pšenice v podmínkách vodního stresu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 19. 4. 2018

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala všem, kteří mě jakýmkoliv způsobem podpořili při psaní této práce. Mé upřímné poděkování patří zejména Ing. Jaroslavě Martinkové, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, za její ochotu, vstřícný přístup a veškerý čas, který mi věnovala. Děkuji také své rodině a přátelům za radu, podporu a motivaci. Dále děkuji katedře botaniky a fyziologie rostlin a všem jejím pracovníkům za poskytnutí zázemí a pomůcek k provedení experimentu.

Klíčení vybraných odrůd pšenice v podmínkách vodního stresu

Souhrn

Tato bakalářská práce se zaměřuje na srovnání ekologického a konvenčního osiva, na proces klíčení a jeho ovlivnění abiotickým stresem, zejména pak vodním deficitem. Cílem práce bylo určit rozdíly v klíčení obilek pšenice ozimé, *Triticum aestivum* L., vybraných odrůd, pocházejících jednak z ekologické produkce, jednak z konvenční produkce. A dále určit vliv nedostatku vody na klíčení těchto obilek.

Vzhledem k omezeným možnostem cíleného hnojení a ochrany rostlin v systému ekologického zemědělství se předpokládá nižší obsah živin v semenech a menší vitalita rostlin z ekologického zemědělství ve srovnání se semeny a rostlinami pocházejících z konvenčního zemědělství. Bylo předpokládáno, že obilky z ekologické produkce budou vykazovat horší ukazatele klíčivosti i růstu kořínku a hypokotylu oproti obilkám z konvenční produkce. Dále bylo předpokládáno, že ekologické osivo bude hůře odolávat působení abiotického stresu, konkrétně vodního deficitu. Bylo očekáváno, že se působení vodního stresu projeví sníženou klíčivostí a omezením růstu kořínku a hypokotylu.

Byl proveden laboratorní pokus klíčení obilek pěti odrůd pšenice ozimé v ekologické a konvenční variantě, při němž byl sledován počet vyklíčených semen a délka kořínku a hypokotylu třetí, čtvrtý a pátý den od založení pokusu. Pokus zahrnoval variantu s dostatečnou zálivkou a variantu se sníženou zálivkou.

Vyhodnocením pokusu bylo zjištěno, že ekologické osivo vykazuje u některých odrůd vyšší klíčivost v porovnání s konvenčním, a to jak při dostatku vody, tak při jejím nedostatku. Dále bylo zjištěno, že konvenční osivo vykazuje intenzivnější růst kořínku a hypokotylu. Ekologické osivo odolávalo lépe působícímu stresu než konvenční osivo. Bylo prokázáno, že působení vodního deficitu vede ke zpomalení a snížení klíčivosti semen a ke snížení intenzity růstu kořínku a hypokotylu.

Klíčová slova: pšenice, konvenční zemědělství, ekologické zemědělství, vodní deficit, stres

Germination of selected wheat varieties in water stress conditions

Summary

This bachelor thesis focuses on comparison of organic and conventional seed, the process of germination and the influence of abiotic stress, especially the water deficit on it. The aim of this work was to determine differences in seed germination of winter wheat, *Triticum aestivum* L., of selected varieties, coming from both organic and conventional production. And to determine the effect of water scarcity on germination of these grains.

Due to limited possibilities of targeted fertilization and plant protection in the organic farming system, lower nutrient content in seeds and lower vitality of plants from organic agriculture is expected compared with seeds and plants from conventional agriculture. Organic grains were presumed to exhibit poorer germination and root and hypocotyl growth ratios than conventional grains. It was also assumed that organic seed would be less resistant to the effects of abiotic stress, namely water deficiency. It was expected that the action of water deficit would lead to lower germinability and reduction of root and hypocotyl growth.

It was carried out a laboratory experiment of seed germination of five winter wheat varieties in an organic and conventional variant, in which the number of germinated seeds and the length of root and hypocotyl the third, fourth and fifth day from the beginning of the experiment was observed. The experiment included a variant with sufficient dressing and a variant with a reduced dressing.

By the evaluation of the experiment it was found that organic seed shows in some varieties higher germinability in comparison with conventional seed, both with sufficient water conditions and with water deficit conditions. In addition, conventional seed has been found to exhibit more intense root and hypocotyl growth. Organic seed had better endurance to acting stress than conventional seed. It has been shown that the action of the water deficit leads to delay and reduction of seed germination and to reducing the growth rate of the root and hypocotyl.

Keywords: wheat, conventional agriculture, organic agriculture, water deficit, stress

Obsah

1 Úvod	1
2 Cíl práce	2
3 Přehled literatury (literární rešerše)	3
3.1 Základní principy ekologického zemědělství	3
3.1.1 Definice ekologického zemědělství, obecné zásady a cíle	3
3.1.2 Hlavní zásady rostlinné produkce v EZ.....	4
3.1.3 Hlavní zásady živočišné produkce v EZ.....	5
3.1.4 Srovnání ekologického a konvenčního zemědělství.....	6
3.2 Abiotický stres	8
3.2.1 Průběh stresové reakce.....	10
3.2.2 Teplota	11
3.2.3 Záření	12
3.2.4 Plyny	12
3.2.5 Minerální látky.....	13
3.2.6 Mechanické působení	13
3.2.7 Voda.....	13
3.2.7.1 Nadbytek vody.....	14
3.2.7.2 Vzdušná vlhkost	15
3.2.7.3 Vodní deficit	15
3.3 Klíčení	18
3.3.1 Dormance semen.....	19
3.3.2 Průběh procesu klíčení.....	20
3.3.3 Faktory ovlivňující klíčení.....	22
3.3.3.1 Vnitřní faktory	22
3.3.3.2 Vliv vody na klíčení	23
3.3.3.3 Ostatní vnější faktory	24
4 Metodika	26
4.1 Rostlinný materiál	26
4.1.1 Odrůda 'Annie'	26
4.1.2 Odrůda 'Bohemia'	27
4.1.3 Odrůda 'Elly'	27
4.1.4 Odrůda 'Etana'	27
4.1.5 Odrůda 'Frisky'	27
4.2 Založení pokusu	28
4.3 Vlastní průběh pokusu	28
4.3.1 Kontrolní varianta	28

4.3.2	Varianta se sníženou zálivkou	29
4.4	Zpracování výsledků	29
5	Výsledky	30
5.1	Zálivka pokusu	30
5.2	Klíčivost osiva	30
5.2.1	Odrůda Annie.....	30
5.2.2	Odrůda Bohemia	31
5.2.3	Odrůda Elly	31
5.2.4	Odrůda Etana	32
5.2.5	Odrůda Frisky	33
5.2.6	Srovnání klíčivosti jednotlivých odrůd.....	33
5.3	Růst kořínku a hypokotylu.....	34
5.3.1	Odrůda Annie.....	34
5.3.2	Odrůda Bohemia	35
5.3.3	Odrůda Elly	36
5.3.4	Odrůda Etana	36
5.3.5	Odrůda Frisky	37
5.3.6	Srovnání růstu kořínku a hypokotylu jednotlivých odrůd	37
6	Diskuze	39
6.1	Srovnání ekologického a konvenčního osiva.....	39
6.2	Vliv nedostatku vody na klíčení	40
7	Závěr.....	42
8	Seznam literatury	43
9	Seznam příloh	

1 Úvod

Ekologické zemědělství je jednou z alternativ intenzivních způsobů zemědělské produkce. Základním úkolem ekologického zemědělství je produkovat potraviny takovým způsobem, který eliminuje negativní dopad zemědělské výroby na životní prostředí a umožňuje naplňovat přirozené potřeby zvířat. Produkty ekologického zemědělství jsou v současnosti stále žádanější a počet ekologicky hospodařících podniků stále narůstá. Vzhledem k odlišnostem mezi ekologickým a konvenčním systémem produkce se předpokládá, že jimi budou ovlivněny i některé vlastnosti rostlin a jejich semen a procesy, které v nich probíhají.

Jedním z hlavních abiotických faktorů prostředí, které v poslední době významně ovlivňují zemědělskou produkci nejen v České republice a střední Evropě, ale i ve všech ostatních částech světa, je sucho. Nedostatek vody je provázán s dalšími biotickými a abiotickými faktory. Sucho může být způsobeno nízkým množstvím srážek, vysokým výparem, zhoršením strukturních vlastností a vododržnosti půd nebo například nedostatečným vegetačním pokryvem půd. Vzhledem k tomu, že voda je základní složkou rostlinného organismu a nezbytnou součástí metabolických reakcí, projevuje se její nedostatek na růstu a vývoji rostlin. Avšak jednotlivé rostliny se mohou vyznačovat různou odolností k působení vodního deficitu. Tato odolnost je dána převážně geneticky, závisí tedy na druhu a odrůdě a také na podmínkách, za jakých byla pěstována předchozí generace rostlin. Systém zemědělské výroby proto může hrát významnou roli v odolnosti rostlin k působení abiotických stresových faktorů.

2 Cíl práce

Bakalářská práce se zabývá problematikou abiotického stresu, jeho vlivem na klíčení a rozdíly mezi osivem ekologického a konvenčního původu. Pro tuto práci byly stanoveny následující cíle:

- určit rozdíly v klíčení obilek u vybraných odrůd pšenice pěstovaných v podmínkách ekologického a konvenčního zemědělství
- zjistit vliv snížené záливky na schopnost klíčení obilek
- zjistit vliv snížené záливky na délku kořínků a hypokotylu
- určit celkový počet vyklíčených semen při stresových podmínkách.

3 Přehled literatury (literární rešerše)

3.1 Základní principy ekologického zemědělství

Agroekologie vznikla v reakci na přílišné zjednodušení systému zemědělství, ke kterému docházelo od poloviny dvacátého století, a umístila biologickou složku systému zpět do centra pozornosti (Altieri, 1989). Současné zemědělství vytváří velký tlak na biodiverzitu, půdu, vodu a atmosféru a tento tlak se stále zhoršuje v souvislosti s růstem lidské populace, spotřebou masa a energií a plýtváním potravinami. Proto je velmi potřebný takový systém zemědělství, který je dostatečně produktivní a zároveň minimalizuje negativní dopady zemědělské výroby na životní prostředí (Ponisio et al., 2015).

3.1.1 Definice ekologického zemědělství, obecné zásady a cíle

Šarapatka a kol. (2006) definují ekologické zemědělství jako šetrný způsob hospodaření, který zohledňuje životní prostředí a jeho složky omezením či zakázáním používání látek zatěžujících a znečišťujících životní prostředí nebo takových, které zvyšují riziko kontaminace potravních řetězců. Ekologický zemědělec dbá na životní pohodu chovaných zvířat a používá šetrné zpracovatelské postupy při výrobě biopotravin.

Nařízení Rady (ES) č. 834/2007 ze dne 28. června 2007 uvádí následující definice, zásady a cíle ekologické produkce:

- „Ekologická produkce je celkový systém řízení zemědělského podniku a produkce potravin, který spojuje osvědčené environmentální postupy, vysokou úroveň biologické rozmanitosti, ochranu přírodních zdrojů, uplatňování přísných norem pro dobré životní podmínky zvířat a způsob produkce v souladu s požadavky určitých spotřebitelů, kteří upřednostňují produkty získané za použití přírodních látek a procesů.“
- Ekologické zemědělství provozuje pěstování plodin a chov živočichů ve vazbě na půdu, případně akvakulturu, vylučuje použití geneticky modifikovaných organismů a produktů z nich získaných s výjimkou veterinárních léčiv, je založeno na posuzování rizik a používání preventivních opatření, vnější vstupy používá omezeně a pokud je to nutné pak využívá pouze vstupy z ekologické produkce, látky přírodní nebo z nich odvozené a málo rozpustná minerální hnojiva.
- K hlavním cílům ekologického zemědělství patří zajištění udržitelného systému zemědělství, což zahrnuje respektování přírodních systémů a cyklů, udržování a

zlepšování půdní úrodnosti, udržování a zlepšování zdraví vody, půdy, rostlin i živočichů, podporu biologické diverzity a zajištění dobrých životních podmínek pro zvířata, zejména uspokojení jejich etologických potřeb.

- Ekologické zemědělství se dále zaměřuje na získávání vysoce kvalitních produktů, které uspokojují poptávku spotřebitelů po produktech ekologického zemědělství.

3.1.2 Hlavní zásady rostlinné produkce v EZ

Znalosti rostlinné ekologie získané za posledních 150 let mají pro zemědělství velký význam, většina z nich ale není současnými ekology a zemědělci uznávána (Weiner, 2017).

Smith et al. (2008) uvádí, že velmi důležitý je pro ekologické farmáře výběr plodin a jejich střídání.

Nařízení Rady (ES) č. 834/2007 ze dne 28. června 2007 charakterizuje rostlinnou produkci v ekologickém zemědělství následujícími zásadami:

- Při pěstování rostlin v ekologickém zemědělství se využívají takové způsoby obdělávání zemědělské půdy, které udržují nebo zvyšují obsah organické hmoty v půdě, zvyšují biodiverzitu půdy a brání erozi a zhutnění půdy.
- Používají se takové osevní postupy, které přispívají ke zvýšení půdní úrodnosti a biologické rozmanitosti, a proto se do nich zařazují luskoviny a další plodiny využívané jako zelené hnojení.
- Ke zvýšení půdní úrodnosti a biodiverzity se dále přispívá používáním organických hnojiv jako je chlévská mrva, kompostovaný organický materiál a další organická hnojiva, pokud možno pocházející z ekologické produkce. Je také povolené používat biodynamické přípravky.
- Ke hnojení se mohou používat i jiná než organická hnojiva, ale musí být schválena pro použití v ekologickém zemědělství. Použití minerálních dusíkatých hnojiv je v systému ekologického zemědělství zakázáno.
- Ochrana pěstovaných plodin před škůdci a chorobami je založena především na prevenci. Ta spočívá ve vhodném výběru druhů a odrůd pěstovaných plodin, vhodných pěstitelských postupech, střídání plodin a v ochraně za pomoci přirozených nepřátel.
- V ekologickém zemědělství lze použít také přípravky na ochranu rostlin, které byly schváleny pro použití v ekologickém zemědělství.

- Při pěstování rostlin v ekologickém zemědělství se používá pouze ekologicky vypěstovaný rozmnožovací materiál a osivo

Nařízení Komise (ES) č. 889/2008 ze dne 5. září 2008 uvádí následující výjimky výše uvedených zásad a podmínky, za kterých lze těchto výjimek využít:

- Použití jiných než organických hnojiv v ekologickém zemědělství možné pouze tehdy, když ostatní prostředky pro zvýšení půdní úrodnosti a biodiverzity uvedené v Nařízení Rady (ES) č. 834/2007 ze dne 28. června 2007 nestačí uspokojit nutriční potřeby pěstovaných plodin.
- Použití přípravků na ochranu rostlin v ekologickém zemědělství je možné pouze v případě, že ochranu proti chorobám a škůdcům metody uvedené v Nařízení Rady (ES) č. 834/2007 ze dne 28. června 2007 nejsou schopné zajistit v dostatečné míře.
- Při splnění určitých podmínek je možné použití konvenčního osiva a vegetativního rozmnožovacího materiálu k ekologické produkci. A to například tehdy, když rozmnožovací materiál požadovaného druhu plodiny není v ekologické kvalitě dostupný, když dodavatel není schopen dodat pěstiteli rozmnožovací materiál včas, pokud rozmnožovací materiál požadované odrůdy není dostupný v ekologické kvalitě a neexistuje vhodná alternativa a v dalších případech. Použitý konvenční rozmnožovací materiál nesmí být ošetřen přípravky jinými než povolenými pro ekologickou produkci.

3.1.3 Hlavní zásady živočišné produkce v EZ

Z Nařízení Rady (ES) č. 834/2007 ze dne 28. června 2007 vyplývají následující zásady ekologického chovu zvířat:

- V chovu zvířat v ekologickém zemědělství je třeba zajistit, aby osoby pracující se zvířaty měly v tomto ohledu dostatečné znalosti a schopnosti.
- Veškeré chovatelské postupy a podmínky v chovu by měly umožňovat naplnění fyziologických, vývojových a etologických potřeb zvířat. Vždy, když tomu nebrání povětrnostní podmínky a stav půdy, měl by být k zvířatům umožněn přístup na volné prostranství, nejlépe na pastvinu. Je také nutné dbát na vhodný počet zvířat na jednotku plochy. Při příliš vysokém zatížení pastviny dochází k erozi půdy, jejímu udusání, nadměrnému spasení porostu a znečištění.
- Je zakázáno vazné ustájení hospodářských zvířat.

- V průběhu celého života zvířete, včetně porážky, je třeba omezit utrpení a mrzačení na co nejnižší úroveň.
- Při plemenitbě jsou upřednostňovány přirozené metody, je povolena též inseminace. Další druhy umělého oplodnění, jako například klonování či embryotransfer, jsou zakázány.
- Použití hormonů a jim podobných látek k navození plemenitby není povoleno. Výjimečně je možné použít hormony k léčbě jedince předepsané veterinárním lékařem.
- Důraz je kladen na výběr vhodného plemene, čímž se předchází vzniku utrpení a nepohodlí u zvířat.
- Zvířatům jsou podávána krmiva převážně z ekologické produkce vlastního podniku, kde jsou zvířata držena, nebo také z jiných ekologických podniků v daném regionu, případně z podniků přecházejících na ekologické zemědělství. Použití jiných krmiv, surovin a doplňků pro výživu zvířat je v systému ekologické produkce možné pouze v případě, že byly schváleny pro toto použití.
- Krmivo musí splňovat požadavky na výživu daného druhu a vývojové kategorie jedince.
- Je zakázáno použití růstových stimulátorů a syntetických aminokyselin.
- Mláďata savců se v období mléčné výživy krmí přírodním mlékem.
- Prevence vzniku nálezů v ekologických chovech hospodářských zvířat spočívá ve vhodném výběru plemene a linie, v zajištění vhodných podmínek ustájení, v podávání vysoce kvalitního krmiva a v umožnění dostatečného pohybu, v odpovídající intenzitě chovu a vhodných chovatelských podmínkách.
- Při propuknutí nákazy v ekologickém chovu je možné použít veškerá syntetická chemická alopatická veterinární léčiva i antibiotika, pokud je to nutné, aby bylo zabráněno utrpení zvířat.

Jak uvádí Šarapatka a kol. (2006) zvířatům je třeba zajistit dobrou životní pohodu, která je umožněna volností pohybu, dostatkem čerstvého vzduchu, vhodnou a dostatečnou podestýlkou a dostatečným prostorem ve stáji. Při pobytu zvířat na pastvině je nutné zajistit ochranu proti slunci a extrémnímu počasí.

