



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra biologie

Bakalářská práce

Klíčení semen vybraných plodin po ošetření netermálním plazmatem

Vypracovala: Kamila Petrášková
Vedoucí práce: RNDr. Božena Šerá, Ph.D.

České Budějovice 2017

Anotace:

Vliv nízkoteplotního plazmatu na různá osiva patří v současné době k nejpoužívanějším technikám v zemědělství. Předmětem mé bakalářské práce je sledování a hodnocení účinku nízkoteplotního plazmatu na semena kukuřice seté a řepky olejky, a to zejména na klíčivost semen, rychlost klíčení a energii klíčení. Zmíněné charakteristiky byly měřeny pomocí testů klíčivosti a jsou vyjádřeny v procentech. Předkládaná práce informuje o tom, zda stimulace semen plazmatem má vliv na tyto rostliny a pokud ano, tak zda je tento vliv pozitivní či negativní.

Annotation:

The influence of low-temperature plasma on the different seeds is currently one of the most used techniques in agriculture. The aim of my bachelor thesis is to monitor and evaluate the effect of low-temperature plasma on the seeds of maize sow (*Zea mays* L.) and oilseed rape (*Brassica napus* L. *napus*), particularly on the germination of the seeds, germination rate and germination energy. These characteristics were measured by germination tests and they are expressed as a percentage. The submitted thesis informs whether the stimulation of the seeds by plasma affects these plants and if so, whether the influence is positive or negative.

Poděkování:

Touto cestou bych chtěla poděkovat vedoucí mé bakalářské práce RNDr. Božně Šeré, Ph.D. za čas, který mi věnovala při zpracovávání a vyhodnocování výsledků a dále za trpělivost, kterou mi při psaní mé práce prokázala.

Velké dík patří také doc. RNDr. Vladimíře Petráškové, Ph.D. za odborné konzultace při statistickém zpracování dat a mé kolegyni Bc. Tereze Landové za pomoc a výrazné zlepšování nálady při práci v laboratořích.

Poděkování patří i Miloslavě Škvorové a Janě Vomáčkové za poskytnutí semen potřebných k pokusu.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum:

Podpis studenta:

Obsah

1. Úvod	7
2. Literární rešerše	9
2.1. Klíčivost semen.....	9
2.1.1. Klíčivost vs. vzházivost.....	9
2.1.2. Testy klíčivosti	10
2.1.3. Ovlivnění klíčivosti vnějšími podmínkami.....	11
2.2. Plazma.....	13
2.2.1. Co je to plazma?.....	13
2.2.2. Vlastnosti plazmatu	13
2.2.3. Výskyt plazmatu.....	14
2.2.4. Druhy plazmatu	15
2.2.5. Vliv plazmového ošetření na povrch a povrchové vlastnosti semen	18
2.2.6. Použití nízkoteplotního plazmatu.....	18
3. Metodika.....	20
3.1. Základní popis práce a použité osivo.....	20
3.2. Ošetření plazmatem	20
3.2.1. Ošetření řepky olejkou plazmatem.....	21
3.2.2. Ošetření kukuřice seté plazmatem	22
3.3. Zakládání pokusů	22
3.3.1. Pokus s řepkou olejkou	22
3.3.2. Pokus s kukuřicí setou.....	22
3.4. Zaznamenávání hodnot	23
3.5. Fotografie pořízené v laboratoři	24
4. Výsledky.....	25
4.1. Metodika zpracování dat.....	25
4.2. Klíčivost.....	26
4.2.1. Řepka olejka (květen, září)	26
4.2.2. Kukuřice setá (srpen, říjen).....	29
4.3. Rychlost klíčení (v %)	32
4.3.1. Řepka olejka (květen, září)	32
4.3.2. Kukuřice setá (srpen, říjen).....	34
4.4. Energie klíčení	37
4.4.1. Řepka olejka (květen, září)	37
4.4.1.1. Řepka olejka květen 2014	37
4.4.1.2. Řepka olejka září 2014	42

4.4.2.	Kukuřice setá (srpen, říjen)	47
4.4.2.1.	Kukuřice setá srpen	47
4.4.2.2.	Kukuřice setá říjen.....	52
5.	Diskuse	57
6.	Závěr.....	59
7.	Seznam použité literatury	60
8.	Přílohy	

1. Úvod

V posledních letech je v oblasti zemědělské vědy pozornost věnovaná nízkoteplotnímu plazmatu jako alternativě k tradičnímu ošetření osiva před zasetím. Mezi tradiční ošetření patří mechanické ošetření (*physical scarification*), chemické ošetření a moření horkou vodou (*hot-water treatment*) (Dhayal a kol. 2006). Při mechanickém ošetření je osemení poškrábáno dávkovačem semen. Nevýhodou tohoto ošetření je, že má vysokou pravděpodobnost zvýšení počtu zničených semen. Chemická úprava spočívá v ošetření osiva kyselinou sírovou po dobu 300 až 600 s před promytím ve vodě a sušením (Dhayal a kol. 2006). V případě moření horkou vodou se používá horká voda. Moření horkou vodou je velmi účinný a nepříliš nákladný způsob ochrany osiva. Ačkoliv vyžaduje speciální zařízení, stává se významnou součástí předseťových úprav osiv mnohých semenářských firem. Je uplatňována zejména u osiv zelenin a umožňuje regulovat široké spektrum bakterií, hub a virů na semenech. Touto metodou je možné zničit i patogeny nacházející se v semenech (Pazdera 2002).

Ošetření osiv studeným plazmatem je nové zajímavé řešení pro zlepšení stavu osiva. Hlavním cílem této úpravy je snížení množství patogenů na semenech. Jiným, vedlejším efektem úprav, se ukazuje možnost celkového zlepšení růstu rostlin: nárůst klíčivosti, rychlosti klíčení, zlepšení vitality (Velichko a kol. 2017). Vedle výše zmíněných pozitiv má plazma ještě tu výhodu, že nedochází k destrukci semen (mechanické ošetření) a nedochází k znečištění životního prostředí (chemické ošetření) (Dhayal a kol. 2006, Selcuk a kol. 2008).

Cílem předkládané práce bylo zjistit, jaký vliv má stimulace netermálním plazmatem na obilky kukuřice seté (*Zea mays* L.) a semena řepky olejky (*Brassica napus* L. *napus*). Pozornost je věnována klíčivosti, rychlosti klíčení a energii klíčení semen těchto rostlin. Obilky a semena byly vystavovány působení plazmatu v časovém rozmezí od 60 po 600 s (kukuřice setá) a v časovém rozmezí od 180 do 600 s (řepka olejka). U kukuřice seté se dále sledoval rozdíl výše zmíněných základních charakteristik namořených a nenamořených semen.

Teoretická část práce obsahuje stručné seznámení s problematikou plazmatu a přehled výsledků dosažených v oblasti stimulace osiv netermálním atmosférickým plazmatem. Dále jsou v této části uvedeny základní informace týkající se charakteristik klíčivosti. V praktické části se čtenář může seznámit s vlastním pokusem a výsledky pokusu, které

byly získány na základě statistického zpracování dat. Nedílnou součástí je diskuse, která se pokouší získané výsledky zasadit do současného stavu vědění v dané oblasti.

2. Literární rešerše

2.1. Klíčivost semen

Podrobný a srozumitelný přehled o klíčivosti semen je popsán v publikaci Šeré (2014), odkud je také čerpáno při zpracování této kapitoly.

Zralé semeno se považuje za klidové stádium kvetoucí rostliny, kdy jsou všechny jeho životní projevy omezeny. Semeno obsahuje jen malé množství vody (cca 5-15 %) a jednou jeho životní aktivitou je slabé dýchání (spotřeba kyslíku, výdej oxidu uhličitého). Tento latentní stav se považuje za stav, ve kterém jsou semena schopna přežít různé nepříznivé podmínky životního prostředí (např. nadměrné sucho, extrémní teploty, nedostatek kyslíku, tma, apod.). V případě, že je zárodek v semenu dozrálý a dobře vyvinutý, začne klíčit za vhodných vnějších podmínek. Pro semena botanických druhů platí, že polyploidní druhy klíčí lépe a jsou životaschopnější než druhy diploidní (Bretagnolle a kol. 1995). Schopnost klíčit je dána také přítomností a množstvím fytohormonů v semeni, tloušťkou a tvrdostí osemení, jeho propustností pro plyny a vodu (Baskin a Baskin 2001). Ve většině případů platí, že dozralá semena jsou schopna klíčit až po určité době klidu, a ta je pro různé druhy specifická. Některé druhy mohou klíčit ještě na mateřské rostlině, jiné hned po vysemenění a jiné teprve pro překonání semenného klidu (dormance). Dormance semen znamená inhibici klíčení za příhodných podmínek pro klíčení.

K vnějším podmínkám podmiňujícím klíčení rostlin patří vlhkost, teplota, světlo a vlastnosti substrátu (přítomnost patogenů, obsah solí, možnost mykorrhzy apod.). K vnějším faktorům, které mohou ve finále ovlivnit klíčení, také patří způsob sběru semen, jejich uskladnění, mechanické poškození, ožer hmyzem, stáří, infekce fytopatogeny, technika výsevu, vlastnosti kultivačního substrátu (Chloupek 2008, Houba a Hosnedl 2002). Při změně těchto faktorů může dojít k ovlivnění klíčivosti.

Semeno je považováno za klíčící v případě, kdy má vyvinutý kořínek min. 1-2 mm. Za nejčastější anomálie klíčení a počátečního růstu se považují defekty kořínku a děloh.

2.1.1. Klíčivost vs. vzházivost

Laboratorní testy klíčivosti jsou prováděny za cílem obdržet informace o absolutním počtu klíčivých semen ve vzorku. Prostředí, ve kterém testy probíhají, by

mělo splňovat optimální podmínky pro klíčení semen (tzn., že tyto podmínky by měly být nastavitelné).

Praktikující pěstitelé však zajímá spíše polní vzcházivost semen a vyrovnanost vzcházení, než jejich klíčivost (Honsová a kol. 2011). Polní vzcházivost je charakterizována jako procentuální množství semen vzešlých z celkového počtu vysetých klíčivých semen v přírodních podmínkách. Stanovení polní vzcházivosti na základě znalosti klíčivosti semen zjištěné v laboratoři však není jednoduchou záležitostí (Khan a kol. 2010). Z tohoto důvodu jsou zaváděny testy, které spočívají ve stanovení laboratorní vzcházivosti semen. Při inkubaci dochází u testovaných semen k zatížení různými stresujícími faktory nebo jsou použita semena zestárlá s nižší vitalitou.

2.1.2. Testy klíčivosti

Test klíčivosti je jednou z nejčastěji a nejběžněji měřitelných charakteristik semen. V těchto testech hraje důležitou roli stáří semen. Klíčivost semen patří mezi obtížně porovnatelnou veličinu. Údaje o klíčivosti semen se mohou lišit v závislosti na použité metodice testování.

Klíčivost semen

Klíčivost semen v širším slova smyslu (*sensu lato*) informuje o klíčících vlastnostech testovaných vzorků. V užším slova smyslu (*sensu stricto*) tento termín vypovídá o procentuálním množství vyklíčených semen daného vzorku za optimálních podmínek v čase vymezeném pro klíčení (období konce klíčení).

Pro určení klíčivosti semen se užívá následující vztah:

$$\text{Klíčivost semen (\%)}: \mathbf{SG = G_t / S * 100}$$

G_t – počet vyklíčených semen na konci kultivace

S – celkový počet testovaných semen

Energie klíčení

Energie klíčení slouží k vyjádření procentuálního množství vyklíčených semen daného vzorku v daném čase. Energie klíčení vypovídá o intenzitě a vyrovnanosti klíčení (Bam a kol. 2006).

Energie klíčení se určí:

$$\text{Energie klíčení (\%): } GE = G_t / S * 100$$

G_t – počet vyklíčených semen ve dne t

Rychlost klíčení

Rychlost klíčení se vyjadřuje jako poměr počtu vyklíčených semen na začátku a na konci stanovované doby a vyjadřuje se v procentech. Rychlost klíčení vypovídá především o celkové vitalitě testovaných semen (Houba a Hosnedl 2002, Procházka a kol. 2013).

Pro rychlost klíčení platí:

$$\text{Rychlost klíčení (\%): } SG = G_t / G_f * 100$$

G_t – počet vyklíčených semen na začátku kultivace

G_f – počet vyklíčených semen na konci stanovované doby

2.1.3. Ovlivnění klíčivosti vnějšími podmínkami

Vnitřní faktor, který je rozhodující pro nástup klíčení semen, je jejich dormance, a to buď vrozená, nebo indukovaná. Dormance semen vyjadřuje klidový stav semen, který je chápán jako neschopnost živých semen klíčit v podmínkách běžných pro klíčení. Jak už bylo řečeno, k nejdůležitějším vnějším faktorům patří voda, teplo, kyslík a světlo.

Voda

Zralá semena v porovnání s pletivy rostlin obsahují méně vody, a proto před vlastním klíčením musí dojít k aktivaci vnitřních pletiv semene vodou. Mnohá semena jsou schopna přijmout vzhledem ke své původní hmotnosti značné množství vody. Osemení je propustnější pro vodu směrem dovnitř do semene než směrem ven. Nejvíce vody do semene proniká v místě zvané hilum (jizva po poutku vajíčka). Osemení některých semen (např. některé bobovité nebo slézovité) je tvrdosemenné a pro vodu špatně propustné. Bobtnání a celkový proces klíčení u takových rostlin probíhá pomaleji. Jakmile semeno nabobtná, dokáže vodu udržet po určitou dobu. Při bobtnání semen dochází k obnovení metabolické aktivity zárodku, včetně dýchání. Následující životní děje zahrnují fyzikálně chemické procesy, které mají za následek růst a dělení buněk, a tím i vývoj vlastního zárodku. Voda současně aktivuje enzymy, štěpící zásoby v semeni (sacharidy, lipidy, proteiny) na jednodušší látky, které dodávají energii pro další růst zárodku. Signál pro mobilizaci zásob v semeni vychází z embrya a je giberelinové

povahy. Při štěpení zásobních látek je uvolňováno teplo a výrazně se zvyšuje intenzita aerobního dýchání. Nadměrné množství vody souvisí s nedostatkem vzdušného kyslíku potřebného pro dýchání a tak může mít na průběh klíčení inhibiční účinek.

Teplota

Semena z různých druhů rostlin jsou schopna klíčit v různém rozsahu teplot (*Orobanche* spp., Song a kol. 2005). Většina semen rostlin našeho vegetačního pásu klíčí nejlépe při „pokojové teplotě“ 16-24 °C. Při teplotách výrazně nižších (bod mrazu) nebo výrazně vyšších (35 °C) se klíčení zpomaluje nebo ustává. Některé druhy mají na vyšší teploty specifické požadavky. Vliv na klíčivost má u některých druhů i krátkodobé vystavení semen vyšším teplotám, zvláště u druhů, rostoucích v místech s pravidelnými požáry (např. borovice, Vega a kol. 2008). Naopak, některé druhy potřebují pro vyklíčení předsetřové ošetření chladovou stratifikací (např. jedle, Bezděčková a Řezníčková 2012). Stratifikace je vedle překonání klíčícího klidu (dormance) také prostředkem pro urychlení klíčení a zajišťuje větší uniformitu vzcházení (Šťastný a Hosnedl 2005). Semena prošlá chladovou stratifikací jsou schopna klíčit ve větším teplotním rozmezí (Adkins a kol. 1984).

Semena mnoha rodů potřebují k vyklíčení přijmout určité množství vody, nabobtnat a zmrznout, popřípadě i opakovaně. Teprve když se potom teplota prostředí přiblíží optimu, začínají klíčit. Bývá to vysvětlováno různými způsoby. Opětovným namrznutím může dojít k poškození osemení a zvýšení jeho propustnosti pro vodu a plyny. Osemení bývá u mnoha druhů tlusté, tvrdé, zdřevnatělé, nebo impregnované různými látkami, což brání proražení klíčku. V jiných případech mohou nízké teploty pomáhat odstraňovat působení chemických brzd, které brání vyklíčení semene, a to do doby, dokud nejsou tyto látky odplaveny nebo rozloženy. Tyto popsání blokace klíčení souvisí s procesem odbourání dormance semen (Šerá 2012).

Kyslík

S množstvím vody v substrátu může souviset nedostatek kyslíku (anoxie), který je pro mnohé druhy nezbytný pro spuštění metabolických procesů spojených s klíčením (Hosnedl a Honsova 2002). Vodní a bažinné druhy mohou vyklíčit bez přítomnosti kyslíku. Z plynů pozitivně ovlivňuje klíčivost vyšší koncentrace oxidu dusného, který pravděpodobně ruší některé druhy dormancí (Sarath a kol. 2006).

