

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Variabilita semenářské kvality obilek jarního ječmene
Bakalářská práce**

Autor práce: Martin Hykyš

Program nebo obor studia: Rostlinná produkce – FYTOB

Vedoucí práce: Ing. Kateřina Pazderů, PhD.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Variabilita semenářské kvality obilí jarního ječmene" jsem vypracoval 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 autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21.4.2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval paní Ing. Kateřině Pazderů, Ph.D. za cenné rady, trpělivost a věnovaný čas při zpracovávání mé bakalářské práce.

Variabilita semenářské kvality obilek jarního ječmene

Souhrn

Tato bakalářská práce s názvem Variabilita semenářské kvality obilek jarního ječmene je tvořena rešerší již existujících vědeckých poznatků především o vlivech vnějšího prostředí, které působí na rostliny a ovlivňují vývoj a kvalitu semen, jako je především nedostatek vody a extrémní teploty.

Další částí jsou poznatky o klíčení semen a podmínkách v jeho průběhu, a také biologických vlastnostech semen, jako je například dormance.

V závěrečné části jsou definovány kvalitativní parametry osiv a možnosti zlepšení jejich kvality například šlechtěním na odolnost.

Hlavním cílem práce bylo pomocí pokusu zjistit, zda semena rostlin získaných z různých částí jednoho honu budou vykazovat rozdílné hodnoty klíčivosti v závislosti na jejich poloze. Testování probíhalo ve dvou variantách, za optimálních podmínek a ve stresových podmínkách. Stresové podmínky byly navozeny přidáním menšího objemu vody do substrátu.

Pro vlastní pokus byly odebrány klasy jarního ječmene z různých míst jednoho pozemku. Odběr probíhal v srpnu roku 2022 v okrese Plzeň-sever na pozemku Zemědělského družstva Dobříč. Následně byly provedeny klasové rozborů a získaná semena byla použita pro test klíčivosti.

Pokus byl založen v semenářské laboratoři katedry agroekologie a rostlinné produkce. Semenářské testy probíhaly ve dvou variantách, za optimálních podmínek, kdy bylo do substrátu přidáno 35 ml vody a za stresových podmínek, kde byl objem přidané vody snížen na 25 ml. Klíčení probíhalo v klimatizované boxu za konzistentní teploty 20 °C. U semen byla následně hodnocena klíčivost, energie klíčení, střední doba klíčení a množství vytvořené biomasy. Získané výsledky byly statisticky vyhodnoceny metodou Tukey.

Zásadní rozdíly byly pozorovány při hodnocení klasových rozborů, kdy vzorky získané ze stresových míst dosahovaly výrazné rozdíly v počtu klasů na 1 m², zároveň tyto klasy obsahovaly nižší počty semen.

Při hodnocení klíčivosti nebyly zjištěny zásadní rozdíly v celkovém procentu klíčivosti mezi jednotlivými stanovišti. Rozdíly však byly pozorovány ve střední době klíčení a v energii klíčení třetí den.

Z výsledků hodnocení vytvořené biomasy bylo zjištěno, že za optimálních podmínek dochází k vytvoření větších klíčících rostlin oproti stresovým podmínkám, během kterých rostliny soustředí více energie do tvorby kořenového systému.

Klíčová slova: klíčivost, vitalita, abiotické stresy, dozrávání

Variability of seed quality of spring barely kernels

Summary

This bachelor's thesis, entitled Variability of the seed quality of spring barley kernels, is formed by a search of already existing scientific knowledge, mainly about the effects of the external environment that affect plants and affect the development and quality of seeds, such as, above all, lack of water and extreme temperatures.

Another part is knowledge about seed germination and the conditions during it, as well as the biological properties of seeds, such as dormancy.

The final part defines the quality parameters of the seeds and the possibilities of improving their quality, for example by breeding for resistance.

The main goal of the work was to determine, by means of an experiment, whether the seeds of plants obtained from different parts of one field will show different values of germination depending on their location. Testing took place in two variants, under optimal conditions and under stressful conditions. Stress conditions were induced by adding a smaller volume of water to the substrate.

For the own experiment, ears of spring barley were taken from different places of one plot. The sampling took place in August 2022 in the district of Plzeň-sever on the land of the Dobříč Agricultural Cooperative. Subsequently, ear analyzes were carried out and the obtained seeds were used for the germination test.

The experiment was established in the seed laboratory of the Department of Agroecology and Plant Production. Seeding tests were carried out in two variants, under optimal conditions, when 35 ml of water was added to the substrate, and under stressful conditions, where the volume of added water was reduced to 25 ml. Germination took place in an air-conditioned box at a consistent temperature of 20 °C. The seeds were subsequently assessed for germination, germination energy, mean germination time and the amount of biomass produced. The obtained results were statistically evaluated using the Tukey method.

Fundamental differences were observed during the evaluation of ear analyses, when the samples obtained from stress sites reached significant differences in the number of ears per 1 m², at the same time these ears contained lower numbers of seeds.

During the assessment of germination, no fundamental differences in the total percentage of germination between individual sites were found. However, differences were observed in mean germination time and germination energy on the third day.

From the results of the evaluation of the created biomass, it was found that under optimal conditions, larger key plants are formed compared to stressful conditions, during which the plants concentrate more energy into the formation of the root system.

Keywords: germination, vigor, abiotic stress, maturity

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce	9
3	Literární rešerše	10
3.1	Ječmen	10
3.1.1	Sladovnický ječmen	10
3.2	Faktory ovlivňující tvorbu semen	11
3.2.1	Tvorba semen	11
3.2.2	Faktory ovlivňující tvorbu semen	12
3.2.3	Extrémní teploty	12
3.2.4	Světlo	13
3.2.5	Vodní deficit	14
3.2.6	Nadbytek iontů solí v půdě	15
3.2.7	Toxické kovy v půdě	16
3.2.8	Živinový deficit v půdě	16
3.2.9	Poloha na rostlině	17
3.3	Klíčení semen	17
3.3.1	Příjem vody semeny	18
3.3.2	Podmínky prostředí	19
3.3.2.1	Teplota	19
3.3.2.2	Kyslík	20
3.3.2.3	Světlo	21
3.3.3	Dormance semen	21
3.3.4	Stárnutí semen a ztráta životaschopnosti	23
3.4	Kvalita osiv	24
3.4.1	Klíčivost	24
3.4.2	Vitalita a její hodnocení	24
3.4.3	Možnosti zlepšování kvality osiv	25
3.4.3.1	Šlechtění na odolnost	25
3.4.3.2	Maternal effect	26
4	Metodika	28
4.1	Odběr vzorků a charakteristika pozemku	28
4.1.1	Hodnocení klíčivosti a biomasy	29
4.1.1.1	Rozbor vzorků	30
4.1.1.2	Hodnocení klíčivosti	30

4.1.1.3	Hodnocení biomasy.....	30
4.1.1.4	Statistické hodnocení.....	31
5	Výsledky	32
5.1	Výsledky klasových rozborů.....	32
5.2	Klíčivost v optimálních a stresových podmínkách	33
5.3	Hodnocení vytvořené biomasy	37
6	Diskuse	39
6.1	Zhodnocení klasových rozborů.....	39
6.1.1	Hodnocení klíčivosti	40
6.1.2	Hodnocení biomasy	40
7	Závěr	42
8	Literatura.....	43
9	Samostatné přílohy	I

1 Úvod

Dějiny pěstování ječmene sahají do počátku uvědomělého zemědělství, kde člověka provází spolu s pšenicí jako druhá nejstarší obilnina. Historické studie prokazují jeho pěstování již od 5. století před naším letopočtem, avšak z literárních zdrojů vyplývají mnohem starší zmínky, například z Egypta z 8. stol. Př. n. l. Za oblast původu ječmene je považována Asie, zejména oblast tzv. oblast úrodného půlměsíce. V našich zemích je jeho pěstování prokázáno v době asi 500 let př. n. l., kdy byl pěstován jako chlebovina.

Postupným vzrůstem výroby piva v 17. století, docházelo k vytlačení pšenice jako suroviny pro sladování a přešlo se na vaření piva z ječného sladu. Největší rozkvět sladovnického průmyslu nastal až v druhé polovině 19. století, kdy se datují počátky exportu sladu z českých zemí. Zároveň české ječmeny určovaly jakostní sladovnické standardy po celé Evropě. Současnou roli ječmene v našem hospodářství nemůžeme chápat jen z hlediska jeho sladovnického využití, i když je dosud i perspektivně považována za prioritní. Zrno ječmene je také využíváno jako velmi kvalitní jaderné krmivo pro zvířata.

V současnosti se však pěstování všech plodin, nejen ječmene potýká v mnoha vlivy, které ovlivňují celkový objem produkce, který je zásadní pro výživu lidstva a zvířat. Jedním z největších vlivů je bezpochyby změna klimatických podmínek dále pak také úbytek zemědělsky využitelné půdy a její degradace. Největším problémem způsobeným změnou klimatu je změna rozložení srážek v průběhu vegetace, zejména v období nalévání zrn. Velkým problémem je také působení vysokých teplot. V důsledku toho se rostliny dostávají do stresu, který negativně ovlivňuje tvorbu nové generace semen, jejich klíčení a následný růst. I přes zavádění nejmodernějších technologií pro pěstování plodin tak stále zůstává výsledný výnos závislý na průběhu počasí, tedy na abiotických faktorech. V důsledku teplotních změn v posledních letech dochází také k rozšiřování přirozených stanovišť jednotlivých druhů. Vlivem vyšších teplot se také zkracuje vegetační doba rostlin.

Nejzranitelnější fází vegetace je fáze nalévání zrn, při kterém pokud dochází k nedostatku vody je negativně ovlivněna především velikost semen. Může také docházet ke změně jejich složení, jako je například nárůst obsahu bílkovin, který může negativně ovlivňovat sladovnickou kvalitu ječmene. Také může docházet například ke změnám ve složení mastných kyselin u olejnin.

2 Cíl práce

Cílem práce bylo zhodnotit semenářskou variabilitu obilek jarního ječmene z jednoho porostu.

Sledovanou hypotézou je, zda abiotické stresy ovlivňují tvorbu, dozrávání, klíčivost a vitalitu; zda je možné v rámci jednoho porostu nalézt významné rozdíly mezi semeny.

Součástí práce je rešerše výše uvedené problematiky vlivu abiotických faktorů na tvorbu a kvalitu obilek ječmene.

3 Literární rešerše

3.1 Ječmen

Ječmen se vyvinul tak, že zahrnuje několik morfologicky odlišných forem. Například z hlediska charakteru na ozimou a jarní formu, dále podle klasu na dvouřadý a víceřadý. V závislosti na využití produkce lze ječmen rozdělit na sladovnický, krmný, potravinářský a průmyslový (Briggs 2012).

Největší pěstitelský význam má pěstování ječmene pro sladovnické a krmné účely. V poslední době se však zvyšuje poptávka po potravinářském ječmeni, především pro jeho hypocholesterolemický účinek, kde hraje významnou roli obsah β -glukanů, obsah vlákniny a antioxidantů. Průmyslové využití ječmene spočívá ve výrobě lihu, škrobu, kosmetických a farmaceutických přípravků (Zimolka et al. 2006).

Ječmen je také pravděpodobně nejpřízpůsobivějším druhem z obilnin s dobrou tolerancí vůči suchu, chladu a zasolení půdy. Díky tomu lze ječmen pěstovat nejen ve vyšších zeměpisných šířkách, nadmořských výškách, ale také na pouštích na rozdíl od jiných obilných plodin. Například v severských zemích jako je Norsko, Švédsko a Finsko se jarní šestiřadý ječmen pěstuje severněji než jarní pšenice nebo oves. Ječmen pěstují také v horských oblastech Peru a Bolívie v nadmořských výškách okolo 4 500 metrů nad mořem. Naopak v severoafrických zemích jako je například Alžírsko se ječmen pěstuje na nejjižnějších místech směrem k Sahaře, kde již nelze pěstovat pšenici tvrdou (*Triticum durum*), která nejlépe snáší sucho (Briggs 2012).

Přestože ječmen lze pěstovat ve velmi rozdílných podmínkách, situace se mění u jednotlivých užitkových směrů jeho pěstování. Z tohoto pohledu je nejnáročnější ječmen pro sladovnické účely a také množitelské porosty (Zimolka et al. 2006).

3.1.1 Sladovnický ječmen

V České republice se pro sladovnické účely pěstuje převážně jarní forma dvouřadého ječmene. V zemích západní Evropy je pěstována častěji ozimá forma dvouřadých ječmenů.

Při pěstování ječmene určeného pro sladovnické účely je důležité dávat pozor zejména na obsah dusíkatých látek v zrna. Značný význam má zařazení v osevním postupu, kde se doporučuje jarní ječmen zařazovat po okopaninách, kukuřici případně lze i po obilnině. Problém může nastávat při pozdní mineralizaci posklizňových zbytků, jako je řepný chrást a sláma. Mineralizací dochází k uvolňování dusíku a pokud k ní dochází pozdě, dusík je přijímán až v pozdních fázích růstu, což negativně ovlivňuje sladovnickou kvalitu (Zimolka et al. 2006).

S tím souvisí i hnojení porostů jarních ječmenů, které se doporučuje provádět ve dvou dávkách, před setím (70-80 % celkové dávky) a ve fázi mezi druhým listem a počátkem odnožování (dávka by neměla přesáhnout 25 kg N na hektar, případně lze přihnojit menší dávkou (do 10 kg N na hektar, nejlépe kapalným hnojivem) při počátku sloupkování. Hnojením se podporuje odnožování, pozdějším hnojením už by docházelo k negativnímu vlivu na obsah N-látek v zrnech (Černý et al. 2007).

Mezi hlavní kritéria jakosti se řadí obsah bílkovin (N-látek), podíl předního zrna, obsah β -glukanů a klíčivost. Sladovnické parametry jsou ovlivněny ze dvou třetin vnějšími podmínkami (půda, průběh počasí a agrotechnika), zbytek tvoří vliv odrůdy (Zimolka et al. 2006).

Agegnehu et al. (2013) prováděli pokusy, při kterých se snažili zjistit vliv osevního postupu a dávky hnojení dusíkem na celkový výnos a kvalitu získaného zrna. Testovali čtyři různé předplodiny (fazol, hrách, řepka a ječmen) a čtyři různé dávky dusíku (0, 18, 36 a 54 kg N/ha). Pokus probíhal v Etiopské vysočině. Výsledkem testování bylo, že všechny předplodiny kromě ječmene a jakákoliv dávka hnojení zlepšuje výnos i sladovnickou kvalitu ječmene. Nejvyššího výnosu zrna, ale i nejvyššího obsahu bílkovin bylo dosaženo při pěstování po fazolu, následovaného řepkou a hrachem. U všech testovaných variant byl obsah dusíkatých látek pro sladovnickou kvalitu v přijatelném rozmezí. Zařazení luskovin do osevního postupu také zlepšilo úrodnost půdy fixací uhlíku a dusíku do půdy. Dospěli k závěru, že pro maximalizaci výnosu a kvality sladovnického ječmene je zásadní vliv předplodiny a obsah přijatelného dusíku v půdě. Použitím vhodných předplodin můžeme nahradit nebo snížit množství minerálního dusíku potřebného pro produkci sladovnického ječmene alespoň pro jednu sezónu, aniž by to negativně ovlivnilo jeho kvalitu.

3.2 Faktory ovlivňující tvorbu semen

3.2.1 Tvorba semen

Tvorba semen je klíčový proces v životním cyklu krytosemenných rostlin, protože semena představují reprodukční orgán rostlin. Vývoj je zahájen procesem dvojího oplození, které vede k následnému vývoji embrya a endospermu (Chaudhury et al. 2001).

Proces tvorby semen od oplození vajíčka až do fyziologické zralosti lze rozdělit do čtyř fází. První a druhá fáze zahrnují buněčné dělení, začíná se tvořit základní struktura semene a budoucí části embrya. Ve třetí fázi dochází k rozvoji embrya a k akumulaci zásobních látek, čímž dochází ke zvyšování objemu semen, ale vlhkost zůstává stále vysoká a konstantní. Ve čtvrté fázi dochází ke ztrátě vody, probíhá zde také zvýšená syntéza enzymů pro zajištění úspěšného klíčení a ke změnám struktury buněčné membrány (Bareke 2018).

Tvorba semen je ovlivněna schopností mateřské rostliny zajistit dostatek zdrojů v proměnlivých podmínkách okolního prostředí, tzn. schopností reagovat na vnější stresové podmínky. Podle druhově specifické strategie rostliny dochází k zakládání výrazně většího počtu generativních orgánů, než je jejich konečný počet ve fázi zralosti. Tento počet je zásadně ovlivněn poměrem source : sink. Počet vytvořených semen na rostlině a jejich kvalita odráží poměr zdroje asimilátů (source) a vlastní kapacitu skladování těchto asimilátů v semenech (sink). Nevyrovnaný poměr mezi zdrojem asimilátů a skladovací kapacitou založených generativních orgánů vede k fyziologickému opadu květů. Negativně se v období tvorby semen projevují také podmínky prostředí, hlavně nedostatek vody a vysoké teploty (Pazderů 2013).

