

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv vybraných abiotických faktorů na klíčivost sveřepu
jalového**

Diplomová práce

Anna Janoušková

Pěstování rostlin – rostlinná produkce

Ing. Kateřina Hamouzová, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv vybraných abiotických faktorů na klíčivost sveřepu jalového" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil(a) autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4.2023

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí této diplomové práce, Ing. Katěrině Hamouzové Ph.D. za odbornou přípravu a metodologickou pomoc, při jejím zpracování. Dále bych chtěla poděkovat své rodině, za dlouholetou trpělivost, kterou se mnou měla a za velkou podporu, bez které by tato práce nevznikla.

Vliv vybraných abiotických faktorů na klíčivost sveřepu jalového

Sveřep jalový je významným plevelným druhem uplatňujícím se zejména v ozimých obilninách, jehož škodlivost v poslední dekádě narůstá. Jeho rychlá populační dynamika, změny v agrotechnice a v neposlední řadě nedostatek účinných látek herbicidů, přispívají k jeho rozšiřování v agrofytocenózách. Druh se často vyskytuje na stanovištích s horší dostupností vody, proto byla testována jeho tolerance k suchu a salinitě. Obilky sveřepu jalového byly sesbírány v lokalitách jeho typického výskytu poblíž obcí Sýrovice a Ctíněves. Před založením pokusu byla testována citlivost obilek k herbicidům, která určila senzitivitu a rezistenci jednotlivých biotypů. Toto testování ale nebylo předmětem této práce. Po odeznění dormance byla semena uložena do Petriho misek a testována jejich klíčivost v různých teplotních podmínkách, dále byly testovány různé koncentrace soli NaCl a to 0, 25, 50, 100, 200 a 250 mM. Dostupnost vody byla testována pomocí různých koncentrací polyethylenglykolu 6000 a to 0; -0,01; -0,05; -0,1; -0,5; -1 MPa. Pokusy probíhaly v laboratořích FAPPZ v řízených podmínkách v klimaboxech s fotoperiodou 16 hodin světlo a 8 hodin tma při teplotách 5, 15, 20 a 25 °C. Získaná data byla statisticky zpracována a na jejich základě byla posouzena tolerance sveřepu jalového na stres způsobený teplotou, salinitou a suchem. Teplotní optimum bylo pro rezistentní i senzitivní biotyp obilek sveřepu jalového určeno mezi 20–25 °C. Oba typy semen kompletně inhibovaly klíčení při 5 °C, a to při všech testovaných koncentracích NaCl i PEG 6000. Nejvyššího procenta klíčivosti dosáhla většina obilek při koncentraci 0 mM NaCl a 0 MPa PEG 6000. Délka listů obou biotypů a kořenů všech senzitivních a většiny rezistentních obilek byla nejvyšší při teplotě 25 °C a zkracovala se s klesající teplotou. Se zvyšující se koncentrací roztoku NaCl bylo pozorováno snižující se procento vyklíčených obilek u obou variant. Hormetický efekt byl pozorován při koncentraci 50 mM NaCl a teplotě 15 °C. Růst listů rezistentního biotypu byl inhibován při 200 mM NaCl a teplotě 20 °C a při 250 mM a teplotě 15 °C, při teplotě 25 °C růst listů probíhal i při nejvyšší koncentraci. Klíčení obilek a růst kořenů rezistentní varianty pokračoval i při nejvyšší koncentraci. Růst listů u senzitivní populace byl inhibován v 15 °C při 50mM, v 20 °C při 100 mM a v 25 °C při 200 mM NaCl. Inhibice klíčení senzitivních obilek byla zaznamenána v 15 °C při 100 mM a v 20, 25 °C při 200 mM NaCl. Senzitivní varianta obilek byla shledána citlivější ke stresu způsobenému zasolením půdního roztoku. Rezistentní i senzitivní biotyp reagoval na zvyšující se koncentrace roztoku PEG 6000 snížením počtu vyklíčených obilek. Výjimku bylo možné pozorovat při teplotě 15 °C a koncentraci PEG 6000 -0,05 MPa, kdy došlo k hormetickému efektu. Délka kořenů rezistentní varianty se u všech teplot výrazně zkrátila při koncentraci -0,5 MPa a klíčení bylo inhibováno při -1 MPa PEG 6000 a teplotě 15 °C. Během teplot 20 a 25 °C klíčení a růst kořenů dál pokračoval i při koncentraci -1 MPa. Růst listů rezistentního biotypu byl inhibován koncentrací -1 MPa u všech teplot. Senzitivní obilky vykazovaly zvýšené klíčení, v porovnání s kontrolou, při koncentraci -0,01 MPa a teplotách 20 a 25 °C a při -0,05 MPa a teplotě 25 °C. S vyšším nárůstem koncentrace byl růst listů redukován a úplná inhibice růstu nastala při koncentraci -0,5 MPa u 15 a 20 °C a -1 MPa u 25 °C. Procento vyklíčených rostlin se snižovalo se stoupající koncentrací PEG 6000 a inhibice nastala ve stejných koncentracích a teplotách jako inhibice listů. Tato zjištění podporují teorii, že sveřep

jalový, jako plevel kulturních rostlin prospívá ve faremních systémech s omezeným zpracováním půdy a v oblastech nepříznivých pro citlivější kulturní rostliny. Se stoupajícím nebezpečím změny klimatu, zasolení půdy a nedostatečného zavlažování půdy, je důležité znát mechanismy tolerance vůči těmto stresům u obou kulturních i plevelných rostlin. Tyto znalosti je možné využít i v dalším managementu plevelných rostlin.

Klíčová slova: *Bromus sterilis*, ekologie semen, salinita, teplota

Abiotic factors affecting germination of *Bromus sterilis*

Bromus sterilis is an important weed specie growing mainly in winter cereals. In the last decade, its harmfulness has been increasing. Its rapid population dynamics, changes in agricultural technology and the lack of active herbicides contribute to its spread in agrophytocenoses. The species is often found in habitats with poor water availability, so its tolerance to drought and salinity was tested. The grains of Barren brome were collected in localities of its typical occurrence near the villages of Sýrovice and Ctiněves. Before starting the experiment, the sensitivity of the grains to herbicides was tested, which determined the sensitivity and resistance of individual biotypes. But this testing was not the subject of this experiment. After the end of dormancy, the seeds were placed in Petri dishes and their germination was tested in different temperature conditions, and different concentrations of NaCl salt were tested, i.e. 0, 25, 50, 100, 200 and 250 mM. The availability of water was tested using different concentrations of polyethylene glycol 6000 namely 0; -0.01; -0.05; -0.1; -0.5; -1 MPa. The experiments took place in FAPPZ laboratories under controlled conditions in climate boxes with a photoperiod of 16 hours of light and 8 hours of darkness at temperatures of 5, 15, 20 and 25 °C. The obtained data were statistically processed and on their basis the tolerance of the Barren brome to stress caused by temperature, salinity and drought was assessed. The temperature optimum was determined between 20-25 °C for the resistant and sensitive biotype of the grain of *Bromus sterilis*. Both types of seeds completely inhibited germination at 5 °C, at all tested concentrations of NaCl and PEG 6000. The highest percentage of germination was achieved by most grains at a concentration of 0 mM NaCl and 0 MPa PEG 6000. The length of leaves of both biotypes and roots of all sensitive and most resistant grain was highest at 25 °C and shortened with decreasing temperature. With increasing concentration of NaCl solution, a decreasing percentage of germinated grains was observed for both variants. The hormetic effect was observed at a concentration of 50 mM NaCl and a temperature of 15 °C. The growth of leaves of the resistant biotype was inhibited at 200 mM NaCl and a temperature of 20 °C and at 250 mM and a temperature of 15 °C, at a temperature 25 °C the leaf growth continued even at the highest concentration. Grain germination and root growth of the resistant variant continued even at the highest concentration. Leaf growth in the sensitive population was inhibited at 15 °C at 50 mM, at 20 °C at 100 mM and at 25 °C at 200 mM NaCl. Inhibition of germination of sensitive grains was recorded at 15 °C at 100 mM and at 20, 25 °C at 200 mM NaCl. The sensitive variant of cereals was found to be more sensitive to the stress caused by the salinity of the soil solution. Both the resistant and sensitive biotype responded to increasing concentrations of PEG 6000 solution by reducing the number of germinated grains. An exception was observed at a temperature of 15 °C and a concentration of PEG 6000 -0.05 MPa, when the hormetic effect occurred. The length of the roots of the resistant variant was significantly shortened at all temperatures at a concentration of -0.5 MPa, and germination was inhibited at -1 MPa PEG 6000 and at 15 °C. At 20 and 25 °C, germination and root growth continued even at a concentration of -1 MPa. Leaf growth of the resistant biotype was inhibited by a concentration of -1 MPa at all temperatures. Sensitive grains showed increased germination compared to the control at a concentrations of -0.01 MPa and temperatures of 20 and 25 °C and at -0,05 MPa at temperature of 25 °C. With a higher increase in concentration, leaf growth was reduced and complete inhibition of growth occurred at the concentration of -0.5 MPa at 15 and

20 °C and -1 MPa at 25 °C. The percentage of germinated plants decreased with increasing concentration of PEG 6000 and inhibition occurred at the same concentrations and temperatures as leaf inhibition. These findings support the theory that Barren brome thrives as a crop weed in farming systems with limited tillage and in areas unfavorable to more sensitive crop plants. With the increasing danger of climate change, soil salinization and insufficient soil irrigation, it is important to know the mechanisms of tolerance to these stresses in both crop and weed plants. This knowledge can also be used in the further management of weed plants.

Keywords: *Bromus sterilis*, seed ecology, salinity, temperature

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Vědecká hypotéza a cíle práce	11
3	Literární rešerše.....	12
3.1	Plevelné rostliny	12
3.2	Svěřep jalový	12
3.2.1	Charakteristika sveřepu jalového.....	12
3.3	Rezistence plevelných rostlin	13
3.3.1	Rezistence v místě účinku	13
3.3.2	Rezistence mimo místo účinku	14
3.3.3	Vícenásobná a křížová rezistence	14
3.3.4	Management herbicidům rezistentních plevelů	14
3.4	Abiotické faktory	15
3.4.1	Osmotický stres.....	16
3.4.2	Stres způsobený abiotickými fakotry	21
3.5	Vliv abiotických faktorů na klíčení plevelů rezistentních a senzitivních k herbicidům	21
3.5.1	Světlo	22
3.5.2	Teplota	22
3.5.3	Sucho.....	23
3.5.4	Salinita.....	23
4	Metodika.....	25
4.1	Sběr obilek, jejich uchování a příprava experimentu	25
4.1.1	Polyethylenglykol 6000	25
4.1.2	Chlorid sodný	25
4.2	Průběh a ukončení experimentální části.....	26
4.3	Zpracování a vyhodnocení výsledků	26
5	Výsledky	27
5.1	Vliv teploty a salinity půdy na klíčení obilek sveřepu jalového	27
5.2	Vliv teploty a sucha na klíčení obilek sveřepu jalového	32
6	Diskuze	37
6.1	Vliv abiotických faktorů na klíčení obilek sveřepu jalového.....	37
6.1.1	Teplota	37
6.1.2	Sucho.....	38
6.1.3	Salinita.....	39
6.2	Přijetí hypotézy.....	39

7 Závěr	41
8 Literatura	42
9 Seznam použitých zkratk a symbolů	49
10 Samostatné přílohy	I

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1</i> Herbicidům rezistentní plevele vyskytující se na území České republiky (Weedscience 1993)	15
<i>Tabulka 2</i> Dělení abiotických a biotických faktorů (Angelova & Georgiev 2006, Naik & Al-Khayri 2016).....	15
<i>Tabulka 3</i> Průměrné délky kořenů a listů rezistentního biotypu při působení NaCl	27
<i>Tabulka 4</i> Průměrné délky kořenů a listů senzitivního biotypu při působení NaCl.....	29
<i>Tabulka 5</i> Průměrné délky kořenů a listů rezistentního biotypu při působení PEG 6000.....	34
<i>Tabulka 6</i> Průměrné délky kořenů a listů senzitivního biotypu při působení PEG 6000	35

Seznam grafů

<i>Graf 1</i> Vliv teploty a koncentrace NaCl na délku kořenů rezistentního biotypu sverepu jalového	28
<i>Graf 2</i> Vliv teploty a koncentrace NaCl na délku kořenů senzitivního biotypu sverepu jalového.....	29
<i>Graf 3</i> Vliv teploty a koncentrace NaCl na délku listů rezistentního biotypu sverepu jalového	30
<i>Graf 4</i> Vliv teploty a koncentrace NaCl na klíčení a délku listů senzitivního biotypu sverepu jalového	31
<i>Graf 5</i> Vliv teploty a koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku kořenů rezistentního biotypu sverepu jalového	32
<i>Graf 6</i> Vliv teploty a koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku kořenů senzitivního biotypu sverepu jalového..	33
<i>Graf 7</i> Vliv teploty a koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku listů rezistentního biotypu sverepu jalového	34
<i>Graf 8</i> Vliv teploty a koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku listů senzitivního biotypu sverepu.....	36
<i>Graf 9</i> Vliv koncentrace NaCl na klíčení a délku kořenů rezistentních obilek sverepu jalového.....	I
<i>Graf 10</i> Vliv teploty na klíčení a délku kořenů rezistentních obilek sverepu jalového.....	I
<i>Graf 11</i> Vliv koncentrace NaCl na klíčení a délku kořenů senzitivních obilek sverepu jalového	II
<i>Graf 12</i> Vliv teploty na klíčení a délku kořenů senzitivních obilek sverepu jalového	II
<i>Graf 13</i> Vliv koncentrace NaCl na klíčení a délku listů rezistentních obilek sverepu jalového	III
<i>Graf 14</i> Vliv teploty na klíčení a délku listů rezistentních obilek sverepu jalového.....	IV
<i>Graf 15</i> Vliv koncentrace NaCl na klíčení a délku listů senzitivních obilek sverepu jalového	IV
<i>Graf 16</i> Vliv teploty na klíčení a délku listů senzitivních obilek sverepu jalového	V
<i>Graf 17</i> Vliv koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku listů rezistentních obilek sverepu jalového.....	V
<i>Graf 18</i> Vliv teploty na klíčení a délku listů rezistentních obilek sverepu jalového.....	VI
<i>Graf 19</i> Vliv koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku kořenů rezistentních obilek sverepu jalového	VI
<i>Graf 20</i> Vliv teploty na klíčení a délku kořenů rezistentních obilek sverepu jalového.....	VII
<i>Graf 21</i> Vliv koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku kořenů senzitivních obilek sverepu jalového	VIII
<i>Graf 22</i> Vliv teploty na klíčení a délku kořenů senzitivních obilek sverepu jalového	VIII
<i>Graf 23</i> Vliv teploty na klíčení a délku listů senzitivních obilek sverepu jalového	IX
<i>Graf 24</i> Vliv koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku listů senzitivních obilek sverepu jalového	IX

1 Úvod

Sveřep jalový je jednoletý, ozimý plevel, rodu sveřep, čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Tvoří svazčité trsy a je vysoký 30-100 cm (Soukup et al. 2018, Štrobach & Mikulka 2020).

Význam sveřepu jalového jako plevelné rostliny ozimých obilnin v posledních dekádách významně roste. Zvýšený výskyt sveřepu jalového podporuje několik faktorů, mezi které můžeme řadit jeho vysokou generativní produkci, vysokou klíčivost obilek sveřepu nebo omezení zpracování půdy (Soukup et al. 2018). Spolu s dalšími 17 druhy byla u sveřepu jalového potvrzena rezistence vůči některým herbicidům i v České republice. Rezistenci si vyvinul k účinným látkám sulfometuron-methyl, pyroxsulam a propoxycarbazon (Weedscience 2023).

Díky porozumění principům působení základních enviromentálních faktorů na růst rostlin, můžeme získat účinný nástroj k boji proti rezistentním plevelům jako je sveřep jalový (Liu et al. 2021). Součástí vývojového cyklu rostlin je klíčení semen. Jeho průběh mohou negativně, ale i pozitivně ovlivňovat abiotické faktory – světlo, teplota, zasolení půdy a nedostatek vody (Angelova & Georgiev 2006, Naik & Al-Khayri 2016, Liu et al. 2021).

Světlo a teplo jsou základními enviromentálními faktory ovlivňující klíčení a umožňující distribuci rostlinných druhů (Hatfield & Prasad 2014). Jejich působení na klíčení semen závisí na druhu, stáří a původu semen (Liu et al. 2021). Světlo působí na klíčení semen pozitivně nebo negativně v závislosti na jejich fotoblasticitě (Wu et al. 2018).

Z předchozích studií bylo zjištěno, že sveřep jalový lépe klíčí ve tmě než při vystavení světelnému ozáření (Pollard 1982, Ellis 1986). Každá rostlina má pro klíčení ideální teplotu označovanou jako optimum. Teplotní minimum a maximum jsou dva extrémy, určující body, přes které není rostlina schopna vyklíčit (Hills & Staden 2003). Optimum pro rostliny z rodu *Bromus* spp. bylo potvrzeno v rozmezí teplot 20-30 °C, minimum 5-15 °C a maximum 30-35 °C (Žďárková et al. 2014, Alshallash 2018, Liu et al. 2021).

Předpokládá se, že zhruba 20 % kultivované půdy je zasaženo vysokými koncentracemi iontů v půdě jako je Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{SO}_4^{2-}\text{Na}^+$ a Cl^- (Cirillo et al. 2018). Plevelné rostliny rostoucí podél cest, které jsou v zimním období ošetřovány solí, byly prokazatelně odolnější k zasolení v porovnání s plevelnými rostlinami rostoucími v poli. Toto zjištění dokazuje, že si plevelné rostliny dokáží vůči soli tvořit rezistenci (Eom et al. 2013, Dudley et al. 2014). Mezi tyto rostliny se řadí i sveřep jalový. Nicméně, nehledě na to, zda je plevelná rostlina vůči soli rezistentní nebo ne, se zvyšujícími se koncentracemi soli, můžeme pozorovat snižující se procento vyklíčených semen (Li et al. 2011, Cirillo et al. 2018). Bylo zjištěno, že rostliny z rodu *Bromus* spp. mají během klíčení větší odolnost vůči stresu způsobenému suchem, v porovnání se stresem způsobeným zasolením půdy (Tavii et al. 2021).

Minimalizační technologie zpracování půdy a no-till technologie umožnily plevelům rozšíření na obdělávané půdě a herbicidy se ukázaly jako účinný nástroj k jejich regulaci. Časté užívání herbicidů se stejným mechanismem účinku a jejich nadměrné dávky způsobují u plevelných rostlin rezistenci (Loura et al. 2020). Pochopení fyziologické, biochemické a agronomické zdatnosti vůči herbicidům rezistentních a senzitivních plevelů je zásadní, pro porozumění vzniku rezistence a dalšímu managementu těchto rostlin (Ghazali et al. 2020).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem této diplomové práce bude stanovení vlivu některých abiotických faktorů (např. salinity, sucha, atd.) na klíčivost vybraných populací sveřepu jalového. V této diplomové práci bude ověřována hypotéza, zda je klíčivost sveřepu jalového ovlivněna dostupností vody a obsahem soli v půdním roztoku.

3 Literární rešerše

3.1 Plevelné rostliny

Dle cambridgského slovníku jsou plevelné rostliny definovány jako rostliny rostoucí na nechtěných místech, nejčastěji na polích a zahradách, kde zamezují volnému růstu kultivovaných rostlin (Cambridge Dictionary 2023).

Plevelné rostliny ovlivňují agro-ekosystémy negativně, o tom svědčí fakt, že nejvíce zdokumentovanou oblastí je jejich konkurenceschopnost k hlavním plodinám. Naopak pozitivní vliv mohou mít pro zvířata například pro opylovače jsou plevely hlavním zdrojem potravy (Petit et al. 2011). Konkurence mezi hlavní plodinou a plevelem vzniká během získávání hlavních růstových faktorů (světlo, voda, živiny) většinou v systémech, které se tyto zdroje snaží maximalizovat, za účelem vyšších výnosů (Damalas & Koutroubas 2022).

Mezi hlavní negativní dopady plevelů patří jejich vliv na snížení výnosu plodin, v některých případech až 100%, a také ke snížení jejich kvality. Pokles výnosu dále vede k negativnímu ovlivnění ekonomiky zemědělského subjektu (Baucom & Holt 2009, Damalas & Koutroubas 2022). Snahou vědců, je tedy zjistit do jaké míry plevely ovlivňují hlavní plodiny, aby bylo možné plevely kontrolovat či vymítit. Dosavadní snahy o jejich redukci, ale vyústily k adaptaci plevelů, které jsou nyní rezistentní k užívaným chemickým přípravkům (Baucom & Holt 2009).

3.2 Svěřep jalový

Svěřepy jsou trávy jednoleté i vytrvalé s přibližně 150 známými druhy. Svěřep jalový (*Bromus sterilis* L., BioLab.cz 2023) je v současnosti významným plevem ozimých obilnin, jeho škodlivost postupně stoupá i jako plevelné rostliny ozimé řepky, dále pak v sadech a viničích. Jeho zvýšený výskyt může být způsoben změnami klimatu, vysokou generativní produkcí, vysokou klíčivostí obilí, nevýraznou dormancí, omezeným zpracováním půdy nebo nedodržením zásad střídání plodin (Soukup et al. 2018). Je rozšířen především v Severní a Jižní Americe a ve střední a západní Evropě (Žďárková et al. 2014, Štrobach&Mikulka 2020). Abychom byli schopni jeho výskyt v ozimých plodinách eliminovat, je důležité porozumět tomu, jak jeho klíčení ovlivňují změny vnějšího prostředí (Humphries et al. 2018).

3.2.1 Charakteristika svěřepu jalového

Na orné půdě jeden z nejvýznamnějších plevelů, rodu svěřep a čeledi lipnicovitých (*Poaceae*), je archeofyt svěřep jalový. Jednoletý, ozimý plevel tvořící svazčité trsy, vysoký 30-100 cm se svazčitými kořeny (Soukup et al. 2018, Štrobach&Mikulka 2020). Klíčící svěřep má čepel prvního listu čárkovitou 4,5-7 cm dlouhou, oboustranně chlupatou. Lysá listová pochva je roztroušeně chlupatá, světle zelená a hnědě pruhovaná, přibližně od dvou třetin srostlá. První list má krátký jazýček, který je hluboce roztřepený a bez oušek. Druhý list je 0,3-0,5 cm široký podobný listu prvnímu, ale víc chlupatý. Listy se s počtem postupně zvětšují (čepele dosahují až 25 cm) a s nimi i jejich jazýček, který je roztřepený. Čepele růstově starších listů mají zvlněný povrch, jsou ploché, po okrajích chlupaté a postupně olysávají. Svěřep má srostlé,

pýřité až jemně chlupaté pochvy, ve kterých jsou stočeny mladé listy (Soukup et al. 2018). Stébla jsou v kolínkách vystoupavá, tuhá a lysá zakončená řídkou latou. Volná 20 cm dlouhá a 7-12 cm široká lata je rozkladitá s lehce převislými větévkami, na kterých je jeden až čtyři klásky (Soukup et al. 2018). Klínovité, podlouhlé klásky nejsou větvené, jsou kolmo odstáté, drsné a na konci převíslé. Drsné osiny jsou lysé, ale i chlupaté a dozrávající mají fialovou až hnědou barvu. Čárkovitě kopinaté a špičaté plevy jsou nestejně. Pluchy dlouhé 1,4-2 cm, široké 0,2-0,4 cm jsou úzce kopinaté, žilkované a ukončené 1,5-3 cm osinou (Soukup et al. 2018, Štrobach&Mikulka 2020).

V období květu (květen až červen) jedna rostlina vyprodukuje až několik stovek obilek. Obilky, které mají krátkou dormanci, klíčí během pozdních letních měsíců až do začátku podzimu (Andersson et al. 2002). Optimální klíčivost semen byla v laboratorních podmínkách zjištěna při teplotě 15–25 ° C a hloubce půdy 0,5 cm. Semena sveřepů dokáží vzházet z hloubek do 6 cm. Semena uložená v hlubších vrstvách půdy vzhází ojedinele (Štrobach&Mikulka 2020). Několik studií potvrdilo (Hilton 1984, Andersson 2002, Alshallash 2018), že tato skutečnost není ovlivněna nedostatkem světla, jelikož vzházení sveřepů se liší od ostatních plevelů v tom, že není inhibováno tmou. V této práci budeme dále zkoumat účinky ostatních abiotických faktorů na jeho klíčivost.

3.3 Rezistence plevelných rostlin

Management plevelných rostlin na zemědělské půdě je přetrvávající problém. V dřívějších dobách se jejich regulace řešila pomocí manuálního pletí nebo orby. Zhruba před 70 lety se začaly využívat syntetické herbicidy, které značně usnadnily odstraňování plevelů z pozemku a zvýšily výnos plodin. Jejich užívání v posledních dekádách způsobilo silný selekční tlak a s ním spojený vývoj herbicidům rezistentních plevelů (Gaines et al. 2020).

