

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

KATEDRA BIOLOGIE



**Vliv vybraných abiotických stresorů na klíčení semen
řepky olejky (*Brassica napus* L.)**

Bakalářská práce

Autor: Bc. Eva Jurníčková

Studijní obor:

1601R003/00 - BB14 - Ekologie a ochrana prostředí – Aplikovaná ekologie pro veřejný sektor

kombinované studium

Vedoucí práce: RNDr. Olga Vránová, PhD.

Olomouc, 2015

Čestné prohlášení:

Tuto bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně na základě řádně citovaných uvedených literárních zdrojů, dle metodických pokynů vedoucí práce RNDr. Olgy Vránové, PhD. a konzultanta Ing. Milana Oldřicha Urbana, DiS. Stejnou práci ani její část jsem nepoužila k získání jiného titulu.

V Olomouci 20. srpna 2015

.....
Bc. Eva Jurníčková

Motto:

„Na nižších úbočích pohoří jsem viděl políčka s ječmenem a ještě nezralým žitem. V pozadí v úzkých údolích se zelenaly louky. Stačilo jen osm let, dělicích nás od té doby, a celý kraj zářil zdravím a blahobytem. Na místě zbořeníšť, která jsem viděl v roce 1913, stojí nyní čisté a pečlivě omítnuté usedlosti, svědčící o šťastném a pohodlném životě. Začaly zase téct staré prameny, napájené dešti a sněhy, jež lesy zadržují. Vodní toky byly regulovány. Vedle každé usedlosti, obklopené javorovým hájem, voda přetékala z nádrží kašen na koberec svěží máty. Vesnice byly pohnáhu znovu vybudovány. Z rovin, kde je půda drahá, přišli lidé a usadili se zde. Přivedli i mládež, nastal ruch, probudil se smysl pro podnikání. Na cestách potkáváme dobře vypadající muže a ženy. Chlapci a děvčata se umějí smát a mají rádi venkovské slavnosti. Dřívější obyvatelstvo je k nepoznání změněné od té doby, co se tu žije příjemně. Připočteme-li je k novým obyvatelům, víc než deset tisíc osob vděčí za štěstí Elzéardu Bouffierovi.

Když uvážíme, že jediný člověk, odkázaný jen na prosté zdroje fyzické i duševní, dokázal, aby z pustiny vznikla země kananejská, zdá se mi, že člověk je přece jen obdivuhodný tvor. Ale když pomyslím, kolik bylo třeba vytrvalosti a ušlechtilého úsilí, aby se dosáhlo takového výsledku, cítuji hlubokou úctu k tomu starému venkovanu bez jakéhokoliv vzdělání, který dokázal úspěšně dokončit dílo, hodné díla božího.“

Jean Giono - Muž, který sázel stromy

Napsal Jean Giono, 1980

Přeložila Zdeňka Stavinohová, 1997

Poděkování:

Chtěla bych poděkovat vedoucí mé bakalářské práce RNDr. Olze Vránové, PhD., za ochotu a především trpělivost při vedení této práce. Chtěla bych jí také velmi poděkovat za pomoc při formulování cílů a hypotéz a také za podporu a zajištění technického zázemí na Lékařské fakultě UP v Olomouci, kde jsem získala většinu výsledků.

Ráda bych poděkovala i konzultantovi práce, Ing. Milanu Oldřichu Urbanovi, DiS., z Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v.v.i. v Praze Ruzyni, který zajistil některé materiální a technické vybavení, nutné k vypracování výzkumné části této práce. Děkuji mu také za poskytnutí semen odrůd a křížence řepky olejky a za některá data, uvedená ve výsledcích (např. kvalita semen pomocí NIRS apod.). V neposlední řadě velké díky za trpělivé objasňování souvislostí týkající se výzkumné části a vstřícnost při konzultacích.

Chtěla bych také poděkovat své rodině, mamce a Milošovi, kteří se průběžně a i ve chvílích finalizace této práce starali o mého syna Šimonka, a tím mi dopřáli klid na její zdárné dokončení.

Obsah:

1.	ÚVOD	2
1.1	CÍL PRÁCE.....	3
2.	LITERÁRNÍ PŘEHLED.....	4
2.1	ŘEPKA	4
2.1.1	Význam	4
2.1.2	Charakteristika, původ a rozšíření řepky	5
2.1.3	Životní cyklus	7
2.2	KLÍČENÍ SEMENE	9
2.3	STRES ROSTLIN	12
2.4	KLIMATICKÁ ZMĚNA V ČR.....	17
3	METODIKA	23
3.1	MATERIÁL	23
3.2	OBECNÉ ZÁSADY ZKOUŠEK KLÍČIVOSTI.....	24
3.3	TESTOVÁNÍ KLÍČIVOSTI (PRACOVNÍ POSTUP).....	26
3.4	POSTUP VÝPOČTU INDEXŮ KLÍČENÍ.....	30
3.5	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT	32
4	VÝSLEDKY	33
4.1	PŮVOD MATERIÁLŮ A JEJICH VZNIK	33
4.2	INDEXY KLÍČENÍ A GRAFICKÉ VÝSTUPY	34
4.2.1	Průměry klíčivosti genotypů	35
4.2.2	Denní odečty naklíčených semen	36
4.2.3	Kumulativní klíčivost, GI a CVG indexy	40
4.2.4	Vizualizace statistického vyhodnocení dat	43
5	DISKUZE	46
6	ZÁVĚR	52
	POUŽITÁ LITERATURA	54
	SEZNAM TABULEK	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
	SEZNAM ZKRATEK	58
	PŘÍLOHY.....	i

1. ÚVOD

Práce se soustředí na ozimou formu řepky olejky (*Brassica napus* L.), která splňuje požadavek klíčové plodiny pro české hospodářství, a to jak z hlediska domácí produkce, tak ve smyslu exportu.

V souvislosti s klimatickými změnami vyvstává naléhavější potřeba hledat taková opatření, která by pomohla čelit negativním dopadům těchto změn. Velmi zranitelnou složkou ekosystému je zejména zemědělství (Žalud 2009). Jednou z priorit zemědělského hospodaření v podmínkách změny klimatu, je zachování dobrého stavu životního prostředí, či jeho zlepšování (Bláha 2012). Tento požadavek koresponduje s orientací na využívání odolných odrůd významných kulturních plodin, které jsou lépe vybavené schopností čelit různým druhům stresu (sucho, nadměrné teploty apod.). Zejména ekologický pěstitel je vystaven vyšším nárokům na volbu vhodné odrůdy, schopné produkovat i v nepříznivých podmínkách uspokojivý výnos (Kuchtová *et al.* 2008).

Vzhledem k velkému množství odrůd řepky na českém zemědělském trhu je žádoucí tyto odrůdy roztrždit s ohledem na jejich odolnost (adaptabilitu). Vhodný, levný a rychlý způsob spočívá ve využití metod založených na klíčení semen v suboptimálních podmínkách. Optimalizace těchto metod pro řepku z mého pohledu ještě více usnadní orientaci šlechtitelů i pěstitelů mezi jednotlivými odrůdami.

1.1 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je optimalizovat metodu laboratorního klíčení řepky olejky v stresových podmínkách (stres vysokou a nízkou teplotou, zasolením a imitace sucha) a ověřit citlivost této metody k rozlišení jednotlivých genotypů řepky.

Mezi dílčí cíle patří:

- stručně popsat, charakterizovat a diskutovat nejvýznamnější olejninu v ČR – řepku olejku
- stručně charakterizovat vliv očekávaných klimatických změn v podmínkách České republiky
- vyjmenovat a popsat dopady klimatických změn na zemědělství a zemědělskou produkci v ČR

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 ŘEPKA

2.1.1 Význam

Řepce olejce patří první místo mezi olejninami pěstovanými na území ČR (2. slunečnice, 3. mák) a zároveň je 3. nejrozšířenější plodinou u nás (1. pšenice ozimá, 2. ječmen jarní). Od 90. let začal význam řepky pro české hospodářství markantně stoupat. Svou úlohu v tom sehrála větší poptávka po využívání rostlinných olejů ve stravě. Nově zavedené odrůdy tzv. dvounulky (00; neobsahují kyselinu erukovou a mají velmi nízký obsah glukosinolátů - GSL), mohly nabídnout kvalitní zdroj nutričních látek (Klíma & Koprna 2008). V posledních letech vzrostl význam řepky jako hlavní suroviny při výrobě bionafty – zdroje obnovitelné energie. Dále najde řepka využití pro krmné účely, jako zelené hnojivo a v chemickém průmyslu (oleochemie) (Vašák *et al.* 2000).



Obrázek 1 *Brassica napus* L. - znázornění morfologie rostliny (Zdroj: <http://pharm1.pharmazie.uni-greifswald.de/allgemei/koehler/koeh-167.jpg>)

Pro českou ekonomiku má pěstování řepky obrovský přínos, figuruje jako „nejvýznamnější exportní komodita z okruhu rostlinné výroby v ČR.“ (Vašák *et al.* 2000). Pro zemědělce je stále nejdůležitějším aspektem výnos plodin a jeho zpeněžení, které zároveň slouží jako signifikantní kritérium při porovnávání plodin a odrůd

(Baranyk *et al.* 2005). Při nepříznivých klimatických podmínkách působí na plodinu stresové faktory, které většinou negativně ovlivní konečný výnos. Proto se šlechtitelské úsilí zaměřuje na selekci takových odrůd (genotypů), které vykazují vysokou míru adaptability (tolerance ke stresu) a v rizikových podmínkách stresu nabídnou stabilnější výnos než méně adaptabilní odrůdy. Používání plastičtějších (adaptabilních) odrůd omezuje nutnost chemických (pesticidy) a agrotechnických zásahů, což je nezanedbatelný přínos jak z hlediska ekonomického, tak z pohledu ochrany životního prostředí (Vyvadilová *et al.* 2007, Kuchtová *et al.* 2008). Plastičtější odrůdy také rychleji a lépe reagují na abiotické stresy (Urban, osobní sdělení). Mezi plastické odrůdy patří i odrůda Cadeli, se kterou v této BP pracujeme.

2.1.2 Charakteristika, původ a rozšíření řepky

Brukev řepka olejka (*Brassica napus* L.) patří mezi dvouděložné rostliny čeledi brukvovitých (*Brassicaceae*), kde spadá také tuřín, vodnice nebo ketrán. Do stejné čeledi řadíme další zemědělsky významné plodiny počínaje zelím, květákem a kapustou přes ředkev, brokolici a v neposlední řadě pekingské zelí, křen atd. Většinu zástupců čeledi brukvovitých tvoří (jednoleté) byliny. Charakteristicky utvářené čtyřčetné květy, připomínající svou stavbou tvar kříže, dali této čeledi alternativní název křížaté (*Cruciferae*). Drobné květy bývají uspořádány v hroznech, popřípadě skládají latovité květenství. Nejčastějším plodem brukvovitých je šešule nebo šešulka, ale nalezneme zde i plody nepukavé (Kubát 2002). Brukvovité obsahují glukosinoláty, což jsou organické sloučeniny sekundárně produkované rostlinou při ochraně proti škůdcům. Tyto látky mají na svědomí štiplavou chuť rostlin, i to že po rozemnutí rostlina charakteristicky zapáchá. V posledních letech jsou brukvovité zeleniny (nejvíce brokolice) ceněny pro své protirakovinné účinky.

Do čeledi brukvovitých zahrnujeme 380 rodů s 3200 druhy, vyskytujících se převážně v mírném pásu severní polokoule. V České republice se můžeme setkat se 150 druhy, zařazených do 50 rodů. Celá řada zástupců brukvovitých slouží jako vyhledávaný zdroj potravy v podobě zeleniny či olejnatých semen. Málo se ví, že i přes

velmi příznivou cenu je řepkový olej druhým nejhodnotnějším z hlediska složení po oleji olivovém. Olej získaný z řepky olejky slouží také k technickým účelům. Některé druhy z čeledi brukvovitých využíváme jako krmivo pro zvířata, najdeme zde významné medonosné i obtížné plevelné rostliny (Baranyk et al. 2005).

Rod *Brassica* tvoří několik druhů využívaných člověkem pro získání olejnatých semen. V této práci se zaměříme hlavně na brukev řepku olejku (*Brassica napus*) - dominantní olejnatou plodinu pro Evropu. Její pěstování převládá také v Číně a rovněž v Kanadě si vybudovala silné postavení vedle dalšího druhu brukve řepáku - řepice (*Brassica rapa, syn. campestris*). Jiným druhem rodu *Brassica*, rozšířeným hlavně v Číně a Indii, nicméně také v Severní Americe i Austrálii, je brukev sítinovitá (*Brassica juncea*). Brukev kýlnatá - hořčice habešská (*Brassica carinata*) se pěstuje výhradně v severovýchodní Africe (Vašák et al. 2000), má původ v Etiopii a je velmi odolná abiotickým i biotickým stresům (Urban, osobní sdělení).

Brukev řepka (*B. napus*) nepochází z jediného výhradního planého předka, nýbrž pravděpodobně vznikla spontánním křížením dvou druhů rodu *Brassica*. Mateřskou rostlinou se v tomto případě stala brukev zelná (*B. oleracea*), jejíž kultivary představují celou řadu košťálové zeleniny (zelí, kedluben, kapusta, květák, brokolice). Otcovskou rostlinu zastupuje brukev řepák (*B. rapa*). Tito rodiče svého potomka *B. napus* vybavili amfidiploidní sadou s 38 chromozomy v jádru (Baranyk et al. 2005).

Svůj původ má řepka olejka v středomořském genovém centru, odkud se postupně rozšířila do dalších oblastí. Nejpříznivější podmínky našla řepka v podnebí charakteristickém pro mírný pás, případně subtropickou oblast. Díky tomu se s ní můžeme setkat zejména na polích Evropy, Číny a Kanady. Pěstována je ve dvou formách a to jarní a ozimá, lišící se zejména délkou vegetační doby, potřebou jarovizace (ozimy), začátkem kvetení a hlavně i výnosem (vyšší u ozimé formy) (Baranyk et al. 2005). I když je jarní forma řepky světově rozšířenější, v oblasti střední a západní Evropy se pěstuje převážně ozimá forma řepky, která v našich klimatických podmínkách lépe prosperuje. Výnosovost jarní formy na našem území je totiž až o polovinu slabší než je tomu u řepky ozimé (Klíma & Koprna 2008).

2.1.3 Životní cyklus

Řepka olejka je jednoletá bylina. Na podzim vytváří ozimá forma listovou růžici a takto přečkává zimu. Z mohutného kulovitého kořene na jaře vyrůstá 80 až 220 cm dlouhá lodyha, která nese listy lyrovitého tvaru a v době kvetení zpravidla sytě žluté malé květy tvořící hroznovité květenství. K opylení dochází nejčastěji samosprašnou cestou, příležitostně i cizosprašně. Řepka je vyhledávanou rostlinou včel, které se největší měrou podílejí na cizosprašném opylení (Baranyk *et al.* 2005). Opylování včelami zvyšuje výnos řepky až o 25 % (Urban, osobní sdělení). Opylené květy se přeměňují v pukavé plody šešule. Tyto asi 4 cm dlouhé plody obsahují zpravidla 15 – 50 drobných semen, v závislosti na odrůdě. Semeno řepky olejky můžeme charakterizovat jako drobné, kulovité, uložené v šešuli ve více sadách. Hmotnost tisíce semen (HTS) činí 3,8 – 5,8. Zralá semena jsou nejčastěji černě zbarvena, ale existují také žlutosemenné odrůdy (Vašák *et al.* 2000), které mají méně vlákniny v osemeni, a mají tedy vyšší olejnatost.

Životní cyklus řepky ozimé v našich klimatických podmínkách trvá 11 až 12 měsíců. Jedná se o plodinu poměrně nenáročnou, pokud jde o přírodní podmínky, nicméně nejlépe prospívá v bramborářských a řepařských výrobních oblastech. Z pohledu půdní zásoby živin je ovšem řepka plodinou velmi náročnou a „hladovou“. Pro dobrou vzcházejivost řepce vyhovuje dostatek srážek po zasetí, tj. přelom srpna a září. Při nadměrných srážkách, kdy je půda zamokřená déle než týden, však hrozí vyhnívání rostlin (Baranyk *et al.* 2005).

Další hrozbou negativně ovlivňující přezimování jsou déle trvající holomrazy (pod -20 °C), nadměrné sucho v období prodlužování lodyhy nebo vysoké teploty v období květu. Příliš řepce nesvědčí ani velké rozdíly teplot mezi dnem a nocí (kolísání o více než 20 °C) (Vašák *et al.* 2000). Klimatické změny kladou vyšší nároky na odolnost plodiny vůči nepříznivým přírodním vlivům, zároveň nutí zemědělce přizpůsobit své zavedené výrobní postupy těmto novým podmínkám (Masarovičová *et al.* 2004). Doporučuje se například šlechtění odrůd s vyšší tolerancí k suchu nebo pozdější setí vhodných odrůd. Podle Makowského a Röhla (2013) se probíhající změny klimatu

podepisují na vývojových fázích řepky. Více než třicetileté fenologické pozorování například odhalilo významně ranější nástup doby kvetení – průměrně o 19 dní dříve.

Jak zmiňuje Štranc *et al.* (2005) pro řepku je velmi zranitelným obdobím fáze klíčení. Obecně aby rostlina vůbec začala klíčit, potřebuje k tomu specifické podmínky. Pokud tyto podmínky nejsou optimální, dostává se do stresu. Jestliže není schopna se se stresovými podmínkami adekvátně vyrovnat (to závisí na vnitřních vlastnostech semene, tedy aktivitě enzymů v semeni), semeno nevyklíčí. Vyklíčí pouze kvalitní osivo, což se projeví i na celkových výnosech (Šerá 2014). Masarovičová *et al.* (2004) zdůrazňuje nutnost šlechtění plastičtějších odrůd a linií řepky olejky, které méně citlivě reagují na sucho a další suboptimální podmínky, zejména v období setby. Bláha a Vyvadilová (2012) zmiňují vliv kvalitního osiva řepky na následnou celkovou odolnost sledované populace v dalších fázích jejího vývoje a na výnos. Proto se nyní blíže zaměříme na specifika fáze klíčení a posléze na rizika v době klíčení.