3.2.2 Faktory ovlivňující tvorbu semen

Rostliny jsou v průběhu svého života často vystavovány proměnlivým podmínkám vnějšího prostředí. Tyto nepříznivé změny podmínek mohou zpomalovat životní funkce rostlin, poškozovat pletiva i orgány, a v krajních případech vedou až k úhynu rostlin. Tyto nepříznivé vlivy vnějšího prostředí působící na rostliny označujeme jako stresové faktory (stresory) (Procházka et al. 1998).

Abiotické stresy jsou jedním z hlavních omezení produkce plodin. Z mnoha stresorů mají nejvyšší vliv na růst a celkovou produktivitu rostlin dva nejdůležitější, a to teplo a sucho (Fahad et al. 2017). Ačkoliv stresory brání produktivitě rostlin ve všech fázích růstu, k největšímu poškození dochází v reprodukční fázi, zejména pak ve fázi nalévání zrn, kdy dochází ke značným ztrátám výnosů. Sucho a extrémní teploty zásadně ovlivňují výnos tím, že dochází ke snížení velikosti, hmotnosti a také kvality semen. Nalévání zrn je ovlivněno různými metabolickými procesy, především produkcí a translokací asimilátů, importem minerálů a dalších funkčních složek. Tyto procesy jsou řízeny řadou různých enzymů, které při působení stresorů snižují svoji aktivitu, a tím dochází k negativnímu ovlivnění výsledné produkce (Sehgal et al. 2018).

Abiotické faktory můžeme dle Procházky et al. (1998) rozdělit vzhledem k jejich působení na:

Fyzikální:

- Mechanické účinky větru
- Nadměrné záření (UV a viditelné záření)
- Extrémní teploty (horko, chlad, mráz)

Chemické:

- Nedostatek vody (sucho)
- Nedostatek kyslíku a toxické plyny ve vzduchu
- Nedostatek živin v půdě
- Nadbytek iontů solí a vodíku v půdě
- Toxické kovy a organické látky v půdě

3.2.3 Extrémní teploty

Růst a vývoj rostlin je značně ovlivňován mnoha morfologickými, biochemickými a fyziologickými změnami, které jsou způsobovány působením stresu z vysokých teplot (Wahid et al. 2007). V současnosti, kdy dochází k častým tepelným šokům v důsledku stoupající průměrné teploty, se teploty stávají jedním z hlavních limitujících faktorů produktivity plodin po celém světě. Stále rostoucí teploty mohou mít za následek změnu vegetačních období a pravděpodobně se bude měnit soubor pěstovaných plodin v daných podmínkách (Porter 2005).

Účinky vysokých teplot na celkový výnos v kombinaci se suchem jsou velmi komplexní a ovlivňují mnoho procesů jako je asimilace živin, jejich následné toky, akumulace zásobních

látek, gametogeneze, oplození a také vývoj semen. Přítomnost těchto stresorů v kterékoli fázi růstu může ovlivnit výsledný výnos plodiny. Nejrizikovější je však období nalévání zrn, kdy zásadně ovlivňují hmotnost, složení, a tedy i konečnou kvalitu semen (Prasad et al. 2017).

Vyšší rostliny vystavené nadměrným teplotám alespoň o 5 °C nad optimálními růstovými podmínkami vykazují charakteristický soubor buněčných a metabolických reakcí, které rostlinám pomáhají přežít za podmínek vysokých teplot (Guy 1999). Mezi tyto účinky patří snížení syntézy běžných proteinů a zrychlení transkripce a translace proteinů tepelného šoku (HSP) (Bray et al. 2000), produkci fytohormonů (ABA) a antioxidantů (Maestri et al. 2002) a změny v organizaci buněčných struktur, včetně organel, cytoskeletu a membránových funkcí (Weis & Berry 1988).

Projevy nežádoucích účinků na rostlinách se liší v závislosti na fázi růstu, délce trvání stresu a jeho síle (Fahad et al. 2016). Na rozdíl od vegetační fáze růstu, během které je rostlina schopna růst v širokém rozmezí teplot (Mesihovic et al. 2016), je v reprodukční fázi velmi citlivá na proměnlivost prostředí, především na stres způsobený vysokými teplotami (De Storme & Geelen 2014).

Fahad et al. (2015) uvádí, že prašníky a pyl jsou náchylnější k vysokým teplotám než vajíčka. Při teplotách nad 30 °C sterilita kvítků koreluje se snížením dehiscence prašníků, což má za následek horší uvolňování pylu a zároveň způsobuje špatné klíčení pylu. Vystavení rostlin vysokým teplotám snižuje syntézu chlorofylu (Dutta et al. 2009). Teploty převyšující hodnoty 35 °C prokazatelně snižují aktivitu enzymu ribulosa-1,5-bisfosfát-karboxylasa/oxygenasa (Rubisco), což limituje fotosyntézu (Craft-Brandner & Law 2000). Výsledky mnoha studií pokrývajících širokou škálu oblastí již prokázaly negativní dopady změny klimatu na výnosy plodin (Lobell et al. 2011). Například Fahad et al. (2016) při testování zjistili, že vysoké teploty u rýže způsobují snížení počtu klásků v klasu. Tím dochází k poklesu celkového výnosu. Také prokázali negativní ovlivnění výnosu u čiroku. Dále například laboratorní pokus Young et al. (2004), při kterém bylo testováno působení vysokých teplot na květenství a zakládání semen řepky olejné. I přes to, že testovaná květenství byla vystavena vysokým teplotám po dobu dvou týdnů, na konci vykazovala stejné parametry jako kontrolní rostliny. Rozdíl se však projevil při tvorbě semen a také v jejich hmotnosti. Pod vlivem vysokých teplot z některých květenství vznikly bezsemenné nebo partenokarpické plody, či květenství úplně zavadlo. Při přerušení působení vysokých teplot rostliny řepky využily své kompenzační schopnosti a nedostatek plodů navýšily tvorbou postranních květenství.

3.2.4 Světlo

Sluneční záření poskytuje potřebnou energii pro růst rostlin prostřednictvím fotosyntézy, ale vystavení vysokému záření, a především ultrafialovému spektru záření může způsobovat stres, který potenciálně může vést k poškození DNA, proteinů a dalších buněčných složek rostlin (Muller-Sing et al. 2014). Všechny rostliny potřebují během své vegetace určité množství světelného záření. Rostliny přijímají záření o různých vlnových délkách, nejdůležitějším spektrem je fotosynteticky aktivní záření (FAR) v rozsahu vlnových délek 380-760 nanometrů. Toto záření je důležité pro správný průběh fotosyntézy, optimální vývoj, růst

a kvetení rostlin (Matouš & Hutla 2002). Bylo prokázáno, že světelné podmínky přímo ovlivňují růst rostlin a rozmístění asimilátů. V podmínkách se slabým osvětlením dochází ke snížení celkové velikosti rostlin a špatnému rozmístění asimilátů (McConnaughey & Coleman 1999). Tento fakt může výrazně ovlivnit reprodukci, protože rostliny v prostředí se slabším osvětlením přesouvají živiny z reprodukčních orgánů do částí, které mohou zvýšit schopnost zachycování světla, jako jsou listy nebo stonky. Slabé osvětlení tedy může přímo snižovat reprodukční potenciál rostlin, protože nedochází ke správnému vývinu semen (Kilkenny & Galloway 2008). Světlo také ovlivňuje chování opylovačů, což může zásadně ovlivnit reprodukci (Liow et al. 2001). V místech s větším osvětlením rostliny tvoří větší květenství a bylo prokázáno, že tyto rostliny více přitahují opylovače (Grindeland et al. 2005). U hmyzem opylovaných rostlin je počet návštěv opylovačem důležitý, protože příjem pylu limituje počet vytvořených semen (Ashman et al. 2004). Testováním vlivu světla na semena se zabývali například Orozco-Segovia et al. (2000). Ti prováděli pokusy na semenech rostliny *Sicyos deppei* G. Don. Rostliny vystavovali slunečnímu záření a také záření far-red (FR) během fáze tvorby semen. Semena z rostlin, která byla vystavena pouze FR záření, byla světlejší, výrazně menší, lehčí a obsahovala méně vody než semena z rostlin, která byla vystavena slunečnímu záření. Semena rostlin vystavených FR záření klíčila ve tmě a v podmínkách FR záření, naopak red (R) záření klíčení inhibovalo. U semen rostlin vystavených slunečnímu záření docházelo k inhibici klíčení jak u R, tak i u FR, a největší energie klíčení semena dosahovala ve tmě.

3.2.5 Vodní deficit

Rostliny jsou během svého životního cyklu často vystaveny období, během kterého trpí nedostatkem vody v půdě nebo v ovzduší (Chaves et al. 2002). Do stresových podmínek se rostliny dostávají v případě, že je omezen příjem vody přes kořeny při jejím nedostatku v půdě, anebo během transpirace, při které dochází ke ztrátě vody z rostliny (Anjum et al. 2017). Výše škod způsobených nedostatkem vody je těžko předvídatelná a je ovlivňována mnoha různými faktory, jako je například rozložení srážek v období vegetace, schopnost půdy zadržovat vodu a ztráty vody v podobě evapotranspirace. Nedostatek vody v rostlině narušuje její růst, fotosyntézu, rozmístění asimilátů, čímž způsobuje výrazné snížení výnosů (Praba et al. 2009).

Pokud sucho působí před kvetením, dochází ke zkrácení celkové doby kvetení a zároveň dochází k redukci počtu vytvořených primordií, což vede k poklesu celkového počtu zrn. V případě, že sucho působí až po odkvetení ve fázi nalévání zrn, dochází ke zkrácení této fáze, tím klesá hmotnost a kvalita semen (Estrada-Campuzano et al. 2008).

Proces nalévání zrn je řízen čtyřmi hlavními enzymy, syntázou sacharózy, syntázou škrobu, amylázou a adenosindifosfát-glukóza pyrofosforylázou (Tiaz & Zeiger 2006). Při působení stresových podmínek z nedostatku vody byla pozorována snížená aktivita těchto enzymů a tím způsobený negativní dopad na celkový výnos (Ahmadi & Baker 2001).

Nedostatek vody narušuje rozmístění asimilátů v rostlině, vlivem stresu je většina soustředěna do kořenů, aby se zlepšil příjem vody (Leport et al. 2006).

Sucho také výrazně ovlivňuje příjem některých živin. Mnoho živin jako je například dusík, hořčík, vápník nebo křemík jsou přijímány kořeny společně s vodou na základě difuze.

Při nedostatku vody v půdě klesá pohyblivost těchto živin, a tím dochází k jejich sníženému příjmu a následně omezení růstu rostlin (Barber 1995). Při vodním deficitu v půdě dochází ke zvýšené produkci kyseliny abscisové (ABA), která se vytváří v kořenech. Pomáhá udržovat růst kořenů a zlepšuje příjem vody kořeny. Zároveň je transportována do rostliny, kde způsobuje uzavření průduchů a redukuje transpiraci, čímž snižuje riziko dehydratace rostliny (Yang et al. 2001).

Zásadním účinkem sucha na rostliny je špatná klíčivost vytvořených semen a narušení klíčnicích rostlin. Různé studie ukazují negativní dopady stresu ze sucha na klíčivost rostlin (Farooq et al. 2009). Snížení energie klíčení, sušiny kořenů a výhonů, délky hypokotylu a celkové zpomalení růstu bylo pozorováno u mnoha rostlin včetně hrachu (*Pisum sativum*), vojtěšky (*Medicago sativa*) a rýže (*Oryza Sativa*) díky působení stresu ze sucha (Zeid & Shedeed 2006). V další studii Kamara et al. (2003) uvádí, že působení vodního deficitu v jakékoliv fázi růstu výrazně snižuje tvorbu biomasy u silážní kukuřice. Dochází ke snížení celkové výšky rostliny, velikosti listů a tloušťky stonku. Výrazný pokles výnosu byl také v suchých podmínkách pozorován u rostlin ječmene (*Hordeum vulgare*), kde byl hlavním důvodem nižší počet plodných odnoží a nižší hmotnost zrn (Samarah 2005).

Holubec (2016) uvádí, že rostliny jsou schopné vodními deficitem vzdorovat velmi dlouho, zejména plevelné jednoleté rostliny dokážou zmenšit svůj rozměr, vykvést a dokončit reprodukční fázi růstu dozráním semen. Naopak víceleté vytrvalé rostliny svoji energii častěji přesouvají do zásobních orgánů, a ne vždy dokončí generativní fázi růstu.

3.2.6 Nadbytek iontů solí v půdě

Zasolení půd je jedním z největších abiotických stresorů, které zásadně limituje produkci v aridních a semiaridních oblastech, kde je přirozeně zvýšený obsah solí v půdě, a s nedostatkem srážek potřebných k vyplavení iontů solí (Saboora et al. 2006). Munns a Tester (2008) uvádí, že v současnosti je více než 900 milionů hektarů (přibližně 20 %) půdy po celém světě zasaženo nadbytkem solí. Zasolení půdy způsobuje řadu morfologických, fyziologických a biochemických procesů, ovlivňuje klíčivost semen, růst rostlin a příjem vody a živin (Willenborg et al. 2004).

Pokud je rostlina vystavena zasolenému prostředí, dochází ke stimulaci produkce různých sekundárních metabolitů jako jsou fenoly, terpeny a alkaloidy (Haghighi et al. 2012). To vede k buněčné dehydrataci a osmotickému stresu, což způsobuje snížení cystolitického a vakuolárního tlaku. Tím v rostlinách dochází k iontovému a osmotickému stresu, což má za následek akumulaci nebo snížení specifických sekundárních metabolitů v rostlinách (Mahajan & Tuteja 2005). Působením stresu se obsah antokyanů v některých rostlinách zvyšuje, ale u druhů citlivých k zasolení naopak klesá (Daneshmand et al. 2010).

Vlivem zasolení se zabývali Akbarimoghaddam et al. (2011), kteří testovali klíčení pšenice ve stresových podmínkách vytvořených zasolením. Sledovanými znaky byl příjem vody, procento klíčivosti, sušina kořenů a stonků, délka kořenů a stonků a příjem K⁺ a Na⁺ iontů. Pokus probíhal v různém stupni zasolení. Příjem vody vykazoval přímý vztah se stupněm zasolení, s rostoucím stupněm zasolení klesal příjem vody semeny. Dále s vyšším stupněm

zasolení docházelo ke zpomalení a zároveň snížení klíčivosti semen. Holubec (2016) uvádí, že úspěšné vyklíčení rostlin se omezuje na období, kdy je v půdě nižší koncentrace solí. Uvádí jako příklad klíčení vojtěšky, u které je potřeba vydatnou závlahou snížit koncentraci solí a umožnit tak rostlinám vyklíčit, po zesílení klíčících rostlin jsou již tolerantnější k zasolení. Dále uvádí, že některé rostliny z přímořských oblastí, které snášejí vyšší míru zasolení, označované jako halofyty, si vyvinuly adaptaci, kdy semena klíčí ještě na mateřské rostlině a až po vyklíčení se uvolňují a zakořeňují do půdy.

3.2.7 Toxické kovy v půdě

Těžké kovy se v půdě vyskytují přirozeně ve stopových koncentracích, v určitých oblastech však dosahují zvýšených koncentrací v důsledku antropogenních činností, jako je průmysl a zemědělství. Zvýšené koncentrace těchto prvků pak působí toxicky pro mnoho organismů (Nagyjyoti et al. 2010). Těžké kovy mohou být přijímány a akumulovány rostlinami, čímž mohou ovlivňovat i jejich reprodukci. Některé rostliny lze označit jako hyperakumulační, ty využívají schopnost akumulovat těžké kovy do vegetativních orgánů jako způsob ochrany před herbivory (Noret et al. 2007).

Akumulace těžkých kovů v reprodukčních orgánech nehyperakumulačních rostlin může mít přímý i nepřímý vliv na rozmnožování rostlin. Těžké kovy se mohou akumulovat v pestících i prašnicích a zároveň v nektaru a pylu. Přímým účinkem těžkých kovů je snížení klíčivosti pylu a růstu pylových láček (Mohsenzadeh et al. 2011). Yousefi et al. (2011) pozorovali podobný trend i u samičích pohlavních orgánů rostlin netolerantních k vysokým obsahům těžkých kovů v půdě, kde těžké kovy nahromaděné v pestících snižují životaschopnost vajíček a semen. Nepřímým účinkem těžkých kovů může být vliv na opylovače, proti kterým může působit škodlivě. Na druhou stranu může vysoký obsah těžkých kovů v květech působit jako ochrana proti herbivorům, a tím zajistit potenciální reprodukční výhodu pro rostliny (Hladun et al. 2013).

3.2.8 Živinový deficit v půdě

Význam minerální výživy pro vývoj rostlin spočívá v asimilaci iontů a jejich následné přeměně v rostlinné struktury a účasti v metabolických procesech rostlin. Živiny jsou nezbytným předpokladem všech vývojových procesů (Procházka et al. 1998).

Živinový deficit nastává ve chvíli, kdy obsah přístupných živin v půdě nedosahuje dostatečného množství pro pokrytí požadavků rostliny. Nejčastěji dochází k nedostatku makroživin jako je dusík, fosfor a draslík. U mikroživin je nedostatek poměrně neobvyklý, ale nastává například u bóru (McCauley et al. 2009). Při nedostatku dusíku dochází k předčasnému ukončení vegetace, snížení kvality a výnosu produkce (Jones 1997). Fosfor je klíčovým prvkem při tvorbě vysokoenergetických sloučenin jako je AMP, ADP a ATP, které hrají zásadní roli ve fotosyntéze a dýchání rostlin. Je také důležitou složkou fosfolipidů a nukleových kyselin. Díky funkci při fotosyntéze zásadně ovlivňuje výsledný výnos plodin (Arif et al. 2005).