Herbicidní rezistence, je dědičná vlastnost rostliny, která je schopná přežít a nadále se reprodukovat po vystavení dávce herbicidu, která je za normálních podmínek pro daný druh toxická. Rozlišujeme herbicidní rezistenci, která se vyskytuje v rostlinách přirozeně a herbicidní toleranci, která je vyvolaná v rostlinách uměle, například mutagenézí (Hamouzová et al. 2021). Rostliny překonávají účinek herbicidů pomocí různých mechanismů, které lze rozdělit na rezistenci v místě účinku a rezistenci mimo místo účinku.

3.3.1 Rezistence v místě účinku

Mechanismy rezistence v místě účinku vznikají v důsledku změn vazebného místa herbicidu nebo nadprodukce cílového enzymu. Mechanismus této rezistence je spojován se zamezením navázání herbicidu na cílové místo účinku z důvodu strukturální změny vazebného místa. Cílem jsou proteiny, enzymy nebo jejich komponenty, počet míst cílového účinku se v současné době u herbicidů pohybuje mezi 15-20 (Yuan et al. 2007, Soukup et al. 2020). Další příčinou je vznik polymorfismu cílových enzymů herbicidů, které sice spouští stejné reakce, ale liší se ve složení nebo sekvencích aminokyselin (Soukup et al. 2020). Rezistence v místě účinku se také může vyvinout v důsledku nadměrné exprese nebo nadměrného zmnožení cílového genu (Gaines et al. 2020).

3.3.2 Rezistence mimo místo účinku

Mechanismus této rezistence spočívá v nedosažení místa účinku dostatečnou dávkou herbicidu, z toho důvodu nedochází k zamezení produkce cílového enzymu. Mechanismy rezistence mimo místo účinku zahrnují sníženou absorpci či translokaci herbicidu, zvýšený metabolismus herbicidu, sníženou rychlost aktivace herbicidu, zvýšenou sekvestraci nebo metabolickou degradaci herbicidu. Rezistence mimo místo účinku, založená na metabolismu, zahrnuje zvýšenou aktivitu enzymatických komplexů. Pokud tato rezistence zahrnuje detoxikaci herbicidů těmito enzymy, je obvykle řízena mnoha geny a může udělovat rezistenci vůči herbicidům se zcela odlišnými způsoby účinku (Gaines et al. 2020).

Rezistence mimo místo účinku může být způsobena procesem detoxikace rostlin, který probíhá ve čtyřech fázích. Fáze první je detoxikace (způsobena oxidací), při které se aktivují molekuly herbicidu tak, že určité funkční skupiny mohou být vystaveny pro enzymy fáze druhé. Fáze druhá je detoxikace obecně zahrnující konjugaci objemné hydrofilní molekuly na aktivované toxické sloučeniny pomocí thiolů nebo cukrů. Fáze třetí zahrnuje transportování konjugované molekuly do vakuoly nebo extracelulárního prostoru aktivním transportem. Čtvrtá fáze detoxikace zahrnuje další degradaci konjugované molekuly ve vakuole či extracelulárním prostoru. V necílovém místě může být zapojeno mnoho druhů proteinů vykazujících odolnost vůči herbicidům. Prokázanou účast na rezistenci mají ale pouze proteiny komplexu cytochrom P450 oxigenázy, glutathion s-transferázy, glykosyltransferázy a ABC transportéry (Yuan et al. 2007, Gaines et al. 2020).

3.3.3 Vícenásobná a křížová rezistence

Důležité je také zmínit vícenásobnou a křížovou rezistenci, obě tyto rezistence jsou velkým problémem v managementu plevelných rostlin. Vícenásobná rezistence je rezistence plevelu k herbicidům s různými mechanismy účinku, to znamená že je rezistentní ke dvěma či více účinným látkám. Křížová rezistence vzniká dlouhodobým nadužíváním herbicidu s konkrétní účinnou látkou, ke které si rostlina vytvořila rezistenci. Rostlina si tak vyvine rezistenci i k jiným látkám se stejným mechanismem účinku (Soukup et al. 2020).

3.3.4 Management herbicidům rezistentních plevelů

Od roku 1975 počet rostlin rezistentních k herbicidům rapidně stoupl. K roku 2023 je tak registrováno 513 případů rezistence plevelných rostlin k herbicidům. Plevelné rostliny si byly schopny vytvořit rezistenci k 21 z 31 známých mechanismů účinku herbicidů (Weedsicence 2023). Ochranu proti vzniku rezistence je nutné přizpůsobit regionu, klimatu, obhospodařované půdě a systému hospodaření. I přes to, je důležité dodržovat obecná doporučení jako je diverzita plodin, střídání herbicidů s různými mechanismy účinku a správné zpracování půdy (Beckie & Harker 2017).

Na území České republiky, je registrováno 18 rezistentních plevelů viz tabulka 1. Jedním z nich je také sverep jalový. Důvodem jeho šíření je využívání minimalizačních technologií zpracování půdy a nedostatečnost účinnosti chemické ochrany (Soukup 2020). Jeho rezistence

byla zaznamenána i v Německu a ve Francii. Není ale jediným druhem rezistentním k herbicidům z rodu *Bromus* spp.. Rezistenci sveřepu střešního registrují v Kanadě, Francii, Španělsku i ve Spojených státech. Sveřep načervenalý potom v Austrálii a Španělsku. Rezistence sveřepu dvoumužného je zaznamenána na několika místech v Austrálii.

Tabulka 1 *Herbicidům rezistentní plevelé vyskytující se na území České republiky (Weedscience 1993)*

Druh	Mechanismus účinku	Účinné látky
Rdesno blešník	Inhibice fotosyntézy PSII	atrazin, terbuthylazin, terbutryn, prometryn, cyanazin, lenacil
Laskavec ohnutý		atrazin, terbuthylazin, terbutryn, prometryn, cyanazin, metamitron
Merlík bílý		atrazin, simazin, terbuthylazin, terbutryn, prometon, cyanazin, metamitron, lenacil
Turanka kanadská		atrazin
Starček obecný		atrazin, simazin, terbuthylazin, terbutryn, prometryn, cyanazin, lenacil
Lipnice roční		atrazin, terbutryn, prometryn, cyanazin
Rdesno červivec		atrazin, simazin, terbutryn, prometryn, cyanazin, lenacil
Laskavec zelenoklasý		atrazin, simazin, terbutryn, prometryn, cyanazin
Merlík tuhý		atrazin, simazin, terbutryn, prometryn, lenacil
Ježatka kuří noha		atrazin
Lilek černý	atrazin	
Rosička krvavá	atrazin	
Chundelka metlice	Inhibice acetolaktát syntázy	sulfosulfuron, chlorsulfuron, isoproturon, iodosulfuron-methyl-Na, mesosulfuron-methyl, pyroxsulam
Psárka polní		chlorsulfuron
Sveřep jalový		sulfometuron-methyl, pyroxsulam, propoxycarbazon
Heřmánkovec nevonný		tribenuron-methyl, florasulam
Bytel metlatý		imazapyr, sulfosulfuron, prosulfuron, metsulfuron-methyl, nicosulfuron, rimsulfuron, atrazin
Turanka kanadská		glyphosate
		Inhibice enolpyruvylšikimát-fosfát syntázy

3.4 Abiotické faktory

Vnější faktory můžeme rozdělovat dle jejich původu na abiotické a biotické viz tabulka 2 (Agelova et al. 2006). Biotický stres je způsoben živými organismy jako např. hmyzem, viry, bakteriemi, houbami a pavouky. Biotické faktory se dělí dle původu na plísňové, kvasinkové a bakteriální. Tyto faktory zapříčiňují biotický stres. Na tento typ stresu se rostlina neumí adaptovat, i v případě opakovaného vystavení. Z tohoto důvodu je biotický stres hlavním důvodem před a posklizňových ztrát (Naik&Al-Khayri 2016, Ahluwalua et al. 2021). Abiotické faktory jsou faktory životního prostředí, nesouvisící s živými organismy. Můžeme je dále dělit na fyzické, chemické nebo hormonální (Naik&Al-Khayri 2016). Abiotický stres rostlinám způsobuje trvalé poškození jako zaražení růstu, poškození metabolismu, snížení výnosu a mutační změny (Ahluwalua et al. 2021).

Tabulka 2 *Dělení abiotických a biotických faktorů (Angelova & Georgiev 2006, Naik & Al-Khayri 2016)*

	Abiotické		Biotické
Fyzické	Chemické	Hormonální	
Teplota	Těžké kovy	Kyselina salicylová	Polysacharidy
Světlo	Minerální soli	Jasmonáty	Plísně
Zasolení	Plynné toxiny	Brassinosteroidy	Kvasinky
Sucho		Kyselina abscisová	
		Auxiny	

3.4.1 Osmotický stres

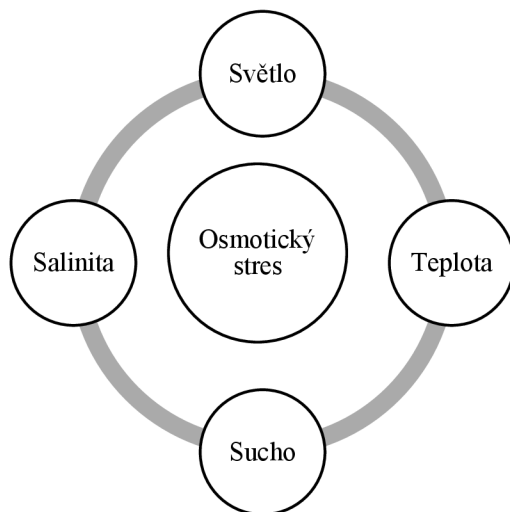
Trvale udržovaný turgor v buňkách je 0,6 MPa. Způsobuje ho tlak cytoplazmatické membrány na buněčnou stěnu a silně souvisí s obsahem vnitřní vody. Koncentrace látek uvnitř buňky, je vyšší než v jejím okolí. Kanály spolu s transportními systémy umožňují prostup látek (spolu s vodou, která vyrovnává koncentraci vně a uvnitř buňky) do vnitřního prostředí buňky (Munns 2002, Buchanan et al. 2000).

V případě vystavení rostliny abiotickým stresovým faktorům, je koncentrační gradient narušen. Následně pak dochází k tomu, že při zvýšené koncentraci cytoplazmou neprocházejí látky. Vnitřek buňky ochabuje z důvodu úniku vody a vnější prostředí se zahušťuje. To vše se okamžitě projevuje na rostlině uvadáním a ochabnutím (Gyöngyi 2007, Munns & Tester 2008).

3.4.1.1.1 Ovlivnění klíčivosti pomocí fyzikálních abiotických faktorů u plevelných rostlin

Klíčení semen je jedním ze základních fyziologických jevů v cyklu rostlinného růstu. Následující faktory ovlivňují průběh a dobu klíčení pozitivně i negativně viz obrázek 1. Reakce semen na působení těchto faktorů závisí na jejich původu, druhu a stáří. Poznání principu těchto reakcí, přináší do budoucna účinný nástroj k boji proti rezistentním plevelům, jako jsou například rostliny z rodu sverep (Liu et al. 2021).

Obrázek 1 Vlivy způsobující osmotický stres (Gyöngyi 2007)



3.4.1.1.2 Světlo

Pro správný vývoj rostliny, počínající jejím vyklíčením ze semene, mají rostliny efektivní mechanismus, který zajišťuje, aby klíčení nebylo započato před dosažením ideálních podmínek. Rostlina během doby primární dormance může tyto podmínky detekovat pomocí environmentálních signálů jako je např. teplota půdy. Tyto a jiné faktory ovlivňují průběh a ukončení dormance a dávají rostlinám signál ke klíčení. U světla jsou tyto informace přenášeny

pomocí jeho spektrálního složení a intenzity ozáření (Finch-Savage & Leubner-Metzger 2006, Battla & Benech-Arnold 2014).

Vliv světla na klíčení plevelů byl zkoumán u mnoha různých druhů rostlin. Výsledky neukazují výraznou inklinaci ke tmě nebo ke světlu. To dokazuje, že klíčení každé plevelné rostliny je ovlivněné jiným environmentálním faktorem (Penny & Neal 2003, Boyd & Acker 2004, Ohadi et al. 2009).

Klíčení semen plevelných rostlin lipnice roční a chrastice menší, bylo zkoumáno pod vlivem různých intenzit a různé délky ozáření. Bylo zjištěno, že procento klíčivosti u obou rostlin je vyšší při vyšší intenzitě a při ozáření trvajícím 1000 s. Když se ale délka ozáření prodloužila na 10 000 s, procento vyklíčených semen se snížilo. Autoři tuto skutečnost přisuzují obranému mechanismu rostlin, který při zvýšené teplotě a snížení hydratace semen chrání rostlinu před neúspěšným vyklíčením (Ohadi et al. 2009).

Fatoua villosa Thunb. (BioLib.cz 2023) nově se rozšiřující plevelná rostlina ve Spojených státech, při pokusech zkoumajících vliv teploty, hloubky umístění semen a světla, vykazovala vysoké potlačení klíčivosti při vystavení úplné tmě. Rozdíl mezi procenty vyklíčených semen ve tmě a procenty vyklíčených semen na světle se dle studie ukázal být až 55 %. Dále se ve studii prokázalo, že čím hlouběji byla semena v půdě uložena, tím menší procento semen klíčilo, což by do budoucna mohla být užitečná informace pro redukci této rostliny (Penny & Neal 2003).

Další rostliny vykazující vysoký pokles klíčivosti při temnostním režimu byly ježatka kuří noha, svízel přítula, bér zelený a hořčice polní. Semena penízku rolního a ovsu hluchého naopak na změnu světelného režimu nereagovala vůbec. Oves hluchý projevil odezvu ve formě vyššího procenta klíčivosti pouze v kombinaci s vodním deficitem nebo vodním stresem (Boyd & Acker 2004).

Vliv světelného působení na klíčivost sveřepu jalového, je ve studiích zkoumán v souvislosti s jinými abiotickými faktory jako je například teplota nebo zasolení (Pollard 1982, Žďárková et al. 2014, Valičková et al. 2017). Světelný faktor může být testován jako rozdílná světelná perioda - 24 hodin světlo, 24 hodin tma, 12 hodin světlo/12 hodin tma, 8 hodin světlo/16 hodin tma, denní osvětlení pouze 1 hodinu či 1 minutu (Ellis et al 1986). Vliv světla na rostliny je zkoumán pod různou intenzitou ozáření, ale i pod různými typy záření (Hilton 1982, Ellis et al. 1986).

U semen sveřepu jalového bylo zjištěno, že umělé i přirozené světlo, dokáže u semen oddálit klíčení, a to při různé intenzitě a trvání osvětlení. Nebylo, potvrzeno, že by světlo vyvolávalo dormanci (Pollard 1982, Ellis 1986).

Nejvyššího procenta klíčivosti bylo dosaženo při úplné tmě v teplotách 15-25 °C (Valičková 2017). Toto zjištění je zajímavé v porovnání s většinou plevelných rostlin, u kterých tma klíčení inhibuje (Hilton 1982, Penny & Neal 2003, Boyd & Acker 2004, Ohadi et al. 2009).

3.4.1.1.3 Salinita

Faktor, který z velké části ovlivňuje výnosy kulturních plodin, hlavně v teplejších oblastech planety jako je Čína, je zasolení půdy. Zasolení je způsobeno několika faktory: změnou klimatu, nárůstem populace a s tím spojenou zvýšenou potřebou přírodních zdrojů a nepřiměřeným zavlažováním. Předpokládá se, že zhruba 20% kultivované půdy je zasaženo vysokými koncentracemi iontů v půdě jako je Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Na^+ a Cl^- (Cirillo et al. 2018).

Zasolení může být způsobeno akumulací solí v půdě, během delšího časového období. Tato akumulace je způsobena buď zvětráváním hornin obsahujících rozpustné soli, nebo koloběhem mořské vody, která se po vypaření z oceánu dešťovými srážkami dostane na povrch půdy. Dalším možným důvodem zasolení půdy je lidská aktivita. Časté hospodaření na půdě (jednoleté rostliny) nebo zavlažování vodou s vysokým obsahem soli či nedostatečná drenáž zavlažovaných oblastí jsou nejčastějšími důvody tohoto jevu (Parihar et al. 2014).

Vliv salinity na klíčení plevelných rostlin byl zkoumán v mnoha studiích (Kaya et al. 2009, Li et al. 2011, Ramirez et al. 2012, Sadeghloo et al. 2013, Dudley et al. 2014, Zhang et al. 2017). Bylo zjištěno, že některé rostliny tolerují zasolení půdy během klíčení v menších dávkách. U halofytních rostlin (rostliny tolerující vyšší dávky soli v půdě) nižší dávky soli klíčení stimuluje (Shen et al. 2010). Nicméně nehledě na to, zda je plevelná rostlina halofytní nebo glykofytní (rostliny citlivé na zasolení půdy), se zvyšujícími se koncentracemi soli, můžeme pozorovat snižující se procento vyklíčených semen (Li et al. 2011, Cirillo et al. 2018). Většina plevelných rostlin je tolerantnější k zasolení než kulturní rostliny. Možným důvodem je fakt, že velká část plevelů je halofytních nebo má část halofytních genů (Flowers & Colmer 2008). Plevelné rostliny rostoucí podél cest, které jsou v zimním období ošetřovány solí, pro větší komfort řidičů, byli prokazatelně odolnější k zasolení v porovnání s plevelnými rostlinami rostoucími v poli. Toto zjištění dokazuje, že si plevelné rostliny dokáží vůči soli tvořit rezistenci (Eom et al. 2013, Dudley et al. 2014).

Klíčení semen plevelných rostlin z rodu *Bromus* spp. pod vlivem zasolení bylo zkoumáno v několika studiích (Yang et al. 2008, Shen et al. 2010, Li et al. 2015, Liu et al. 2021). Zasolení půdy bylo simulováno různými koncentracemi chloridu sodného (NaCl) v rozmezí od 0-0,360 M. Ve studii Shen et al. 2010 zjistili, že nejvyšší procento klíčení se u sveřep bezbranného objevilo při koncentraci 0,021 M NaCl . U stejné rostliny, ale Yang et al. 2008 nedosáhli žádného rozdílu v procentech klíčivosti v koncentracích 0-0,020 M NaCl . Všechny studie, ale potvrzují, že se zvyšující se koncentrací NaCl klesá procento klíčivosti a v koncentracích kolem 0,3 M je klíčení úplně inhibováno (Yang et al. 2008, Shen et al. 2010, Liu et al. 2021).

U semen sveřepu japonského bylo procenta klíčení snížena o 50 % při koncentracích nad 0,202 M NaCl . Klíčení ale nadále probíhalo v koncentracích do 0,320 M NaCl a úplně inhibováno bylo při koncentracích od 0,360 M NaCl (Li et al. 2015).

3.4.1.1.4 Sucho

Zhruba 80-95 % každé rostliny je tvořeno vodou. Voda hraje zásadní roli v mnoha fyziologických procesech jako je růst, vývoj a metabolismus rostliny. Z tohoto důvodu je sucho považováno za hlavní stresový faktor obzvlášť v oblastech, které jsou k suchu náchylné. Zemědělství je zasaženo suchem z důvodů jako je úbytek vodních zdrojů a zvýšená poptávka po potravinových zdrojích (Seleiman et al. 2021). Evapotranspirace, nestálé a nerovnoměrné rozložení srážek a omezená kapacita zadržování vody v rhizosféře – to jsou tři hlavní důvody vzniku sucha v obhospodařovaných oblastech (Passioura & Angus 2010).

Sucho rozdělujeme na (Heim 2002):

- i. Meteorologické sucho – výskyt v oblastech suchého počasí
- ii. Hydrologické sucho – výskyt v situaci nízké/omezené zásoby vody
- iii. Zemědělské sucho – snížená hladina vody v půdě
- iv. Socioekonomické sucho – selhání nabídky a poptávky v důsledku sucha

V závislosti na trvání sucha, rostliny reagují krátkodobě, a to například inhibicí růstu nebo omezením asimilace uhlíku nebo dlouhodobě například adaptací metabolismu. Dlouhodobé reakce můžou rostlině způsobit trvalé poškození až uhynutí (Ahluwalia et al. 2021).

Tolerance k suchu při klíčení plevelných rostlin lze měřit dle osmotického potenciálu, značeného (ψ_s), vypočítaného z koncentrace polyethylenglykolu 6000 (PEG-6000) rozpuštěného ve vodě. V určitých koncentracích se hodnota ψ_s lineárně zvyšuje s teplotou. Pro výpočet osmotického potenciálu, je tedy třeba zahrnout i teplotu, ve které experiment probíhal (Michel & Kaufmann 1973).

Bylo prokázáno, že procento vyklíčených plevelných rostlin úměrně klesá se zvyšujícím se osmotickým stresem. Některé rostliny jako například *Ceratocarpus arenarius* L. (Ebrahimi & Eslami 2011, BioLib.cz 2023), je tolerantnější k osmotickému stresu a 25 % klíčení vykazuje i při hodnotách -1 MPa nebo sveřep japonský (Li et al. 2015), který vykazoval 7 % klíčivost při -1,1 MPa. Tyto hodnoty jsou pro citlivější druhy jako medyněk vlnatý nebo ježatku kuří nohu hraničními a při dosažení těchto hodnot nevyklíčí (Sadeghloo et al. 2013). Studie od Tanaveera et al. v roce 2013 zkoumala vliv stáří semen na klíčení během osmotického stresu způsobeného suchem. Bylo zjištěno, že koncentrace -0,8 MPa pro semena stará jeden rok, znamenala pokles klíčení ze 100 % na 85,5 % přičemž u semen starých 5 let to byl pokles signifikantnější a to na 25,5 %.

Tavili et al. 2011 zkoumali dva druhy plevelných rostlin z rodu *Bromus* spp., a to sveřep bezbranný a *Bromus tomentellus* Boiss. (BioLib.cz 2023). V této studii bylo zjištěno, že oba druhy snášejí lépe stres způsobený suchem než stres způsobený solí. Největší rozdíl bylo možné pozorovat ve vyšších koncentracích, a to v rozmezí od -0,9-(-1,2) MPa, kde *B. tomentellus* Boiss (BioLib.cz 2023) i sveřep bezbranný stále klíčili při působení sucha, ale stejné koncentrace soli už klíčení inhibovaly (Tavili et al. 2011). V porovnání druhů *Bromus tomentellus* Boiss. (BioLib.cz 2023), sveřep bezbranný a sveřep perský vyšel *Bromus tomentellus* jako rezistentnější druh, snášející větší stres než dva ostatní druhy. V této studii

bylo zjištěno, že rostliny neprojevují rozdíly v klíčivosti mezi kontrolou a -0,3 MPa, kdy bylo dosaženo největších procent klíčivosti u všech třech druhů (Armaki et al. 2013).

3.4.1.1.5 Teplota

Teplota je primárním environmentálním faktorem ovlivňujícím růstu a vývoje rostlin. Teplota a fotoperioda jsou jedny z určujících klimatických podmínek pro distribuci rostlinných druhů (Hatfield & Prueger 2015). Tyto podmínky omezují distribuci přímo – omezením růstu, reprodukce, nebo nepřímo a to prostřednictvím ekologických faktorů – soutěž o zdroje (Maduraimuthu & Prasad 2014).

Klíčení je ovlivňováno teplotou ve třech hlavních bodech (Hills & Staden 2003):

- i. Ukončení primární nebo sekundární dormance.
- ii. Pokud nejsou podmínky pro růst příznivé a teploty nejsou v normě, počátek sekundární dormance.
- iii. Teplota, ve které probíhá klíčení, ovlivňuje klíčení, jeho rychlost a četnost.

Každá rostlina má své rozmezí teplot, během kterých je pro ni možné nebo naopak nemožné vyklíčit, označují se jako minimum, maximum (Hatfield & Prueger 2015). Maximum a minimum jsou dva extrémy, přes které rostlina není schopná vyklíčit. Optimum značíme teplotu, které je nejlepší pro vyklíčení největšího procenta rostlin za nejmenší časový úsek (Hills & Staden 2003). Tyto teploty se liší nejen mezi různými druhy rostlin, ale i mezi biotypy stejného druhu (Hills & Staden 2003, Ebizahimi & Eslami 2011, Tahaveer et al. 2013, Li et al. 2015, Kashmir et al. 2016, Liu et al. 2021).