2.2 KLÍČENÍ SEMENE

Nejprve si tedy stručně popíšeme samotný průběh klíčení semene ve vhodných podmínkách.

U krytosemenných rostlin dochází po oplození mateřské rostliny ke změnám transformující vajíčko v semeno se zárodkem nové generace. Semeno slouží jako spolehlivý prostředek k rozmnožení a rozšíření populace. Vnější obal semene tvoří osemení (testa). Uvnitř semene se nachází zárodek (embryo), který představuje základ budoucí rostliny (Štranc *et al.* 2005). Brukvovité rostliny nemají vyvinuté živné pletivo (endosperm) sloužící embryu jako zdroj zásobních látek. Vyživovací funkci zde přebírají dělohy. U řepky jakožto dvouděložné rostliny jsou součástí zárodku dvě dělohy dodávající embryu srdčitý tvar. Tyto dělohy obklopují plumulu – embryonální základ vzrostného vrcholu. Plumula přechází v hypokotyl (základ budoucího stonku) a na něj plynule navazuje radikula (kořínek – základ budoucího primárního kořene). Takto semeno přečkává v klidovém stavu jen s minimální aktivitou životních procesů (Procházka *et al.* 1998) až do doby, než nastanou příhodné podmínky pro klíčení.



Obrázek 2 Ukázka naklíčených semen hybridu ČŽLxCad v 150 mM NaCl (Zdroj: autor)

Procházka *et al.* (1998) charakterizuje klíčení jako „obnovení metabolické aktivity semen vedoucí k prodloužení buněk radikuly a hypokotylu embrya,“ (Procházka *et al.* 1998, s. 348). Dochází k němu v podmínkách, kdy je semeno schopno nasát potřebné množství vody. Pro semena řepky činí množství vody využívané ke klíčení asi 60 % hmotnosti semene (Čvančara 1962). Fáze nasávání vody se nazývá bobtnání (imbibice). Uvnitř semene dochází k čistě fyzikálnímu jevu - hydrataci protoplazmy a buněčných struktur, naředění inhibičních látek atd. (Štranc *et al.* 2005). K bobtnání (imbibici, hydrataci) a nabývání na objemu ale může docházet i v případě semen, která následně nevyklíčí (obsahují např. neživé embryo). Tato fáze může být anaerobní. Dormance a další růstové pochody jsou řízeny na základě informací přenášených fytohormony (kyselinou abscisovou a gibbereliny; Pavlová 2005).

Teplota prostředí je dalším faktorem, který při klíčení hraje důležitou roli. Teplotní optimum se různí v závislosti na druhu, ale i odrůdě, provenienci a stáří osiva (Procházka 1998). Pro řepku olejku se udává optimální teplota klíčení na 15 – 20 °C, přičemž nejnižší teplota, při které je řepné semeno schopné klíčit, začíná na 1-2 °C (ovšem jen po omezenou dobu). Při teplotách nad 40 °C semeno řepky svou schopnost klíčit obvykle ztrácí a na těchto teplotách jsou založeny testy tzv. umělého stárnutí osiva (Štranc *et al.* 2005).

Po fázi bobtnání, která nevyžaduje přísun kyslíku (anaerobní fáze) dochází k samotnému fyziologickému klíčení, kdy jsou aktivovány metabolické procesy a dochází k růstu embrya. Narůstá enzymatická činnost a dýchání – tato fáze je již velmi citlivá na hypoxii či anoxii (nedostatek či sníženou koncentraci kyslíku; Míka 2002). Nároky na energii a stavební látky jsou stále vyšší, proto dochází k mobilizaci zásobních látek z rezervoárů semen, tj. z děloh. Semeno řepky obsahuje mnohem více tuků (45 – 50 %) než dalších zásobních látek ve formě sacharidů a bílkovin, tuk tak tvoří hlavní zdroj zásobních látek. V počáteční fázi klíčení je energie čerpána z malých zásob sacharidů, které jsou ale brzy spotřebovány (Štranc *et al.* 2005). Toto období však netrvá déle než 36 hodin, obvykle okolo 24 hodin. V dalším průběhu klíčení, dochází k mobilizaci tuků. Z nich semeno dokáže využít až 2x více energie než ze sacharidů (Štranc *et al.* 2005). Uvnitř semene probíhají procesy štěpení tuků a jejich následné

transformace v sacharidy. Množství sacharidů se zvětšuje a následně se využijí k prodlužovacímu růstu základů mladé rostlinky (Luštinec & Žárský 2003).

Pro vnějšího pozorovatele je klíčení patrné až když kořínek (radikula) prorazí osemení (testu). Tento moment je zásadní, jelikož se embryo poprvé dostává do kontaktu s vnějším prostředím (Pavlová 2005). Současně dochází k prodlužování hypokotylu, který nese dělohy a plumulu. U dvouděložných rostlin rozeznáváme klíčení nadzemní (epigeické) a podzemní (hypogeické) klíčení, podle toho zda dělohy zůstávají pod zemí nebo nad zemí. V případě řepky olejky dochází k epigeickému klíčení (Štranc *et al.* 2005). Hypokotyl s dělohami a plumulou roste a směřuje heliotropicky nad povrch půdy. Prasklé osemení, které tvořilo čepičku na dělohách, opadá a dělohy na slunci zezelenají. Tyto první lístky mladé rostlinky fungují jako fotosyntetický aparát k asimilaci organických látek. Ze vzrostného vrcholu (plumuly) vyrůstá prýt mladé rostliny (Procházka *et al.* 1998).

Jak bylo uvedeno výše, semeno vyžaduje ke klíčení určité příznivé podmínky, zejména dostatek vláhy, vhodnou teplotu a kyslík. Dokud se semeno nachází v klidovém (dormantním) stavu, jeho schopnost přečkat nepřízeň prostředí je značná. Období klíčení však patří k jedné z nejzranitelnějších etap v životě rostliny. Proměnlivé podmínky vnějšího prostředí mohou zpomalit či ohrozit zdárný vývoj a životní funkce klíčící nové generace, či dokonce rostlinu poškodit do té míry, která vede k úhynu jedince. Tyto potenciálně ohrožující vlivy označujeme jako stresové faktory (Procházka *et al.* 1998) a pohovoříme o nich níže.

2.3 STRES ROSTLIN

Termín stres používáme pro stav, kdy je organismus vystaven vlivu stresových faktorů. V tomto stavu probíhá v organismu řada reakcí ve snaze opět nastolit rovnováhu (Kraner *et al.* 2010).

Navzdory tomu, že je problematika stresu rostlin intenzivně zkoumána na různých úrovních, stále toho víme poměrně málo o stresu semen (Kraner *et al.* 2010). Semeno v sobě ukrývá zárodek nové rostliny, jeho význam pro reprodukci rostlin je proto zcela zásadní. Působení stresových faktorů na semena rostlin se významně odráží na produkci a výnosu kulturních plodin. Negativní či pozitivní působení stresorů na semena může mít nezanedbatelný dopad na zemědělství i biodiverzitu rostlin (Kraner *et al.* 2010).

Díky klíčové roli v reprodukci rostlin se u semen vyvinuly jisté ochranné mechanismy, jako například stav dormance, které pomáhají budoucí generaci vyrovnat se s negativními dopady okolí. Dormanci označujeme klidové stádium, kdy jsou veškeré životní funkce semena utlumeny na minimum a takto je semeno schopné přečkat extrémní podmínky aniž by došlo k poškození jeho schopnosti klíčit, tedy neztrácí svou životnost (Gupta 2009). Životnost semen některých druhů rostlin je obdivuhodná. V optimálních skladovacích podmínkách může tato maximální doba klíčivosti činit až stovky let. V egyptských hrobkách byla nalezena zrna pšenice, schopná klíčení. U brukvovitých rostlin se setkáváme s maximální dobou klíčivosti semen kolem 10 let (Procházka *et al.* 1998). V kontrastu k tomuto stabilnímu období se fáze klíčení semene vyznačuje poměrně značnou citlivostí vůči stresorům.

Stresory dělíme podle toho, zda je původce stresu živý organismus (patogenní organismy, herbivoři, vzájemný vliv rostlin) nebo se jedná o působení neživých – abiotických - složek prostředí (extrémní teploty, sucho, toxické kovy a plyny, nedostatek živin či nadbytek iontů solí, nadměrné záření) na biotické a abiotické faktory (Procházka *et al.* 1998).

V rámci této práce budeme věnovat pozornost výhradně abiotickým stresovým faktorům a tomu, jaké účinky vyvolává jejich vliv na vývoj rostlin, konkrétně na klíčení

primárního kořene semen. Tento aspekt dosahuje klíčového významu v podmínkách globálních změn klimatického systému, kdy se stále častěji setkáváme s extrémními meteorologickými jevy a rostliny musí čelit značně proměnlivým podmínkám prostředí. Pozornost se proto zaměřuje na studium stresových reakcí, adaptačních schopností rostlin – tedy geneticky podmíněnou odezvu na stresor a schopnost aklimace – přechodné zvýšení odolnosti vůči stresovému faktoru (Procházka *et al.* 1998). Jako jednou z cest, jak se vyrovnat s klimatickými změnami, které představují hrozbu pro sektor zemědělství a potravinovou zabezpečení lidstva, se jeví šlechtění rostlin odolných vůči abiotickým stresům. Mezi nejvýznamnější stresové faktory řadíme:

Nedostatek vody. Procházka *et al.* (1998) uvádí nedostatek vody jako klíčový abiotický faktor, který globálně nejvíce negativně ovlivňuje růst a produktivitu rostlinstva. Voda tvoří hlavní složku těl rostlinných organismů (listy mohou obsahovat 95% a dužnaté plody až 99% vody), hraje nezastupitelnou roli při transportu látek (živin), uplatňuje se při fotosyntéze a transpiraci. Většina vyšších rostlin se jen těžko vyrovnává s nedostatkem vody, jímž je neustále ohrožena. Vodní stres má za následek zpomalení či zastavení růstu buněk rostliny, způsobeného poklesem turgoru v buňce. Dále dochází k ovlivnění hlavních metabolických procesů (klesá rychlost fotosyntézy) a mění se aktivita enzymů. V těle rostliny dochází ke hromadění toxinů, mění se stavba kutikuly a počet průduchů (Bláha *et al.* 2002). Navenek se vodní stres projevuje vadnutím, žloutnutím a následně opadáním listů. Při špatném přístupu k vodě reaguje kořenový systém rostliny prodloužením ve snaze získat vodu z hlubších vlhčích vrstev půdy. Plody rostlin stresovaných suchem bývají malé, svaštělé a snadno dochází k jejich opadání, taktéž květy mají tendenci opadávat. U kulturních plodin mají výše uvedené skutečnosti za následek nižší výnos a při dlouho trvajícím suchu může být ohrožena potravinová bezpečnost lidské populace.

Ačkoliv semena obsahují pouze 5 – 15 % vody a v klidovém stádiu vykazují značnou odolnost vůči nedostatku vody, jinak je tomu u klíčících semen. Pro semena je dostatek vody nezbytným předpokladem klíčení a růstu mladé rostliny. Klíčící semena, u kterých se projevuje vodní stres, nedávají dobrý základ pro kvalitní vegetaci, jež se bude schopná vyrovnat se zvýšenými nároky prostředí. V klimaticky nestálých podmínkách vyvstává požadavek na plasticitu odrůd kulturních plodin, které mají větší

šanci čelit stresorům a zajistit stabilní výnos. Ceněny jsou zejména takové fyziologické vlastnosti semen, které souvisí s efektivním využitím vody během klíčení, rychlostí startu enzymatických reakcí při klíčení semen a v neposlední řadě vitalitou semen. Vitalitu semen lze chápat jako odolnost vůči stresorům během období klíčení (Bláha & Pazderů 2011). Takováto vitální osiva dávají vyrůst rostlinám s kvalitnějším kořenovým systémem a celkově odolnějším k nedostatku vody a dalším stresovým faktorům. Šlechtění kvalitních vitálních semen schopných klíčit v menším množství vody je důležitým faktorem přispívajícím k trvale udržitelnému zemědělství (Bláha & Pazderů 2011). Vyvadilová a Klíma (2012) uvádějí odolnost odrůd vůči nepříznivým podmínkám prostředí, zejména nedostatku vody, jako jeden z cílů při šlechtění řepky olejky.

Extrémní teploty vysoká a nízká. Teplota spolu s dalšími faktory prostředí významně ovlivňuje růst a vývoj rostliny. Optimální teplota, tedy teplota, která umožňuje nejrychlejší růst rostlinného organismu, se druhově liší. Nicméně teplotní rozmezí pro zdárný růst a vývoj většiny rostlinných druhů se udává okolo 5 – 35 °C. Minimální teplota označuje hranici, při které růst už začíná a maximální teplota naopak teplotní podmínky, za kterých růst už ustává.

Optimální a maximální teplota pro klíčení dosahuje většinou o něco nižších hodnot než teplota vhodná pro růst rostliny. Kardinální body (minimum, optimum, maximum) ve vztahu ke klíčení mohou být mírně odlišné nejen podle rostlinného druhu, ale překvapivě i odrůdy, provenience a stáří osiva (viz výsledky Bláhy *et al.* 2012). U řepky olejky začíná klíčení při 1 – 2 °C, přičemž nejlepší klíčivosti dosahuje při teplotě 20 °C. Překročí-li teplota okolního prostředí hranici 40 °C, dosáhla bodu maxima, při kterém se semeni již nedaří klíčit (dochází k denaturaci bílkovin, plazmatických membrán a snižuje se stabilita enzymů; Vašák *et al.* 2000).

Rostlina vystavená teplotnímu stresu tedy vykazuje zpomalený růst, a pokud teplota přesáhne 40 °C, odehrávají se zásadní změny hlavně na buněčných membránách i proteinech. To jak dalece bude rostlina teplotním stresem postižena, závisí na kombinaci dané teploty a doby expozice teplotnímu stresu. V odezvě na přehřátí začíná rostlinný organismus rychle syntetizovat množství stresových proteinů (např. heat-shock proteins HSP, nebo tzv. dehydriny), které slouží jako nástroj aklimace

(Procházka *et al.* 1998). Množství stresových hormonů indukovaných chladem je daleko nižší. Většina rostlinné vegetace se jen těžko vyrovnává s teplotami pod bodem mrazu, jelikož při takto nízkých teplotách se v rostlinných strukturách bohatých na vodu tvoří krystalický led a v podstatě dochází k dehydrataci buněk. Chladová/mrazová dehydratace je způsobena únikem vody z buňky do protoplastu i díky poškozené buněčné stěně. Některé teplomilné rostliny však „prožívají“ teplotní stres i při poklesu teploty pod +10 °C. Opět zde významně záleží na délce doby, po kterou chlad na rostlinu působí.

Rostliny reagují na teplo citlivě, o čemž svědčí i pásmovité uspořádání vegetačního pokryvu Země, úzce souvisejícího právě s rozvrstvením teplot při zemském povrchu. Současný trend zvyšování globální teploty provázeného teplotními výkyvy a extrémy (vysoká i nízká teplota) klade nároky na výběr nových vhodných plodin a odrůd pro regiony obzvláště zasažené změnou klimatu. Pro střední Evropu se do budoucna uvažuje o pěstování takových plodin, které jsou nyní typické spíše pro jih Evropy.

Vliv zasolení. Posledním abiotickým faktorem, kterému budu ve své práci věnovat zvýšenou pozornost (nikoliv však posledním abiotickým stresorem působícím na rostliny v jejich přirozeném prostředí) je stres vzniklý nadměrným působením iontů solí. Zasolené půdy se zdaleka netýkají pouze regionů v blízkosti moře a slaných jezer, ale mohou být vážným problémem všude tam, kde dochází k nadměrnému výparu a současně nedostatečnému přísunu srážek. Zde opět narážíme na souvislost s klimatickými změnami, jelikož se předpokládá rapidně zvýšená evapotranspirace (tj. ztráta vody výparem a transpirací rostlinami) způsobená nárůstem globálního oteplení a současně nerovnoměrné zásobení srážkovou vodou (vlny sucha střídají přívalové deště). K zasolení však dochází rovněž nadměrnou aplikací průmyslových hnojiv nebo např. v zimním období kolem rychlostních komunikací ošetřených posypovou solí či dlouhodobým nevhodným zavlažováním (např. vodou bohatou na soli či přílišným promyvením profilu závlahovou vodou; Holubec & Štolcová 2002). Bláha (2011) zmiňuje fakt, že v současnosti se téměř polovina světové produkce potravin pěstuje na zavlažovaných plochách.

Zasolené půdy mají menší úrodnost, nemohou tudíž dostatečně zásobit rostliny potřebnými živinami. Nadměrná koncentrace iontů sodíku a chlóru poškozuje rostlinné tkáně, působí toxicky. Sůl působí v rostlinném organismu také osmoticky, vede ke zvyšování (do záporných hodnot) osmotického tlaku. Z rostlinných buněk uniká voda a ztrácí turgor. Jelikož se v podmínkách zvýšené salinity nedostává rostlinnému organismu dostatek vody – o to více poté rostlina musí vynaložit energii na její získání, bývá tento faktor výrazně limitní zvláště v období klíčení, kdy je dostatečný přísun vody nezbytný (Holubec & Štolcová 2002).

Rostliny byly vystavovány nepříznivým vlivům prostředí již odedávna. Následkem delšího vlivu stresorů se mohou vyvíjet rozmanité adaptační mechanismy rostlin, které pomohou rostlině do jisté míry tolerovat sub-optimální podmínky. Zvýšená variabilita počasí, která je podle Bláhy (2011) hlavním negativním faktorem pro zemědělskou produkci, přispěla k zvýšenému úsilí šlechtitelského výzkumu selektovat genetický materiál s širokou plasticitou (adaptabilitou), schopným čelit těmto podmínkám.

2.4 KLIMATICKÁ ZMĚNA V ČR

Příznivé podnebí, tedy takové dlouhodobé atmosférické podmínky charakteristické pro určitou oblast, vhodné mj. pro pěstování důležitých kulturních plodin, působilo v historii lidstva jako jeden z významných faktorů pro velký rozmach civilizací.