Světlo

Světlo působí na klíčení semen prostřednictvím fytochromového systému, a to v závislosti na vlnové délce dopadajícího světla. Nároky různých rodů a druhů se liší. Semena vyžadující světlo klíčí nejlépe při rozsahu vlnových délek od cca 500 do 700 nm (odpovídá zelenému až červenému spektru). Naopak semena některých druhů dopadlá pod koruny stromů jsou inhibována fotochromatickými receptory. O tom, jak fotony vyvolávají změny v hladinách hormonů ovlivňujících klíčení, píše např. Piskurewicz a kol. (2009). K druhům vyžadujícím světlo patří polní plevelé nebo lesní rostliny, včetně dřevin. Vysokohorské rostliny klíčí lépe při vyšším osvětlení. Zpravidla platí, že semena potřebující světlo mohou klíčit i za slabých, pro normální růst nedostačujících, světelných podmínek. To ovšem vylučuje následný zdravý růst semenáčků. Pokusy založené v takových podmínkách vedou ke zkreslení výsledků růstových parametrů semenáčků (např. poměr root:shoot, Šerá 2013). Většina semen ovšem vykazuje v zásadě klíčivost nezávislou na světle nebo na tmě.

2.2. Plazma

2.2.1. Co je to plazma?

Plazma bývá často označována jako čtvrté skupenství hmoty a doplňuje řadu pevná látka – kapalina – plyn. Při zvýšení hladiny energie látka přechází z pevného stavu do kapalného a poté do plynného, a v konečném důsledku přechází do ionizovaného stavu plynové plazmy (Misra a kol. 2016). Látka se tedy stane plazmatem v případě, dodáme-li další tepelnou energii plynu. Dojde nejprve k jeho částečné a později úplné ionizaci (Kulhánek 2011).

2.2.2. Vlastnosti plazmatu

V plazmatu se nacházejí volné nosiče náboje, čímž má toto skupenství zcela nové vlastnosti a jako jediné kolektivně reaguje na elektrická a magnetická pole a samo se vytváří. Plazma se svými vlastnostmi odlišuje od vlastností plynů a kapalin. Plazma se skládá z excitovaných atomů, molekul, iontů a radikálů, které koexistují s dalšími částicemi, včetně elektronů, pozitivních a negativních iontů a kvant elektromagnetického záření (UV fotony a viditelné světlo) (Velichko a kol. 2017).

Název plazma pro ionizovaný plyn byl poprvé použit v roce 1928, a to Irvingem Langmuirem (1881 – 1957). Tento stav látky mu chováním připomínal krevní plazmu.

Chápal ho jako oblast výboje plynu, která není ovlivněna stěnami nebo elektrodami a má tyto vlastnosti:

- v plazmatu se nacházejí volné nosiče elektrického náboje,
- plazma vykazuje kolektivní chování (tzn., že jako celek reaguje na elektrická a magnetická pole a také je vytváří),
- plazma je kvazineutrální (tzn., že v makroskopickém objemu je stejné množství kladných i záporných nábojů) (Kulhánek 2011).

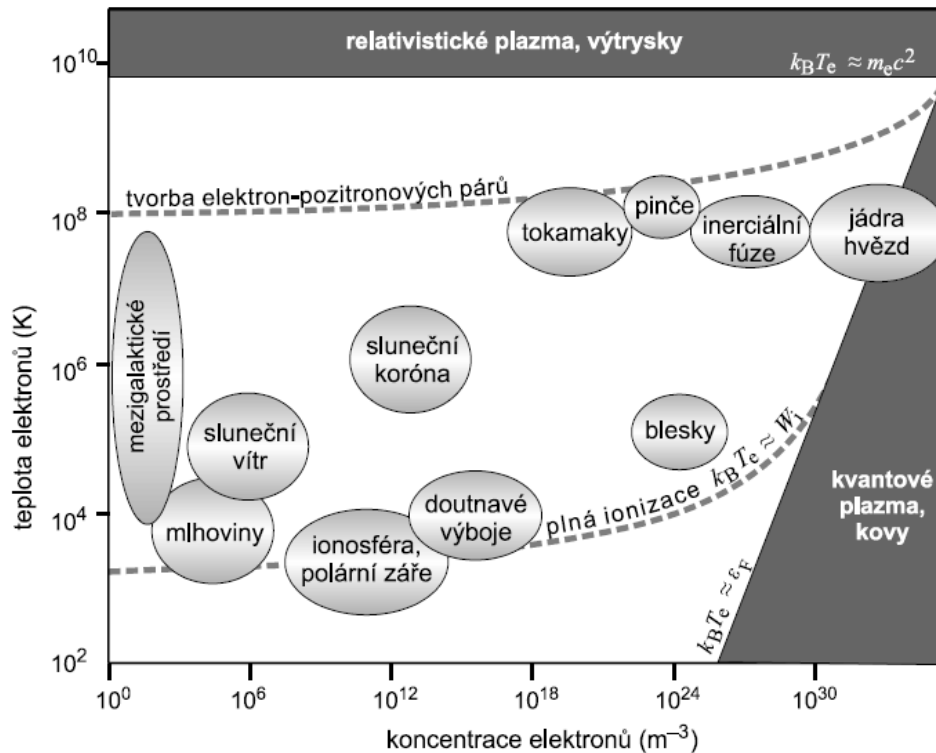
Pro plazma jsou charakteristické lineární a plošné útvary (vlákna a stěny), které jsou drženy vlastním magnetickým polem vznikajícím protékajícím proudem. Nabité částice mohou jednak rotovat kolem magnetických indukčních čar a jednak driftovat napříč magnetickému a nějakému dalšímu poli. V oblastech, kde se nachází intenzivnější magnetické pole, se tyto částice mohou odrážet a potom tento jev nazýváme magnetické zrcadlo. Plazma se také vyznačuje přítomností velkého množství módů různých nízkofrekvenčních a vysokofrekvenčních vln. Přítomnost plazmatu výrazně ovlivňuje šíření zvukových i elektromagnetických vln (Kulhánek 2011).

Pro termín plazma, jakožto čtvrtého skupenství, se používá střední rod. Při používání tohoto termínu však často dochází k omylu, kdy je termín zaměněn za plazmu (ženský rod), která je součástí krve (Kulhánek 2011).

2.2.3. Výskyt plazmatu

Uvádí se, že až 99 % přirozené hmoty se nachází ve formě plazmatu. Plazma je přítomno hlavně ve vesmíru, kde se nachází například ve formě slunečního větru, v magnetosférách komet a planet (Schmiedt 2006). Plazmatem jsou tvořeny i nitra a obálky hvězd, mlhoviny, výtrysky, naše Slunce i jeho rozsáhlá koróna. Na Zemi se s tímto skupenství setkáváme jen velmi zřídka. Přírodní plazma se nachází v kanálech blesků, kde má vysoký tlak a je lokalizováno v úzkém a ostře ohraničeném svítícím kanále. Dále se plazma nachází v polárních zářích, kde má naopak nízký tlak a jde o rozsáhlé plošné útvary s difúzním světlem (Kulhánek 2011).

Plazma se dělí z mnoha úhlů pohledu. Na níže přiloženém diagramu jsou znázorněny typické druhy plazmatu. Vodorovné ose přísluší koncentrace elektronů a na svislé ose je znázorněna teplota elektronů:



Obr. 1. Diagram znázorňující typické druhy plazmatu

Zdroj: Kulhánek (2011)

Diagram je vytvořen pro vodíkové plazma, ale pro jakékoli jiné plazma platí diagram velmi podobný. Svislá osa (teplotní) znázorňuje čtyři oblasti plazmatu. Při nejnižších teplotách je plazma ionizováno částečně. Od křivky, která je značena jako plná ionizace, je plazma ionizováno zcela. Při teplotě, která je vyšší než teplota plně ionizovaného plazmatu (cca 10^8 K), dochází k samovolné tvorbě elektronových - pozitronových párů. Teplota, která činí 6×10^9 K a výše znamená, že tepelná energie elektronů je vyšší než jejich klidová energie a plazma se považuje za relativistické (Kulhánek 2011).

2.2.4. Druhy plazmatu

Jak uvádí Kulhánek (2011), dalším možným rozdělením plazmatu je:

- plazma klasické – plazma kvantové,
- plazma se zamrzlým magnetickým polem – plazma s difundujícím polem,
- plazma rovnovážné – plazma nerovnovážné,
- plazma nízkoteplotní – plazma vysokoteplotní,
- plazma bezsrážkové – plazma srážkové,

- plazma ideální – plazma neideální,
- plazma prachové – plazma bez prachu.

Nyní blíže specifikujeme výše zmíněná plazmata, tak jak uvádí Kulhánek (2011).

Plazma klasické – plazma kvantové

Plazma klasické je popisováno Boltzmannovým zákonem. Počet elektronů na jeden stav je zanedbatelný a elektronový plyn vykazuje klasické chování. Pokud tomu tak není, používá se Fermiho-Diracovo rozdělení a elektronový plyn se chová kvantově. Takto je tomu v jádrech hvězd, v celém objemu bílého trpaslíka nebo v neutronové hvězdě (zde se nejedná o elektrony, ale o neutrony).

Plazma se zamrzlým magnetickým polem – plazma s difundujícím polem

Vlastností plazmatu je schopnost vést elektrický proud. Mnohdy je lepším vodičem než zlato nebo měď. Jeho vodivost závisí jen málo na koncentraci plazmatu. Ve výpočtech se plazma často nahrazuje nekonečně vodivou tekutinou. V takové limitě v plazmatu neprobíhají žádné difúzní procesy a magnetické pole je dokonale „vmrznuté“ do plazmatu (tzn., že sleduje všechny jeho pohyby). Jestliže je vodivost konečná, magnetické pole je částečně zamrzlé a částečně difunduje do okolí.

Plazma rovnovážné – plazma nerovnovážné

Teplota plazmatu je dána chaotickým pohybem jeho jednotlivých složek. Na vnější podněty nejprve reagují málo hmotné elektrony, elektronová tekutina se zahřeje a při srážkách pak svou tepelnou energii předává iontům. Může tedy nastat to, že elektrony mají odlišnou teplotu od iontů. Dojde-li k vyrovnání obou teplot a ustanou-li veškeré makroskopické toky, plazma je v termodynamické rovnováze. V opačném případě se jedná o nerovnovážné plazma.

Plazma nízkoteplotní – vysokoteplotní

V případě, že je přítomno magnetické pole, je zavedení teploty ještě složitější. Pohyby nabitých částic podél magnetických indukčních čar jsou jiné než napříč indukčním čarám a je tedy možné uvádět teploty dvě – podélnou a příčnou. Kromě dělení plazmatu na rovnovážné a nerovnovážné je možné plazma rozdělit na vysokoteplotní (fúzní) a nízkoteplotní, a to z hlediska dosažené teploty iontů. Nízkoteplotní plazma může být někdy definováno jako částečně ionizované plazma a vysokoteplotní jako plně ionizované plazma.

Nízkoteplotní plazma může být rozděleno na plazma kvazirovnovážné (obvykle 100 až 150°C) a nerovnovážné ($\leq 60^\circ\text{C}$). V nerovnovážném plazmatu dochází k tomu, že elektrony jsou ve srovnání s atomy a molekulami výrazně lehčí a výměna energie mezi elektrony a neutrálním plynem je velmi neefektivní. Z tohoto důvodu mohou být elektrony udržovány při ekvivalentních velmi vysokých teplotách, zatímco neutrální atomy zůstávají při okolní teplotě. Většina částic je tedy neutrálních (cca 300 K) a plyn zůstává na nízké teplotě. Proto se nerovnovážné plazma také nazývá nízkoteplotní (NTP, nebo netermální) nebo chladné (studené). Nízkoteplotní plazma může být vyráběno za atmosférického nebo sníženého tlaku (vakuum) (Velichko a kol. 2017).

Plazma bezsrážkové – srážkové

V neutrálním plynu jsou srážky charakterizované prudkou změnou směru pohybu, dráha atomů či molekul připomíná lomenou „cikcak“ čáru. V plně ionizovaném plazmatu jsou srážky dány Coulombovou interakcí (elektrickým přitahováním či odpuzováním) a částice jen zvolna mění směr. Střední volná dráha je chápána jako průměrná vzdálenost, na které se směr pohybu částice změní o 90° . V částečně ionizovaném plazmatu dochází k oběma druhům srážek – coulombickým mezi nabitými částicemi a „cikcak“ mezi nabitou a neutrální částicí nebo mezi dvěma neutrálními částicemi. Plazma bezsrážkové je takové plazma, u kterého je střední volná dráha mezi srážkami větší než rozměry plazmatu. V takovém případě částice buď neinteragují, nebo vzájemně interagují prostřednictvím kolektivních polí, která samy vytvářejí. V bezsrážkovém plazmatu může dojít snadno k vytvoření oblastí, které nejsou kvazineutrální.

Plazma ideální – plazma neideální

Pro posuzování vlastností plazmatu je důležitým parametrem Debyeova vzdálenost. Pokud se daná částice nachází ve vakuu, ubývá její potenciál se vzdáleností jako $1/r$. V případě, že se nabitá částice nachází v plazmatu, je částice stíněná a její elektrický potenciál ubývá jako $\exp(-r/\lambda_D)/r$. Do vzdálenosti λ_D od nabitě částice je ostatními částicemi vnímána jako částice, ve větších vzdálenostech je její potenciál odstíněn. Hovoříme o tzv. Debyeově sféře a klíčovým parametrem je počet částic v této sféře N_D . Je-li $N_D \gg 1$, dojde k vyrušení celkové průměrné síly od jednotlivých částic a převládnou kolektivní procesy nad srážkami. V takovém případě se jedná o tzv. ideální plazma, pro jehož všechny složky platí stavová rovnice ideálního plynu. Typické se jedná o horké (s vysokou vodivostí) nebo řídké plazma.

Plazma prachové – plazma bez prachu

S plazmatem obsahujícím prach se setkáváme například v astrofyzikálních aplikacích nebo v laboratorním plazmatu. Takové plazma má specifické vlastnosti, je třeba uvažovat nabíjení prachových zrn, ultranízko-frekvenční módy vln souvisící s pohyby prachových zrn, u rozsáhlých oblaků se neobejdeme zahrnutí gravitační interakce prachových zrn atd.

2.2.5. Vliv plazmového ošetření na povrch a povrchové vlastnosti semen

Plazmová úprava semen se v poslední době stala velmi populárním tématem. Za účelem snížení množství patogenů se používá ošetření osiv chladným plazmatem. Také může docházet k interakci plazmatu s osivem, a tím ke změně jeho povrchové vlastnosti například leptáním, zavedením funkčních skupin na povrch nebo deponováním různých materiálů na osiva. Úprava semen plazmatem se používá hlavně z důvodu mnoha výhod pro zemědělství, provozu při nízkých teplotách a krátké doby zpracování. Vliv plazmatu na povrch semen vede ke zlepšení klíčení a růstu plodin pomocí narušení či odstranění mikrobiálních vrstev, změny v příjmu vody a dalších vlastnostech (Velichko a kol. 2017).

2.2.6. Použití nízkoteplotního plazmatu

O použití nízkoteplotního plazmatu pojednává publikace (Velichko a kol. 2017), z které se vychází v této podkapitole.

Nízkoteplotní nebo-li netermální plazma je první typ plazmatu, které bylo použito k ošetření semen. Příkladem může být studie (Selcuk a kol. 2008), kdy byla zkoumána efektivita nízkotlaké studené plazmy za použití vzduchu a fluoridu sírového jako pracovního plynu, na dvě patogenní houby (*Aspergillus* a *Penicillium*) na povrchu osiva. V tomto pokusu bylo upraveno několik typů semen, včetně semen rajčat, pšenice, fazolí, hrachu, sójových bobů, ječmene, ovsa, žita, čočky a kukuřice. Dekontaminace byla provedena ve vakuové komoře v plazmovém výboji po dobu 300-1200 s (5-20 min). Pokus dokázal, že ošetření semen plazmatem způsobilo snížení prevalence houbových zárodků pod 1 %, a to bez vlivu na kvalitu a klíčení semen. Působení plazmatu a fluoridu sírového po dobu 900 s (15 min) způsobilo snížení počtu obou patogenních hub o 3 řády.

Dalším příkladem použití plazmatu je studie (Brasoveanu a kol. 2015, Ono a kol. 2016), kdy byly prezentovány výsledky inaktivace bakterií, mikroorganismů a patogenních hub na povrchu různých osiv, aniž by došlo ke snížení kvality klíčení semen. Semena ječmene a kukuřice byla podrobena působení studeného plazmatu při

tlaku 15 Pa ve vzduchu a při výkonu 100 W pro ječmen a 200 W pro kukuřici. Semena byla pod vlivem plazmatu po dobu 120-1200 s (2-20 min) (Brasoveanu a kol. 2015). Pro kontrolu houbové kontaminace semen byla použita standardní metoda klíčivosti podle ISTA. Semena byla naskládána do sterilních Petriho misek (10 semen na jednu misku) a inkubována při teplotě cca 22°C (12 hodin světlo/12 hodin tma po dobu 7 dnů). Poté byla semena testována na růst hub. Studie dokázala, že u semen ječmene ošetřených plazmatem po dobu 300 s (5 min), byl počet hub nepatrně ovlivněn, ale u semen ošetřených po dobu 600-1200 s (10-20 min) došlo k poklesu na 15-25 % z počátečního počtu hub. U semen kukuřice byl naopak prokázán pokles na cca 30 % z počátečního počtu již při 300 s (5 minutovém) ošetření plazmatem a na cca 40 % u semen ošetřených po dobu 600 s (10 min).