3.1.4 Srovnání ekologického a konvenčního zemědělství

Ekologické zemědělství nabízí možnost produkce potravin s minimalizací negativních dopadů zemědělské výroby na životní prostředí. Hlavním cílem je produkce kvalitních potravin

s minimálním ovlivněním lidí, zvířat a ekosystémů. Ekologické zemědělství nespolehá na použití syntetických pesticidů a průmyslových hnojiv. Oproti tomu konvenční zemědělství je založeno na používání těchto látek a ovlivnění životního prostředí upozaduje. Ale v porovnání s ekologickým zemědělstvím, konvenční systém hospodaření vykazuje významně vyšší výnosy (Hossard et al., 2016).

Ekologické zemědělství využívá organická hnojiva, jako je například zelené hnojení, nebo chlévský hnůj a k ochraně rostlin a likvidaci plevelů využívá mechanickou kultivaci, vhodné střídání plodin, ponechání posklizňových zbytků jako mulče a podobně. V konvenčním zemědělství se běžně využívají syntetická hnojiva a přípravky na ochranu rostlin. (Pimentel et al., 2005). Konvenční systém hospodaření je intenzivní ve využívání chemikálií, ale z biologického hlediska je velmi jednoduchý (Ponisio et al., 2015). Obecně platí, že ekologické zásady jsou navrženy tak, aby umožňovaly využití přirozeně se vyskytujících látek a organismů, zatímco používání syntetických látek je zakázáno, či přísně omezeno. Oproti tomu konvenční zemědělství představuje takový typ hospodaření na půdě, který zahrnuje mnoho vstupů a výstupů na jednotku zemědělské půdy (Hnilička a kol., 2017).

Při intenzivním používání pesticidů je významně vyšší výnos u pšenice, ve srovnání s alternativními způsoby zemědělské produkce (Hossard et al., 2014). Výnos běžných plodin je při ekologickém způsobu pěstování v normálních podmínkách nižší než při konvenčním způsobu, ale po určité době (cca pěti let) se výnosy mohou začínat mírně vyrovnávat. V podmínkách sucha dokonce může převažovat výnos plodin ekologického systému produkce nad výnosem konvenčně pěstovaných plodin (Pimentel et al., 2005).

Kristensen (2003) uvádí, že u ječmene vykazuje vyšší výnosy a lepší a rychlejší průměrnou klíčivost osivo konvenčního původu oproti osivu ekologickému. Ale semena ekologického původu mohou být větší než semena konvenční. Konvenční osivo může mít také vyšší obsah bílkovin v porovnání s ekologickým. Oproti tomu Brainard et al. (2006) uvádí, že semena laskavce z ekologické produkce prokázala vyšší klíčivost než konvenční semena.

Ekologicky obdělávaná půda má lepší strukturní vlastnosti než půda obdělávaná konvenčně. To se projevuje mimo jiné vysokou schopností ekologicky obhospodařovaných půd zadržovat vodu. Ekologicky obhospodařovaná půda zpravidla obsahuje více organického uhlíku, někdy také více dusíku než konvenční půda. Ekologické hospodaření může také vést k nižšímu obsahu nitrátů v půdě i v rostlinách. V ekologicky obdělávaných půdách je většinou vyšší diverzita půdních organismů než v konvenčních půdách (Pimentel et al., 2005). Studie zabývající se vztahy mezi rostlinami a půdními organismy odhalily existenci mnoha důležitých procesů velice užitečných pro zemědělství. Jedním z nejznámějších je symbióza mezi kořeny

rostlin z čeledi bobovitých a hlízkovými bakteriemi rodu *Rhizobium* sp. Významná je také mykorhiza, symbióza hub s kořeny rostlin, která je často agronomy opomíjena. Mykorhiza může být negativně ovlivněna orbou a používáním hnojiv a pesticidů (Doré et al., 2011).

Energetické vstupy potřebné k produkci, do nichž se zahrnují především fosilní paliva, průmyslová hnojiva, zisk a ošetření semenného materiálu a herbicidy, jsou často vyšší při konvenčním způsobu hospodaření. Čistý zisk je mnohdy vyšší v konvenčním zemědělství oproti ekologickému, pokud do zisku nezahrnujeme podpory pro ekologické zemědělství. Ale zisky v ekologickém zemědělství jsou stabilnější. Ekologické hospodaření vyžaduje více pracovních sil než konvenční (Pimentel et al., 2005).

3.2 Abiotický stres

Každý organismus v ekosystému je ovlivňován okolním prostředím. Jednotlivé složky prostředí, které na organismus působí se nazývají faktory prostředí. Ty jsou buď biotické, pokud se jedná o interakce mezi živými organismy, nebo abiotické, v případě, že se jedná o vlivy, které nemají původ v živých organismech (Šarapatka a kol., 2010). Larcher (2003) uvádí tyto biotické stresové faktory: konkurence ostatních rostlin založená na jejich hustotě růstu, alelopatickém působení a parazitickém působení některých rostlin, dále působení mikroorganismů, což jsou viry, houby a bakterie. Dalším biotickým stresovým faktorem působícím na rostliny je pastva zvířat a udusání porostu zvířaty a také antropogenní vlivy, ke kterým patří především znečištění prostředí, používání agrochemikálií, zhutnění půdy mechanizací, ionizující záření a elektromagnetická pole.

Abiotické stresory jako je například zasolení, sucho, přemokření, teplo, chlad, mráz, nadbytek světla, ultrafialové záření a toxické působení těžkých kovů významně ovlivňují růst rostlin a výnosy hospodářských plodin na celém světě. Navíc antropogenní vlivy, zejména prostřednictvím industrializace, urbanizace a změnou klimatu přispívají ke zhoršení škodlivých účinků abiotických stresorů na výnosy hospodářských plodin (Savvides et al., 2016). Abiotický stres významně snižuje produktivitu rostlin a narušuje rostlinné ekosystémy (Picorel et al., 2017).

K hlavním abiotickým faktorům působícím na živé organismy v ekosystémech podle Larchera (2003) patří teplota, záření, voda, plyny, minerální látky a mechanické působení. Míra ovlivnění organismu určitým faktorem prostředí je dána jednak intenzitou působení daného faktoru, jednak reakcí samotného organismu na různou intenzitu působení faktoru. Každý organismus je přizpůsoben určitému rozmezí intenzity působení daného faktoru, které je schopen tolerovat. To se nazývá ekologická valence. V rámci ekologické valence existuje pro

každý organismus takové rozmezí hodnot, které je pro něj optimální a nazývá se ekologické optimum. Šířka ekologické valence a ekologického optima je dána druhem organismu a vývojovým stádiem u rostlin a je pro různé faktory prostředí různá (Šarapatka a kol., 2010).

Rostliny v běžných polních podmínkách jsou během svého života často vystaveny mnoha abiotickým stresorům, které mohou působit buď postupně, nebo souběžně. Kombinace různých abiotických faktorů může mít na růst rostlin synergický nebo aditivní účinek. Ukazuje se, že souběžné působení dvou i více stresorů má na růst rostlin větší negativní dopad, než když stresory působí jednotlivě. Proto je dnes pozornost zaměřena na zvýšení tolerance rostlin k různým abiotickým faktorům (Suzuki et al., 2014).

Stres je definován jako zjevná odchylka od optimálních životních podmínek organismu. Jeho působení vyvolává v organismech změny a odpovědi na všech funkčních úrovních. Tyto změny jsou buď vratné nebo trvalé. Míra poškození rostliny působením stresových faktorů závisí mimo jiné také na délce jejich působení. Každá rostlina má schopnost se do jisté míry přizpůsobit změnám ve svém okolí, tím pádem i působení stresových faktorů (stresorů). Tato přizpůsobivost má své hranice a pokud je jich dosaženo, nastane chronické onemocnění nebo nevratné poškození rostliny (Larcher, 2003). Například vliv abiotických stresových faktorů jako je zasolení, sucho, těžké kovy nebo nízké teploty na semena se projevuje sníženou životností semen, zhoršením klíčivosti a sníženou životaschopností mladých rostlinek (Li et al., 2014). Působení sucha, zasolení a nízkých a mrazových teplot vede ke vzniku osmotického stresu rostlin, který může vyústit ve ztrátu turgoru a významné omezení růstu (Krasensky and Jonak, 2012).

Vědecký výzkum stresu se ubírá dvěma základními směry, a to je výzkum zabývající se stresorem a jeho působením a výzkum zaměřený na odpověď organismu na působení stresoru. Výzkum zabývající se stresorem posuzuje stres jako konkrétní událost vyvolanou specifickým faktorem. Zkoumá především způsob, jakým daný faktor vyvolá výslednou reakci organismu. Vnější faktor většinou nezpůsobí okamžitě a v původní intenzitě výsledné poškození rostlinného organismu, protože rostliny jsou vybaveny ochrannými mechanismy, které jim umožňují oddálit nebo předejít narušení rovnováhy mezi prostředím a vnitřním obsahem buněk. Výzkum zaměřený na odpověď organismu se nezaměřuje pouze na konkrétní reakci rostliny na specifický faktor, ale zabývá se také nespécifickými účinky vyvolanými faktory prostředí. Odpověď organismu na stresovou situaci je vždy jeho snahou o přizpůsobení se nově nastalé situaci, tudíž snahou o získání rezistence. „Stresová reakce je závod mezi snahou o adaptaci a procesy potenciálně vedoucími k usmrcení buňky protoplazmy“ (Larcher, 2003).

3.2.1 Průběh stresové reakce

Odpověď organismu na stres lze dělit do tří fází. Počáteční fáze se vyznačuje okamžitým škodlivým účinkem na procesy v rostlině. Tato fáze trvá několik sekund až dní a v jejím průběhu dochází k celkovému poklesu výkonnosti rostliny (Lambers et al., 1998).

Druhou fází stresové reakce organismu je aklimatizace. Ta zahrnuje takové morfologické a fyziologické změny jednotlivých rostlin, které vedou k vyrovnání snížené výkonnosti, k níž došlo v počáteční fázi stresové reakce. Dochází k nim pomocí změny aktivity a syntézy biochemických látek, a to především enzymů. Ve fázi aklimatizace tak dochází například ke změnám průběhu a intenzity některých procesů, celkového růstu rostlin a k morfologickým změnám celých rostlin či jednotlivých orgánů. K aklimatizaci dochází v průběhu dní až týdnů. Angličtina rozlišuje pro aklimatizaci dva pojmy: *acclimation*, což značí přizpůsobení se stresové situaci vyvolané jedním konkrétním faktorem a *acclimatization*, neboli přizpůsobení se stresové situaci vyvolané komplexem faktorů (Lambers et al., 1998). Velmi důležitým procesem v rostlinách, který rozhoduje o jejich produktivitě, je fotosyntéza. Schopnost rostlin přizpůsobit se podmínkám působícího stresu je vázána přizpůsobivostí procesu fotosyntézy (Picorel et al., 2017).

Adaptace je třetí fáze stresové reakce rostlin. Je to evoluční proces, v jehož průběhu dochází k takovým genetickým změnám, které umožní kompenzaci snížené výkonnosti rostlin způsobené stresem. Tyto genetické změny vedou k fyziologickým a morfologickým změnám, které se podobají změnám při aklimatizaci. Rozdíl je v tom, že změny vzniklé adaptací jsou ukotveny v genomu populace a pro jejich vznik, je třeba mnoha generací (Lambers et al., 1998). Dormance semen je jedním z nejdůležitějších projevů adaptace rostlin, který umožňuje semenům vyhnout se podmínkám nevhodným pro klíčení (Gao et al., 2012).

Larcher (2003) popisuje tři fáze stresové reakce rostlin odlišně. Počáteční fázi označuje jako poplachovou a uvádí, že v jejím průběhu dochází k narušení strukturálních a funkčních forem, jako jsou například bílkoviny, biomembrány, biochemické procesy a energetický metabolismus, které jsou potřebné pro normální průběh životních aktivit. Rozkladné, katabolické reakce v této fázi převažují nad anabolickými. Pokud intenzita působení stresového faktoru zůstává nezměněna, pak je znovu zahájena syntéza strukturálních a funkčních látek. Na poplachovou fázi navazuje fáze rezistence. Pokud je rostlina stále vystavena stresovým podmínkám, dojde ke zvýšení její odolnosti vůči danému stresovému faktoru. Zdravotní stav rostliny a její vitalita pak už mohou zůstat stabilní, ač stresové podmínky stále působí. Rostlina se přizpůsobí stresovým podmínkám. Poslední fází je stav vyčerpání. Nastane tehdy, když stresor působí příliš dlouho, nebo když narůstá intenzita jeho působení. Dochází k ní především

u rostlin citlivých k infekci, která nastane v důsledku narušení obranyschopnosti rostliny a vede ke kolapsu organismu. Toto poškození však může být pouze dočasné. Po odeznění či oslabení stresových faktorů je pak možná obnova veškerých životních funkcí organismu na původní úroveň. Poškození vzniklá na rostlině se následně napravují v procesu regenerace.

3.2.2 Teplota

Teplotní optimum většiny rostlin se pohybuje mezi 15 a 30 °C a závisí na druhu rostliny a její růstové fázi. Většina víceletých rostlin a semena a cibulky dvou a jednoletých rostlin jsou schopné přežít při velmi širokém rozmezí teplot. Oproti tomu mladé rostlinky a mladá pletiva, například pupeny či mladé listy většiny plodin jsou snadno poškozovány extrémními teplotami. Poškození vysokými teplotami je zpravidla rychlejší a závažnější než poškození nízkými teplotami, ale zároveň méně časté (Agrios, 2005). Odchýlení teploty od optima způsobuje u rostlin omezení růstu, snížení metabolické aktivity a životaschopnosti. Hraniční hodnoty teplot, při nichž dochází k trvalému poškození rostlinných pletiv, jsou specifické pro jednotlivé druhy rostlin i pro konkrétní orgány a pletiva. Jsou také závislé na vegetační fázi konkrétních rostlin a probíhajících fyziologických procesech. Působení pro dané podmínky extrémních teplot na rostliny u nich vyvolává stresovou reakci. U většiny buněk lze zaznamenat zvýšenou metabolickou aktivitu, kterou je možné chápat jako snahu o zvládnutí stresové situace a nápravu vzniklých škod. Na extrémní teploty rostliny reagují různými mechanismy ochrany, přizpůsobení nebo vyhýbání se tomuto působení. Většina rostlin je schopna tzv. otužování, což je proces, při němž rostlina postupně získává schopnost přežít nízké teploty. Většinou nastává v období poklesu teploty na konci vegetace (Šarapatka a kol., 2010).

Stres způsobený vysokými teplotami vede u rostlin k denaturaci a agregaci bílkovin, zvýšení fluidity a propustnosti membrán, deaktivaci enzymů, omezení syntézy bílkovin a oxidačnímu stresu (Tan et al., 2011). Vysoké teploty často způsobují poškození v součinnosti s dalšími faktory. Na sluncem ozářené straně plodů se poškození vysokými teplotami projevuje odbarvením a vznikem skvrnitosti, vznikem puchýřků a případně vysušením pletiva pod pokožkou, což vede ke vzniku prohloubenin na plodech. Působením vysoké teploty dochází ke vzniku nepravidelných skvrn na listech, které jsou nejprve světle zelené a později hnědnou a nekrotizují. Příliš vysoké teploty mohou vést k odumírání mladých rostlinek (Agrios, 2005).

Nízké teploty na počátku pěstební sezóny omezují výkonnost sazenic u mnoha hospodářských plodin (Mahan et al., 2009). Nízké teploty pod bodem mrazu způsobují poškození mladých listů a bylinných částí rostlin a vymrzání mladých rostlinek trav a obilnin. Mrazové poškození se projevuje také odumíráním pupenů, květů a mladých plodů především u

ovocných stromků. Na plodech se objevují světlé pruhy a zkorkovatělé pletivo. Dochází k vymrzání kořenů, popraskání kůry stromů a rozvoji sněti na silnějších větvích a kmenech (Agrios, 2005).

3.2.3 Záření

Sluneční záření je hlavním zdrojem energie pro život na Zemi. Světelná energie je transformována a ukládána do chemických vazeb ve fotosyntetickém procesu, který využívá pouze část záření, a to elektromagnetické vlnění v intervalu vlnových délek od 400 do 700 nm. Toto záření se nazývá fotosynteticky aktivní radiace a má pro rostlinu zásadní význam. Při procesu fotosyntézy se totiž zabudovává oxid uhličitý do rostlinných struktur a tím je umožněn růst rostlin. Intenzita a efektivita fotosyntézy je ovlivněna vnitřními vlastnostmi rostlin a vnějšími faktory. Vnitřní faktory jsou z velké míry dány geneticky a patří k nim velikost a počet chloroplastů, tloušťka listových čepelí, listová pokrývnost a další. Mezi hlavní vnější faktory ovlivňující fotosyntézu patří délka dne a její střídání a kvalita a intenzita záření (Šarapatka a kol., 2010).

Příliš intenzivní záření dodá rostlině více energie, než je její fotosyntetický aparát schopen využít. V důsledku toho je proces fotosyntézy přetížený a nastane fotoinhibice, což je snížení množství využití světelné energie a snížený výtěžek asimilace. Extrémní ozáření může poškozovat fotosyntetické pigmenty a strukturu thylakoidů. Nejčastěji je pozorováno poškození nejsvrchnější vrstvy palisádového parenchymu chloroplastů. Je to pravděpodobně také jedna z příčin snížené fotosyntetické aktivity starších listů (Larcher, 2003).

Nedostatek světla zpomaluje tvorbu chlorofylu a podporuje růst štíhlých výhonů s dlouhými internodii. Světelný deficit se na rostlinách projevuje světle zelenou barvou listů, dlouhým růstem a předčasným opadem listů a květů (Agrios, 2005).

3.2.4 Plyny

Larcher (2003) uvádí jako nejdůležitější příčiny stresu působením plynů nedostatek kyslíku v půdě a přítomnost vulkanických plynů v atmosféře. Nízký obsah kyslíku v půdě je poměrně častým jevem, ke kterému dochází z mnoha příčin. Jsou to například krátkodobé a periodické záplavy, také dlouhodobě zaplavená půda, utužení půdy a ztráta propustnosti v důsledku zástavby. Kyslík je z půdy odebírán kořeny rostlin, půdní faunou a aerobními mikroorganismy. Jakmile se jeho zásoba vyčerpá, narůstá počet anaerobních mikroorganismů a vytvoří se silně redukční prostředí s obsahem železnatých a manganatých iontů, sulfanu, organických kyselin a dalších látek v koncentracích toxických pro většinu rostlin. Dochází také k narušení koloběhu dusíku.