Klíčení plevelných rostlin pod vlivem teplotního stresu, je ve většině studií spojeno se stresem světelným (Žďárková et al. 2014), stresem ze zasolení (Kashmir et al. 2016) nebo například stresem způsobeným suchem (Tanaveer et al. 2013). Při zkoumání teplotního stresu bylo potvrzeno, že každá rostlina má své maximum, minimum a optimum pro vyklíčení. U ječmenice písečné, byla zjištěna optimální teplota pro klíčení při 25 °C denní teploty a 15 °C noční teploty. Při teplotách vyšších bylo její klíčení sníženo z 96 % na 43 % (Ebrahimi & Eslami 2011). Podobné zjištění přinesli studie Kashmir et al. 2016 s plevelnými rostlinami oves hluchý a ostropestřec mariánský, kde nízké teploty pod 15 °C a příliš vysoké teploty nad 35 °C procento vyklíčených rostlin zdatelně klesalo.

Rostliny rodu *Bromus* spp., prokazatelně klíčily v rozmezí od 5-35°C. Jako optimální teplota pro klíčení se ukázalo být rozmezí mezi 20-30 °C (Žďárková et al. 2014, Alshallash 2018, Liu et al. 2021). Při těchto teplotách, rostliny vykazovaly nejvyšší procento a rychlost klíčení. Ve studii Žďárková et al. 2014 zjistili, že v těchto teplotách sverep jalový vyklíčil za méně než 24 hodin. Při teplotách pod toto optimum 5-15 °C rostliny stále klíčily, ale procento vyklíčení výrazně pokleslo a s ním se prodloužil čas klíčení až na 6 dní. Tyto teploty by se dle dané literatury daly označit za minima (Žďárková et al. 2014, Alshallash 2018, Liu et al. 2021). Teploty od 30-35 °C, byly potvrzeny jako maxima pro vyklíčení. Při teplotách přesahujících 35 °C bylo klíčení plně inhibováno (Žďárková et al. 2014, Alshallash 2018).

3.4.2 Stres způsobený abiotickými faktory

Výše zmíněné výkyvy z normálního stavu rostlin, způsobují při vývoji a růstu rostlině stres. Ten můžeme dle jeho účinků dělit na eu-stres a di-stres. Eu-stres na rostlinu působí pozitivně, di-stres rostlinu poškozuje (Lichtenthaler 1998). Rostlina vnímá stres jako pozitivní nebo negativní na základě její tolerance a senzitivity (Kranter et al. 2010). Reakce způsobené stresem jsou vázané na stav rostliny před působením stresu, druh rostliny a na reakčním mechanismu (Lichtenthaler 1998, Ismail et al. 2017).

Lichtenthaler 1998 popisuje reakci rostliny na stres a dělí ji do čtyř fází:

- i. Fáze odezvy
- ii. Restituční fáze
- iii. Konečná fáze
- iv. Fáze regenerace

Fáze odezvy popisuje počátek stresu. Fyziologické procesy v rostlině začínají být potlačovány. Působení stresu se začíná projevovat na životaschopnosti a metabolismus přechází do katabolismu (Kranter et al. 2010). Během druhé fáze můžeme pozorovat obranný mechanismus rostliny, který začíná pracovat a aktivuje proces reparační (Lichtenthaler 1998). V případě nízké tolerance stresu tato fáze může způsobovat poškození. Restituční fáze upevňuje funkci metabolismu a morfologie (Ismail et al. 2017). Pokud stres nepolevuje a jeho působení stále pokračuje, rostlina přechází do konečné fáze. Tato fáze může způsobit trvalé poničení rostliny nebo dokonce její smrt (Lichtenthaler 1998). Čtvrtá fáze nastává v případě odstranění stresoru. Rostlina se během této fáze regeneruje a buduje si fyziologickou rezistenci (Kranter et al. 2010, Ismail et al. 2017).

3.5 Vliv abiotických faktorů na klíčení plevelů rezistentních a senzitivních k herbicidům

Redukce zpracování půdy a no-till technologie umožnily plevelům rozšíření na obdělávané půdě a herbicidy se ukázaly jako účinný nástroj k jejich regulaci. Časté užívání herbicidů se stejným mechanismem účinku a jejich nadměrné dávky způsobují u plevelných rostlin rezistenci (Loura et al. 2020). Pochopení fyziologické, biochemické a agronomické zdatnosti vůči herbicidům rezistentních a senzitivních plevelů je zásadní, pro porozumění vzniku rezistence a dalšímu managementu těchto rostlin (Ghazali et al. 2020).

Klíčení a vzcházení plevelných rostlin je ovlivněno vnitřními a vnějšími faktory jako je světlo, teplo, zasolení půdy a dostupnost vody (Wu et al. 2016). Na každý rostlinný druh během klíčení působí vnější faktory jinou intenzitou. V této kapitole se zaměříme na studie zabývající se klíčením senzitivních (S) a rezistentních (R) semen plevelných rostlin, pod vlivy abiotických faktorů.

3.5.1 Světlo

V závislosti na rostlinném druhu, je klíčení plevelných rostlin indukováno či inhibováno světlem a tmou. Vliv světla je ve většině studií zkoumán v souvislosti s teplotou. Z několika studií vychází, že světelný režim není faktorem ovlivňujícím rozdíly v klíčení mezi rezistentními a senzitivními druhy semen (Humphries et al. 2018, Wu et al. 2016). V tomto případě je to teplota, která indukuje klíčení jednoho biotypu semen víc či míň. Příkladem je studie Wu et al. 2016, kde dvě varianty semen, rezistentní a senzitivní, bérů ohnutého, lépe klíčily ve střídavém světelném režimu 12/12 hodin světla a tmy než v úplné tmě. V temnostním režimu při teplotě 10/5 °C bylo dosaženo 0 % klíčení semen jak u rezistentní, tak u senzitivní varianty. Rozdíly mezi oběma druhy byly pozorovány v následujících případech. Při střídavém světelném režimu od průměrné teploty 10 °C, kdy senzitivní semena klíčila s úspěšností 47 % a rezistentní pouze s 23 % a při průměrné teplotě 25 °C, kde vyšší úspěšnosti dosahovala semena rezistentní (50 %) a senzitivní (35 %) (Wu et al. 2020).

Úplná redukce klíčení ve tmě při teplotách 30/20 °C a vyšších byla pozorována u turanky sumatranské. Z této studie vyplývá, že rezistentní semena této rostliny, klíčí s větší úspěšností ve tmě při teplotách 25/15 °C a 30/20 °C. Rezistentní druh také vykazoval vyšší procento klíčení u střídavého světelného režimu při teplotách 20/10 °C a 35/25 °C (Mahajan et al. 2021). Ovlivnění klíčivosti rezistentních a senzitivních semen plevelů světlem je závislé na jejich fotoblasticitě a teplotě okolí. Z dostupných dat vyplývá, že rezistentní semena rostlin, která nejsou fotoblastická, jsou schopna klíčit pod větším světelným stresem než semena senzitivní (Wu et al. 2016, Mahajan et al. 2021), v případě fotoblastických semen nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl mezi semeny senzitivními a rezistentními (Humphries et al. 2018, Mutti et al. 2019), nebo bylo klíčení kompletně inhibováno.

3.5.2 Teplota

Teplota a světlo jsou dva základní environmentální faktory ovlivňující klíčení. Předchozí odstavec byl zaměřen na vliv světla na klíčení, nyní se zaměříme na rozdíly v klíčení senzitivních a rezistentních rostlin pod vlivem různých teplot. Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, každá rostlina dosahuje teplotních minim, optim a maxim.

Tyto hodnoty se liší v závislosti na rostlinném druhu, z dostupných studií ale vychází, že rezistentní i senzitivní semena mají schopnost klíčit v širokém rozpětí teplot (Wu et al. 2016, Mahajan et al. 2018). Inhibici klíčení u obou biotypů můžeme pozorovat při stálé teplotě 5 °C a to u bérů ohnutého, který ale při střídavé teplotě 10/5 °C vykazoval u rezistentních i senzitivních semen přes 80 % klíčivost (Wu et al. 2016). U ježatky osadní byla zjištěna inhibice klíčení při 15/5 °C a klíčení bylo indukováno až při zvýšení teploty na 20/10 °C (Mutti et al. 2019). Klíčení turanky úzkolisté probíhalo při 15/5 °C, 20/10 °C, 25/15 °C, 30/20 °C i při 35/25 °C, ale optimum se pro rezistentní odrůdy dvou semen pohybovalo 20/10 °C a 25/15 °C s průměrem kolem 20 °C (Loura et al. 2020). Klíčení turanky sumatrajské bylo stejně jako u turanky úzkolisté potvrzeno v širokém rozpětí teplot a to od 15/5 °C do 40/30 °C při světelném režimu 12 hodin světlo a 12 hodin tma. Signifikantní rozdíly mezi senzitivními a rezistentními semeny byli pozorovatelné při 20/10 °C a 15/25 °C, kde se ukázalo procento vyklíčených

rezistentních semen vyšší než u semen senzitivních (Mahajan et al. 2018). Bér ohnutý byl testován během dvou teplotních režimů, a to za stálých teplot 5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C, 25 °C a 30 °C a při střídavých teplotách 10/5 °C, 15/10 °C, 20/15 °C, 25/20 °C a 30/25 °C. Při většině teplot bylo procento klíčení u obou typů semen stejné, a to více než 80 %. Při určitých teplotách byl pozorovatelný rozdíl, kdy rezistentní typ semen klíčil s větší intenzitou než semena rostlin senzitivních. Tyto rozdíly se vyskytovaly při stálé teplotě 10 °C a při teplotě střídavé 15/10 °C v ostatních případech jako třeba u teploty střídavé 10/5 °C a 25 °C teploty stále se procenta klíčivosti lišila (10/5 °C pro rezistentní 84 % a 82 % u senzitivní, 25 °C pro rezistentní 47 % a senzitivní 45 %), ale ne signifikantně (Wu et al. 2016).

Z výsledků vyplývá, že k herbicidům rezistentní semena mají vyšší úspěšnost vyklíčení pod teplotním stresem. Optimum pro klíčení semen rezistentních i senzitivních plevelných rostlin se pohybuje od 20-25 °C, minimum 5-10 °C a maximum 35-40 °C. Výkyv teploty směrem k minimu či maximu ve studiích vždy zaznamenali pokles klíčivosti u senzitivních semen a s menší intenzitou u semen rezistentních.

3.5.3 Sucho

Voda je limitujícím faktorem přežití každé rostliny a bylo dokázáno, že se snižujícím se osmotickým potenciálem koreluje snížené procento klíčivosti až do inhibice klíčení. Sucho je v umělých podmínkách imitováno přidáváním polyethylenglykolu. Hodnoty osmotického stresu na semena dosahují hodnot od -0,1 MPa do -1,6 MPa. Každá rostlina je schopna tolerovat jinou míru osmotického stresu.

Rezistentní semena turanky úzkolisté ve studii inhibovala klíčení při dosažení -0,8 MPa a nejvyššího procenta klíčivosti bylo dosaženo při kontrole (Loura et al. 2020). Podobnou reakci na stejnou koncentraci PEG 6000 měla turanka sumatranská a při dosažení -0,8 MPa klíčila pouze ze 2 %. Pokles klíčení v porovnání s kontrolou byl tak z 25 % na 2 % (Mahajan et al. 2018). Herbicidům rezistentní semena *Nassella trichotoma* Hack. (BioLib.cz 2023) byla testována v při koncentracích od -0,1 do -1,0 MPa. Od dosažení osmotického tlaku -0,2 MPa její klíčení výrazně pokleslo a od -0,4 MPa inhibovala klíčení úplně (Humphries et al 2018). Senzitivní biotyp psárky polní se v pokusech při nižších teplotách ukázal být tolerantnější k suchu než rezistentní varianta stejné rostliny. V režimu bez stresu se ale oba biotypy v odpovědi na zvyšující se salinitu nelišily, a to ve všech teplotách (Ghazali et al. 2020).

Z dostupné literatury vyplývá, že rozdíl mezi rezistentními a senzitivními biotypy semen není rozdíl v reakci na stres způsobený suchem (Mahajan et al. 2018, Ghazali et al. 2020). Toto tvrzení ale nemůžeme jednoznačně potvrdit z důvodu nedostatku literatury porovnávající senzitivní a rezistentní semena při klíčení pod tímto abiotickým faktorem.

3.5.4 Salinita

Vliv salinity na klíčení byl zkoumán pomocí roztoku NaCl v koncentracích od 0-400 mM. Semena herbicidům rezistentních i senzitivních klíčila i při těch nejvyšších koncentracích (Serra et al. 2018, Fogliatto et al. 2019). Senzitivní biotyp plevelné rýže při 400 mM vykazoval až 15 % klíčivost v porovnání s rezistentní variantou, která byla od 300 mM v klíčení

inhibována. Při koncentraci 350 mM, kdy rezistentní semena 100 % neklíčila, senzitivní semena klíčila v rozmezí od 50-75 %. Ve většině případů senzitivní varianta klíčila až s 90 % úspěšností v porovnání s rezistentní variantou, která měla úspěšnost jen 50 %. U rezistentních semen bylo pozorováno zvýšené klíčení (až o 17 %) pouze při koncentraci 50 a 100 mM, tuto změnu připisal Fogliatto et al. 2019 hormetickému efektu. Od koncentrací 200 mM a více bylo opět popsáno u rezistentní varianty nižší klíčení než u senzitivní (Fogliatto et al. 2019).

Serra et al. 2018 zkoumal vliv salinity na 6 variantách semen ježatky kuří nohy, 3 senzitivní a 3 rezistentní, při koncentracích 0-400 mM. V koncentracích od 0-250 mM senzitivní semena klíčila u všech variant až z 90 % v porovnání se semeny rezistentními s klíčivostí 70 % (Serra et al. 2018). U obou zmíněných studií byl zkoumán efekt salinity na vývoj výhonků a kořenů. Obě studie potvrdily zkracování výhonků i kořínků se zvyšující se koncentrací NaCl (Serra et al. 2018, Fogliatto et al. 2019). U plevelné rýže byla zjištěna větší citlivost k NaCl, kdy se listy zkracovali při menší koncentraci NaCl než u rezistentních semen. Růst kořínků byl až o 50 % redukován u rezistentní varianty při 250 mM a inhibován koncentrací 300 mM a více (Fogliatto et al. 2019).

U rezistentních biotypů *Nassella tussock* Hack. (BioLib.cz 2023) bylo klíčení inhibováno koncentrací 250 mM NaCl. Hormetický efekt byl pozorován při 25 mM. Pokles klíčení byl pozorován od 150 mM a to na 10 % (Humphries et al. 2018). Stejná koncentrace (250 mM) inhibovala klíčení rezistentní turanky úzkolisté, u které koncentrace od 0-50 mM nezaznamenali žádný rozdíl ve vlivu na klíčení (Lorra et al. 2020). Senzitivní a rezistentní semena turanky sumatranské zkoumal Mahajan et al. 2018, nejvyšší procento klíčení bylo dle očekávání pozorováno u kontroly a to až 87 %. Do 40 mM nebylo klíčení salinitou nijak ovlivněno, až při 80 mM byl pozorovatelný rozdíl mezi senzitivními (73 %) a rezistentními (46 %) semeny (Mahajan et al. 2018).

Signifikantní rozdíly mezi senzitivní a rezistentními biotypy semen psárky polní bylo ve studii možné pozorovat při kontrole a poté v kombinaci s teplotami 5/10 a 10/17 °C. Senzitivní varianta se zde projevila jako úspěšnější pod vlivem zasolení stejně jako pod vlivem sucha (Ghazali et al. 2020).

Bér ohnutý prokazatelně klíčil v obou variantách do 150 mM s více než 90 % úspěšností. Rezistentní varianta dosahovala signifikantně vyšších výsledků při klíčení v koncentracích 150, 200 a 250 mM (Wu et al. 2016).

Z výsledků dostupných studií vyplývá, že senzitivní biotypy semen jsou schopné ve většině případů lépe odolávat zasolení půdy než rezistentní (Wu et al. 2016, Serra et al. 2018, Fogliatto et al. 2019, Ghazali et al. 2020). Rezistentní semena byla pod stresem vyvolaným NaCl v klíčení úspěšnější u bérů ohnutých (Wu et al. 2016) a u ježatky osadní (Mutti et al. 2019). Zasolení půdy ovlivňuje příjem důležitých prvků z půdy, které dále mohou ovlivnit příjem vody a způsobit stres z nedostatku živin. Pro plevele je tedy velkou výhodou, pokud jsou schopny klíčit a růst v zasolené půdě z důvodu možnosti rozšíření na větší území (Wu et al. 2016).

4 Metodika

4.1 Sběr obilek, jejich uchování a příprava experimentu

Obilky dvou biotypů sveřepu jalového byly nasbírány na dvou různých lokalitách. Rezistentní varianta byla odebrána ve vzrostlém pšeničném porostu dne 15.7.2022 v lokalitě Sýrovice, na adrese U hřbitova 1. Herbicidní rezistence u těchto semen byla potvrzena v nádobových pokusech, které předcházely experimentům provedeným v rámci této diplomové práce, k propoxycarbazonu a pyroxsulamu.

Senzitivní varianta byla taktéž odebrána v porostu pšenice v lokalitě Ctiněves, pod horou Říp, dne 17.7.2022.

Oba typy obilek byly uchovány v popsáných papírových pytlících při pokojové teplotě, v laboratoři na České zemědělské univerzitě, do doby zahájení experimentu. Experiment byl zahájen poté, co odezněla primární dormance obilek.

4.1.1 Polyethylenglykol 6000

Do petriho misky o velikosti v průměru 90 mm byla vložena miska menší o průměru 47 mm, na kterou byl umístěn dvojitý obdélníkový filtrační papír, o tloušťce 0,18 mm, hmotnosti 88 g/m² značky Whatman, namočený do rozdílných koncentrací roztoků PEG 6000. Na filtrační papír následně bylo umístěno 10 obilek sveřepu jalového. V závislosti na opakování byla větší petriho miska naplněna 20 ml roztoku PEG 6000, roztoky byly použity v koncentracích 0; -0,001; -0,005; -0,1; -0,5 a -1 MPa. Každá koncentrace byla použita ve 4 opakováních na 10 obilek rezistentních a 4 opakováních na 10 obilek senzitivních. Po naplnění byly petriho misky uzavřeny a zaizolovány laboratorním parafilmem o tloušťce 5 cm, který byl obtočen kolem celého průměru misky. Každá miska byla označena fixem informacemi o variantě obilek, koncentrací roztoku, číslem opakování experimentu a čtyřech teplotních režimech. Čtyři klimaboxy značky SANYO byly nastaveny na čtyři stálé teploty 5, 15, 20, 25 °C. Světelný režim klimaboxů byl nastaven na 16 hodin světla a 8 hodin tmy. Osvětlení uvnitř klimaboxů zajišťovaly fluorescentní zářivky 40 W ×15 ks.

4.1.2 Chlorid sodný

Petriho misky o stejné velikosti byly připraveny stejným způsobem jako v první části. Filtrační papír byl namočený do rozdílných koncentrací roztoků NaCl. Na filtrační papír následně bylo umístěno 10 obilek sveřepu jalového. V závislosti na opakování byla větší petriho miska naplněna 20 ml roztoku NaCl, roztoky byly použity v koncentracích 0; 25; 50; 100; 200; 250 mM. Každá koncentrace byla použita ve 4 opakováních na 10 obilek rezistentních a 4 opakováních na 10 obilek senzitivních. Po naplnění byly petriho misky uzavřeny a zaizolovány laboratorním parafilmem značky PARAFILM o tloušťce 5 cm, který byl obtočen kolem celého průměru misky.

Do každé teploty (5, 15, 20, 25 °C) byly vloženy petriho misky ve 4 opakováních po 10 semenech od každé varianty semen (R/S), v každé koncentraci (0; 25; 50; 100; 200; 250 mM) při stejném světelném režimu, jako je uvedeno výše.

4.2 Průběh a ukončení experimentální části

V průběhu obou pokusů byly roztoky v petriho miskách pravidelně kontrolovány a doplňovány, aby se filtrační papír nevysušil. Jejich poloha v klimaboxu byla během průběhu experimentu obměňována, aby nedošlo k jejich neúměrnému osvětlení.

Obě varianty pokusu byly ukončeny po 10 dnech. Zpracování obou pokusů probíhalo stejně. Po otevření každé petriho misky, byly vyjmuty všechny obilky sverepu z dané misky a umístěna na tmavý podklad spolu s měřítkem. Všechny varianty koncentrací, obilek a teplot byly nafoceny na digitální fotoaparát. Z fotoaparátu byly fotografie nahrány do počítače a v něm dále zpracovány.

4.3 Zpracování a vyhodnocení výsledků

Pro zpracování výsledků na počítači byl použit program ImageJ 1.53a (Rasband 2023). V tomto programu byla každá fotografie nakalibrována dle přiloženého měřítka.

Takto upravená data byla pomocí analýzy rozptylu (ANOVA) vyhodnocena v programu Statistica 12 (StatSoft, Inc. 2013). Data byla hodnocena na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Pokud byly potvrzeny statisticky průkazné rozdíly, byly dále podrobeny post-hoc testu Tukey. Dále byla data zobrazena v grafech, které byly popsány v další části této diplomové práce.

Tato práce nemá taxonomický charakter a nomenklatura byla sjednocena dle Klíče ke květeně České republiky.

5 Výsledky

5.1 Vliv teploty a salinity půdy na klíčení obilek sverepu jalového

Nejvyšší klíčivosti většina obilek sverepu jalového dosáhla při nulové koncentraci NaCl při teplotě 25 °C (Graf 1, 2, 3, 4). S klesající teplotou se procento vyklíčených obilek obou biotypů snižovalo a úplná inhibice klíčení nastala při teplotě 5 °C, kde žádná obilka obou variant neklíčila ani při kontrolním měření. Délka listů obou biotypů a kořenů všech senzitivních a většiny rezistentních obilek byla nejvyšší při teplotě 25 °C a zkracovala se s klesající teplotou. Se zvyšující se koncentrací roztoku NaCl bylo pozorováno snižující se procento vyklíčených obilek u obou variant. V průměru všech teplot pokles klíčení R obilek proběhl z 71 % (0 koncentrace) na 56 % (250 mM NaCl) a u S obilek ze 48 % (0 koncentrace) na 0 (250 mM NaCl).

Ve všech koncentracích a teplotách u rezistentního biotypu bylo možné pozorovat postupně klesající procento vyklíčených obilek spolu se zkracující se kořenovou délkou (Graf 1). Výjimka nastala při 15 °C a 50 mM koncentraci NaCl se délka kořenů prodloužila v porovnání s nižší koncentrací NaCl 25 mM (Tabulka 3). U následující koncentrace 100 mM se délka kořenů snížila v korelaci s vyšší koncentrací roztoku.

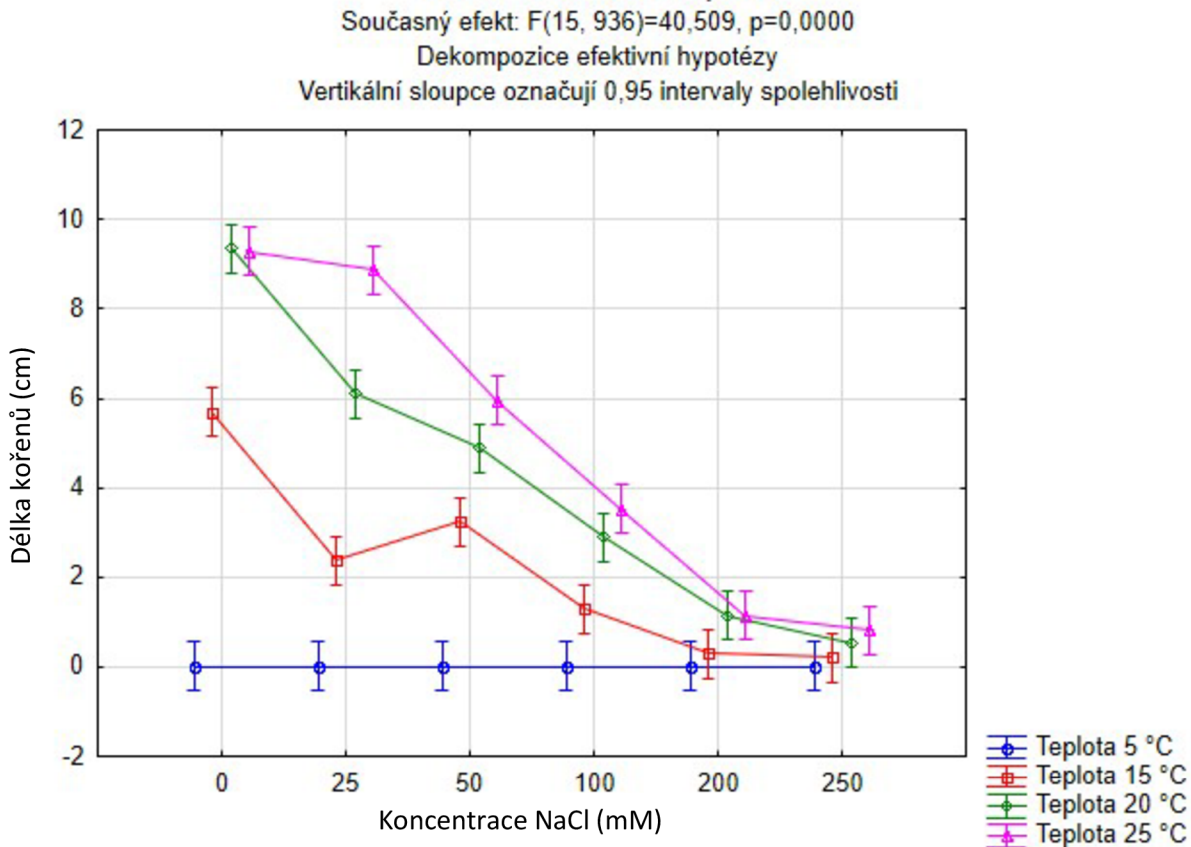
Rezistentní obilky při teplotě 20 °C a 0 koncentraci vykazovaly největší procento klíčivosti a nejdělsí růst kořenů. Se stoupající koncentrací NaCl se při této teplotě postupně snižovalo procento vyklíčených obilek a délka kořenů. Během klíčení při teplotě 25 °C v koncentracích 0 a 25 mM NaCl byl pozorovatelný minimální rozdíl v procentu vyklíčených rostlin a v jejich kořenové délce. Nejvyššího poklesu klíčení bylo dosaženo při koncentraci 250 mM NaCl. Rezistentní obilky ale prokazatelně klíčily i při koncentraci 250 mM při teplotě 15, 20 a 25 °C.