3.2.9 Poloha na rostlině

Vlivem působení rozdílných podmínek působících na rostliny v rámci jednoho honu dochází k vytvoření nehomogenní směsi získaných semen. Heterogenní jsou i semena získaná z jedné rostliny (Pazderů 2013).

Například distální (okrajová) semena v pšeničném klasu mají pomalejší rychlost růstu a jejich plnění probíhá kratší dobu než u proximálních semen. Také u semen kukuřice lze pozorovat rozdíly. Semena umístěná na vrcholu palice jsou obvykle menší než semena umístěná u báze. To je způsobeno díky nedostatečnému zásobení vrcholových zrn asimiláty. Dále například lusky sóji luštinaté umístěné na spodních větvích dozrávají dříve než lusky umístěné na vrcholech rostlin a jsou ovlivněny různými podmínkami prostředí v průběhu vývoje. Obecně platí, že menší semena se tvoří při pozdějším dozrávání ve vegetačním období, anebo pokud jsou vystaveny nepříznivým podmínkám okolního prostředí. Obvyklým důsledkem je snížení klíčivosti a vitality semen (Bareke 2018). Dále například Torices a Mendes (2010) zjistili, že v důsledku kompetice o asimiláty dochází v úborech rostlin *Tragopogon porrifolius* ke zmenšování velikosti semen od okrajů do středu květenství. Alkio et al. (2002) pomocí značeného uhlíku zjistili, že u slunečnice jsou konkrétní části úboru vyživovány pomocí konkrétních listů. Baydar a Erbas (2005) dále potvrzují, že semena z jednoho úboru mají rozdílný obsah oleje, rozdílné složení mastných kyselin a také rozdílný obsah tokoferolů (vitamin E).

3.3 Klíčení semen

Většina kvetoucích rostlin se rozmnožuje pomocí pohlavních orgánů a následnou produkcí semen. Úspěšnost klíčení a následné založení kvalitní sazenice jsou zásadními znaky určujícími schopnost rozmnožování rostlinných druhů. Tyto znaky mají velký ekologický a také ekonomický význam. Kvůli vysoké náchylnosti vůči faktorům okolního prostředí je klíčení považováno za nejkritičtější fázi životního cyklu rostliny. Podle definice proces klíčení rostlin začíná příjmem vody vyzrálým suchým semenem a končí prodlužováním embryonální osy, nejčastěji radikuly nebo hypokotylu. Poté již přechází v růst sazenic (Nonogaki et al. 2010).

Semena vznikají dvojitým oplozením vajíčka pylovým zrnem. Semena obsahují zygotické embryo, které tvoří novou rostlinu, ale také obsahuje zásobní látky označované jako endosperm, které slouží jako zásoba energie pro růst klíčících rostlin (Rajjou et al. 2012). Klíčení semen je složitý komplex biologických, biochemických a fyziologických procesů zahrnující například hydrataci proteinů, strukturální buněčné změny, dýchání, makromolekulární syntézy a prodlužování buněk, jejichž vlivem dochází k přechodu embrya z dehydratovaného stavu do stadia s aktivním metabolismem. Dochází ke zvyšování enzymatické a hormonální aktivity, která je nezbytná pro uvolnění látek uložených v zásobních částech semen (Procházka et al. 1998).

Aby zralá a suchá semena většiny druhů pěstovaných plodin mohla vyklíčit, vyžadují určitou dobu skladování, při které probíhá proces stratifikace, čímž se semena uvolní

z dormance (Iglesias-Fernandez et al. 2011). Dormance je fyziologický stav, ve kterém semena nevyklíčí ani za optimálních podmínek příznivých pro jejich klíčení (Baskin & Baskin 2004).

Pro zlepšení produkce je hlavním zemědělským cílem získat semena s rychlým a jednotným klíčením po zasetí, a také jednotné vzcházení rostlin. Rozdíly v těchto fázích se běžně neřeší, což má značný dopad na výsledný výnos (McDonald 2000).

3.3.1 Příjem vody semeny

Voda je nejvýznamnějším ekologickým faktorem pro existenci a rozšíření rostlin. Je nezbytná pro správné fungování buněk, v kterých tvoří hlavní složku. V suchozemských rostlinách voda tvoří 80 až 95 % hmotnosti. Zralá semena obsahují okolo 5 až 15 % vody (Hejnák et al. 2010).

Semena rostlin můžeme rozdělit do dvou skupin v závislosti na obsahu vody. Takzvaná ortodoxní semena, která na konci svého zrání na mateřské rostlině intenzivně vysychají a uchovávají si klíčivost po dlouhou dobu při správném skladování i mnoho let. Opakem jsou semena rekalcitrantní, která při vyschnutí ztrácejí schopnost klíčit. Z evolučního hlediska je běžná tolerance k vysychání u rostlin pěstovaných v sušších oblastech, zatímco citlivost na vysychání je vyvinuta u rostlin z vlhkého tropického prostředí, jako je například káva, citrusy a další tropické ovoce. Pro zemědělskou praxi jsou díky možnosti skladování ve vysušeném stavu mnohem vhodnější právě ortodoxní semena. (Roberts 1973).

Příjem vody je první fází přípravy na klíčení semen. Při optimálních podmínkách, jako je dostatečné zásobení kyslíkem a optimální teplota, je nejdůležitějším faktorem pro klíčení semen stav vody. Životaschopná semena jsou schopná přerušit dormanci a začít klíčit poté, co absorbují dostatek vody. Zásadní vliv má také kvalita vody. Například voda s vysokým obsahem solí může klíčení inhibovat a negativně ovlivňovat i následný růst kořenů (Saberali & Moradi 2017).

Klíčení semen začíná ve chvíli, kdy suché semeno přijde do kontaktu s vodou v optimálních podmínkách. Příjem vody semeny zahrnuje tři fáze. Suchá semena mají velmi nízký vodní potenciál, což způsobuje rychlý příjem vody během první fáze, kterou nazýváme imbibice (bobtnání). Tento proces je řízen potenciálem matrice a může probíhat i u mrtvých semen (Krishnan et al. 2004). Během bobtnání semena rychle mění velikost i tvar. Bobtnání semen je často doprovázeno vyplavováním rozpustných látek, což může ovlivňovat rychlost klíčení, pokud dochází k vyplavení inhibitorů klíčení a snížení jejich koncentrace. Je to však také známka poškození membrány, ke kterému dochází příliš rychlou nebo nehomogenní rehydratací (Matilla et al. 2005). Propustnost testa (osemení), které je součástí semen a přichází do styku s okolním prostředím, hraje zásadní roli v rychlosti příjmu vody (Koizumi et al. 2008).

V průběhu příjmu vody dochází k vyrovnávání vodního potenciálu a příjem vody se postupně zpomaluje. Jakmile rychlost příjmu vody a změny ve velikosti semen začnou stagnovat, semena přechází do druhé fáze příjmu, kde obsah vody zůstává stabilní na hladině 60 %. Trvání této fáze se může u různých druhů značně lišit. Během této fáze dochází k aktivaci metabolismu a trvá až do chvíle, než dojde k prasknutí osemení a proražení kořínku. Poté

následuje třetí fáze příjmu vody, během které dochází k ruptuře osemení, proražení radikuly a růstu klíčku. Tato fáze trvá do doby, než rostlina přejde do fáze klíčení rostliny. Během této fáze je zároveň nejvyšší metabolická aktivita (Müller et al. 2006).

Houba a Hosnedl (2002) uvádí, že trvání těchto fází závisí na daných vlastnostech semen, jako je například obsah hydratovatelných látek, propustnost obalů, velikost semen a na podmínkách prostředí. Dále také uvádějí, že poznatky o rychlosti příjmu vody semeny lze využít pro praxi například při speciální úpravě osiv předklíčováním, kde je cílem urychlit klíčení a zajistit tím vyrovnanost klíčení a následného porostu.

3.3.2 Podmínky prostředí

Klíčení semen a vzcházení jsou nejzásadnější a také nejzranitelnější fáze během cyklu rostlin. Špatná kvalita osiva a špatné podmínky při setí mají zásadní vliv na založení porostu, zdravotní stav rostlin a také na konečný výnos. V polních podmínkách je klíčení ovlivněno mnoha abiotickými a biotickými faktory, z nichž hlavními jsou teplota, voda, kyslík a půda, pro některé rostliny také světlo. Díky těmto faktorům je skutečné procento klíčení v polních podmínkách běžně mnohem nižší než potenciální, které je definováno při testování v optimálních podmínkách (Lamichhane et al. 2018).

3.3.2.1 Teplota

Obecně platí, že teplota je jedním ze základních půdně mikroklimatických faktorů ovlivňujících rychlost a procento klíčení. Pokud není omezujícím faktorem vlhkost půdy, je teplota nejvlivnějším faktorem. Společně s vlhkostí půdy má tedy teplota největší vliv na průběh klíčení a vzcházení rostlin (Dürr et al. 2015).

Teplota zásadně ovlivňuje rychlost příjmu vody, enzymatickou aktivitu a syntézu hormonů v semeni. Každý rostlinný druh však potřebuje pro klíčení specifický rozsah teplot. Tento rozsah lze rozdělit do tří kardinálních bodů. Prvním je minimum, při kterém jsou semena schopna vyklíčit, druhým je optimum, při kterém klíčení probíhá nejrychleji a třetím bodem je maximum. Nároky se také mohou lišit v závislosti na odrůdě, dalších podmínkách prostředí a na kvalitě osiva (Belmehti et al. 2018). Houba a Hosnedl (2002) uvádí, že optimální teploty pro klíčení většiny druhů rostlin se pohybují v rozmezí 15 až 30 °C. Maxima se pohybují v rozpětí 30–40 °C. Minima se u některých rostlinných druhů blíží k bodu mrazu.

Procento klíčivosti se obvykle zvyšuje lineárně s rostoucí teplotou, dokud nedosáhne optimální hodnoty, po jejím překročení však značně klesá. Vysoké teploty ovlivňují nejen klíčení, ale i následný růst klíčících rostlin. Aby se zabránilo poškození klíčících rostlin, mohou se projevat různé fyziologické reakce, které rostlinám pomáhají vyrovnat se se stresem, v kterém jsou umístěny. Fyziologické změny lze považovat za určitou formu adaptace, která má zajistit přežití rostlin (Gresta et al. 2010).

Někdy mohou vysoké i nízké teploty způsobit sekundární dormanci semen, tzv. termo dormanci. Za takových okolností semena neklíčí při žádné teplotě, ani při optimální. Tento jev

převládá zejména u jednoletých rostlin z pouštních a středomořských oblastí (Cristaudo et al. 2019).

Inhibice klíčení způsobená vysokými teplotami je obvykle spojena s vysokými hladinami kyseliny abscisové (ABA). Vysoké teploty zvyšují biosyntézu ABA, a naopak regulují její katabolismus. Zatímco při vysokých teplotách ABA inhibuje klíčení tím, že brání prodlužování kořenů a inhibuje syntézu a aktivitu enzymů degradující buněčnou stěnu, v optimálních teplotních podmínkách tento fytohormon klíčení podporuje. Lze také využít aplikace inhibitorů biosyntézy ABA (Sawada et al. 2008).

Výskyt extrémních teplot má negativní vliv na kvalitu osiva. Zpravidla se jedná o frekvenci výskytu tropických dnů, kdy maximální teploty překračují 30 °C, anebo naopak dnů s nízkou teplotou. Působení nízkých nebo extrémně vysokých teplot v období zrání může ovlivnit syntézu látek inhibiční povahy, ale také látek stimulujících klíčení. Semena s vyšší kvalitou jsou schopna klíčit ve větším teplotním rozsahu než semena s nízkou kvalitou (Houba & Hosnedl 2002).

3.3.2.2 Kyslík

Vyšší rostliny jsou aerobní organismy, které k životu potřebují kyslík. Některé druhy si však vyvinuly strategie, díky kterým jsou schopny přežít i během nedostatku kyslíku nebo po určitou dobu i při jeho úplné absenci. Například rýže díky svým adaptačním mechanismům jako je rychlejší růst subemergentních kořenů nebo tvorba aerenchymu, dokáže přežít i déletrvajícím zatopením půdy, což souvisí s nízkým obsahem kyslíku v půdě (Magneschi & Perata 2009).

Guterman et al. (1992) uvádí, že většina semen je schopna klíčit při koncentraci kyslíku okolo 15 % a že se zvyšující se koncentrací se lineárně zvyšuje i rychlost klíčení.

Vysoká půdní vlhkost, utužení půdy, vysoká aktivita mikroorganismů nebo špatná struktura půdy mohou snižovat koncentraci kyslíku v půdě a také snižují pohyblivost plynů v půdě. Semena, která se dostanou do špatných podmínek s nízkou koncentrací kyslíku, přechází z aerobního na anaerobní metabolismus. To má za následek produkci anaerobických metabolitů, které inhibují klíčení. Za těchto podmínek může dojít k vytvoření sekundární dormance a je potřeba semena opět vystavit světlu, aby mohla znovu klíčit (Boyd & Van Acker 2004).

Oproti atmosféře je v půdním prostředí obsah plynů velmi odlišný. Koncentrace kyslíku v půdě se pohybuje okolo 19 %, ale může klesat až pod hodnotu 1 %, a to například v důsledku vytvoření půdního škrálopu. K inhibici klíčení běžně dochází při snížení obsahu kyslíku na úroveň 1 – 3 %, minimum se však liší v závislosti na rostlinném druhu. Některé rostliny, které jsou citlivé na nedostatek kyslíku, mohou přestat klíčit již při koncentraci 10 %. Mezi citlivé polní plodiny patří například ječmen jarní nebo mrkev (Houba & Hosnedl 2002).

3.3.2.3 Světlo

Světlo většinou není podmínkou klíčení, některá semena však klíčí rychleji na světle než ve tmě. Podle toho je rozdělujeme na druhy kladně a záporně fotoblastické. Fotoblastické chování semen má adaptační význam. Kladná fotoblasticitu se vyskytuje u semen, která nemají dostatek zásobních látek a klíčící rostliny musí rychle dosáhnout podmínek pro autotrofní výživu (Procházka et al. 1998).

Kvalita světla může zásadně ovlivňovat průběh klíčení, díky vyvolání změn v hladinách fytohormonů giberelinu a kyseliny abscisové. Světlo ovlivňuje fytochrom B (phyB) a PIL5, transkripční faktor basic helix-loop-helix (bHLH), tím jsou regulovány hladiny giberelinu a ABA a přímo stimulována transkripce genů RGA a GAI. Fytochrom B je proteinový fotoreceptor s připojeným světlocitlivým chromoforem, jehož aktivita je dána poměrem intenzity červeného a far-red záření. Při optimálním poměru dochází k aktivaci fytochromu B, který zajišťuje štěpení PIL5 a výsledkem je syntéza giberelinu (Oh et al. 2007). Naopak při nízkém poměru červeného záření k FR dochází k inhibici phyB, což zabraňuje následnému štěpení PIL5. V důsledku toho dochází k jeho hromadění a dochází k inhibici klíčení (Seo et al., 2009).

Almeida et al. (2017) prováděli výzkum vlivu hmotnosti semen, světla a teploty na jejich klíčení u *Amburana cearensis*. Testovali klíčení na světle i ve tmě. Klíčení semen bylo pozorováno v obou případech, což charakterizuje semena jako neutrálně fotoblastická nebo necitlivá na světlo. Domnívají se, že necitlivost na světlo může být způsobena dostatečným množstvím fytochromu přítomného v semenech v aktivní formě.

3.3.3 Dormance semen

Rostliny jsou vázány na místo, kde rostou, a proto vyžadují vývojové adaptace, které jim umožní přežít nepříznivé podmínky. Většina rostlin prochází různými vývojovými stádii, počínaje semenem, následně klíčící rostlinou, vegetativní fází, a nakonec reprodukční fází. Doba trvání těchto fází se v závislosti na rostlinném druhu značně liší a načasování přechodů mezi nimi je velmi regulováno. Díky těmto regulacím je zajištěno, že pro rostlinu nejzranitelnější fáze životního cyklu probíhají za příznivých podmínek okolního prostředí. Dva z mechanismů řídicích přechody mezi vývojovými fázemi závisí na dormanci. Prvním je dormance pupenů, která brání vyrůstání pupenů. Vyskytuje se u víceletých rostlin nebo u vegetativně množených druhů – například v hlízách brambor. Druhým druhem dormance je dormance semen, která brání neporušeným, životaschopným semenům vyklíčit během dočasných příznivých podmínek v jinak nepříznivém období. Oba typy dormance se vyznačují velmi nízkou metabolickou aktivitou a také necitlivostí na signály podporující růst (Graeber et al. 2012).