Agrios (2005) uvádí, že k nedostatku kyslíku v rostlinách dochází často tehdy, když je vysoká teplota půdy či okolního vzduchu a zároveň je vysoká půdní vlhkost. Ta totiž brání přístupu kyslíku a vysoká teplota vede k jeho vyšší spotřebě rostlinou. To vyvolá extrémní nedostatek kyslíku v kořenech rostlin a vede k jejich odumírání. Při zvýšené respiraci dužnatých plodů například v důsledku vysoké teploty okolí a nedostatečném zásobování kyslíkem dochází k odumírání buněk. Často tento problém nastává při nevhodných podmínkách skladování rostlinných produktů. Odumírání buněk v důsledku nedostatku kyslíku vyvolá enzymatické reakce, dojde k oxidaci běžných složek rostlinných pletiv a uvolňuje se tmavé barvivo melanin, které postupně zbarvuje dužinu plodu.

3.2.5 Minerální látky

Podle Larchera (2003) může být příčinou stresu nedostatek minerálních látek nebo jejich nadbytek, nerovnováha v zastoupení jednotlivých minerálních látek, zasolení, přítomnost těžkých kovů, okyselení půdy nebo alkalizace půdy.

Minerální látky jsou stavebními prvky rostlinných pletiv a důležitými součástmi metabolických a růstových procesů. Nazývají se živinami. Ve větší či menší míře jsou obsaženy v půdě, odkud je rostliny mohou čerpat, pokud jsou zde přítomny v přístupných formách. Většina minerálních látek v půdě je uložena ve strukturách pro rostliny nedostupných. Z nich se postupně uvolňují v pozvolných procesech mineralizace a zvětrávání. Menší část živin je v půdě vázaná na koloidní částice. Pouze malý podíl živin je rozpuštěn v půdním roztoku ve formě iontů, a tedy přijatelný rostlinami (Šarapatka a kol., 2010).

Pro normální růst rostliny potřebují některé minerální látky. Ty, které rostliny vyžadují ve větším množství nazýváme makroprvky, ty, které využívají jen v malých množstvích se nazývají mikroprvky. Jakmile je jich v půdě nedostatek, nebo jsou vázány v rostlinám nepřístupných formách, objeví se na rostlinách různé vnitřní i vnější symptomy. Projev nedostatku konkrétního prvku závisí na jeho funkci v rostlině. Výrazný nedostatek některého prvku může vyústit v omezení růstu, snížení výnosu, v chronické poškození někdy až v odumření rostliny (Agrios, 2005).

3.2.6 Mechanické působení

Nejdůležitějšími abiotickými činiteli vyvolávajícími mechanické poškození rostlin jsou vítr, sesuvy půdy, sněhová pokrývka a pohyby ledovců (Larcher, 2003).

3.2.7 Voda

Voda je nezbytnou podmínkou pro růst rostlin. Obsah vody v rostlinných pletivech se pohybuje mezi 75 a 95 %. Spolu s oxidem uhličitým je voda využívána při syntéze cukrů a

složitějších sacharidů. Voda dále slouží jako transportní médium k přenosu živin rostlinou, k regulaci teploty rostlinného těla, je důležitá pro udržení buněčného napětí, turgoru, a tvoří prostředí pro průběh biochemických reakcí v pletivech (Ashraf and Harris, 2005). Nevhodné vodní podmínky jsou hlavním faktorem omezujícím růst a výkonost rostlin, což je často umocněno globální změnou klimatu (Basu, et al., 2016).

Voda do prostředí vstupuje především prostřednictvím vertikálních srážek, a to zejména v podobě deště. V některých lokalitách ve vyšších nadmořských výškách či vyšších zeměpisných šířkách jsou významným zdrojem vody také srážky sněhové. Horizontální srážky, jako je jinovatka, námraza, mlha a rosa nepředstavují většinou významný zdroj vody pro prostředí. Celkový úhrn srážek v dané lokalitě závisí na místním klimatu a charakteru terénu. Ke ztrátám vody z prostředí dochází mnoha způsoby. Jedním z nich je proces intercepce, což je zachycování vody porostem. Závisí na vlastnostech povrchu vegetace a její struktuře a na intenzitě srážek. Voda z prostředí dále uniká evaporací. To je odpar vody z povrchu. Množství odpařené vody závisí především na vlastnostech daného povrchu, zejména jeho teplotě. Při dýchání a fotosyntéze rostlin dochází také ke ztrátám vody, a to procesem transpirace. Intenzita transpirace je dána charakterem rostlinných porostů a charakterem stanoviště. Další způsob ztráty vody z prostředí je povrchový odtok, který je často spojen s vodní erozí půdy. Voda, která se vsákla do půdy, může z prostředí odcházet podpovrchovým odtokem (Šarapatka a kol., 2010).

3.2.7.1 Nadbytek vody

Nadbytek vody nebývá tak častým problémem jako sucho, ale pokud nastane, může způsobit mnohem závažnější rychlejší poškození či úhyn rostlin než nedostatek vody. Převlhčení se u rostlin projevuje sníženou životaschopností, vadnutím a světle zelenými až žloutnoucími listy. Při extrémním přemokření je vadnutí trvalé a vede k úhynu rostliny. Příčinou vadnutí rostlin vystavených nadbytku vody je pravděpodobně poškození kořenového systému, který pak není schopen vyživovat nadzemní část rostliny a také působení toxických látek přijatých kořeny z půdy. Při nadbytku vody v půdě je omezen přístup kyslíku ke kořenům, a proto dochází k jejich zahnívání. Nedostatek kyslíku způsobí zadušení a odumření buněk kořene. V důsledku přemokření vzniká v půdě anaerobní prostředí, které umožňuje růst anaerobních mikroorganismů. Ty svým metabolismem produkují látky, jako například dusitany, které jsou toxické pro rostliny. Zároveň kořenové buňky v důsledku poškození nedostatkem kyslíku ztrácí semipermeabilitu svých membrán a mnohem snadněji přijímají

toxické látky z půdy. Anaerobní prostředí také vyhovuje některým parazitům, kteří pak mohou napadat kořeny rostlin, poškozovat je a způsobovat jejich odumírání (Agrios, 2005).

Škodlivý účinek vodního nadbytku závisí na vývojové fázi rostliny, a také na délce působení přemokření. Nadbytek vody vede k omezení klíčivosti, což je způsobeno rychlým zbobtnáním semen, prasknutím membrány zárodečné buňky, snížením aerobní respirace a produkcí toxických látek (Bortoluzzi et al., 2017). U rostlin z čeledi bobovitých vede přemokření k nedostatku dusíku a omezenému vývoji kořenového systému (Rhine et al., 2010).

Dalším projevem nadbytku vody může být vznik otoků na spodní straně listů, což je časté zejména u pokojových rostlin. U některých druhů ovoce a zeleniny dochází v důsledku nadbytku vody po předcházejícím sušším období k praskání plodů. U jablek je nadbytek vody jedním z faktorů způsobujících vznik skvrnitosti plodů (Agrios, 2005).

3.2.7.2 Vzdušná vlhkost

Nedostatečná relativní vlhkost vzduchu v okolí rostliny je většinou dočasná a poškození způsobuje jen zřídka. Ale v kombinaci se silným větrem a vysokou teplotou může vést k nadměrné ztrátě vody z listů. V důsledku toho se na rostlině objevují spálené listy, svraskalé plody a může docházet k přechodnému či trvalému vadnutí rostlin. Problém nízké vzdušné vlhkosti je častý zejména u pokojových rostlin, kterým většinou vyhovuje vysoká vzdušná vlhkost a mnohdy ji přímo vyžadují (Agrios, 2005).

Vzdušná vlhkost je zároveň s teplotou zásadním parametrem určujícím druh procesů, které budou probíhat ve sklizených semenech během jejich skladování. Nízká relativní vzdušná vlhkost při skladování semen může vést k iniciaci sekundární dormance a snížení klíčivosti (Basbouss-Serhal et al., 2016).

3.2.7.3 Vodní deficit

Vodní deficit v rostlině vzniká tehdy, když rychlost transpirace překročí rychlost příjmu vody. To může být způsobeno několika faktory jako je například nedostatek srážek, zasolení půdy nebo nízká teplota (Bray, 1997). Dostupnost vody pro rostlinu je často ovlivněna působením dalších stresových faktorů jako je nízká teplota nebo zasolení půdy. Avšak různé druhy rostlin jsou na působení těchto faktorů různě citlivé (Bohnert, 1995).

Nedostatek vody v rostlině může mít více příčin. Půda může být například vysušená v důsledku vysokého výparu, voda může být osmoticky vázána v zasolené půdě, nebo v půdě zamrzlá. Vysušení půdy je často způsobeno nadměrným výparem, který nastává kvůli příliš nízké vlhkosti vzduchu a vysoké intenzitě záření. Postupně narůstající vodní stres může být také výsledkem nedostatečného odběru vody rostlinou z důvodu příliš mělké půdy a

nedostatečně vyvinutého kořenového systému. Stresová reakce vyvolaná vodním deficitem má na rozdíl od jiných stresových reakcí pozvolný nástup. Míra poškození rostliny je přímo závislá na délce působení nedostatku vody (Larcher, 2003).

Agrios (2005) uvádí, že nedostatek vody může souviset s půdním typem, svažitostí terénu, s příliš mělkou vrstvou půdy na skalnatém podloží či s přítomností vysokého obsahu jílu nebo písku v půdě. Z toho důvodu se vodní deficit nemusí projevit v celém porostu stejnou měrou, neboť souvisí s vlastnostmi půdy v bezprostředním okolí rostliny.

Projevy vodního deficitu na rostlinách

Nedostatečné množství vody dostupné pro rostliny může způsobit omezený růst, změny ve vzhledu rostlin nebo dokonce úhyn rostliny. Typickými příznaky nedostatku vody jsou malý vzrůst rostlin, světle zelené až žluté listy, pokles turgoru, nízký počet a malá velikost listů, opad listů, řídký růst květů a plodů a pokud sucho dále přetrvává, dochází k usychání celé rostliny a jejímu úhynu. Ačkoliv starší a víceleté rostliny nejsou tak náchylné k usychání jako mladé rostlinky, mohou být také poškozovány nedostatkem vody, a to zejména při dlouhodobém období sucha. U víceletých rostlin a stromů se poškození nedostatkem vody projevuje snížením přírůstků, malými, skvrnitými listy, růstem krátkých větviček, opadem listů, a nakonec usycháním až smrtí rostliny. Rostliny vystavené suchu jsou často náchylnější k napadení patogeny a škůdci (Agrios, 2005). Vodní deficit negativně ovlivňuje proces fotosyntézy. Způsobuje zmenšení listové plochy a snížení fotosyntetické aktivity na jednotku plochy listu (Basu et al., 2016).

Nedostatek vody v buňkách může vést ke změně koncentrace rozpuštěných látek v cytoplazmě, změně objemu buňky a tvaru membrány, narušení vodního potenciálu, ztrátě turgoru, narušení integrity membrán a denuraci bílkovin. Při úplné ztrátě veškeré volné vody z buňky dochází k vysušení a dehydrataci. Schopnost rostliny přežít a vyrovnat se s nedostatkem vody závisí na odpovědi celé rostliny, která spojuje reakce jednotlivých buněk. Odpověď rostliny na vodní deficit může trvat několik sekund, ale také minut nebo hodin (Bray, 1997).

U mnoha kulturních plodin je rostlina k působení vodního deficitu nejcitlivější ve fázi klíčení a během raného růstu rostlinky (Niedźwiedz-Siegeń and Lewak, 1992). Varga et al. (2015) uvádí, že nedostatek vody se u pšenice projevuje snížením výnosu zrna, a to především pokud sucho nastane na počátku odnožování nebo při začátku kvetení. Nedostatek vody v průběhu tvorby obilky vede ke snížení výnosu zejména u starších odrůd s dlouhou vegetační dobou. U moderních odrůd nedochází k významnému snížení výnosů v důsledku sucha během

tvorby obiliek v porovnání s nedostatkem vody v dalších fenologických fázích vývoje. Působením nedostatku vody zejména v průběhu kvetení dochází ke snížení hmotnosti tisíce zrn. Vodní deficit dále vede ke snížení výnosu biomasy a může vést ke zhoršenému příjmu a využití vody rostlinou. Míra ovlivnění rostliny nedostatkem vody závisí mimo jiné i na požadavcích daného druhu a odrůdy na vodu a na délce vegetační doby. Dle Dordase et al. (2015) je vodní deficit spolu se zasolením půd hlavním abiotickým faktorem ovlivňujícím výnos hospodářských plodin v mnoha oblastech světa a je nejčastější příčinou snížených výnosů.

Odpověď rostlinného organismu na působení vodního deficitu

Závažnost stresové situace vyvolané suchem závisí na množství vody, které se z půdy ztrácí a na množství vody, které do půdy vstupuje. Dále také na citlivosti daných plodin k nedostatku vody a na vegetační fázi, v níž se rostlina nachází (Ashraf and Harris, 2005). Reakce rostliny na stres suchem je různá v závislosti na její růstové fázi. Rostliny mohou být vodním deficitem postiženy kdykoliv během života, ale v určitých etapách vývoje, jako je zejména klíčení a růst mladé rostlinky, je působení sucha kritické (Almaghrabi, 2012).

Nedostatek vody vyvolá v rostlině řadu morfologických, fyziologických a biochemických adaptací, jejichž cílem je překonání, vyhnutí se nebo tolerování vodního deficitu. K těmto adaptacím patří například větší tloušťka listů a kutikuly, regulace výměny plynů a translokace asimilátů, změny v příjmu vody a transpiraci a antioxidantní reakce (Stagnari et al., 2018). Odpověď rostliny na působení vodního deficitu závisí na druhu rostliny a jejím genotypu, délce působení a míře nedostatku vody, na věku a vývojové fázi rostliny a na rostlinném orgánu či typu buněk, které jsou předmětem výzkumu. Pokud se rostlina s danou situací vyrovná nastane u ní rezistence, která může přerůst v určitý druh tolerance, nebo se vyvine mechanismus umožňující rostlině vyhnutí se působení nedostatku vody (Bray, 1997).

V důsledku působení nedostatku vody na rostlinu se mění mnohé buněčné procesy, což rostlině umožňuje udržet funkční metabolismus a dále pokračovat v růstu i přes působení vodního deficitu. Dochází například ke změně signálních cest, změně rovnováhy mezi syntézou a degradací bílkovin, narušení stability mRNA, ovlivnění transkripce nukleových kyselin, ke změně syntézy osmoticky aktivních látek, změně metabolické rovnováhy, příjmu iontů a jejich distribuce a využití rostlinou a k modifikacím buněčných membrán (Bohnert, 1995).

Aby rostlina mohla zareagovat na působící nedostatek vody, musí jej nejprve rozpoznat. K tomu jí slouží přítomnost receptorů. Když rostlina vnímá nedostatek vody ve svých buňkách, spustí signalizační mechanismy, a tím zaktivuje patřičné geny. Signalizační mechanismy mohou být různé. Nejčastěji se procesů signalizujících vodní deficit účastní rostlinný hormon

kyselina abscisová (ABA), která hraje důležitou roli i při reakci rostliny na jiné abiotické stresory. Kyselina abscisová musí být následně rozpoznána buňkami rostlinného organismu. K tomu dochází za pomoci receptorů jak uvnitř, tak vně buněk. Výsledkem je genová exprese, která vede k adaptaci rostliny na nové podmínky (Bray, 1997). Dle Procházky a kol. (1998) vede zvýšená koncentrace kyseliny abscisové v listech například k uzavírání průduchů. Tím se sníží rychlost výměny plynů, transpirace a fotosyntézy a omezí se ztráta vody.

Odpověď rostlinných buněk na vodní deficit zahrnuje mechanismy bránící ztrátě vody, ochranu buněčných mechanismů a nápravu vzniklých poškození. Jednou z možností, jak se rostliny mohou bránit nedostatku vody je zvýšená syntéza osmolytů, jako jsou například některé aminokyseliny, cukry, cukerné alkoholy a kvartérní amoniové sloučeniny. Výsledkem je snížení osmotického potenciálu v rostlinných buňkách, což napomáhá udržení vody v rostlině, a tím pádem také udržení buněčného napětí. Důležitou roli pro zabránění ztrátám vody hrají také transportní bílkoviny, iontové kanály a nosiče. Ochrana buněčných mechanismů před poškozením nedostatkem vody je umožněna mimo jiné přítomností LEA (late embryogenesis abundant) bílkovin. Ty se spolu s dalšími bílkoviny hromadí v semeni v průběhu jeho zrání a mají vysoce hydrofilní povahu. Díky tomu jsou schopné vázat vodu a zadržovat ji v rostlině. Tím přispívají ke zvýšení odolnosti rostlin vůči vodnímu deficitu. Náprava rostlinných pletiv poškozených vodním deficitem a odstranění škodlivých sloučenin probíhá za účasti mnoha proteinů, které se aktivují působením vodního stresu (Bray, 1997).

3.3 Klíčení

Klíčení semen je stěžejní fází rostlinného vývoje a může být považováno za určující pro produktivitu rostlin (Ali and Elozeiri, 2017). Klíčení je komplexní proces, během něhož se semeno musí fyzicky obnovit po vysušení zrání, obnovit trvalou intenzitu metabolismu, dokončit nezbytné buněčné změny, které umožní růst zárodku, a připravit vše pro následný růst rostlinky (Nonogaki et al., 2010).

Procházka a kol. (1998) definují klíčení jako proces, při němž je obnovována metabolická aktivita semen, která vede k prodlužování kořínku (radikuly) a hypokotylu embrya. Aby semena vyklíčila, musí nejdříve ukončit endogenní dormanci, pokud ji mají a poté dojde k jejich zbobtnání. Když jsou splněny také další podmínky (viz níže) semeno začne klíčit. Odumřelá semena mohou také bobtnat, ale k jejich vyklíčení nedojde. Při nabobtnání živých semen se aktivuje jejich dýchání a stimuluje enzymatická a hormonální aktivita semene, která vede k mobilizaci rezervních látek z jeho zásobních orgánů. Ty jsou využity k výživě klíčícího

embrya. Až poté nastane viditelná fáze klíčení, kdy radikula prorůstá svrchní obalovou vrstvou semene.