Tabulka 3 Průměrné délky kořenů a listů rezistentního biotypu při působení NaCl

		Průměrná délka rezistentních listů (cm)					
		Koncentrace NaCl (mM)					
		0	25	50	100	200	250
Teplota (°C)	5	0	0	0	0	0	0
	15	3,2(±1,4)*	1,5(±1,5)*	2,1(±1,3)*	0,36(±0,5)	0	0
	20	1,1(±1,6)*	0,5(±1,5)*	0,04(±1,8)*	0,1(±1,1)*	0	0
	25	6,5(±2,7)*	6,0(±2,0)*	4,9(±2,9)*	3,8(±1,0)*	0,3(±0,5)	0
p		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,08328
		Průměrná délka rezistentních kořenů (cm)					
		Koncentrace NaCl (mM)					
		0	25	50	100	200	250
Teplota (°C)	5	0	0	0	0	0	0
	15	5,7(±2,0)*	2,4(±2,1)*	3,3(±1,8)*	1,3(±1,1)	0,3(±0,4)	0,2(±0,2)
	20	9,4(±2,5)*	6,1(±2,0)*	4,8(±2,4)*	2,9(±1,4)*	1,1(±0,7)	0,5(±0,0)
	25	9,3(±4,3)*	8,9(±2,3)*	6,0(±3,7)*	3,5(±1,2)*	1,1(±0,6)	0,8(±0,1)
p		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

*koncentrace u kterých byl potvrzen statisticky signifikantní rozdíl

Graf 1 Vliv teploty a koncentrace NaCl na délku kořenů rezistentního biotypu sveřepu jalového



Růst kořenů senzitivního biotypu sveřepu jalového byl redukován se zvyšující se koncentrací NaCl během teplot 15, 20 a 25 °C. S výjimkou při teplotě 15 °C při koncentraci 50 mM, kdy byl růst kořenů indukován. Následná koncentrace 100 mM inhibovala růst kořenů při této teplotě.

Nejvýraznější zkrácení kořenové délky bylo možné pozorovat při koncentraci 25 mM a teplotě 20 °C, kdy se průměrná délka kořenů zkrátila o více než 50 % (Tabulka 4). Kořenový růst byl při této teplotě inhibován koncentrací 250 mM stejně jako u obilek klíčících při teplotě 25 °C.

Graf 1 znázorňuje vliv teploty a koncentrace NaCl na klíčení a růst kořenů rezistentního biotypu. Rozdíly byly pozorovatelné již při vizuální kontrole. Statisticky významný rozdíl byl pozorovatelný u teplot 15, 20 a 25 °C. Při teplotě 5 °C můžeme pozorovat překrytí chybových úseček (vodorovné úsečky), z toho vyplývá, že u této teploty není statisticky významný rozdíl. Dle hodnoty $p=0,000$ můžeme potvrdit, že hodnota p není větší než hladina významnosti $\alpha=0,05$ a tak je výsledek statisticky signifikantní.

Při podrobení dat post-hoc Honest Significant Difference (HSD) Tukey bylo zjištěno, že při teplotě nebylo dosaženo statisticky významných výsledků (Tabulka 3). Při teplotě 15, 20 a 25 °C při koncentracích 0, 25 a 50 mM NaCl bylo dosaženo statisticky významného vlivu zasolení na růst rezistentních kořenů. Stejného výsledku bylo dosaženo při teplotách 20 a 25 °C při působení 100 mM koncentrace NaCl.

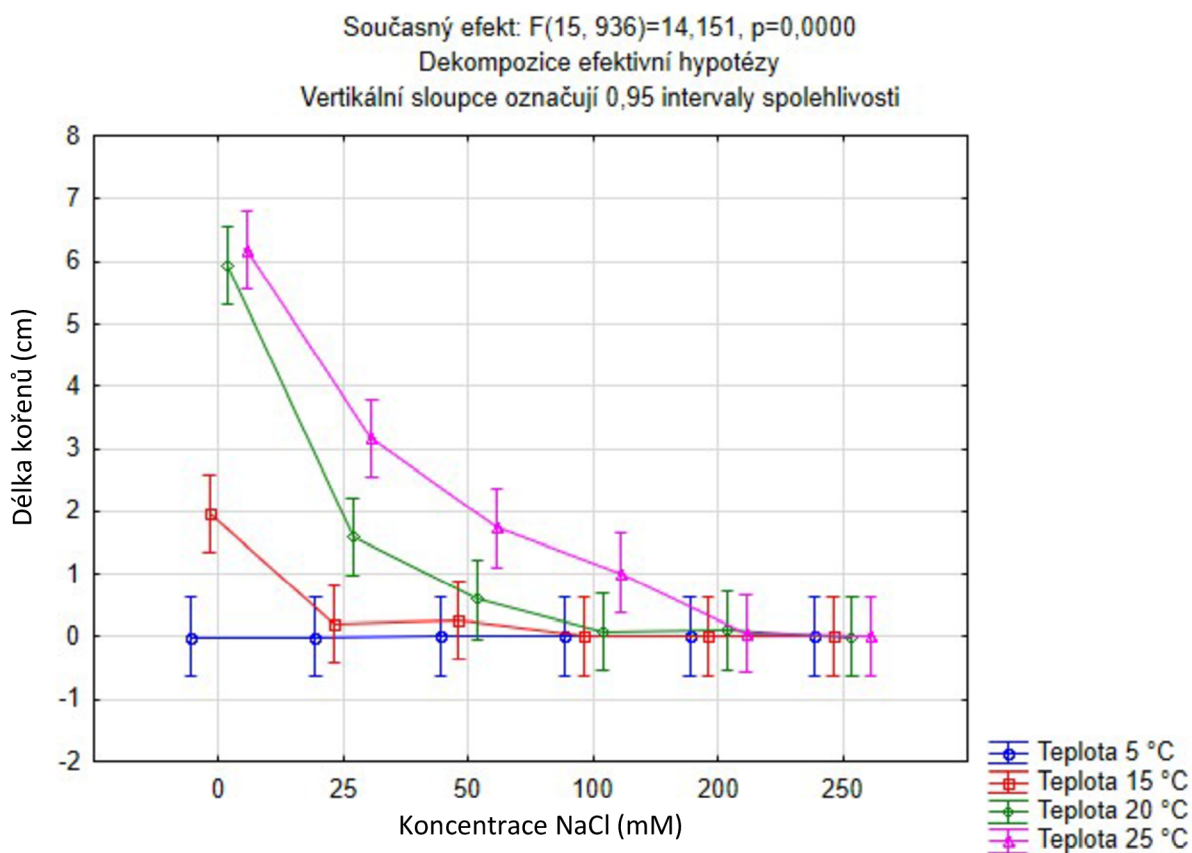
Tabulka 4 Průměrné délky kořenů a listů senzitivního biotypu při působení NaCl

		Délka senzitivních listů (cm)					
		Koncentrace NaCl (mM)					
		0	25	50	100	200	250
Teplota (°C)	5	0	0	0	0	0	0
	15	0,2(±2,1)*	0,1(±0,5)	0	0	0	0
	20	2,5(±2,4)*	0,9(±1,8)	0,3(±0,8)	0	0	0
	25	3,4(±3,2)*	2,4(±2,6)*	1,1(±2,1)*	0,4(±0,9)	0	0
p		0,00000	0,00000	0,00004	0,00000	0,00000	

		Délka senzitivních kořenů (cm)					
		Koncentrace NaCl (mM)					
		0	25	50	100	200	250
Teplota (°C)	5	0	0	0	0	0	0
	15	2,0(±3,3)*	0,2(±0,6)	0,3(±0,8)	0	0	0
	20	6,0(±4,3)*	1,6(±2,7)	0,6(±1,6)	0,1(±0,4)	0,1(±0,3)	0
	25	6,2(±5,6)*	3,2(±3,5)*	1,7(±2,9)*	1,0(±1,5)	0	0
p		0,00000	0,00000	0,00006	0,00000	0,05252	

*koncentrace u kterých byl potvrzen statisticky signifikantní rozdíl

Graf 2 Vliv teploty a koncentrace NaCl na délku kořenů senzitivního biotypu sveřepu jalového

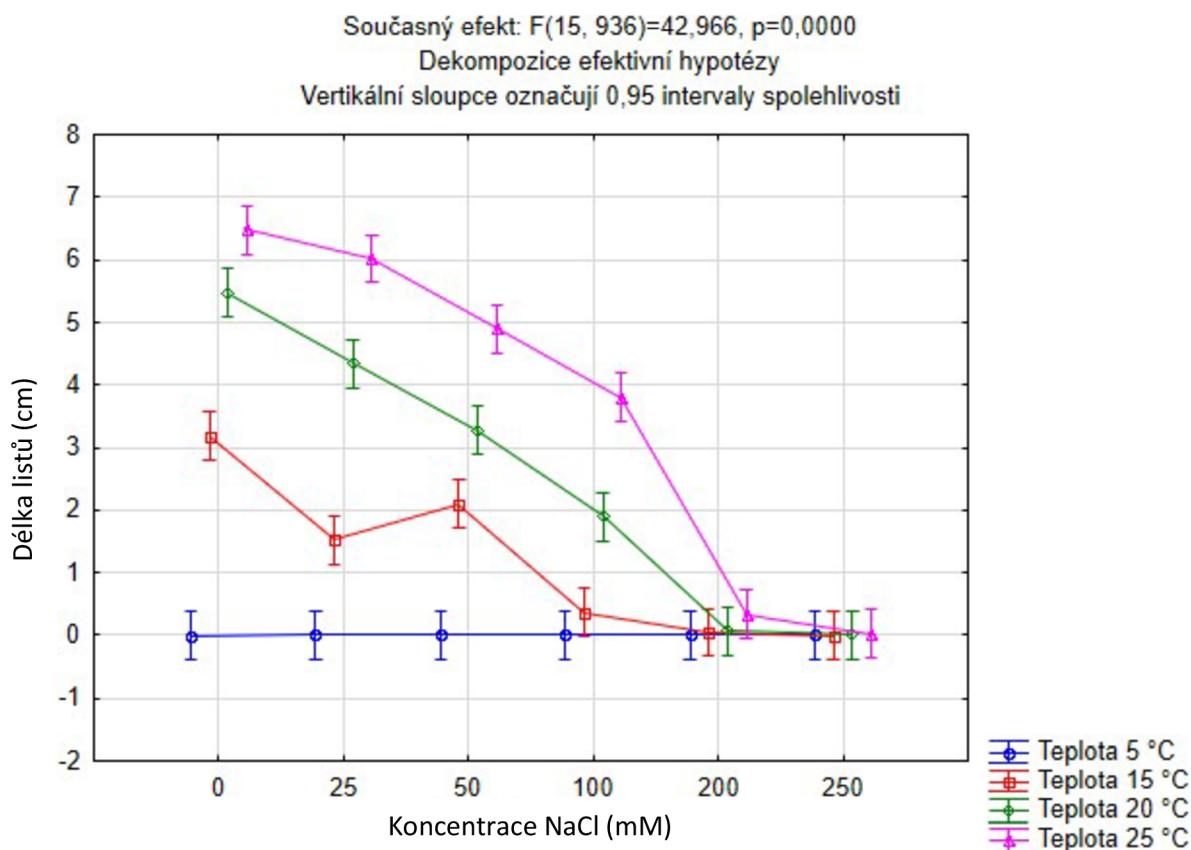


Listy rezistentní varianty obilek rostly s největší intenzitou při 25 °C při nulové koncentraci. Výrazný pokles růstu byl při 25 °C zaznamenán při koncentraci 200 mM a dále omezeně

probíhal i při 250 mM. Listy rostoucí při teplotě 20 °C se zvyšující koncentrací svůj růst redukovaly a při koncentraci 200 mM byl jejich růst inhibován.

Růst listů u rezistentní varianty zaznamenává výrazný pokles při koncentraci 25 mM NaCl a teplotě 15 °C s následným nárůstem při koncentraci 50 mM a úplnou inhibicí růstu při 200 mM (Graf 3). Při teplotě 5 °C nebyl zaznamenán žádný růst listů, a to ani při 0 koncentraci.

Graf 3 Vliv teploty a koncentrace NaCl na délku listů rezistentního biotypu sveřepu jalového

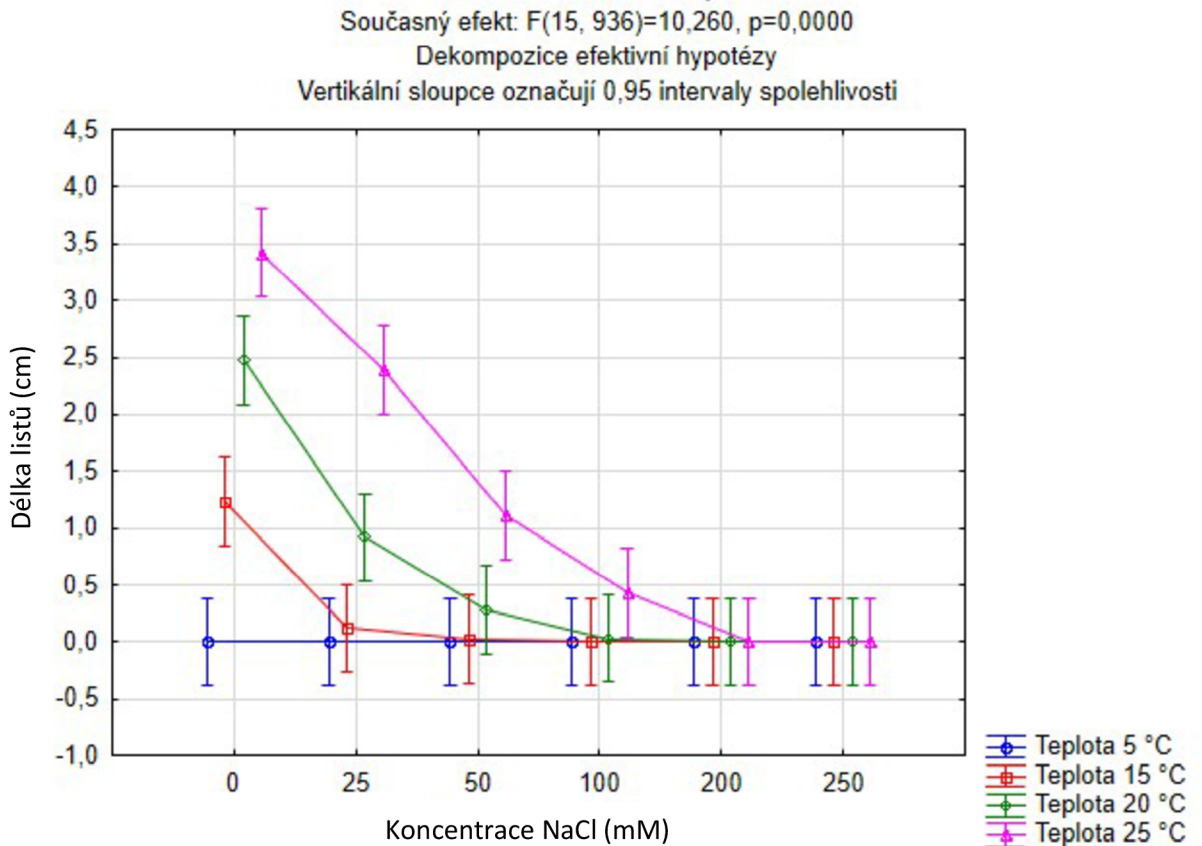


Senzitivní varianta během narůstajícího stresu způsobeného zasolením postupně redukovala růst listů až k jeho úplné inhibici. Při teplotě 15 °C došlo k inhibici při 50 mM NaCl. Během teploty 20 °C byl růst listů pozastaven při koncentraci 100 mM NaCl a při 25 °C inhibice nastala při 200 mM NaCl. Růst listů senzitivní varianty sveřepu je od 0 koncentrace plně inhibováno při teplotě 5 °C.

Graf 3 znázorňuje vliv teploty a koncentrace NaCl na délku a růst listů rezistentního biotypu sveřepu jalového. Při vizuálním hodnocení můžeme říct, že při teplotě 5 °C. nebylo dosaženo statisticky významných výsledků.

Při podrobení dat post-hoc testu HSD Tukey bylo zjištěno, že při teplotě 5 °C nebylo dosaženo statisticky významných výsledků (Tabulka 3). Při teplotě 15, 20 a 25 °C při koncentracích 0, 25 a 50 mM NaCl bylo dosaženo statisticky významného vlivu zasolení na růst listů rezistentního biotypu obílek. Stejněho výsledku bylo dosaženo při teplotách 20 a 25 °C při působení 100 mM koncentrace NaCl. Výsledky ostatních koncentrací nebyly post-hoc testem vyhodnoceny jako statisticky významné.

Graf 4 Vliv teploty a koncentrace NaCl na klíčení a délku listů senzitivního biotypu sveřepu jalového



Aplikovaná analýza rozptylu porovnávající data senzitivního biotypu obilek (Tabulka 4) je vyhodnotila jako statisticky signifikantní, $p < \alpha$. Při teplotě 5 °C můžeme pozorovat překrytí chybových úseček a post-hoc test potvrdil, že ve výsledcích není statisticky významný rozdíl. Při vyhodnocení dat bylo zjištěno, že statisticky významných výsledků bylo dosaženo při teplotách 15, 20 a 25 °C, během kontrolní koncentrace. Při teplotě 25 °C měly koncentrace 25 a 50 mM prokazatelný vliv na růst kořenů a listů senzitivní varianty

Z výsledků je patrné, že rezistentní varianta obilek je méně citlivá ke stresu způsobeným zasolením v porovnání s variantou senzitivní. Bylo zjištěno, že se zvyšující se koncentrací NaCl je zmenšována délka kořenů i listů obou variant obilek. Růst kořenů u R i S obilek pokračoval i přes inhibici růstu listů.

Senzitivní varianta inhibovala růst listů při nižších koncentracích NaCl než varianta rezistentní. Klíčení a růst kořenů R biotypu obilek sveřepu jalového pokračoval i při nejvyšší koncentraci NaCl. Senzitivní varianta obilek inhibovala klíčení při 200 mM NaCl při 20 a 25 °C a při nižší teplotě 15 °C při 100 mM NaCl.

Listy i kořeny byly u rezistentní varianty delší a vyskytovali se s větší četností ve všech koncentracích v porovnání s variantou senzitivní.

Ve všech případech bylo signifikantně potvrzeno ($p=0,000$), že klíčení a délka kořenů i listů senzitivních i rezistentních obilek je ovlivněna stresem vyvolaným zasolením a teplotou.

5.2 Vliv teploty a sucha na klíčení obilek sveřepu jalového

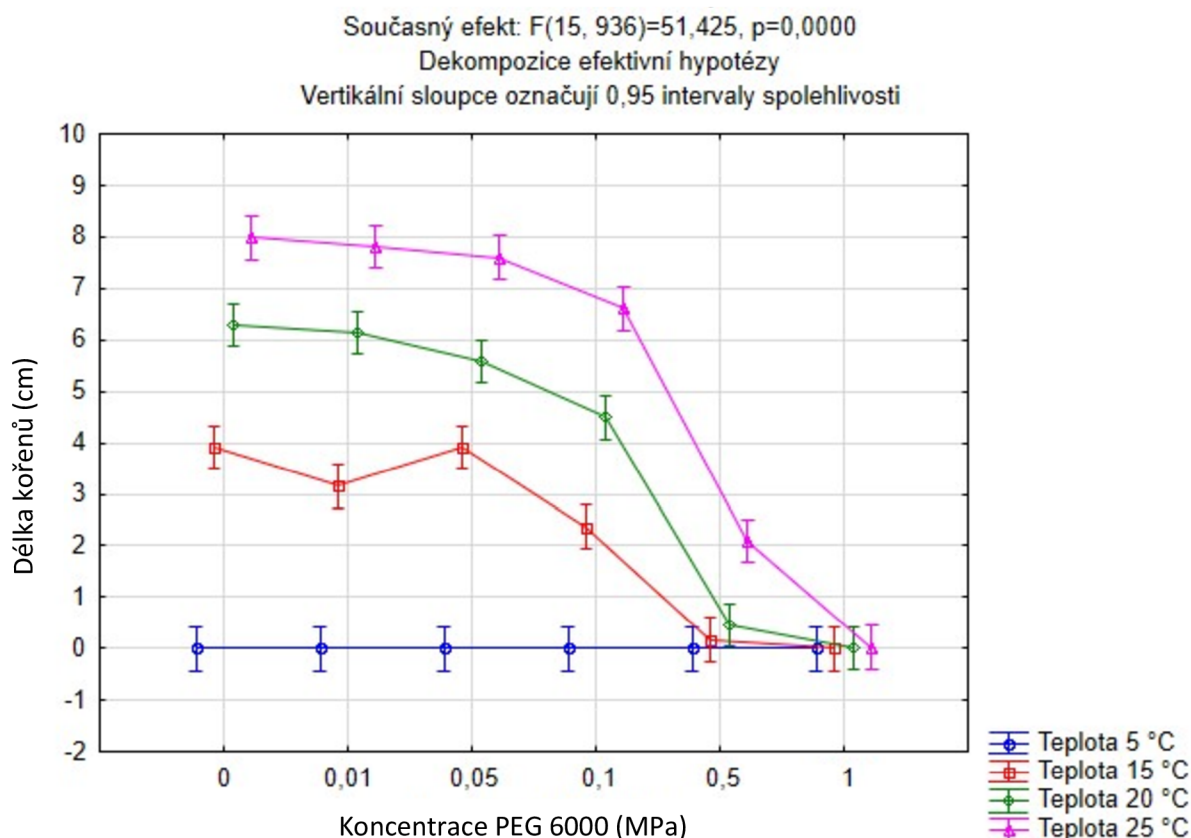
Nejvyšší procento klíčících rostlin bylo pozorováno při teplotě 25 °C a 0 koncentraci (Graf 5, 6, 7, 8). Stejně jako u předchozího měření s klesající teplotou se procento vyklíčených rostlin spolu s délkou kořenů i listů snižovalo a klíčení bylo plně inhibováno při teplotě 5 °C.

Rezistentní obilky reagovaly na zvyšující se koncentrace roztoku PEG 6000 korelujícím snížením klíčících obilek (Graf 5, 7).

Výjimku bylo možné pozorovat při teplotě 15 °C a koncentraci PEG 6000 -0,05 MPa (Graf 5). Při této koncentraci a teplotě došlo u rezistentních obilek ke zvýšenému procentu klíčících obilek, v porovnání s nižší koncentrací -0,01 MPa a vyšší koncentrací -0,1 MPa. Při koncentraci -0,1 MPa procento vyklíčených obilek i délka kořenů výrazně klesla (Tabulka 5). Délka kořenů rezistentní varianty se u všech teplot výrazně zkrátila při koncentraci -0,5 MPa a klíčení bylo inhibováno při -1 MPa PEG 6000.

U R varianty byl pozorován pokles klíčení ze 72 % vyklíčených obilek při kontrolní koncentraci na 27 % při koncentraci -1 MPa. U citlivých obilek z 49 % při kontrole na 0 % při -1 MPa.