Dormance semen je vrozená vlastnost semen, která definuje podmínky prostředí, ve kterých je semeno schopno vyklíčit. (Finch-Savage & Leubner-Metzger 2006). Dormance je určována genetickými faktory se značným vlivem vnějšího prostředí, zajišťuje adaptaci na rozdílné podmínky vnějšího prostředí v určitém stanovišti (Huanget et al. 2010). Příliš nízká úroveň dormance semen může vést ke klíčení ještě před začátkem příznivých podmínek pro růst, což zásadně ohrožuje růst klíčících rostlin a může mít za následek v krajním případě i smrt

rostliny. V druhém extrému, kdy je dormance semen příliš vysoká, dochází ke zpomalování rychlosti klíčení a také ke zkrácení délky vegetačního období (Donohue et al. 2010). Vystavení semen příznivým podmínkám pro klíčení je určeno okamžikem setí. Semena kulturních plodin by měla vyklíčit okamžitě, dormance je u nich tedy nežádoucí vlastností. Díky procesu domestikace rostlin došlo v důsledku procesu selekce ke snížení úrovně dormance a většina plodin tedy klíčí rychle a rovnoměrně, narozdíl od jejich divokých předků (Kilian et al., 2009). Nevýhodou příliš nízké úrovně dormance semen je, že může docházet ke snížení kvality semen pro setí a může způsobit předčasné klíčení ještě v klasu (tzv. porůstání), což způsobuje značné ztráty na výnosech obilovin. Z těchto důvodů je důležité, aby úroveň dormance semen byla vyvážená. (Graeber et al. 2012).

Napříč rostlinnými druhy existuje mnoho typů dormance, které lze rozdělit na fyziologickou, morfologickou, morfofyziologickou, fyzickou a kombinovanou dormanci, z nichž nejběžnější je dormance fyziologická. (Finch-Savage & Leubner-Metzger 2006).

Dormance je kvantitativní vlastnost, jejíž úroveň se v průběhu času mění. Primární dormance je indukována během fáze zrání semen a nejvyšší úroveň dosahuje v čerstvě sklizených semenech. Následným skladováním se úroveň dormance postupně snižuje, čímž dochází k rozšiřování hodnot optimálních podmínek pro úspěšné vyklíčení. Ke ztrátě dormance může za určitých podmínek také dojít při bobtnání semen. Dormance však může být v semenech znovu vyvolána, například při vystavení světlu. Tento jev se nazývá sekundární dormance (Footitt et al. 2011).

K vyvolání sekundární dormance dochází ve specifických podmínkách prostředí. Největší vliv má především vlhkost a teplota, které se v průběhu sezóny mění, nejčastěji k vyvolání sekundární dormance dochází v období léta, kdy se může objevit nedostatek vody. (Tozer & Ooi, 2014). Vystavení nízké vlhkosti v důsledku nedostatku vody v půdě může mít za následek urychlení klíčení, jakmile dojde k navýšení vlhkosti. Například semena *Polygonum aviculare* byla uvedena do stavu sekundární dormance vystavením nízké vlhkosti, ale při následné hydrataci u těchto semen došlo k rychlejšímu přerušování dormance než u semen, která byla umístěna ve stále stejných vlhkostních podmínkách (Batlla et al. 2007) Auge et al. (2012) prováděli pokus u *Arabidopsis thaliana*, při kterém zjistili, že sekundární dormance může být vyvolána širokým rozsahem teplot od 8 °C do 35 °C v závislosti na délce trvání teplot, přičemž nižší teploty vyžadují delší dobu trvání pro vyvolání dormance. Dalším poznatkem je, že působením vysokých teplot dochází nejen k vyvolání dormance, ale také ke značnému snížení klíčivosti.

Pazderů (2010) považuje dormanci semen za přirozený způsob, který umožňuje přežití rostlinného druhu. Při využívání rostlin pro zemědělskou produkci však působí dormance negativně, jelikož u kulturních plodin je vyžadována vysoká kvalita osiva, a to především vysoká klíčivost, díky které bude dosaženo co největšího výnosu za ekonomicky přijatelných podmínek pěstování.

3.3.4 Stárnutí semen a ztráta životaschopnosti

Potřeba zvyšování kvality osiva se stala prioritou, která je nezbytná, aby bylo možné čelit současné poptávce po vysokých standardech na zemědělském trhu. Ke ztrátě kvality, životaschopnosti a vitality osiva přispívají různé faktory, které mohou být buď fyzikální, nebo fyziologické. Zhoršování kvality osiva a stárnutí jsou považovány za procesy, během kterých dochází k úbytku zásobních látek, zvýšení kyselosti tuku, změně aktivity enzymů a propustnosti membrán. Kvalita a životaschopnost osiva během skladovacích procesů závisí především na výchozím zdravotním stavu osiva a způsobu jeho skladování (Chhabra et al. 2019).

V důsledku stárnutí semen může docházet k poškození organizace buněk, což negativně ovlivňuje kvalitu semen. Dochází ke snížení aktivity enzymů zejména katalázy, superoxid dismutázy, glutathion reductázy a peroxidázy. Během skladování také dochází k inaktivaci proteinů, které vede ke snížení metabolické aktivity a dalšímu snížení kvality semen. K inaktivaci bílkovin může dojít ztrátou nebo získáním funkčních skupin nebo vzájemnou přeměnou aminokyselin uvnitř struktury bílkovin. Hlavní příčinou ztráty životaschopnosti je poškození buněčných membrán. Oslabení membrán zvyšuje únik elektrolytů, což má za následek snížení polní vzháživosti a klíčivosti semen. Rychlost poklesu kvality semen také závisí na podmínkách skladování, abiotických faktorech, především teploty a vlhkosti a také biologických faktorech, jako jsou například houby nebo skladištní škůdci. K poškození může docházet i během manipulace (Dahuja & Yadav 2015).

Snižování kvality osiva je kombinovaný proces buněčných, metabolických a chemických změn, které zahrnují peroxidaci lipidů pomocí volných radikálů, dále snížení obsahu proteinů, inaktivaci enzymů, rozpad buněčné stěny a poškození RNA (Mahjabin et al. 2015). Pokles kvality je způsoben především působením ROS (reaktivní formy kyslíku), které ovlivňují mnoho metabolických procesů jako je dýchání, fixace CO₂ a výměna plynů. Některé však mohou poškození semen bránit, například peroxid vodíku (H₂O₂), oxidový radikál (O₂) a hydroxylový radikál (OH) (Moller et al. 2007).

Buňky mají mnoho komplexních obranných mechanismů, které brání znehodnocování semen během skladování. Obranný mechanismus se skládá z mnoha enzymatických i neenzymatických mechanismů, včetně katalázy, peroxidázy, superoxid dismutázy a dalších antioxidačních enzymů, které katalyzují reakce k odstraňování reaktivních forem kyslíku (Chhabra et al. 2019). Demirkaya et al. (2010) pozorovali u semen cibule korelaci mezi snížením aktivity katalázy a ztrátou životaschopnosti semen. Ke snižování kvality dochází během skladování průběžně. Stupeň poškození se mění v závislosti na síle stresu způsobeného působením ROS. Díky analýze stupně poškození můžeme následně odhadovat kvalitu osiva.

Mechanické poškození semen je jednou z nejčastějších příčin znehodnocení osiva. Velmi suchá semena jsou k poškození náchylnější. Poškozené obaly semen obvykle umožňují včasné pronikání a snadný přístup k různým patogenům. Znehodnocení osiva je nevratné a ve většině případů i nezastavitelné. Poškození osiva se projevuje sníženou klíčivostí, rychlostí klíčení, zpomaleným růstem klíčících rostlin a snížením vitality. Působením oxidačních procesů může docházet ke změnám zbarvení obalů semen jako další projev snížení kvality. Změny mohou být silnější při působení vysokých teplot a dalších stresorů. (Chhabra et al. 2019).

Olejnata semena s vysokým obsahem tuků mají díky svému specifickému složení omezenou trvanlivost. Mastné kyseliny jsou zásadním faktorem určujícím náchylnost oleje k fotooxidaci (žluknutí). Během skladování olejnatých semen byl pozorován pokles obsahu oleje a také pokles klíčivosti. Například semena slunečnice vyžadují zvláštní podmínky pro skladování osiva kvůli vysokým obsahům olejů. (Shaban 2013).

3.4 Kvalita osiv

Kvalita osiva popisuje zejména potenciální produktivnost partií osiva. Hlavní parametry pro hodnocení kvality jsou pravost odrůdy, klíčivost, vitalita, podíl příměsí, vlhkost a zdravotní stav semen. Každý parametr má určené minimální hodnoty pro splnění kvality. Na výslednou kvalitu mají významný vliv podmínky okolního prostředí, ve kterém docházelo k vytváření semen a také k následnému skladování. Mezi podmínky, které mají největší vliv na jakost osiva, patří teplota a vlhkost (Hosnedl 2009).

3.4.1 Klíčivost

Klíčivost vyjadřuje schopnost semen vytvořit novou rostlinu v případě, že jsou vystavena optimálním podmínkám okolního prostředí. Pokud jsou semena vystavena nepříznivým podmínkám pro klíčení, což je častější jev, je rozhodujícím parametrem vitalita semen (Pazderů 2013). Klíčivost vyjadřujeme v procentech jako podíl semen, která jsou životaschopná. Procento klíčivosti označuje počet vyklíčených semen za optimálních podmínek a určitou dobu. Procento klíčivosti je základním kritériem kvality osiva. Zjištění kvality osiva při certifikaci vychází ze stanovených limitních hodnot, které jsou pro jednotlivé druhy specifické. Konkrétní požadavky na klíčivost mají určitou souvislost s běžně dosahovanou hodnotou procenta klíčivosti u plodin, ale v podstatě představují určité mezní hodnoty, které souvisejí s poklesem vitality semen (Hosnedl 2003).

Důležitými semenářskými kritérii je také rychlost a vyrovnanost klíčení. Procento klíčivosti je vyjádřením celkového počtu vyklíčených semen v testovaném vzorku, které se hodnotí až na konci testovacího období. V rámci testovaného vzorku však jednotlivá semena neklíčí se stejnou intenzitou. Rychlost a vyrovnanost klíčení lze hodnotit pomocí energie klíčení. Pro detailnější vyjádření vyrovnanosti klíčení se využívá hodnota střední doby klíčení (MGT) (Hosnedl 2003).

3.4.2 Vitalita a její hodnocení

Vitalita semen je komplexní vlastnost semen, která určuje jejich potenciál pro rychlé a jednotné vzcházení a také následný vývoj v širokém rozpětí podmínek okolního prostředí. Důležitou složkou vitality semen je životaschopnost semen, která závisí na fyziologickém a genetickém konzervačním potenciálu a také na podmínkách, při kterých jsou semena skladována (Rajjou & Debeaujon 2008). Za životaschopná semena se dle Hamptona (1995) považují semena, která jsou živá a schopná produkovat enzymy, které katalyzují metabolické

reakce potřebné pro klíčení a následný růst klíčnicích rostlin. Za životaschopná semena mohou být označena i semena, která nejsou schopná vlivem fyzikální blokace nebo dormance vyklíčit.

Vitalita má na výsledný porost zásadní vliv zejména u plodin s malou autoregulační a kompenzační schopností, jako je například kukuřice, dále u plodin vysévaných na přesnou vzdálenost, u kterých při špatném vzcházení dochází k mezerovitosti porostu anebo u plodin nerovnoměrně dozrávajících, u kterých nám časově sjednocené vzcházení zajistí rovnoměrně dozrávající porost (Houba & Hosnedl 2002).

Hodnocení klíčivosti a určení vysoké výkonnosti partií osiva je důležité k úspěšnému pěstování plodin. Toto testování však probíhá v laboratorních podmínkách za optimálních podmínek. Výsledky těchto laboratorních testů jsou však pro polní podmínky, v kterých jsou běžné odchylky od optimálních podmínek nedostatečné. Proto je potřeba využití jiných postupů pro odhad výkonnosti osiva za méně příznivých podmínek (Filho 2015).

Pro testování vitality semen lze využít mnoho metod. Například Cold test, při kterém je testováno klíčení při nízké teplotě v kombinaci s vysokou vlhkostí substrátu a případně v přítomnosti patogenů. Další metodou je zrychlené stárnutí semen, kdy pomocí zvýšených teplot simulujeme zhoršení kvality semen během skladování způsobené koagulací bílkovin a tato semena poté testujeme. Vitalitu lze také testovat pomocí biochemických testů jako je test elektrické konduktivity. Princip EC testu spočívá v tom, že méně vitální či poškozená semena během příjmu vody uvolňují větší množství rozpuštěných látek do vnějšího prostředí (Filho 2015).

3.4.3 Možnosti zlepšování kvality osiv

Kvalita osiva je základem každé rostlinné produkce, a proto je pro dosažení co nejvyšších výnosů nejdůležitější udržení kvality. Veřejné a soukromé semenářské společnosti se snaží zemědělcům poskytovat vysoce kvalitní osivo. Na výslednou kvalitu osiva mají velký vliv především podmínky při produkci, výkonnost kultivarů, podmínky skladování a posklizňová úprava. Zlepšení kvality osiva lze dosáhnout pomocí různých metod, jako je například šlechtění, správné podmínky skladování nebo ošetření osiv (Thirusendura & Saraswathy 2018).

3.4.3.1 Šlechtění na odolnost

Abiotické stresy, jako je sucho, zasolení půd, záplavy, vysoké teploty a chlad významně omezují růst rostlin a jejich metabolismus, což v konečném důsledku narušuje výsledný výnos plodin (Ahmad & Prasad 2012).

Tolerance vůči abiotickým stresům je důležitým agronomickým znakem plodin. Je řízena mnoha geny/kvantitativními znakovými lokusy (QTL). Vzhledem k tomu, že abiotické stresy významně ovlivňují výnosy plodin, je nutné proti těmto stresům bojovat, abychom minimalizovali ztráty na výnosu. Je možné nalézt QTL geny, které ovlivňují více než jeden stresový faktor. Identifikace těchto faktorů přispěje nejen k pochopení biologie semen, ale také k dosažení stabilní produkce pomocí šlechtitelských přístupů (Rao et al. 2016).

Jelikož je tolerance vůči suchu řízena mnoha geny, transkripčními faktory, RNA, hormony a dalšími prvky, je vývoj nových odrůd odolných suchu velmi komplikovaný. Dalším faktorem, který zásadně omezuje šlechtění je kombinace více abiotických stresorů působících na rostliny (Mohammadi 2017).

Cattivelli et al. (2008) uvádí, že pokud se stres neopakuje pravidelně ve stejné fázi růstu se stejnou intenzitou, nemá selekce znaků podmiňující vyšší výkonnost za stresových podmínek význam. V případě že dojde k absenci stresu nebo jeho nástup nastane v jiné fázi mohou odrůdy naopak produkovat menší výnos. Hlavním šlechtitelským cílem je tedy vytvořit genotyp schopný vypořádat se s působením stresu v průběhu hlavní vegetační doby bez snížení výnosového potenciálu za optimálních podmínek.

Bláha (2011) dodává, že ačkoliv se můžeme pomocí šlechtění snažit dosáhnout požadovaných vlastností, rostliny si samy vytvářejí mechanismy, pomocí kterých se se stresy vypořádávají. Jedná se například o zvýšení efektivity využití vody, osmotické přizpůsobení, nebo změny v proteinech.

3.4.3.2 Maternal effect

Fenotyp rostlin není výsledkem pouze genotypu, nebo podmínek, ve kterých rostliny rostou. Je důležité si uvědomit, že významný vliv na fenotyp potomstva má také prostředí mateřské rostliny – tento vliv označujeme jako mateřský efekt. Mateřský efekt představuje transgenerační formu fenotypové plasticity, která je přenášena na potomstvo, aniž by docházelo k modifikacím v sekvenci DNA. Díky těmto efektům může dojít k ovlivnění vývoje nebo odolnosti vůči chorobám a škůdcům (Vivas et al. 2020).

Účinky prostředí rodičovské rostliny mohou být vyvolány ze strany obou rodičů. Fenotyp rostlin není pouze výsledkem vlastního genotypu a podmínek okolního prostředí.

U většiny druhů je však potomstvo ovlivněno prostředím mateřské rostliny (Crean & Bonduriansky 2014). Jedním z důvodů silnějšího působení mateřské rostliny je fakt, že mateřská rostlina je zdrojem živin, hormonů a proteinů, jejichž množství a kvalita je zásadně ovlivněna podmínkami prostředí působících ve fázi vývoje semen. Kromě toho je také endosperm ze dvou třetin mateřského původu. Z toho vyplývá že prostředí mateřské rostliny má podstatně větší vliv než prostředí rostliny otcovské (Yakovlev et al. 2012).

Přenos mateřského efektu na potomstvo je zajištěn dvěma mechanismy, změnami v semenech, nebo díky epigenetickým mechanismům (Herman & Sultan 2011). Mateřský efekt způsobený kvalitou vytvořených semen je efemérním mechanismem, který se projevuje pouze v jediné generaci (Elwell et al. 2011). Druhý mechanismus se týká epigenetických změn, které mohou být způsobeny methylocí DNA, modifikací histonů anebo molekulami RNA. Tyto molekulární procesy mohou modifikovat aktivitu určitých genů v rodičovské rostlině a mohou být přeneseny na potomstvo. Na rozdíl od přenosu pomocí semen lze pomocí epigenetických mechanismů dědit mateřský efekt po více generací (Hauser et al. 2011).

Mateřský efekt přetrvávající po více generací může poskytovat výhody potomkům v případě, že jsou vystaveny podobným podmínkám jako mateřské rostliny. Pokud jsou

dceřiné rostliny vystaveny velmi odlišným podmínkám, než jakým byla vystavena mateřská rostlina, může mateřský efekt působit naopak negativně (Robertson & Wolf 2012).