Semeno, které se nenachází v dormanci, má schopnost klíčit v širokém rozpětí působících faktorů. To je dáno také jeho genetickou výbavou. Proces klíčení začíná příjmem vody, tak zvaným bobtnáním semene. Voda je semenem nasakována ve třech fázích. První fází je velmi rychlé a intenzivní nasakování vody, tj. vlastní bobtnání. Pak následuje druhá fáze a po ní třetí, která nastane tehdy, když se kořínek zárodku prodlouží natolik, že protrhne krycí vrstvu semene (Finch-Savage and Leubner-Metzger, 2006).

Klíčení je proces, při kterém dochází k přeměně semene ve vzešlou rostlinku. Zatímco semeno je vybaveno dostatečnou zásobou živin nutných k vyklíčení, mladá rostlinka je závislá na mnoha vnějších podmínkách, které jí umožní živiny získávat a využívat. K tomu, aby semeno nevyklíčilo tehdy, když jsou podmínky pro klíčení přijatelné, ale nejsou dostačující pro následný růst rostlinky, slouží dormance semen (Lambers et al., 1998).

3.3.1 Dormance semen

Dormance je vrozené omezení klíčení, které se vyskytuje napříč všemi formami života (Bian et al., 2018). Z agronomického hlediska je velmi důležitou vlastností semen pšenice (Gao et al., 2012). Dormance semen je stav, který brání vyklíčení neporušeného životaschopného semene i při příznivých podmínkách prostředí. Je dána genetickou výbavou jedince a stupněm jeho adaptace na dané podmínky prostředí. Klíčení tedy nastává v době, kdy je nejvíce pravděpodobné, že podmínky pro vznik nové generace budou příhodné. V závislosti na lokalitě a klimatu, kterému byly rostliny vystaveny, se vyvinuly různé mechanismy dormance (Finch – Savage and Leubner – Metzger, 2006). Willis et al. (2014) zjistili, že nejpravděpodobněji dědičný stav dormance je morfologicko-fyziologická dormance, což znamená, že schopnost semen regulovat klíčení morfologicko-fyziologickými změnami je závislá na původu semen.

Dormantní semeno je takové semeno, které nemá potenciál vyklíčit při běžných podmínkách prostředí, které jsou jinak pro klíčení příhodné. Tento typ dormance se nazývá primární dormance a vyvíjí se u semene již během jeho dozrávání na mateřské rostlině. Dokud není dormance prolomena, semeno neklíčí. U semen, která nepodléhají primární dormanci, nebo která ji již ukončila, může nastávat stav vynucené dormance. To znamená, že semeno neklíčí do té doby, dokud nenastane vhodná kombinace působících faktorů prostředí. Semena, u kterých byla dormance prolomena, mohou vstoupit do sekundární dormance (Baskin and Baskin, 2004). Zahájení a ukončení dormance je řízeno mnoha regulátory, mezi něž patří například rostlinné hormony a bílkoviny. Míra jejich vlivu na dormanci je ovlivňována vnějšími

faktory působícími na semeno v průběhu jeho zrání a skladování (Née et al., 2017). Stupeň primární dormance je dán během zrání semen a řídí chování semen po oddělení od mateřské rostliny, nebo také, když jsou stále připojena k mateřské rostlině (MacGregor et al., 2015).

Dormanci semeno získává v průběhu svého vývoje a její udržení je ovlivňováno složitými interakcemi mnoha faktorů, k nimž patří rostlinné hormony, kvalita světla, teplota, výživa a biochemické změny v semeni, k nimž dochází v průběhu skladování (after-ripening). Úloha těchto biochemických změn v prolomení dormance byla zkoumána u mnoha rostlinných druhů. Tento proces následného dozrávání (after-ripening) vyžaduje dostatek vody v semeni, a proto nenastává u velmi suchých semen (Gao et al., 2012).

Rozlišuje se pět tříd dormance, a to dormance fyziologická, morfologická, morfologicko-fyziologická, fyzikální dormance a kombinovaná dormance. U fyziologické dormance je dormantní stav semene udržován fyziologicky. Rozlišují se u ní tři úrovně, a to lehká, střední a hluboká fyziologická dormance a pět typů lehké dormance dle požadavků na teplotu. Morfologická dormance je založena na nedostatečně vyvinutém zárodku. Ač je již plně diferenciován, semeno neklíčí v důsledku příliš malé velikosti zárodku. K ukončení tohoto druhu dormance není zapotřebí působení vnějších podnětů, ale pouze dostatečná doba, aby zárodek vyrostl. U semen s morfologicko-fyziologickou dormancí je dormance podmíněna jak nedostatečně vyvinutým zárodkem, tak také fyziologicky. Fyzikální dormance je způsobena přítomností pro vodu nepropustných vrstev v obalech některých semen. Prolomení dormance pak spočívá v mechanickém či chemickém narušení obalových vrstev semene. Kombinovaná dormance spojuje fyziologickou a fyzikální dormanci. Obaly semene jsou nepropustné pro vodu a dormance je zároveň podmíněna fyziologicky (Baskin and Baskin, 2004).

Dormance a klíčení semen jsou odlišné fyziologické procesy. Přechod mezi nimi je zásadním vývojovým krokem v životním cyklu rostliny a zároveň důležitým krokem v zemědělské výrobě (Shu et al., 2016).

3.3.2 Průběh procesu klíčení

Klíčení začíná příjmem vody suchým semenem, tzv. zbobtnáním a završeno je tehdy, když část embrya, nejčastěji kořínek, vyrostle natolik, že naruší obalové vrstvy semene (Sechet et al., 2016).

Příjem vody semenem se děje ve třech fázích. První fáze je úvodní intenzivní nasávání vody, vlastní bobtnání. Druhá fáze se vyznačuje snížením intenzity příjmu a udržováním dosavadního množství vody v semeni. Třetí fáze nastává po dovršení procesu klíčení, kdy kořínek zárodku prorůstá obalovými vrstvami semene a příjem vody se opět zvýší (Bewley,

1997). Suchá semena absorbují vodu velmi rychle. Rychlost příjmu vody je ale závislá na struktuře semene, a proto nemusí být všechny části semene hydratované rovnoměrně. U většiny rostlinných druhů včetně pšenice je u semen nejdříve hydratována špička radikuly zárodku a mikropylární endosperm (Nonogaki et al., 2010).

Krátce po hydrataci semene dochází k degradaci kyseliny abscisové, tím se zvýší podíl gibberelinů a ty pak aktivují další procesy vedoucí k vyklíčení semene (Sechet et al., 2016). Bobtnáním semene se spustí aktivace mnoha metabolických procesů. Aktivována je například syntéza hydrolytických enzymů, což vede k hydrolýze rezervních živin na jednodušší sloučeniny, které mohou být snadněji přijímány zárodkem (Ali and Elozeiri, 2017).

Zatímco příjem vody během bobtnání je rychlý, obnova běžného metabolismu je postupná. Nejdříve, v průběhu bobtnání, je obnoven energetický metabolismus (Nonogaki, 2010). Metabolická aktivita je základem pro udržení tvorby bílkovin a pro růst a dělení buněk. Avšak hlavní funkcí obnovy metabolické aktivity na počátku klíčení je pravděpodobně vytvoření redoxního stavu, který podporuje aktivitu nezbytných enzymů a produkce energie pro procesy, nutné k růstu radikuly (Rosental et al., 2014).

Jedna z prvních změn, k nimž dochází v průběhu bobtnání, je obnova respirační aktivity. Po počátečním prudkém nárůstu příjmu kyslíku dojde k poklesu až do té doby, než kořínek proroste obalovými vrstvami. Poté nastane další rychlý růst v příjmu kyslíku (Bewley, 1997). Ali and Elozeiri (2017) uvádí, že na počátku klíčení probíhá anaerobní respirace. Je katalyzována aktivitou enzymů, které nevyžadují aerobní podmínky, jako jsou například dehydrogenázy. Ty se účastní energetického metabolismu.

Po zahájení bobtnání dojde v semenech k aktivaci syntézy bílkovin. Všechny látky, k syntéze potřebné jsou uloženy v zárodku, pouze polyzomy se tvoří z volných ribozomů (Bewley, 1997). Syntéza bílkovin je ke klíčení nezbytná, ale suchá semena neobsahují dostatek volných aminokyselin. Proto musí nejdříve dojít k degradaci zásobních proteinů. V průběhu klíčení jsou také rozkládány zásobní lipidy na mastné kyseliny a glycerol. Využívání zásobního škrobu a oligosacharidů probíhá u většiny semen v nejvyšší míře až po vyklíčení, ale již na počátku klíčení je zahájena příprava pro jejich mobilizaci a degradaci (Rosental et al., 2014).

Dokončení klíčení vyžaduje dostatečný růstový potenciál zárodku k překonání odolnosti endospermu a obalových vrstev. Tento potenciál je řízen hormonální rovnováhou, především mezi kyselinou abscisovou a gibbereliny (Sechet et al., 2016).

3.3.3 Faktory ovlivňující klíčení

Aby semeno mohlo vyklíčit, musí být splněny určité vnější a vnitřní podmínky dle požadavků druhu (Procházka a kol., 1998). Dormance a klíčení semen jsou přesně řízeny různými endogenními hormony a podněty vnějšího prostředí (Shu et al., 2016). Klíčení je dáno komplexem vlastností, které jsou ovlivněny vnitřními faktory a podmínkami prostředí (Bian et al., 2018). Abiotický stres může ovlivnit klíčení semen a založení mladých rostlinek působením mnoha faktorů, jako je omezená dostupnost vody, změny v mobilitě uložených rezerv, změny v hormonální rovnováze a ovlivnění strukturního uspořádání proteinů (Ali and Elozeiri, 2017).

3.3.3.1 Vnitřní faktory

Podstatnou roli při klíčení hrají fytohormony obsažené v semeni. To je především kyselina abscisová, která je součástí mechanismů bránících předčasnému klíčení semen, mechanismů vedoucích ke vzniku tolerance k suchu, účastní se syntézy zásobních bílkovin a hraje roli při navození primární dormance. Dalším důležitým fytohormonem je kyselina gibberelová. Ta se podílí na ukončení dormance a na vyvolání enzymatické hydrolýzy sacharidů (Lambers et al., 1998). Změny v koncentracích hormonů, zejména kyseliny abscisové a gibberelinů, jsou nezbytné pro zahájení primární dormance a její udržování (MacGregor et al., 2015). Kyselina abscisová a gibbereliny jsou známé fytohormony, které antagonisticky ovlivňují dormanci semen. Nedávná zjištění ukazují, že také fytohormon auxin je důležitý pro zahájení a udržení dormance semen (Shu et al., 2016).

Aby semena vyklíčila v podmínkách co nejvíce příhodných pro klíčení a následný růst rostliny, obsahují různé látky, které slouží jako inhibitory klíčení. Často jsou to vodorozpustné sloučeniny, které se při dostatečně silných či dlouhotrvajících srážkách ze semene vyplavují a pak teprve může dojít k vyklíčení. Pokud se vodní podmínky opět zhorší, semena, která nevyklíčila, syntetizují nové inhibiční látky (Lambers et al., 1998).

V klíčení může semenům bránit osemení na jejich povrchu. Aby semeno mohlo klíčit musí dostatečně vyrůst kořínek zárodku a obal prorazit (Finch – Savage and Leubner – Metzger, 2006). Pro klíčení je omezující, pokud je osemení nepropustné pro vodu, nebo pro plyny. Nepropustnost osemení pro vodu je způsobena vrstvou palisádového sklerenchymu, která je přítomná v osemení u některých čeledí, například u bobovitých, slézovitých a svlačcovitých. Palisádový sklerenchym může být narušen buď uměle, a to chemickou či mechanickou cestou, nebo přirozeně působením mikroorganismů. Někdy může být osemení tak pevné, že rostoucí zárodek jej nemůže narušit a semeno nemůže vyklíčit. Pevnost osemení se snižuje při opakovaném bobtnání a následném vysoušení (Procházka a kol., 1998). Vlastnosti

osemení jsou ovlivněny teplotami, které působí na mateřskou rostlinu během zrání semen. Charakter osemení určuje míru vlivu vnějších podmínek na hloubku primární dormance semene (MacGregor, 2015).

Pro klíčení semene je nezanedbatelný také vliv mateřské rostliny. Klíčení semene může být ovlivněno umístěním zrajícího semene v rámci květenství, květu či plodu, stářím mateřské rostliny v době zrání semene a působením vnějších podmínek na mateřskou rostlinu. Z těch je důležitá především teplota, vodní stres, délka dne, kvalita dopadajícího záření a dostupnost živin (Procházka a kol., 1998). Environmentální faktory, kterým byla vystavena mateřská rostlina během zrání semene, jako je například teplota, světlo a obsah nitrátů v půdě, ovlivňují stupeň dormance semene (He et al., 2014). Původ semen významně ovlivňuje jejich klíčení (O’Farrill et al., 2011).

3.3.3.2 Vliv vody na klíčení

Sucho způsobuje snížení příjmu vody semenem během bobtnání a omezení příjmu iontů. Voda je první podmínkou k zahájení klíčení a je nezbytná pro průběh následných metabolických procesů (Ashrafi and Razmjoo, 2015).

Pro klíčení semen je nezbytná přítomnost vody, díky níž může dojít k nabobtnání semen. Rychlost absorpce vody semenem není v průběhu klíčení konstantní. Nejintenzivněji přijímá semeno vodu bezprostředně poté, co s ní přijde do styku. Rychlost příjmu vody závisí také na teplotě a osmotickém tlaku. K dalšímu nárůstu intenzity adsorpce vody semenem dochází tehdy, když kořínek embrya protrhne osemení. Dále voda může podporovat klíčení tím, že vyluhuje inhibiční látky ze semen. Po nabobtnání semene voda navozuje biochemické procesy předcházející vlastnímu klíčení (Procházka a kol., 1998).

Vodní stres a zasolení mohou snižovat klíčivost semen omezením absorpce vody, změnami ve strukturálním uspořádání semene nebo změnami syntézy bílkovin v embryu (Farahani et al., 2010).

Sucho má významný vliv na celosvětovou zemědělskou produkci a voda je jednou z nezbytných podmínek pro klíčení semen. Nedostatek vody snižuje klíčivost semen a následně způsobuje zpoždění v zahájení klíčení a v růstu mladých rostlinek (Farooq et al., 2011). Následkem vodního stresu může dojít ke zpoždění či omezení klíčení semen, nebo může dojít k úplnému zabránění klíčení. Je známo, že pokud semeno dosáhne hraniční hodnoty hydratace, dojde k jeho vyklíčení. Ale také částečná hydratace, která nestačí k navození klíčení, vyvolává v semeni fyziologické změny (Hegarty, 1977).

Aby se zvýšila rezistence semen rostlin vůči suchu, je možné použití různých prostředků a metod, jako například hormonální úprava osiva, přivykání suchu, impregnace semen, aplikace křemíku, působení magnetického záření nebo elektrického pole. Byl také prokázán pozitivní vliv působení tzv. studené plazmy na klíčení semen v podmínkách sucha. Problémem mnoha metod ošetření osiva je možnost jeho poškození a snížení klíčivosti a rizikem mohou být také rezidua látek použitých k ošetření osiva (Guo, 2017).

3.3.3.3 Ostatní vnější faktory

Jedním z hlavních faktorů ovlivňujících klíčení jsou světelné podmínky. Nedostatek světla brání klíčení u semen uložených hluboko v půdě, kam světelné záření nemůže proniknout. Pokud jsou semena vynesena z půdy blíž k jejímu povrchu, mají světla dostatek a jeho působením dochází k ukončení dormance. Důležité je také spektrální složení dopadajícího záření. U mnoha druhů snížený podíl červené složky v dopadajícím záření vyvolává dormanci semen. Červená složka záření je významně pohlcována vegetací. Vnímání světla, jeho intenzity a spektrálního složení, umožňuje rostlině systém fotoreceptorů. Červenou složku záření vnímá rostlina pomocí specifických fotoreceptorů – fytochromů (Lambers et al., 1998).

Také Larcher (2003) uvádí, že červená složka dopadajícího záření podmiňuje klíčení u některých druhů rostlin, zejména takových, které rostou na otevřených stanovištích a lesních mýtinách. Pokud jsou tato semena příliš zastíněna vegetací nebo uložena příliš hluboko v půdě, nedopadá na ně dostatečné množství červeného záření a semena neklíčí, dokud se světelné podmínky nezlepší. Požadavky semen na intenzitu a kvalitu světla při klíčení nejsou podmíněny pouze druhem či odrůdou, ale souvisí také s teplotou při klíčení a s podmínkami, jimž bylo vystaveno semeno nebo mateřská rostlina v předchozí době.

Baskin and Baskin (2004) uvádí, že to, zda jsou světelné podmínky faktorem působícím na prolomení dormance semen, nebo jestli působení světla pouze stimuluje klíčení, je předmětem mnoha vědeckých debat. V každém případě je světlo považováno za jeden z hlavních faktorů prostředí, které klíčení ovlivňují.

Teplota také významně ovlivňuje klíčení semen. Každý botanický druh má své optimální rozmezí teplot pro klíčení. To může být dále ovlivněno odrůdou plodiny a stářím osiva (Procházka a kol., 1998).

Rozmezí teplot, za kterých je semeno schopné klíčit, je dáno stupněm dormance semene. Čím je dormance semene hlubší, tím užší je rozmezí teplot příhodných pro jeho vyklíčení. Naopak semena v lehké dormanci či nedormantní semena mají toto rozmezí teplot často velmi široké (Lambers, 1998). Teplotní stres má negativní vliv na klíčení semen mnoha druhů plodin

i když rozsah optimálních teplot je i různých druhů odlišný. K hlavním dopadům teplotního stresu na rostliny patří snížená klíčivost, omezená vzcházivost, abnormality mladých rostlinek, jejich nízká životaschopnost a redukce růstu kořínku a hypokotylu (Hasanuzzaman et al., 2013).

Na klíčení má také významný vliv denní průběh teplot. Při zvyšujícím se rozdílu mezi maximální a minimální denní teplotou dochází k ukončení dormance semen a iniciaci klíčení. Tento mechanismus umožňuje semenům rozpoznat hloubku uložení v půdě či zakrytí porostem, nebo u bahenních rostlin hloubku vody. Půda, vegetační kryt nebo voda totiž tlumí kolísání teplot během dne. Důležitý je také vliv teplot, kterým bylo semeno vystaveno v předchozí době. Některé druhy na jaře klíčících rostlin vyžadují, aby jejich nabobtnalá semena byla vystavena období nízkých teplot, čímž se ukončí jejich dormance. Jiné druhy rostlin, které klíčí na podzim, mohou k prolomení dormance semen vyžadovat jejich vystavení vyšším teplotám (Lambers et al., 1998).