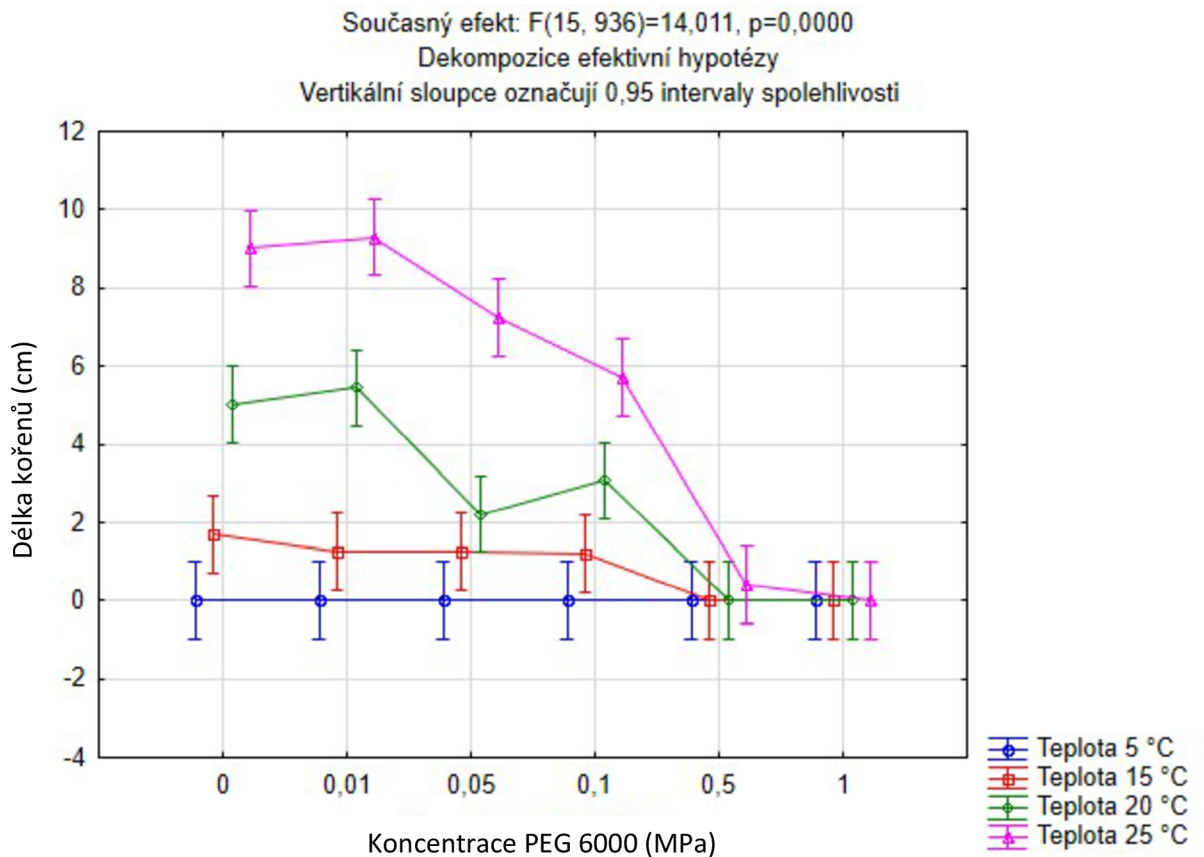
Graf 5 Vliv teploty a koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku kořenů rezistentního biotypu sveřepu jalového



Senzitivní biotyp obilek při koncentraci -0,01 MPa a teplotách 20 a 25 °C prodloužil kořenovou délku v porovnání s nulovou koncentrací (Graf 6). Při teplotě 20 °C a koncentraci 0,05 byl pozorovatelný propad v kořenové délce obilek, a následné prodloužení kořenové délky při -0,1 MPa v porovnání s předchozí koncentrací. Při koncentraci -0,5 MPa a teplotě 20 °C, bylo další

klíčení citlivých obilek sveřepu jalového inhibováno. V průběhu klíčení obilek při teplotě 15 °C nebyl pozorovaný rozdíl v délce kořenů a počtu vyklíčených rostlin v koncentracích -0,01; -0,05 a -1 MPa. Koncentrace -0,01 MPa a teplota 15 °C pozorovatelně snížila průměrnou kořenovou délku oproti kontrole (Tabulka 6). Inhibice klíčení při 15 °C nastala při koncentraci -0,5 MPa. Klíčení senzitivního biotypu obilek sveřepu jalového při teplotě 25 °C dramaticky pokleslo při koncentraci -0,5 MPa a bylo inhibováno při koncentraci -1 MPa.

Graf 6 Vliv teploty a koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku kořenů senzitivního biotypu sveřepu jalového



Kořeny dosahovaly nejdelšího růstu při teplotě 25 °C a ve většině případů s klesající teplotou klesala i jejich délka.

Senzitivní varianta obilek dosahovala nejdelšího růstu kořenů při 25 °C, stejně jako varianta rezistentní (Graf 6). V porovnání s R semeny délka kořenů byla celkově kratší ve všech teplotách a koncentracích roztoku. Stejně jako u R varianty, se stoupající koncentrací, klesalo procento vyklíčených rostlin až k úplné inhibici klíčení při teplotách 15 a 20 °C při koncentraci -0,5 MPa a při teplotě 25 °C při koncentraci -1 MPa roztoku PEG 6000.

Při analýze dat bylo zjištěno, že vliv koncentrace PEG 6000 má statisticky významný dopad na růst listů i kořenů rezistentního biotypu obilek sveřepu jalového. Hladina významnosti dosáhla vyšší hodnoty $\alpha=0,05$ než hodnota p . Tento výsledek byl dále podroben post-hoc testu (Tabulka 5), který odhalil, že statisticky významných výsledků bylo dosaženo při teplotách 15, 20, 25 °C v rozsahu koncentrací 0-(-0,1) MPa a při 25 °C během -0,5 MPa u kořenů u listů. Klíčení kořenů

rezistentních obilek při 20 °C bylo taktéž signifikantně ovlivněno koncentrací -0,5 MPa. Výsledky vlivu koncentrace na klíčení a růst listů nebyly statisticky významné.

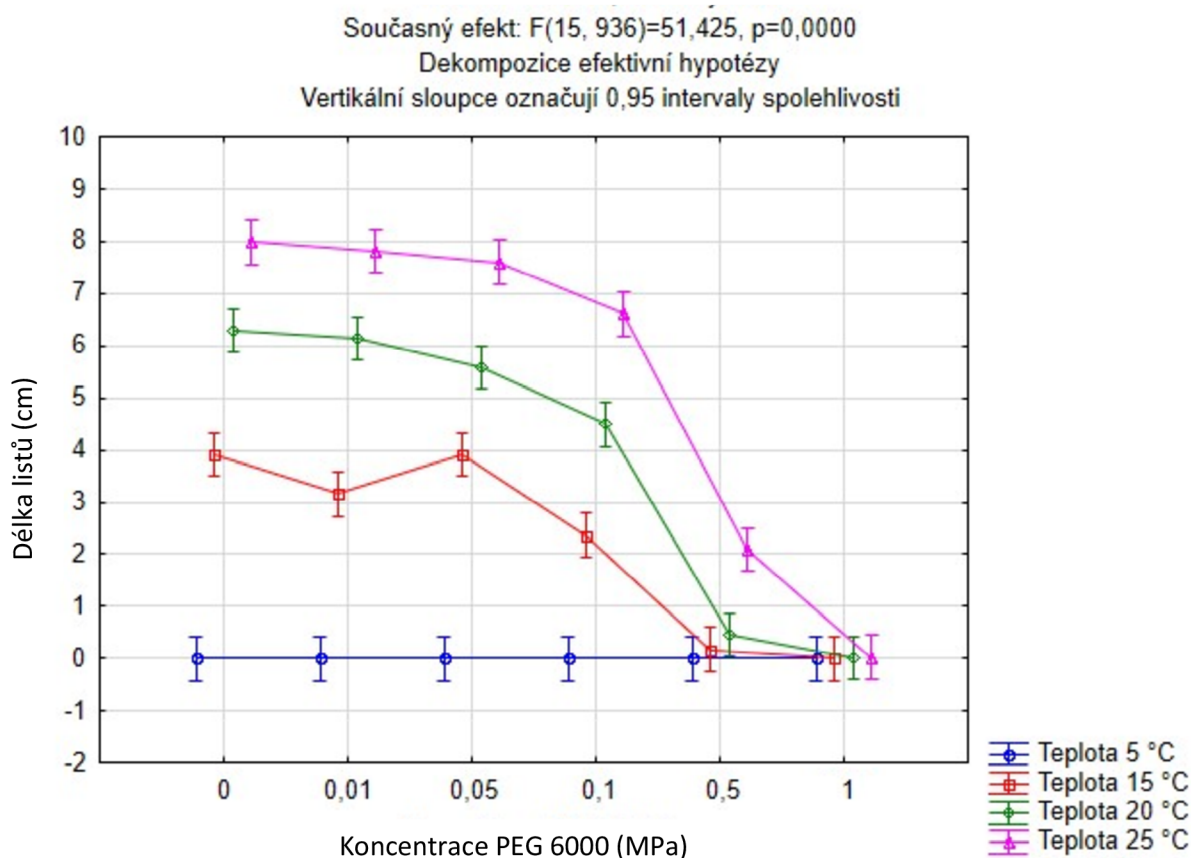
Tabulka 5 Průměrné délky kořenů a listů rezistentního biotypu při působení PEG 6000

		Průměrná délka rezistentních listů (cm)					
		Koncentrace PEG 6000 (MPa)					
		0	0,01	0,05	0,1	0,5	1
Teplota (°C)	5	0	0	0	0	0	0
	15	3,9(±2,0)*	3,2 (±1,4)*	3,9(±1,8)*	2,4(±1,8)*	1,2(±0,4)	0
	20	6,3(±0,8)*	6,1(±1,6)*	5,6(±1,6)*	4,5(±1,7)*	0,5(±0,7)	0
	25	8,0(±2,1)*	7,8(±1,6)*	7,6(±1,7)*	6,6(±2,3)*	2,1(±2,3)*	0
p		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,29449

		Průměrná délka rezistentních kořenů (cm)					
		Koncentrace PEG 6000 (MPa)					
		0	0,01	0,05	0,1	0,5	1
Teplota (°C)	5	0	0	0	0	0	0
	15	6,1(2,88)*	6,0(±1,8)*	6,4(±2,3)*	4,3(±2,3)*	1,2(±1,0)	0
	20	10,5(±2,3)*	9,5(±2,6)*	8,8(±2,8)*	6,8(±2,8)*	1,8(±1,6)*	0,4(±0,2)
	25	12,9(±3,5)*	12,6(±3,2)*	12,1(±3,1)*	10,6(±3,9)*	3,9(±2,6)*	0,3(±0,6)
p		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00004

*koncentrace u kterých byl potvrzen statisticky signifikantní rozdíl

Graf 7 Vliv teploty a koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku listů rezistentního biotypu svehřepu jalového



Nejdelšího růstu dosáhly listy rezistentního biotypu při 0 koncentraci, u senzitivního při -0,01 MPa během teploty 25 °C a (Graf 7, 8). Při teplotě 5 °C byl růst listů inhibován v obou variantách. Rezistentní varianta zaznamenala trend snižující se délky listů se stoupající koncentrací PEG 6000 s výjimkou při teplotě 15 °C, kde při koncentraci -0,05 MPa délka listu výrazně stoupla v porovnání s předchozí koncentrací a vyrovnala se délce listů při kontrole. Následující koncentrace -0,1 MPa zaznamenala klesající délku listů. Výrazný pokles v délce a výskytu listů byl zaznamenán při všech teplotách během koncentrace -0,5 MPa, kdy byla délka redukována až na polovinu. Při koncentraci -1 MPa nebyl zaznamenán výskyt listů při všech teplotách.

Analýza rozptylu potvrdila statistickou významnost $p < \alpha$ při růstu kořenů i listů pod vlivem sucha. Při podrobnější kontrole dat post-hoc testem, bylo zjištěno, že statisticky významné změny hodnot proběhly při koncentracích 0; -0,01; -0,05; -0,5 a -0,5 MPa během klíčení obílek při teplotě 25 °C a 0; -0,01; -0,5 a -0,5 MPa při teplotě 20 °C. Výsledky klíčení a růstu listů v ostatních koncentracích nebyly potvrzeny jako statisticky významné.

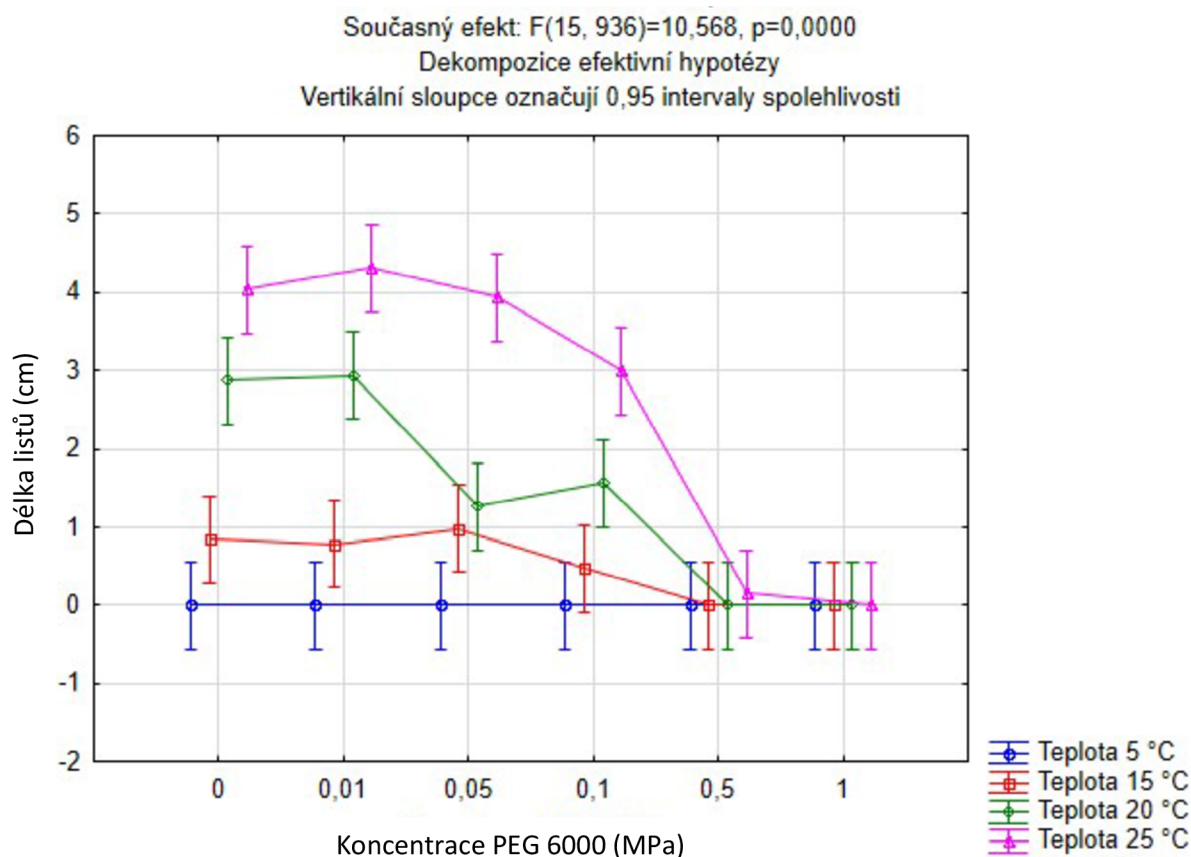
Tabulka 6 Průměrné délky kořenů a listů senzitivního biotypu při působení PEG 6000

		Průměrná délka senzitivních listů (cm)					
		Koncentrace PEG 6000 (MPa)					
		0	0,01	0,05	0,1	0,5	1
Teplota (°C)	5	0	0	0	0	0	0
	15	0,8(±1,8)	0,8(±1,6)	1,0(±2,0)	0,5(±1,0)	0	0
	20	2,9(±2,8)*	2,9(2,8)*	1,3(±2,2)	1,6(±2,7)*	0	0
	25	4,0(±3,0)*	4,3(±3,0)*	3,9(±3,2)*	3,0(±3,1)*	0,1(±0,6)	0
p		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,10458	
		Průměrná délka senzitivních kořenů (cm)					
		Koncentrace PEG 6000 (MPa)					
		0	0,01	0,05	0,1	0,5	1
Teplota (°C)	5	0	0	0	0	0	0
	15	1,7(±2,9)	1,3(±2,5)	1,3(±2,4)	1,2(±2,3)	0	0
	20	5,0(±4,3)*	5,4(±4,4)*	2,2(±3,4)	3,1(±5,0)*	0	0
	25	9,0(±6,0)*	9,2(5,8)*	7,3(±6,0)*	5,7(±5,4)*	0,4(±1,2)	0
p		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00616	

*koncentrace u kterých byl potvrzen statisticky signifikantní rozdíl

Během pozorování růstu listů senzitivního biotypu sverepu jalového byla zjištěna indukce délky listů při teplotě 25 °C a koncentraci -0,01 MPa v porovnání s kontrolou. Délka listů v této teplotě následně zaznamenala mírný pokles až do koncentrace -0,5 MPa, kdy byla jejich délka redukována o více než 50 % s následnou inhibicí růstu při koncentraci -1 MPa. Během teploty 20 °C nebyl pozorován rozdíl v délce listů mezi koncentracemi 0 a -0,01 MPa. Koncentrace 0,05 MPa redukovala listovou délku o polovinu. Při koncentraci -0,5 MPa byl pozorován její nárůst v průměru o téměř 1 cm (Tabulka 6) s následnou inhibicí růstu při koncentraci -0,5 MPa. Délka listů a jejich výskyt byl při teplotě 15 °C vyšší při koncentraci 0,05 v porovnání s kontrolou. Se stoupající koncentrací byl růst redukován a následně inhibován při koncentraci -0,5 MPa.

Graf 8 Vliv teploty a koncentrace PEG 6000 na kličení a délku listů senzitivního biotypu sveřepu



Listy senzitivní varianty byly ve všech koncentracích a teplotách kratší a vyskytovaly se s menší četností. Rozdíly ve vlivu koncentrace PEG na jejich růst v porovnání mezi oběma biotypy lze pozorovat v několika případech. V rezistentní variantě bylo možné pozorovat prodloužení listové plochy v porovnání s kontrolou při zvyšování koncentrace pouze při 15 °C a koncentraci -0,05 MPa. Listy senzitivního biotypu reagovaly na zvyšující se koncentraci prodloužením listové plochy v porovnání s kontrolou ve dvou případech a to při 15 °C a koncentraci -0,05 MPa a při teplotě 25 °C a koncentraci -0,01 MPa. Listy obílek senzitivní varianty při 20 °C během zvyšování koncentrace svou délku a výskyt při -0,05 výrazně snížily a následně při -0,1 MPa zase zvýšily. Listy R varianty inhibovaly růst při -1 MPa a S varianta krom listů rostoucích při 25 °C růst inhibovala při -0,5 MPa.

6 Diskuze

Území České republiky se nachází v mírném klimatickém pásu. V posledních několika dekádách průměrná teplota stoupla až o 2 °C (Český hydrometeorologický ústav 2023). Prvotní příčinou sucha na našem území je klimatické sucho, vznikající z důvodu deficitu srážek. Průměrné úhrny srážek nezaznamenaly rozdíl, ale v návaznosti na zvyšující se teplotu stoupá výpar vody z půdy. Současně tato data nezahrnují informace o distribuci srážkové vody a její intenzitě (Český hydrometeorologický ústav 2023). Odhaduje se, že zasolením trpí přibližně 20 % zemědělské půdy (Cirillo et al. 2018).

Tyto faktory působí na obdělávanou půdu a rostliny na našem území s čím dál větší intenzitou. Změny klimatu působí příznivě na zvýšený výskyt a rozšíření území růstu sveřepu jalového (Soukup et al. 2018). Cílem této práce bylo stanovit vlivy abiotických faktorů jako je salinita, sucho a teplota na klíčivost dvou biotypů sveřepu jalového a potvrdit či vyvrátit hypotézu, zda je klíčivost sveřepu jalového ovlivněna dostupností vody a obsahem soli v půdním roztoku.

6.1 Vliv abiotických faktorů na klíčení obilek sveřepu jalového

6.1.1 Teplota

Dva biotypy semen sveřepu jalového byly testovány při různých teplotách, koncentracích NaCl a PEG 6000. Čtyři testované teploty vybrané pro tuto práci, byly určeny dle průměrných teplot v České republice během jarního období, kdy sveřep klíčí a vycházely z předchozích studií provedených na pracovišti katedry agroekologie a rostlinné produkce. Rozmezí teplot bylo určeno na základě literatury, popisující optima pro klíčení rostlin z rodu *Bromus* spp. (Žďárková et al. 2014, Alshallash 2018, Liu et al. 2021).

Sveřep jalový stejně jako bér ohnutý (Wu et al. 2016) inhiboval klíčení při teplotě 5 °C v R i S variantě. V porovnání s jinými studii s rostlinami z rodu *Bromus* spp. je tento výsledek ojedinělý. Žďárková et al. 2014, Alshallash et al. 2018 i Liu et al. 2021 ve svých studiích potvrdili klíčení sveřepů i při teplotě 5 °C. 100 % inhibice klíčení obilek sveřepu při teplotě 5 °C v této práci může být způsobena několika faktory. Liu et al. 2021 ve své práci uvádí, že klíčení při 5 °C bylo zaznamenáno, ale v porovnání s ostatními teplotami, se nízká teplota odrazila v čase klíčení, který se v porovnání s teplotou 25 °C prodloužil několikanásobně. Je tedy možné, že časový úsek 10 dnů, nebyl pro naklíčení obilek sveřepu při 5 °C dostačující.

Dalším faktorem negativně působícím na obilky v tomto experimentu mohlo být světlo, které se potvrdilo jako limitující faktor klíčení sveřepu jalového (Žďárková et al. 2014, Valíčková et al. 2017). Negativní dopad světla na klíčení obilek v této práci ale potvrdit nemůžeme, jelikož v ostatních teplotách sveřep jalový při vystavení stejné fotoperiodě klíčil. Optima pro klíčení se shodovala s ostatními plevelnými rostlinami rezistentními i senzitivními, a to v rozmezí teplot 20-25 °C (Wu et al. 2016, Mutti et al. 2019, Loura et al. 2020).

S rostoucí teplotou, prokazatelně rostlo i procento vyklíčených obilek u R i S varianty. V případě dalšího zkoumání vlivu teploty na klíčení sveřepu jalového, doporučujeme do

experimentu zahrnout i variantu klíčení obilek v úplné tmě a popřípadě vyzkoušet prodloužit časový úsek klíčení pro teploty blížíící se minimu.

6.1.2 Sucho

Rezistentní biotyp obilek prokázal vysokou odolnost ke stresu způsobeným suchem. Při působení stresu způsobeného suchem -1 MPa klíčily obilky v průměru všech teplot z 27 %. Inhibice klíčení při koncentraci -1 MPa byla pozorována při teplotách 5 a 15 °C, kde je pravděpodobné, že na obilky negativně působila teplota pohybující se na hranici minima a ve spojení se stresem vyvolaným suchem proběhla inhibice klíčení při menší koncentraci PEG 6000.

Odolnost k zasolení projevily plevelné rostliny sveřep japonský (Li et al. 2015) nebo *Ceratocarpus arenarius* L. (Ebrahimi & Eslami 2011, BioLib. 2023). Obě tyto rostliny úspěšně klíčily při koncentracích -1 MPa a vyšší. Pokusy na rezistentních semenech rostlin turanky (Mahajan et al. 2018, Loure et al. 2020) nebo *Nassella trichotoma* Hack (Humphries et al. 2018, BioLab.cz 2023) ale stejnou odolnost jako rezistentní obilky sveřepu jalového nepotvrdily.

Dostupná data (Mahajan et al. 2018, Ghazali et al. 2020) nevykazovala rozdíl v klíčení pod vlivem stresu mezi senzitivním a rezistentním biotypem semen jednoděložných a dvouděložných plevelů. Data získaná v tomto experimentu, ale vykazují rozdíl mezi R a S obilkami, a to od koncentrace -0,5 MPa, kdy úspěšnost S varianty klesla z 49 % (při kontrole) na 4 % v porovnání s R variantou kde se procento klíčení snížilo ze 72 % (při kontrole) na 66 %. U obou variant byl pozorován hormetický efekt způsobený koncentracemi -0,01 MPa PEG 6000 při teplotě 20 a 25 °C u senzitivního biotypu obilek a -0,05 MPa při 15 °C u rezistentní varianty. Tento jev nebyl popsán přímo u sveřepu jalového, ale z předchozích studií věnovaných vlivům abiotických faktorů na klíčení S a R plevelů se s popisem jevům podobným můžeme setkat (Kranner et al. 2010, Shen et al. 2010, Armaki et al. 2013). Senzitivní obilky sveřepu jalového inhibovaly klíčení od menších koncentrací PEG 6000 než obilky rezistentní varianty. Délka S kořenů i listů byla stresem způsobeným suchem ovlivněna retardací růstu a výskytu v porovnání s R variantou.