Při použití studené plazmy za atmosférického tlaku se uplatňuje několik typů výbojů. Příkladem takového výboje může být dielektrický bariérový výboj (DBD) a plazmový paprsek (plazma jet), které jsou předmětem stejného zájmu jako plazma nízkého tlaku. DBD má například velký vliv na inaktivaci povrchu semen (Butscher a kol. 2016). Při experimentech bylo prokázáno, že na redukci spor *Geobacillus stearothermophilus* má vliv právě plazmové ošetření, nikoli tepelné, mechanické nebo elektrické stresové faktory. U semen pšenice nebyly funkční vlastnosti plazmatem ovlivněny.

Mezi další způsoby úpravy semen patří použití plazmového paprsku při atmosférickém tlaku. Příkladem může být korónový plazmový paprsek, který je vyroben v atmosféře suchého vzduchu, k ošetření osiva řepky. Pokusem s použitím korónového plazmového paprsku se zabýval Puligundla a kol. (2017). V této práci byl prokázán pozitivní vliv na inaktivaci mikroorganismů na povrchu semen u *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* a *Salmonella*.

Použití plazmatu může také způsobovat změnu smáčivosti povrchu semen. Dobrin a kol. (2015) použil DBD plazma pro ošetření semen pšenice, u které změna smáčivosti vedla ke změně absorpci vody. Ošetřená semena pšenice vykazovala vyšší absorpci vody ve srovnání s kontrolními vzorky. Tento efekt může přispět ke zvýšení rychlosti klíčení semen.

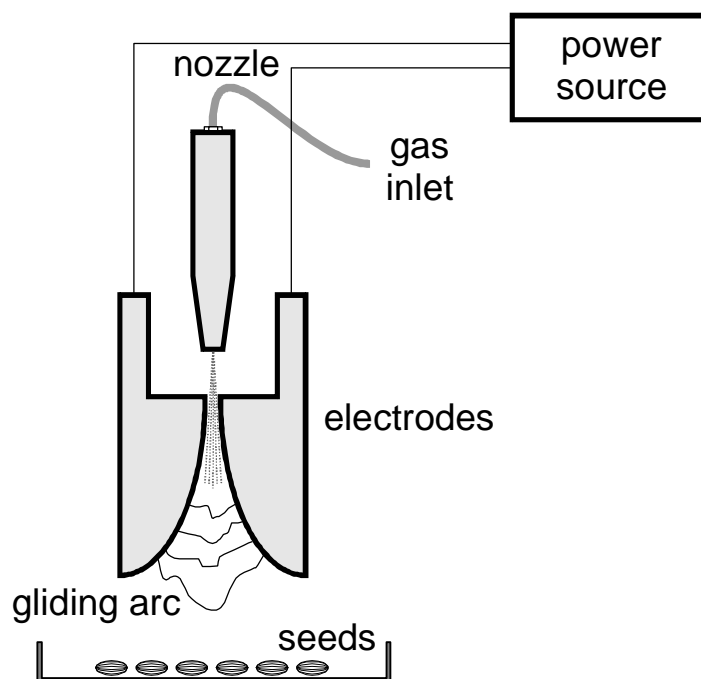
3. Metodika

3.1. Základní popis práce a použité osivo

Předmětem práce bylo sledovat klíčivost osiva kukuřice seté a řepky olejky, se kterými zároveň pracovala Tereza Landová, která zjišťovala charakteristiky počátečního růstu semenáčků. Předkládaná práce se specializovala na charakteristiky klíčení semen, a to na klíčivost semen, rychlost klíčení a energii klíčení. Pokusy byly zakládány dvakrát, a to v srpnu 2014 a v říjnu 2014, kdy se pracovalo s kukuřicí setou. S řepkou olejkou se pracovalo v květnu 2014 a v září 2014. Celý pokus probíhal v laboratořích na Pedagogické fakultě v Českých Budějovicích. Osivo řepky olejky a kukuřice seté bylo získáno od praktikujících zemědělců (Miloslava Škvorová z Bukové Lhoty, Jana Vomáčková ze Ševětína).

3.2. Ošetření plazmatem

Ošetření atmosférickým plazmatem bylo provedeno v reaktoru GlidArc. Dvě divergentní elektrody představovaly hlavní část zařízení. Hliníkové elektrody s tloušťkou 2 mm byly připojeny na silový konvertor napájený elektrickou sítí na 50 Hz přes nastavitelný transformátor. V provozu se výboj vznítí v oblasti, kde je vzdálenost mezi elektrodami minimální a pohybuje se podél okrajů elektrod, prodlužuje se a nakonec zhasne. Tento klouzavý pohyb je dosažen použitím toku plynu, plynoucího podél osy symetrie elektrody skrz trysku (hubici) s vnitřním průměrem 0,6 mm. Tok plynu pomáhá udržovat parametry v rámci limitu vhodného k ochlazení plazmy kvůli deionizačnímu jevu, zabraňuje přesunu výbojů až k režimu elektrického oblouku. Parametry výbojů jsou také udržovány ve specifickém pásmu studené plazmy kvůli speciálnímu zdroji napájení, který má rychle klesající výstupní charakteristiku. Tato vlastnost napomáhá udržet proud v obvodu na relativně nízkých hodnotách. Bližší popis aparatury je uveden v práci Gavril a kol. (2011).



Obr. 2. Schéma generovaného plazmatu a způsob umístění semen během ošetření.

Převzato z práce Šerá a kol. (2017).

Vysvětlivky: power source – zdroj napájení, nozzle – tryska, gas inlet - přívod vzduchu, electrodes – elektrody, gliding arc – výboj plazmatu GlidArc, seeds – semena.

Ošetřené vzorky byly umístěny pod elektrody ve vzdálenosti 250 mm tak, aby minimalizovaly tepelné efekty. Teplota v cílové oblasti nepřesáhla 50°C v nejdelším osvitu. Jako pracovní plyn byl použit vzduch. Průtok vzduchu byl 10 litrů za 60 s. Aktivní druhy vyprodukované výbojem byly převedeny k nechráněnému jádru skrz tok plynu, který zapálil výboj.

3.2.1. Ošetření řepky olejky plazmatem

Vzorek řepky olejky byl rozdělen na čtyři linie, které byly vystaveny působení plazmatu. Každá z těchto částí však byla oplazmována různě dlouhou dobou. První linie nebyla plazmování vystavena vůbec a sloužila jako kontrolní sada, a proto značena jako K. Druhá linie byla vystavena působení plazmatu 180 s a označena jako 2T, třetí linie 300 s a popisována jako 3T a čtvrtá linie byla pod vlivem plazmatu 600 s a označena tedy 4T. Každá z těchto sad byla testována pětkrát. Tzn., že pro kontrolní (K), 2T, 3T i 4T sadu bylo použito pět Petriho misek se vzorkem semen. Proces plazmování byl proveden v Rumunsku a to na Technické univerzitě v Iasi.

3.2.2. Ošetření kukuřice seté plazmatem

Podobně jako s řepkou olejkou byl proveden pokus s kukuřicí setou. Vzorek obilek byl též rozdělen na několik linií, ale tentokrát počet sad byl pět. První sada opět sloužila jako kontrolní a označena K. Následující sady byly vystaveny plazmování po dobu 60, 180, 300 a nakonec 600 s a značeny tedy jako 1T (60 s), 2T (180 s), 3T (300 s) a 4T (600 s). U pokusu s kukuřicí setou se však každá sada testovala osmkrát a použilo se tedy osm Petriho misek, na rozdíl od pokusu s řepkou olejkou, kde se u každé linie použilo misek pět.

3.3. Zakládání pokusů

3.3.1. Pokus s řepkou olejkou

Jak už bylo zmíněno, k pokusu byly použity Petriho misky o průměru 8,5 cm. V případě řepky olejky to bylo 5 misek na každou sadu, tzn. 20 misek celkem. Misky byly popsány lihovým fixem symboly, které značily, o jakou sadu se jedná. Tzn., pět misek kontrolní sady bylo popsáno jako K₁, K₂, K₃, K₄ a K₅. Misky pro sadu, která byla oplazmována 180 s, byly označeny jako 2T₁, 2T₂, 2T₃, 2T₄ a 2T₅ a stejně tak tomu bylo i u sad ošetřených plazmatem 300 s – 3T₁, 3T₂, 3T₃, 3T₄, 3T₅ a 600 s – 4T₁, 4T₂, 4T₃, 4T₄ a 4T₅. Poté byly do každé z Petriho misek na sebe vloženy čtyři filtrační papíry a zality 6 ml destilované vody. Nakonec do takto připravených misek byla poskládána semena řepky olejky v řadách pod sebou a to shora dolů: tři, pět, sedm, sedm, pět a tři semena. Na jednu misku se tedy použilo 30 semen a celkem se pro pokus použilo 600 semen řepky olejky. Semena byla rozmístěna ve vhodné vzdálenosti tak, aby se vzájemně nedotýkala. Petriho misky byly vloženy do krabice z kartonu, která byla umístěna v laboratoři tak, aby semena nebyla ovlivněna denním světlem. Pokus probíhal při teplotě cca 20°C. Po dobu jednoho týdne, každý den a přibližně ve stejnou dobu byly měřeny délky nadzemních částí a kořínků semen.

Pokus s řepkou olejkou byl proveden dvakrát. První pokus byl založen 12. 5. 2014 a ukončen po 7 dnech, tedy 19. 5. 2014. Druhý pokus byl započat 1. 9. 2014 a ukončen 8. 9. 2014. Na konci obou pokusů byla zjištěna hmotnost čerstvé a poté suché biomasy.

3.3.2. Pokus s kukuřicí setou

Při pokusu s kukuřicí setou byly opět použity Petriho misky a celkový pokus vypadal velmi podobně jako u řepky olejky. Petriho misky byly však skleněné a jejich průměr činil 9 cm. Bylo použito 8 misek na každou sadu, tzn. 40 misek celkem. Misky

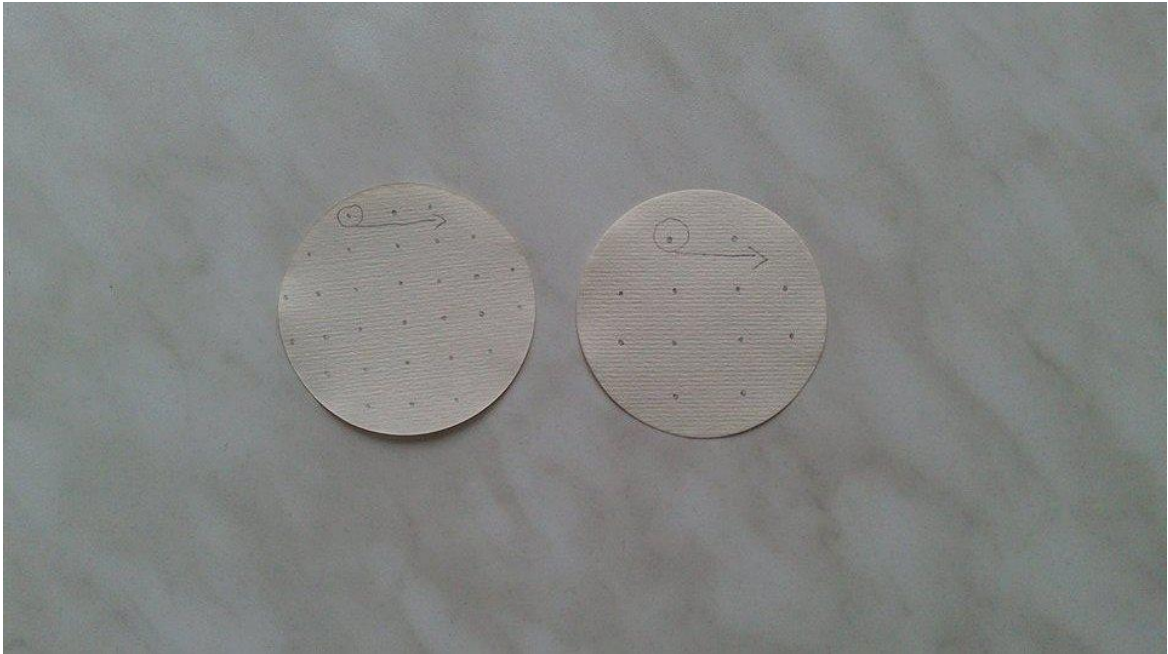
byly též popsány příslušnými symboly pro rozeznání jednotlivých sad. Osm misek kontrolní sady bylo tedy popsáno symboly K₁, K₂, K₃, K₄, K₅, K₆, K₇ a K₈. Misky s obilkami, které byly vystaveny působení plazmatu po dobu 60 s, byly značeny 1T₁, 1T₂, 1T₃, 1T₄, 1T₅, 1T₆, 1T₇ a 1T₈. Obdobně tomu bylo u sad dalších, které byly plazmovány 180 s – 2T₁, 2T₂, 2T₃, 2T₄, 2T₅, 2T₆, 2T₇, 2T₈, 300 s – 3T₁, 3T₂, 3T₃, 3T₄, 3T₅, 3T₆, 3T₇, 3T₈ a 600 s – 4T₁, 4T₂, 4T₃, 4T₄, 4T₅, 4T₆, 4T₇ a 4T₈. Do Petriho misek byl též vložen filtrační papír, ale tentokrát v počtu tři na každou misku a zalit 6 ml destilované vody. Poté došlo ke skládání obilek kukuřice seté do misek do řad pod sebou, a to shora dolů: dvě, čtyři, pět, čtyři a dvě obilky. To znamená, že jedna miska obsahovala 17 obilek. Celkem bylo tedy k pokusu zapotřebí 680 obilek kukuřice seté. Nakonec byly misky vloženy do kartonové krabice a umístěny v laboratoři tak, aby bylo zamezeno působení denního světla. Stejně jako u pokusu s řepkou olejkou po dobu sedmi dnů cca ve stejnou dobu byly zaznamenávány délky nadzemních a podzemních částí obilek.

Pokus s kukuřicí setou byl opět proveden dvakrát. Na rozdíl od pokusu s řepkou olejkou bylo u kukuřice seté cílem zjistit, zda se v klíčivosti liší obilky, které jsou namořené od obilek nenamořených. První pokus byl proveden s obilkami namořenými a to v týdnu od 8. 8. 2014 do 15. 8. 2014. Druhý pokus, u kterého byly zkoumány obilky nenamořené, byl započat 10. 10. 2014 a ukončen 17. 10. 2014. Nakonec stejně jako u řepky olejky byly zaznamenány hodnoty čerstvé a suché biomasy.

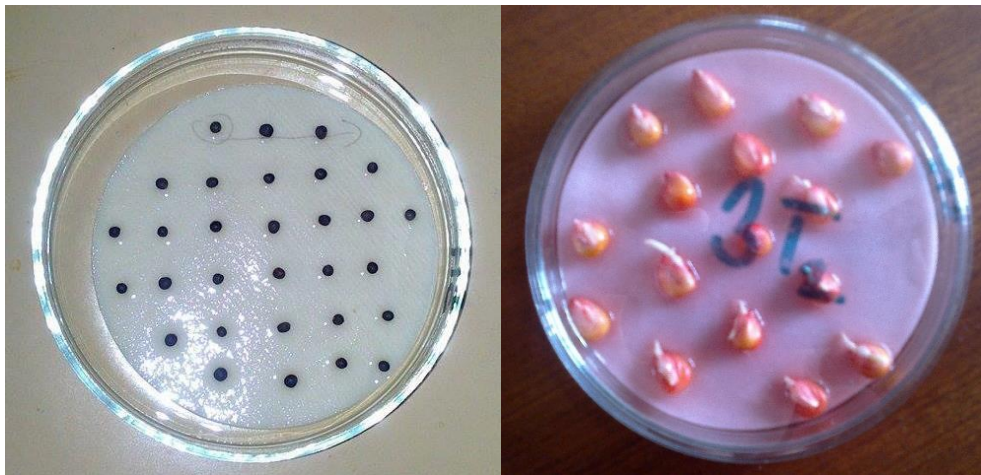
3.4. Zaznamenávání hodnot

Jak už bylo zmíněno, u semen řepky olejky a obilek kukuřice seté byly po dobu sedmi dnů přibližně ve stejný čas zaznamenávány délky nadzemních a podzemních částí a sledován počet klíčících semen a obilek. U obou druhů rostlin byl měřen nejdelší existující kořínek. K měření bylo použito papírové pravítko a příslušné hodnoty byly zaznamenávány do tabulky. Data byla zaznamenávána ode dne, kdy nadzemní část dosahovala délky alespoň 3 mm. Jelikož cílem předkládané práce bylo sledovat klíčivost semen, zaznamenané délky nadzemních a podzemních částí byly předmětem zájmu Terezy Landové, která se zajímala o růstové parametry řepky olejky a kukuřice seté.