Od dob prvních zemědělců prošlo lidstvo nevídanými změnami a pro mnohé z nás již není rolnictví hlavním zdrojem obživy. Díky rozvoji dopravy a infrastruktury si můžeme běžně v zimních měsících, v mírném pásu, na severní polokouli dopřát čerstvé pomeranče. Vědecko-technický pokrok dává nové možnosti v oblasti produkce a zpracování potravin. Potravinářský průmysl nám nabízí nepřeborné množství polotovarů a produktů s dlouhou trvanlivostí. Rovněž intenzivní způsob zemědělského hospodaření usiluje o hojné výnosy plodin s minimálními vstupy, díky čemuž obyvatelé tzv. vyspělých ekonomik (zemí) netrpí nedostatkem potravin. Může se nám pak lehce zdát, *že jsme přírodu přelstili, že už na ní nejsme bezpodmínečně závislí*. Mluví se o odcizení moderního člověka přírodě. Nicméně tato iluze nezávislosti mizí, jakmile se příroda projeví v plné síle v podobě ničivé přírodní katastrofy nebo dlouhodobého sucha. Produkty zemědělské výroby zůstávají a nikdy nepřestanou být stále primárním zdrojem potravy pro většinu obyvatel naší planety a možnosti zemědělské produkce konkrétní oblasti jsou limitovány přírodními podmínkami a klimatem, charakteristickým pro danou oblast. V posledních letech se klima stalo často skloňovaným pojmem, zejména v souvislosti s *globální změnou klimatu*.

Podle pravidelných hodnotících zpráv vydaných Mezivládním panelem pro změnu klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change, zkr. IPCC) jsme svědky již probíhajících změn klimatu. IPCC vznikl v roce 1988 z potřeby posoudit nejnovější výzkumy v oblasti změny klimatu a vyhodnotit socio-ekonomický dopad těchto změn a rovněž navrhnout opatření, jak se s těmito změnami vyrovnat. V historii Země nejsou změny klimatických podmínek ničím novým, avšak tyto změny se povětšinou děly pomalým tempem ve velkém časovém horizontu. Za takové změny klimatu považujeme například střídání dob ledových a meziledových v souvislosti s vychýlením zemské osy (Žalud 2009). Nastupující globální změny podnebí, jejichž další vývoj očekáváme v průběhu následujících desetiletí, mají rychlejší průběh, než jak to známe

z minulosti, s převážně negativními důsledky na zemědělství a další oblasti lidské činnosti vázané na podnebí. V současnosti se také většina odborníků z oblasti klimatologie a příbuzných oborů shoduje na historicky výjimečném vlivu člověka na klimatickou změnu. Podle zatím poslední hodnotící zprávy IPCC, vydané v průběhu roku 2013 a 2014, je téměř jisté, že lidé svou činností, zejména spalováním fosilních paliv, přispívají ke změně klimatu více jak z 50 % (IPCC 2014).



Obrázek 3 Projekce teploty a srážek do roku 2030 (Zdroj: Pretel 2011, ČHMÚ, uvedeno se souhlasem autora)

Žalud (2009) rozlišuje pojmy kolísání klimatu a změna klimatu: „Pojmem kolísání klimatu se rozumí klimatické výkyvy s nejasným dlouhodobým trendem v časovém intervalu 10^0 - 10^2 roků, které jsou podmíněny vnitřní variabilitou klimatického systému a kolísáním klimatotvorných faktorů. V případě změn klimatu jde o klimatické výkyvy se zřetelně vyjádřeným dlouhodobým trendem (ochlazování, oteplování) v časovém intervalu 10^3 roků a více, které jsou následkem změny základních klimatotvorných faktorů.“

Podle stanoviska odborníků z IPCC můžeme pozorovat změny v atmosférickém složení zapříčiněné člověkem. S nástupem průmyslové revoluce se ve značné míře začaly spalovat fosilní zásoby, dříve po staletí uložené pod zemským povrchem. Masovým spalováním fosilních paliv se do atmosféry dostává velké množství skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého (CO_2).

Podle 5. hodnotící zprávy se současná klimatická změna projevuje v přírodních ekosystémech i v člověkem řízených ekosystémech, přitom nejmarkantnější důsledky klimatické změny můžeme pozorovat právě v přírodních ekosystémech (IPCC 2014). V druhé polovině 20. století byl pozorován zrychlený nárůst průměrné teploty spodních

vrstev atmosféry, oteplování oceánů. Zvýšená míra tání sněhu a ledu vedou ke změnám v hydrologických systémech. Výkyvy srážkových režimů a větší frekvence extrémně teplých dnů a období sucha pravděpodobně zvýší riziko nedostatku vody v mnoha regionech. Klimatická změna, ač se v některých oblastech může projevit pozitivně, například očekávaným rozšířením zemědělských výrobních oblastí v severní a západní Evropě, přináší pro mnohé země spíše rizika a výzvy spojené s přizpůsobením se novým podmínkám. IPCC varuje proti nynějšímu tempu emisí skleníkových plynů, jež bude mít za následek závažné a nevratné změny ve všech ekosystémech (IPCC 2014). Ve snaze zmírnit dopady těchto změn odborníci apelují na zavedení konkrétních opatření, které můžeme rozdělit do dvou základních směrů, na mitigační a adaptační opatření. Mitigace, neboli zmírnění, počítá s razantním snížením emisí skleníkových plynů (Žalud 2009). Podle Žaluda (2009) však „nelze předpokládat, že se nám v nejbližší době podaří pouhým snižováním emisí rizika dopadů probíhajících změn zcela odvrátit“, proto se stále častěji zdůrazňuje implementace adaptačních opatření, která mají zmírnit negativní dopady změny podnebí.

Pokud jde o produkční funkci, „Vyšší teplota vzduchu, ale i půdy přináší celý komplex vlivů na agroklimatologické podmínky. Průběh teplot určuje vývoj plodin a tím i načasování většiny agrotechnických operací. Nárůst teploty přináší jak nové možnosti, tak rizika pro určité skupiny plodin. Vyšší teploty vyvolávají rychlejší vývoj plodin, který též ovlivní organizace práce, například výsev řepky je limitován včasnou sklizní předplodiny (Pretel *et al.* 2011).“ Podle Kanga *et al.* (2009) klimatické změny ovlivní obsah vody v půdě, což povede ke změnám evaporace z půdního povrchu a zvýšení transpirace u rostlin. Následně změny evapotranspirace mohou vést ke zkrácení vegetační doby rostlin – dojde totiž k rychlému odčerpání využitelné vodní zásoby z půdního profilu (Kang *et al.* 2009). I když se předpokládá, že dopad globálních klimatických změn bude odlišný v různých částech planety – v některých oblastech dokonce můžeme počítat s kladným vlivem na růst zemědělské produkce (např. Rusko) – budou výše zmíněné změny spolu s očekávaným nárůstem extrémních projevů počasí představovat velkou výzvu ohledně udržení takových výnosů plodin, které by neohrožily potravinovou bezpečnost stále početnější světové populace (Kang *et al.* 2009, Tirado *et al.* 2010).

Environmentální funkce zemědělství spočívá ve významném krajinotvorném vlivu. Způsob jakým se hospodaří na zemědělské půdě a prostředky k podpoření větších výnosů plodin (intenzifikační prostředky) zásadně ovlivňují kvalitu půdy, vody a biodiverzitu blízkého okolí. (Penk 2001). V Evropě připadá až 1/3 spotřeby vody právě na zemědělství a zároveň tvoří zemědělsky obdělávaná půda obrovský retenční prostor pro vodu v krajině. Způsob zemědělského hospodaření se citelně podepisuje na retenční kapacitě krajiny (Pretel *et al.* 2011). Vzájemný vztah dopadu zemědělství na kvalitu povrchových a podzemních vod a nároku na velkou spotřebu vody zemědělskou produkcí, klade v podmínkách měnícího se klimatu velké výzvy na efektivnější hospodaření s vodou v krajině. Nutné budoucí změny v hydrologické praxi a managementu vody se následně odrazí také na adaptačních postupech v zemědělství (Tirado *et al.* 2010). V současné době se již i Vláda ČR analyticky zabývá materiály k omezení dopadu sucha, otevírá grantové a investiční záměry, které danou problematiku budou řešit (Urban, osobní sdělení). K dalším rizikům spojeným se suchem odborníci řadí zvýšení nároků na ochranu rostlin (vyšší spotřeba pesticidů díky většímu biotickému tlaku a novým teplomilným predátorům), vyplavování živin, změna dynamiky organické složky půdy a zhoršující se problém větrné eroze (Žalud 2009, Falloon & Betts 2009). Žalud (2009) vyzdvihuje významnou roli vědy a výzkumu při řešení specifických potřeb v nově vzniklých podmínkách (Žalud 2009) a potřebu vytvoření takové struktury, která by umožnila šířit nové poznatky a zavádět je do zemědělské praxe (Pretel *et al.* 2011). Na poli adaptačních opatření má nezanedbatelnou úlohu také šlechtění plastičtějších odrůd, lépe odolných vůči stresorům vnějšího prostředí i vůči biotickým faktorům (Žalud 2009). Mnozí jiní autoři publikují v tomto smyslu také. Např. Vyvadilová *et al.* (2007) poukazuje kromě produkčního přínosu také na ekonomické výhody a pozitivní dopad na okolní ekosystém při využívání odolnějších odrůd v zemědělské praxi.

Očekává se, že projevy globální změny klimatu se budou v různých částech světa lišit a mohou zesílit lokálně specifické charakteristiky podnebí pro daný region, např. v suchých oblastech se bude ještě více projevovat sucho, v oblastech bohatých na srážky očekáváme častější přísun srážek (Žalud 2009). S tím souvisí i rozdílný dopad na pěstované plodiny, kdy některé druhy budou v nových podmínkách více prospívat,

zatímco jiné druhy (zvláště citlivé na stres suchem) budou těmito podmínkami limitovány (Žalud 2009). Na rozdíl od snižování emisí skleníkových plynů je tedy zřejmé, že adaptační opatření mají spíše regionální a lokální charakter a pro zavádění adaptačních strategií je nezbytná znalost lokálních specifik, jakož i prognóz, vypovídajících o vývoji klimatu dané oblasti (Pretel *et al.* 2011; Obr 1).

Na základě výše uvedených informací bychom nyní stručně popsali možné scénáře změny klimatu pro Českou republiku, s důrazem na potenciální dopady na zemědělství. Pro území České republiky je charakteristické vlhké kontinentální klima (s určitým vlivem klimatu přímořského), s převahou studených zim a teplých lét. Nejsilnější deště obvykle přicházejí v létě, přičemž průměrný roční úhrn srážek pro Prahu činí 530 mm. Podle ACCRETe (2007) nevykazuje podnebí ČR žádné statisticky významné hodnoty, které by svědčily o klimatické změně. Pozorovaný charakter počasí během posledních desetiletí (podle údajů k roku 2007) je stále v rámci klimatické variability. Ovšem Pretel *et al.* (2011) poukazuje na nepřesnost používání globálních klimatických modelů (GCM) pro tak malé území, jako je ČR, které se zde do roku 2007 používaly pro odhad dopadů klimatických změn. Proto byl vyvinut nový regionální model, momentálně provozovaný ČHMÚ (Pretel *et al.* 2011). Podle Pretela *et al.* (2011) se klimatická změna nejvýrazněji projevuje na nárůstu průměrných ročních teplot a dokládá, že mezi obdobími 1961–1980 a 1981–2005 vzrostly v ročním průměru o cca 0,6–1,2 °C. Spolu s posuny v režimu srážek má nárůst teplot vliv na změny v hydrologické bilanci a evapotranspiraci (Pretel *et al.* 2011). Podle scénářů pro střední a východní Evropu očekáváme pokles množství srážek v letních měsících. V zimních měsících by naopak mělo srážek přibývat (ACCRETe 2007, Žalud 2009). Z toho vyplývá, že roční úhrn srážek zůstane podobný, nicméně dojde ke změnám v sezónním srážkovém režimu. Do letních měsíců spadá významné vegetační období většiny kulturních plodin a méně srážek v této fázi může vyvolat zápornou vodní bilanci a následně slabší výnosy plodin. Velmi pravděpodobně se také zvýší frekvence a intenzita letních horkých vln (heat-waves), stejně jako sucha a dalších extrémních projevů počasí (krupobití, přívalové deště, záplavy atd.; viz Obr. 1; ACCRETe 2007, Žalud 2009).



Obrázek 4 Eroze půdy v zemědělství (Zdroj: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_MEDIA/stelprdb1043194.jpg)

„Tyto krátkodobé projevy počasí spolu s dlouhodobými trendy změn v klimatickém systému se budou na zemědělské výrobě projevovat nepříznivě, a to až již náhlou přemírou vody, nebo naopak jejím relativně krátkodobým, ale dosti zásadním nedostatkem (Žalud 2009).“ V odpověď na probíhající a dále očekávané klimatické změny schválila vláda České republiky dne 3. března 2004 Národnímu programu zmírnění dopadů změny klimatu v České republice. V tomto programu podtrhuje důležitost zavedení náležitých adaptačních procesů a opatření také v sektoru zemědělství, které by pomohly českému zemědělství se s nastupujícími změnami podnebí co nejlépe vyrovnat. Pro účely této bakalářské práce nás nejvíce zajímá doporučení zavádět nové odolnější a výkonnější odrůdy (genotypy), které efektivněji využívají podmínky prostředí. Efektivita odrůd je zde vysvětlena tak, že přispívá k omezení agrotechnických zásahů při současném vyrovnaném výnosu, což nepochybně méně zatěžuje životní prostředí.

V hledáčku zemědělského výzkumu, který usiluje o selekci odolnějších genetických genotypů, pochopitelně figurují kulturní plodiny, jež jsou pro daný region významné. Takovou plodinou zásadního významu je v českých podmínkách nepochybně řepka olejka, na níž jsme se v naší práci zaměřili.

3. METODIKA

3.1 MATERIÁL

Ke zkouškám klíčivosti byla použita semena řepky olejky známého stáří a původu, získané ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby, v.v.i. v Praze Ruzyni (VÚRV). Jedná se o liniovou odrůdu Cadeli (původně vyšlechtěna ve Francii), dále čínský žlutosemenný genotyp¹ (ČŽL) a jejich křížence (hybrida) ČŽLxCadeli, který byl vytvořen v laboratoři Biologie stresu a biotechnologie ve šlechtění ve VÚRV. Vybrané materiály jsou dostatečně rozdílné z pohledu jejich ranosti, habitu, fenotypu apod. a jsou vhodné pro splnění cílů této BP (Urban, osobní sdělení). Použité genotypy jsou podrobně popsány v Tab. 1 (Urban, osobní sdělení).

Tabulka 1 Obecný popis použitých genetických zdrojů

Genotyp	Původ semen	Původ genotypu	Poznámka
Cadeli	Chlumec	Francie Monsanto SAS Monsanto Technology LLC (2008)	ozimá odrůda se střední mrazuvzdorností středně raná odrůda s vysokým výnosovým potenciálem vysoký obsah oleje rostlina středně vysoká s velkými listy HTS střední dlouhá doba kvetení, vhodná do všech oblastí pěstování výborná pokryvnost na podzim dobrý zdravotní stav a předpokládaná suchovzdornost vyhovující obsah GSL
ČŽL 20/2	VÚRV	Čína Šlechtitelský materiál Norhtwest A F University, Yangling	polo-ozimý charakter habitu s velmi nízkou mrazuvzdorností donor odolnosti k chorobám a světlé barvy osemení velmi raný genotyp rostlina nižší s menšími listy nevyhovující obsah GSL
ČŽL 20 x Cadeli	VÚRV	hybrid (matka ČŽL), vzniklý ve VÚRV	spíše ozimý charakter s nižší mrazuvzdorností spíše vyšší odolnost k chorobám střední doba kvetení, výborná pokryvnost na podzim spíše vyhovující obsah GSL

Rozdílnost genotypů a jejich hybrida také dokládají Tabulky 2 a 3 v části Výsledky.

¹ Genotyp (nebo také genetický, příp. šlechtitelský materiál) používáme jako označení (konkrétního druhu osiva), které je nadřazené pojmu odrůda. Název odrůda se používá pouze v případě genetického materiálu, který byl schválen úřadem ÚKZÚS¹. V našem případě je schválenou odrůdou pouze Cadeli. V případě ČŽL se jedná o šlechtitelský materiál, který zatím není oficiálně schválenou odrůdou v ČR. Křížence ČŽL x Cadeli rovněž není zařazen do Českého katalogu odrůd a proto pro jeho popis nemůžeme použít označení odrůda.

3.2 OBECNÉ ZÁSADY ZKOUŠEK KLÍČIVOSTI

Při sestavování technického postupu klíčení jsem vycházela z překladu metodiky klíčení ISTA, která vyšla v českém překladu jako edukativní materiál Ministerstva zemědělství (MZe), odboru rostlinných komodit, čj.: 34349/04-17220 v Praze 13. září 2004 a jmenuje se „Metodika a zkoušení osiva a sadby“ (Trnka 2004). Dále jsem pro sestavování metodiky klíčení řepky využila zkušeností Ing. Bláhy (osobní sdělení) a také jeho publikované metodiky (Bláha & Vyvadilová 2012). Z materiálu ISTA byla stanovena teplota klíčení semen *Brassica napus* na 20 °C ve tmě. Kromě vysokých teplot a teplot nízkých, se všechny varianty řídily tímto pravidlem teploty a tmy. Na základě materiálu Mze (Trnka 2004) a ISTA jsem se ve své výzkumné práci rozhodla pro následující:

- metoda s použitím filtračního papíru (tzv. na FP, v mezinárodních certifikátech označení TP – top of paper)
- hlavní část klíčící rostliny v našem případě tvoří primární kořen semene
- normální klíčenec má tyto parametry:
 - vykazuje schopnost trvale se vyvíjet – v našem případě růst primárního kořene $\geq 2\text{mm}$ (tzn. semeno NENÍ považováno za naklíčené, pokud kořen nedosáhnul tohoto rozměru²)
 - klíčenec může projevit slabou nekrózu špičky kořene v případě, že splní podmínku č. 1 a v případě, že jeho vývoj je uspokojivý, vyvážená, a srovnatelný s vývojem neporušených klíčenců v téže zkoušce
 - primární kořen musí být dobře vyvinutý a přiměřeně velký, velikost ani přítomnost kořenového vlášení nehraje roli

² Podle Pazderů jde v případě klíčení semen v osmoticky aktivních roztocích o důležitý předpoklad viability semen. Semeno může naklíčit, ovšem v případě polních podmínek je nutné, aby také dále rostlo. Tato premisa byla v mnoha případech (hlavně klíčení v NaCl) potvrzena jako pravdivá a velmi ovlivnila celkovou klíčivost i energii klíčení. Z pohledu cílů práce a využití výsledků této BP pro další výzkum doporučuji zachování započítávání naklíčených semen až po dosažení délky min. 2 mm. Min. délka kořenů zajistí, že semeno je schopno klíčit a dále se normálně vyvíjet a minimalizujeme tím negativní vliv změn koncentrace osmotických roztoků.