Rezistentní obilky sveřepu jalového v tomto experimentu prokázaly vysokou odolnost vůči stresu způsobenému suchem. Pozitivní vliv menší koncentrace PEG 6000 na klíčení a růst kořenové i listové část sveřepu jalového pozorovaný v této studii by bylo vhodné potvrdit či vyvrátit další navazující studií podrobující tomuto testu semena více kultivarů. Z dostupné literatury, se data získaná v této práci neshodují s výsledky studií, zaměřující se na vlivy klíčivosti jedno i dvouděložných plevelných rostlin. Doporučujeme proto širší výzkum zabývající se rozdílné vlivy v klíčení mezi R a S biotypem pod stresem způsobeným suchem. Je také otázkou, zdali se jedná o toleranci k suchu pouze u obilek tohoto konkrétního biotypu, nebo tuto toleranci sdílí všechny rezistentní obilky sveřepu jalového. Další zkoumání tohoto jevu, by v budoucnu mohlo potvrdit či vyvrátit vyšší toleranci rezistentních obilek sveřepu jalového k suchu.

6.1.3 Salinita

Testované koncentrace NaCl dle tabulky USDA 2020 simulují půdy nezasolené (0 mM), slabě (25, 50 mM), středně (100 mM) a silně zasolené (200 a 250 mM).

Stejně jako ostatní rostliny z rodu *Bromus* spp. sveřep jalový při zvyšující se koncentraci roztoků NaCl snižoval procento vyklíčených obilek. Rezistentní biotyp byl s více než 50% úspěšností schopen klíčit i při nejvyšší zkoušené koncentraci 250 mM v porovnání s variantou senzitivní, která při stejné koncentraci klíčení nevykazovala.

Rezistentní biotyp semen béru ohnutého (Wu et al. 2016) a ježatky osadní (Mutti et al. 2019) klíčil pod vlivem stresu způsobeného zasolením s větší úspěšností než senzitivní biotyp. Stejně jako obilky sveřepu jalového v této práci.

Jednoděložné rostliny testované pod stresem ze zasolení, vykazovaly opačné výsledky. V těchto studiích, senzitivní semena plevelné rýže (Fogliatto et al. 2019), šesti biotypů ježatky kuří nohy (Serra et al. 2018), a psárky polní (Ghazali et al. 2020) klíčila s větší úspěšností pod vlivem salinity než semena rezistentní. Senzitivní obilky sveřepu jalového reagovaly na zvyšující se koncentraci NaCl citlivěji než rezistentní. Inhibice v růstu listů a kořenů proběhla v menších koncentracích než u rezistentního biotypu, stejně tak inhibice klíčení.

Rezistentní obilky sveřepu jalového při teplotě 15 °C a koncentraci 50 mM prodloužily délku kořenů a listů a zvýšily procento vyklíčených obilek. Hormetický efekt byl stejně tak pozorovaný u stresu způsobeného suchem. Stejný efekt byl pozorován u rezistentních semen plevelné rýže při koncentraci 50 a 100 mM (Fogliatto et al. 2019). Tato studie probíhala se stejnou fotoperiodou, ale při teplotě 25 °C, při které salinita neměla stejný efekt na klíčení u sveřepu jalového jako při teplotě 15 °C. Rezistentní semena *Nassella trichotoma* Hack (Humphries et al. 2018, BioLab.cz 2023) tento efekt projevila při 25 mM s fotoperiodou 12 světlo/ 12 tma a teplotami 25 °C denní 15 °C noční teplotou. To potvrzuje, že nižší koncentrace soli, klíčení halofytních rostlin stimuluje (Shen et al. 2010). Halofytní geny v rezistentních populacích jsou pravděpodobně důvodem vyšší tolerance k zasolení u sveřepu jalového (Flowers & Colmer 2008). Dalším důvodem vysoké tolerance k soli u sveřepu jalového, může být jeho obvyklý výskyt u cest, které jsou v zimě ošetřovány solí. Tyto rostliny byly prokazatelně odolnější k zasolení než plevel rostoucí v poli (Eom et al. 2013, Dudley et al. 2014).

V budoucnu proto navrhujeme prozkoumat hormetický efekt a jeho působení na senzitivní a rezistentní obilky sveřepu jalového pod vlivy různých teplot a koncentrací NaCl. Schopnost rezistentních obilek sveřepu jalového odolávat vysokým koncentracím salinity je klíčová pro jejich možné rozšíření na širší území.

6.2 Přijetí hypotézy

Dle získaných výsledků lze přijmout hypotézu, a potvrdit, že klíčivost sveřepu jalového je ovlivněna dostupností vody a obsahem soli v půdním roztoku. V obou případech můžeme potvrdit, že se stoupající koncentrací roztoků NaCl a PEG 6000 klesala procenta vyklíčených

rostlin vedoucí k úplné inhibici klíčení u senzitivní varianty při nejvyšších koncentracích obou látek. Hypotézu taktéž potvrzuje výsledek analýzy rozptylu, kdy ve všech testovaných souborech dat je hodnota $p <$ než hladina významnosti α .

Rezistentní biotyp obilek sveřepu jalového v koncentraci 50 mM NaCl projevils hormetický efekt, který zvýšils procento vyklíčených rostlin spolu s délkou listů i kořenů. Hormetický efekt byl pozorovatelný i u experminetu probíhajícího s PEG 6000 při koncentracích -0,01 MPa při teplotě 20 a 25 °C u senzitivního biotypu obilek a -0,05 MPa při 15 °C u rezistentní varianty. Senzitivní biotyp projevils větší citlivost ke stresu způsobeným suchem i zasolením půdy. Tato citlivost se projevila inhibicí klíčení při nižších koncentracích NaCl i PEG 6000 v porovnání s rezistentním biotypem.

Bylo potvrzeno, že stres způsobený suchem má vliv na velikost listů sveřepu jalového. Pozitivním vlivem byl pozorovatelný hormetický efekt při nízké koncentraci rozoku PEG 6000 u senzitivní i rezistentní vairanty. Při koncentraci 1 mM PEG 6000 byl růst listů inhibován při všech teplotách u R i S obilek. Bylo singifikantně potvrzeno ($p=0,000$), že stres způsobený suchem má vliv na klíčení sveřepu jalového.

Vliv salinity na klíčení sveřepu jalového se projevil poklesem klíčení a růstu kořenové i listové části. Pozitivním vlivem byl hormetický efekt u rezistentní varianty při růstu a výskytu listů i kořenů a u senzitivní varianty při růstu a výskytu kořenů. Růst kořenů rezistentního biotypu nebyl inhibován, ale byl z velké části redukován. Růst a výskyt rezistentních listů byl inhibován v různých koncentracích od 100 mM při 20 °C až na teplotu 25 °C, kdy růst a výskyt listů přetrval i při nejvyšší koncentraci NaCl 250 mM. Bylo singnifikantně potvrzeno ($p=0,000$), že stres způsobený salinitou má vliv na klíčení sveřepu jalového.

7 Závěr

Sveřep jalový dokáže klíčit v rozmezí teplot 15-25 °C, z čehož vyplývá že jeho počáteční růst je časově vázán na teplejší část časně podzimního období. Výsledky této studie potvrzují, že obilky sveřepu jalového s největší úspěšností klíčí při dosažení optimální teploty, která je 20-25 °C. Klíčení sveřepu jalového bylo inhibováno při teplotě 5 °C. Díky pochopení klimatických podmínek ovlivňujících růst sveřepu jalového, lze odpovídajícím způsobem aplikovat techniky omezující jeho výskyt a další růst k maximalizaci produktivity kulturních rostlin.

Klíčení obilek bylo testováno pod vlivem vysokých koncentrací NaCl, simulujících silné zasolení půdy. Rezistentní varianta obilek při těchto koncentracích projevila vysokou schopnost klíčení. Díky tomuto zjištění můžeme předvídat, že se v budoucnu může adaptovat a bez větších problémů šířit i na zasolené půdě.

Tolerance sveřepu jalového k suchu byla výraznější u rezistentního biotypu, který byl schopen klíčit i při nejvyšší testované hodnotě -1 MPa. Dalším doporučením jsou tedy studie zabývající se korelací mezi rezistencí k herbicidům a tolerancí k zasolení a suchu, a to nejen ve fázi klíčení sveřepu jalového, ale i v dalších růstových fázích.

Obě testované varianty, ale potvrdily dosavadní studie a při zvyšující se intenzitě stresu působícím v podobě sucha snižovaly úspěšnost vyklíčených obilek.

Variabilita u senzitivního biotypu obilek se rozcházela s doposud provedenými studii na jednoděložných plevelných rostlinách. Ve shrnutí tato varianta byla citlivější k vyšším koncentracím NaCl i PEG 6000. Jelikož úspěšnost klíčení senzitivního biotypu a délka listů a kořenů byla i při nulové koncentraci nižší než u rezistentní varianty, dá se předpokládat, že tento biotyp je geneticky slabší a v případě výskytu na zasolených půdách nebo půdách s horší dostupností vody bude mít značnou nevýhodu. Toto tvrzení podporuje i fakt, že při sbírání materiálu obilek v poli, byly rostliny senzitivního biotypu habituelně nižší

Tato zjištění podporují teorii, že sveřep jalový jako plevel kulturních rostlin prospívá ve farených systémech s omezeným zpracováním půdy a v oblastech nepříznivých pro citlivější kulturní rostliny. Na poznatky z tohoto experimentu lze dále navázat v další studii a potvrdit, zdali jsou vázány pouze na konkrétní dvě populace sveřepu jalového nebo se vztahují na všechny rostliny tohoto druhu. Studie zahrnující obilky sveřepu z různých krajů České republiky, nebo i okolních států jako je Německo či Francie, by pomohly rozšířit a prohloubit porozumění ekologie obilek tohoto druhu.

Širší porozumění růstového cyklu obilek z většího geografického území by rozhodně mohlo pomoci pro doporučení managementu této plevelné rostliny. Nesmíme opomenout rozdílnost laboratorních podmínek v porovnání s podmínkami na poli. Proto je důležité pokusy zopakovat v polních podmínkách a potvrdit tak poznatky získané v laboratoři.

Se stoupajícím nebezpečím změny klimatu, zasolení půdy a nedostatečného zavlažování půdy, je důležité znát mechanismy tolerance těchto stresů u obou kulturních i plevelných rostlin. Tyto znalosti jsou nezbytné v dalším managementu plevelných rostlin.

8 Literatura

Ahluwalia O, Singh PC, Bhatia R. 2021. A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. *Resources, Environment and Sustainability*. **5**: 1-12. DOI: 10.1016/j.resenv.2021.100032.

Alshallash K. 2018. Germination of weed species (*Avena fatua*, *Bromus catharticus*, *Chenopodium album* and *Phalaris minor*) with implications for their dispersal and control. DOI: 10.1016/j.aoas.2018.05.003.

Andersson L, Milberg P, Schntz W, Steinmetz O. 2002. Germination characteristics and emergence time of annual *Bromus* species of differing weediness in Sweden. DOI 10.1046/j.1365-3180.2002.00269.x.

Angelova Z, Georgiev S. 2006. Elicitation of plants. *Biotechnology & Equipment*. **20**: 72-83.

Armaki MA, Hashemi M, Azarnivand H. 2013. Physiological and morphological responses of three *Bromus* species to drought stress at seedling stage and grown under germinator and greenhouse conditions. *African Journal of Plant Science*. **7**(5): 155-161. DOI: 10.5897/AJPS11.019.

Battle D, Benech-Arnold RL. 2014. Weed seed germination ant the light environment: Implications for weed management. *Weed Biology and Management*. **14**:77-87. DOI: 10.1111/wbm.12039.

Baucom RS, Holt JS. 2009. Weeds of Agricultural Importance: Bridging the Gap between Evolutionary Ecology and Crop and Weed Science. *The New Phytologist*. **184** (4): 741-743. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.03077.x.

Beckie HJ, Harker KN. 2017. Our top 10 herbicide-resistant weed management practices. *Pest Management Science*. **73**: 1045-1052. DOI: 10.1002/ps.4543.

BioLib.cz. 2023. BioLib Biological Library. Available from <https://www.biolib.cz/cz/main/> (accessed březem 2023).

Boyd N, Acker R. 2004. Seed Germination of Common Weed Species as Affected by Oxygen Concentration, Light, and Osmotic Potential. *Weed Science*. **52**(4): 589-596. DOI: 10.1614/WS-03-15R2.

Buchanan B, Gruissem, W, Jones R. 2000. *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Physiologists. Maryland.

Cambridge Dictionary. 2023. Cambridge university press. Available from <https://dictionary.cambridge.org> (accessed únor 2023).

Cirillo V, Masin R, Maggio A, Zanin G. 2018. Crop-Weed interactions in saline environments. *European Journal of Agronomy*. **99**:51-61. DOI:10.1016/j.eja.2018.06.009.

Český hydrometeorologický ústav. 2023. Resort Životního prostředí. Available at: <https://www.chmi.cz/historicka-data>. Accessed: Březen, 2023.

Damalas CA, Koutroubas SD. 2022. Weed Competition Effects on Growth and Yield of Spring-Sown White Lupine. *Horticulturae*. **8**(5): 430. DOI:10.3390/horticulturae8050430.

Dinari A, Meighani F, Sepehr MF. 2013. Effects of salinity and drought stress on germination and seedling growth of *Avena fatua* L. and *Phalaris minor* L. *Iran. Journal of Plant Physiology*. **3**:665–671. DOI: 10.30495/IJPP.2013.540677.

Dudlem MM, Jacobi WR, Brown CS. 2014. Roadway Decier Effects on Germination of Native Grasses and Forbs. *Water, Air & Soil Pollution*. **225**(6). DOI: 10.1007/s11270-014-1984-z

Ebrahimi E, Eslami SV. 2011. Effect of environmental factors on seed germination and seedling emergence of invasive *Ceratocarpus arenarius*. *Weed Research*. **52**: 50-59. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2011.00896.x.

Ellis RH, Hong TD, Roberts EH. 1986. The response of seeds of *Bromus Sterilis* L. and *Bromus Mollis* L. to white light of varying photon flux density and photoperiod. *New Phytologist*. **104**: 485-496.

Eom SH, DiTommaso A, Weston LA. 2013. EFFECTS OF SOIL SALINITY IN THE GROWTH OF *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* BIOTYPES COLLECTED FROM ROADSIDE AND AGRICULTURAL FIELD. *Journal of Plant Nutrition*. **36**(14). DOI: 10.1080/01904167.2013.836226.

Finch-Savage WE, Leubner-Metzger G. 2006. Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*. **171**(3):501-523. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x.

Flowers TJ, Colmer TD. 2008. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*. **179**(4): 945-963. DOI:10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x.

Fogliatto S, Serra F, Patrucco L, Milan M, Vidotto F. 2019. Effect of Different Water Salinity Levels on the Germination of Imazamox-Resistant and Sensitive Weedy Rice and Cultivated Rice. *Agronomy*. **9**: 658. DOI: 10.3390/agronomy9100658.

Gaines TA, Duke SO, Morran S, Rigom CAG, Tranel PJ, Kupper A, Dayan FE. 2020. Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal of Biological Chemistry*. **295**(30): 10307-

10330. DOI: 10.1074/jbc.REV120.013572.

Ghazali Z, Keshtkar E, AghaAlikhani M, Kudsk P. 2020. Germinability and seed biochemical properties of susceptible and non–target site herbicide-resistant blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) subpopulations exposed to abiotic stresses. *Weed Science*. **68**: 157–167. DOI: 10.1017/wsc.2020.9.

Gyöngyi S. 2007. Osmotic stress in Plants. *Acta Scientiarum Transylvanica*. **15**(1):5-25.
Hamouzová K, Košnarová P, Soukup J. 2021. Herbicidní rezistence: vývoj, prevence a management. Katedra ekologie a rostlinné produkce. Česká zemědělská univerzita. Praha.

Hatfield JL, Prueger JH. 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*. **10**:4-10. DOI: 10.1016/j.wace.2015.08.001.

Heap, I. 1993. The international survey of herbicide resistant weeds. Weed Science Society of America. Available at: <http://weedscience.org/>, Accessed: Březen, 2023.

Heim RR. 2002. A review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*. **83**(8):1149-1166. DOI: 10.1175/1520-0477-83.8.1149.

Hills P, Staden J. 2003. Thermoinhibition of seed germination. *South African Journal Of Botany*. **69**(4):455-461. DOI: 10.1016/S0254-6299(15)30281-7.

Hilton J. 1984. The Influence Of Temperature And Mixture Status On The Photoinhibition Of Seed Germination In *Bromus Sterilis* L By Far-Red Absorbing Form Of Phytochrome. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1984.tb03602.x.

Hilton JR. 1982. An unusual effect of the far-red absorbing form of phytochrome: Photoinhibition of seed germination in *Bromus sterilis* L. *Planta*. **155**: 524-528. DOI: 10.1007/BF01607578.

Humphries T, Chauhan BS, Florentine SK. 2018. Environmental factors effecting the germination and seedling emergence of two populations of an aggressive agricultural weed; *Nassella trichotoma*. *PLoS ONE* **13**(7) 1-25. DOI: /10.1371/journal.pone.0199491

Ismail A, Mosa KA, Helmy M. 2017. *Plant Stress Tolerance: An Integrated Omics Approach*. Springer. Cham.

Jugulam M, Shyam Ch. 2019. Non-Targeted-Site Resistance to Herbicides: Recent Developments. *Plants*. **8**: 417. DOI: 10.3390/plants8100417.

Kashmir S, Khan MA, Shad A. 2016. Temperature and salinity affect the germination and growth of *Silybum marianum* Gaertn and *Avena fatua*. *Pakistan Journal of Botany*. **48**(2): 469-

476.

Kaya G, Kaya MD, Caliskan M, Arslan Y. 2009. Comparative analysis for germination and seedling growth of wheat with some competitive weeds under salinity. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. **7**:534–536. DOI: 10.1234/4.2009.2660.

Kranner I, Minibayeva F, Beckett RP, Seal CE. 2010. What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. *New Phytologist*. **188**: 655-673. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03461.x.

Li Q, Tan J, Li W, Yuan G, Du L, Ma S, Wang J. 2015. Effects of Environmental Factors on Seed Germination and Emergence of Japanese Brome (*Bromus japonicus*). *Weed Science*. **63**: 641-646. DOI: 10.1614/WS-D-14-00131.1.

Lichtenthaler HK. 1998. The stress concept in plants: An introduction. *Annals of the New York Academy of Sciences*. **851**: 187-198.

Liu Y, Zhang S, Boeck HJ, Hou F. 2021. Effect of Temperature and Salinity on Seed Germination of Three Common Grass Species. *Frontiers in Plant Science*. **12**: 1-8. DOI: 10.3389/fpls.2021.731433.

Liu Y, Zhang S, De Boeck HJ, Hou F. 2021. Effects of Temperature and Salinity on Seed Germination of Three Common Grass Species. *Frontiers in Plant Science*.

Loura D, Sahil, Florentine S, Chauhan BS. 2020. Germination ecology of hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) and its implications for weed management. *Weed Science*. **68**: 411–417. DOI: 10.1017/wsc.2020.28.

Maduraimuthu D, Prasad PVV. 2014. High temperature stress. *Plant Genetic Resources and Climate Change*. CABI. DOI:10.1079/9781780641973.0201.

Mahajan G, Prasad A, Chauhan BS. 2021. Seed germination ecology of Sumatran fleabane (*Conyza sumatrensis*) in relations to various environmental parameters. *Weed Science*. **69**: 687–694. DOI: 10.1017/wsc.2021.56.

Michel BE, Kaufmann MR. 1973. The Osmotic Potential of Polyethylene Glycol 6000. *Plant Physiology*. **51**(5): 914-916. DOI: 10.1104/pp.51.5.914.

Munns R, Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. **59**: 651-681.

Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment*. **25**:239-250.

Mutti NK, Mahajan G, Chauhan BS. 2019. Seed-germination ecology of glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible biotypes of *Echinochloa colona* in Australia. *Crop Pasture Science* **70**: 367–372. DOI: 10.1071/cp18444.

Naik PM, Al-Khayri JM. 2016. Abiotic and biotic elicitors – Role in secondary metabolites production through *in vitro* culture of medicinal plants. Pages 247-277 in Naik PM, Al-Khayri JM, editors. *Abiotic and biotic stress in Plants - Recent Advances and Future Perspectives*. Intech.

Ohadi S, Mashhadi HR, Tavakkol-Afshari R, Mesgaran MB. 2009. Modelling the effect of light intensity and duration of exposure on seed germination of *Phalaris minor* and *Poa annua*. *Weed Research*. **50**: 209-217. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2010.00769.x.

Parihar P, Singh S, Singh R, Singh VP, Prasad SM. 2014. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science Pollution Research*. **22**: 4056-4075. DOI: 10.1007/s11356-014-3739-1.

Passioura JB, Angus JF. 2010. Improving productivity of crops in water-limited environments. *Advances in Agronomy*. **106**: 37–75. DOI: 10.1016/S0065-2113(10)06002-5.

Penny GM, Neal JC. 2003. Light, Temperature, Seed Burial, and Mulch Effects on Mulberry Weed (*Fatoua villosa*) Seed Germination. *Weed Technology*. **17**(2): 213-218. DOI: 10.1614/0890-037X(2003)017[0213:LTSBAM]2.0.CO;2.

Petit S, Boursault A, Le Guilloux M, Munier-Jolain N, Reboud X. 2011. Weeds in agricultural landscapes. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. **31**: 309-317. DOI 10.1007/s13593-012-0095-8.

Pollard F. 1982. Light Induced Dormancy in *Bromus sterilis*. *Journal of Applied Ecology*. **19**(2): 563-568.

Ramirez AHM, Jhala AJ, Singh M. 2012. Germination and emergence characteristics of Common Beggars-Tick (*Bidens alba*). *Weed Science* **60**:374–378.

Rasband W. ImageJ 1.53a. 5. dubna 2023 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z:<http://imageh.nih.gov/ij>. Požadavky na systém: Java 1.8.0_172. macOS 12.3.1 (21E258) 7623K 3000 MB.

Sadeghloo, A, Asghari J, Ghaderi-Far F. 2013. Seed germination and seedling emergence of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). *Planta Daninha* **31**:259–266. DOI: 10.1590/S0100-83582013000200003.

Seleiman MF, Al-Suhaibani N, Ali N, Akmal M, Alotaibi M, Refay Y, Dindaroglu T, Abdul-Wajid HH, Battaglia ML. 2021. Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to

- Alleviate Its Adverse Effects. *Plants*. **10**(2): 259. DOI: 10.3390/plants10020259.
- Serra F, Fogiatto S, Vidotto F. 2018. Effect of salinity on *Echinochloa crus-galli* germination as affected by herbicide resistance. *Italian Journal of Agronomy*. **13**: 1046. DOI: /10.4081/ija.2018.1046.
- Shen YY, Li Y, Yan SG. 2010. Effects of salinity on germination of six salt-tolerant forage species and their recovery from saline conditions. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. **46**: 263-269. DOI: 10.1080/00288233.2003.9513552.
- Soukup J, Jursík M, Valičková V, Košnarová P, Hamouzová K, Hamouz P, Holec J. 2018. Biologické vlastnosti a regulace sveřepu jalového příbuzných druhů na orné půdě. Česká zemědělská univerzita. Praha.
- Soukup J, Košnarová P, Hamouzová K, Hamouz P, Jursík M. 2020. Monitoring herbicidní rezistence a antirezistentní strategie. Česká zemědělská univerzita. Praha.
- StatSoft, Inc. Statistica 12. 5. dubna 2023 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.instaluj.cz/statistica>. Požadavky na systém: Windows 10 Home. 4000 MB.
- Štrobach J, Mikulka J. 2020. Biologie a regulace jednoděložných plevelů. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha.
- Tanveer A, Mumtaz K, Javaid MM, Chaudhry MN, Balal RM, Khaliq A. 2013. *Planta Daninha*. **31**(3). DOI: 10.1590/S0100-83582013000300011.
- Tavili A, Zare S, Moosavi SA, Enayati A. 2011. Effects of Seed Priming on Germination Characteristics of *Bromus* Species under Salt and Drought Conditions. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. **10**(2): 163-168.
- U.S. Department of Agriculture. 2020. USDA. Available from <https://www.usda.gov> (accessed duben 2022).
- Valičková V, Hamouzová K, Kolářová M, Soukup J. 2017. Germination responses to water potential in *Bromus sterilis* L. under different temperatures and light regimes. *Plant Soil Environment*. **63**(8): 368-374. DOI: 10.17221/406/2017-PSE.
- Wajid HH, Battaglia ML. 2021. Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. *Plants*. **10**(2):259. DOI: 10.3390/plants10020259.
- Wu L, Fang Y, Yang H, Bai L. 2019. Effects of drought-stress on seed germination and growth physiology of quinclorac-resistant *Echinochloa crus-galli*. *Plos One*. **14**(4). DOI: 10.1371/journal.pone.0214480.