3.5. Fotografie pořízené v laboratoři



Obr. 3: Vzor pro skládání semen na filtrační papír (vlevo řepka, vpravo kukuřice)



Obr. 4: Semena naskládaná v Petriho miskách (vlevo řepka, vpravo kukuřice)



Obr. 5: Běžící pokus v laboratoři (vlevo), naskládané Petriho misky v krabici (vpravo)

4. Výsledky

4.1. Metodika zpracování dat

Naměřená data byla zpracována následujícími statistickými metodami:

- určení odhadů základních popisných statistik: aritmetický průměr, směrodatná odchylka, medián, kvartilová odchylka,
- krabicové grafy,
- Shapiro-Wilkův test (test normality dat),
- jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA – Analasis of variance),
- Kruskal-Wallisův test (neparametrická verze jednofaktorové ANOVY),
- testy mnohonásobného porovnání.

Z naměřených údajů byly vypočteny z každé sady aritmetický průměr, směrodatná odchylka, popř. medián, kvartilová odchylka.

V dalším koku byly testovány následující hypotézy:

Hypotéza 1 (pro 2 období: květen, září)

H_0 : Klíčivost řepky olejky je u všech sad stejná (kontrolní sada, 2T, 3T, 4T)

proti

H_1 : negace H_0

Hypotéza 2 (pro 2 období: srpen, říjen)

H_0 : Klíčivost kukuřice seté je u všech sad stejná

(kontrolní sada, 1T, 2T, 3T, 4T)

proti

H_1 : negace H_0

Hypotéza 3 (pro 2 období: květen, září)

H_0 : Rychlost klíčení u řepky olejky je u všech sad stejná

(kontrolní sada, 2T, 3T, 4T)

proti

H_1 : negace H_0

Hypotéza 4 (pro 2 období: srpen, říjen)

H_0 : Rychlost klíčení kukuřice seté je u všech sad stejná
(kontrolní sada, 1T, 2T, 3T, 4T)

proti

H_1 : negace H_0

Hypotéza 5 (pro 2 období: květen, září)

H_0 : Energie klíčení u řepky olejky je i – tý den u všech sad stejná
(kontrolní sada, 2T, 3T, 4T)

proti

H_1 : negace H_0

kde $i = 1, 2, 3, 4, 5$.

Hypotéza 6 (pro 2 období: srpen, říjen)

H_0 : Energie klíčení u kukuřice seté je i – tý den u všech sad stejná
(kontrolní sada, 1T, 2T, 3T, 4T)

proti

H_1 : negace H_0 ,

kde $i = 3, 4, 5, 6$.

Pro ověření, resp. zamítnutí nulové hypotézy byla zvolena jednofaktorová ANOVA. V případě nesplnění předpokladů testu ANOVA (nezávislost dat, normalita dat, shodnost rozptylů) bylo testování provedeno Kruskal – Wallisovým testem. V případě zamítnutí nulové hypotézy bylo zjišťováno, jaké sady se od sebe liší. Za tímto účelem byl použit test mnohonásobného porovnání. Popis zmíněných statistických metod lze najít např. v publikaci Anděla (1985).

Data byla zpracována v software STATISTICA 12. Hladina významnosti byla zvolena $\alpha = 0,05$.

4.2. Klíčivost

4.2.1. Řepka olejka (květen, září)

V tabulkách 1 a 2 jsou uvedeny výsledky klíčivosti řepky olejky, které byly naměřeny v květnu a září 2014.

Tabulka 1: Klíčivost řepky olejky (květen 2014)

K1	90	2T1	73,33	3T1	86,66	4T1	96,66
K2	96,66	2T2	93,33	3T2	96,66	4T2	93,33
K3	93,33	2T3	83,33	3T3	93,33	4T3	100
K4	86,66	2T4	83,33	3T4	90	4T4	93,33
K5	93,33	2T5	93,33	3T5	90	4T5	93,33

Tabulka 2: Klíčivost řepky olejky (září 2014)

K1	93,33	2T1	100	3T1	100	4T1	90
K2	93,33	2T2	100	3T2	100	4T2	96,66
K3	96,66	2T3	96,66	3T3	90	4T3	96,66
K4	90	2T4	96,66	3T4	90	4T4	96,66
K5	90	2T5	96,66	3T5	96,66	4T5	93,33

V tabulce 3 lze nahlédnout na základní charakteristiky u řepky olejky pro časové období květen a září 2014. Sledovaným znakem je klíčivost řepky olejky.

Tabulka 3: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD), medián, kvartilová odchylka klíčivosti semen řepky olejky (květen, září 2014)

Řepka olejka – květen 2014			Řepka olejka – září 2014		
sada	Průměr/medián	SD/kvartilová odchylka	sada	Průměr/medián	SD/kvartilová odchylka
K	92,00/93,33	3,80/1,665	K	92,66/93,33	2,79/1,665
2T	85,33/83,33	8,37/5	2T	98,00/96,66	1,83/1,67
3T	91,33/90	3,80/1,665	3T	95,33/96,66	5,05/5
4T	95,33/93,33	2,98/1,665	4T	94,66/96,66	2,98/1,665

Zajímalo nás, zda oplazmování semen řepky olejky má vliv na její klíčivost.

Hypotéza 1 (květen, září)

H_0 : Průměrná klíčivost řepky olejky je u všech sad stejná (kontrolní sada, 2T, 3T, 4T)

proti

H_1 : negace H_0

Klíčivost květen: Pro ověření, resp. zamítnutí H_0 byla použita jednofaktorová ANOVA (splněn předpoklad normality dat, shodnosti rozptylu a nezávislosti). Vzhledem k tomu, že $p\text{-value} = 0,050973 > 0,05$, tak nebyl prokázán rozdíl v klíčivosti jednotlivých sad. Jinými slovy, neprokázalo se, že oplazmování má vliv na klíčivost řepky olejky. Nejnižší hladina pro zamítnutí hypotézy H_0 je 0,050973.

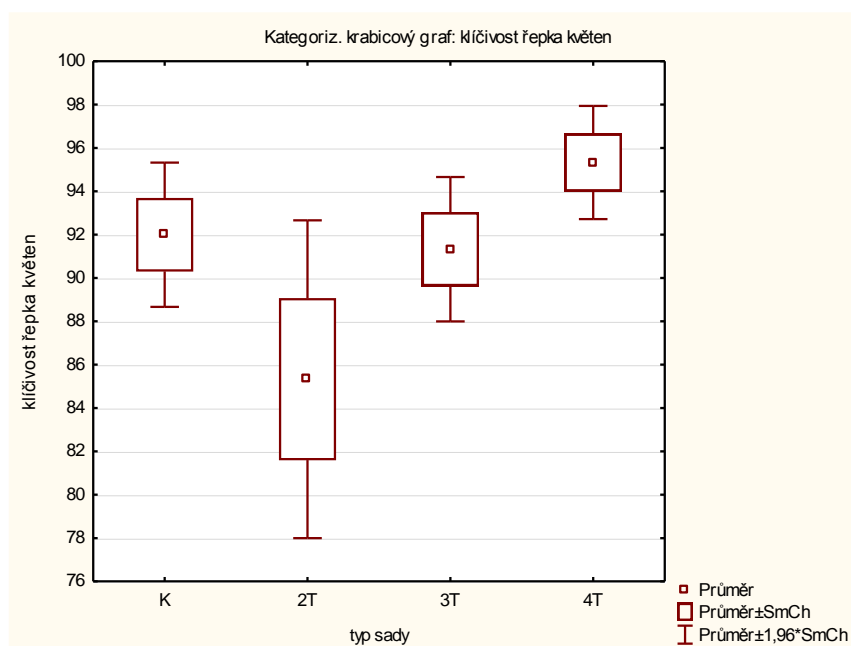
Klíčivost září: Pro ověření, resp. zamítnutí H_0 byl použit Kruskal-Wallisův test, neboť na základě Shapiro-Wilkova testu byla zamítnuta normalita dat. K normalitě dat nevedla ani transformace dat. $P\text{-value} = 0,1241 > 0,05$, to znamená, že nebyl prokázán

rozdíl v klíčivosti jednotlivých sad. Jinými slovy, nebylo prokázáno, že oplazmování má vliv na klíčivost řepky olejky. Nejnižší hladina pro zamítnutí hypotézy H_0 je 0,1241.

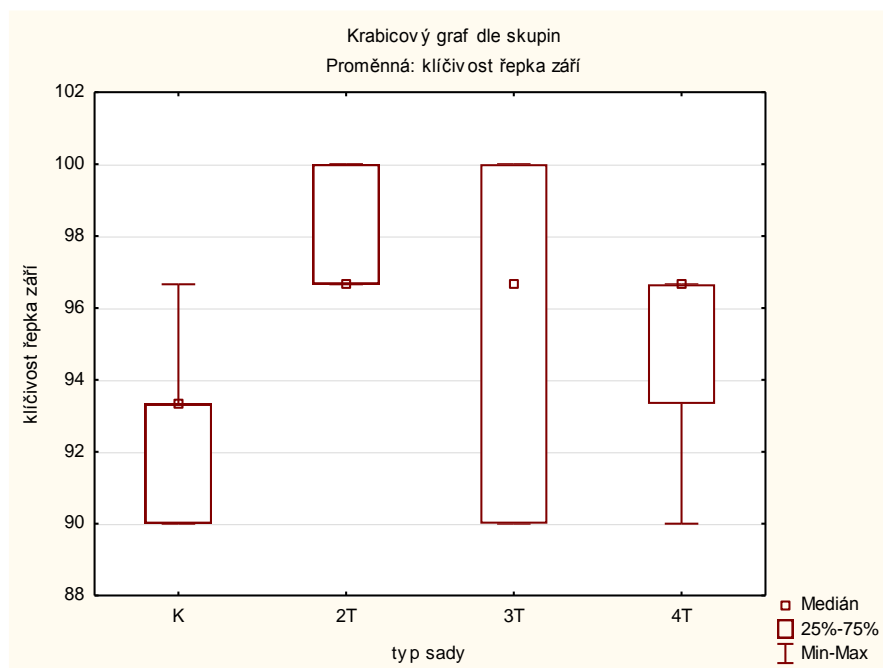
Na obr. 6 je zaznamenána průměrná hodnota a intervaly $(\bar{x} - SD, \bar{x} + SD)$, $(\bar{x} - 1,96 \cdot SD, \bar{x} + 1,96 \cdot SD)$ pro klíčivost řepky olejky u kontrolní sady, sady 2T, 3T a 4T (květen). I když po zhlédnutí obr. 6 můžeme konstatovat, že po oplazmování semen řepky olejky sada 2T vykazuje nižší klíčivost než sada kontrolní (klíčivost sady kontrolní a sad 3T, 4T je podobná), tak rozdíl není statisticky významný.

Na obr. 7 je znázorněn medián jednotlivých sad a kvartilové rozpětí pro klíčivost řepky olejky u kontrolní sady, sady 2T, 3T a 4T (září). Jako charakteristika polohy byl vzat medián a jako charakteristika rozptýlení kvartilová odchylka, a to z důvodu, že byla použita neparametrická verze jednofaktorové ANOVY (nesplnění normality dat).

Závěr: Nebylo prokázáno, že oplazmování semen řepky olejky (květen, září) mělo vliv na její klíčivost.



Obr. 6. Krabicový graf pro klíčivost řepky olejky (květen 2014) pro jednotlivé sady



Obr. 7. Krabicový graf pro klíčivost řepky olejky (září 2014) pro jednotlivé sady

4.2.2. Kukuřice setá (srpen, říjen)

V tabulkách 4 a 5 jsou uvedeny výsledky klíčivosti kukuřice seté, které byly naměřeny v srpnu a v říjnu 2014.

Tabulka 4: Klíčivost kukuřice seté (srpen 2014)

K1	88,24	1T1	100	2T1	88,24	3T1	100	4T1	100
K2	94,12	1T2	100	2T2	94,12	3T2	88,24	4T2	76,47
K3	100	1T3	88,24	2T3	100	3T3	100	4T3	94,12
K4	94,12	1T4	100	2T4	100	3T4	100	4T4	100
K5	88,24	1T5	100	2T5	94,12	3T5	100	4T5	88,24
K6	76,47	1T6	100	2T6	100	3T6	100	4T6	94,12
K7	88,24	1T7	100	2T7	94,12	3T7	100	4T7	88,24
K8	94,12	1T8	100	2T8	94,12	3T8	100	4T8	94,12

Tabulka 5: Klíčivost kukuřice seté (říjen 2014)

K1	100	1T1	100	2T1	88,24	3T1	100	4T1	94,12
K2	94,12	1T2	100	2T2	100	3T2	100	4T2	100
K3	94,12	1T3	88,24	2T3	100	3T3	100	4T3	100
K4	94,12	1T4	94,12	2T4	100	3T4	94,12	4T4	100
K5	100	1T5	94,12	2T5	100	3T5	94,12	4T5	100
K6	100	1T6	100	2T6	100	3T6	76,47	4T6	100
K7	88,24	1T7	88,24	2T7	100	3T7	100	4T7	94,12
K8	94,12	1T8	88,24	2T8	76,47	3T8	88,24	4T8	88,24

V tabulce 6 lze nahlédnout na základní charakteristiky u kukuřice seté pro časové období srpen a říjen 2014. Sledovaným znakem je klíčivost kukuřice seté.

Tabulka 6: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD), medián, kvartilová odchylka klíčivosti obilek kukuřice seté (srpen, říjen 2014)

Kukuřice setá – srpen 2014			Kukuřice setá - říjen 2014		
sada	Průměr/medián	SD/kvartilová odchylka	sada	Průměr/medián	SD/kvartilová odchylka
K	90,44/91,18	6,99/2,94	K	95,59/94,12	4,16/2,94
1T	98,53/100	4,16/0	1T	94,12/94,12	5,44/5,89
2T	95,59/94,12	4,16/2,94	2T	95,59/100	8,75/2,94
3T	98,53/100	4,16/0	3T	94,12/97,06	8,32/4,41
4T	91,91/94,12	7,66/4,41	4T	97,06/100	4,44/2,94

Zajímalo nás, zda oplazmování obilek kukuřice seté má vliv na její klíčivost.

Hypotéza 2 (srpen, říjen)

H_0 : Klíčivost kukuřice seté je u všech sad stejná

(kontrolní sada, 1T, 2T, 3T, 4T)

proti

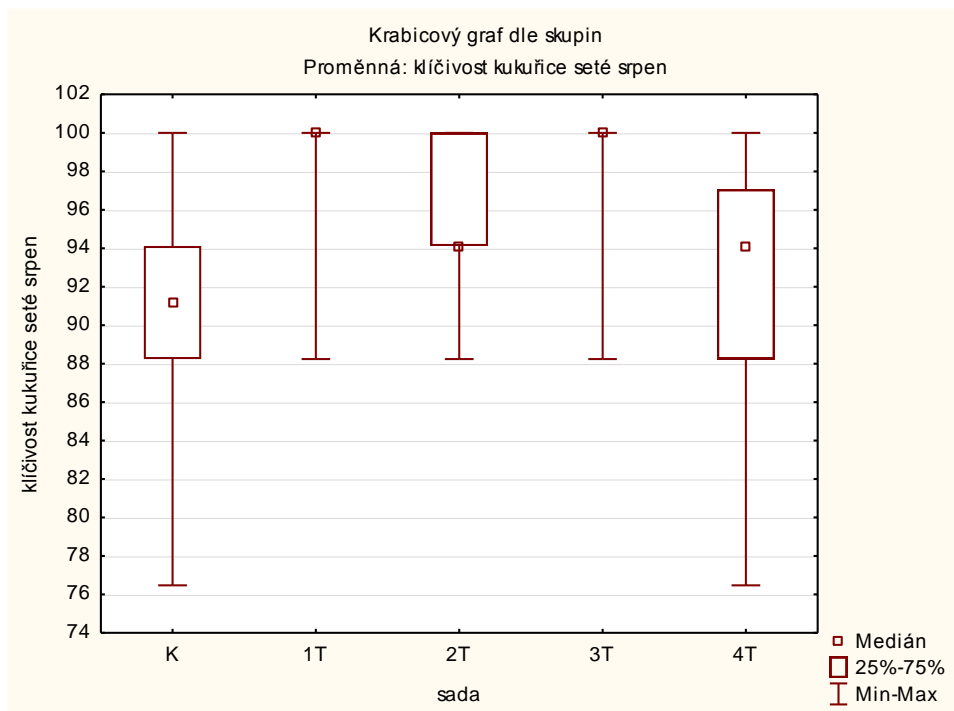
H_1 : negace H_0

Klíčivost srpen: Data nevykazovala normalitu (ověřeno - Shapiro-Wilkův test), tudíž byl použit neparametrický Kruskal- Wallisův test. Vzhledem k tomu, že $p\text{-value} = 0,0098 < 0,05$, tak byla zamítnuta nulová hypotéza. Bylo prokázáno, že oplazmování obilek kukuřice seté má vliv na její klíčivost. Zajímalo nás, jaké sady se od sebe lišily. Za tímto účelem byl proveden test mnohonásobného porovnání. Na základě tohoto testu se prokázal rozdíl dvojice sad K-1T a K-3T.