- abnormální klíčenec má tyto parametry:
 - jde o klíčence, který není schopen naklíčit primární kořen $\geq 2\text{mm}$
 - primární kořen je silně deformovaný, nekrotický či jinak poškozený I V PŘÍPADĚ, že splnil podmínku č. 1
 - klíčenec s primární vnitřní infekcí (tyto klíčence jsme průběžně odstraňovali a nebyli započítáváni do počtu normálně naklíčených semen, pokud nesplnili podmínku č. 1)
 - radikula nebo primární kořen nejsou vůbec vyvinuty, vyvinuty jsou jen děložní lístky (semeno je viabilní=životné, ale morfologicky abnormální)
 - primární kořen je zlomený, od špičky rozštěpený či zaškrčený, nitkovitý anebo uvízlý v osemeni
 - je vytvořena více než jedna radikula
 - tzv. tvrdá semena (zůstala tvrdá až do konce zkušebního období, protože nepřijala vodu)
 - tzv. svěží nevyklíčená semena (semena imbibovala vodou, zůstala zdravá a pevná, ale nevyklíčila)
 - tzv. mrtvá semena (na konci zkušebního období nezůstala ani tvrdá ani svěží nevyklíčená, tj. semena se silně narušeným zárodkem nebo bez zárodku a semena shnilá)

Do vyklíčených semen se započítávají pouze normální klíčenci s délkou kořínku $\geq 2\text{mm}$. Filtrační papír se zvolí podle struktury (porézní, ale kořeny by jím neměly prorůstat), pevný (aby se netrhal během klíčení), s dostatečnou vodní kapacitou (papír musí být schopen udržet po dobu trvání zkoušky dostatek vody tak, aby jí semena byla neustále zásobována; semena ovšem nesmí stát „ve vodě“), pH papíru je v rozmezí pH 6,0-7,5.

3.3 TESTOVÁNÍ KLÍČIVOSTI (PRACOVNÍ POSTUP)

Na jednu Petriho misku odpočítáme 50 semen zkušební vzorku zvoleného genotypu řepky olejky, přičemž u každé varianty pokusu (např. nízká teplota, sucho atd.) provedeme 3 opakování. Zkušební vzorek se připraví z dobře promíchaného podílu čistých semen o známém původu. Všechna semena byla získána z VÚRV, kde byla namnožena v izolátorech a nemusíme tedy spekulovat o jejich genetické čistotě. Na jeden genotyp u daného treatmentu³ tedy nachystáme 3 Petriho misky a celkem 150 semen. Semena vybíráme pinzetou a dbáme na to, aby semena byla kvalitní, nepoškozená, podobné barvy i velikosti (Bláha & Vyvadilová, 2012).

Semena je nejprve nutné sterilizovat 5% roztokem sava (účinná látka chlornan sodný) po dobu 5 minut. Poté semena řádně propláchneme sterilní destilovanou vodou a nakonec je necháme volně proschnout na filtračním papíře, který vsákne přebytečnou vlhkost a zamezí hydrataci semen (to je zvláště nutné pro pokusy s osmotickým stresem).

Zatímco nám schnou semena na filtračním papíře, nachystáme Petriho misky, které jsem před každým použitím rovněž sterilizovala roztokem sava. Vezmeme spodní část větší misky o průměru 15 mm a do jejího středu vložíme vrchní díl menší Petriho misky o průměru 12 mm dnem vzhůru. Menší miska nám tedy uvnitř větší misky bude tvořit jakýsi „ostrůvek“, na který budeme klást semena, aby nebyla ponořená ve vodě či roztoku. Nejdříve však do misky vložíme 2 velké filtrační papíry o průměru 15 mm a 2 menší filtrační papíry o průměru 12 mm. Podle zkušeností Ing. Pazderů (osobní sdělení konzultantovi) onen „ostrůvek“ ze dvou vrstev filtračního papíru na menší Petriho misce, která byla vložena do větší, plní roli zásobárny klíčícího roztoku (destilovaná voda, roztok NaCl atd.), tudíž se tento roztok nemusí po celou dobu zkoušení doplňovat (což je důrazně nedoporučováno) a neovlivní výsledek klíčení.

³ V odborné literatuře se běžně nahrazuje české sousloví „varianta pokusu“ za slovo „treatment“ (ang. pokus). Na následujících stránkách jsem proto používala tento jednoslovný pojem, který se mi zdá praktičtější.

Takto připravenou misku naplníme 50 ml destilované vody (stanoveno pokusně), případně stejným množstvím konkrétního roztoku, v závislosti na typu treatmentu. Snažíme se, aby filtrační papíry byly ve středu misky a aby pod nimi nevznikaly vzduchové bubliny, které by mohly bránit dostatečnému příjmu tekutiny semenem. Při vkládání filtračního papíru používáme sterilní rukavice (70% ethanolem), abychom zabránili kontaminaci vnitřního prostoru misky nečistotou. Papír vyhlazujeme tupým rovným předmětem, nejlépe se nám osvědčila zdesinfikovaná spona na uzavírání sáčků.

Při kladení semen dbáme na to, aby byla rovnoměrně rozložena v dostatečné vzdálenosti do sebe. Zabráníme tak proplétání kořenů do sebe, dostatečnému přísunu roztoku, a aby semeny přenosné choroby pokud možno nevyvolávaly sekundární infekci. Přiklopíme horní díl velké Petriho misky na spodní díl a misku poznačíme lihovým fixem (genotyp, typ treatmentu a datum).

Petriho misku vložíme do mikroténového sáčku a sáček řádně uzavřeme, abychom zabránili ředění osmotických roztoků vzdušnou vlhkostí. Osvědčilo se mi používání spony na uzavírání sáčku pro snadnou a rychlou manipulovatelnost. Semena jsou odečítána⁴ každý den, naklíčená semena jsou odstraňována, a tudíž dochází k výměně vzduchu v Petriho misce a nemůže dojít k anoxickému či hypoxickému prostředí.

Petriho misky v mikroténových sáčcích vkládáme do termostatu, kde jsme nastavili stálou teplotu, podle typu treatmentu.

Pro kontrolní klíčení v destilované vodě, stejně tak pro klíčení v roztocích, které simulují prostředí nedostatku vody a zasolení, byla teplota nastavena na $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, u treatmentů s vysokou teplotou klíčí semena při $41\pm 2/20\pm 2^{\circ}\text{C}$, po 12 hodinách a při klíčení v podmínkách chladu při $5\pm 2/20\pm 2^{\circ}\text{C}$ po 12 hodinách. Byly použity termostatické boxy (inkubátory) s topným i chladicím systémem s možností nastavení teplot a teplot kritických (při kterých se spustí rezervní chlazení). Pokusně jsem

⁴ Odečítáním (příp. měřením) se rozumí zaznamenávání počtu semen, která splňují parametry normálních klíčenců s klíčkem o délce 2mm a více. Odečítání probíhá v intervalu 24 hodin.

stanovila, že teplota byla vyrovnaná ve všech místech boxu a případné kolísání nebylo větší než $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Do pokusného deníku si zapíšeme typ varianty, počet opakování, typ odrůdy, datum a čas a vytvoříme tabulku, do které zapisujeme údaje z našeho pozorování. Semena v termostatu kontrolujeme každých 24 hodin po dobu 3 týdnů. Zvolíme si vhodnou pomůcku na měření délky klíčků semínek. Může tak sloužit párátko, špejle či jiná tyčinka. V praxi se mi nejlépe osvědčil tenký drátek pokrytý vrstvou umělé hmoty, na který jsem si lihovým fixem zaznačila rysku ve vzdálenosti 2 mm od okraje drátku. Drátek se dá dobře tvarovat ohýbat a tak se s ním snadno měří klíčky semínek, které jsou různě pokroucené. Počet semen s klíčkem o délce 2 mm a více zapíšeme do deníku. Poté tato semena odstraníme pinzetou z Petriho misky. Misku opět uzavřeme, vložíme do sáčku a vrátíme do termostatu. Během odečtů dbáme na čistotu rukavic a pinzety (dezinfekce 70% ethanolem). Všechna nenaklíčená semena, abnormální či nedostatečně vyvinutá semena se ponechávají na lůžku až do konečného vybírání. Shnilá semena se musí z lůžka odstranit při každém počítání, aby se snížilo nebezpečí sekundární infekce zbylých klíčnicích rostlin

Zvolené pokusné varianty (treatmenty):

Kontrolní: Nejprve provedeme klíčení semen v destilované vodě. Kontrolní klíčení probíhá v optimálních podmínkách pro klíčení řepky, při teplotě 20°C v termoboxu.

V roztoku NaCl: Pro simulaci stresového faktoru zasolení nechávám semena klíčit v roztocích chloridu sodného o třech koncentracích⁵: **150 mM** roztok NaCl, **200 mM** roztok NaCl, **250 mM** roztok NaCl. Koncentrace roztoků se udává v milimolech (mM). Vzorke vložíme do termoboxu s nastavenou teplotou 20°C .

⁵ Před samotným pokusem jsem se rozhodovala, jak vysoké koncentrace roztoků mám použít. Koncentrace roztoků jsem orientačně konzultovala s Ing. Urbanem z VÚRV. Zkušebně jsem nejprve nechala klíčit vždy cca 20 semen v roztocích o koncentraci 50 mM, 100 mM, 150 mM a 200 mM. Konečné koncentrace použité v samotném pokusu jsou vybrány tak, aby byl zřetelný přechod mezi tím, kdy semena dobře klíčí a kdy se (rychlost) klíčení zpomaluje.

V roztoku PEG: Klíčení semen v roztoku polyethylenglykolu (PEG) imituje stresové podmínky sucha. Použila jsem polyethylenglykol o molekulové hmotnosti 4000. Rozpuštěním příslušného množství v destilované vodě vznikne roztok požadované koncentrace (udávané v procentech). Zkoušky klíčivosti byly prováděny v třech variantách roztoků⁶: **15%** roztok PEG, **18%** roztok PEG, **22%** roztok PEG. Stálá teplota prostředí (20°C) byla zajištěna tak jako ve všech ostatních případech vložím vzorků do termoboxu.

Vysoká teplota: Klíčení semen v destilované vodě, při teplotě 41°C po dobu 12 hodin je vystřídáno optimální teplotou 20°C na dalších 12 hodin. Toto střídání teplot je zajištěno nastavením termoboxu, do kterého jsou pokusné vzorky vloženy.

Nízká teplota: Semena klíčí v destilované vodě v prostředí termoboxu, kde se každých 12 hodin střídají nízké teploty (5°C) s 20°C.

V případě klíčení semen v roztocích soli a PEGu považujeme za jeden treatment jednu konkrétní koncentraci. Celkově jsem tedy pracovala s devíti variantami treatmentů. Každý treatment je alespoň třikrát opakuje, aby se hodnoty měření (odečtů) daly statisticky ověřit.

⁶ V případě roztoku PEGu jsem nejprve zkoušela použít roztoky o koncentraci 5 %, 10 %, 15 % a 22 %. Pro testování klíčení semen v režimu nedostatku vody se nakonec jako vhodnější ukázaly varianty o koncentracích 15 %, 18 % a 22 %.

3.4 POSTUP VÝPOČTU INDEXŮ KLÍČENÍ

Klíčivost vzorků byla hodnocena jako fyziologická. Celková klíčivost byla stanovena jako suma denních klíčivostí. Semena byla z Petriho misek odečítána v pravidelných intervalech 24 hodin. Většina výsledků je pro přehlednost zpracována do tabulek, grafů a obrázků.

Vzhledem k množství dat, jejich rozdělení a počtu variant (klíčení v NaCl, PEG, vysoká a nízká teplota), jsme se rozhodli, že využijeme vypovídací sílu i jiných, méně využívaných indexů. K tomu, abychom snížili množství vypočítaných indexů, jsme data klíčenců vyhodnocovali druhý, třetí, čtvrtý, šestý, osmý, desátý, čtrnáctý a dvacátý první (poslední) den po začátku pokusu. Tato data jsou obsažena v Tabulka 8 v kapitole Výsledky. Tyto výpočty jsou označeny jako „kumulativní klíčení“, protože jde o součet všech vyklíčených semen do daného dne včetně.

Mezi tyto indexy patří zejména **index klíčivosti** (germination index – **GI**) a **koeficient rychlosti klíčení** (coefficient of velocity of germination – **CVG**). V textu a v popisících grafů používáme tyto mezinárodní anglické zkratky.

Tyto indexy byly vypočteny takto (Ashkan & Jalal 2013):

$$GI = \frac{\text{počet vyklíčených semen druhý den po začátku pokusu}}{2} + \frac{\text{počet vyklíčených semen třetí den}}{3} + \dots + \frac{\text{počet vyklíčených semen 21. den (poslední den klíčení)}}{21}$$

$$CVG = \frac{G2 + G3 + G4 + \dots + G21}{(G2 \times 2) + (G3 \times 3) + (G4 \times 4) + \dots + (G21 \times 21)}$$

kde G2 – je součet semen, které byly vyklíčené druhý den (48 hodin) po začátku pokusu, G3 – počet semen, které byly vyklíčené 3. den po začátku pokusu atd. Konec odečtů naklíčených semen proběhl podle metodiky ISTA až 21. den po začátku pokusu. Hodnoty G jsou tedy hodnoty tzv. „kumulativního klíčení“.

Další indexy, které jsme v BP použili (podle Šerá, 2014):

Klíčivost semen (SEED GERMINATION) celkový počet vyklíčených semen

V užším slova smyslu: Procentuální množství vyklíčených semen daného vzorku za optimálních podmínek v čase vymezeném pro klíčení (tedy v období, kdy je klíčení ukončeno).

Klíčivost semen (%): $SG = Gf / S * 100$

Gf ... počet vyklíčených semen na konci kultivace

S ... celkový počet testovaných semen

Energie klíčení (GERMINATION ENERGY)

Procentuální množství vyklíčených semen daného vzorku v daném čase (v období před ukončením procesu klíčení). Energie klíčení vypovídá o intenzitě a vyrovnanosti klíčení.

Energie klíčení (%): $GE = Gt / S * 100$

Gt ... počet vyklíčených semen ve dne t

Rychlost klíčení (SPEED OF GERMINATION)

Poměr počtu vyklíčených semen na začátku a na konci stanovené doby, který se zpravidla vyjadřuje v %. K porovnání vzorku ošetřených semen se semeny neošetřenými (kontrolní vzorek) můžeme použít tzv. relativní rychlost klíčení. Relativní rychlost klíčení (relative speed of germination) je vyjádřena poměrem rychlosti klíčení ošetřeného vzorku ku rychlosti klíčení vzorku kontrolního (v %). Rychlost klíčení vypovídá především o celkové vitalitě testovaných semen.

Rychlost klíčení (%): $SG = Gt/Gf * 100$

Relativní rychlost klíčení (%): $RSG = SGtr/SGco * 100$

SGtr ... rychlost klíčení ošetřeného vzorku

SGco ... rychlost klíčení kontrolního vzorku

3.5 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT

K statistickému vyhodnocení získaných dat byla využita legálně držená licence programu Statistica v. 10 (držitel: VÚRV, vvi.). Data byla sloupcově standardizována a normalizována v tomto programu. Přes základní statistické vyhodnocení dat byl získán přehled o normalitě rozdělení. Byla zpracována ANOVA kombinačního řádu, která je schopna prokázat rozdíly mezi variantami a odrůdami. Byla také získána data o tzv. homogenních podskupinách tak, aby bylo možné statisticky na hladině 0.05 od sebe genotypy či varianty odlišit či je prohlásit za statisticky neodlišné na dané hladině významnosti. Dále byla data podrobena faktoriálnímu grafickému zpracování pomocí PCA (analýzy hlavních komponent), která je schopna rozdělovat genotypy na základě mnoha komponent (vložených dat – indexů) najednou.

4. VÝSLEDKY

4.1 PŮVOD MATERIÁLŮ A JEJICH VZNIK

V rámci Česko-čínského projektu byly ze souboru genetických zdrojů řepky z ČR a ČLR vybraného oběma partnery na základě stanovených genetických vzdáleností vybrány rodičovské komponenty pro křížení. U F1 hybridů byl na základě hodnocení znaků produktivity v polních pokusech zjišťován projev heterózního efektu k lepšímu rodiči. Z osiva hybridů a rodičovských komponent byl v srpnu 2012 založen ve VÚRV Ruzyně polní srovnávací pokus ve třech opakováních s velikostí parcel 10 m². Pokus byl sklizen 6. srpna 2013. Hodnocení pokusu v průběhu vegetace a výnos semen viz Tabulka níže. V BP jsme se věnovali třem materiálům: Cadeli, ČŽL 20/1 a jejich kříženec (hybrid) ČŽL20/1xCadeli.