- Wu X, Zhang T, Pan L, Wang L, Xu H, Dong L. 2016. Germination Requirements Differ between Fenoxaprop-*P*-ethyl Resistant and Susceptible Japanese Foxtail (*Alopecurus japonicus*) Biotypes. *Weed Science*, **64**(4): 653–663. DOI: 10.1017/wsc.2020.9.
- Xue-hua L, De-ming J, Xia-lan L, Quan-lai Z. 2011. Effects of salinity and desalination on seed germination of six annual weed species. *Journal of Forestry Research*. **22**: 475-479. DOI: 10.1007/s11676-011-0190-8.
- Yang H, Huang Z, Baskin CC, Baskin JM, Cao Z, Zhu X, Dong M. 2008. Responses of caryopsis germination, early seedling growth and ramet clonal growth of *Bromus inermis* to soil salinity. *Plant and Soil*. **316**: 265-275. DOI: 10.1007/s11104-008-9778-y.
- Yuan JS, Tranel PJ, Stewart CN. 2007. Non-target-site herbicide resistance: a family business. *Trends in Plant Science*. **12**(1): 6-13. DOI: 10.1016/j.tplants.2006.11.00.
- Zhang ZX, Tian X, Sun L. 2017. Germination behaviour of *Cenchrus pauciflorus* seeds across a range of salinities. *Weed Resistance*. **57**:91–100. DOI: 10.1111/wre.
- Žďárková V, Hamouzová K, Holec J, Janků J, Soukup J. 2014. Seed ecology of *Bromus sterilis* L. *Julius-Kühn-Archiv*. DOI: 10.5073/jka.2014.443.018.

9 Seznam použitých zkratk a symbolů

PEG 6000 – polyethyleglykol 6000

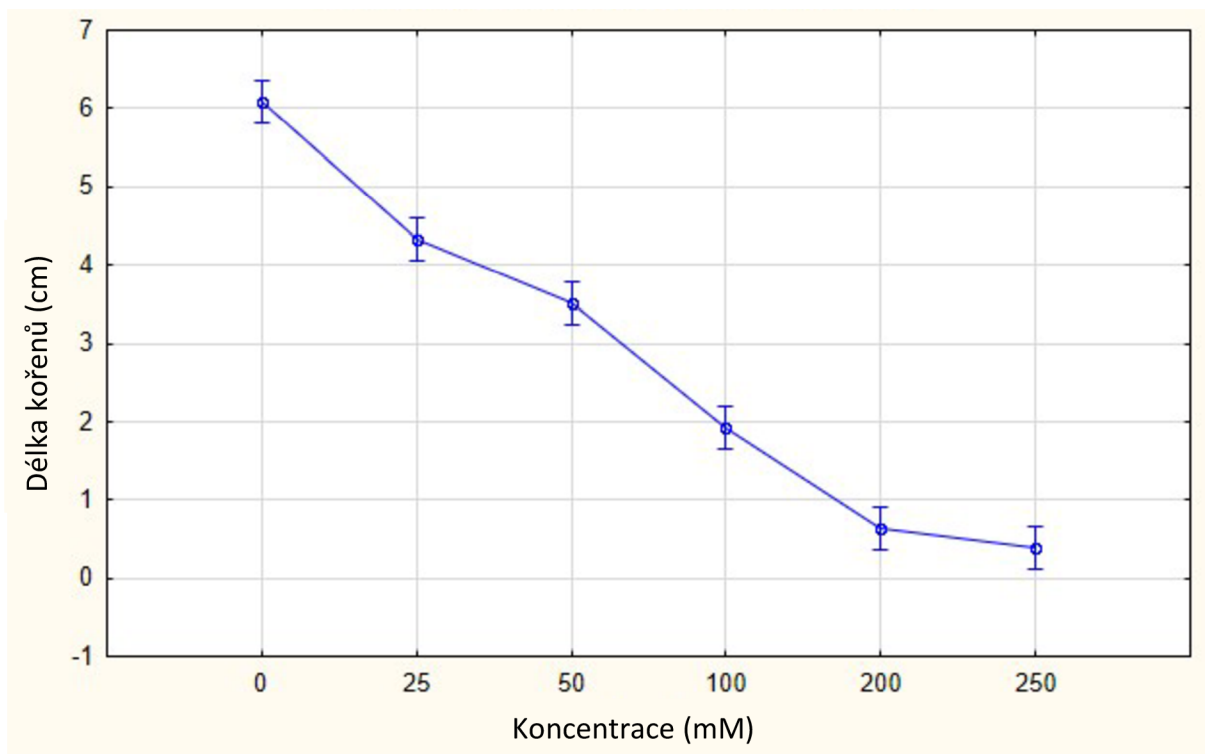
NaCl – chlorid sodný

R – rezistentní

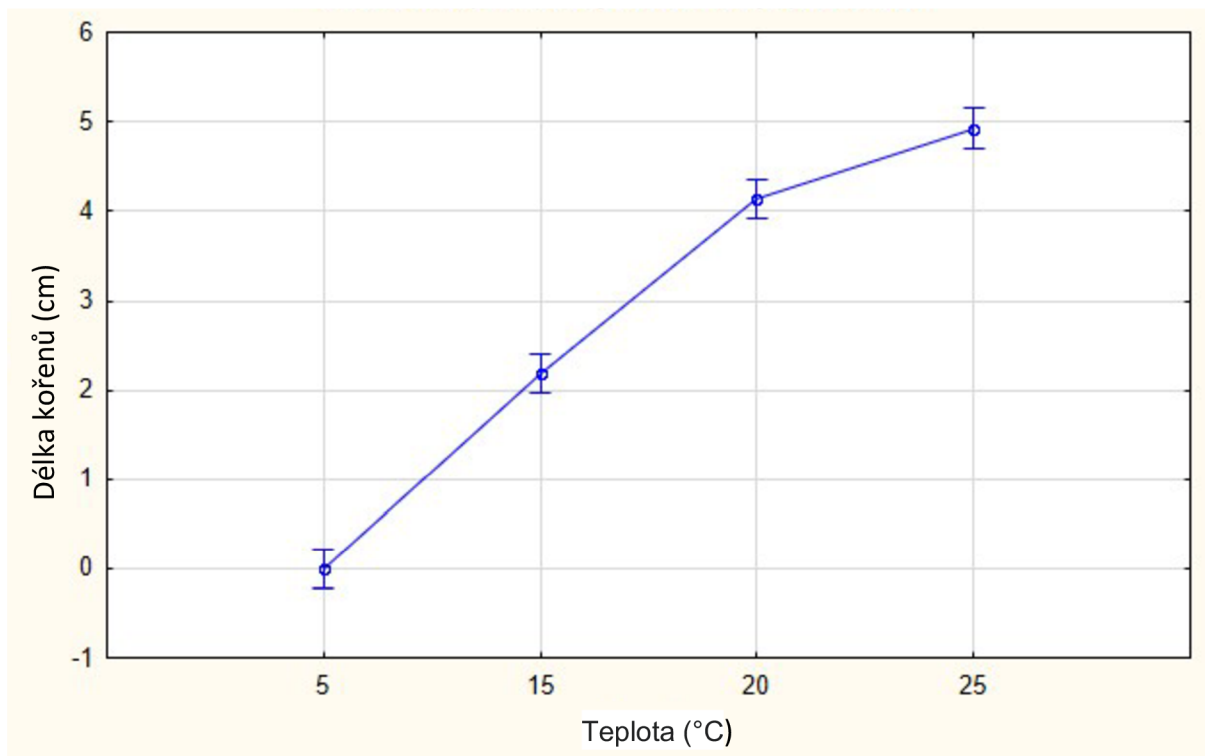
S – senzitivní

HSD – Honest Significant Difference

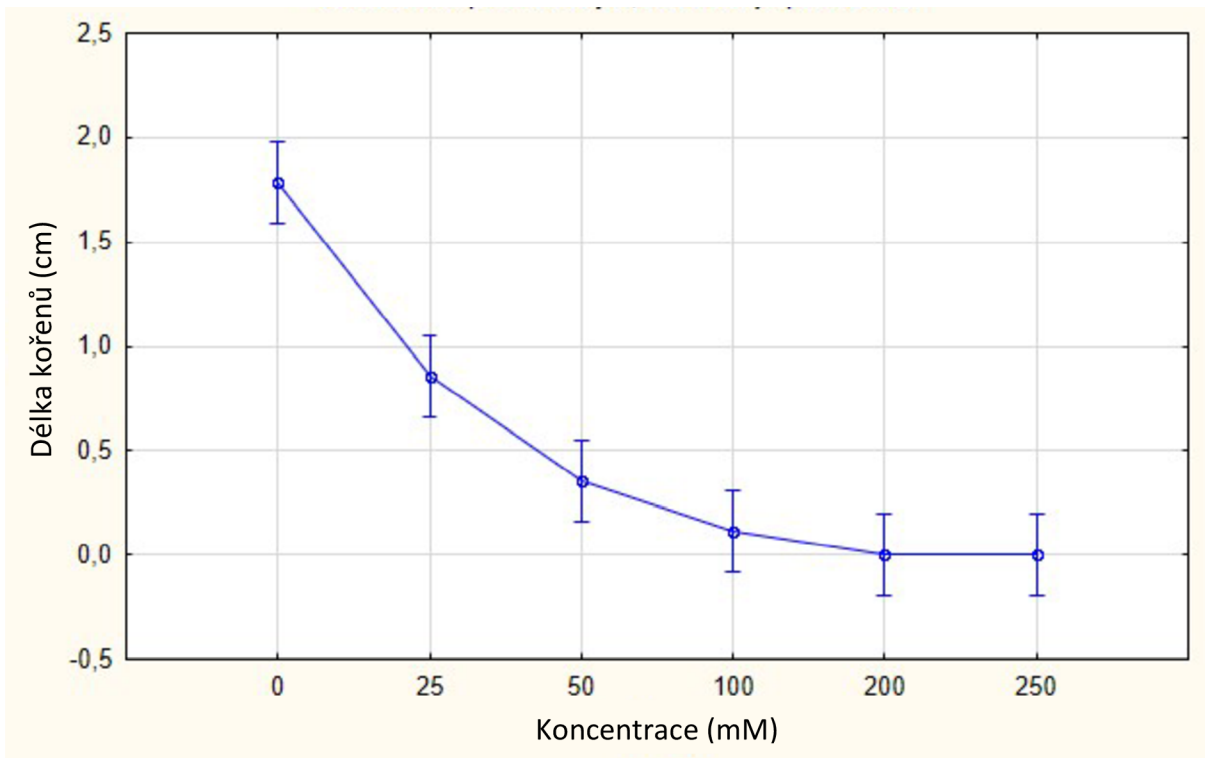
10 Samostatné přílohy



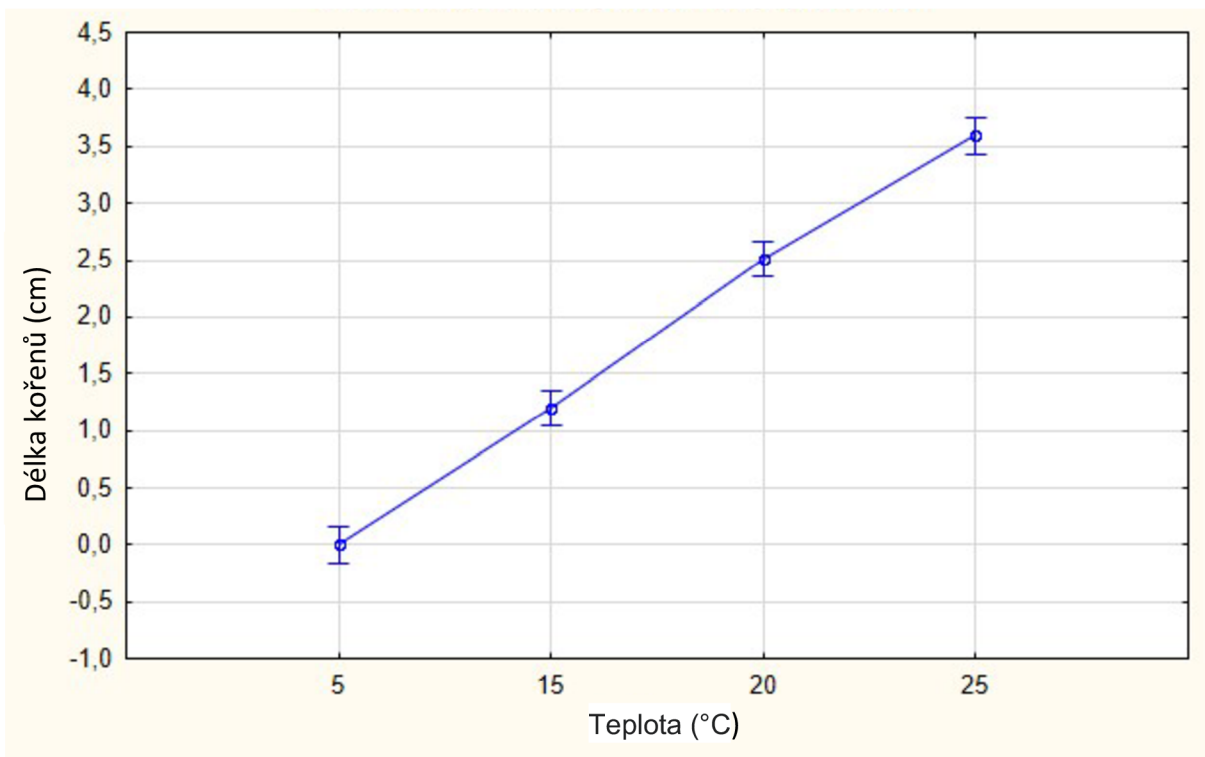
Graf 9 Vliv koncentrace NaCl na klíčení a délku kořenů rezistentních obilek sveřepu jalového



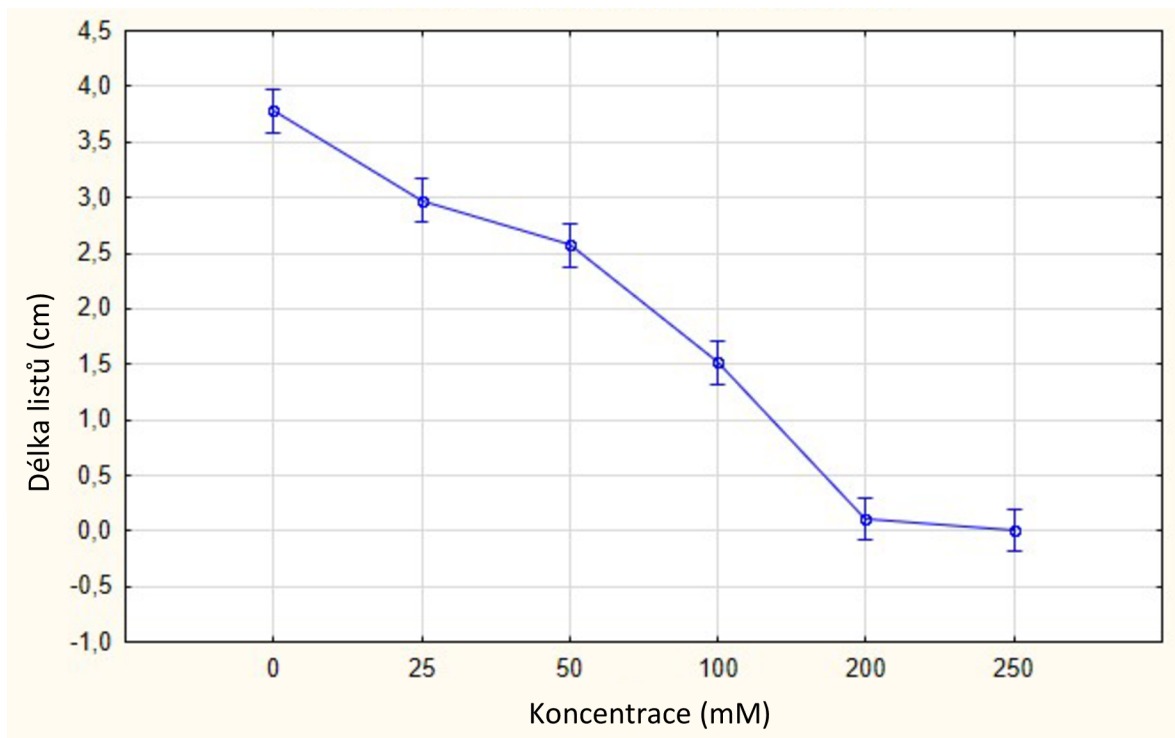
Graf 10 Vliv teploty na klíčení a délku kořenů rezistentních obilek sveřepu jalového



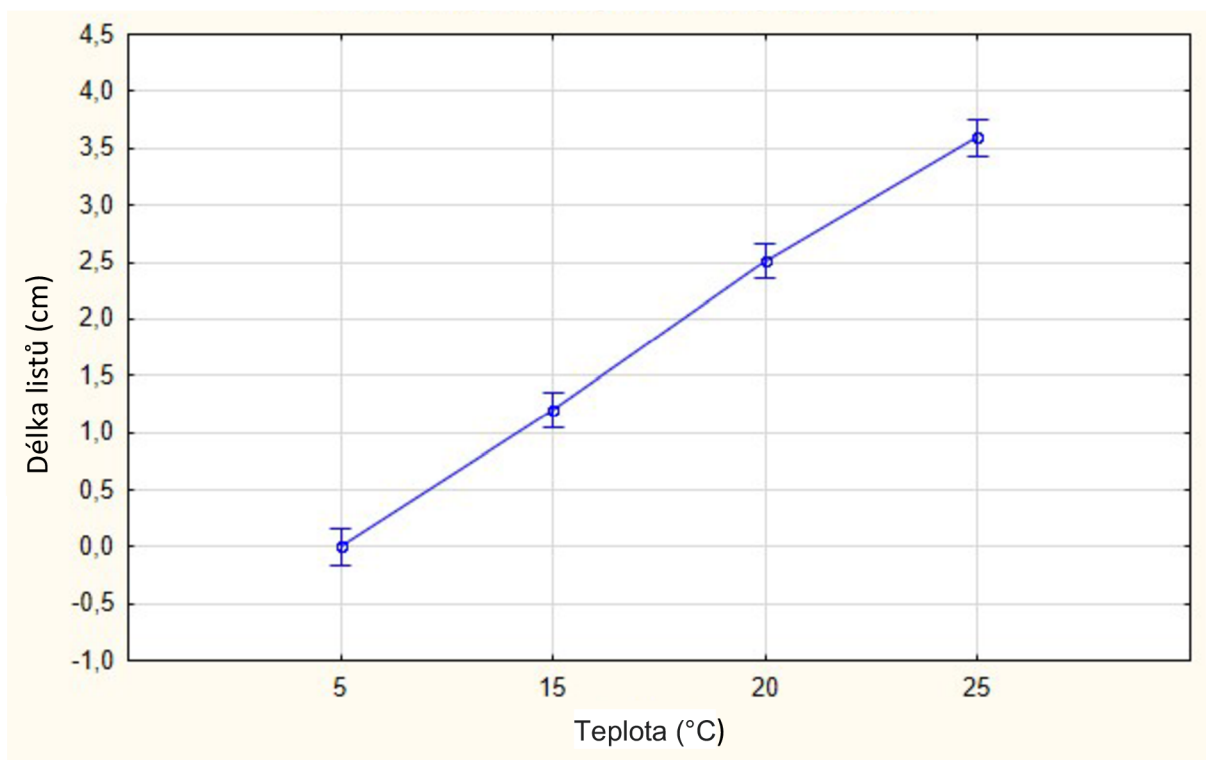
Graf 11 Vliv koncentrace NaCl na klíčení a délku kořenů senzitivních obilek sveřepu jalového



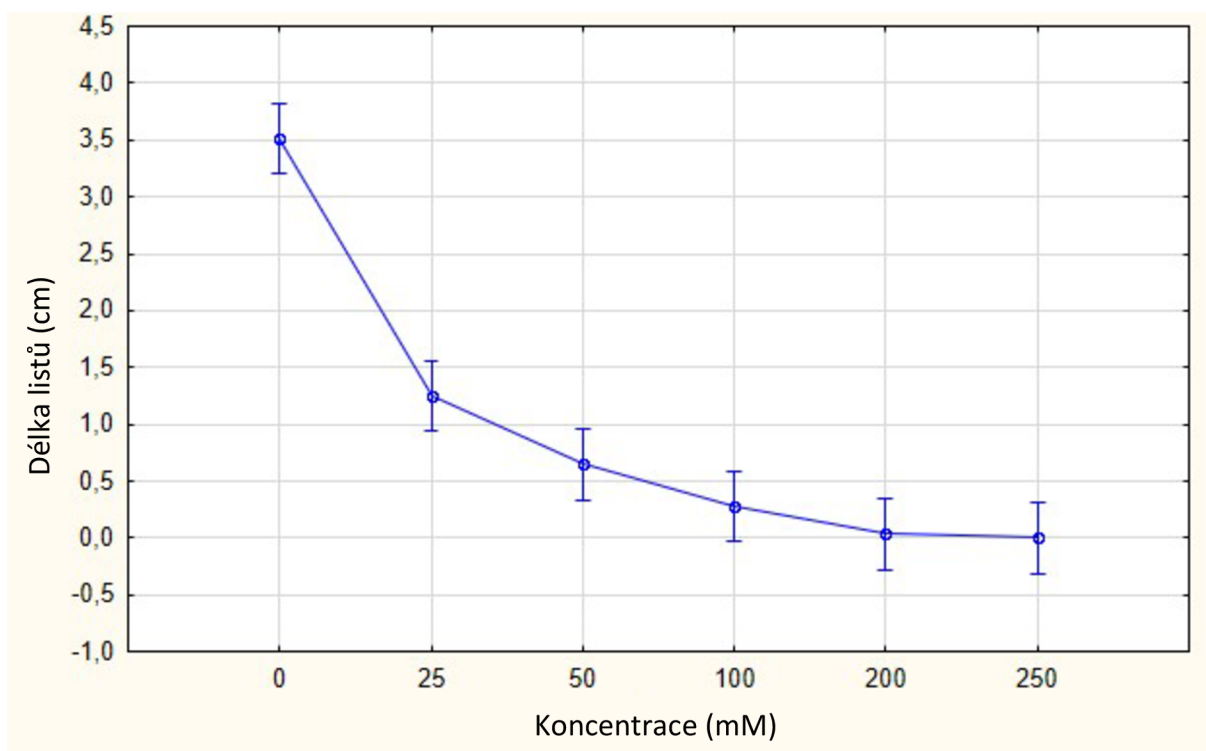
Graf 12 Vliv teploty na klíčení a délku kořenů senzitivních obilek sveřepu jalového



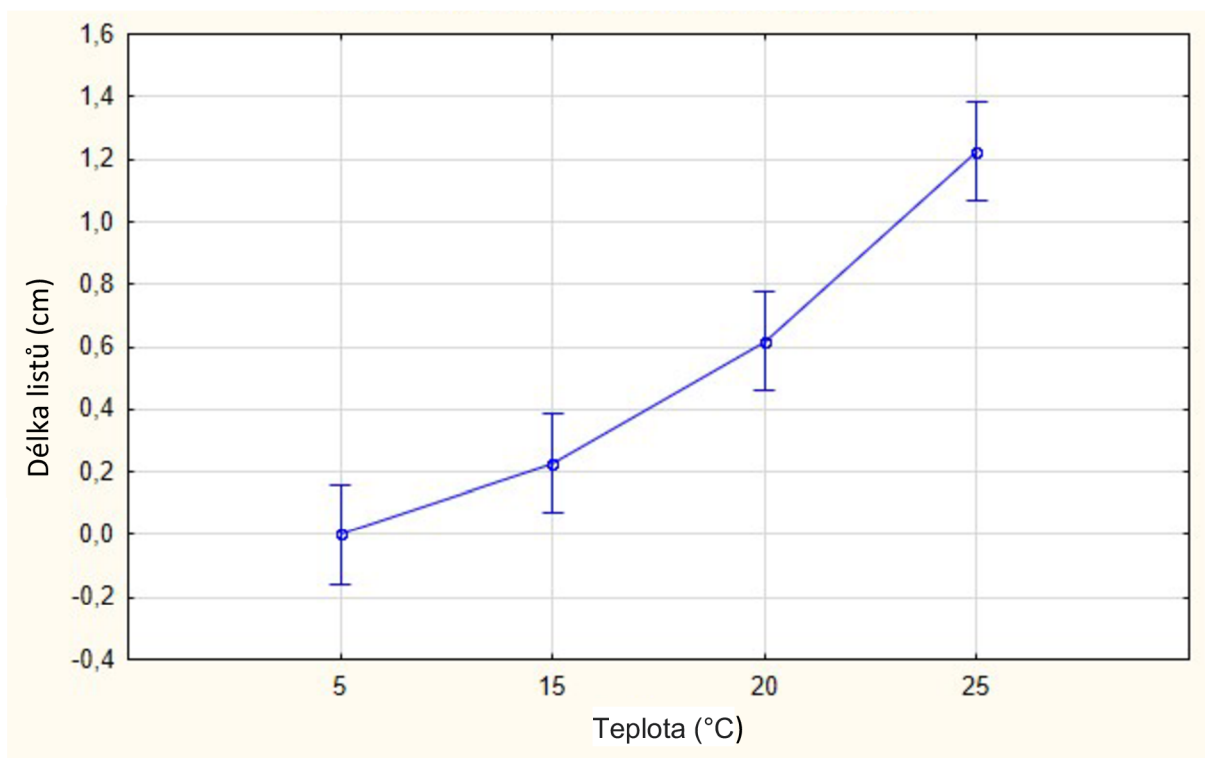
Graf 13 Vliv koncentrace NaCl na klíčení a délku listů rezistentních obilek sveřepu jalového