Další vnější podmínkou pro klíčení je přístup kyslíku k semeni. Ten je důležitý z toho důvodu, že zdrojem energie pro klíčení je oxidační fosforylace, pro jejíž průběh je kyslík nezbytný. V praxi bývá příčinou nedostatku semeni přístupného kyslíku nevhodná hloubka setby (Procházka a kol., 1998).

Lambers (1998) dále uvádí, že klíčení je ovlivněno též působením nitrátů a obsahem dalších chemických látek v okolním prostředí.

4 Metodika

Byl proveden pokus klíčení semen pšenice ozimé, *Triticum aestivum* L., a byl sledován vliv snížené záливky na klíčivost obilek a délku kořínku a hypokotylu u vybraných odrůd pocházejících z ekologické a konvenční produkce.

4.1 Rostlinný materiál

Pokus byl založen u pěti odrůd pšenice ozimé. Od každé odrůdy byly použity dvě varianty osiva. Jedna varianta od každé odrůdy pocházela z ekologické produkce, druhá varianta z konvenčního systému produkce. Byly použity následující odrůdy pšenice ozimé: 'Annie', 'Bohemia', 'Elly', 'Etana' a 'Frisky'. Informace o udržovatelič použitých odrůd a jejich zástupcič v České republice jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 4.1: Udržovatelič a jejich zástupcič v ČR pro použité odrůdy pšenice ozimé (ÚKZUZ, 2017)

odrůda	udržovatel	zástupce v ČR	rok zápisu do odrůdové knihy
Annie	SELGEN, a.s.	-	2014
Bohemia	SELGEN, a.s.	-	2007
Elly	SELGEN, a.s.	-	2010
Etana	Deutsche Saatveredelung AG	B O R, s.r.o.	2013
Frisky	Limagrain Europe	Limagrain Central Europe Cereals, s.r.o.	2015

4.1.1 Odrůda 'Annie'

Odrůda 'Annie' je středně raná odrůda s vysokou mrazuvzdorností a dobrou odolností k poléhání. Rostliny jsou středně vysoké, průměrná výška porostů v letech 2013-2016 byla 104 cm. Má malou odnožovací schopnost. Klas se vyznačuje dlouhými osinami a většími obilkami. Hmotnost tisíce zrn je 48 g, což je lehce nadprůměrná hodnota. Obsah dusíkatých látek v zrnu je vysoký, konkrétně 14,2 % v sušině zrna. Má také vysokou objemovou hmotnost, vysoké a značně stabilní číslo poklesu. 'Annie' je odrůdou elitní třídy potravinářské jakosti, velmi dobře využitelné k potravinářským účelům. Tato odrůda je málo odolná k napadení listů padlím pšenice. Je ale odolná vůči napadení černou rzivostí trav (ÚKZUZ a Komise pro Seznam doporučených odrůd pšenice, 2017).

4.1.2 Odrůda 'Bohemia'

Odrůda 'Bohemia' patří mezi polorané odrůdy pšenice ozimé. Vykazuje velmi dobrou mrazuvzdornost, střední odolnost k poléhání a malou schopnost odnožování. Rostliny jsou vysoké až velmi vysoké, průměrná výška porostu je 115 cm. Tato odrůda má velká zrna, hmotnost tisíce zrn je 50 g. Objemová hmotnost 799 g/l je spíše průměrná. Zrno obsahuje 13,6 % dusíkatých látek v sušině. Odrůda 'Bohemia' má vyšší číslo poklesu, a to 377 s, které je středně stabilní. Patří do třídy A potravinářské jakosti. Zrno je kvalitní a vhodné pro potravinářské využití. Odrůda je méně náročná na klimatické podmínky a je schopná poskytovat rentabilní výnosy v kukuřičné, řepařské i bramborářské oblasti. Je náchylná k napadení plísní sněžnou a žlutou rzivostí pšenice (ÚKZUZ a Komise pro Seznam doporučených odrůd pšenice, 2017).

4.1.3 Odrůda 'Elly'

Odrůda 'Elly' je poloranou odrůdou s dobrou odnožovací schopností a střední odolností k poléhání. Vykazuje průměrnou mrazuvzdornost. Rostliny dorůstají střední výšky, průměrná výška porostu je 100 cm. Zrno je středně veliké a průměr z let 2013 - 2016 stanovil hmotnost tisíce semen 45 g. Tato odrůda se vyznačuje vysokou objemovou hmotností, která činí 820 g/l. V sušině zrna je obsaženo 13,1 % dusíkatých látek. Číslo poklesu má hodnotu 357 s a je málo stabilní. Odrůda 'Elly' se řadí do třídy „A“ potravinářské jakosti. Zrno je tedy vhodné pro potravinářské využití. Rostliny této odrůdy jsou méně odolné napadení hnědou rzivostí pšenice (ÚKZUZ a Komise pro Seznam doporučených odrůd pšenice, 2017).

4.1.4 Odrůda 'Etana'

Odrůda 'Etana' patří k polopozdním odrůdám ozimé pšenice. Je středně odolná až odolná k vymrzání, průměrně odolná k poléhání a středně odnožující. Rostliny dosahují střední výšky 102 cm. Zrno je středně velké, hmotnost tisíce zrn činí 47 g. Objemovou hmotností 808 g/l nijak nevyniká mezi ostatními odrůdami ozimé pšenice. Obsah dusíkatých látek v zrnu je střední a to 12,6 %. Číslo poklesu vykazuje vysokou stabilitu a jeho hodnota je 379 s. Tato odrůda patří do jakostní třídy „A“ a je využívána k potravinářským účelům. Je málo odolná vůči napadení hnědou rzivostí a žlutou rzivostí pšenice (ÚKZUZ a Komise pro Seznam doporučených odrůd pšenice, 2017).

4.1.5 Odrůda 'Frisky'

Odrůda 'Frisky' je polopozdní odrůda vyznačující se vysokou odolností k poléhání, střední odnožovací schopností a nižší mrazuvzdorností. Porost dosahuje menších výšek. Rostliny jsou vysoké 91 cm. Tato odrůda tvoří menší zrno. Hmotnost tisíce zrn je 43 g.

Vyazuje střední objemovou hmotnost 810 g/l. Zrno má v sušině nižší obsah dusíkatých látek, pouze 11,9 %. Číslo poklesu 340 g/l je spíše nižší, avšak vysoce stabilní. Odrůda 'Frisky' patří k odrůdám „C“ pšenice ozimé a není vhodná pro využití v pekařství. Je nenáchylná k napadání chorobami a odolná vůči napadení hnědou rzivostí pšenice. Předností této odrůdy jsou stabilní výnosy (ÚKZUZ a Komise pro Seznam doporučených odrůd pšenice, 2017).

4.2 Založení pokusu

Pokus byl prováděn jako laboratorní v Petriho miskách o průměru 12 cm. Klíčení semen probíhalo na buničité vatě. K zalévání jednotlivých variant byla použita destilovaná voda, jejíž přesný objem byl odměřován v odměrném válci o maximální objemu 20 ml a nejmenším dílku odpovídajícím 2 ml. Měření bylo prováděno papírovým měřítkem s maximální měřitelnou délkou 30 cm a nejmenším dílkem 0,1 cm.

Pokus probíhal v řízených podmínkách v elektronickém chladícím inkubátoru (Peltier) IPP 200-500 značky Memmert PERFECT s chladícím agregátem ICP 400-800 při konstantní teplotě 22 °C bez světelného režimu.

4.3 Vlastní průběh pokusu

4.3.1 Kontrolní varianta

Nejprve byla založena kontrolní část pokusu. Z buničité vaty byla vystřižena kolečka o průměru spodní části Petriho misky. Ta byla následně vložena na dno této části Petriho misky, do každé misky jedno. Do každé z takto připravených Petriho misek bylo odpočítáno dvacet semen konkrétní varianty osiva. Varianta byla dána odrůdou (Annie, Bohemia, Elly, Etana nebo Frisky) a systémem produkce osiva (konvenční nebo ekologický). Takto byly připraveny postupně všechny varianty, tj. celkem 10 Petriho misek. Semena ve všech připravených Petriho miskách byla zalita 18 ml destilované vody, odměřené za pomoci odměrného válce. Petriho miska byla pak přikryta horní částí a popsána dle varianty. Poté byla umístěna do klíčidla s konstantní teplotou 22°C.

Třetí den od založení pak probíhalo hodnocení. Byl stanoven počet vyklíčených semen a následně byla měřena délka nejdelšího kořínku a délka hypokotylu u každého semene. Naměřené hodnoty (v cm) byly zaznamenány a později zpracovány. Dále byla provedena zálivka podle potřeby osiva, viz tab. 5.1 v kapitole Výsledky. Stanovení počtu vyklíčených obilek a měření délky nejdelšího kořínku a hypokotylu bylo provedeno i následující, čtvrtý, den a poté i pátý den. Pátý den po stanovení a změření výše uvedených hodnot byl pokus ukončen. Výše popsaná kontrolní část pokusu byla provedena ve třech opakováních.

4.3.2 Varianta se sníženou zálivkou

Dále pak probíhala část pokusu s omezenou zálivkou. Při ní byl sledován vliv sníženého množství vody na klíčení jednotlivých variant osiva pšenice. Tato část experimentu probíhala obdobně jako kontrolní část, s tím rozdílem, že jak při založení pokusu, tak při zálivce třetí den bylo použito přesně poloviční množství destilované vody. To jest při založení pokusu 9 ml a v jeho průběhu množství vody dle tabulky 5.1 (viz kapitolu Výsledky). I tato část pokusu byla třikrát zopakována.

4.4 Zpracování výsledků

Naměřené hodnoty byly pak zadány a zpracovány v programu Excel. Byl stanoven průměrný počet vyklíčených obilek třetí, čtvrtý a pátý den pokusu v kontrolní části experimentu pro každou z deseti pokusných variant a průměrný počet vyklíčených obilek u všech variant pro část pokusu se sníženou zálivkou. Dále byla vypočtena průměrná délka kořínku a průměrná délka hypokotylu u každé varianty pro třetí, čtvrtý a pátý den v obou částech pokusu.

5 Výsledky

5.1 Zálivka pokusu

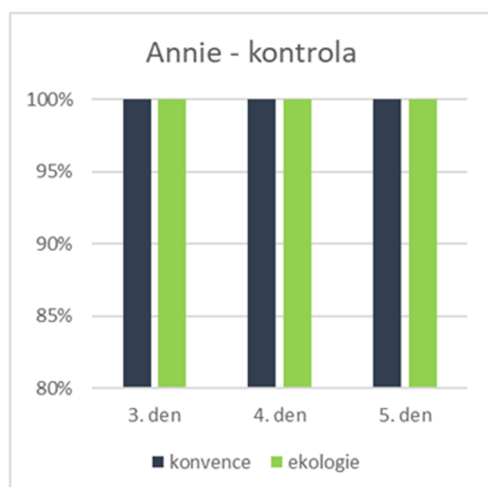
Pro zálivku třetí den od založení pokusu bylo třeba použít množství vody uvedené v tabulce 5.1. Množství vody bylo dáno potřebou jednotlivých variant a odrůd osiva.

Tab. 5.1: Celková zálivka (v ml) jednotlivých variant 3. den od založení pokusu

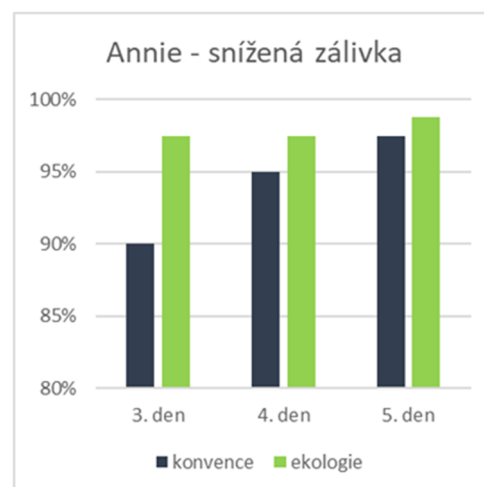
Varianta		Zálivka pro kontrolní varianty	Zálivka pro pokusné varianty
Annie	konvenční	8,5	4,25
	ekologická	7,5	3,75
Bohemia	konvenční	8	4
	ekologická	8,5	4,25
Elly	konvenční	8,5	4,25
	ekologická	8	4
Etana	konvenční	8	4
	ekologická	9	4,5
Frisky	konvenční	8,5	4,25
	ekologická	9	4,5

5.2 Klíčivost osiva

5.2.1 Odrůda Annie



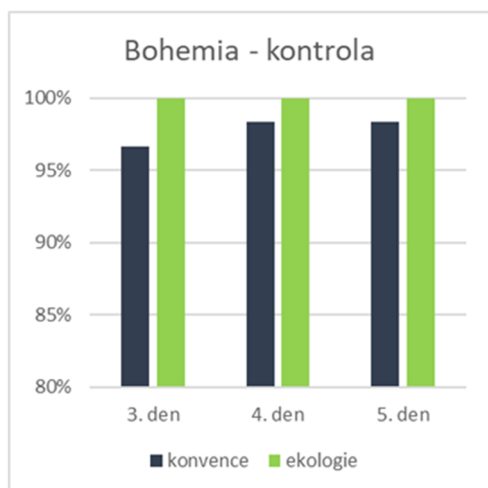
Graf 1. Klíčivost odrůdy Annie při dostatečné zálivce



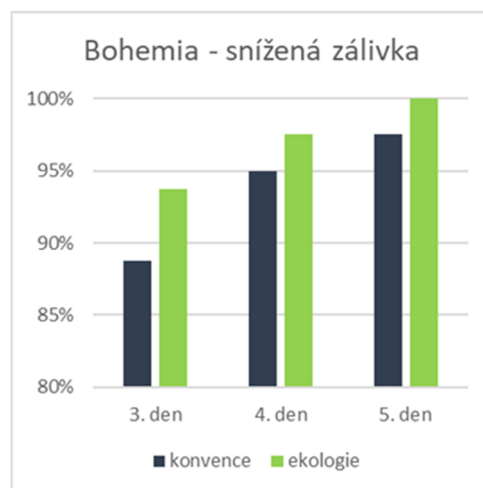
Graf 2. Klíčivost odrůdy Annie při snížené zálivce

Z grafu č. 1. je patrné, že odrůda Annie prokázala v kontrolní variantě s dostatečnou závlivkou stoprocentní klíčivost jak u konvenční, tak u ekologické varianty osiva. Při snížené závlivce byla zjištěna nižší klíčivost konvenčního i ekologického osiva (viz graf č. 2). Ekologické osivo této odrůdy prokázalo při snížené závlivce lepší klíčivost než osivo konvenční.

5.2.2 Odrůda Bohemia



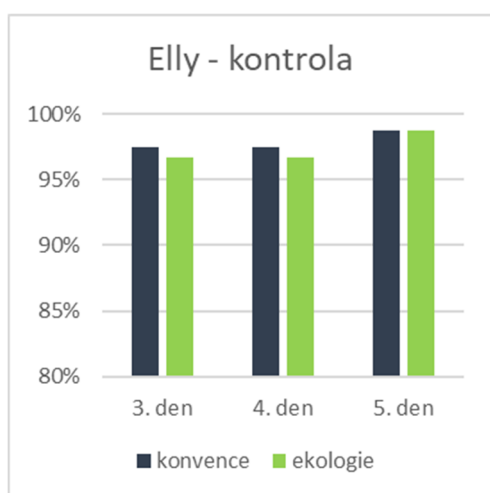
Graf 3. Klíčivost odrůdy Bohemia při dostatečné závlivce



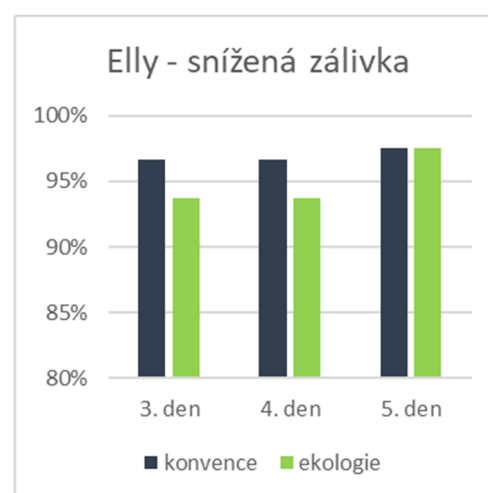
Graf 4. Klíčivost odrůdy Bohemia při snížené závlivce

Zatímco ekologické osivo odrůdy Bohemia prokázalo v kontrolní variantě stoprocentní klíčivost, konvenční osivo vykazovalo klíčivost nižší, jak lze vyčíst z grafu č. 3. Graf č. 4 ukazuje, že také při snížené závlivce vykazovalo ekologické osivo vyšší klíčivost než konvenční. Při snížené závlivce byla klíčivost osiva u obou variant nižší než při dostatečné závlivce.

5.2.3 Odrůda Elly



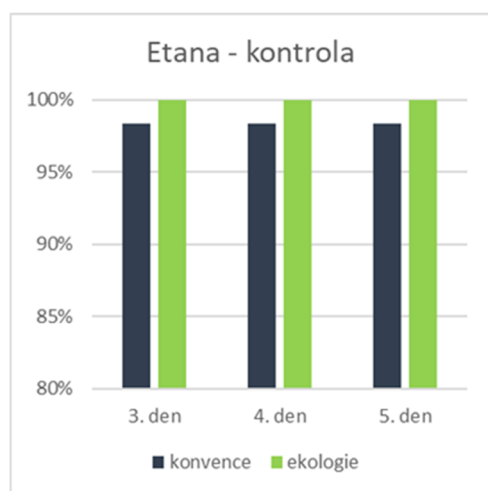
Graf 5. Klíčivost odrůdy Elly při dostatečné závlivce



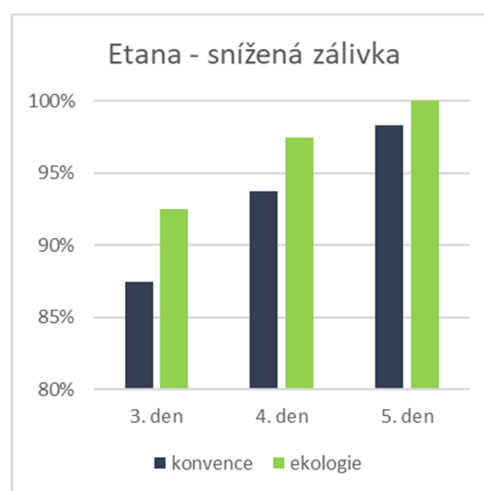
Graf 6. Klíčivost odrůdy Elly při snížené závlivce

Z grafu č. 5 je patrné, že u odrůdy Elly v kontrolní variantě vykazovalo konvenční osivo lehce vyšší klíčivost než ekologické. Pátý den od založení pokusu byla klíčivost obou variant osiva shodná. Také při snížené zálivce (viz graf č. 6) prokázalo konvenční osivo lepší klíčivost než ekologické a pátý den byla klíčivost shodná. Vliv snížené zálivky na klíčivost se ve větší míře projevil u ekologického osiva, u konvenčního osiva byl méně patrný.