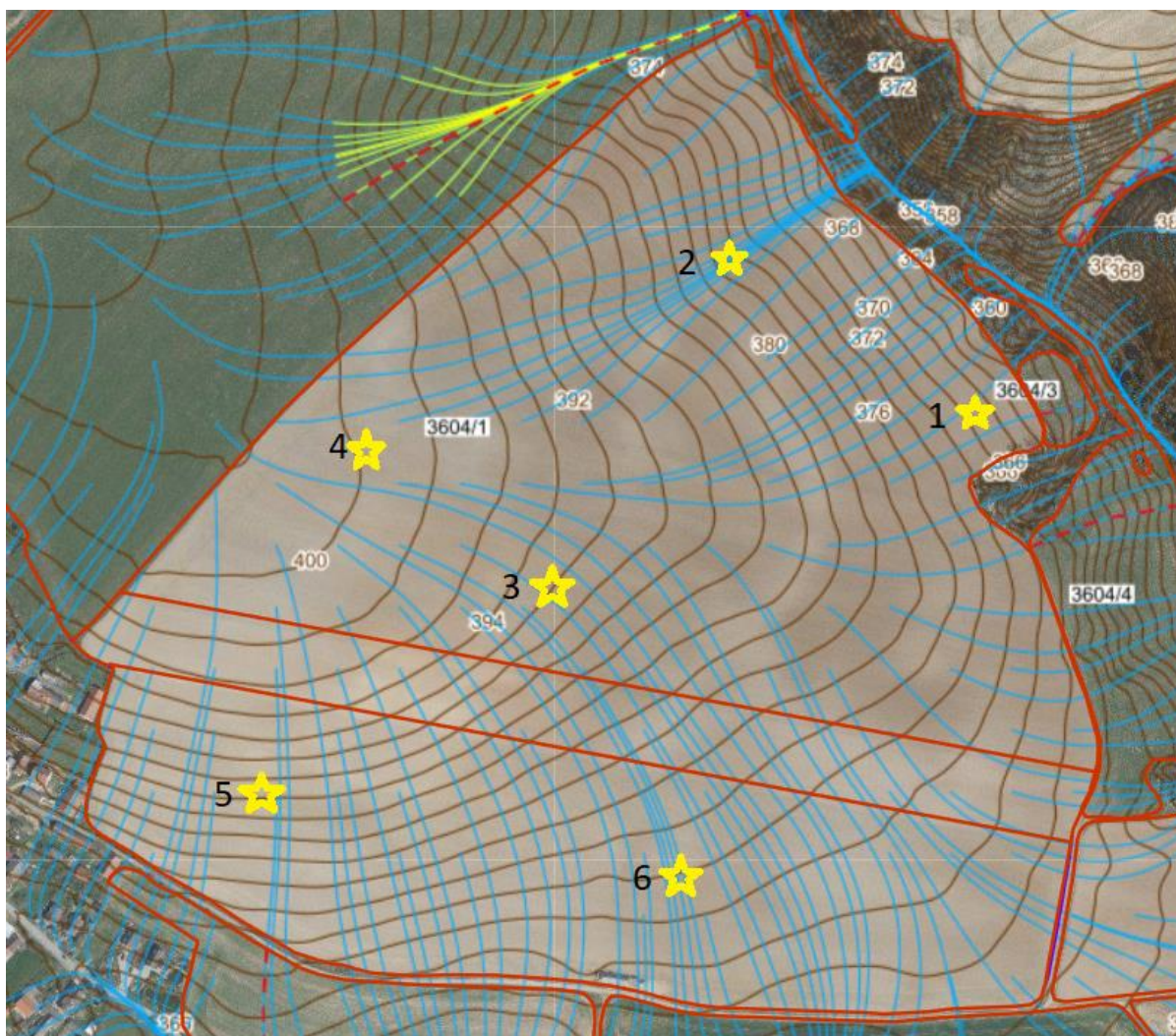
Hatzig et al. (2018) zkoumali transgenerační vliv sucha u osmi různých genotypů ozimé řepky. V řízených podmínkách vypěstovali kontrolní rostliny v zavlažovaných podmínkách a ve stresových podmínkách. Při následném testování získaných semen zjistili, že u semen z rostlin pěstovaných ve stresových podmínkách došlo k poklesu kvality, zároveň však tato semena vykazovala vyšší vitalitu. Účinek na kvalitu a vitalitu semen nebyl závislý na výnosu mateřské rostliny. Tento projev zvýšené vitality vysvětlují třemi různými způsoby. Možným vysvětlením je heterozní efekt, změna ve složení zásobních látek a kvalitě semen, anebo mezigenerační stresová paměť zahrnující změny metabolických procesů.

4 Metodika

4.1 Odběr vzorků a charakteristika pozemku

Sběr vzorků jarního ječmene pro vlastní pokus probíhal v roce 2022 z pole zemědělského družstva Dobříč v okrese Plzeň – sever. Bylo odebráno celkem 6 vzorků z jednoho porostu,

Obrázek 1 Mapa pozemku s vyznačenými body, kde byl proveden odběr vzorku



v různých místech s rozdílnými abiotickými vlastnostmi.

Zdroj: <https://eagri.cz/ssl/app/lpisext/lpis/ng/mapa/>

Modré čáry v mapě znázorňují odtokové linie, hnědé čáry značí vrstevnice s rozdílem dvou výškových metrů a červené čáry, které tvoří hranici pozemku.

Z jednoho pozemku o výměře necelých 45 hektarů, který je rozdělený ochranným pásem vojtěšky o výměře 5 ha, bylo odebráno na výměře 0,25 m² celkem šest vzorků. Rozdíl mezi místy odběru vzorků spočíval především v hustotě porostu v závislosti na jejich umístění.

První bod se nachází v zastíněné části pozemku se severní až severovýchodní expozicí.

Druhý bod je v úrovni odtokových linií v mírném dolíku, na severní straně. Třetí a čtvrtý bod jsou téměř na samotném vrcholu kopce. Pátý a šestý bod se nachází na svahu s jižní expozicí. Šestý bod se zároveň stejně jako bod druhý nachází v oblasti odtokových linií.

Pozemek se dle katalogu BPEJ nachází v mírně teplém, suchém klimatickém regionu. Obecně celá výměra družstva spadá do obilnářské výrobní oblasti s nadmořskou výškou v rozsahu od 320 do 500 m. n. m. Teplotní a srážkové charakteristiky pro Plzeňský kraj jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tabulka 1 : Průměrné měsíční srážky a teploty v Plzeňském kraji za hospodářský rok 2021/2022 ve srovnání s dlouhodobým normálem (1991-2020)

Srážky												
Měsíc	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
Srážky (mm)	15	17	45	44	44	39	19	55	47	103	37	85
Průměr (mm)	53	50	45	50	46	37	46	40	68	85	86	80
Úhrn oproti průměru v %	28	34	100	88	96	105	41	138	69	121	43	106
Teplota												
Měsíc	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
Teplota (°C)	13,9	7,1	2,9	0,8	0,7	2,6	3,0	6,2	14,2	18,6	18,7	18,7
Průměrná Teplota (°C)	12,5	7,7	3,0	-0,3	-1,2	-0,4	3,1	8,0	12,6	16,1	17,8	17,3
Odchylka (°C)	1,4	-0,6	-0,1	11	1,9	3,0	-0,1	-1,8	1,6	2,5	0,9	1,4

Zdroj: chmi.cz

Založení a ošetření porostu

Předplodinou pro jarní ječmen byla ozimá pšenice, pro zpracování půdy byla využita orba a následně předseťová příprava na jaře, kdy bylo také aplikováno hnojivo NPK 15-15-15 (200 kg) a Eurofertil 45 (100 kg). Setí probíhalo 25. března a výsevek činil 180 kg/ha (4 MKS), odrůda Bojos. 2. května proběhlo herbicidní ošetření porostu. Následovalo ošetření proti houbovým chorobám a kohoutkům provedené 31. května. 15. června proběhlo ještě jedno ošetření fungicidem.

4.1.1 Hodnocení klíčivosti a biomasy

Experimentální část práce probíhala v laboratoři Katedry agroekologie a rostlinné produkce, Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Praze.

4.1.1.1 Rozbor vzorků

Pokus se skládal z šesti samostatných vzorků získaných z 0,25 m². Získaný počet klasů byl přepočten na počet klasů v 1 m². Ze získaných klasů byla následně vybrána část 40 průměrných klasů, které se dále rozdělily do 4 variant po 10 klasech náhodným výběrem.

Následně byly klasy vymláceny pomocí laboratorní mlátičky a u jednotlivých variant byl stanoven počet zrn, jejich hmotnost a následný přepočten na hmotnost tisíce semen (HTS).

4.1.1.2 Hodnocení klíčivosti

Pokus hodnocení klíčivosti byl rozdělen na dvě varianty. První varianta pokusu probíhala za optimálních vlhkostních podmínek, kdy bylo do substrátu přidáno 35 ml vody. V druhé variantě byl snížený obsah vody na 25 ml v substrátu pro navození stresových podmínek. Testy klíčivosti byly prováděny v plastových miskách na čtyřech kusech filtračního papíru, tři podložní a jeden skládaný. Optimální podmínky byly vytvořeny přidáním 35 ml vody, to odpovídá 60% nasycení substrátu. Pro navození stresových podmínek bylo přidáno 25 ml vody, což odpovídá 40% nasycení substrátu. Následně byla na skládaný papír rovnoměrně rozmístěna získaná semena. Semena se vyskládala vždy do 10 řad po 5 semenech tak, aby se jednotlivá semena nedotýkala a nedocházelo k případnému přenosu infekce. Jedno opakování tedy znamenalo 50 semen a v každé misce byla dvě opakování. Pro každou z šesti variant bylo založeno celkem 8 misek, vždy 4 pro optimální a 4 pro stresové podmínky. U některých misek z důvodu malého počtu zrn ve vybraných klasech nedosahoval počet testovaných zrn plného počtu. Celkem bylo pro testování použito 4306 zrn. Po založení pokusu byly misky uzavřeny průhlednými perforovanými víčky a všechny misky byly umístěny do boxu s konstantní teplotou 20 °C.

Počítání vyklíčených semen probíhalo od třetího dne po založení pokusu a následně v intervalech 24 hodin následující 3 dny. Poslední den byl stanoven počet rostlin přesahující výšku misky a také počet nevyklíčených semen.

Ze získaných údajů byly spočteny jednotlivé parametry osiva

Klíčivost (KL): Vyjadřuje počet vyklíčených semen z celkového počtu semen použitých pro testování. Uvádí se v procentech

Energie klíčení třetího a čtvrtého dne (EK3, EK4): Vyjadřuje celkovou sumu vyklíčených semen ze sta do určitého dne od založení.

Střední doba klíčení (MTG): Vyjadřuje rychlost klíčení semen a počítá se podle vztahu $MGT = \frac{\sum T_i \times N_i}{\sum N_i}$ kde N_i vyjadřuje počet vyklíčených semen v čase T_i .

4.1.1.3 Hodnocení biomasy

Po ukončení testů klíčivosti byly klíčící rostliny rozděleny na nadzemní část biomasy tvořenou koleoptilí a podzemní část biomasy tvořenou kořenovou soustavou se zbytky zrn. Následně byla u obou částí stanovena hmotnost čerstvé biomasy. Poté byla biomasa vysušena při 60 °C po dobu 4 hodin a stanovena hmotnost sušiny. Získané hmotnosti sušiny byly následně přepočteny na hmotnost jedné rostliny.

4.1.1.4 Statistické hodnocení

Získané výsledky byly zpracovány statistickým programem SAS verze 9.4. K hodnocení byla využita ANOVA s podrobnějším vyhodnocením rozdílů mezi průměry metodou Tukey (HSD).

5 Výsledky

U šesti různých vzorků ječmene jarního byl sledován vliv rozdílného množství vody na semenářské parametry. Hodnocené parametry jsou v tabulkách a grafech uváděny v následujících zkratkách:

- Celková klíčivost (KL)
- Energie klíčení třetího a čtvrtého dne (EK3, EK4)
- Střední doba klíčení (MTG)
- Minimální průkazná diference (HSD)

5.1 Výsledky klasových rozborů

V tabulce č. 2 jsou uvedeny počty klasů získaných z plochy 0,25 m² společně s přepočtem klasů na 1 m² pro jednotlivá odběrová místa.

Dále v tabulce č. 3 je uvedena podrobnější analýza klasů. Jsou zde uvedeny počty zrn, jejich hmotnosti a následný přepočet na hmotnost tisíce semen pro každé ze čtyř opakování dané varianty. Ze získaných HTS byl následně spočítán průměr pro danou variantu.

Tabulka 2 Počet klasů z 0,25 m² přepočtených na 1 m² z šesti různých míst pozemku

Velikost plochy	0,25 m ²	1 m ²
Varianta	Počet klasů	Přepočtený počet klasů
1	140	560
2	203	812
3	115	460
4	96	384
5	92	368
6	158	632

Číselné parametry uvedené v tabulce č. 3 vyjadřují hodnoty získané vždy z průměru pro danou variantu a charakterizují výnosové prvky jarního ječmene. Z tabulky lze vyčíst, že nejlepších výnosových prvků dosahovaly varianty č. 2 a 6, u kterých průměrný počet zrn v jednom klase převyšoval počet 20 zrn. Naopak nejhorších výsledků dosahuje varianta č. 4, u které průměrný počet zrn v jednom klase dosahuje jen 14 zrn. Ze statistického vyhodnocení počtu zrn v 10 klasech vychází významné průkazné rozdíly. Hmotnost tisíce semen se u jednotlivých variant příliš nelišila. Nejvyšších hodnot dosahují vzorky 1 a 2, naopak nejnižších opět dle předpokladu vzorky 4 a 5. Ze statistického vyhodnocení však vychází neprůkazné rozdíly v rámci HTS všech variant.

Tabulka 3 Počet zrn z 10 klasů, průměr počtu zrn na klas, hmotnost zrn, jejich přepočítání na HTS u jednotlivých variant pokusu a průměr HTS z jednotlivých odběrových míst

Varianta	Počet zrn	Průměrný počet zrn v klasu	Průměrný počet zrn v 10 klasech	Hmotnost všech zrn	Hmotnost tisíce zrn	Průměr HTS
1 a	175	17,5	179 DC	8,170	46,686	46,049 A
1 b	180	18		8,157	45,317	
1 c	169	16,9		7,643	45,225	
1 d	192	19,2		9,018	46,969	
2 a	191	19,1	201,75 AB	8,375	43,848	46,022 A
2 b	204	20,4		9,965	48,848	
2 c	208	20,8		9,644	46,365	
2 d	204	20,4		9,186	45,029	
3 a	185	18,5	184,75 BC	8,535	46,135	45,597 A
3 b	182	18,2		8,733	47,984	
3 c	193	19,3		8,374	43,389	
3 d	179	17,9		8,035	44,888	
4 a	142	14,2	142 E	6,573	46,289	44,924 A
4 b	136	13,6		6,046	44,456	
4 c	131	13,1		5,857	44,710	
4 d	159	15,9		7,034	44,239	
5 a	177	17,7	163,5 D	7,354	41,548	44,329 A
5 b	155	15,5		6,925	44,677	
5 c	171	17,1		7,963	46,567	
5 d	151	15,1		6,723	44,523	
6 a	208	20,8	205,5 A	9,552	45,923	45,845 A
6 b	205	20,5		9,501	46,346	
6 c	206	20,6		9,763	47,393	
6 d	203	20,3		8,875	43,719	

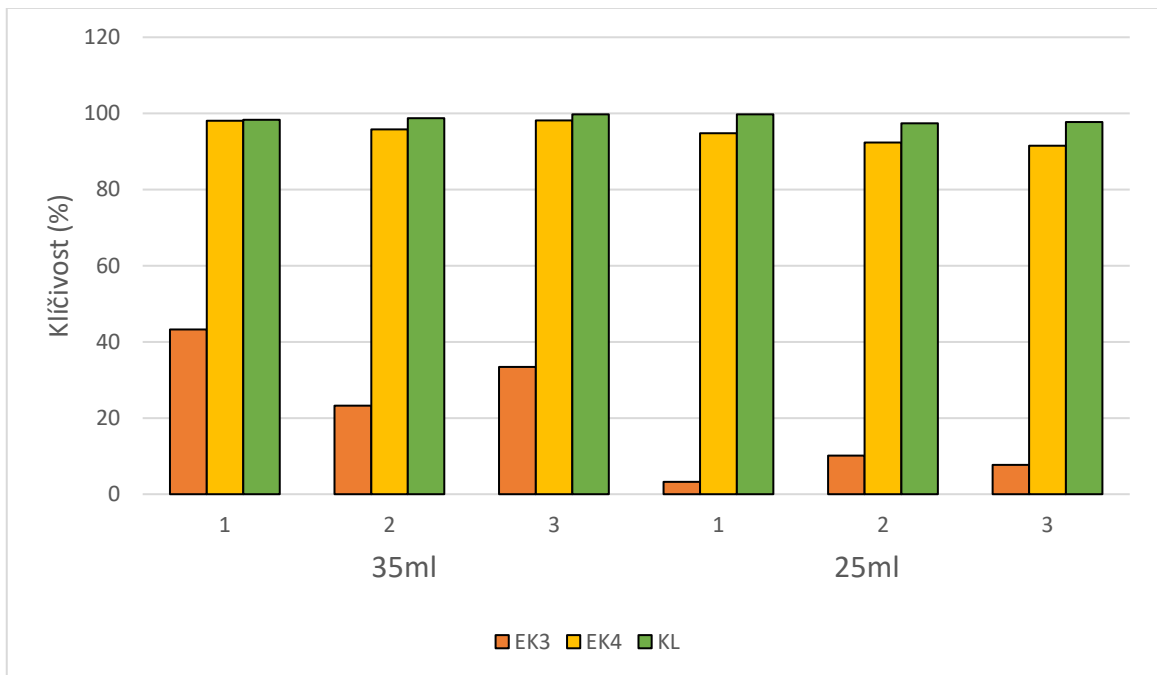
(Mezi průměry, které jsou označeny stejným písmenem nejsou průkazné rozdíly)