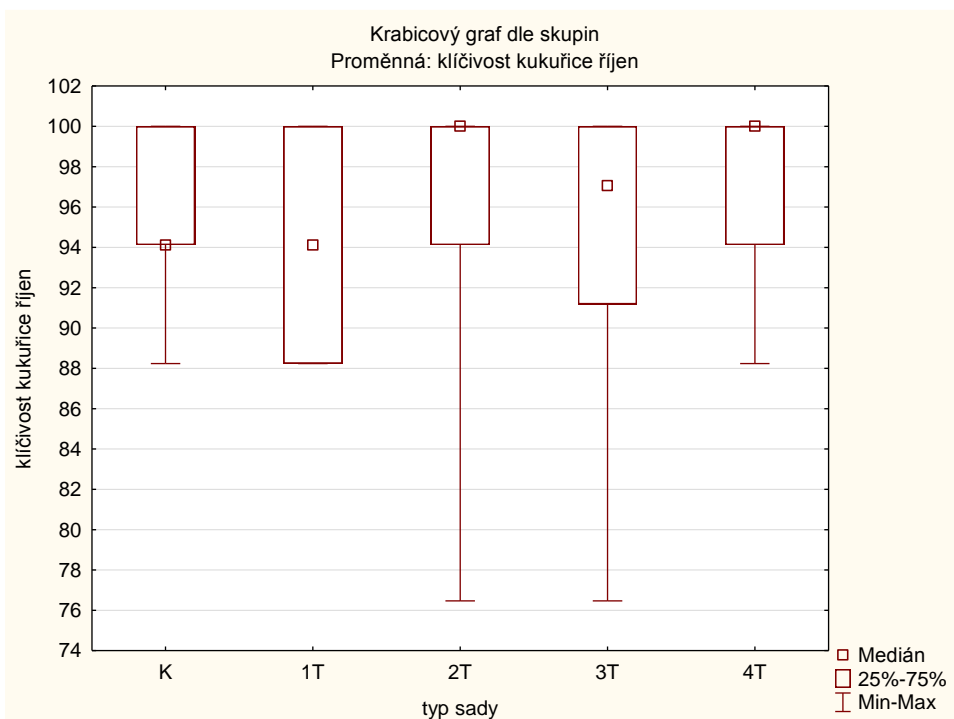
Klíčivost říjen: Data nevykazovala normalitu (ověřeno - Shapiro-Wilkův test), tudíž byl použit neparametrický Kruskal- Wallisův test. Vzhledem k tomu, že $p\text{-value} = 0,7250 > 0,05$, tak nebyla zamítnuta nulová hypotéza. Nebylo prokázáno, že oplazmování obilek kukuřice seté má vliv na její klíčivost.

Závěr: Bylo prokázáno, že oplazmování namořených obilek kukuřice seté má vliv na jejich klíčivost. Lišili se od sebe sady K – 1T a K – 3T. Pokud obilky nebyly namořené, tak se tento vliv neprokázal.

Na obr. 8 a 9 je znázorněn medián a kvartilové rozpětí jednotlivých sad pro období srpen, říjen.



Obr. 8. Krabicový graf pro klíčivost kukuřice seté (srpen 2014)



Obr. 9. Krabicový graf pro klíčivost kukuřice seté (říjen 2014)

4.3. Rychlost klíčení (v %)

4.3.1. Řepka olejka (květen, září)

V tabulkách 7 a 8 jsou uvedeny výsledky rychlosti klíčení řepky olejky, které byly naměřeny v květnu a září 2014.

Tabulka 7: Rychlost klíčení řepky olejky (květen 2014)

K1	3,7	2T1	13,64	3T1	19,23	4T1	17,24
K2	0	2T2	3,57	3T2	6,9	4T2	10,71
K3	14,29	2T3	24	3T3	17,86	4T3	13,33
K4	23,08	2T4	20,83	3T4	23,08	4T4	21,43
K5	10,7	2T5	19,23	3T5	19,23	4T5	25

Tabulka 8: Rychlost klíčení řepky olejky (září 2014)

K1	3,57	2T1	0	3T1	0	4T1	11,11
K2	0	2T2	0	3T2	6,66	4T2	6,89
K3	6,89	2T3	10,34	3T3	7,41	4T3	3,45
K4	3,70	2T4	10,34	3T4	14,81	4T4	3,45
K5	3,70	2T5	6,89	3T5	3,45	4T5	7,14

V tabulce 9 jsou uvedeny charakteristiky u řepky olejky pro časové období květen a září 2014. Sledovaným znakem je klíčivost řepky olejky.

Tabulka 9: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD), medián, kvartilová odchylka rychlosti klíčení řepky olejky (květen, září 2014)

Řepka olejka – květen 2014			Řepka olejka - září 2014		
sada	Průměr/medián	SD/kvartilová odchylka	sada	Průměr/medián	SD/kvartilová odchylka
K	10,35/10,7	9,07/5,29	K	3,57/3,7	2,44/0,65
2T	16,25/19,23	8,02/3,59	2T	5,51/6,89	5,23/5,17
3T	17,26/19,23	6,11/0,685	2T	6,47/6,66	5,51/1,98
4T	17,54/17,24	5,81/4,05	3T	6,41/6,89	3,18/1,84

Zajímalo nás, zda oplazmování semen řepky olejky má vliv na rychlost klíčení.

Hypotéza 3 (květen, září)

H_0 : Rychlost klíčení semen řepky olejky je u všech sad stejná (kontrolní sada, 2T, 3T, 4T)

proti

H_1 : negace H_0

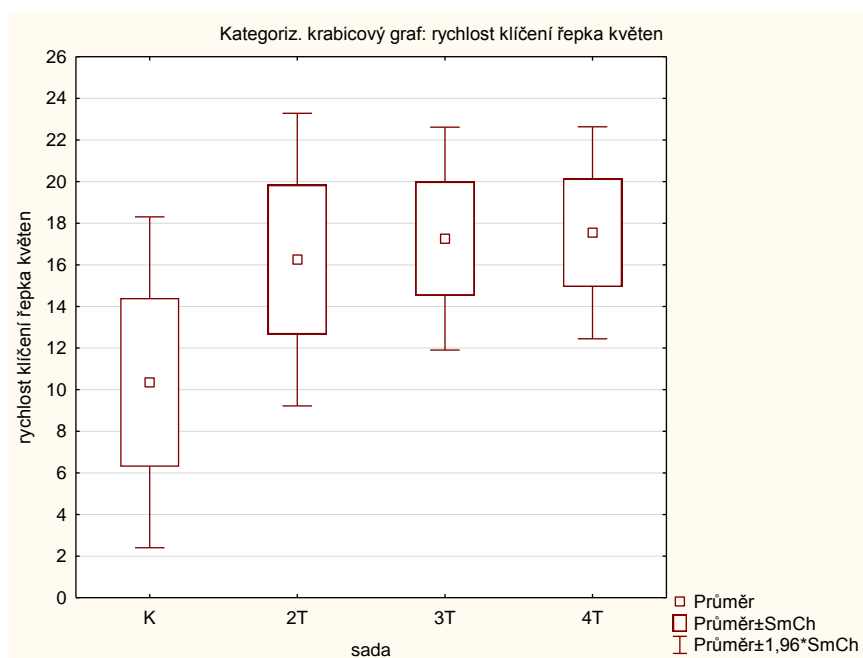
Rychlost klíčení květen: Pro ověření, resp. zamítnutí H_0 byla použita jednofaktorová ANOVA (splněn předpoklad normality dat, shodnosti rozptylu a nezávislosti). Vzhledem k tomu, že $p\text{-value} = 0,3984 > 0,05$, tak nebyl prokázán rozdíl

v rychlosti klíčení jednotlivých sad. Jinými slovy, nebylo prokázáno, že oplazmování má vliv na rychlost klíčení řepky olejky.

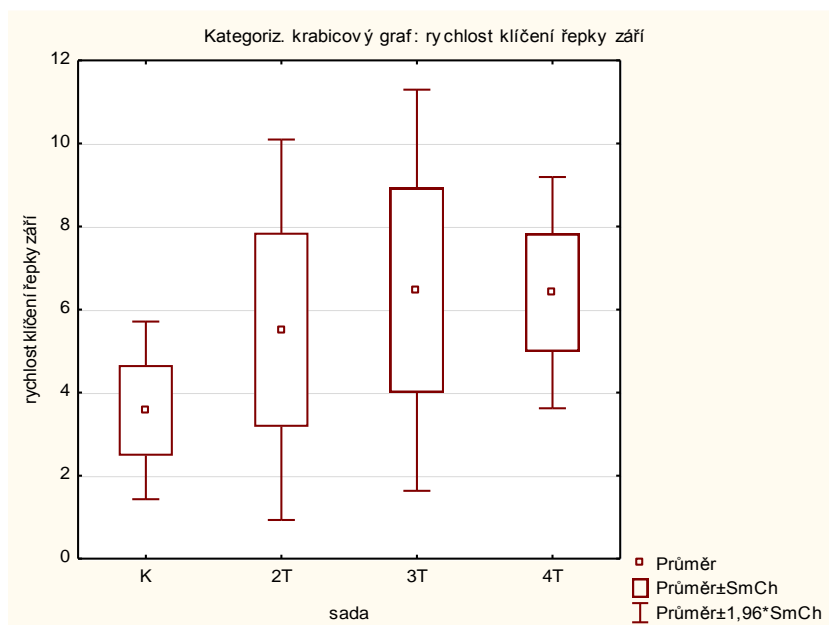
Rychlost klíčení září: Pro ověření, resp. zamítnutí H_0 byla použita opět jednofaktorová ANOVA (splněn předpoklad normality dat, shodnosti rozptylu a nezávislosti). Vzhledem k tomu, že $p\text{-value} = 0,690822 > 0,05$, tak nebyl prokázán rozdíl v rychlosti klíčení jednotlivých sad. Jinými slovy neprokázalo se, že oplazmování má vliv na rychlost klíčení řepky olejky.

Závěr: Nebylo prokázáno, že oplazmování semen řepky olejky v květnu a v září má vliv na rychlost klíčení.

Na obr. 10 a 11 je zaznamenána průměrná hodnota a intervaly ($\bar{x} - SD, \bar{x} + SD$), ($\bar{x} - 1,96 \cdot SD, \bar{x} + 1,96 \cdot SD$) pro klíčivost řepky olejky u kontrolní sady, sady 2T, 3T a 4T (květen, září). Po zhlédnutí obr. 10 a 11 lze vidět, že rychlost klíčení u kontrolní sady je pro obě období (květen, září) nižší než u oplazmovaných sad. Tento rozdíl ale není statisticky významný.



Obr. 10. Krabicový graf pro rychlost klíčení řepky olejky (květen 2014)



Obr. 11. Krabicový graf pro rychlost klíčení řepky olejky (září 2014)

4.3.2. Kukuřice setá (srpen, říjen)

V tabulkách 10 a 11 jsou uvedeny výsledky rychlosti klíčení kukuřice seté, které byly naměřeny v srpnu a říjnu 2014.

Tabulka 10: Rychlost klíčení kukuřice seté (srpen 2014)

K1	73,33	1T1	88,24	2T1	66,66	3T1	88,24	4T1	88,24
K2	75	1T2	82,35	2T2	87,5	3T2	66,66	4T2	100
K3	76,47	1T3	66,66	2T3	82,35	3T3	70,59	4T3	62,5
K4	87,5	1T4	94,12	2T4	88,24	3T4	94,12	4T4	88,24
K5	80	1T5	82,35	2T5	93,75	3T5	70,59	4T5	73,33
K6	100	1T6	88,24	2T6	52,94	3T6	76,47	4T6	68,75
K7	86,66	1T7	64,71	2T7	50	3T7	82,35	4T7	53,33
K8	81,25	1T8	82,35	2T8	81,25	3T8	76,47	4T8	100

Tabulka 11: Rychlost klíčení kukuřice seté (říjen 2014)

K1	100	1T1	94,12	2T1	100	3T1	88,24	4T1	75
K2	100	1T2	88,24	2T2	58,82	3T2	82,35	4T2	88,24
K3	100	1T3	93,33	2T3	82,35	3T3	64,71	4T3	82,35
K4	62,5	1T4	68,75	2T4	75	3T4	68,75	4T4	94,12
K5	82,35	1T5	75	2T5	76,47	3T5	81,25	4T5	88,24
K6	64,71	1T6	58,82	2T6	70,59	3T6	64,54	4T6	94,12
K7	53,33	1T7	66,66	2T7	76,47	3T7	76,47	4T7	87,5
K8	47,06	1T8	66,66	2T8	61,54	3T8	100	4T8	60

Tabulka 12 obsahuje základní charakteristiky rychlosti klíčení kukuřice seté: aritmetický průměr, medián, směrodatnou odchylku a kvartilovou odchylku.

Tabulka 12: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD), medián, kvartilová odchylka rychlosti klíčení kukuřice seté (srpen, říjen 2014)

Kukuřice setá – srpen 2014			Kukuřice setá – říjen 2014		
sada	Průměr/medián	SD/kvartilová odchylka	sada	Průměr/medián	SD/kvartilová odchylka
K	82,53/80,63	8,73/5,67	K	76,24/73,53	22,13/21,04
1T	81,13/82,35	10,37/6,87	1T	76,45/71,875	13,63/12,63
2T	75,34/81,8	16,72/14,04	2T	75,16/75,74	12,79/6,67
3T	78,19/76,47	9,46/7,35	3T	78,29/78,86	12,33/9,28
4T	79,30/80,79	17,40/14,25	4T	83,70/87,87	11,41/6,25

Hypotéza 4 (pro 2 období: srpen, říjen)

H_0 : Rychlost klíčení kukuřice seté je u všech sad stejná
(kontrolní sada, 1T, 2T, 3T, 4T)

proti

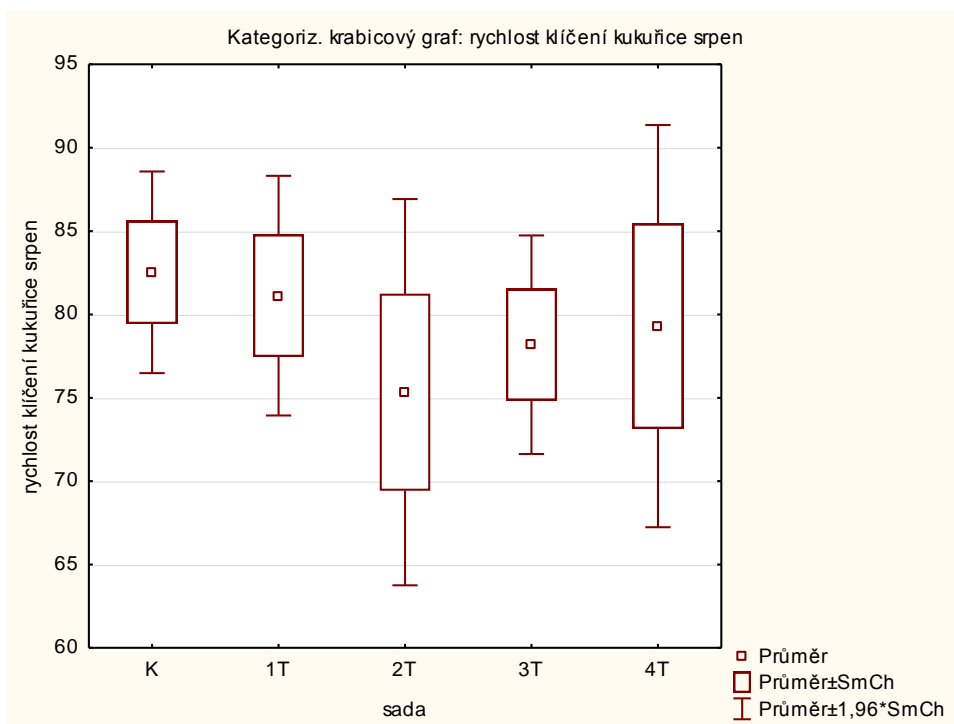
H_1 : negace H_0

Rychlost klíčení srpen: Data splňovala předpoklady jednofaktorové ANOVY. P-value = 0,836167 > 0,05, to znamená, že nulovou hypotézu nezamítneme. Neprokázalo se, že oplazmování namořené kukuřice seté mělo vliv na rychlost klíčení.