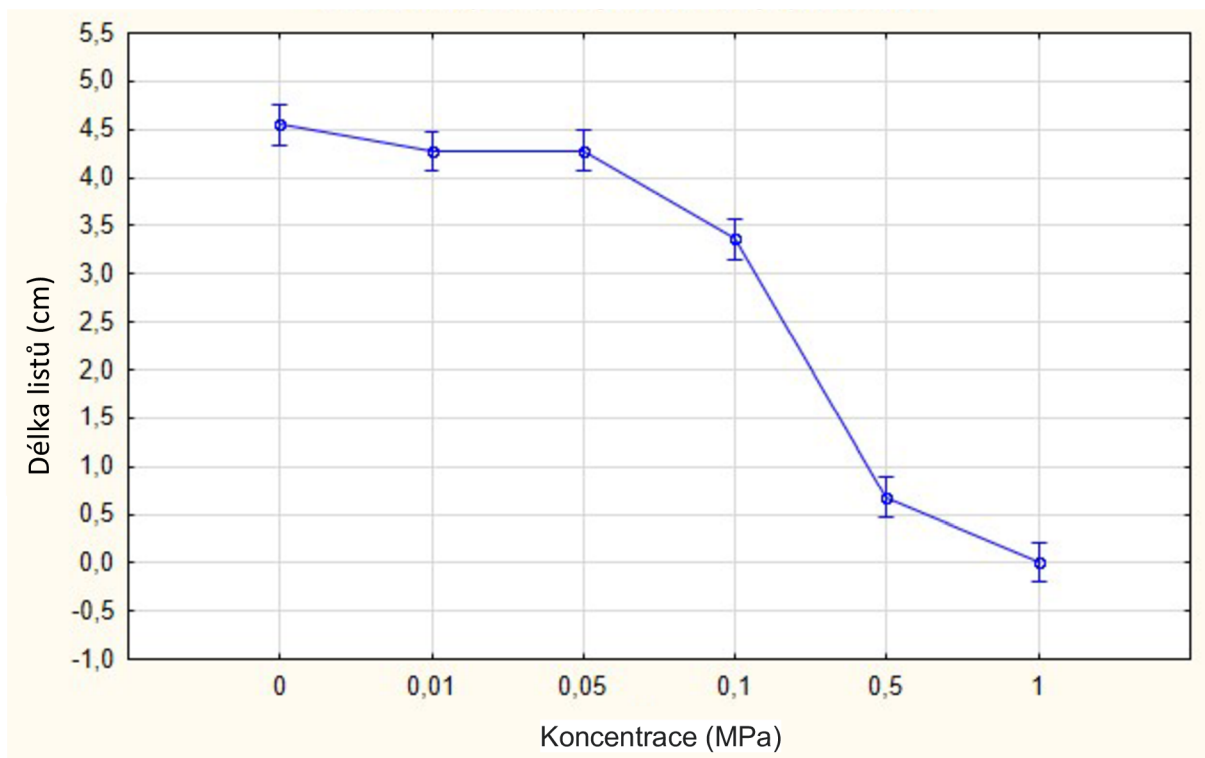
Graf 14 Vliv teploty na klíčení a délku listů rezistentních obilek sveřepu jalového



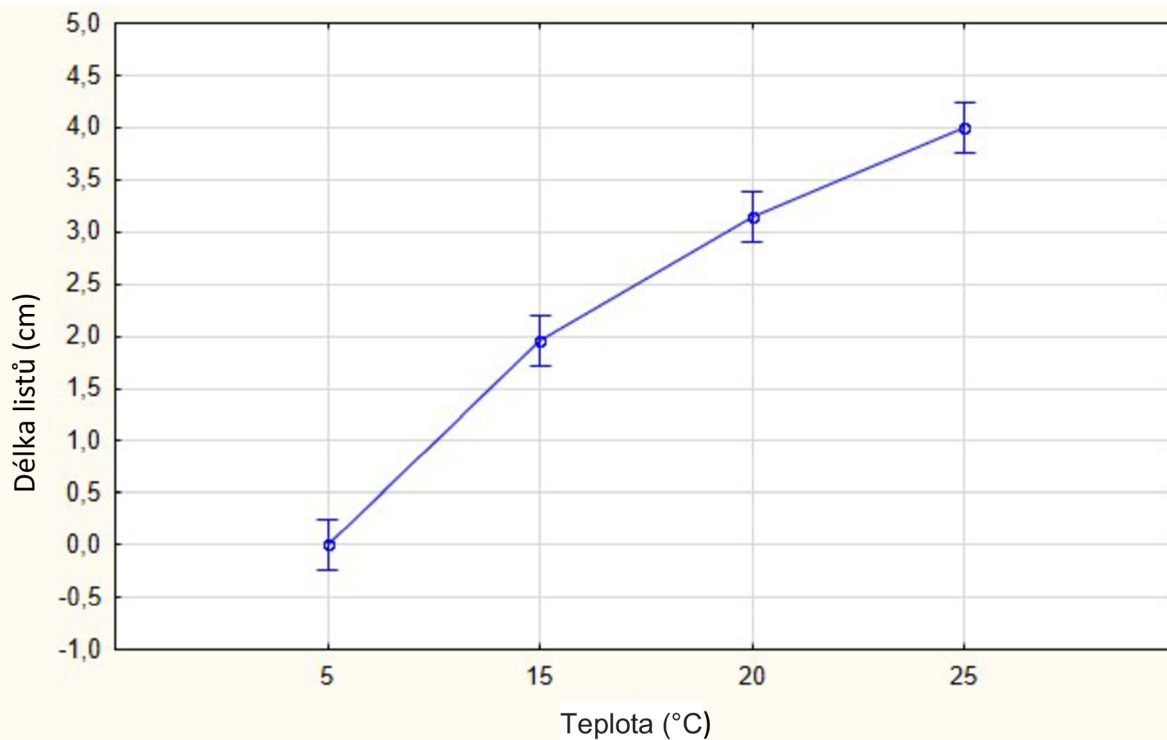
Graf 15 Vliv koncentrace NaCl na klíčení a délku listů senzitivních obilek sveřepu jalového



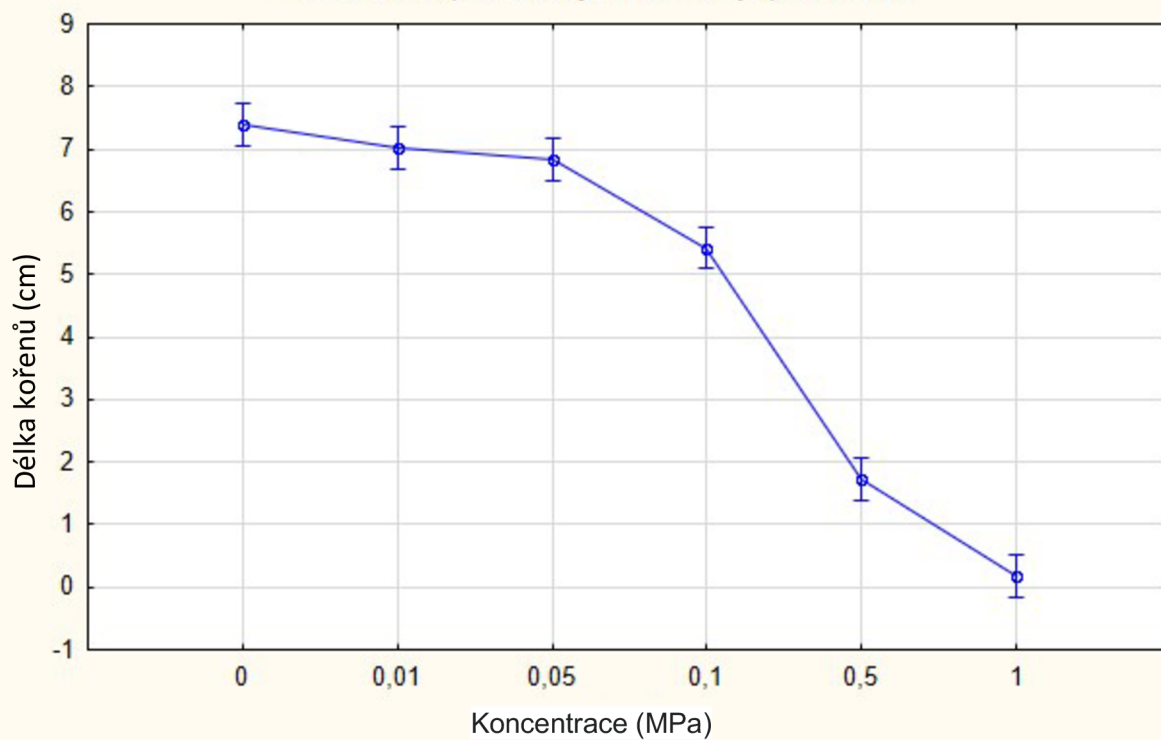
Graf 16 Vliv teploty na klíčení a délku listů senzitivních obilek sveřepu jalového



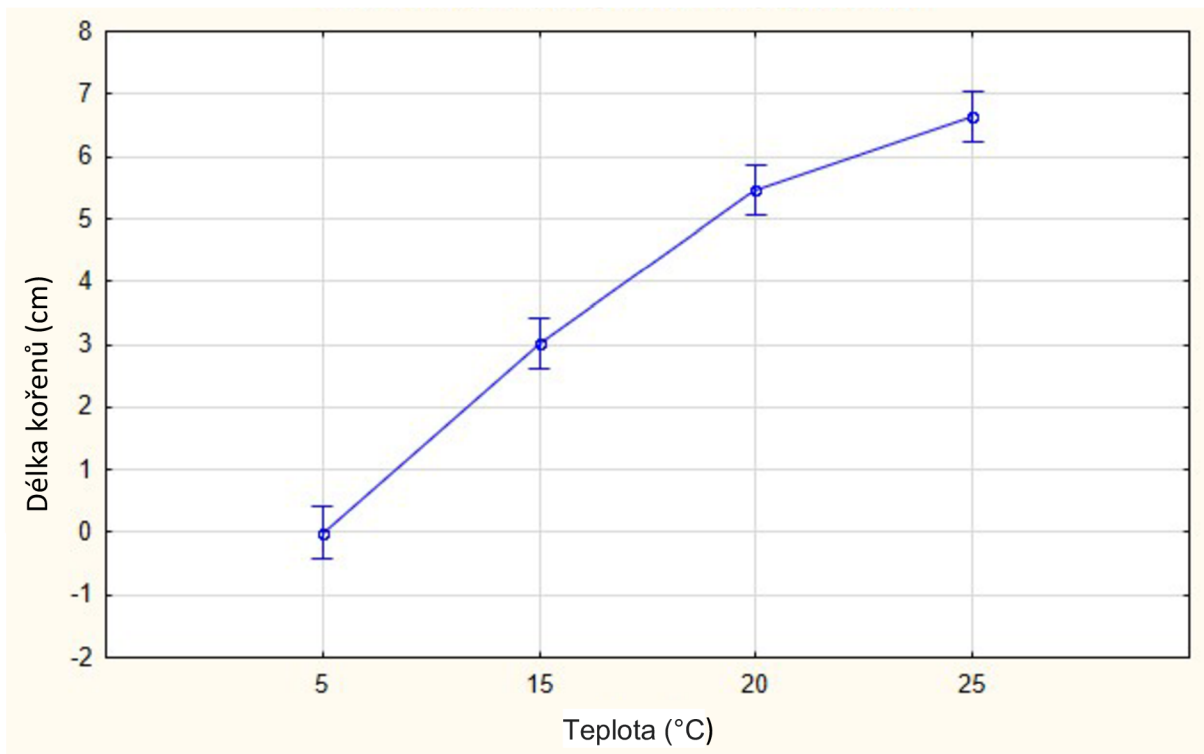
Graf 17 Vliv koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku listů rezistentních obilek sveřepu jalového



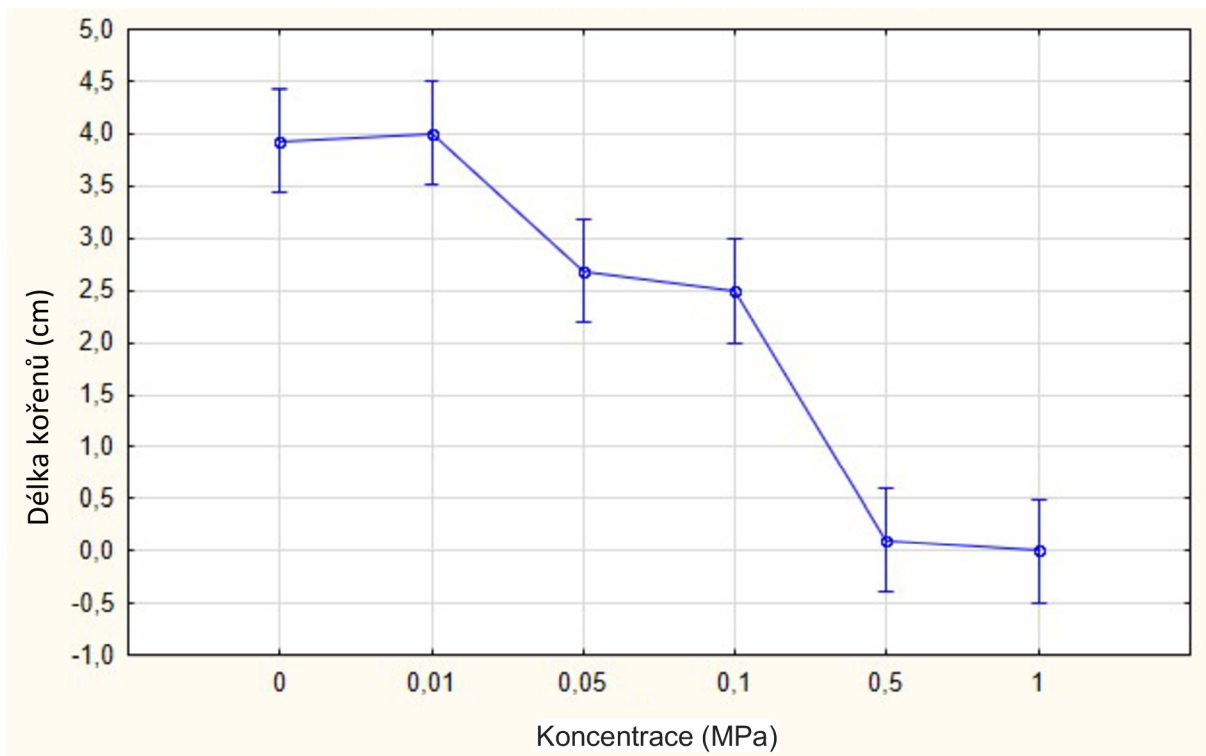
Graf 18 Vliv teploty na klíčení a délku listů rezistentních obilek sverepu jalového



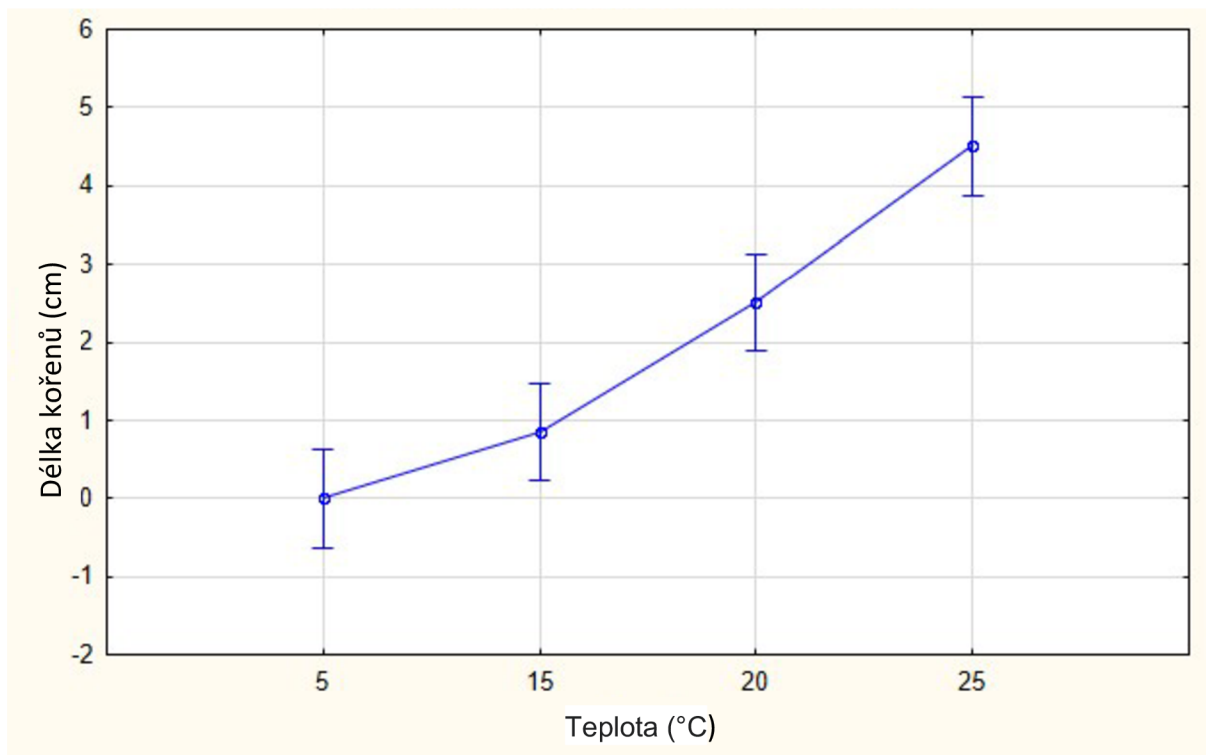
Graf 19 Vliv koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku kořenů rezistentních obilek sverepu jalového



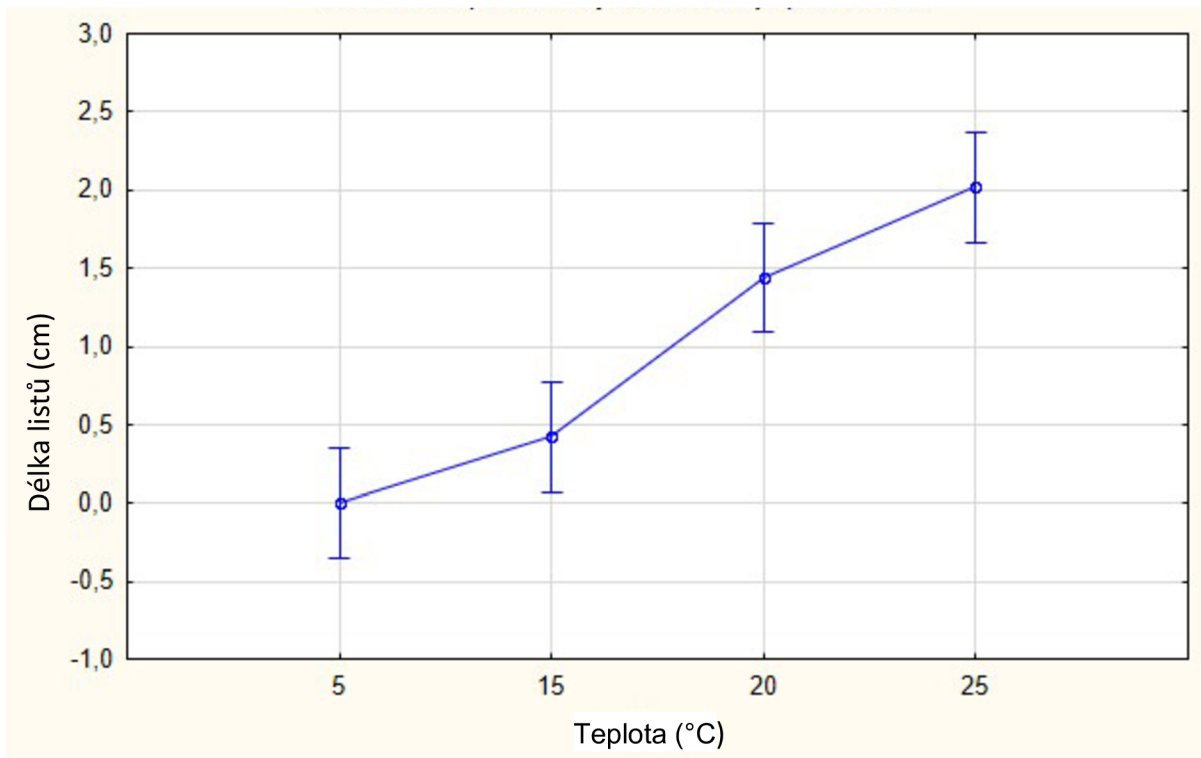
Graf 20 Vliv teploty na klíčení a délku kořenů rezistentních obilek sveřepu jalového



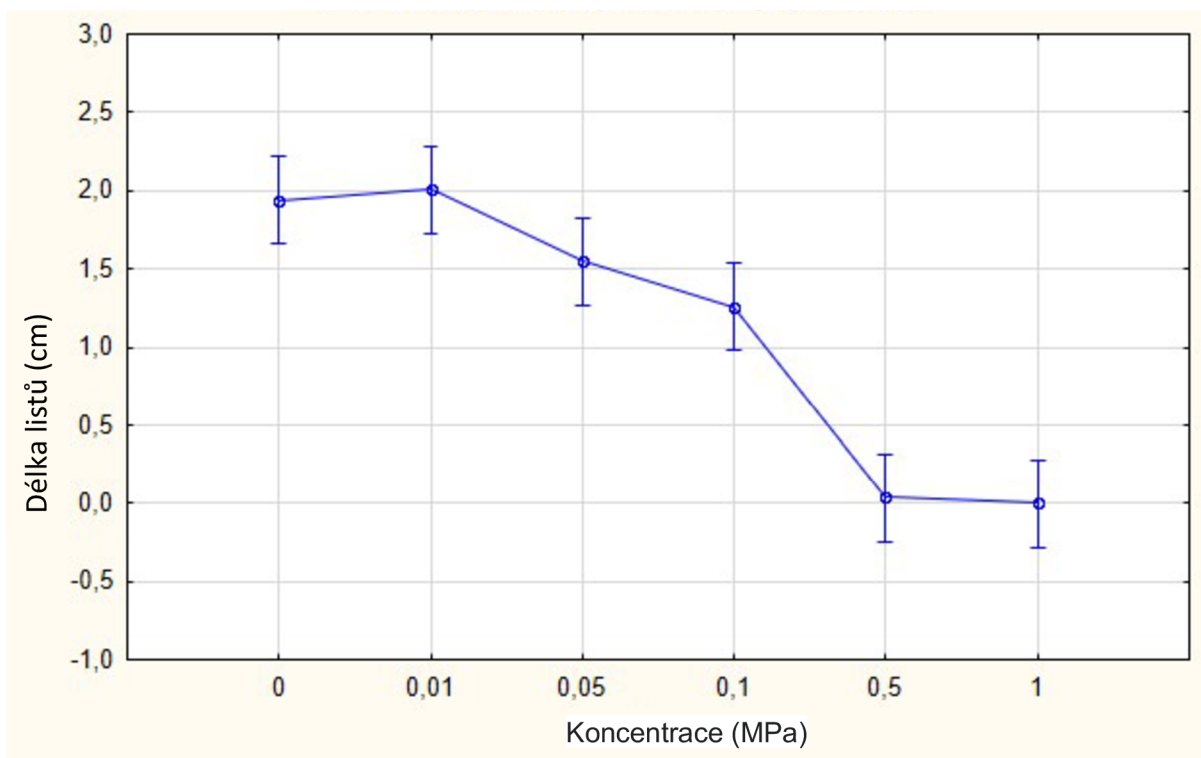
Graf 21 Vliv koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku kořenů senzitivních obilek sveřepu jalového



Graf 22 Vliv teploty na klíčení a délku kořenů senzitivních obilek sveřepu jalového



Graf 23 Vliv teploty na klíčení a délku listů senzitivních obílek svěřpu jalového



Graf 24 Vliv koncentrace PEG 6000 na klíčení a délku listů senzitivních obílek svěřpu jalového