5.2.4 Odrůda Etana



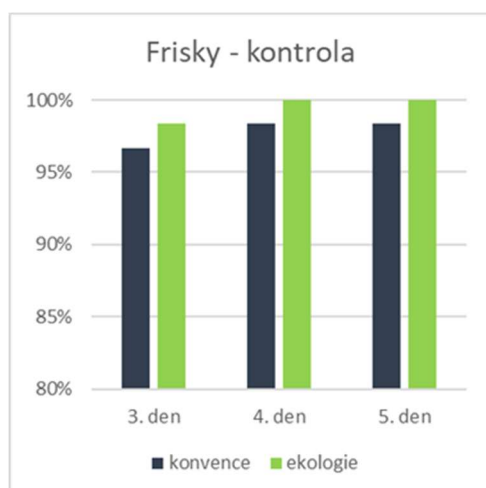
Graf 7. Klíčivost odrůdy Etana při dostatečné zálivce



Graf 8. Klíčivost odrůdy Etana při snížené zálivce

Jak vyplývá z grafu č. 7, odrůda Etana vykazovala v kontrolní variantě stoprocentní klíčivost ekologického osiva a mírně nižší klíčivost konvenčního osiva. Také při snížené zálivce prokázalo ekologické osivo lepší klíčivost než konvenční, jak ukazuje graf č. 8. U obou variant osiva byla ve třetím a čtvrtém dni od založení pokusu při snížené zálivce klíčivost nižší než při dostatečné zálivce, pátý den byla u klíčivost ekologického i konvenčního osiva srovnatelná s kontrolní variantou.

5.2.5 Odrůda Frisky



Graf 9. Klíčivost odrůdy Frisky při dostatečné záливce



Graf 10. Klíčivost odrůdy Frisky při snížené záливce

V kontrolní variantě s dostatečnou záливkou (viz graf č. 9) vykazovalo ekologické osivo mírně vyšší klíčivost než osivo konvenční. Z grafu č. 10 vyplývá, že při snížené záливce ve třetím dni od založení pokusu lépe klíčilo konvenční osivo, ve čtvrtém dni byla vyšší klíčivost u ekologického osiva a pátý den byla klíčivost u obou variant osiva shodná. Při snížené záливce se v porovnání s kontrolou snížila klíčivost obou variant osiva.

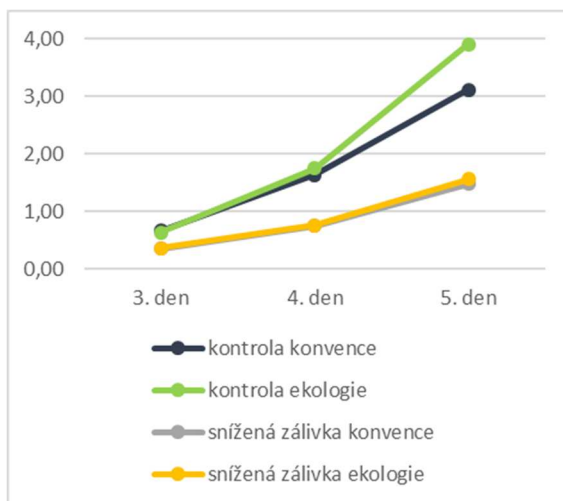
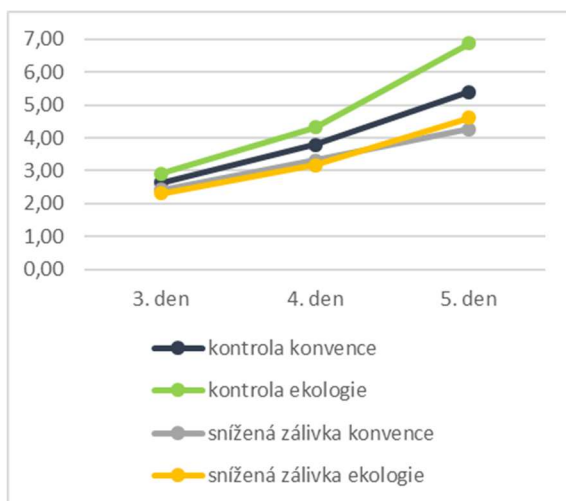
5.2.6 Srovnání klíčivosti jednotlivých odrůd

Nejlepší klíčivost osiva z ekologické produkce byla zjištěna u odrůdy Annie. Tato odrůda prokázala velmi dobrou klíčivost ekologického osiva jak v kontrolní variantě pokusu (100 %), tak při snížené záливce (5. den od založení pokusu 99 %). Odrůda Annie prokázala také jako jediná z použitých odrůd stoprocentní klíčivost u konvenčního osiva ve všech kontrolních dnech. Konvenční osivo při snížené záливce klíčilo nejrychleji u odrůdy Elly (97 % třetí den od založení pokusu), u které se projevil pozoruhodně malý rozdíl mezi klíčivostí konvenčního osiva při dostatečné záливce a jeho klíčivostí při snížené záливce. Ale poslední kontrolní den byla klíčivost konvenčního osiva při snížené záливce u všech ostatních odrůd vyšší, než u odrůdy Elly (98 %).

Nejhorší klíčivost ekologického osiva prokázala odrůda Elly, a to zejména v kontrolní variantě pokusu (97 % třetí den od založení pokusu, při snížené záливce 94 %). Při snížené záливce byla zjištěna nízká klíčivost ekologického osiva také u odrůdy Frisky (90 %). Nejnížší klíčivost konvenčního osiva při dostatečné záливce byla pozorována u odrůdy Bohemia a Frisky (3. den od založení pokusu u obou 97 %) a při snížené záливce klíčilo nejhůře konvenční osivo odrůdy Etana (88 % třetí den od založení pokusu).

5.3 Růst kořínku a hypokotylu

5.3.1 Odrůda Annie



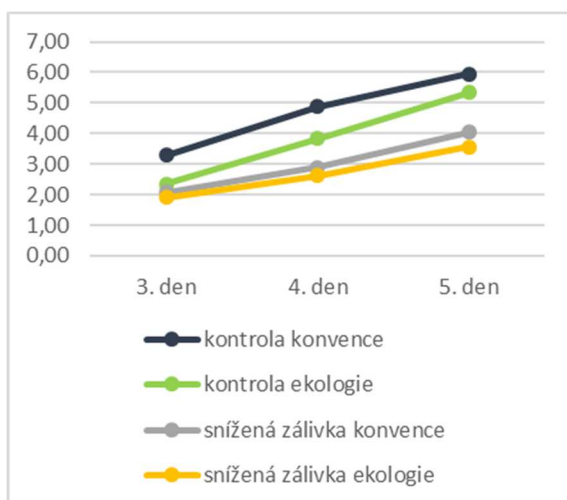
Graf 11. Délka kořínku (v cm) jednotlivých pokusných variant odrůdy Annie

Graf 12. Délka hypokotylu (v cm) jednotlivých pokusných variant odrůdy Annie

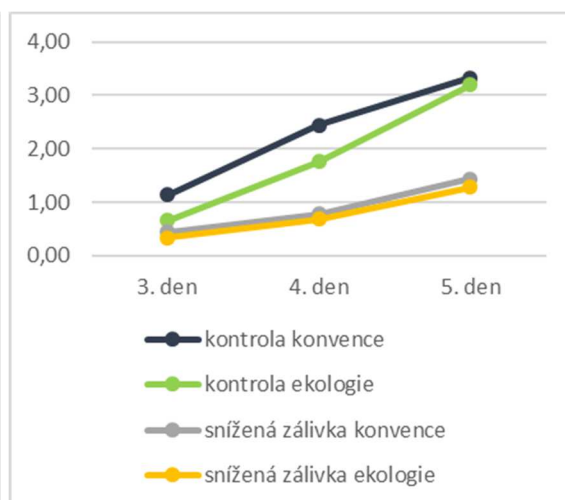
Jak je patrné z grafu č. 11 v kontrolní variantě prokázalo vyšší intenzitu růstu kořínku osivo z ekologické produkce. Intenzita růstu kořínku byla při snížené zálivce výrazně nižší než při dostatečné zálivce v kontrolní variantě, a to jak u ekologického, tak u konvenčního osiva. Při snížené zálivce třetí a čtvrtý den od založení pokusu byla délka kořínku u ekologické a konvenční varianty téměř srovnatelná. Pátý den se projevila mírně vyšší intenzita růstu kořínku u ekologického osiva.

Z grafu č. 12 vyplývá, že také intenzita růstu hypokotylu byla při dostatečné zálivce v kontrolní variantě vyšší u ekologického osiva a nejvýrazněji se projevila v posledním dni kontroly. Při snížené zálivce se intenzita růstu hypokotylu podstatně snížila a byla u ekologického i konvenčního osiva téměř shodná ve všech dnech kontroly.

5.3.2 Odrůda Bohemia



Graf 13. Délka kořínku (v cm) jednotlivých pokusných variant odrůdy Bohemia

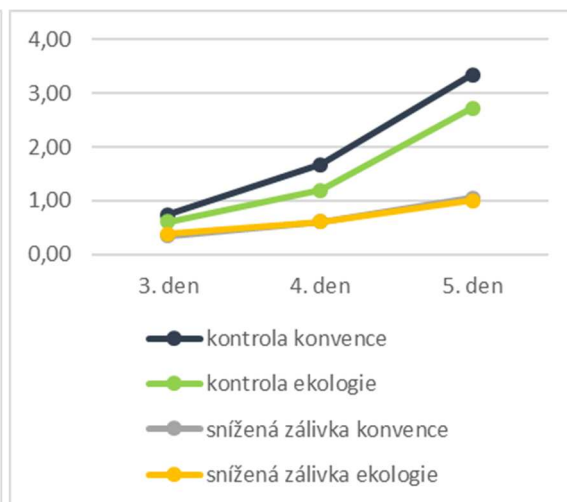
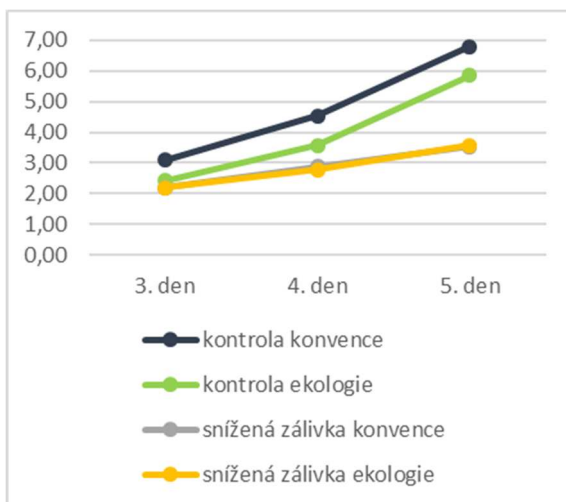


Graf 14. Délka hypokotylu (v cm) jednotlivých pokusných variant odrůdy Bohemia

Dle grafu č. 13 byla u odrůdy Bohemia v kontrolní variantě s dostatečnou zálivkou prokázána vyšší intenzita růstu kořínku u konvenčního osiva, zatímco intenzita růstu kořínku u ekologického osiva byla nižší. Menší délky dorůstal kořínky osiva vystaveného deficitu vody. I při snížené zálivce vykazovalo konvenční osivo vyšší intenzitu růstu kořínku než ekologické.

Z grafu č. 14 lze vyčíst, že v kontrolní variantě byla také intenzita růstu hypokotylu vyšší u konvenčního osiva oproti ekologickému. Pouze v posledním dni kontroly se délka kořínku osiva z ekologické produkce blížila délce kořínku konvenčního osiva. Při snížené zálivce se projevila nižší intenzita růstu hypokotylu než při dostatečné zálivce u obou variant osiva. Konvenční osivo i při snížené zálivce prokázalo mírně vyšší intenzitu růstu hypokotylu než ekologické, ale rozdíl v délce hypokotylu mezi konvenční a ekologickou variantou nebyl příliš výrazný.

5.3.3 Odrůda Elly



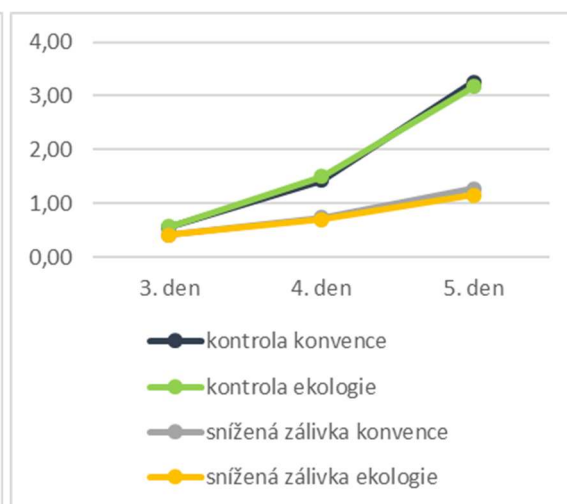
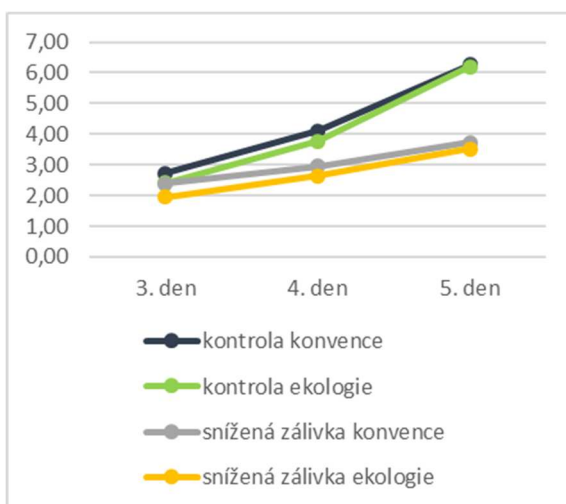
Graf 15. Délka kořínku (v cm) jednotlivých pokusných variant odrůdy Elly

Graf 16. Délka hypokotylu (v cm) jednotlivých pokusných variant odrůdy Elly

Intenzita růstu kořínku byla v kontrolní variantě vyšší u konvenčního osiva oproti osivu ekologickému (viz graf č. 15). Ve variantě se sníženou zálivkou byla intenzita růstu kořínku u konvenčního a ekologického osiva téměř shodná a byla výrazně nižší než v kontrolní variantě.

Jak vyplývá z grafu č. 16, vyšší intenzita růstu hypokotylu byla v kontrolní variantě zaznamenána rovněž u konvenčního osiva. Při snížené zálivce byla intenzita růstu hypokotylu výrazně nižší než při dostatečné zálivce a byla opět téměř shodná u obou variant osiva.

5.3.4 Odrůda Etana



Graf 17. Délka kořínku (v cm) jednotlivých pokusných variant odrůdy Etana

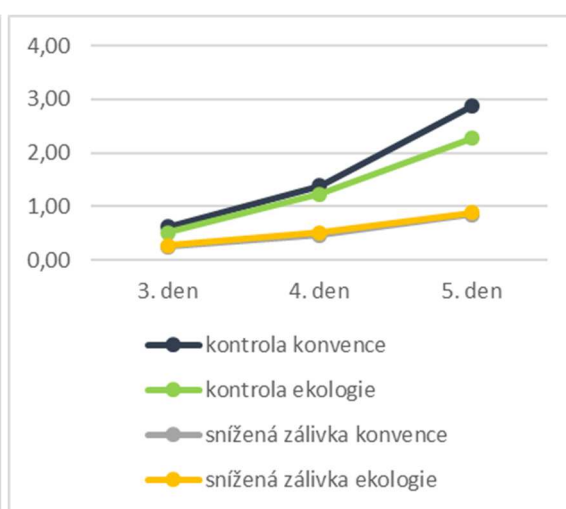
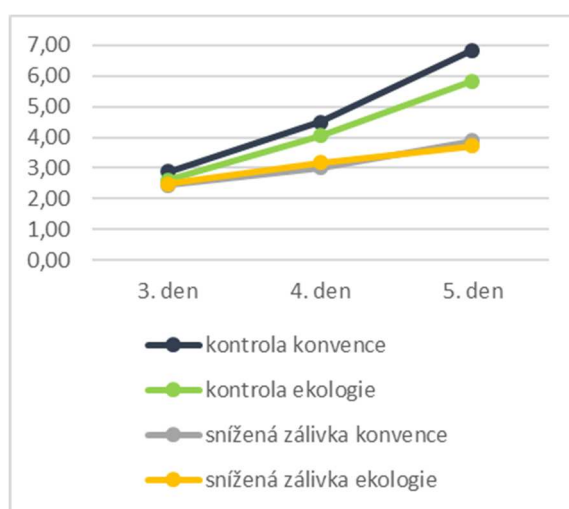
Graf 18. Délka hypokotylu (v cm) jednotlivých pokusných variant odrůdy Etana

Z grafu č. 17 je zřejmé, že v kontrolní variantě odrůdy Etana vykazovalo konvenční osivo třetí a čtvrtý den od založení pokusu lehce vyšší intenzitu růstu kořínku než ekologické osivo. Avšak pátý den se zvýšila intenzita růstu kořínku ekologického osiva a délka jeho kořínku se

téměř shodovala s délkou kořínku konvenčního osiva. Také při snížené záливce vykazovalo konvenční osivo vyšší intenzitu růstu kořínku než osivo ekologické. Intenzita růstu kořínku byla při snížené záливce výrazně nižší než při dostatečné záливce.

Intenzita růstu hypokotylu (viz graf č. 18) byla v kontrolní variantě u konvenčního a ekologického osiva téměř shodná. Čtvrtý den od založení pokusu byla lehce vyšší délka hypokotylu osiva z ekologické produkce, pátý den byla mírně vyšší intenzita růstu hypokotylu konvenčního osiva. Při snížené záливce byla intenzita růstu hypokotylu u obou variant osiva značně nižší než při dostatečné záливce a byla téměř shodná. Pouze pátý den od založení pokusu byla délka hypokotylu u konvenčního osiva mírně vyšší než u ekologického osiva.