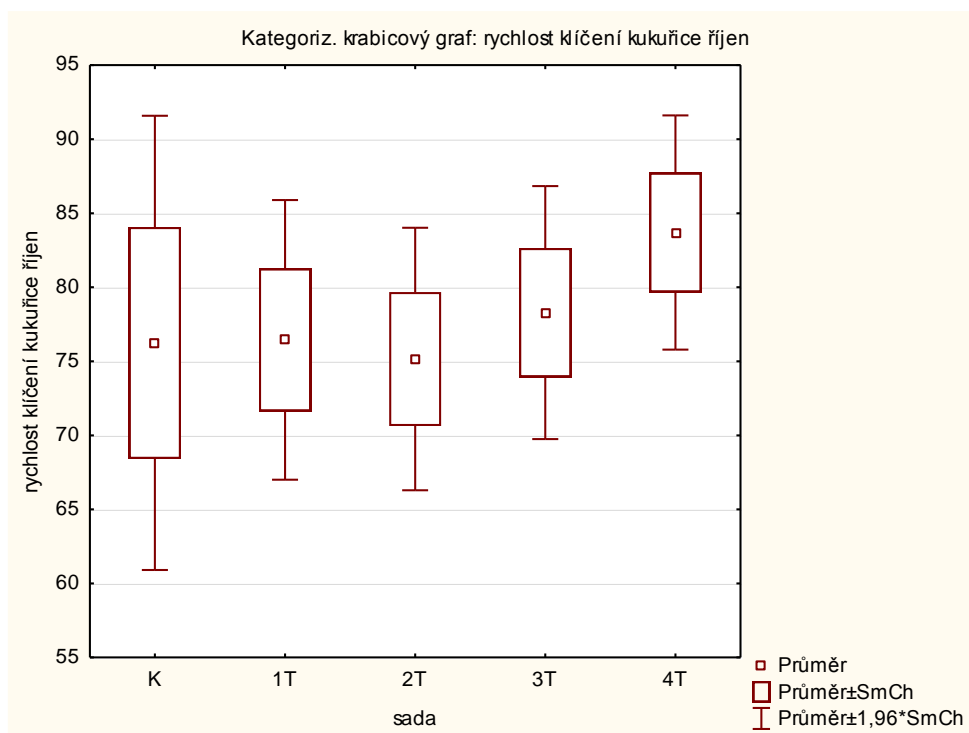
Rychlost klíčení říjen: Data splňovala předpoklady jednofaktorové ANOVY. P-value = 0,799337 > 0,05, to znamená, že nulovou hypotézu nezamítneme. Neprokázalo se, že oplazmování nenamořené kukuřice seté mělo vliv na rychlost klíčení.

Po zhlédnutí obr. 12 lze vidět, že oplazmování namořených obilek kukuřice seté vedlo ke snížení rychlosti klíčivosti. Toto snížení ale nebylo statisticky významné.

Závěr: Neprokázalo se, že oplazmování obilek kukuřice seté má vliv na rychlost klíčení.



Obr. 12. Krabicový graf pro rychlost klíčení kukuřice seté (srpen 2014)



Obr. 13. Krabicový graf pro rychlost klíčení kukuřice seté (říjen 2014)

4.4. Energie klíčení

4.4.1. Řepka olejka (květen, září)

Hypotéza 5 (pro 2 období: květen, září)

H_0 : Energie klíčení u řepky olejky je i – tý den u všech sad stejná
(kontrolní sada, 2T, 3T, 4T)

proti

H_1 : negace H_0

kde $i = 1, 2, 3, 4, 5$.

4.4.1.1. Řepka olejka květen 2014

V tabulkách 13 a 17 jsou uvedeny výsledky energie klíčení řepky olejky 1. den až 5. den (květen).

Tabulka 13: Energie klíčení – řepka olejka, 1. den (květen 2014)

K1	3,33	2T1	10	3T1	16,66	4T1	16,66
K2	0	2T2	3,33	3T2	6,66	4T2	10
K3	13,33	2T3	16,66	3T3	16,66	4T3	13,33
K4	20	2T4	16,66	3T4	20	4T4	20
K5	10	2T5	16,66	3T5	16,66	4T5	23,33

Tabulka 14: Energie klíčení – řepka olejka, 2. den (květen 2014)

K1	80	2T1	83,33	3T1	76,66	4T1	76,66
K2	76,66	2T2	86,66	3T2	86,66	4T2	83,33
K3	90	2T3	80	3T3	83,33	4T3	93,33
K4	80	2T4	90	3T4	80	4T4	80
K5	86,66	2T5	73,33	3T5	80	4T5	86,66

Tabulka 15: Energie klíčení – řepka olejka, 3. den (květen 2014)

K1	80	2T1	86,66	3T1	76,66	4T1	80
K2	86,66	2T2	90	3T2	90	4T2	90
K3	93,33	2T3	76,66	3T3	83,33	4T3	93,33
K4	76,66	2T4	86,66	3T4	83,33	4T4	90
K5	86,66	2T5	83,33	3T5	86,66	4T5	90

Tabulka 16: Energie klíčení – řepka olejka, 4. den (květen 2014)

K1	83,33	2T1	86,66	3T1	83,33	4T1	86,66
K2	86,66	2T2	90	3T2	90	4T2	90
K3	96,66	2T3	86,66	3T3	90	4T3	100
K4	83,33	2T4	90	3T4	86,66	4T4	96,66
K5	90	2T5	93,33	3T5	90	4T5	93,33

Tabulka 17: Energie klíčení – řepka olejka, 5. den (květen 2014)

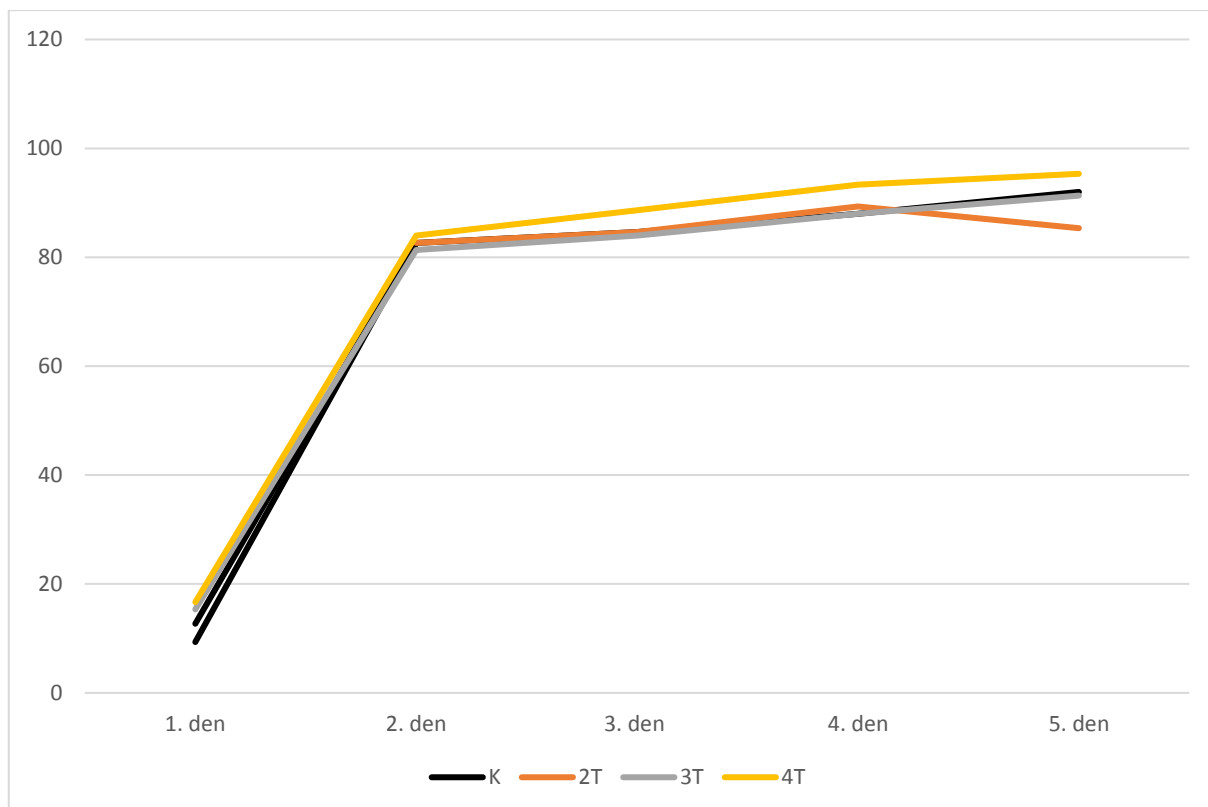
K1	90	2T1	73,33	3T1	86,66	4T1	96,66
K2	96,66	2T2	93,33	3T2	96,66	4T2	93,33
K3	93,33	2T3	83,33	3T3	93,33	4T3	100
K4	86,66	2T4	83,33	3T4	90	4T4	93,33
K5	93,33	2T5	93,33	3T5	90	4T5	93,33

Tabulka 18 obsahuje základní charakteristiky energie klíčení řepky olejky 1. den až 5. den.

Na obr. 14 můžeme vidět vývoj energie klíčení semen řepky olejky v průběhu 1. až 5. dne. Každý den je zastoupený průměrnou hodnotou. Průměrná hodnota sady 4T se po 2. dnu odchyloje od ostatních sad. Tento rozdíl ale není statisticky významný (viz testy níže).

Tabulka 18: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD) energie klíčení semen řepky olejky (květen 2014)

sada	1. den		2. den		3. den	
	průměr	směrodatná odchylka	průměr	směrodatná odchylka	průměr	směrodatná odchylka
K	9,33	7,96	82,66	5,48	84,66	6,5
2T	12,66	5,96	82,66	6,41	84,66	5,06
3T	15,33	5,06	81,33	3,8	84	4,95
4T	16,66	5,27	84	6,41	88,67	5,05
sada	4. den		5. den			
	průměr	směrodatná odchylka	průměr	směrodatná odchylka		
K	88	5,58	92	3,8		
2T	89,33	2,79	85,33	8,37		
3T	88	2,98	91,33	3,8		
4T	93,33	5,27	95,33	2,98		



Obr. 14. Vývoj energie klíčení semen řepky olejky v průběhu 1. až 5. dne (květen 2014)

kde $i = 1, 2, 3, 4, 5$.

K ověření, resp. zamítnutí nulové hypotézy byla použita jednofaktorová ANOVA (předpoklady testu byly splněny):

Energie klíčení 1. den: p-value = 0,285849 > 0,05

Energie klíčení 2. den: p-value = 0,903662 > 0,05

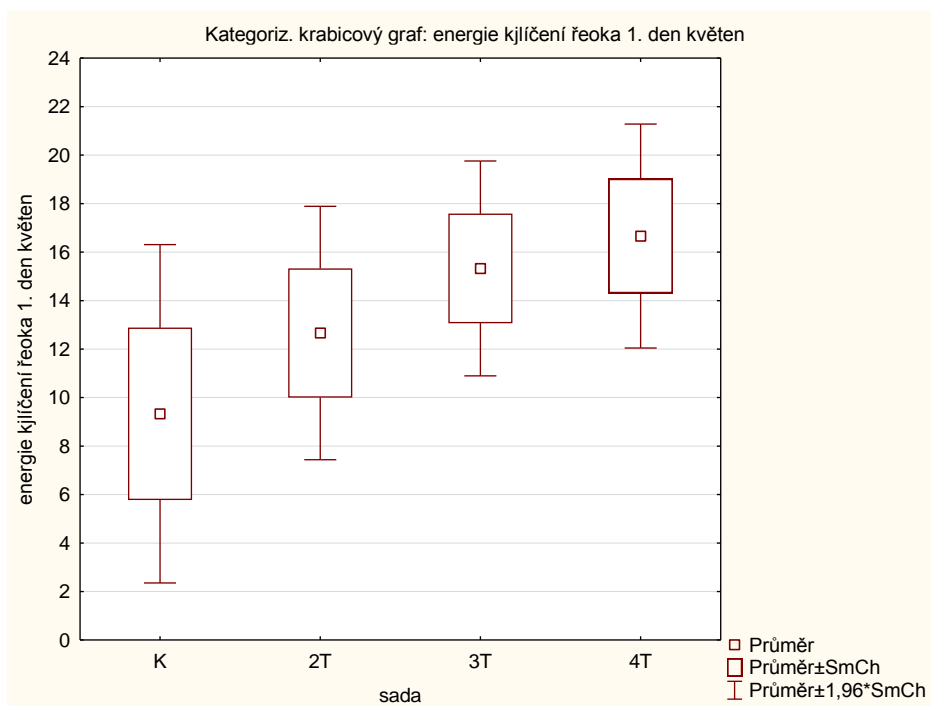
Energie klíčení 3. den: p-value = 0,524987 > 0,05

Energie klíčení 4. den: p-value = 0,210101 > 0,05

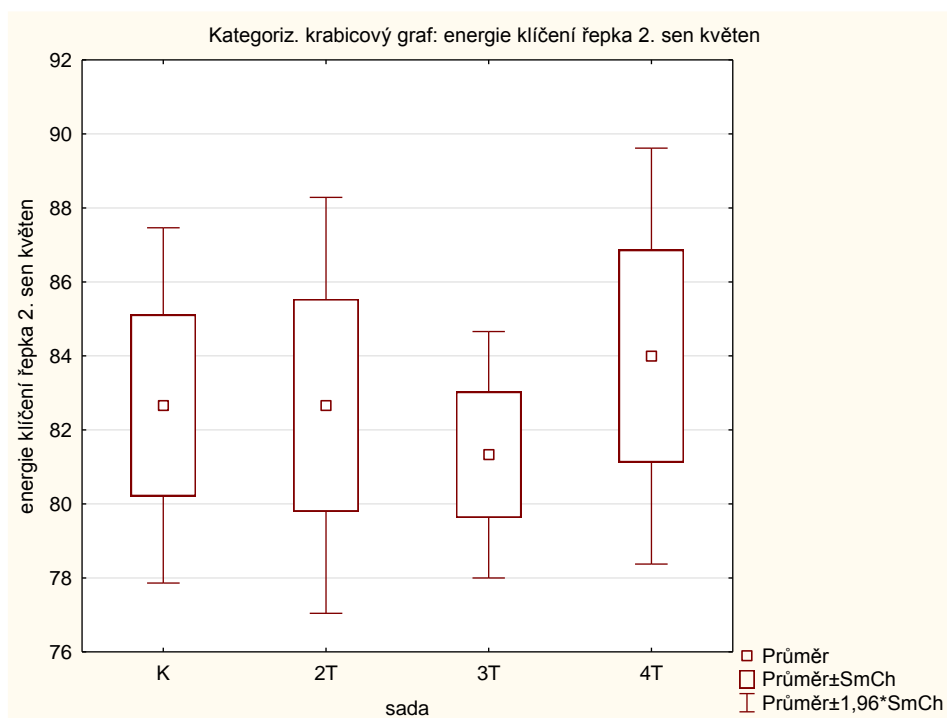
Energie klíčení 5. den: p-value = 0,050973 > 0,05.

Závěr: Nebylo prokázáno, že oplazmování semen řepky olejky (květen 2014) mělo vliv na energii klíčení v daném čase (1. den, 2. den, 3. den, 4. den, 5. den).

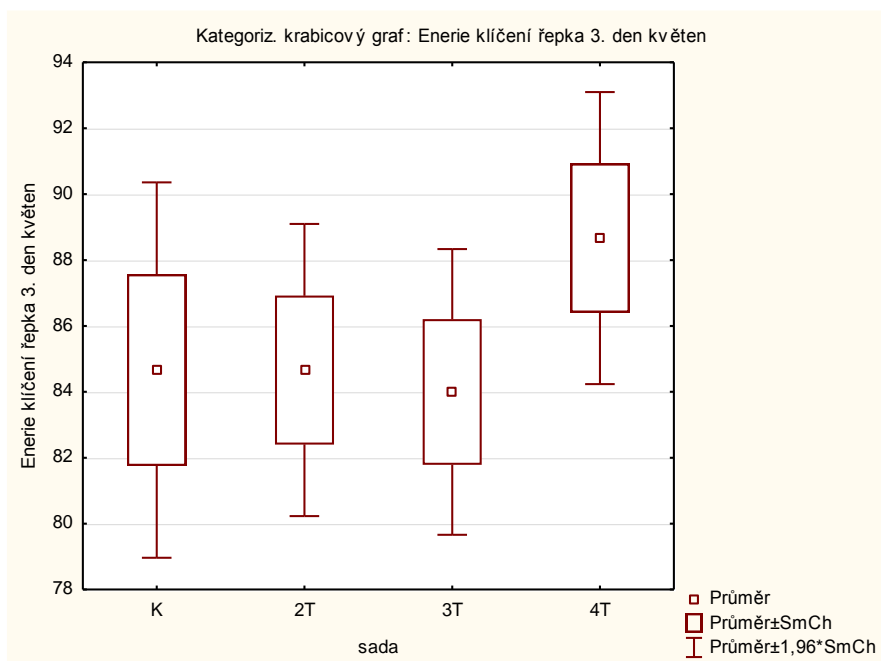
Na obr. 15 až 19 je zaznamenána průměrná hodnota a intervaly ($\bar{x} - SD, \bar{x} + SD$), ($\bar{x} - 1,96 \cdot SD, \bar{x} + 1,96 \cdot SD$) pro energii klíčení řepky olejky u kontrolní sady, sady 2T, 3T a 4T (květen) v jednotlivých časech.