5.2 Klíčivost v optimálních a stresových podmínkách

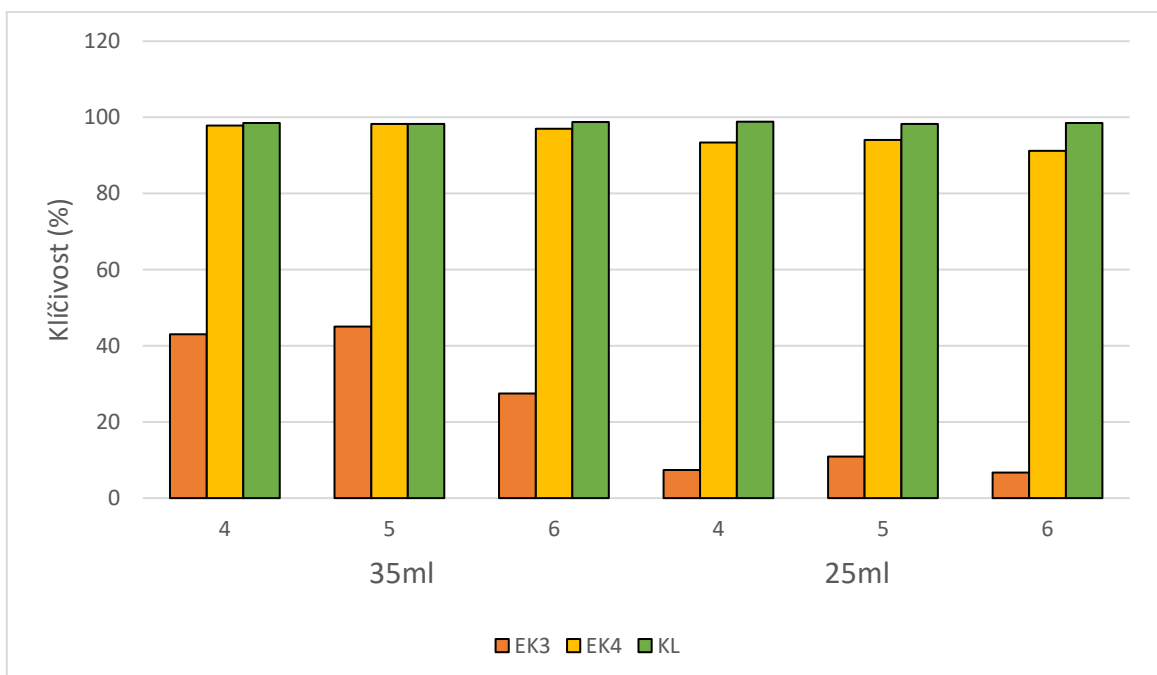
V grafu č. 1 a 2 jsou znázorněny hodnoty semenářských parametrů získaných z pokusu ovlivněné množstvím dostupné vody v substrátu. Grafy porovnávají vždy tři varianty z obou testovaných podmínek.

Nejvyšší klíčivosti dosáhla za optimálních podmínek varianta č. 3, za stresových podmínek byla nejvyšší klíčivost pozorována u varianty č. 1. Obecně však všechny varianty dosahovaly vysoké klíčivosti, která téměř vždy přesahovala 98 %. Statisticky tak mezi hodnotami klíčivosti nebyly pozorovány významné rozdíly. Zajímavým poznatkem je, že varianta č. 5 dosáhla jak v optimálních, tak ve stresových podmínkách nejvyšší hodnoty energie klíčení třetího dne, zároveň varianta č. 5 potřebovala k vyklíčení nejkratší časový úsek.

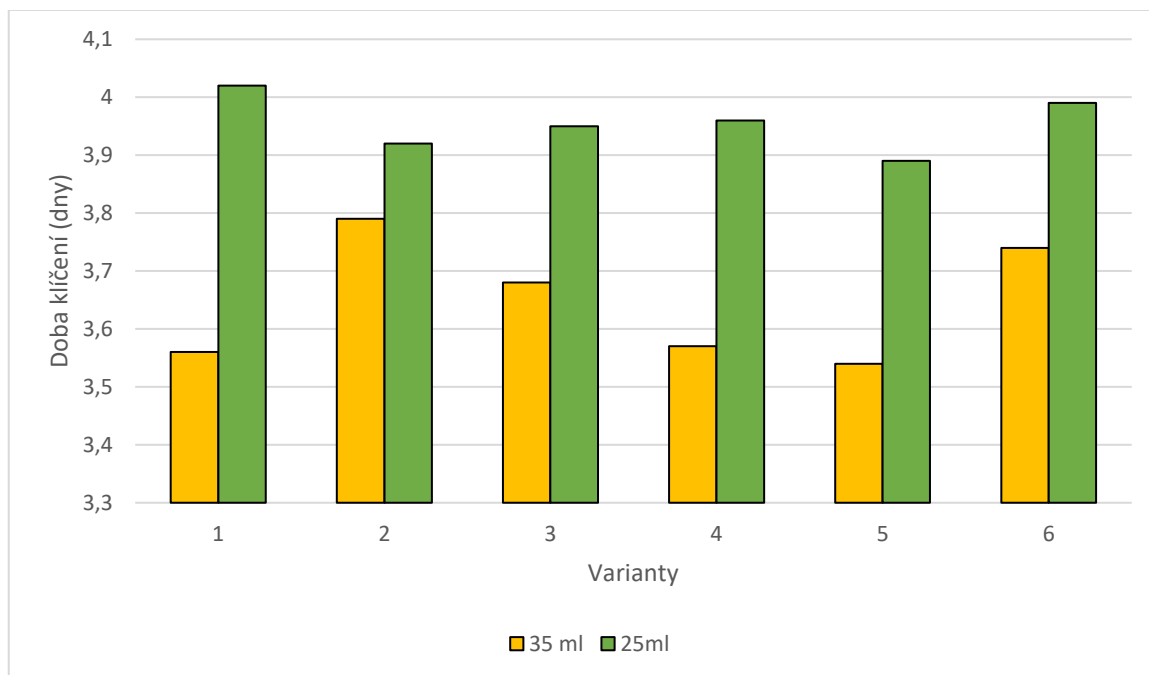
Graf č. 1 Semenářské parametry (EK3, EK4 a KL v %) prvních tří variant v závislosti na množství vody přidané do substrátu



Graf č. 2 Semenářské parametry (EK3, EK4 a KL v %) druhé trojice variant v závislosti na množství na množství přidané vody do substrátu



Graf č. 3 Střední doba klíčení (MGT) jednotlivých variant v závislosti na rozdílném objemu vody přidaném do substrátu



Graf č. 3 vyobrazuje střední doby klíčení všech variant v rámci obou testovaných podmínek. Z grafu vyplývá, že za optimálních podmínek je doba potřebná pro vyklíčení kratší. V průměru je doba potřebná pro vyklíčení za optimálních podmínek o 0,31 dne kratší oproti stresovým podmínkám. Dále je z grafu patrné, že nejdelší dobu pro vyklíčení potřebovala varianta č. 1 testovaná ve stresových podmínkách. Naopak nejkratší dobu pro vyklíčení potřebovala varianta č. 5 za optimálních podmínek. V rámci obou testovaných podmínek varianta č. 5 vykazuje nejkratší potřebnou dobu pro vyklíčení. Naopak nejdéle klíčení trvalo u variant č. 2 a 6.

V tabulkách č. 4 a 5 jsou uvedeny semenářské parametry v závislosti na množství dostupné vody v substrátu během klíčení. Uvedené hodnoty jsou průměrem získaných čísel pro danou variantu v rámci opakování. Výsledné hodnoty byly statisticky vyhodnoceny, v tabulce je statistické vyhodnocení označeno písmeny. Statisticky neprůkazně rozdílné hodnoty jsou označeny stejným písmenem.

Tabulka 4 Semenářské parametry pro všechny varianty testované v optimálních vlhkostních podmínkách

Varianta (35ml)	EK3 (%)	EK4 (%)	KL (%)	MGT (dny)
1	43 A	98 A	98 A	3,56 B
2	23 B	96 A	99 A	3,79 A
3	33 AB	98 A	100 A	3,68 AB
4	43 A	98 A	99 A	3,57 B
5	45 A	98 A	98 A	3,54 B
6	28 B	97 A	99 A	3,74 A
HSD	13,64	3,85	2,99	0,14

(HSD = minimální průkazná diference, průměry označené stejným písmenem jsou neprůkazně rozdílné $P < 0,05$)
Hodnoty v tabulce jsou zaokrouhleny, samotné průkaznosti odpovídají hodnotám před zaokrouhlením.

Tabulka 5 Semenářské parametry pro všechny varianty testované ve stresových vlhkostních podmínkách

Varianta (25ml)	EK3 (%)	EK4 (%)	KL (%)	MGT (dny)
1	3 A	95 A	100 A	4,02 A
2	10 A	92 A	97 A	3,92 AB
3	8 A	92 A	98 A	3,95 AB
4	7 A	93 A	99 A	3,96 AB
5	11 A	94 A	98 A	3,89 B
6	7 A	91 A	99 A	3,99 AB
HSD	8,98	6,42	2,81	0,11

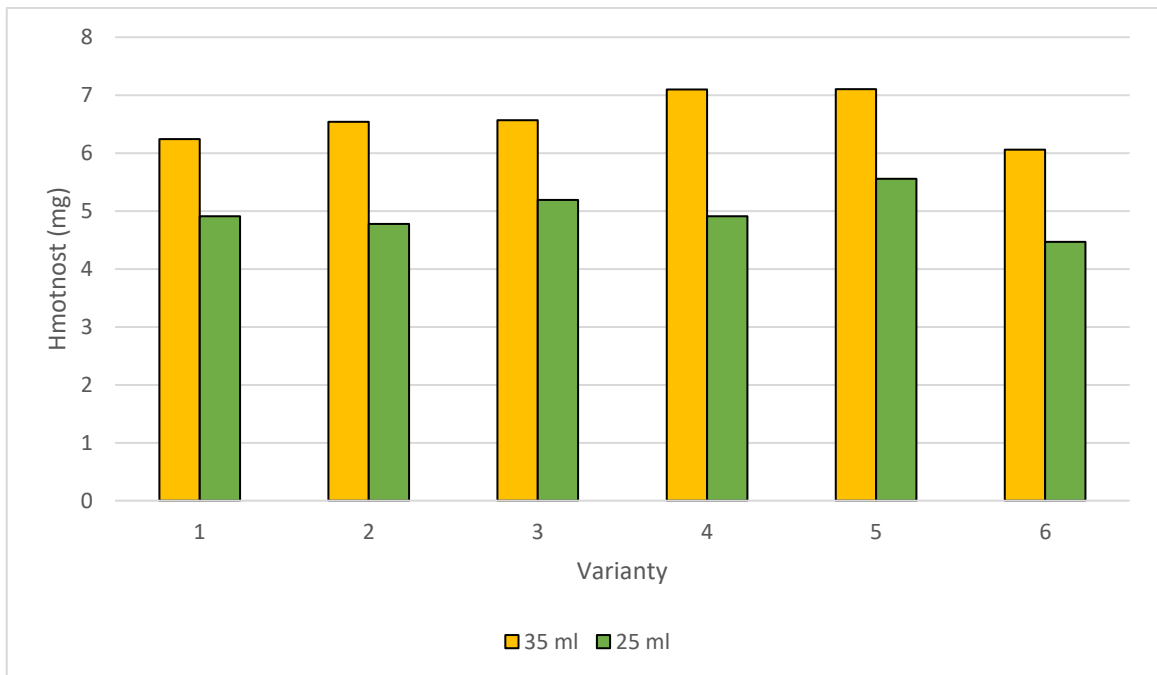
(HSD = minimální průkazná diference, průměry označené stejným písmenem jsou neprůkazně rozdílné $P < 0,05$)
Hodnoty v tabulce jsou zaokrouhleny, samotné průkaznosti odpovídají hodnotám před zaokrouhlením.

Z výsledků uvedených v tabulce č. 4 lze vyčíst, že u pokusu v optimálních podmínkách docházelo ke statistickým diferencím u energie klíčení třetího dne, kdy semena z lepších vzorků č. 2 a 6 dosahovaly nižšího počtu vyklíčených semen. V energii klíčení čtvrtého dne již významné rozdíly nejsou a v celkové klíčivosti, která u všech variant přesahovala 98 %, jsou také statisticky neprůkazné rozdíly. Statistický rozdíl lze však pozorovat u střední doby klíčení, při němž vyplývá, že varianty 2 a 6 pro vyklíčení potřebovaly delší dobu.

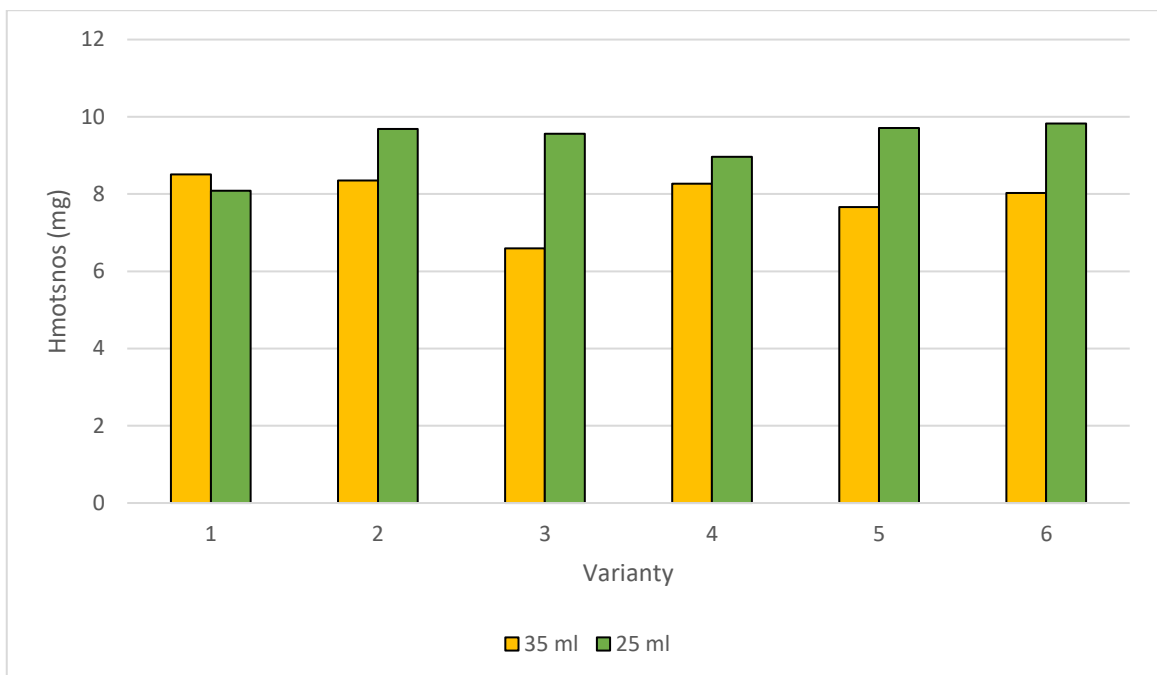
Tabulka č. 5 obsahuje výsledky získané z pokusu ve stresových podmínkách. Za stresových podmínek nejvyšší energie klíčení třetího dne stejně jako v optimálních podmínkách dosahovala varianta č. 5. V rámci stresových podmínek však nebyly u energie klíčení třetího ani čtvrtého dne pozorovány statisticky významné rozdíly. Celková klíčivost podobně jako za optimálních podmínek téměř u všech variant dosahovala 98 %, pouze u varianty č. 2 byla nižší (97 %). Podobně jako za optimálních podmínek i ve stresových dle výsledků střední doby klíčení nejrychleji klíčila semena z varianty č. 5. Oproti optimálním podmínkám, kde nejdelší dobu pro vyklíčení potřebovala semena ze vzorku 2 a 6, to za stresových podmínek byl vzorek č. 1, který klíčil nejdéle. Ze statistického vyhodnocení vychází průkazný rozdíl mezi variantami 1 a 5, ostatní varianty vykazují neprůkazné diference.