5.3.5 Odrůda Frisky



Graf 19. Délka kořínku (v cm) jednotlivých pokusných variant odrůdy Frisky

Graf 20. Délka hypokotylu (v cm) jednotlivých pokusných variant odrůdy Frisky

Z grafu č. 19 vyplývá, že při dostatečné záливce prokázala vyšší intenzitu růstu kořínku konvenční varianta osiva oproti ekologické variantě. Při snížené záливce byla nižší i intenzita růstu kořínku u obou variant osiva. Čtvrtý den od založení pokusu byl naměřen delší kořínek u ekologického osiva, pátý den byla vyšší intenzita růstu konvenčního osiva.

Dle grafu č. 20 byla v kontrolní variantě také intenzita růstu hypokotylu vyšší u konvenčního osiva oproti ekologickému. Ve variantě se sníženou záливkou byla intenzita růstu hypokotylu výrazně nižší v porovnání s kontrolní variantou. Při snížené záливce vykazovaly obě varianty osiva téměř shodnou intenzitu růstu hypokotylu. Mírně větší délka hypokotylu byla zaznamenána u ekologického osiva.

5.3.6 Srovnání růstu kořínku a hypokotylu jednotlivých odrůd

Největší intenzitu růstu kořínku v kontrolní variantě u konvenčního osiva prokázala odrůda Frisky (6,83 cm pátý den od založení pokusu), nejdelší hypokotyl byl 5. den od založení

pokusu naměřen u odrůdy Elly (3,34 cm). Nejintenzivnější růst kořínku i hypokotylu u ekologického osiva prokázala odrůda Annie (poslední den kontroly byla délka kořínku 6,87 cm a hypokotylu 3,91 cm). Naopak nejhorší růst kořínku u konvenčního osiva vykazovala odrůda Bohemia (5,96 cm pátý den od založení pokusu) a nejkratší hypokotyl byl zjištěn u odrůdy Frisky (2,87 cm pátý den od založení pokusu). Nejnižší intenzitu růstu u ekologického osiva projevila odrůda Frisky (délka kořínku 4,93 cm a hypokotylu 2,28 cm pátý den od založení pokusu).

Při snížené záливce prokázala pátý den od založení pokusu největší intenzitu růstu kořínku i hypokotylu u ekologického osiva (délka kořínku 4,61 cm a hypokotylu 1,57 cm) i konvenčního osiva (délka kořínku 4,26 cm a hypokotylu 1,49 cm) odrůda Annie. Nejkratší délky dorůstal při snížené záливce kořínky u konvenčního osiva u odrůdy Elly (3,53 cm pátý den od založení pokusu) a hypokotyl u ekologického osiva u odrůdy Etana (3,51 cm). Nejnižší intenzitu růstu hypokotylu vykazovala u ekologického i konvenčního osiva odrůda Frisky (0,84 cm u ekologického osiva a 0,88 cm u konvenčního osiva pátý den od založení pokusu).

Pouze u odrůdy Annie byla v kontrolní variantě zjištěna významně vyšší intenzita růstu kořínku i hypokotylu u ekologického osiva než u osiva konvenčního (pátý den od založení pokusu o 1,5 cm u kořínku a o 0,8 cm u hypokotylu). U všech ostatních odrůd byl v kontrolní variantě zaznamenán intenzivnější růst kořínku a hypokotylu u konvenčního osiva oproti ekologickému. Nejmenší rozdíl mezi konvenčním a ekologickým osivem byl zjištěn v růstu hypokotylu u odrůdy Etana (největší odchylka byla naměřena pátý den od založení pokusu, a to 0,08 cm v kontrolní variantě a 0,11 cm při snížené záливce). Intenzita růstu kořínku a hypokotylu při snížené záливce nevykazovala mezi konvenčním a ekologickým osivem u žádné z odrůd významné rozdíly. Největší odchylka byla zaznamenána v růstu kořínku u odrůdy Bohemia pátý den od založení pokusu (o 0,48 cm delší kořínky u konvenčního osiva oproti ekologickému).

6 Diskuze

U osiva pšenice ozimé, *Triticum aestivum* L., byl sledován vliv původu osiva a vliv vodního deficitu na klíčivost obilek, délku kořínku a délku hypokotylu. Li et al. (2014) uvádí, že klíčivost semen je ovlivněna abiotickými faktory prostředí. Dle Savvida et al. (2016) mají abiotické stresory významný vliv na růst. Podle O’Farrilla et al. (2011) je klíčení významně ovlivněno původem semen.

6.1 Srovnání ekologického a konvenčního osiva

U většiny odrůd pšenice ozimé, které byly použity k pokusu, se projevila vyšší výsledná klíčivost ekologického osiva ve srovnání s konvenčním osivem. Stejně tak uvádí i Brainard (2006) u osiva laskavce zelenoklasého. Lepší klíčivost ekologického osiva byla zjištěna jak v kontrolní variantě při dostatečné závlivce, tak ve variantě se sníženou závlivkou. Důvodem může být obsah reziduí chemických látek použitých k ošetření mateřských rostlin, který způsobí sníženou klíčivost konvenčních semen. To potvrzuje Nicuta et al. (2013), kteří uvádí, že pesticidy jsou sice užitečné pro eliminaci poškození rostlin, ale mohou negativně ovlivňovat procesy klíčení, růstu a vývoje rostlin a narušovat fyziologické a metabolické procesy. Oproti tomu Kristensen (2003) uvádí vyšší klíčivost konvenčního osiva v porovnání s ekologickým. To se potvrdilo při snížené závlivce u odrůdy Elly a Frisky a v kontrolní variantě pokusu u odrůdy Elly. Vyšší klíčivost konvenčního osiva oproti ekologickému může souviset s vyšším obsahem zásobních bílkovin v konvenčních semenech. De Geus et al. (2008) uvádí u kukuřice nižší kvalitu semen s nižším obsahem bílkovin, která se projevuje sníženou klíčivostí a životaschopností semen.

Klíčivost osiva z ekologické produkce byla méně ovlivněna vodním stresem než klíčivost konvenčního osiva. U tří z pěti pokusných odrůd došlo působením nedostatku vody k většímu poklesu klíčivosti a znatelnějšímu zpoždění klíčení konvenčního osiva ve srovnání s ekologickým. Důvodem může být lepší adaptační schopnost ekologicky pěstovaných plodin ke stresovým podmínkám, což potvrzuje Maggio et al. (2013) u některých druhů zeleniny. Avšak Orsini et al. (2016) uvádí, že environmentální stres často více ovlivňuje ekologicky pěstované plodiny než konvenční. To bylo potvrzeno u konvenčního osiva odrůdy Elly, u níž ke zpoždění klíčení nedošlo, a u odrůdy Frisky, u níž bylo zpoždění klíčení méně výrazné než u ekologického osiva.

Co se týče růstu kořínku a hypokotylu prokázalo konvenční osivo ve srovnání s ekologickým rychlejší růst ve všech pokusných variantách s výjimkou odrůdy Annie. U této

jediné odrůdy ekologické osivo intenzitou růstu předčilo konvenční, a to jak při dostatečné, tak při snížené záливce. Intenzivnější růst konvenčního osiva může být dán vyšším obsahem bílkovin v semenech konvenčně pěstovaných plodin, který potvrzuje Kristensen (2003) u ječmene. Vyšší obsah proteinů v konvenčním osivu je dán používáním průmyslových hnojiv s rychlým účinkem, která jsou v ekologickém systému zakázána (Krejčířová et al., 2007). Také Orsini et al. (2016) uvádí u zeleniny, že konvenčně pěstované rostliny vykazují vyšší intenzitu růstu ve srovnání s ekologickými.

Při snížené záливce se rozdíl v růstu kořínku a hypokotylu mezi konvenčním a ekologickým osivem projeví minimálně. Intenzita růstu kořínku a hypokotylu byla u obou variant osiva velmi podobná, s mírnou převahou konvenčního osiva, zaznamenanou u všech odrůd s výjimkou odrůdy Annie. Působením vodního deficitu se tedy snížil vliv původu osiva na intenzitu růstu kořínku a hypokotylu.

6.2 Vliv nedostatku vody na klíčení

Nedostatek vody v průběhu klíčení se projevil u všech odrůd pšenice zpomalením klíčení. To je v souladu s tím, co uvádí Farooq et al. (2011) a Hegarty (1977). Příčinou může být obsah inhibičních látek, které jsou ze semene vymývány vodou, jak uvádí Lambers et al. (1998). Pokud je vody menší množství, vymytí inhibičních látek ze semen trvá delší dobu a dojde ke zpoždění klíčení. Další možnou příčinou může být zpomalení aktivace a průběhu biochemických procesů probíhajících při klíčení. Ali and Elozeiri (2017) uvádí, že tyto procesy jsou řízeny enzymy, jejichž syntéza je aktivována působením vody. Dle Procházky a kol. (1998) způsobuje vodní deficit změny v aktivitě enzymů. V důsledku tedy může dojít ke zpoždění klíčení.

Farooq et al. (2011) a Hegarty (1977) také zmiňují, že vodní deficit způsobuje sníženou celkovou klíčivost, což se potvrdilo u odrůd Annie, Elly a Frisky. Redukce klíčivosti při snížené záливce je způsobena nedostatkem vody pro zbobtnání všech semen. Semena, která nepřijmou dostatek vody a nezbobtnají, nemohou vyklíčit. Může také dojít k tomu, že vody není dostatek na to, aby vymyla inhibiční látky ze semene. Pak nedojde k prolomení dormance a semena nevyklíčí (Procházka a kol., 1998). Výsledná klíčivost u odrůdy Bohemia a Etana byla při snížené záливce téměř srovnatelná s kontrolou. Tyto dvě odrůdy tedy pravděpodobně mají nižší požadavky na množství vody potřebné ke zbobtnání semen a jejich vyklíčení. Vyšší odolnost k přísuškům a vhodnost pro pěstování na sušších stanovištích potvrzuje u odrůdy Etana firma B O R, s.r.o., zástupce jejího udržovatele v ČR.

Vodní deficit se projevil významně nižší intenzitou růstu kořínku a hypokotylu u všech pokusných variant. To je v souladu s tím, co uvádí Yin et al. (2009), totiž, že intenzita růstu rostlin závisí především na dostupnosti živin a vody. Jak uvádí Ashraf and Harris (2005), voda je nezbytnou součástí metabolických procesů a vytváří prostředí pro jejich průběh. Její omezené množství tedy vede ke snížení metabolické aktivity a tím i omezení syntézy bílkovin, nezbytných pro růst. Rosental et al. (2014) uvádí, že metabolická aktivita na počátku klíčení je také velmi důležitá z hlediska produkce energie pro procesy, nutné k růstu kořínku. Proto působením vodního deficitu dochází ke snížení intenzity růstu kořínku a hypokotylu.

7 Závěr

Laboratorním pokusem, při němž bylo sledováno klíčení obilek pšenice ozimé z ekologické a konvenční produkce při různých vodních podmínkách, bylo dosaženo následujících závěrů:

- U většiny odrůd prokázalo ekologické osivo ve srovnání s konvenčním vyšší klíčivost.
- Konvenční osivo prokázalo vyšší intenzitu růstu kořínku a hypokotylu oproti ekologickému.
- Klíčení obilek pšenice ozimé bylo také ovlivněno odrůdou. Odrůda Annie se z hlediska klíčení ukázala jako vhodná pro ekologické zemědělství. Odrůda Etana prokázala dobrou odolnost ke stresu z nedostatku vody.
- Bylo prokázáno, že vodní deficit vede ke zpomalení klíčení obilek pšenice ozimé a ke snížení klíčivosti semen.
- Vliv snížené záливky se projevil snížením intenzity růstu kořínku a hypokotylu u všech pokusných variant.
- Při snížené záливce byl celkový počet vyklíčených semen u většiny pokusných variant nižší než při dostatečné záливce.
- U ekologického osiva byla také klíčivost méně ovlivněna vodním deficitem.
- Ekologická varianta odrůdy Bohemia a Etana dosáhla i při snížené záливce stoprocentní výsledné klíčivosti.

8 Seznam literatury

- Agrios, G. N. 2005. Plant pathology. Elsevier Academic Press. 5th ed. Boston. p. 922. ISBN: 0-12-044565-4.
- Ali, A. S., Elozeiri, A. A. 2017. Metabolic Processes During Seed Germination. In: Jimenez-Lopez, J.C. (ed.). Advances in Seed Biology. InTech. p. 141-166. ISBN: 978-953-51-3621-7.
- Almaghrabi, O. A. 2012. Impact of Drought Stress on Germination and Seedling Growth Parameters of Some Wheat Cultivars. Life Science Journal. 9 (1). 590-598.
- Altieri, M. A. 1989. Agroecology: A New Research and Development Paradigm for World Agriculture. Agricultural Ecology and Environment. 27. 37-46.
- Ashraf, M., Harris, P. J. C. (eds.). 2005. Abiotic Stresses: Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches. Food Product Press. New York. p. 398. ISBN: 1-56022-964-0.
- Ashrafi, E., Razmjoo, J. 2015. Seed Treatment to Overcome Salt and Drought Stresses During Germination in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Plant Nutrition. 38 (14). 2151-2158.
- B O R, s.r.o. Pšenice ozimá, ETANA [online]. B O R, s.r.o. 21. ledna 2017 [cit. 2018-04-03]. Dostupné z <http://www.bor-sro.cz/public/ETANA_web_19-1.pdf>.
- Basbouss-Serhal, I., Leymarie, J., Bailly, Ch. 2016. Fluctuation of Arabidopsis Seed Dormancy with Relative Humidity and Temperature during dry Storage. Journal of Experimental Botany. 67 (1). 119-130.
- Baskin, J. M., Baskin, C. C. 2004. A Classification System for Seed Dormancy. Seed Science Research. 14 (1). 1-16.
- Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A., Pereira, A. 2016. Plant Adaptation to Drought Stress. F1000Research. 5. 1-10.
- Bewley, J. D. 1997. Seed Germination and Dormancy. The Plant Cell. 9 (7). 1055-1066.
- Bian, F., Su, J., Liu, W., Li, S. 2018. Dormancy Release and Germination of *Taxus yunnanensis* Seeds during Wet Sand Storage. Scientific Reports. 8 (1). 3205-3213.
- Bohnert, H. J., Nelson, D. E., Jensen, R. G. 1995. Adaptations to Environmental Stresses. The Plant Cell. 7 (7). 1099-1111.

- Bortoluzzi, M. P., Heldwein, A. B., Trentin, R., Lucas, D. D. P., Righi, E. Z., Leonardi, M. 2017. Risk of Water Surplus in Soybean Crop on Haplic Planosol Soil in The Central Depression of Rio Grande do Sul State, Brazil. *Ciência Rural*. 47 (2). 1-7.
- Brainard, D. C., DiTommaso, A., Mohler, Ch. L. 2006. Intraspecific Variation in Germination Response to Ammonium Nitrate of Powell Amaranth (*Amaranthus powellii*) Seeds Originating from Organic vs. Conventional Vegetable Farms. *Weed Science*. 54 (3). 435-442.
- Bray, E.A. 1997. Plant Responses to Water Deficit. *Trends in plant science*. 2 (2). 48-54.
- De Geus, Y. N., Goggi, A. S., Pollak, L. M. 2008. Seed Quality of High Protein Corn Lines in Low Input and Conventional Farming Systems. *Agronomy for Sustainable Development*. 28 (4). 541-550.
- Dordas, Ch., Dhima, K., Vasilakoglou, I., Paschalidis, K., Ilias, I., Karagiannidis, N., Gatsis, T., Giannakoula, A., Tanou, G., Skiada, V. 2015. Evaluation of Barley Cultivars for Their Tolerance to Salinity under Field Conditions for Utilization to Saline Soils. *Procedia Environmental Sciences*. 29. 270-271.
- Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-Jolain, N., Tchamitchian, M., Tittone, P. 2011. Facing up to The Paradigm of Ecological Intensification in Agronomy: Revisiting Methods, Concepts and Knowledge. *European Journal of Agronomy*. 34 (4). 197-210.
- Farahani, S. M., Mazaheri, D., Chaichi, M., Afshari, R. T., Savaghebi, G. 2010. Effect of Seed Vigour on Stress Tolerance of Barley (*Hordeum vulgare*) Seed at Germination Stage. *Seed Science and Technology*. 38 (2). 494-507.
- Farooq, M., Aziz, T., ur Rehman, H., ur Rehman, A., Cheema, S. A. 2011. Evaluating Surface Drying and Re-drying for Wheat Seed Priming with Polyamines: Effects on Emergence, Early Seedling Growth and Starch Metabolism. *Acta physiologiae plantarum*. 33 (5). 1707-1713.
- Finch-Savage, W. E., Leubner-Metzger, G. 2006. Seed Dormancy and The Control of Germination. *New Phytologist*. 171 (3). 501-523.
- Gao, F., Jordan, M. C., Ayele, B. T. 2012. Transcriptional Programs Regulating Seed Dormancy and its Release by After-ripening in Common Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Biotechnology Journal*. 10 (4). 465-476.