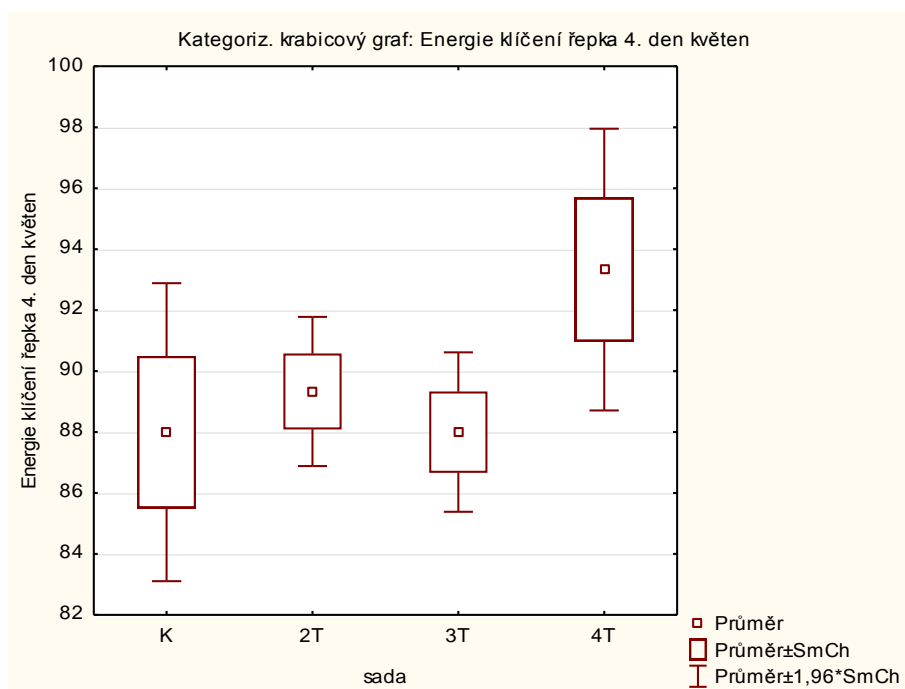
Obr. 15. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 1. den (květen 2014)



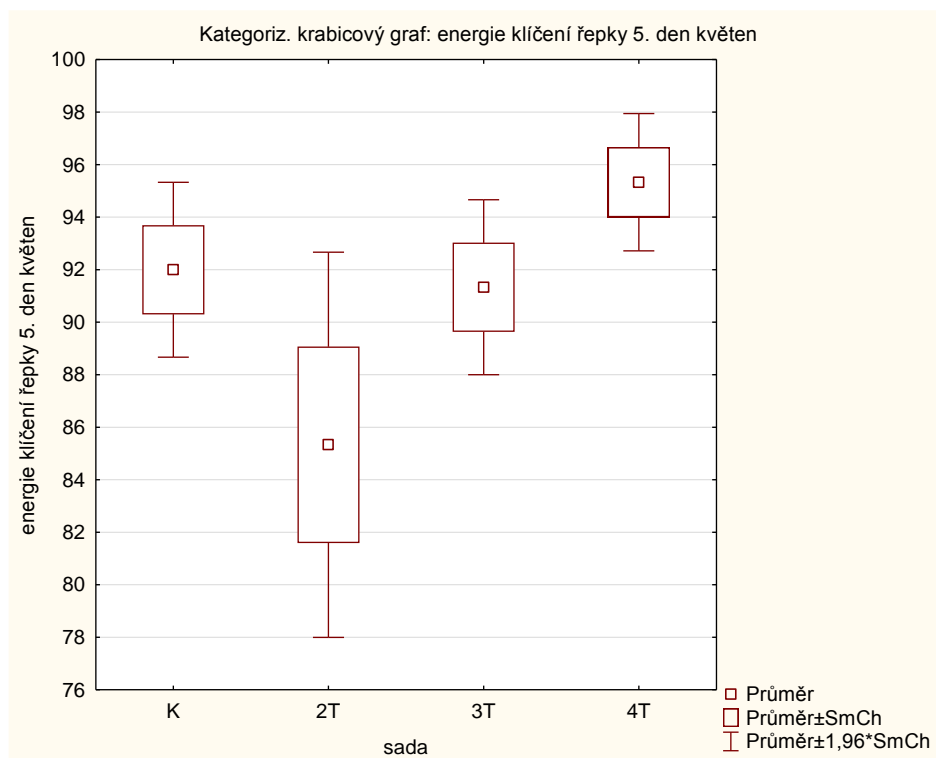
Obr. 16. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 2. den (květen 2014)



Obr. 17. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 3. den (květen 2014)



Obr. 18. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 4. den (květen 2014)



Obr. 19. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 5. den (květen 2014)

4.4.1.2. Řepka olejka září 2014

V tabulkách 19 až 23 jsou uvedeny výsledky energie klíčení řepky olejky 1. den až 5. den (září).

Tabulka 19: Energie klíčení – řepka olejka, 1. den (září 2014)

K1	3,33	2T1	0	3T1	0	4T1	10
K2	0	2T2	0	3T2	6,66	4T2	6,66
K3	6,66	2T3	10	3T3	6,66	4T3	3,33
K4	3,33	2T4	10	3T4	13,33	4T4	3,33
K5	3,33	2T5	6,66	3T5	3,33	4T5	6,66

Tabulka 20: Energie klíčení – řepka olejka, 2. den (září 2014)

K1	73,33	2T1	83,33	3T1	83,33	4T1	83,33
K2	83,33	2T2	90	3T2	93,33	4T2	93,33
K3	90	2T3	90	3T3	73,33	4T3	90
K4	73,33	2T4	96,66	3T4	70	4T4	90
K5	80	2T5	93,33	3T5	83,33	4T5	83,33

Tabulka 21: Energie klíčení – řepka olejka, 3. den (září 2014)

K1	83,33	2T1	93,33	3T1	83,33	4T1	86,66
K2	86,66	2T2	93,33	3T2	100	4T2	96,66
K3	93,33	2T3	96,66	3T3	80	4T3	93,33
K4	86,66	2T4	96,66	3T4	76,66	4T4	90
K5	86,66	2T5	96,66	3T5	90	4T5	90

Tabulka 22: Energie klíčení – řepka olejka, 4. den (září 2014)

K1	90	2T1	96,66	3T1	93,33	4T1	90
K2	86,66	2T2	96,66	3T2	100	4T2	96,66
K3	93,33	2T3	93,33	3T3	86,66	4T3	96,66
K4	90	2T4	100	3T4	86,66	4T4	90
K5	90	2T5	96,66	3T5	96,66	4T5	90

Tabulka 23: Energie klíčení – řepka olejka, 5. den (září 2014)

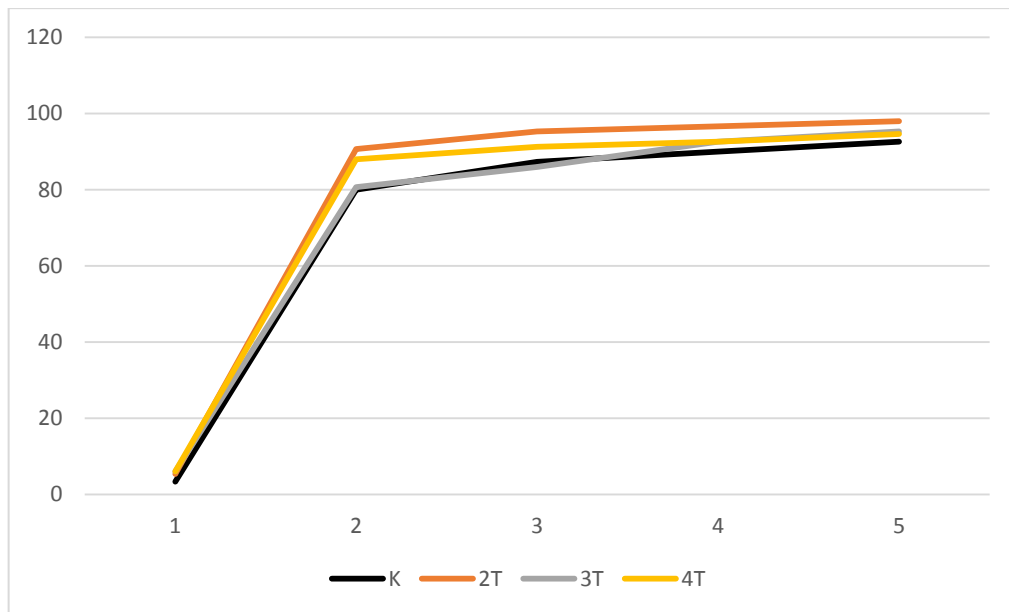
K1	93,33	2T1	100	3T1	100	4T1	90
K2	93,33	2T2	100	3T2	100	4T2	96,66
K3	96,66	2T3	96,66	3T3	90	4T3	96,66
K4	90	2T4	96,66	3T4	90	4T4	96,66
K5	90	2T5	96,66	3T5	96,66	4T5	93,33

Tabulka 24 obsahuje základní charakteristiky energie klíčení řepky olejky v daných časech.

Tabulka 24: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD) energie klíčení semen řepky olejky (září 2014)

sada	1. den		2. den		3. den	
	průměr	směrodatná odchylka	průměr	směrodatná odchylka	průměr	směrodatná odchylka
K	3,33	2,35	80	7,07	87,33	3,65
2T	5,33	5,05	90,66	4,94	95,33	1,82
3T	6	4,94	80,66	9,25	86	9,25
4T	6	2,79	88	4,47	91,33	3,8
sada	4. den		5. den			
	průměr	směrodatná odchylka	průměr	směrodatná odchylka		
K	90	2,36	92,66	2,79		
2T	96,66	2,36	98	1,83		
3T	92,66	5,96	95,33	5,05		
4T	92,66	3,65	94,66	2,98		

Obr. 20. znázorňuje vývoj průměrných hodnot energie klíčení řepky olejky 1. den až 5. den. Největší odchýlení je vidět u sady 2T. Statistické testy neprokázali, že by toto odchýlení bylo statisticky významné.



Obr. 20. Vývoj energie klíčení semen řepky olejky v průběhu 1. až 5. dne (září 2014)

K ověření, resp. zamítnutí nulové hypotézy byla použita v případě energie klíčení 1. den a energie klíčení 2. den jednofaktorová ANOVA (předpoklady testu byly splněny). V případě energie klíčení 3. den, 4. den a 5. den byl použit Kruskal – Wallisův test (porušení normality dat – normalita dat nevyšla ani po transformaci dat):

Energie klíčení 1. den: p-value = 0,685631 > 0,05

Energie klíčení 2. den: p-value = 0,054461 > 0,05

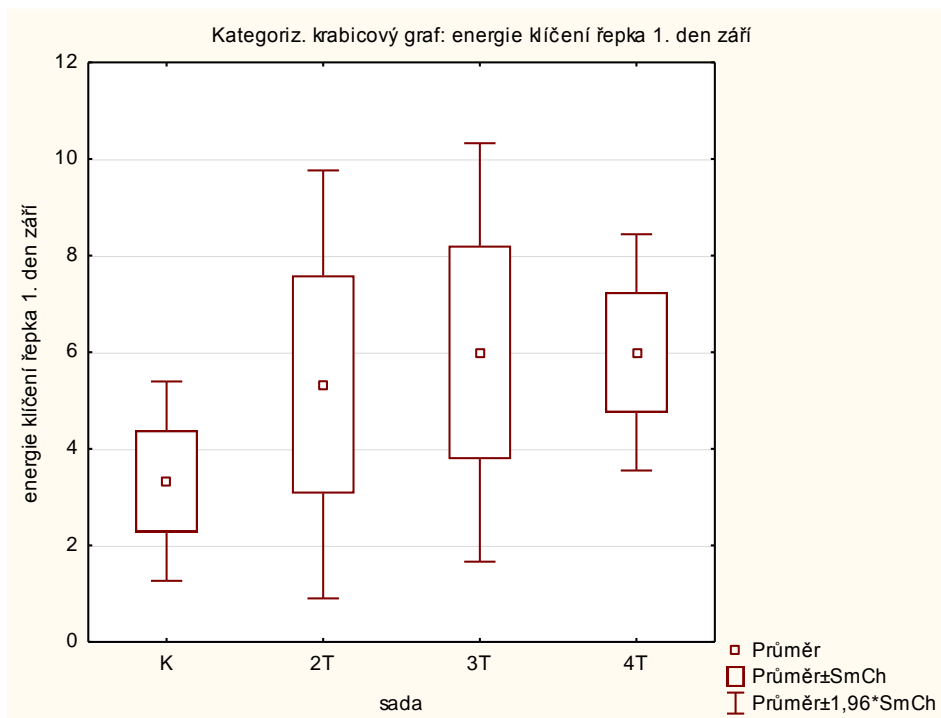
Energie klíčení 3. den: p-value = 0,0594 > 0,05

Energie klíčení 4. den: p-value = 0,1050 > 0,05

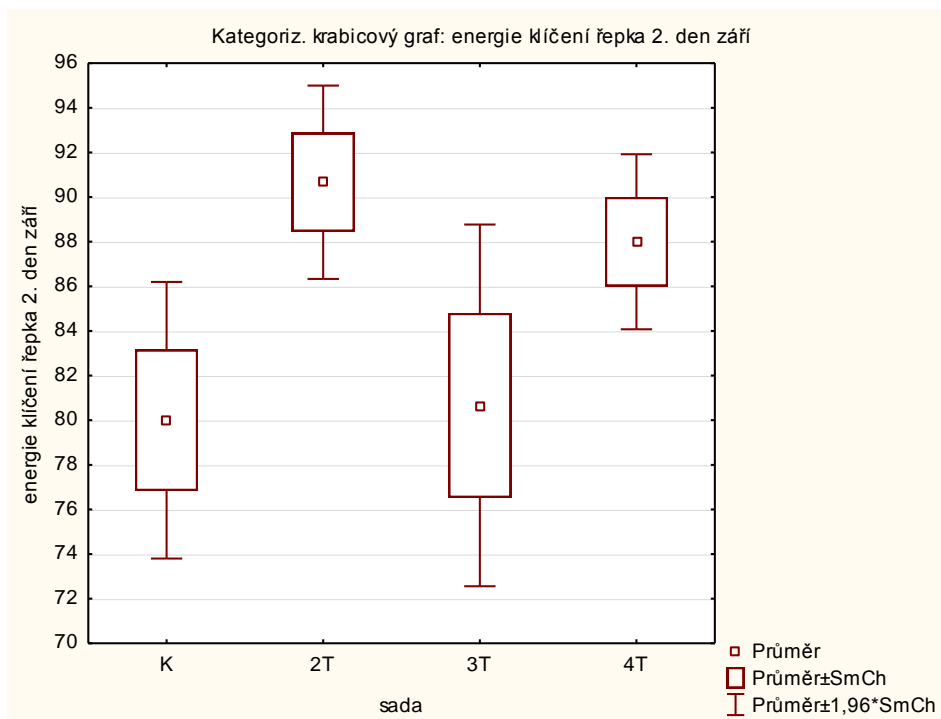
Energie klíčení 5. den: p-value = 0,1241 > 0,05.

Závěr: Nebylo prokázáno, že oplazmování semen řepky olejky (září 2014) mělo vliv na energii klíčení v daném čase (1. den, 2. den, 3. den, 4. den, 5. den).

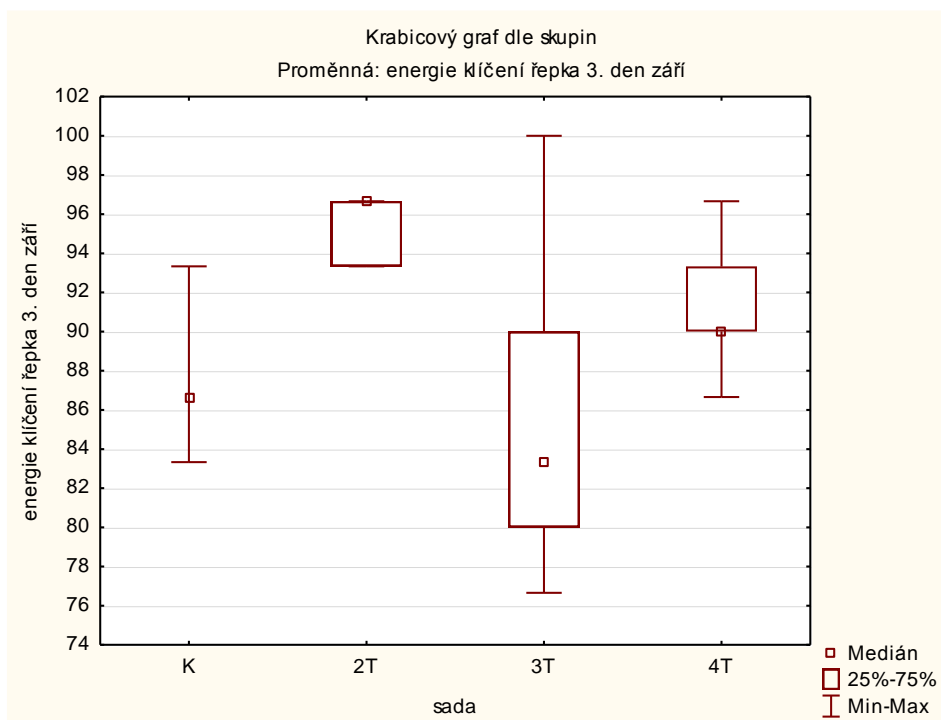
Na obr. 21 a 22 je zaznamenána průměrná hodnota a intervaly ($\bar{x} - SD$, $\bar{x} + SD$), ($\bar{x} - 1,96 \cdot SD$, $\bar{x} + 1,96 \cdot SD$) pro energii klíčení řepky olejky u kontrolní sady, sady 2T, 3T a 4T (září) 1. den a 2. den. Obr. 23 až 25 znázorňují medián a kvartilové rozpětí, neboť normalita dat byla zamítnuta. V případě porušení normality je charakteristika polohy dat reprezentována mediánem a charakteristika rozptýlení kvartilovou odchylkou.