Tabulka 2 Hodnocení hospodářských znaků použitých materiálů a hybridů

Varianta	Opakování	Výnos t/ha	% výnosu kontrol	% k lepšímu rodiči	Přezimování %	Odolnost proti					Začátek kvetení	Konec kvetení	Výška cm	HTS (g)	Výnos při 100% přezimování	
						Foma	Hlízenka	Padlí	Čeř	Polehání						
ČŽL 20/1	A	2,02			57						2,5	23,5				3,54
	B	1,65			42						2,5	23,5				3,93
	C	1,34			28						2,5	23,5				4,79
	Průměr	1,67	44,53		42	7	8	7	8	8	2,5	23,5	118	6,21		4,09
ČŽL x Cadeli	A	2,66			73						3,5	25,5				3,64
	B	2,17			53						3,5	25,5				4,09
	C	3,24			48						3,5	25,5				6,75
	Průměr	2,69	71,73	77,30	58	7	8	6	8	8	3,5	25,5	130	6,22		4,83
Cadeli - K	A	3,64			65						7,5	24,5				5,60
	B	3,39			73						7,5	24,5				4,64
	C	3,42			75						7,5	24,5				4,56
	Průměr	3,48	92,80		71	6	7	5	7	8	7,5	24,5	138	6,22		4,93

(Zdroj: Urban, osobní sdělení)

V Tabulka 1 jsou obsaženy informace, které rozdělují oba rodičovské komponenty následného hybridu zcela jasně. Hlavně průběh vegetace, úroveň mrazuvzdornosti a odolnosti k chorobám, jakožto i další parametry odrůdy Cadeli oproti ČŽL dokazují, že pravděpodobnost heterózního efektu bude vysoká a že tento efekt bude výrazný, vzhledem k odlišnostem mateřských komponent.

V Tabulka 1 a Tabulka 2 můžeme sledovat vliv heterózního efektu na základní agronomické vlastnosti hybridu v porovnání k jeho „horšímu“ (ČŽL) rodiči. U hybridu se výrazně zvýšila mrazuvzdornost, výnos, výška a HTS. Odolnost proti fomě, hlízence, padlí, a černi stonků byla zase zvýšena oproti „lepšímu“ rodiči, odrůdě Cadeli.

Tabulka 3 Hodnocení kvality hybridů a rodičovských komponent metodou NIRS⁷

Poř. č.	Varianta	Vlhkost (%)	Olej v sušině	Olej při 8 % vlhk.	GSL při 9% vlhk.	Kys. olejová	Kys. linolová	Kys. linolenov	Kys. eruková	NL (%)
2	ČŽL 20/1	5,37	43,66	40,17	21,01	61,29	22,37	9,71	0,94	25,55
3	ČŽL x Cadeli	5,59	42,59	39,18	22,17	62,52	21,78	8,82	0,32	25,89
4	Cadeli	5,64	42,65	39,24	16,96	67,33	21,87	8,28	stopy	25,09

Poř. č.	Varianta	Vlhkost (%)	Olej v sušině	Olej při 8 % vlhk.	GSL při 9% vlhk.	Kys. olejová	Kys. linolová	Kys. linolenov	Kys. eruková	NL (%)
2	ČŽL 20/1	5,37	43,66	40,17	21,01	61,29	22,37	9,71	0,94	25,55
3	ČŽL x Cadeli	5,59	42,59	39,18	22,17	62,52	21,78	8,82	0,32	25,89
4	Cadeli	5,64	42,65	39,24	16,96	67,33	21,87	8,28	stopy	25,09

(Zdroj: Urban, osobní sdělení)

Tabulka 3 odkazuje na kvalitu semen odrůd a jejich hybridů. Za povšimnutí stojí poměrně vysoký obsah glukosinolátů (GSL) v hybridovi, což sice nenahrává jeho kvalitě, za to ovšem odpovídá na odolnost hybridu proti nepříznivým biotickým vlivům okolí (viz. Tabulka 1 a Tabulka 2). Heterózní efekt se bohužel neprojevil v kvalitě oleje, protože kyseliny nebyly výrazně zvýšeny, naopak, nežádoucí kyselina eruková přítomna byla.

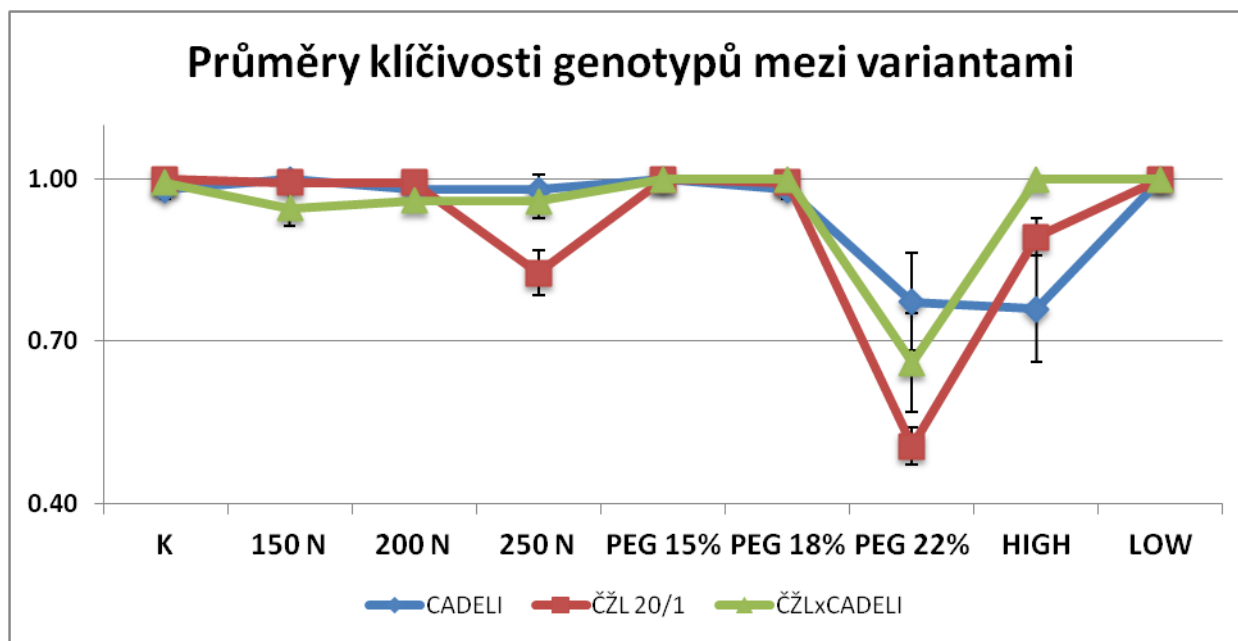
4.2 INDEXY KLÍČENÍ A GRAFICKÉ VÝSTUPY

Semena byla zakládána a odečítána podle postupů, které byly uvedeny v Metodice. Na základě těchto odečtů byly vypočítány (vybrané) indexy klíčení. Uvádím upravené tabulky odečtů semen, a vybrané indexy, zpracované do grafů či tabulek. Statistické výstupy zpracovaných dat jsou uvedeny formou obrázků. Statisticky byly zpracovány hodnoty odečtů, byly stanoveny homogenní podskupiny jednotlivých variant, analýzy rozptylu (ANOVA - analysis of variance) s kombinacemi a PCA (principal component analysis – analýza komponentních skóre).

⁷ NIRS – Near-infrared spectroscopy – Blízká infračervená spektroskopie

4.2.1 Průměry klíčivosti genotypů

Graf zachycuje průměrné hodnoty parametru klíčivost semen (SG) napříč všemi variantami klíčení. Pro výpočet průměru byly použity hodnoty ze tří opakování každého treatmentu. Na ose x jsou zaznačeny jednotlivé treatmenty pod zkratkami (**K** – kontrola, **N** – roztok NaCl o příslušné koncentraci v milimolech, **PEG** – roztok PEGu o příslušné koncentraci v procentech, **HIGH** - vysoká teplota, **LOW** – nízká teplota). Osa y zobrazuje relativní hodnoty - porovnávané treatment ke kontrole (stres/kontrola). Hodnota kontrolního treatmentu bude tedy vždy 1.00 (kontrola/kontrola). Jednotlivé genotypy jsou v grafu odlišeny barevně.



Obrázek 5 Průměrná klíčivost jednotlivých genotypů v různých variantách kultivace

4.2.2 Denní odečty naklíčených semen

V Tab. 4-7 jsou vysána základní data počtu semen, která byla naklíčena jako „normální klíčenci“ v jednotlivých časových úsecích (vždy po 24 hodinách) od začátku klíčení (den 0). V těchto tabulkách vidíme, kolik semen naklíčilo v přesně stanových úsecích a můžeme vypočítat nap. energii klíčení (GE), rychlost klíčení (CVG) apod. V tabulkách jsou také uvedena čísla celkového počtu semen (většinou 50) a počet zbylých, tj. nenaklíčených semen. Pokusy byly podle metodiky ISTA ukončeny 21. den po začátku klíčení. Sloupce označené čísly 1, 2 a 3 (případně 4, 5 a 6) označují počet opakování treatmentů. z – začátek klíčení, X = označuje časový bod, kdy došlo k odečtu (naklíčení) všech přítomných semen, 0 = žádné semeno nebyla naklíčeno jako „normální klíčeneček“, nicméně na lůžku jsou nenaklíčená semena přítomna

Tabulka 4 - Kontrolní hodnoty klíčení semen

CADELI	Kontroly			ČZL	Kontroly						ČŽLx CAD	Kontroly						
	den	1	2		3	den	1	2	3	4		5	6	den	1	2	3	4
0	z	z	z	0	z	z	z	z	z	z	0	z	z	z	z	z	z	z
1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	47	45	45	2	50	48	50	50	48	50	2	47	50	50	47	50	50	
3	1	4	3	3	x	1	x	x	1	x	3	2	0	0	2	0	0	
4	1	x	x	4	0	0	0	0	0	0	4	x	0	0	x	0	0	
5	x	x	x	5	0	0	0	0	0	0	5	x	0	0	x	0	0	
7	x	x	x	6	0	0	0	0	0	0	6	x	0	0	x	0	0	
8	x	x	x	7	0	0	0	0	0	0	7	x	0	0	x	0	0	
9	x	x	x	8	0	0	0	0	0	0	8	x	0	0	x	0	0	
10	x	x	x	9	0	0	0	0	0	0	9	x	0	0	x	0	0	
11	x	x	x	10	0	0	0	0	0	0	10	x	0	0	x	0	0	
12	x	x	x	11	0	0	0	0	0	0	11	x	0	0	x	0	0	
13	x	x	x	12	0	0	0	0	0	0	12	x	0	0	x	0	0	
14	x	x	x	13	0	0	0	0	0	0	13	x	0	0	x	0	0	
15	x	x	x	14	0	0	0	0	0	0	14	x	0	0	x	0	0	
16	x	x	x	15	0	0	0	0	0	0	15	x	0	0	x	0	0	
17	x	x	x	16	0	0	0	0	0	0	16	x	0	0	x	0	0	
18	x	x	x	17	0	0	0	0	0	0	17	x	0	0	x	0	0	
19	x	x	x	18	0	0	0	0	0	0	18	x	0	0	x	0	0	
20	x	x	x	19	0	0	0	0	0	0	19	x	0	0	x	0	0	
21	x	x	x	20	0	0	0	0	0	0	20	x	0	0	x	0	0	
Suma	49	49	48	21	0	0	0	0	0	0	Suma	49	50	50	49	50	50	
Zbylo	0	1	2	Suma	50	50	50	50	50	50	Zbylo	1	0	0	1	0	0	
				Zbylo	0	0	0	0	0	0								

Tabulka 7 - Vliv vysoké a nízké teploty na klíčení semen

CADELI	Vysoká teplota			Nízká teplota			ČŽL	Vysoká teplota			Nízká teplota			ČŽLx CAD	Vysoká teplota			Nízká teplota				
	den	1	2	3	1	2		3	den	1	2	3	1		2	3	den	1	2	3	1	2
0	z	z	z	z	z	z	0	z	z	z	z	z	z	0	z	z	z	z	z	z	z	z
1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	3	1	0	0	0	0	0
2	6	9	8	0	0	0	2	36	42	38	0	0	0	2	50	47	49	0	0	0	0	
3	24	21	24	2	0	0	3	7	3	5	24	16	23	3	x	x	x	21	19	22	22	
4	10	2	4	34	28	28	4	0	1	0	24	28	22	4	x	x	x	29	31	28	28	
5	3	0	2	12	21	17	5	0	0	1	2	6	5	5	x	x	x	x	x	x	x	
7	x	x	x	0	0	0	6	0	0	0	x	x	x	6	x	x	x	x	x	x	x	
8	x	x	x	0	0	0	7	x	x	x	x	x	x	7	x	x	x	x	x	x	x	
9	x	x	x	0	0	0	8	x	x	x	x	x	x	8	x	x	x	x	x	x	x	
10	x	x	x	0	0	0	9	x	x	x	x	x	x	9	x	x	x	x	x	x	x	
11	x	x	x	0	0	0	10	x	x	x	x	x	x	10	x	x	x	x	x	x	x	
12	x	x	x	0	0	0	11	x	x	x	x	x	x	11	x	x	x	x	x	x	x	
13	x	x	x	0	0	0	12	x	x	x	x	x	x	12	x	x	x	x	x	x	x	
14	x	x	x	0	0	0	13	x	x	x	x	x	x	13	x	x	x	x	x	x	x	
15	x	x	x	0	0	0	14	x	x	x	x	x	x	14	x	x	x	x	x	x	x	
16	x	x	x	0	0	0	15	x	x	x	x	x	x	15	x	x	x	x	x	x	x	
17	x	x	x	0	0	0	16	x	x	x	x	x	x	16	x	x	x	x	x	x	x	
18	x	x	x	0	0	0	17	x	x	x	x	x	x	17	x	x	x	x	x	x	x	
19	x	x	x	0	0	0	18	x	x	x	x	x	x	18	x	x	x	x	x	x	x	
20	x	x	x	0	0	0	19	x	x	x	x	x	x	19	x	x	x	x	x	x	x	
21	x	x	x	0	0	0	20	x	x	x	x	x	x	20	x	x	x	x	x	x	x	
Suma	44	32	38	50	50	50	21	x	x	x	x	x	x	21	x	x	x	x	x	x	x	
Zbylo	6	18	12	0	0	0	Suma	43	47	44	50	50	50	Suma	50	50	50	50	50	50	50	
							Zbylo	7	3	6	0	0	0	Zbylo	0	0	0	0	0	0	0	

Pozn.: X = označuje časový bod, kdy došlo k odečtu (naklíčení) všech přítomných semen

0 = žádné semeno nebyla naklíčeno jako „normální klíčeneček“, nicméně na lůžku jsou nenaklíčená semena přítomna

Tab. 8 obsahuje hodnoty tzv. „kumulativního klíčení“, jednoduše, součty naklíčených semen druhý až jedna dvacátý den po začátku kultivace.

Tyto hodnoty jsme využili pro stanovení indexů klíčení SG, GE a RSG a jsou navíc vizualizovány v Obr. 6.

Tabulka 8 Hodnoty kumulativního klíčení semen (součty naklíčených semen) - rozložení po genotypech

Kumulativní klíčivost (den)	Kontroly			NaCl									PEG						Vysoká teplota			Nízká teplota					
	CADELI			150 mM			200 mM			250 mM			15%		18%		22%										
<i>Druhý</i>	47	45	45	9	22	22	8	11	4	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	6	9	8	0	0	0
<i>Třetí</i>	48	49	48	42	47	45	33	38	28	12	8	8	17	18	16	44	42	34	0	0	0	30	30	32	2	0	0
<i>Čtvrtý</i>	49	49	48	50	50	49	43	49	48	40	24	35	39	42	37	48	47	45	0	2	1	40	32	36	36	28	28
<i>Šestý</i>	49	49	48	50	50	49	47	49	50	46	41	44	48	49	48	50	47	49	12	17	8	44	32	38	50	50	50
<i>Osmý</i>	49	49	48	50	50	49	47	49	50	48	44	47	49	50	49	50	48	49	30	33	23	44	32	38	50	50	50
<i>Desátý</i>	49	49	48	50	50	50	47	49	50	49	44	49	49	50	50	50	48	49	34	41	27	44	32	38	50	50	50
<i>Čtrnáctý</i>	49	49	48	50	50	50	48	49	50	50	47	50	50	50	50	50	48	49	37	43	33	44	32	38	50	50	50
<i>Dvacátý první</i>	49	49	48	50	50	50	48	49	50	50	47	50	50	50	50	50	48	49	39	44	33	44	32	38	50	50	50

Kumulativní klíčivost (den)	Kontroly			NaCl									PEG						Vysoká teplota			Nízká teplota								
	ČŽL 20/1			150 mM			200 mM			250 mM			15%		18%		22%													
<i>Druhý</i>	50	49	50	50	49	50	25	29	32	6	9	10	0	0	0	35	38	30	0	5	1	0	0	0	36	43	38	0	0	0
<i>Třetí</i>	50	50	50	50	50	50	43	47	49	16	24	20	5	0	0	48	49	49	28	31	27	0	0	0	43	46	43	24	16	23
<i>Čtvrtý</i>	50	50	50	50	50	50	46	49	50	25	34	27	6	2	1	48	49	50	40	49	42	0	1	1	43	47	43	48	44	45
<i>Šestý</i>	50	50	50	50	50	50	49	50	50	36	41	48	11	11	3	49	49	50	48	49	45	4	3	5	43	47	44	50	50	50
<i>Osmý</i>	50	50	50	50	50	50	49	50	50	41	41	50	23	20	13	50	49	50	48	49	46	9	9	8	43	47	44	50	50	50
<i>Desátý</i>	50	50	50	50	50	50	49	50	50	47	44	50	33	25	24	50	50	50	48	50	47	13	10	13	43	47	44	50	50	50
<i>Čtrnáctý</i>	50	50	50	50	50	50	49	50	50	48	46	50	36	35	34	50	50	50	49	50	48	24	18	24	43	47	44	50	50	50
<i>Dvacátý první</i>	50	50	50	50	50	50	49	50	50	49	50	44	41	39	50	50	50	50	50	50	49	27	23	26	43	47	44	50	50	50