5.3 Hodnocení vytvořené biomasy

Graf 4 Hmotnost vytvořené sušiny nadzemní biomasy 1 rostlinou z obou testovaných podmínek



Graf 5 Hmotnost vytvořené sušiny podzemní biomasy (se zbytky obilek) 1 rostlinou z obou testovaných podmínek



Grafy č. 4 a 5 vyobrazují hodnoty hmotností nadzemní a podzemní biomasy vytvořené během testování. Sklizeň biomasy probíhala 7 dní po založení pokusu. Oba grafy vždy porovnávají výsledky z optimálních a stresových podmínek. V grafu č. 4 můžeme vidět, že za optimálních podmínek je hmotnost vytvořené sušiny v nadzemní biomase o více než 1 mg vyšší oproti rostlinám ze stresových podmínek. Nejnižších hmotností vytvořené nadzemní biomasy

dosáhla v obou případech varianta č.6. Opačný trend však můžeme pozorovat v grafu č. 5, který vyobrazuje hmotnosti vytvořené podzemní biomasy. Hmotnost podzemní biomasy za stresových podmínek s výjimkou varianty č. 1 byla u všech ostatních variant vyšší než za optimálních podmínek.

Tabulka 6 Průměrné hmotnosti sušiny nadzemní a podzemní biomasy vytvořené jednou rostlinou

Varianta	Nadzemní b. (mg) 35 ml	Podzemní b. (mg) 35 ml	Nadzemní b. (mg) 25ml	Podzemní b. (mg) 25ml
1	6,243 AB	8,511 A	4,912 AB	8,083 A
2	6,541 AB	8,535 A	4,776 AB	9,689 A
3	6,570 AB	6,597 B	5,193 AB	9,563 A
4	7,099 A	8,264 A	4,911 AB	8,967 A
5	7,104 A	7,664 AB	5,558 A	9,713 A
6	6,057 B	8,024 AB	4,467 B	9,827 A
HSD	0,9	1,6	8	2,3

V tabulce č. 6 jsou uvedeny výsledky ze statistického vyhodnocení získaných hmotností sušiny biomasy. Z tabulky lze vyčíst, že prokazatelně nejmenší množství nadzemní biomasy bylo jak za optimálních, tak i ve stresových podmínkách vytvořeno u varianty č. 6. Nejvyšších hmotností vytvořené biomasy dosahuje také v obou případech varianta č. 5, pravděpodobně v důsledku nejrychlejšího vyklíčení. Z hodnot pro vytvořenou podzemní biomasu vyplývá, že za stresových podmínek rostliny tvořily silnější kořenový systém. Za stresových podmínek však nebyly pozorovány žádné průkazné rozdíly. V optimálních podmínkách byla u varianty č. 3 hmotnost vytvořené biomasy výrazně nižší oproti všem ostatním, mezi nimiž také nebyly statistické rozdíly.

6 Diskuse

6.1 Zhodnocení klasových rozborů

Základem této práce byl sběr a následný rozbor klasů jarního ječmene. Pro samotný rozbor bylo potřeba získat průměrné klasy, čehož jsem docílil seřazením klasů dle velikosti a vybral z každé varianty 40 průměrných klasů, které byly dále využity pro rozbor. Výsledky samotných rozborů jsou uvedeny v tabulkách č. 2 a 3.

Při hodnocení počtu klasů na 1 m² v rámci všech šesti variant byly zjištěny významné rozdíly. Nejmenších počtů dosahovaly varianty 4 a 5 (384 a 368 klasů), které byly získány z míst na vrcholu kopce, kde je předpokládáno splavení živin a také nižší vlhkostní poměry. Naopak nejvyšších počtů dosahovaly varianty odebírané v místech odtokových linií, kde je naopak předpokládán vyšší příjem vody.

Zimolka et al. (2006) uvádí, že pro využití výnosového potenciálu ječmene je potřeba dosáhnout optimálního počtu klasů. Ječmen je plodina tvořící výnos především počtem klasů, což znamená, že jakékoliv nedostatky v agrotechnice, které mohou způsobit snížení počtu klasů, jsou později těžko kompenzovány. Jako kritické pro určení počtu produktivních stébel uvádí období od druhého listu do poloviny sloupkování, kdy dochází k zásadní redukci výnosotvorných prvků. Jako nejčastější chyba je označováno nekvalitní zpracování půdy a nedostatečná zásoba pohotových živin. Za optimální počet klasů na 1 m² uvádí hustotu 800–1100 klasů.

V rámci vlastního pokusu se tedy optimálním hodnotám přiblížil pouze vzorek č. 2 s počtem 812 klasů na 1 m².

Další částí rozboru vzorků bylo hodnocení počtu zrn v klasech a následně určení jejich hmotnosti. V rámci všech šesti variant byly stejně jako u počtu klasů zjištěny významné rozdíly. Stejně jako u počtu klasů, tak i v počtu zrn v klase nejlepších výsledků dosáhly varianty 2 a 6, které přesáhly průměrný počet 20 zrn v klase. Nejnižších počtů zrn v klase dosahovaly stejně jako u počtu klasů varianty 4 a 5, u kterých se průměrný počet zrn pohyboval v rozsahu 14-16. Průměrné hmotnosti tisíce semen u všech variant dosahovaly velice podobných čísel, u kterých nebyly vyhodnoceny statistické rozdíly. Nejnižších hodnot však dosahovala varianta 4 a 5 (44,9 a 44,3 g), nejvyšší HTS byla zjištěna u varianty 1 a 2 (46 g).

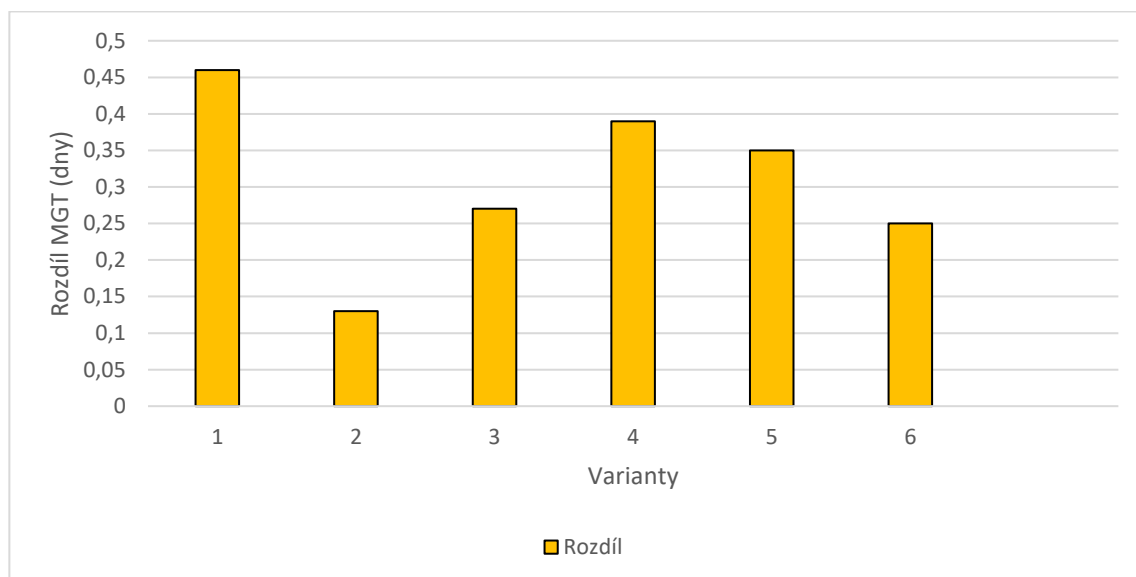
Delouche (1980) uvádí, že rostliny mají pozoruhodnou schopnost přizpůsobit počet vyprodukovaných semen v závislosti na dostupných zdrojích. Typickou reakcí rostlin na nedostatek živin nebo stres způsobený vodním deficitem je pak snížení počtu produkovaných semen při zachování kvality. Ačkoliv rostlina vyprodukuje méně semen, obvykle jsou stejně života schopná a vitální jako semena vyprodukovaná v příznivějších podmínkách. Z evolučního hlediska je takovéto přizpůsobení produkce semen významné pro přežití. Menší počet kvalitních semen má větší šanci na přežití než větší počet méně kvalitních semen.

6.1.1 Hodnocení klíčivosti

Při hodnocení klíčivosti bylo u všech variant pozorováno vysoké procento klíčivosti, kromě varianty č. 2 za stresových podmínek (97 %) všechny varianty v obou podmínkách testování dosahovaly klíčivosti 98 % a vyšší. Z hlediska klíčivosti tedy nebyly pozorovány významné rozdíly. Rozdíly se ovšem vyskytly v energii klíčení třetího dne, kde lze pozorovat nejrychlejší klíčení u varianty č. 5. Varianta č. 5 zároveň dle statistického vyhodnocení potřebovala nejkratší čas pro vyklíčení, a to 3,54 dne za optimálních podmínek a 3,89 ve stresových podmínkách. Za zmínku stojí, že varianta č. 5 měla nejnižší HTS, což znamená zároveň i nejmenší semena. Tím lze pravděpodobně vysvětlit schopnost varianty č. 5 rychleji klíčit, protože jak uvádí například Vidak et al. (2022) ve svých pokusech se semeny fazolu obecného (*Phaseolus vulgaris*), menší semena rychleji se hydratují.

Ze získaných výsledků vyplývá, že ačkoliv nedošlo k zásadnímu poklesu celkové klíčivosti, došlo k jejímu znatelnému zpomalení při stresu způsobeném nedostatkem vody.

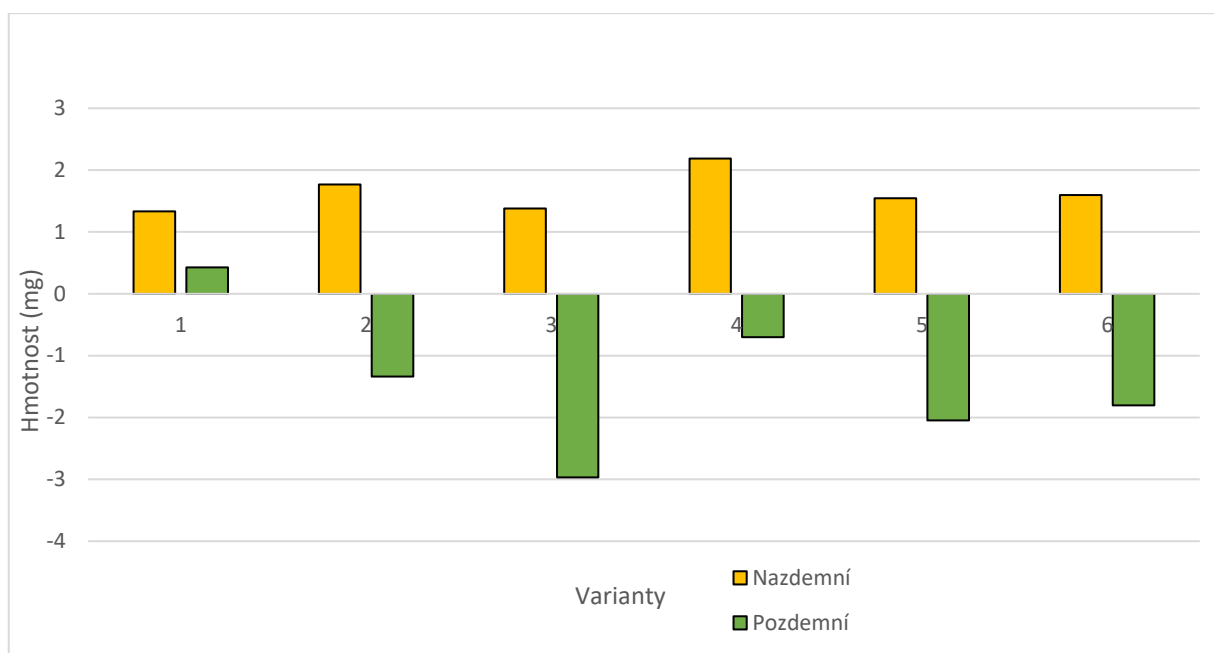
Graf 6 Rozdíly ve střední době klíčení (MGT) mezi optimálními a stresovými podmínkami.



6.1.2 Hodnocení biomasy

Z výsledků získaných při hodnocení sušiny vytvořené biomasy jsou viditelné rozdíly mezi optimálními a stresovými podmínkami. Rozdíly jsou vyobrazeny v grafu č. 6. Za optimálních podmínek bylo vytvořeno v průměru na jednu rostlinu o 1 až 2 mg více sušiny v nadzemní biomase.

Graf 7 Rozdíly hmotnosti vytvořené biomasy mezi optimálními a stresovými podmínkami u jednotlivých variant



Výsledky pro sušinu vytvořenou v podzemní biomase však vykazují opačný rozdíl. Větší objem byl totiž vytvořen u stresované varianty.

Rostliny si v průběhu evoluce vyvinuly různé mechanismy adaptace na stres, například úprava architektury kořenového systému (RSA) je jednou z klíčových adaptací pro získání dostatečného množství vody a živin v suchých podmínkách (Basu et al. 2016).

Kořenový systém je značně modifikován právě stresem ze sucha, jehož působením dochází ke stimulaci tvorby postranních kořenů a kořenového vlášení (Nibau et al. 2008).

Větší množství vytvořené pozemní biomasy ve stresových podmínkách lze tedy vysvětlit tak, že rostliny soustředí více energie do rozvoje kořenů na úkor nadzemní biomasy za účelem vytvoření větší plochy pro příjem vody a živin.

7 Závěr

- Z klasových rozborů bylo zjištěno, že na stresovaných místech pozemku se nachází výrazně nižší počty klasů na 1 m², zároveň na těchto místech klasy dosahují podstatně nižších počtů zrn v klase.
- Z pohledu celkové klíčivosti nebyly zjištěny průkazné rozdíly mezi vzorky z více a méně stresovaných míst pozemku ani v jedné z testovaných podmínek.
- Dle hodnocení střední doby klíčení (MGT) klíčily lepší vzorky č. 2 a 6 pomaleji, naopak výnosově nejhorší vzorek č. 5 klíčil nejrychleji.
- Při hodnocení vytvořené biomasy bylo zjištěno, že rostliny klíčící za stresových podmínek tvoří větší objem kořenového systému za účelem většího příjmu vody.

8 Literatura

Agegehu G, Lakew B, Nelson PN. 2014. Cropping sequence and nitrogen fertilizer effects on the productivity and quality of malting barley and soil fertility in the Ethiopian highlands. *Archives of Agronomy and Soil Science* **9**:1261-1275.

Ahmad P, Prasad MNV. 2012. Environmental adaptations and stress tolerance in plants in the era of climate change. Springer, New York.

Ahmadi, A, Baker DA. 2001. The effect of water stress on the activities of key regulatory enzymes of the sucrose to starch pathway in wheat. *Plant Growth Regulation* **35**:81–91.

Akbarimoghaddam H, Galavi M, Ghanbari A, Panjehkeh N. 2011. Salinity effects on seed germination and seedling growth of bread wheat cultivars. *Trakia journal of Sciences* **9**(1):43-50.

Almeida JPND, Lessa, BFDT, Pinheiro CL, Gomes FM, Medeiros S, Silva CC. 2017. Germination and development of *Amburana cearensis* seedlings as influenced by seed weight, light and temperature. *Acta Scientiarum. Agronomy* **39**:525-533.

Alkio M, Diepenbrock W, Grimm E. 2002. Evidence for sectorial photoassimilate supply in the capitulum of sunflower (*Helianthus annuus*). *New phytologist* **156**:445-456.

Anjum, SA, Wang LC, Farooq M, Hussain M, Xue LL, Zou CM. 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science* **197**:177–185.

Ashman TL, et al. 2004. Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences. *Ecology* **85**:2408–2421.

Arif M, Ali S, Shah A, Javed N, Rashid A. 2005. Seed priming maize for improving emergence and seedling growth. *Sarhad Journal of Agriculture (Pakistan)* **21**(4):539-543.

Auge G, Blair L, Burghardt L, Coughlan J, Edwards B, Leverett L, Donohue K. 2015. Secondary dormancy dynamics depends on primary dormancy status in *Arabidopsis thaliana*. *Seed Science Research* **25**(2):230-246.

Barber SA. 1995. *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York.

Bareke T. 2018. Biology of seed development and germination physiology. *Advances in Plants & Agriculture Research* **8**(4):336-346.

Baskin JM, Baskin CC. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research* **14**:1–16.

- Batlla D, Nicoletta M, Benech-Arnold R. 2007. Sensitivity of *Polygonum aviculare* seeds to light as affected by soil moisture conditions. *Annals of Botany* **5**:915–924.
- Baydar H, Erbas S. 2005. Influence of seed development and seed position on oil, fatty acids and total tocopherol contents in sunflower (*Helianthus annuus* L.) *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **29**:179-186.
- Basu S, Ramegowda V, Kumar A, Pereira A. 2016. Plant adaptation to drought stress. *F1000Research* **5**:1554.
- Belmehdi O, El Harsal A, Benmoussi M, Laghmouchi Y, Skali Senhaji N, Abrini J, 2018. Effect of light, temperature, salt stress and pH on seed germination of medicinal plant *Origanum elongatum* (Bonnet) Emb. & Maire. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* **16**:126-131.
- Boyd N, Van Acker R. 2004. Seed germination of common weed species as affected by oxygen concentration, light, and osmotic potential. *Weed Science* **52**(4):589-596.
- Bray EA. 2000. Responses to abiotic stresses. *Biochemistry and molecular biology of plants* 1158-1203.
- Briggs DE. 2012. *Barley*. Springer, Dordrecht.
- Cattivelli L, Rizza F, Badeck FW, Mazzucotelli E, Mastrangelo AM, Francia E, Mare C, Toudelli A, Stanca AM. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crop Research* **105**: 1-14.
- Crean AJ, Bonduriansky R. 2014. What is a paternal effect? *Trends in ecology & evolution* **29**:554-559.
- Cristaudo A, Catara S, Mingo A, Restuccia A, Onofri A. 2019. Temperature and storage time strongly affect the germination success of perennial *Euphorbia* species in Mediterranean regions. *Ecology and Evolution* **9**:10984–10999.
- Černý L, Vašák J, Křováček J, Hájek M. 2007. *Jarní sladovnický ječmen pěstitelský rádce*. Vydavatelství Kurent s.r.o., České Budějovice.
- Dahuja A, Yadav S. 2015. Biochemical basis of seed deterioration-an overview. *Seed Res* **43**:1-8.
- Delouche JC. 1980. Environmental effects on seed development and seed quality. *HortScience* **15**(6): 775-780.
- Demirkaya M, Dietz KJ, Sivritepe HO. 2010. Change in antioxidant enzymes during aging of onion seeds. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* **38**: 49-52.