- Guo, Q., Wang, Y., Zhang, H., Qu, G., Wang, T., Sun, Q., Liang, D. 2017. Alleviation of Adverse Effects of Drought Stress on Wheat Seed Germination using Atmospheric Dielectric Barrier Discharge Plasma Treatment. *Scientific Reports*. 7 (1). 16680-16693.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R., Fujita, M. 2013. Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms of Heat Stress Tolerance in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 14 (5). 9643-9684.
- He, H., de Souza Vidigal, D., Snoek, L. B., Schnabel, S., Nijveen, H., Hilhorst, H., Bentsink, L. 2014. Interaction Between Parental Environment and Genotype Affects Plant and Seed Performance in Arabidopsis. *Journal of Experimental Botany*. 65 (22). 6603-6615.
- Hegarty, T. W. 1977. Seed Activation and Seed Germination under Moisture Stress. *The New Phytologist*. 78 (2). 349-359.
- Hnilička, F., Hejtmánková, A., Orsák, M., Hniličková, H. 2017. Influence of Germination Temperatures on The Chemical Composition of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seeds. *Czech Journal of Food Science*. 35 (2). 143-148.
- Hossard, L., Archer, D. W., Bertrand, M., Colnenne-David, C., Debaeke, P., Ernfors, M., Jeuffroy, M. H., Munier-Jolain, N., Nilsson, Ch., Sanford, G. R., Snapp, S. S., Jensen, E. S., Makowski, D. 2016. A Meta-analysis of Maize and Wheat Yields in Low-input vs. Conventional and Organic Systems. *Agronomy Journal*. 108 (3). 1155-1167.
- Hossard, L., Philibert, A., Bertrand, M., Colnenne-David, C., Debaeke, P., Munier-Jolain, N., Jeuffroy, M. H., Richard, G., Makowski, D. 2014. Effects of Halving Pesticide Use on Wheat Production. *Scientific reports*. 4. 4405-4411.
- Krasensky, J., Jonak, C. 2012. Drought, Salt, and Temperature Stress-induced Metabolic Rearrangements and Regulatory Networks. *Journal of Experimental Botany*. 63 (4). 1593-1608.
- Krejčířová, L., Capouchová, I., Petr, J., Bicanová, E., Faměra, O. 2007. The Effect of Organic and Conventional Growing Systems on Quality and Storage Protein Composition of Winter Wheat. *Plant Soil Environ*. 53 (11). 499-505.
- Kristensen, L. 2003. Maternal Effects Due to Organic and Conventional Growing Conditions in Spring Barley (*Hordeum vulgare*). *Biological Agriculture and Horticulture*. 21 (2). 195-208.
- Lambers, H., Chapin III, F. S., Pons, T. L. 1998. *Plant Physiological Ecology*. Springer. New York. p. 540. ISBN: 0-387-98326-0.

- Larcher, W. 2003. *Physiological Plant Ecology, Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*, Fourth Edition. Springer. New York. p. 513. ISBN: 3-540-43516-6.
- Li, Z., Peng, Y., Zhang, X. Q., Ma, X., Huang, L. K., Yan, Y. H. 2014. Exogenous Spermidine Improves Seed Germination of White Clover under Water Stress via Involvement in Starch Metabolism, Antioxidant Defenses and Relevant Gene Expression. *Molecules*. 19 (11). 18003-18024.
- MacGregor, D. R., Kendall, S. L., Florance, H., Fedi, F., Moore, K., Paszkiewicz, K., Smirnoff, N., Penfield, S. 2015. Seed Production Temperature Regulation of Primary Dormancy Occurs Through Control of Seed Coat Phenylpropanoid Metabolism. *New Phytologist*. 205 (2). 642-652.
- Maggio, A., De Pascale, S., Paradiso, R., Barbieri, G. 2013. Quality and Nutritional Value of Vegetables from Organic and Conventional Farming. *Scientia Horticulturae*. 164. 532-539.
- Mahan, J. R., Gitz, D. C., III, Payton, P. R., Allen, R. 2009. Overexpression of Glutathione Reductase in Cotton does not Alter Emergence Rates under Temperature Stress. *Crop Science*. 49 (1). 272-280.
- Nařízení Komise (ES) č. 889/2008 ze dne 5. září 2008 kterým se stanoví prováděcí pravidla k nařízení rady (ES) č. 834/2007 o ekologické produkci a označování ekologických produktů, pokud jde o ekologickou produkci, označování a kontrolu. In: Úřední věstník Evropské unie. 2008. L 250. s. 1-84. Dostupné také z <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008R0889&rid=3>>.
- Nařízení Rady (ES) č. 834/2007 ze dne 28. června 2007 o ekologické produkci a označování ekologických produktů a o zrušení nařízení (EHS) č. 2092/91. In: Úřední věstník Evropské unie. 2007. L 189. s. 1-23. Dostupné také z <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R0834&rid=1>>.
- Née, G., Xiang, Y., Soppe, W. J. 2017. The Release of Dormancy, a Wake-up call for Seeds to Germinate. *Current Opinion in Plant Biology*. 35. 8-14.
- Nicuta, D., Badaluta, N., Lazar, G., Lazar, I. M. 2013. Changes in Growth of Wheat Plantlets Induced by The Action of Thiamethoxam and Thiophanate-methyl on Seeds. *Environmental Engineering and Management Journal*. 12 (1). 85-96.

- Niedźwiedz-Siegeń, I., Lewak, S. 1992. Growth Regulators Differentially Affect Photosensitivity Induced by Low Temperature and Osmotic Stresses in Germinating White Clover Seeds. *Plant Growth Regulation*. 11 (2). 133-137.
- Nonogaki, H., Bassel, G. W., Bewley, J. D. 2010. Germination – Still a Mystery. *Plant Science*. 179 (6). 574-581.
- O’Farrill, G., Chapman, C. A., Gonyales, A. 2011. Origin and Deposition Sites Influence Seed Germination and Seedling Survival of *Manilkara zapota*: Implications for Long-distance, Animal-mediated Seed Dispersal. *Seed Science Research*. 21 (4). 305-313.
- Orsini, F., Maggio, A., Roupahel, Y., De Pascale, S. 2016. “Physiological Quality” of Organically Grown Vegetables. *Scientia Horticulturae*. 208. 131-139.
- Picorel, R., Alfonso, M., Velitchkova, M. 2017. Molecular Basis of the Response of Photosynthetic Apparatus to Light and Temperature Stress. *Frontiers in Plant Science*. 8. 288-289.
- Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., Seidel, R. 2005. Environmental, Energetic, and Economic Comparisons of Organic and Conventional Farming Systems. *BioScience*. 55 (7). 573-582.
- Ponisio, L. C., M’Gonigle, L. K., Mace, K. C., Palomino, J., de Valpine, P., Kremen, C. 2015. Diversification Practises Reduce Organic to Conventional Yield Gap. *Proceedings of the Royal Society B*. 282 (1799). 20141396-20141402.
- Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J., Gloser, J., Havel, L., Nátr, L., Prášil, I., Sladký, Z., Šantrůček, J., Tesařová, M., Vyskot, B. 1998. *Fyziologie rostlin*. Academia. Praha. 484 s. ISBN: 80-200-0586-2.
- Rhine, M. D., Stevens, G., Shannon, G., Wrather, A., Sleper, D. 2010. Yield and Nutritional Responses to Waterlogging of Soybean Cultivars. *Irrigation Science*. 28 (2). 135-142.
- Rosental, L., Nonogaki, H., Fait, A. 2014. Activation and Regulation of Primary Metabolism during Seed Germination. *Seed Science Research*. 24 (1). 1-15.
- Savvides, A., Ali, S., Tester, M., Fotopoulos, V. 2016. Chemical Priming of Plants Against Multiple Abiotic Stresses: Mission Possible. *Trends in Plant Science*. 21 (4). 329-340.
- Sechet, J., Frey, A., Effroy-Cuzzi, D., Berger, A., Perreau, F., Cueff, G., Charif, D., Rajjou, L., Mouille, G., North, H. M., Marion-Poll, A. 2016. Xyloglucan Metabolism

Differentially Impacts The Cell Wall Characteristics of The Endosperm and Embryo during Arabidopsis Seed Germination. *Plant Physiology*. 170 (3). 1367-1380.

- Shu, K., Liu, X., Xie, Q., He, Z. 2016. Two Faces of One Seed: Hormonal Regulation of Dormancy and Germination. *Molecular Plant*. 9 (1). 34-45.
- Smith, R. G., Gross, K. L., Robertson, G. P. 2008. Effects of Crop Diversity on Agroecosystem Function: Crop Yield Response. *Ecosystems*. 11 (3). 355-366.
- Stagnari, F., Galieni, A., Egidio, S. D., Pagnani, G., Pisante, M. 2018. Responses of Radish (*Raphanus sativus*) to Drought Stress. *Annals of Applied Biology*. 172 (2). 170-186.
- Suzuki, N., Rivero, R. M., Shulaev, V., Blumwald, E., Mittler, R. 2014. Abiotic and Biotic Stress Combinations. *New Phytologist*. 203 (1). 32-43.
- Šarapatka, B., Abrahamová, M., Čížková, S., Dotlačil, L., Hluchý, M., Křen, J., Kuras, T., Laštůvka, Z., Lososová, Z., Pokorný, E., Pokorný, J., Pokorný, R., Salašová, A., Tkadlec, E., Tuf, I. H., Vácha, M., Zámečník, V., Zeidler, M., Žalud, Z. 2010. *Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření*. Bioinstitut, o. p. s. Olomouc. 440 s. ISBN: 978-80-87371-10-7.
- Šarapatka, B., Urban, J., Čížková, S., Dukát, V., Hejduk, S., Hrabalová, A., Hradil, R., Juršík, J., Leibl, M., Mátlová, V., Moudrý, J., Plíšek, B., Pokorný, E., Rozsypal, R., Sedlo, J., Škeřík, J., Šonková, R., Trávníček, P., Vaněk, D., Zídek, T. 2006. *Ekologické zemědělství v praxi. PRO-BIO Svaz ekologických zemědělců*. Šumperk. 502 s. ISBN 978-80-903583-0-0.
- Tan, W., wei Meng, Q., Brestic, M., Olsovska, K., Yang, X. 2011. Photosynthesis is Improved by Exogenous Calcium in Heat-stressed Tobacco Plants. *Journal of Plant Physiology*. 168 (17). 2063-2071.
- Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský a Komise pro Seznam doporučených odrůd pšenice. Seznam doporučených odrůd 2017 - pšenice ozimá [online]. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 15. května 2017 [cit. 2017-12-05]. Dostupné z <<http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/odrudy/seznam-doporucenych-odrudy/x2017/obilniny.html>>.
- Varga, B., Vida, G., Varga-László, E., Bencze, S., Veisz, O. 2015. Effect of Simulating Drought in Various Phenophases on The Water Use Efficiency of Winter Wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 201 (1). 1-9.

- Věstník Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského Ročník XVI, řada Národní odrůdový úřad, číslo 3, 2017 Seznam odrůd zapsaných ve Státní odrůdové knize ke dni 15. června 2017 [online]. Brno. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 30. června 2017 [cit. 2017-12-05]. Dostupné z <<http://eagri.cz/public/web/file/408615/32017.pdf>>.
- Weiner, J. 2017. Applying Plant Ecological Knowledge to Increase Agricultural Sustainability. *Journal of Ecology*. 105 (4). 865-870.
- Willis, Ch. G., Baskin, C., Baskin, J. M., Auld, J. R., Venable, D. L., Cavender-Bares, J., Donohue, K., de Casas, R. R. 2014. The Evolution of Seed Dormancy: Environmental Cues, Evolutionary Hubs, and Diversification of The Seed Plants. *New Phytologist*. 203 (1). 300-309.
- Yin, Ch., Pang, X., Chen, K. 2009. The Effects of Water, Nutrient Availability and Their Interaction on The Growth, Morphology and Physiology of Two Poplar Species. *Environmental and Experimental Botany*. 67 (1). 196-203.

9 Seznam příloh

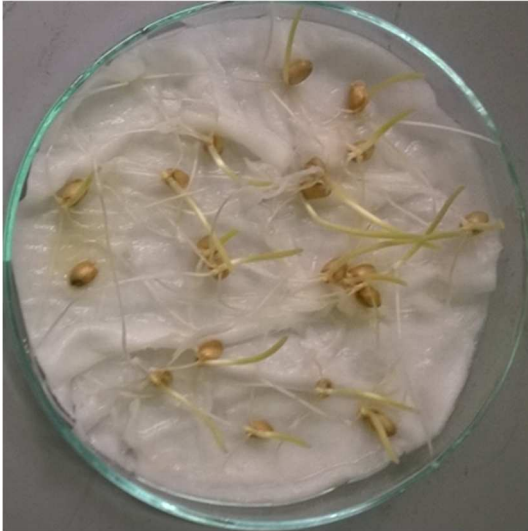
- **9.1 Fotografická dokumentace rozdílů v klíčení mezi jednotlivými pokusnými variantami použitých odrůd 4. den od založení pokusu**
 - **9.1.1 Odrůda Annie**
 - Obr. 1. Konvenční osivo odrůdy Annie při dostatečné zálivce
 - Obr. 2. Konvenční osivo odrůdy Annie při snížené zálivce
 - Obr. 3. Ekologické osivo odrůdy Annie při dostatečné zálivce
 - Obr. 4. Ekologické osivo odrůdy Annie při snížené zálivce
 - **9.1.2 Odrůda Bohemia**
 - Obr. 5. Konvenční osivo odrůdy Bohemia při dostatečné zálivce
 - Obr. 6. Konvenční osivo odrůdy Bohemia při snížené zálivce
 - Obr. 7. Ekologické osivo odrůdy Bohemia při dostatečné zálivce
 - Obr. 8. Ekologické osivo odrůdy Bohemia při snížené zálivce
 - **9.1.3 Odrůda Elly**
 - Obr. 9. Konvenční osivo odrůdy Elly při dostatečné zálivce
 - Obr. 10. Konvenční osivo odrůdy Elly při snížené zálivce
 - Obr. 11. Ekologické osivo odrůdy Elly při dostatečné zálivce
 - Obr. 12. Ekologické osivo odrůdy Elly při snížené zálivce
 - **9.1.4 Odrůda Etana**
 - Obr. 13. Konvenční osivo odrůdy Etana při dostatečné zálivce
 - Obr. 14. Konvenční osivo odrůdy Etana při snížené zálivce
 - Obr. 15. Ekologické osivo odrůdy Etana při dostatečné zálivce
 - Obr. 16. Ekologické osivo odrůdy Etana při snížené zálivce
 - **9.1.5 Odrůda Frisky**
 - Obr. 17. Konvenční osivo odrůdy Frisky při dostatečné zálivce
 - Obr. 18. Konvenční osivo odrůdy Frisky při snížené zálivce
 - Obr. 19. Ekologické osivo odrůdy Frisky při dostatečné zálivce
 - Obr. 20. Ekologické osivo odrůdy Frisky při snížené zálivce

Samostatné přílohy

9.1 Fotografická dokumentace rozdílů v klíčení mezi jednotlivými pokusnými variantami použitých odrůd 4. den od založení pokusu

(Autorka fotografií: Anna Omesová)

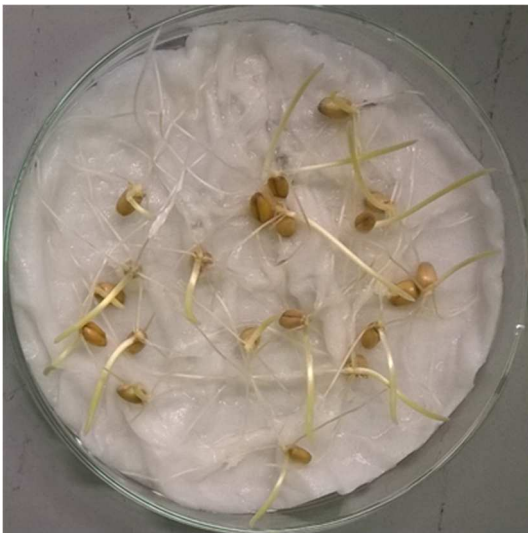
9.1.1 Odrůda Annie



Obr. 1. Konvenční osivo odrůdy Annie při dostatečné zálivce



Obr. 2. Konvenční osivo odrůdy Annie při snížené zálivce



Obr. 3. Ekologické osivo odrůdy Annie při dostatečné zálivce



Obr. 4. Ekologické osivo odrůdy Annie při snížené zálivce

9.1.2 Odrůda Bohemia



Obr. 5. Konvenční osivo odrůdy Bohemia při dostatečné zálivce



Obr. 6. Konvenční osivo odrůdy Bohemia při snížené zálivce

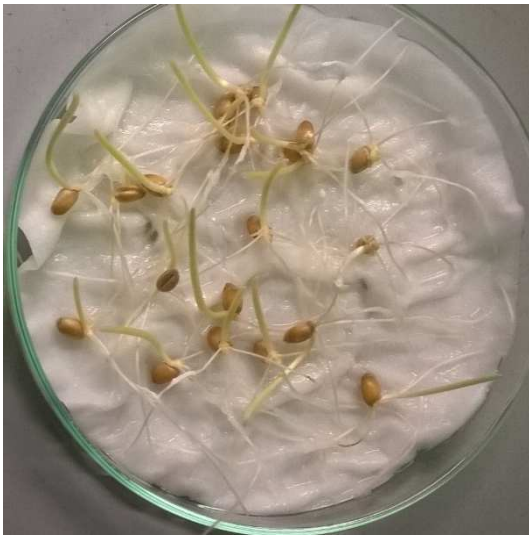


Obr. 7. Ekologické osivo odrůdy Bohemia při dostatečné zálivce



Obr. 8. Ekologické osivo odrůdy Bohemia při snížené zálivce

9.1.3 Odrůda Elly



Obr. 9. Konvenční osivo odrůdy Elly při dostatečné zálivce



Obr. 10. Konvenční osivo odrůdy Elly při snížené zálivce



Obr. 11. Ekologické osivo odrůdy Elly při dostatečné zálivce



Obr. 12. Ekologické osivo odrůdy Elly při snížené zálivce

9.1.4 Odrůda Etana



Obr. 13. Konvenční osivo odrůdy Etana při dostatečné zálivce



Obr. 14. Konvenční osivo odrůdy Etana při snížené zálivce



Obr. 15. Ekologické osivo odrůdy Etana při dostatečné zálivce



Obr. 16. Ekologické osivo odrůdy Etana při snížené zálivce

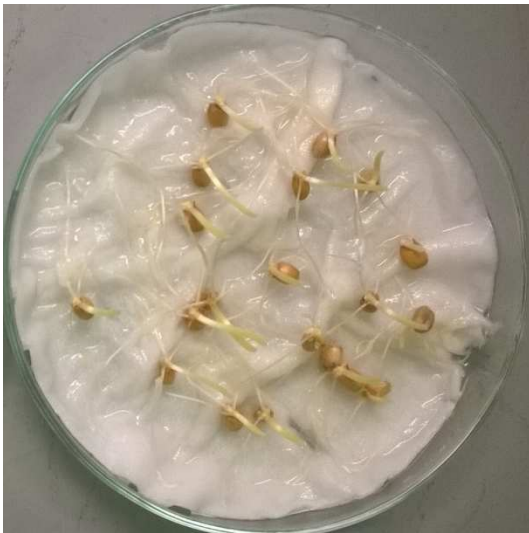
9.1.5 Odrůda Frisky



Obr. 17. Konvenční osivo odrůdy Frisky při dostatečné zálivce



Obr. 18. Konvenční osivo odrůdy Frisky při snížené zálivce



Obr. 19. Ekologické osivo odrůdy Frisky při dostatečné zálivce



Obr. 20. Ekologické osivo odrůdy Frisky při snížené zálivce