Kumulativní klíčivost (den)	Kontroly			NaCl									PEG						Vysoká teplota			Nízká teplota									
	ČŽLxCADELI			150 mM			200 mM			250 mM			15%		18%		22%														
<i>Druhý</i>	47	50	50	47	50	50	46	40	44	28	20	23	2	0	0	0	39	49	44	5	8	3	0	0	0	50	50	50	0	0	0
<i>Třetí</i>	49	50	50	49	50	50	48	41	46	42	40	42	22	14	18	16	50	50	39	34	26	0	2	1	50	50	50	21	19	22	
<i>Čtvrtý</i>	49	50	50	49	50	50	48	43	46	44	44	47	36	26	38	16	50	50	50	43	39	35	6	8	8	50	50	50	50	50	
<i>Šestý</i>	49	50	50	49	50	50	48	44	47	47	46	48	37	34	41	38	50	50	50	46	43	40	11	15	13	50	50	50	50	50	
<i>Osmý</i>	49	50	50	49	50	50	48	45	47	47	47	48	41	37	45	41	50	50	50	49	46	42	19	24	20	50	50	50	50	50	
<i>Desátý</i>	49	50	50	49	50	50	48	45	47	47	47	48	44	40	48	44	50	50	50	49	47	45	23	28	24	50	50	50	50	50	
<i>Čtrnáctý</i>	49	50	50	49	50	50	48	45	47	48	47	49	46	45	50	49	50	50	50	48	47	47	32	34	25	50	50	50	50	50	
<i>Dvacátý první</i>	49	50	50	49	50	50	48	45	47	48	47	49	46	46	50	50	50	50	50	50	50	34	38	27	50	50	50	50	50	50	

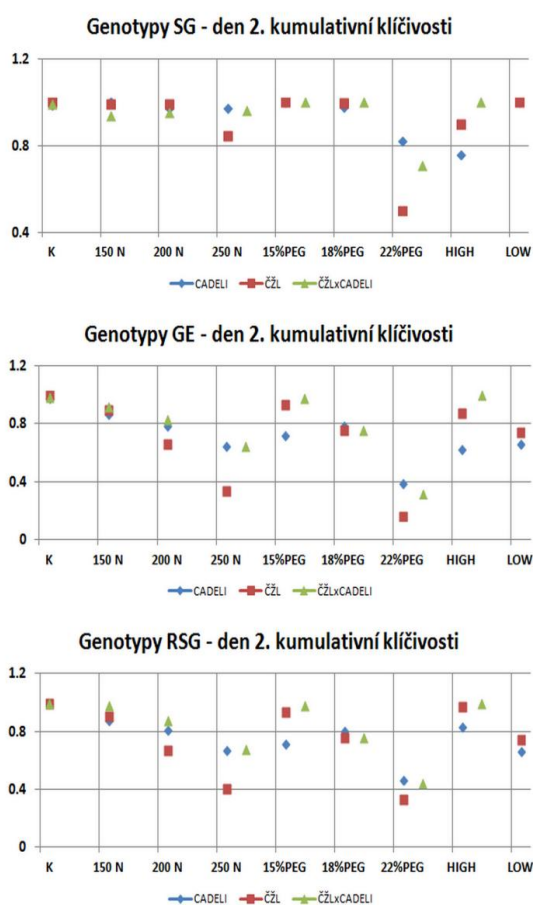
Pozn.: 0 = žádné semeno nebyla naklíčeno jako „normální klíčeneček“, nicméně na lůžku jsou nenaklíčená semena přítomna

4.2.3 Kumulativní klíčivost, GI a CVG indexy

Grafické znázornění výsledků indexů klíčivosti - klíčivosti semen (SG), energie klíčení (GE) a relativní rychlosti klíčení (RSG), pro hodnoty kumulativního klíčení 48 hodin po založení treatmentu.

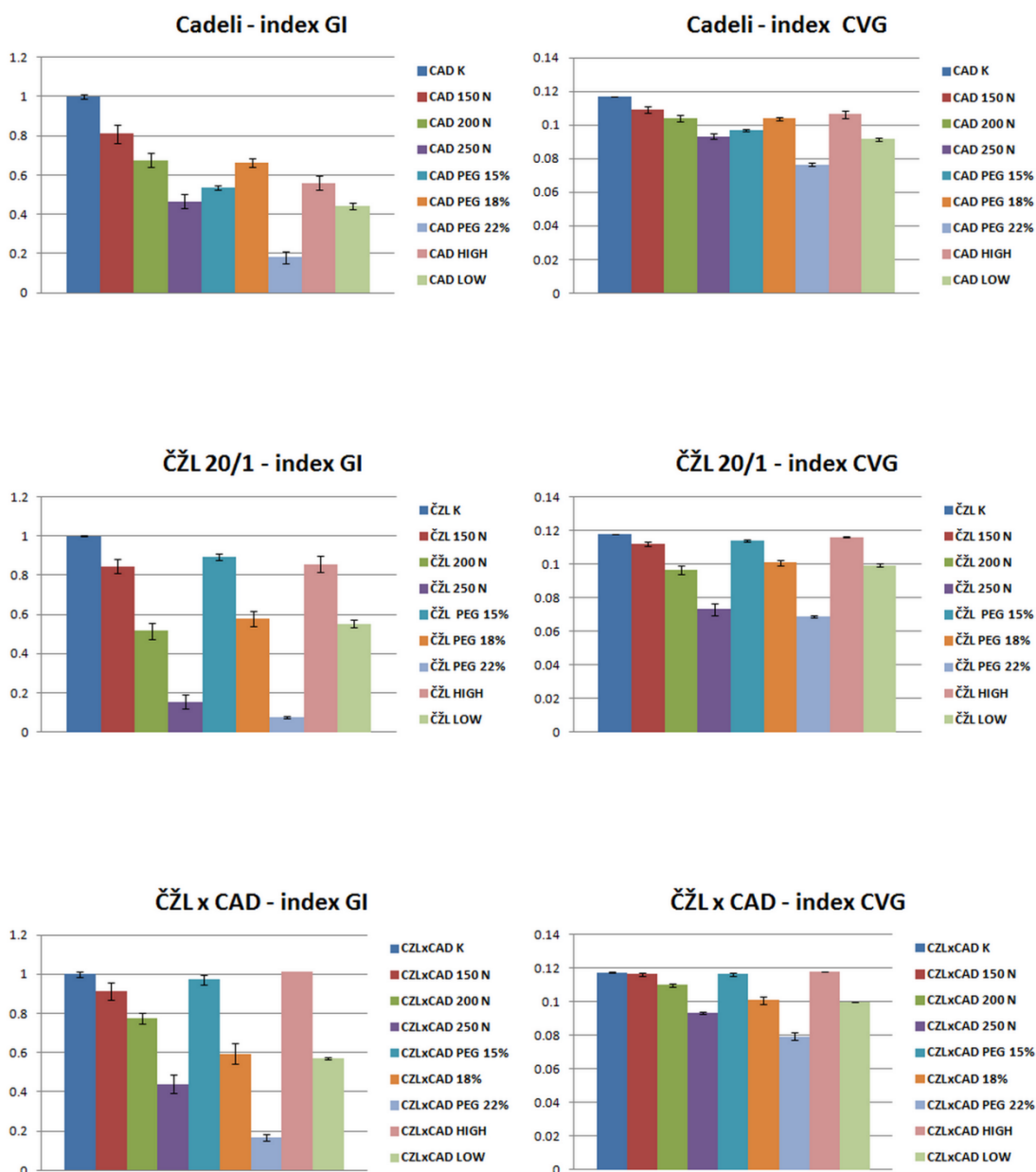
Osa x – jednotlivé treatmenty (K – kontrola, N – roztok NaCl, PEG – roztok PEGu, HIGH – vysoká teplota, LOW – nízká teplota)

Osa y – měřítko relativních hodnot (daný treatment versus kontrola)



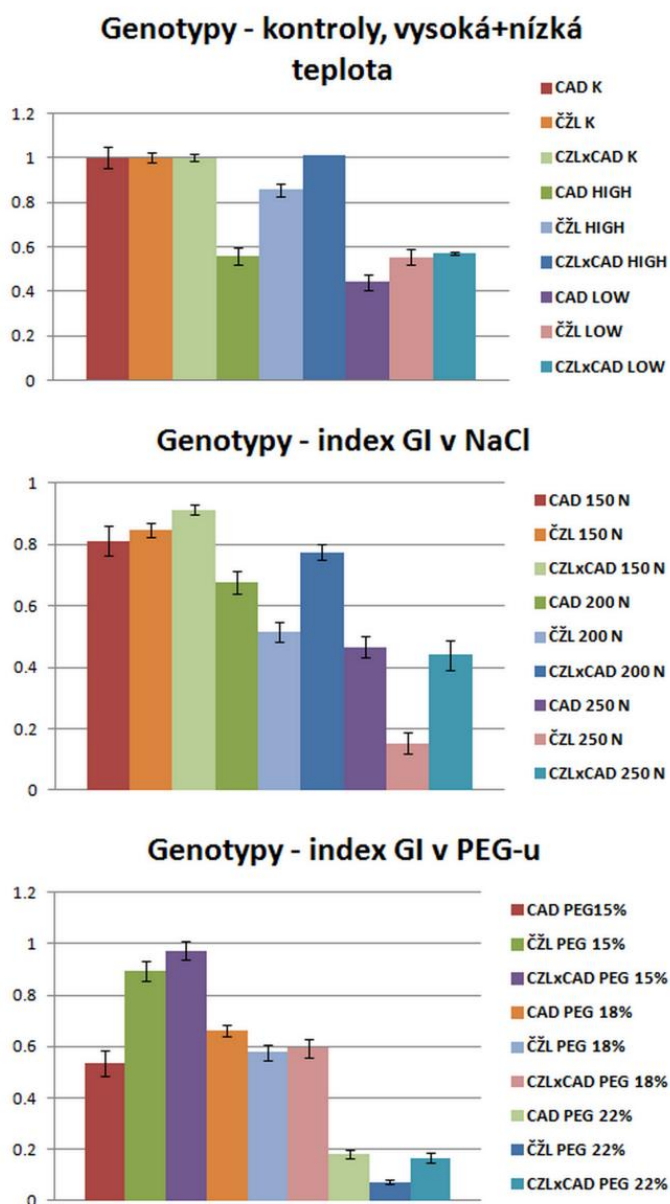
Obrázek 6 Indexy klíčení (SG, GE a RSG) pro 2. den kumulativního klíčení

Obr. 7 zobrazuje grafy dalších indexů klíčivosti - indexu klíčení (GI) a rychlosti klíčení (CVG), vždy po jednotlivých genotypech. Data jsou zobrazena se směrodatnou odchylkou. Jak je uvedeno v legendě, sloupce představují vždy kombinaci konkrétního genotypu a treatmentu. Osa y pro grafy GI odpovídá relativním hodnotám (kontrola/stres), pro grafy CVG absolutním hodnotám.



Obrázek 7 Hodnoty GI a CVG jednotlivých genotypů

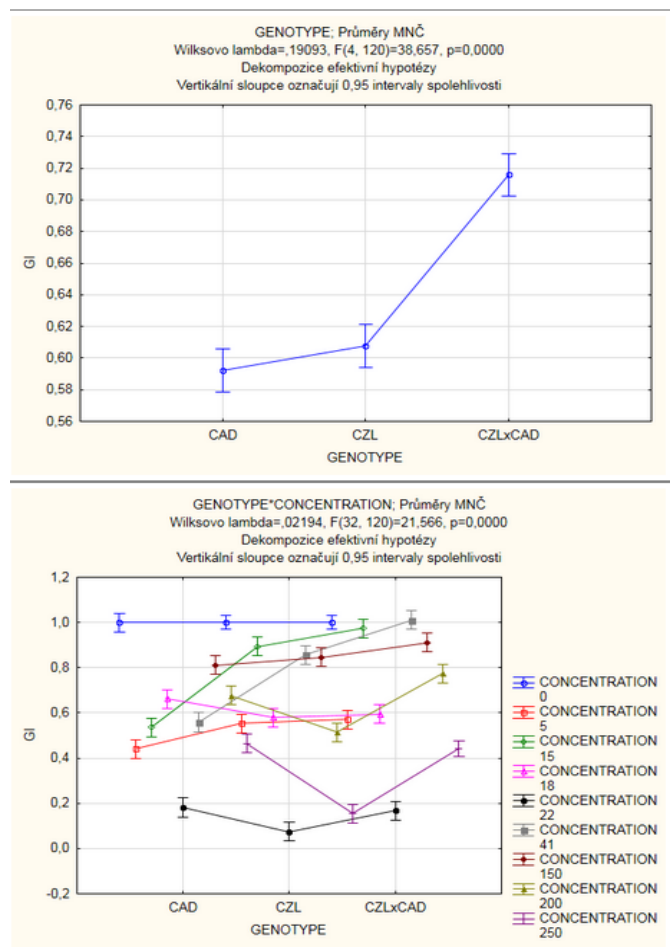
Obr. 8 ukazuje stejné výsledky jako obr. 7 s tím rozdílem, že vizualizace byla nastavena podle jednotlivých variant, aby mohlo dojít ke srovnání hodnot mezi genotypy. Data jsou také zobrazena se směrodatnou odchylkou. V obr. 8 porovnávám genotypy pouze podle jednoho parametru – indexu klíčivosti (GI).



Obrázek 8 Vliv zásahu na Index klíčení (GI) mezi genotypy

4.2.4 Vizualizace statistického vyhodnocení dat

Obr. 9-12 jsou výsledkem statistického zpracování získaných dat pomocí programu Statistica 10.0 (legálně drženého ve VÚRV, v.v.i.). Na obr. 9 jsou patrné obecné zprůměrované výsledky všech variant na rozdělení genotypů pro index klíčení (GI). V dolní části obrázku jsou genotypy porovnané podle výsledků indexů v závislosti na treatmentu.



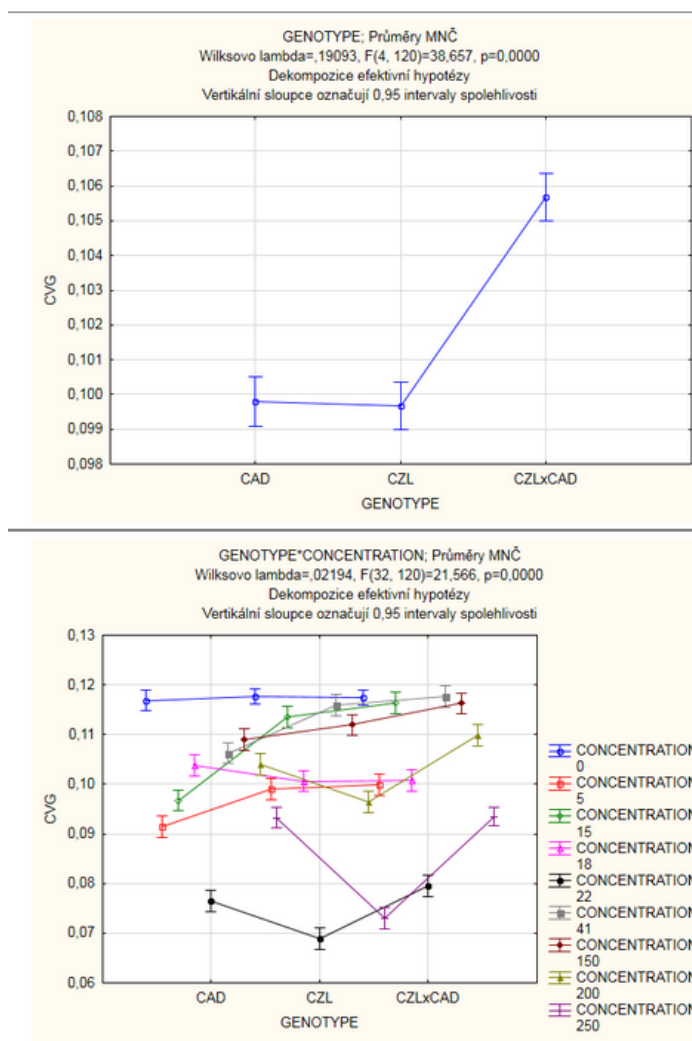
Obrázek 9 Celkové průměry GI genotypů mezi variantami; vliv genotyp x varianta

Concentration 0 = kontrola, Concentration 5 = nízká teplota, Concentration 41 = vysoká teplota

Concentration 15 = 15% PEG, Concentration 18 = 18% PEG, Concentration 22 = 22% PEG

Concentration 150 = 150% NaCl, Concentration 200 = 200mM NaCl, Concentration 250 = 250mM NaCl

Na obr. 10 jsou patrné obecné zprůměrované výsledky všech variant na rozdělení genotypů pro rychlost klíčení (CVG). V dolní části obrázku jsou genotypy porovnané podle výsledků indexů v závislosti treatmentu.