- De Storme N, Geelen D. 2014. The impact of environmental stress on male reproductive development in plants. *Biological processes and molecular mechanisms. Plant, cell & environment* **37**:1-18.
- Donohue K, Rubio de Casas R, Burghardt L, Kovach K, Willis CG. 2010. Germination, postgermination adaptation, and species ecological ranges. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **41**:293–319.
- Dürr C, Dickie JB, Yang X-Y, Pritchard HW. 2015. Ranges of critical temperature and water potential values for the germination of species worldwide: contribution to a seed trait database. *Agricultural and Forestry Meteorology* **200**:222–232.
- Elwell AL, Gronwall DS, Miller ND, Spalding EP, Brooks TL. 2011. Separating parental environment from seed size effects on next generation growth and development in *Arabidopsis*. *Plant Cell & Environment* **34**:291-301.
- Estrada-Campuzano G, Miralles DJ, Slafer GA. 2008. Genotypic variability and response to water stress of pre- and post-anthesis phases in triticale. *European Journal of Agronomy* **28**:171–177.
- Fahad S, et al., 2017. Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. *Frontiers in Plant Science* **8**:1147.
- Fahad S, et al. 2016. Exogenously applied plant growth regulators affect heat-stressed rice pollens. *Journal of Agronomy and Crop Science* **202**:139–150.
- Finch-Savage WE, Leubner-Metzger G. 2006. Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist* **171**:501–523.
- Footitt S, Douterelo-Soler I, Clay H, Finch-Savage WE. 2011. Dormancy cycling in *Arabidopsis* seeds is controlled by season-ally distinct hormone-signaling pathways. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **108**:20236–20241.
- Graeber K, Nakabayashi K, Miatton E, Leubner-Metzger G, Soppe WJJ. 2012. Molecular mechanisms of seed dormancy. *Plant, cell & environment* **35**(10):1769-1786.
- Gresta F, Cristaudo A, Onofri A, Restuccia A, Avola G. 2010. Germination response of four pasture species to temperature, light, and post-harvest period. *Plant Biosystems* **144**:849–856.
- Grindeland JM, Sletvold N, Ims RA. 2005. Effects of floral display size and plant density on pollinator visitation rate in a natural population of *Digitalis purpurea*. *Functional Ecology* **19**:383–390.
- Gutterman Y, Corbineau F, Come D. 1992. Interrelated effects of temperature, light and oxygen on *Amaranthus caudatus* L. seed germination. *Weed Research* **32**(2):111–117.

- Guy C. 1999. The Influence of Temperature Extremes on Gene Expression, Genomic Structure, and the Evolution of Induced Tolerance in Plants. Pages 497-548 in Lerner HR, editor. *Plant Responses to Environmental Stress*. Marcel Dekker, New York.
- Hampton JG. 1995. Methods of Viability and Vigor Testing: A Critical Appraisal. Pages 81-118 in Basra AS, editor. *Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications*. Food Procuts Press, New York.
- Hauser MT, Aufsatz W, Jonak C, Luschnig C. 2011. Transgenerational epigenetic inheritance in plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Gene Regulatory Mechanisms* **1809**:459-468.
- Herman JJ, Sultan SE. 2011. Adaptive transgenerational plasticity in plants: case studies, mechanisms, and implications for natural populations. *Frontiers in Plant Science* **2**:63-76.
- Hladun KR, Parker DR, Tran KD, Trumble JT. 2013. Effects of selenium accumulation on phytotoxicity, herbivory, and pollination ecology in radish (*Raphanus sativus* L.). *Environmental Pollution* **172**:70-75.
- Holubec V. 2016. Stres a adaptace rostlin v přírodních podmínkách. Pages 39-58 in Hnilička F, Středa T, editors. *Rostliny v podmínkách stresu – Abiotické stresory*. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Hosnedl V. 2009. Osivo a sadba: IX. odborný a vědecký seminář. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Houba M, Hosnedl V. 2002. *Osivo a sadba: praktické semenářství*. Martin Sedláček, Praha.
- Chaudhury AM, Koltunow A, Payne T, Luo M, Tucker MR, Dennis ES, Peacock WJ. 2001. Control of early seed development. *Annual review of cell and developmental biology* **17**(1): 677-699.
- Chaves MM, Pereira JS, Maoroc J, Rodrigues ML, Ricardo CPP, Osório ML, Carvalho I, Faria T, Pinheiro C. 2002. How Plants Cope with Water Stress in the Field? Photosynthesis and Growth. *Annals of Botany* **49**:907–916.
- Iglesias-Fernandez R, Rodriguez-Gacio MC, Matilla AJ. 2011. Progress in research on dry afterripening. *Seed Science Research* **21**:69–80.
- Jones JB Jr. 1997. *Plant Nutrition Manual*. CRC Press, Boca Raton.
- Kamara AY, Menkir A, Badu-Apraku B, Ibikunle O. 2003. The influence of drought stress on growth, yield and yield components of selected maize genotypes. *Journal of Agricultural Science* **141**:43–50.
- Kilian B, Özkan H, Pozzi C, Salamini F. 2009. Domestication of the Triticeae in the Fertile crescent. Pages 81-119 in Feuillet C, Muehlbauer GJ, editors. *Plant Genetics and Genomics: Crops and Models*. SpringerScience+Business Media, New York.

Kilkenny FF, Galloway LF, 2008 Reproductive success in varying light environments direct and indirect effects of light on plants and pollinators. *Oecologia* **155**:247-255.

Koizumi M, Kikuchi K, Isobe S, Ishida N, Naito S, Kano H. 2008. Role of seed coat in imbibing soybean seeds observed by micro-magnetic resonance imaging. *Annals of Botany* **102**:343–352.

Krishnan P, Joshi DK, Nagarajan S, Moharir AV. 2004. Characterization of germinating and non-viable soybean seeds by nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. *Seed Science Research* **14**:355–362.

Lamichhane JR, Debaeke P, Steinberg C, You MP, Barbetti MJ, Aubertot JN. 2018. Abiotic and biotic factors affecting crop seed germination and seedling emergence: a conceptual framework. *Plant Soil* **432**:1–28

Leport L, Turner NC, French RJ, Barr MD, Duda R, Davies SL. 2006. Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment. *European Journal of Agronomy* **11**:279–291.

Liow HL, Sodhi NS, Elmqvist T. 2001. Bee diversity along a disturbance gradient in tropical lowland forests of south-east Asia. *Journal of Applied Ecology* **38**:180–192

Lobell DB, Schlenker W, Costa-Roberts J. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science* **333**:616–620.

Maestri E, Klueva N, Perrotta C, Gulli M, Nguyen T, Marmioli N. 2002. Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals. *Journal of Plant Molecular Biology* **48**:667–681.

Magneschi L, Perata P. 2009. Rice germination and seedling growth in the absence of oxygen, *Annals of Botany* **103**(2):181–196.

Mahjabin, Bilal S, Abidi AB. 2015. Physiological and biochemical changes during seed deterioration: A Review. *International Journal of Recent Science Research* **6**:3416-3422.

Matilla A, Gallardo M, Puga-Hermida MI. 2005. Structural, physiological and molecular aspects of heterogeneity in seeds: a review. *Seed Science Research* **15**:63–76.

Matouš M, Hutla P. 2002. Světlo a rostlina. *Světlo* **4**:

McCauley A, Jones C, Jacobsen J. 2009. Plant nutrient functions and deficiency and toxicity symptoms. *Nutrient management module* **9**:1-16.

McConnaughay KDM, Coleman JS (1999) Biomass allocation in plants: ontogeny or optimality? A test along three resource gradients. *Ecology* **80**:2581–2593.

- McDonald MB. 2000. Seed priming. Pages 287-325 in Black M, Bewley JD, editors. Seed Technology and Its Biological Basis. Sheffield Academy, Sheffield.
- Mesihovic A, Iannaccone R, Firon N, Fragkostefanakis S. 2016. Heat stress regimes for the investigation of pollen thermotolerance in crop plants. *Plant reproduction* **29**:93-105.
- Mohammadi R. 2018. Breeding for increased drought tolerance in wheat: a review. *Crop and Pasture Science* **69**:223-241.
- Mohsenzadeh F, Chehregani A, Yousefi N. 2011. Effect of the heavy metals on developmental stages of ovule, pollen and root proteins in *Reseda lutea* L. (Resedaceae). *Biological Trace Element Research* **143**:1777-1788.
- Moller IM, Jensen PE, Hansson A. 2007. Oxidative Modifications to cellular components in plants. *Annual Review of Plant Biology* **58**:459-468.
- Müller K, Tintelnot S, Leubner-Metzger G. 2006. Endosperm-limited Brassicaceae seed germination: abscisic acid inhibits embryo-induced endosperm weakening of *Lepidium sativum* (cress) and endosperm rupture of cress and *Arabidopsis thaliana*. *Plant and Cell Physiology* **47**:864–877.
- Muller-Xing R, Xing Q, Goodrich J. 2014. Footprints of the sun: memory of UV and light stress in plants. *Frontiers in Plant Science* **5**:474.
- Munns R, Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* **59**:651-681.
- Nagajyoti PC, Lee KD, Sreekanth TVM. 2010. Heavy metals occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters* **8**:199-216.
- Nibau C, Gibbs DJ, Coates JC. 2008. Branching out in new directions: the control of root architecture by lateral root formation. *New Phytologist* **179**:595-614.
- Nonogaki H, Bassel GW, Bewley JD. 2010. Germination-still a mystery. *Plant Science* **179**:574–81
- Noret N, Meerts P, Vanhaelen M, Santos AD, Escarré J. Do metal-rich plants deter herbivores? A field test of the defense hypothesis. *Oecologia* **152**:92-100.
- Oh E, et al. 2007. PIL5, a phytochrome-interacting bHLH protein, regulates gibberellin responsiveness by binding directly to the GAI and RGA promoters in *Arabidopsis* seeds. *Plant Cell* **19**:1192–1208.
- Orozco-Segovie A, Brechš-Franco AE, Zambrano-Polanco L, Osuna-Fernandez R, Laguna-Hernandez G, Sánchez-Coronado ME. 2000. Effects of maternal light environment on germination and morphological characteristic of *Sicyos deppei* seeds. *Weed Research* **40**(6): 495-506.

- Pazderů K. 2013. Od semene po rostlinu. Pages 58-64 in Bláha L, Šerá B, editors. Význam celistvosti ve výzkumu, šlechtění a produkci rostlin. Powerprint. Praha
- Pazderů K. 2010. Možnosti ovlivnění výkonu semen ve stresových podmínkách. Pages 44-47 in Bláha L, editor. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin (recenzovaný sborník příspěvků). Česká zemědělská univerzita v Praze a Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.
- Porter JR. 2005. Rising temperatures are likely to reduce crop yields. *Nature* **436**:174.
- Praba ML, Cairns JE, Babu RC, Lafitte HR. 2009. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* **195**:30–46.
- Prasad PVV, Bheemanahalli R, Jagdish SK. 2017. Field crops and the fear of heat stress-opportunities, challenges and future directions. *Field Crops Research* **200**:114-121.
- Procházka S, et al. 1998. Fyziologie rostlin. Academia, Praha.
- Rajjou L, Debeaujon I. 2008. Seed longevity: survival and maintenance of high germination ability of dry seeds. *Comptes Rendus Biologies* **331**:796–805
- Rajjou L, Duval M, Gallardo K, Catusse J, Job C, Job D. 2012. Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology* **63**:507-533.
- Rao GJN, Reddy JN, Variar M, Mahender A. 2016. Molecular breeding to improve plant resistance to abiotic stresses. Pages 283-326 in Al-Khayri JM, Jain SH, Johnson DV, editors. *Advances in plant breeding strategies: agronomic, abiotic and biotic stress traits*. Springer Cham, Edinburgh.
- Roberts EH. 1973. Predicting the storage life of seeds. *Proceedings* **1**:499–514.
- Robertson, AL, Wolf DE. 2012. The role of epigenetics in plant adaptation. *Trends in Evolutionary Biology* **4**(1):19-25
- Saberali SF, Moradi M. 2017. Effect of salinity on germination and seedling growth of *Trigonella foenum-graecum*, *Dracocephalum moldavica*, *Satureja hortensis* and *Anethum graveolens*. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* **18**:316-323.
- Saboora A, Kiarostami K. 2006. Salinity tolerance of wheat genotype at germination and early seedling growth. *Pakistan Journal of biological Sciences* **9**(11):2009-2021.
- Samarah NH. 2005. Effects of drought stress on growth and yield of barley. *Agronomy for Sustainable Development* **25**:145–149.

- Sawada Y. et al. 2008. Phytochrome- and gibberellin-mediated regulation of abscisic acid metabolism during germination of photoblastic lettuce seeds. *Plant Physiology* **146**:1386–1396.
- Sehgal A, et al. 2018. Drought or/and Heat-Stress Effects on Seed Filling in Food Crops: Impacts on Functional Biochemistry, Seed Yields, and Nutritional Quality, *Frontiers in Plant Science* **9**:1705.
- Seo M, Nambara E, Choi G, Yamaguchi S. 2009. Interaction of light and hormone signals in germinating seeds. *Plant Molecular Biology* **69**:463–472.
- Shaban M. 2013. Review on physiological aspects of seed deterioration. *International Journal of Agriculture and Crop Science* **6**:627-631.
- Taiz L, Zeiger E. 2006. *Plant Physiology* 4th Edn. Sinauer Associates Inc, Sunderland.
- Thirusendura Selvi D, Saraswathy S. 2018. Seed viability, seed deterioration and seed quality improvements in stored onion seeds: a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* **93**:1-7.
- Torices R, Méndez M. 2010. Fruit size decline from the margin of the center of capitula is the result of resource competition and architectural constraints. *Oecologia* **164**:949-958.
- Tozer M, Ooi M. 2014. Humidity-regulated dormancy onset in the Fabaceae: a conceptual model and its maturation, after-ripening, dormancy, and germination. *New Phytologist* **179**:33–54.
- Vidak M, Lazarević B, Javornik T, Šatović Z, Carović-Stanko K. 2022. Seed Water Absorption, Germination, Emergence and Seedling Phenotypic Characterization of the Common Bean Landraces Differing in Seed Size and Color. *Seeds* **1**(4):324-339.
- Vivas M, Wingfield MJ, Slippers B. 2020. Maternal effects should be considered in the establishment of forestry plantations. *Forest Ecology and Management* **460**:117909.
- Wahid A, Gelani S, Ashraf M, Foolad MR. 2007. Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany* **61**:199–223.
- Willenborg CJ, Gulden RH, Johnson EN, Shirtliffe SJ. 2004. Germination characteristics of polymer-coated canola (*Brassica napus* L.) seeds subjected to moisture stress at different temperatures. *Agronomy Journal* **96**:786–791.
- Yakovlev I, Fossdal CG, Skrøppa T, Olsen JE, Jahren AH, Johnsen Ø. 2012. An adaptive epigenetic memory in conifers with important implications for seed production. *Seed Science Research* **22**:63-76.
- Yang J, Zhang J, Wang Z, Zhu Q, Wang W. 2001. Hormonal changes in the grains of rice subjected to water stress during grain filling. *Plant Physiology* **127**:315–323.

Young LW, Wilen RW, Bonham-Smith PC. 2004. High temperature stress of *Brassica napus* during flowering reduces micro and megagametophyte fertility, induces fruit abortion, and disrupts seed production. *Journal of experimental botany* **55**(396):485-495.

Yousefi N, Chehregani A, Malayeri B, Lorestani B, Cheraghi M. 2011. Effect of heavy metals on the developmental stages of ovule and seed proteins in *Chenopodium botrys* L. (Chenopodiaceae). *Biological Trace Element Research* **144**:1142-1149.

Zeid IM, Shedeed ZA. 2006. Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. *Biologia Plantarum* **50**:635–640.

9 Samostatné přílohy

Obrázek 2 Založení pokusu



Obrázek 3 Detail klíčení třetí den od založení pokusu



Obrázek 4 Rozdíl mezi optimálními a stresovými podmínkami u varianty č. 2 pátý den od založení pokusu



Obrázek 5 Rozdíl mezi optimálními a stresovými podmínkami u varianty č. 6, pátý den od založení pokusu