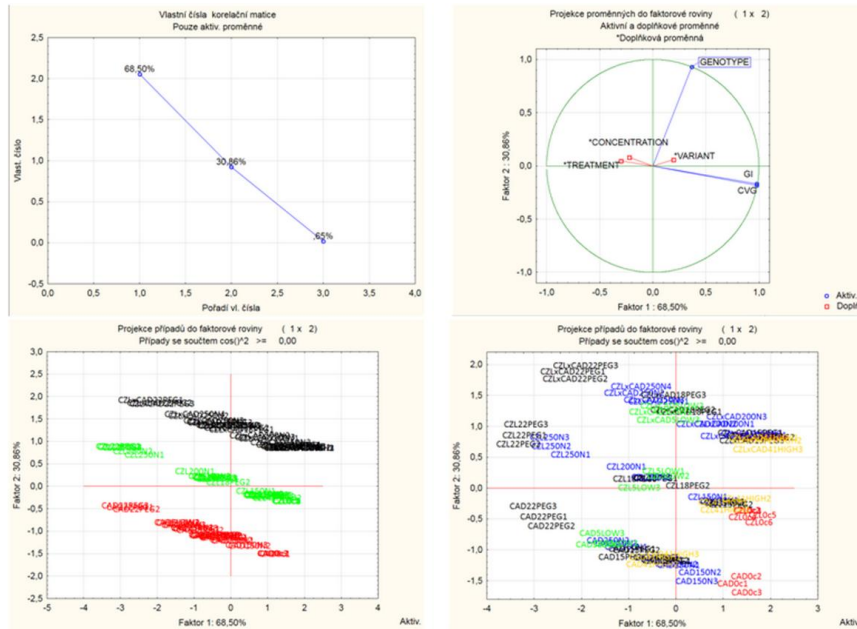
Obrázek 10 Celkové průměry CVG genotypů; vliv genotyp x varianta

Concentration 0 = kontrola, Concentration 5 = nízká teplota, Concentration 41 = vysoká teplota

Concentration 15 = 15% PEG, Concentration 18 = 18% PEG, Concentration 22 = 22% PEG

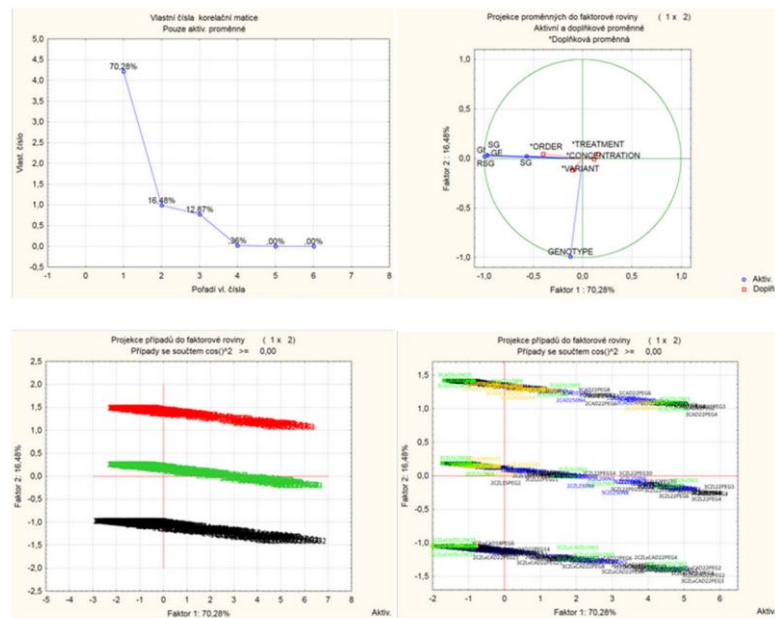
Concentration 150 = 150% NaCl, Concentration 200 = 200mM NaCl, Concentration 250 = 250mM NaCl

Obr. 11-12 jsou statistické výstupy (jedná se o složené obrázky, podobně jako obr. 9-10) dat z multifaktoriální analýzy hlavních komponent (PCA). Obr. 11 ukazuje PCA analýzu pouze pro hodnoty GI+CVG. Obr. 12 zobrazuje PCA ze všech zbývajících vypočítaných indexů.



Obrázek 11 PCA analýza dat indexů GI a CVG

A	B
C	D



Obrázek 12 PCA analýza dat všech indexů

A	B
C	D

5. DISKUZE

Klíčení předcházela srovnávací studie o vlivu koncentrací NaCl a PEG. Na tomto základě byly vybrány koncentrace PEG a NaCl tak, aby semena ještě klíčila a přitom došlo ke snížení rychlosti klíčení bez nekrotických kořenových špiček. Během vypracovávání BP jsem nenašla mnoho vědeckých článků, které by se zabývaly podobným tématem.

U obou genotypů i jejich hybrida byla zjištěna kvalita semen odpovídající požadovaným parametrům, publikovaným výsledkům a i běžné normě. Na základě výsledků VÚRV (Tabulka 1, Tabulka 2, Tabulka 3) lze konstatovat, že použité čínské materiály nejsou vhodnými komponentami pro přímou tvorbu F1 hybridů. Tyto materiály označované jako semi-winter v našich podmínkách vykazují nízkou mrazuvzdornost, to se projevuje i v hybridních kombinacích. Jejich využití však připadá v úvahu při křížení s evropskými vysoce mrazuvzdornými odrůdami a následným odvozováním dihaploidních linií, které budou testovány na mrazuvzdornost v polních i laboratorních podmínkách

Nicméně, při porovnávání indexů klíčení můžeme vidět, že vliv heterózního efektu je tak silný, že některé klíčící indexy jsou u hybrida vyšší než u jeho rodičovských komponent a to hlavně v podmínkách simulovaného stresu. Vliv PEG na 10 odrůd řepky sledovali již Shahverdikandi *et al.* (2011). Také Mohammadi a Amiri (2010) zjistili, že priming KNO_3 zvyšuje odolnost semen řepky při klíčení v PEG. Odrůdy s vysokou mírou klíčivosti a dalších indexů byly označeny jako odolné k suchu. Both (2009) ve své disertační práci prokázal u 10 odrůd pšenice, že genotypy s vyšší vitalitou měly také lepší pekařskou kvalitu. Both také prokázal výrazný vliv provenience semen na jejich vitalitu a kvalitu, čili jde nejen o vliv genotypu ale i prostředí, ve kterém semeno dozrává. Vitální semena také stárnou pomaleji.

Nutnost zlepšovat kromě výnosu i adaptabilitu ke změnám klimatu při šlechtění řepky uvedli Vyvadilová a Klíma (2012), Klíma a Koprna (2008), Vyvadilová *et al.* (2007) a Koprna *et al.* (2008). U řepky pěstované v ČR tento vztah také potvrdili Bláha (2011). „Vitální osivo řepky olejky z dobré provenience zaručuje lepší vzcházivost, růst a vývoj kořenové soustavy, ale většinou i celkovou odolnost vůči stresorům.“ (Bláha & Vyvadilová 2012).

Klíčivost osiva stanovená laboratorní zkouškou je schopnost semen poskytnout v optimálních podmínkách za stanovenou dobu maximální počet normálně vyvinutých klíčnicích rostlin, u nichž je předpoklad, že v příznivých podmínkách v půdě se vyvinou v normální rostliny. Klíčivost semen (Obr 5) byla v kontrolních (K) podmínkách výborná a uniformní u všech genotypů. Kvalita osiva se tedy mezi genotypy nelišila. „Jedním z aspektů vitality osiva je schopnost klíčit uniformně, což je předpokladem založení vyrovnaných porostů, umožňujících jednorázovou sklizeň.“ (Pazderů & Visingerová 2009). V Obr 5 ovšem vidíme, jak byla klíčivost mezi genotypy ovlivněna pokusnými variantami a snižovala se se vzrůstajícím osmotickým tlakem roztoku (aktivitou osmoticky aktivních částic v roztoku – PEG nebo sůl). Největší a statisticky významný rozdíl mezi genotypy je patrný v koncentracích 250 mM roztoku kuchyňské soli a 22% roztoku PEG. Nejnižších hodnot klíčivosti v těchto roztocích prokázala odrůda ČŽL. Zajímavé je i významné snížení klíčivosti (které také rozděluje genotypy) ve variantě klíčení ve vysoké teplotě. Snad nejprekvapivější je statisticky významné snížení klíčivosti u odrůdy Cadeli při vysoké teplotě, což může být způsobeno větší odolností čínského materiálu (v Číně se tyto materiály sejí v brzkém jaru do vyhřáté půdy). Zároveň je z Obr 5 patrné, že směrodatné odchylky mezi opakováními jsou největší při klíčení v roztoku PEG 22 %. Z těchto výsledků je patrné, že ČŽL je z pohledu celkové klíčivosti semen nejvíce senzitivní ze všech genetických materiálů na zasolení a simulovaný stres suchem. Cadeli a hybrid velmi dobře reagují na zasolení, a Cadeli nejlépe reaguje v simulovaných podmínkách sucha, protože jeho klíčivost je snížena nejméně. Hybrid své rodiče signifikantně překonal hlavně v klíčivosti ve vysoké teplotě. Obecněji můžeme říci, že v porovnání s horším rodičem (ČŽL) se heterózní efekt hybridu výrazně projevil v jeho vyšší odolnosti klíčivosti semen v sub-optimálních a stresových podmínkách.

Z Tab. 4 je patrné, že odrůda Cadeli klíčila poněkud pomaleji a měla i nižší klíčivost. Tyto rozdíly nejsou statisticky významné, ale jsou důležité pro výpočet tzv. relativní rychlosti klíčení (RSG) a jsou ukázány v Obr. 6 pro druhý kumulativní den klíčení. Z dat klíčení v kontrolních podmínkách bychom tedy genotypy podle jejich potenciální adaptability tolerance ke stresu během klíčení nerozdělili.

V Tab. 5 jsou uvedena data klíčení semen v podmínkách solného stresu. Efekt solného stresu na klíčení semen u halofytů sledoval Ashkan et al. (2013). Autoři našli těsný a signifikantní vztah mezi koncentrací solí a CVG a klíčením. Oproti kontrolním podmínkám (2. den) se maximum klíčení semen posouvá se vzrůstajícím osmotickým potenciálem roztoku a to od 2. do 4. dne po začátku klíčení pro Cadeli a hybrida. ČŽL v nejvyšší koncentraci (250 mM) vykazuje jakýsi vrchol až 8. den po začátku klíčení. U této odrůdy se také výrazně snížil celkový počet naklíčených semen v této koncentraci soli, což je jasně patrné i z Obr. 5. Tento výsledek odkazuje na zvýšenou senzitivitu ČŽL při klíčení v zasolených půdách a relativně vyšší odolnost Cadeli a hybrida. Je nutné zmínit, že solný stres je sice osmotický jako roztok PEG, působí ovšem i toxicky (ionty Na^+ a Cl^-). Při srovnání Tab. 5 a 6 si tedy můžeme všimnout jasně rozdílu v počtu celkově naklíčených semen, který je v NaCl přes jeho „toxicitu“ vysoký. To bylo způsobeno faktem, že v PEG semena sice imbibovala, radikula prorazila osemení a semena začala klíčit, primární kořen ovšem nikdy (nebo opožděně) nedorostl na stanovenou délku 2 mm nebo nekrotizoval. I na základě těchto výsledků můžeme prohlásit, že čistě osmotický (PEG) a kombinovaný osmotický+toxický stres (NaCl) nejsou podobné a oba hrají významnou roli při porovnávání adaptace odrůd na očekávané klimatické změny.

Možnosti intenzifikace technologie pěstování ozimé řepky v ekologickém zemědělství kladou na agrotechnické postupy a výběr odrůd vyšší nároky (Kuchtová *et al.* 2008). Odolnost k neočekávaným a extrémním podmínkám i na úrovni klíčení rostlin se stává dalším předpokladem výběru vhodných odrůd.

Na celkový počet vyklíčených semen (a další vypočítané indexy) měl podle očekávání největší vliv hlavně polyethylen glykol (PEG; Tab. 6), jehož vodný roztok působí jako nepermeabilní (neprostupné do buněk) osmotikum, které simuluje klíčení v suché půdě. Největší počet semen, která nevyklíčila, se ukázal až v nejvyšší tzn. 22% koncentraci PEG. Tato koncentrace se ukázala být velmi vhodnou, protože v průměru snížila klíčivost i rychlost klíčení o 40-55 %. Nevýhodou je zvýšení nerovnoměrnosti klíčení v této koncentraci a nutnost opakovat výsledky ve více než třech biologických opakováních (viditelné ve vyšší směrodatné odchylce dat). Nicméně, největší pokles klíčivosti a dalších indexů opět prokázala odrůda ČŽL.

V této souvislosti je dobré uvést, že sice klíčivost představuje maximum dosažitelného, ovšem vitalita (životnost) představuje realitu. Hodnoty vitality mají relativní charakter a jsou obtížněji interpretovatelné (jako všechny poměry; porovnáváme hodnoty klíčivosti a rychlosti klíčení). Vitalita je síla zdravých semen, zabezpečující rychlé a homogenní klíčení i v nepříznivých podmínkách, které v této BP byly simulovány osmotickými a teplotními stresy.

Vliv vysokých a nízkých teplot je ukázán v Tab. 7. Již na první pohled je patrné, že vysoké teploty (41 °C po 12 hodin, střídané s 20 °C) měly velmi výrazný vliv na celkovou klíčivost (viz Obr. 5), která byla oproti kultivaci v nízké teplotě a kontrolním podmínkám snížena až o 20 % pro odrůdu Cadeli a o cca 10 % pro ČŽL. Odrůda Cadeli ukázala i nižší rychlost klíčení v obou variantách. Hybrid snížení klíčivost ve vysoké teplotě neprojevil, což jednoznačně může souviset s vlivem heterózního efektu hybridu. Zařazení mrazových testů rostlin do šlechtitelských programů se stává jedním z významných kroků při tvorbě odrůd řepky vhodných pro domácí klimatické podmínky. Dosud získané výsledky (např. Vyvadilová *et al.* 2008) prokázaly, že mohou přispět k výběru zdrojů zvýšené odolnosti k vyzimování a suchu. Je to již obecněji známý fakt, že mnohé geny jsou indukovány stejnými či podobnými induktory – u abiotických stresů dochází k tzv. cross-talk (vzájemná komunikace a ladění genové exprese). Tuto problematiku velmi dobře popisuje např. Holdsworth *et al.* (2008). Výše popsané změny klíčivosti a rychlosti klíčení jsou patrné i z výsledků uvedených jako „kumulativních klíčivost“ v Tab. 8.

V Obr. 6 jsou vizualizovány jednotlivé indexy klíčení v druhém dni kumulativního klíčivosti. Druhý den totiž došlo k největšímu nárůstu klíčení semen v převážné většině variant. Druhý den se ukázal být velmi vhodným ukazatelem vlivu sub-optimálních podmínek na klíčení vybraných odrůd. Je pravděpodobné, že po další optimalizaci této metody bude možné rozlišovat genotypy již po 2 až 4 dnech klíčení v osmoticky aktivním prostředí.

Klíčovost (SG) víceméně kopíruje trend obsažený již v Obr. 5. a znovu potvrzuje fakt, že je možné výsledků z druhého dne klíčení použít jako rychlou a spolehlivou metodu odhadu celkové klíčivosti, protože postihuje největší míru podílu dat. Body

energie klíčení (GE) a relativní rychlosti klíčivosti (RSG) – ačkoliv počítány z jiných hodnot – ukazují na velmi podobný trend mezi genotypy. Energie klíčení nejvíce od souboru dat vyděluje genotyp ČŽL. Pomocí GE lze také hodnotit vyrovnanost klíčení, protože podle ISTA vyjadřuje podíl vyklíčených semen v termínu odečítání ve vztahu k celkové dosažené klíčivosti na konci testu. Tato hodnota je ve všech semenářských laboratořích zjišťována, v informacích o kvalitě osiva pro spotřebitele ale uváděna není. Rozdíly v kvalitě osiva – pokud chápeme kvalitu osiva i jako jeho vitalitu a ne jen klíčivost – mohou být značné.

Ostatní explikace grafů v Obr. 6 je podobná již výše uvedeným výsledkům a souhlasí i s výstupy statistických analýz, které prokázali velmi těsnou korelaci mezi všemi počítanými indexy klíčení (viz např. Obr. 11 a 12 pravé obrázky v horní řadě; podrobnější vysvětlení viz níže).

V souhrnném obrázku Obr. 7 vidíme porovnání indexu klíčivosti (GI) a rychlosti klíčení (CVG) v rámci jednotlivých genotypů napříč sledovanými variantami pokusu. Vzrůstající stresové podmínky (vyšší koncentrace NaCl či PEG) statisticky signifikantně snižovaly oba indexy, i když pokles indexu klíčení byl výraznější než CVG. V těchto grafech je dobře vidět vliv variant na jednotlivé genotypy. Např. rychlost klíčení (CVG) u odrůdy Cadeli byla celkově snížena nejméně i ve stresových podmínkách. Z Obr. 8 je ovšem patrné, že Cadeli ukázal obecně vyšší odolnost (vyšší klíčivost) ve vyšších hodnotách stresu (200 a 250 mM a 18 a 22 % PEG), ovšem v nižších hodnotách (150 mM a 15 % PEG) měl klíčivost nižší než ostatní genetický materiál. Pro vysvětlení této skutečnosti nemáme dostatek dalších informací, ale může to být způsobeno nižší celkovou klíčivostí (viz komentář k Obr. 5) v kontrolních podmínkách a naopak lepší adaptibilitu semen v podmínkách většího stresu. V podmínkách většího osmotického tlaku roztoku totiž dochází k pomalejší imbibici semen, a to je spojeno s vyšší aktivitou reparačních enzymů v semenech. Odrůda, která tak hůře klíčí v kontrolních podmínkách (z nejistých a daty nepodložených údajů) může po částečné imbibici (vlastně se jedná o priming semen) vykázat lepší schopnosti klíčit. Při porovnání hodnot mezi genotypy také vidím, že hybrid prokázal vyšší GI při klíčení ve vysoké teplotě a v 200 mM NaCl. V obecném slova smyslu se výkonnost hybrida velmi blíží jeho „lepšímu“ rodiči, odrůdě Cadeli.

I při celkovém porovnávání průměrů všech treatmentů a variant program Statistica 10.0 prokázal signifikantní rozdíl mezi genotypy Cadeli + ČŽL (horní obrázek Obr. 9 a Obr. 10). Tyto výsledky tak podloženě oddělily vysokou výkonnost hybridu. V případě GI i CVG navíc jasně prokázaly negativní vliv nejvyšších koncentrací NaCl a PEG na všechny genotypy a prokázaly tak jejich selekční (rozdělovací) schopnost. Z dat je také patrný velmi negativní vliv nízkých teplot na GI, způsobený zpožděním klíčení.

Výsledky multifaktoriálních analýz prokázaly velmi jasný vliv treatmentů na jednotlivé genotypy. Byly zpracovány dvě analýzy komponent. Obr. 11 obsahuje pouze hodnoty indexů GI a CVG, protože jde o indexy počítané pouze za jednotlivé kumulativní dny, oproti ostatním indexům, které byly počítány jako průměry z každé hodnoty. Pro každou PCA jsme nejdříve vizualizovali tzv. scree plot (část A obrázku), tedy procento vysvětlené variability, podle pravidla „jedničky“. Toto pravidlo říká, že je nutno ukázat tolik kombinací faktorů, které se v „scree plot“ vyskytují nad číslem jedna. V obou případech je podle dat nutno vizualizovat pouze dva faktory (1 a 2), protože procento vysvětlené variability v datech je velmi vysoké. V prvním případě (Obr. 11) jde o cca 99% a v druhém (Obr. 12) o 87% celkově vysvětlené variability dat pouze při vizualizaci těchto dvou faktorů. Část obr. B projektuje vložené proměnné do faktorové roviny a ukazuje jejich vliv na postavení genotypů v projekci případu (C a barevně upraveně v D). V obou obr. 11 a 12 vidíme, že indexy velmi silně korelují jeden s druhým (úhel mezi jednotlivými indexy je nulový). V části C je vizualizovaný výstup podle genotypů (černě – hybrid, zeleně ČŽL a červeně – Cadeli). Je jasně patrné, že všechna měření jsou odlišná v rámci genotypů – žádná měření z jednoho genotypu nejsou obsažena v genotypu druhém. V části D jsou vizualizované jednotlivé treatmenty tak, aby byly rozlišitelné (černě – vliv PEG, modře – vliv NaCl, zeleně – vliv nízké teploty, žlutě – vliv vysoké teploty a červeně – kontrolní odečty). V části D v obou případech je jasně zřetelný trend odlišení vysokých koncentrací PEG na straně jedné a kontrolní odběry na straně druhé. Méně dat v Obr. 11 způsobilo přehlednější rozdělení dat. Tyto výsledky plně korespondují s výsledky uvedenými výše.

6. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo optimalizovat metodu laboratorního klíčení řepky olejky v stresových podmínkách (stres vysokou a nízkou teplotou, zasolením a imitace sucha) a ověřit citlivost této metody k rozlišení jednotlivých genotypů řepky.

Na základě dosažených výsledků mohu prohlásit, že laboratorní metody klíčení semen řepky jsou schopny podchytit jemné nuance v genetických rozdílech použitých genotypů. Testy klíčivosti v stresových podmínkách jsou obecně doporučovány pro selekci odrůd, v této BP ovšem šlo o prokázání rozdílů i mezi úzce příbuznými materiály. Výsledky klíčivosti, energie klíčení, rychlosti klíčení a také relativní klíčivosti a statistické faktoriální zpracování získaných dat prokázaly, že tyto metody jsou dostatečně citlivé a jasně rozdělují i spřízněné genotypy mezi sebou. Na jedné straně citlivý čínský materiál ČŽL 20/1 vykázal snížení většiny sledovaných indexů; výkonná francouzská odrůda Cadeli prokázala vysokou rychlost klíčení, odolnost vůči zasolení a simulovanému nedostatku vody a nakonec jejich hybrid ČŽLxCadeli (mateřský komponent ČŽL) se pohyboval většinou mezi těmito limity, při klíčení ve vysoké teplotě mateřské komponenty dokonce překonal (vliv matky zde měl výraznou roli). Heterózní efekt hybridu se tedy výrazně projevil v jeho vyšší odolnosti klíčivosti semen v suboptimálních a stresových podmínkách.

Je nutné zdůraznit skutečnost, že těchto výsledků by nebylo možno dosáhnout porovnáváním indexů v kontrolních nebo selekčně slabých podmínkách. Podle mého názoru je nutné porovnávat min. dvě koncentrace osmotika (např. 18 a 22-24 % PEG, 200 a 250-300 mM NaCl), abychom získali datovou řadu, vhodnou pro rozdělení genotypových odpovědí. Výhodné je dosáhnout snížení klíčivosti o cca 50 %. Výsledky také potvrdily důležitost dat získaných z odlišných prostředí klíčení a jejich vzájemného porovnání (solný stres a toxický vliv iontů soli; čistě osmotické působení nepermeabilního PEG simulací sucha). Nesmíme také opomenout jakýsi pozitivní vliv „primingu“ těchto osmotik na jednotlivé genotypy. V podmínkách většího osmotického tlaku roztoku totiž dochází k pomalejší imbibici semen, a to je spojeno s vyšší aktivitou reparačních enzymů v semenech. Odrůda, která tak hůře klíčí, může po částečné

imbibici (vlastně se jedná o řízený priming semen) vykazat lepší schopnost klíčit v podmínkách osmotického stresu.

Jedním z výsledků předložené BP je i zjištění, že řepka olejka i v sub-optimálních podmínkách nejrychleji klíčí mezi 2. - 4. dnem od začátku klíčení. Pro budoucí skrínink genotypů tedy navrhujeme možnost soustředit se pouze na první týden klíčení semen ve „stresových“ podmínkách (při znalosti celkové klíčivosti a modifikace formou extrapolace dat – Urban, osobní sdělení), odečtech po 12 hodinách nebo využití např. time-lapse technik (snímkování kamerou v časových intervalech a využití zpracování obrazovou analýzou). Tato modifikace urychlí metodu selekce genotypů na základě jejich klíčících reakcí a může být prvním kritériem výběru různých genetických zdrojů řepky olejky pro růst v sub-optimálních podmínkách. Jinou modifikací je tyto stresory kombinovat (osmotický stres + teplotní stres) a dosáhnout tak více komplexní genotypové odpovědi.

Věříme, že byly splněny i dílčí cíle BP, charakterizovat stručně vliv klimatických změn, popsat jejich dopady na zemědělskou produkci v ČR a také diskutovat významnou olejninu – řepku olejku.

POUŽITÁ LITERATURA

- ACCRETe 2007:** Agriculture and Climate Change in Europe: Regional Facts and Challenges. University of Rostock, Germany, 82 s.
- Ashkan A. Jalal M. 2013:** Effect of salinity Stress on seed germination and seedling vigor indices of two Halophytic Plant Species (*Agropyronelongatum* and *A. pectiniforme*). In International Journal of Agriculture and Crop Sciences: 2669 – 2676, ISSN 2227 – 670X, dostupné z <http://ijagcs.com/wp-content/uploads/2013/09/2669-2676.pdf>
- Baranyk P. Kazda J. Škeřík J. Volf M. et al. 2005:** Řepka olejka v českém zemědělství: komplexní pěstitelská technologie. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin, Praha, 161 s. ISBN 80-903464-3-X
- Bláha L. & Pazderů K. 2011:** Poznámky z konferencí ESA a ISTA z hlediska semenářského výzkumu. Osivo a sadba: 214 – 218.
- Bláha L. 2011:** Znaky adaptability k podmínkám stresu u zemědělských rostlin. In Rostliny v podmínkách měnícího se klimatu: 726 – 735, ISSN 0139 – 6013.
- Bláha L. Vyvadilová M. 2012:** Metodika testování vlastností semen a klíčnicích rostlin na odolnost vůči fyzikálním stresorům pro selekci genetických zdrojů řepky ozimé. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha, ISBN 978-80-7427-130-4
- Bláha L., Kadlec P., Skulinová M., Hnilička F. 2002:** Vliv abiotických stresorů na chemické složení obilek pšenice. In Vliv abiotických a biotických stresů na vlastnosti rostlin 2002: 23 – 26, Praha, ISBN 80-213-0949-0.
- Bláha L. 2012:** Zamyšlení nad současným stavem výzkumu aplikované fyziologie rostlin In: Vybrané kapitoly z fyziologie rostlin a zemědělského výzkumu: 6-12. VÚRV, Praha, ISBN: 978-80-7427-087-1.
- Both Z. 2009:** Vztah vitality obilek pšenice ke kvalitě pečiva. Disertační práce. Brno: MZLU v Brně, 68 s.
- Čvančara F. 1962:** Zemědělská výroba v číslech. 1. díl, SZN, Praha
- Falloon P. Betts R. 2009:** Climate impacts on European agriculture and water management in the kontext of adaptation and mitigation – The importace od and integrated approach. Science of the Total Environment 408: 5667 – 5687.
- Gupta S. K. (ed.) 2009:** Biology and Breeding of Crucifers. CRC Press, 385 p. ISBN 978-1-4200-8608-9.
- Holdsworth M. J. Bentsink L. Sopper W. J. J. 2008:** Molecular networks regulating Arabidopsis seed maturation, after-ripening, dormancy and germination. New Phytologist 179
- Holubec V. & Štolcová J. 2002:** Stres a adaptace rostlin v přírodních ekosystémech. In: Vliv abiotických a biotických stresů na vlastnosti rostlin 2002: 13 – 22, Praha, ISBN 80-213-0949-0.
- IPCC 2014:** Summary for Policymakers, In: Climate Change 2014, Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp., ISBN: 80-86555-20-8
- Kang Y. Khan S. Ma X. 2009:** Climate change impacts on crop yield, crop water produktivity and food security. Progress in Natural Science 19: 1665 – 1674.
- Klíma M. & Koprna R. 2008:** Novinky ve šlechtění řepky olejky. Zemědělský týdeník 11: 4 – 7.
- ISTA 2011:** International Rules for Seed Testing – Edition 2011, Germany. ISBN-13978-3-906549-63-7
- Kranner I. Minibayeva F. V. Beckett R. P. Seal C. E. 2010:** What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. New Phytologist 188: 655 – 673.

- Kubát K. (ed.) 2002:** Klíč ke květeně České republiky. Academia, Praha, 927 s. ISBN 80-200-0836-5.
- Kuchtová P. Nerad D. Škekíř J. Kazda J. Káš M. Mičák L. Baranyk P. 2008:** Možnosti intenzifikace v ekologické pěstitelské technologii ozimé řepky. Prosperující olejny 2008 Česká zemědělská univerzita v Praze, ISBN 978-80-213-1860-1.
- Luštinec J. & Žárský V. 2003:** Úvod do fyziologie vyšších rostlin. Nakladatelství Karolinum, Praha, 261 s. ISBN 80-246-0563-5.
- Makowski N. & Röhl W. 2013:** Reakce řepky na začínající klimatické změny. Prosperující olejny 2013: 10 – 12. Česká zemědělská univerzita v Praze, ISBN 978-80-213-2420-6.
- Masarovičová E., Malovcová Ľ., Sekerková M., Babulicová M. 2004:** Charakteristika řepky olejky z hradiska pestovatelských a klimatických podmínek, In Příspěvky k problematice zemědělského pokusnictví, VÚRV, v.v.i., Praha, ISBN 978-80-7427-153-3, s. 71 – 99
- Míka V. 2002:** Morfogeneze trav. VÚRV, Praha, ISBN: 80-86555-20-8.
- Národní program na zmírnění dopadů změny klimatu na ČR. 2014.** Dostupné z http://www.mzp.cz/cz/narodni_program_zmirneni_dopadu. Citováno: 8.6.2015
- Pavlová L. 2005:** Fyziologie rostlin, Nakladatelství Karolinum, 253 stran, ISBN 80-246-0985-1, Vydala univerzita Karlova v Praze
- Pazderů K. Visingerová D. 2009:** Klíčivost a vitalita osiva aster. Dostupné na <http://zahradaweb.cz/klicivost-a-vitalita-osiva-aster/> Citováno 15.6.2015
- Penk J. 2001:** Mimoprodukční funkce zemědělství a ochrana krajiny. Institut výchovy a vzdělání MZČR, Praha, 64s. ISBN80-7105-224-8.
- Pretel J. Metelka L. Novický O. Daňhelka J. Rožnovský J. Janouš D. 2011:** Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (Technické shrnutí výsledků řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 v letech 2007–2011). Český hydrometeorologický ústav, Praha
- Procházka S. Macháčková I. Krekule J. Šebánek J. et al. 1998:** Fyziologie rostlin. Academia, Praha, 484 s. ISBN 80-200-0586-2.
- Shahverdikandi M. A. Tobeh A. Godehkahriz S. J. Rastegar Z. 2011:** The study of germination index of canola cultivars for drought resistance. International journal of Agronomy and Plant Production. Vol., 2 (3): 89-95, ISSN 2051-1914.
- Šerá B. 2014:** Klíčivost semen jako běžný test v botanickém pozorování, šlechtění a experimentech, In Příspěvky k problematice zemědělského pokusnictví, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, ISBN 978-80-7427-153-3, s. 9 – 17.
- Štranc J. Štranc P. Štranc D. 2005:** Klíčení řepky ozimé. Agro 10: 54 – 55
- Tirado M. C. Clarke R. Jaykus L. A. McQuatters – Gollop A. Frank J. M. 2010: Climate change and food safety. Food Research International 43: 1745 – 1765.
- Trnka Z. 2004:** Metodika a zkoušení osiva a sadby, Ministerstvo zemědělství, odbor rostlinných komodit, Praha, Čj.:34349/04 – 17220
- Vašák J. et al. 2000:** Řepka. Agrospoj, Praha
- Vyvadilová M. & Klíma M. 2012:** Současné cíle a metody ve šlechtění řepky olejky. In: Vybrané kapitoly z fyziologie rostlin a zemědělského výzkumu. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha, 146 - 159. ISBN 978-80-7427-087-1.
- Vyvadilová M. Klíma M. Kučera V. Prášil I. Bláha L. 2008:** Výběr genetických zdrojů řepky ozimé se zvýšenou odolností ke stresovým faktorům vnějšího prostředí. In Úroda 56: 157 – 160.
- Vyvadilová M. Klíma M. Kučera V. Prášilová P. Prášil I. Koprna R. 2007:** Šlechtění řepky ozimé na toleranci ke stresovým faktorům vnějšího prostředí. Systém výroby řepky, Systém výroby slunečnice: 127-133.

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Obecný popis použitých genetických zdrojů	23
Tabulka 2 Hodnocení hospodářských znaků použitých materiálů a hybridů	33
Tabulka 3 Hodnocení kvality hybridů a rodičovských komponent metodou NIRS	34
Tabulka 4 Kontrolní hodnoty klíčení semen	36
Tabulka 5 Vliv zasolení na klíčení semen	37
Tabulka 6 Vliv simulace sucha (PEG) na klíčení semen	37
Tabulka 7 Vliv vysoké a nízké teploty na klíčení semen	38
Tabulka 8 Hodnoty kumulativního klíčení semen (součty naklíčených semen) - rozložení po genotypech	39

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 3 Brassica napus L. - znázornění morfologie rostliny (Zdroj: http://pharm1.pharmazie.uni-greifswald.de/allgemei/koehler/koeh-167.jpg)	4
Obrázek 4 Ukázka naklíčených semen hybrida ČŽLxCad v 150 mM NaCl (Zdroj: autor) ..	9
Obrázek 1 Projekce teploty a srážek do roku 2030 (Zdroj: Pretel 2011, ČHMÚ, uvedeno se souhlasem autora).....	18
Obrázek 2 Eroze půdy v zemědělství (Zdroj: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_MEDIA/stelprdb1043194.jpg)	22
Obrázek 5 Průměrná klíčivost jednotlivých genotypů v různých variantách kultivace ..	35
Obrázek 6 Indexy klíčení (SG, GE a RSG) pro 2. den kumulativního klíčení.....	40
Obrázek 7 Hodnoty GI a CVG jednotlivých genotypů	41
Obrázek 8 Vliv zásahu na Index klíčení (GI) mezi genotypy.....	42
Obrázek 9 Celkové průměry GI genotypů mezi variantami; vliv genotyp x varianta	43
Obrázek 10 Celkové průměry CVG genotypů; vliv genotyp x varianta	44
Obrázek 11 PCA analýza dat indexů GI a CVG	45
Obrázek 12 PCA analýza dat všech indexů	45
Obrázek 13 Příprava na klíčení - pracovní prostor	i
Obrázek 14 Zakládání semen na klíčovnice	i
Obrázek 15 Pracovní deník	ii
Obrázek 16 Ukázka termostatického boxu, ve kterém semena klíčila	ii
Obrázek 17 Ukázka abnormálních klíčenců odrůdy Cadeli.....	iii

SEZNAM ZKRATEK

ACCRETe - Agricultural and Climate Changes: How to Reduce Human Effects and Threats

ANOVA - analysis of variance - analýzy rozptylu

BP – bakalářská práce

CVG – coefficient of velocity of germination – koeficient rychlosti klíčení

GE – germination energy – energie klíčení

GI – germination index – index klíčení

GSL – glukosinoláty

HSP – Heat Shock Protein – proteiny teplotního šoku

HTS – hmotnost tisíce semen

ISTA – International Seed Testing Association - Mezinárodní asociace testování semen

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - Mezivládní panel klimatické změny

mM – milimol

NIRS – Near-infrared spectroscopy – Blízká infračervená spektroskopie

PCA - principal component analysis – analýza komponentních skóre

PEG – polyethylenglykol

RSG – relativní rychlost klíčení ve stresu, vztažená ke kontrolám

SG – speed of germination - rychlost klíčení, klíčivost

ÚKZÚZ – Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

VÚRV – Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i, Praha - Ruzyně

PŘÍLOHY



Obrázek 13 Příprava na klíčení - pracovní prostor



Obrázek 14 Zakládání semen na klíčovlá



Obrázek 15 Pracovní deník



Obrázek 16 Ukázka termostatického boxu, ve kterém semena klíčila



Obrázek 17 Ukázka abnormálních klíčenců odrůdy Cadeli

ANOTACE

Jméno a příjmení: Bc. Eva Jurníčková

Katedra nebo ústav: Katedra pedagogiky, UP

Vedoucí práce: RNDr. Olga Vránová, PhD.

Rok obhajoby: 2016

Název práce: Vliv vybraných abiotických stresorů na klíčení semen řepky olejky (*Brassica napus* L.)

Název v angličtině: The influence of abiotic stress treatments on rapeseed germination (*Brassica napus* L.)

Anotace práce: Tato bakalářská práce se zabývá vlivem abiotických stresorů na genotypy řepky olejky v době klíčení. Větší tolerance ke stresu ve fázi klíčení svědčí o odolnosti rostlinného organismu i v dalších fázích růstu. Adaptabilní genotypy získávají velký význam v podmínkách větší variability počasí a změny klimatu. Různé indexy klíčení jsou jednou z možností jak sledovat vitalitu a odolnost semen. V práci jsme prokázali, že tyto laboratorní metody jsou schopné postihnout jemné rozdíly mezi zvolenými genotypy řepky olejky.

Klíčová slova: Řepka olejka, klimatická změna, plasticita, klíčivost, vitalita semen, indexy klíčení, abiotické stresory

Anotace v angličtině: This bachelor thesis deals with an abiotic stress impact on oilseed rape genotypes while germinating. A plant organism more tolerant to abiotic stress during the germination is supposed to be more resistant in subsequent vegetative phases. Genotypes with high adaptability is getting to be more important in the term of current climate change. We use several indices to study germination to observe the seed viability and seed tolerance to stress conditions. It has been proved the efficacy of these indices to capture slight nuance between selected genotypes.

Klíčová slova v angličtině: oilseed rape, climatic change, genotype plasticity, germination ability, viability, germination indices, abiotic stress

Přílohy vázané v práci: ano, 3 strany

Rozsah práce: 58 stran

Jazyk práce: česky