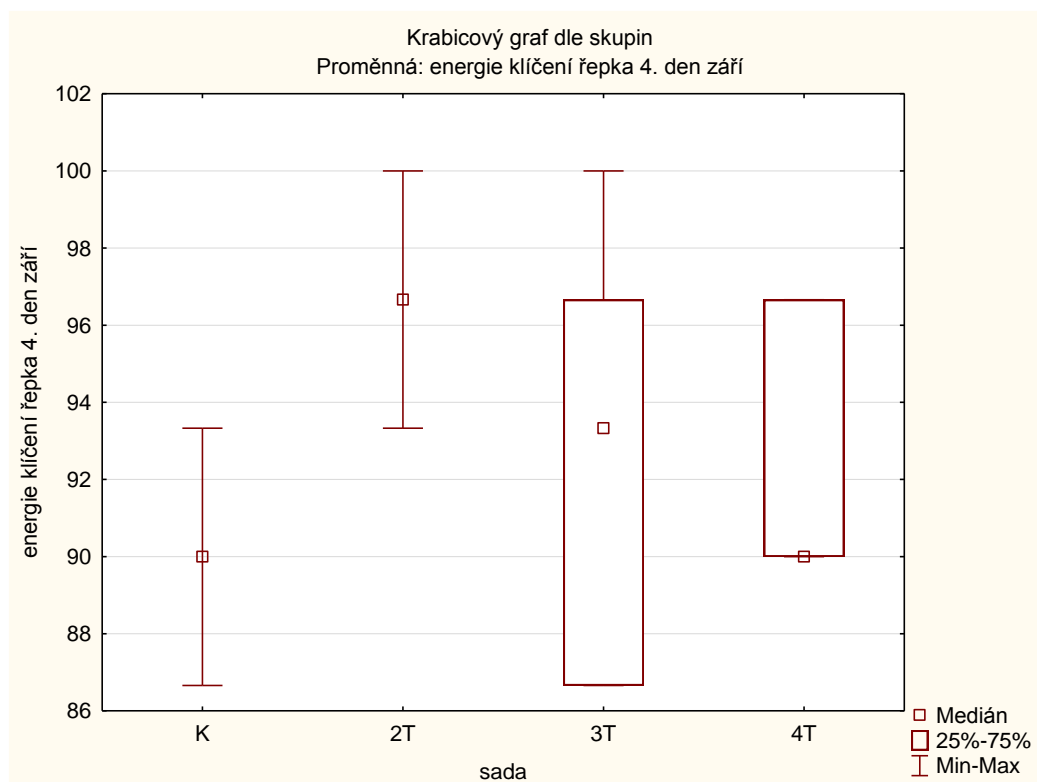
Obr. 21. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 1. den (září 2014)



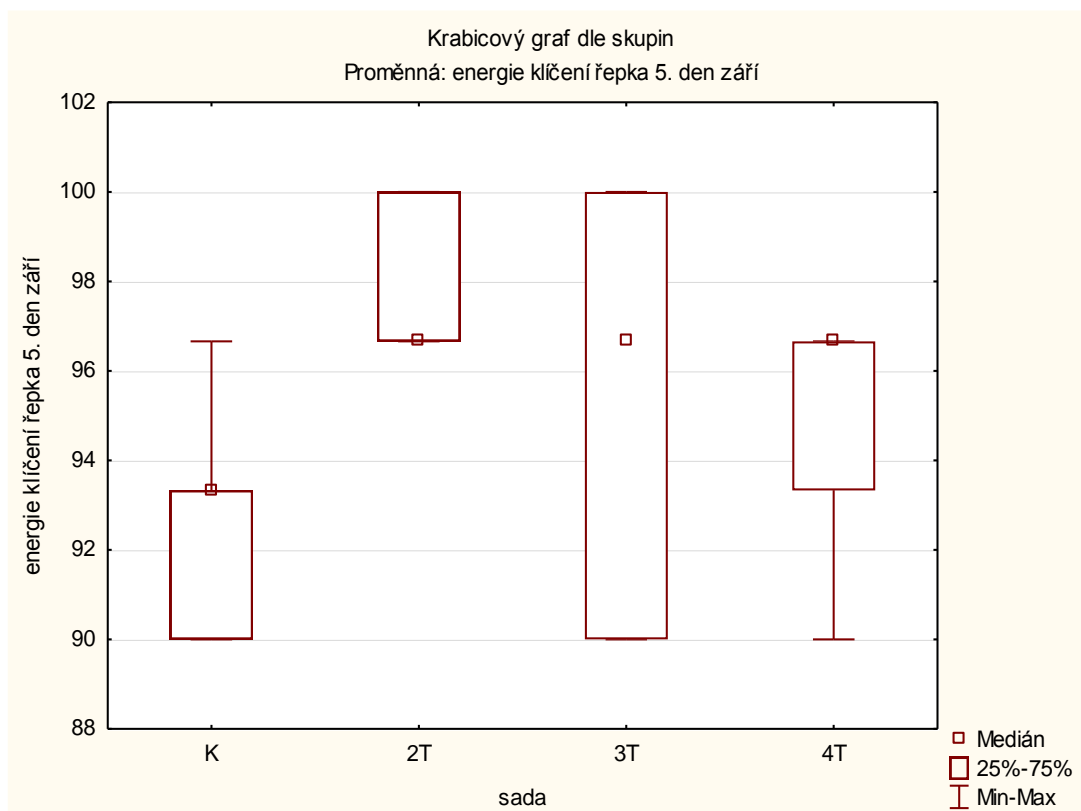
Obr. 22. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 2. den (září 2014)



Obr. 23. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 3. den (září 2014)



Obr. 24. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 4. den (září 2014)



Obr. 25. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 5. den (září 2014)

4.4.2. Kukuřice setá (srpen, říjen)

Hypotéza 6 (pro 2 období: srpen, říjen)

H_0 : Energie klíčení u kukuřice seté je i – tý den u všech sad stejná

(kontrolní sada, 1T, 2T, 3T, 4T)

proti

H_1 : negace H_0

kde $i = 3, 4, 5, 6$.

4.4.2.1. Kukuřice setá srpen

V tabulkách 25 až 28 jsou uvedeny údaje o energii klíčení kukuřice seté 3. den až 6. den. Poté následuje přehled základních charakteristik (tabulka 29).

Tabulka 25: Energie klíčení - kukuřice setá, 3. den (srpen 2014)

K1	64,71	1T1	88,24	2T1	58,82	3T1	88,24	4T1	88,24
K2	70,59	1T2	82,35	2T2	82,35	3T2	58,82	4T2	76,47
K3	76,47	1T3	58,82	2T3	82,35	3T3	70,59	4T3	58,82
K4	82,35	1T4	94,12	2T4	88,24	3T4	94,12	4T4	88,24
K5	76,47	1T5	82,35	2T5	88,24	3T5	70,59	4T5	64,71
K6	76,47	1T6	88,24	2T6	52,94	3T6	76,47	4T6	64,71
K7	76,47	1T7	70,59	2T7	47,06	3T7	82,35	4T7	47,06
K8	76,47	1T8	82,35	2T8	76,47	3T8	76,47	4T8	94,12

Tabulka 26: Energie klíčení - kukuřice setá, 4. den (srpen 2014)

K1	88,24	1T1	100	2T1	82,35	3T1	100	4T1	100
K2	82,35	1T2	94,12	2T2	88,24	3T2	82,35	4T2	76,47
K3	88,24	1T3	82,35	2T3	94,12	3T3	100	4T3	70,59
K4	94,12	1T4	100	2T4	100	3T4	100	4T4	100
K5	88,24	1T5	100	2T5	88,24	3T5	100	4T5	88,24
K6	76,47	1T6	100	2T6	88,24	3T6	100	4T6	88,24
K7	88,24	1T7	82,35	2T7	94,12	3T7	94,12	4T7	82,35
K8	88,24	1T8	100	2T8	94,12	3T8	94,12	4T8	94,12

Tabulka 27: Energie klíčení - kukuřice setá, 5. den (srpen 2014)

K1	88,24	1T1	100	2T1	88,24	3T1	100	4T1	100
K2	94,12	1T2	94,12	2T2	88,24	3T2	88,24	4T2	76,47
K3	94,12	1T3	88,24	2T3	94,12	3T3	100	4T3	94,12
K4	94,12	1T4	100	2T4	100	3T4	100	4T4	100
K5	88,24	1T5	100	2T5	94,12	3T5	100	4T5	88,24
K6	76,47	1T6	100	2T6	94,12	3T6	100	4T6	94,12
K7	88,24	1T7	88,24	2T7	94,12	3T7	100	4T7	88,24
K8	94,12	1T8	100	2T8	94,12	3T8	100	4T8	94,12

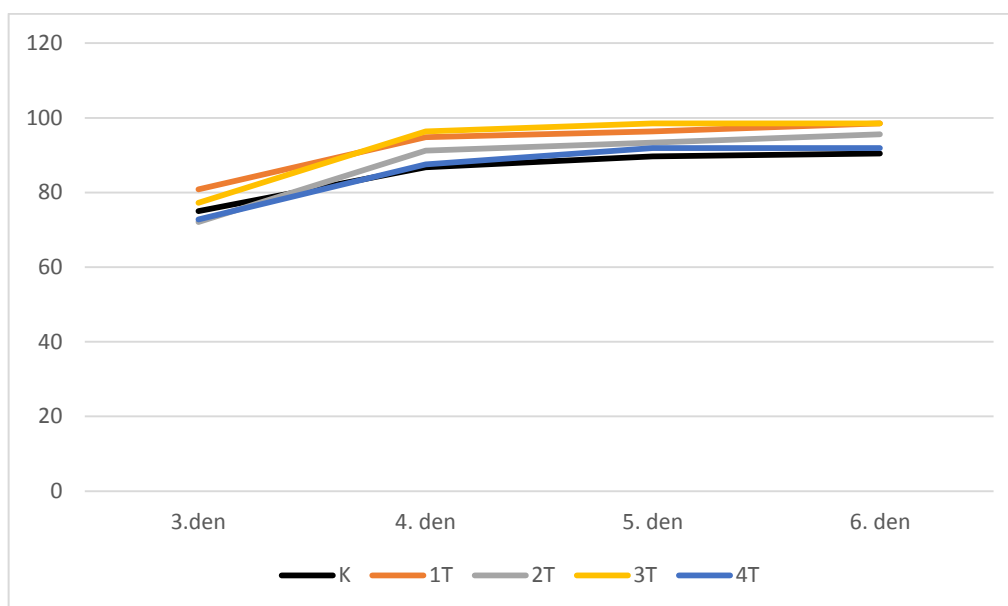
Tabulka 28: Energie klíčení - kukuřice setá, 6. den (srpen 2014)

K1	88,24	1T1	100	2T1	88,24	3T1	100	4T1	100
K2	94,12	1T2	100	2T2	94,12	3T2	88,24	4T2	76,47
K3	100	1T3	88,24	2T3	100	3T3	100	4T3	94,12
K4	94,12	1T4	100	2T4	100	3T4	100	4T4	100
K5	88,24	1T5	100	2T5	94,12	3T5	100	4T5	88,24
K6	76,47	1T6	100	2T6	100	3T6	100	4T6	94,12
K7	88,24	1T7	100	2T7	94,12	3T7	100	4T7	88,24
K8	94,12	1T8	100	2T8	94,12	3T8	100	4T8	94,12

Tabulka 29: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD), popř. medián, kvartilová odchylka (KO) energie klíčení obilek kukuřice seté (srpen 2014)

sada	3. den		4. den		5. den		6. den	
	průměr	SD	Průměr/ medián	SD/KO	průměr	SD	průměr	SD
K	75	5,21	86,77/ 88,24	5,22/ 1,47	89,71/ 91,18	6,09/ 2,94	90,44/ 91,18	6,97/ 2,94
1T	80,88	11,23	94,85/ 100	7,98/ 5,88	96,33/ 100	5,39/ 4,41	98,53/ 100	4,16/ 0
2T	72,06	16,56	91,18/ 91,18	5,45/ 2,94	93,39/ 94,12	3,77/ 1,47	95,59/ 94,12	4,16/ 2,94
3T	77,21	11,09	96,32/ 100	6,24/ 2,94	98,53/ 100	4,16/0	98,53/ 100	4,16/0
4T	72,8	16,62	87,5/ 88,24	10,63/ 8,83	91,91/ 94,12	7,66/ 4,41	91,91/ 94,12	7,66/ 4,41

Na obr. 26 je znázorněn vývoj průměrných hodnot energie klíčení namořených obilek kukuřice seté 3. den až 6. den. Po zhlédnutí grafu můžeme konstatovat, že sada 1T a sada 3T se odchyľují od ostatních sad. Odchylka sady 3T od sady kontrolní je statisticky významná (viz testy níže).



Obr. 26. Vývoj energie klíčení obilek kukuřice seté v průběhu 3. až 6. dne (srpen 2014)

K ověření, resp. zamítnutí nulové hypotézy byla použita v případě energie klíčení 3. den jednofaktorová ANOVA (předpoklady testu byly splněny). V případě energie klíčení 4. den, 5. den a 6. den byl použit Kruskal – Wallisův test (porušení normality dat – normalita dat nevyšla ani po transformaci dat):

Energie klíčení 3. den: p-value = 0,65141 > 0,05

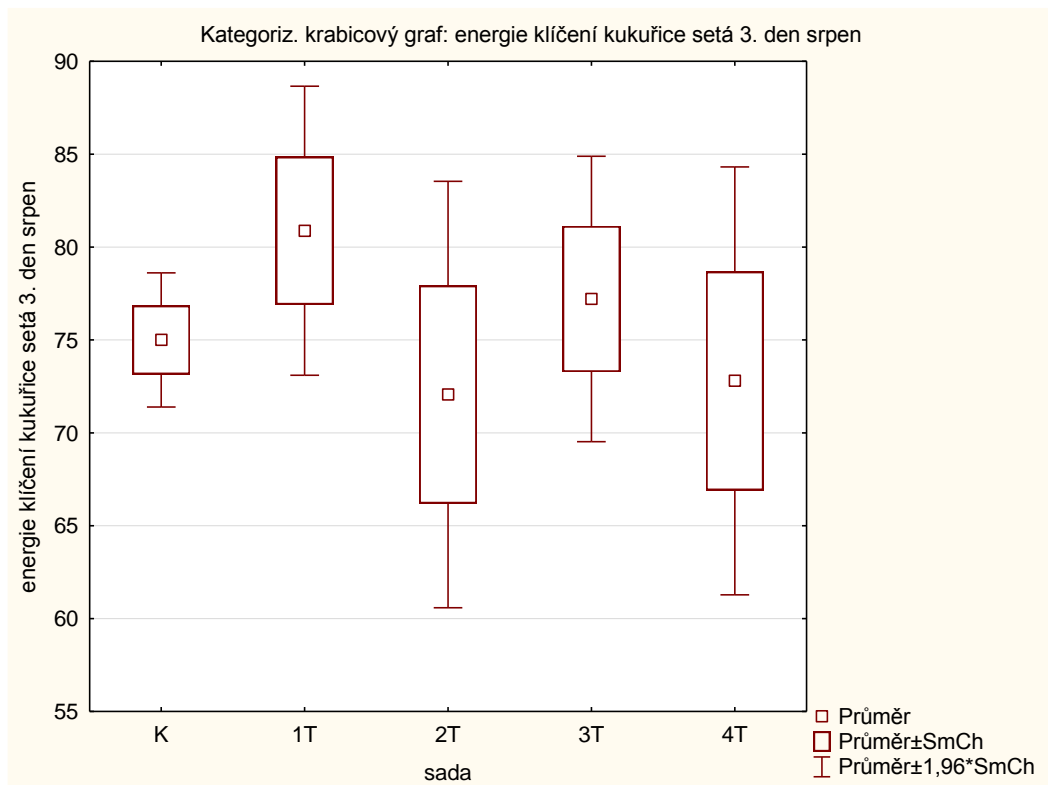
Energie klíčení 4. den: $0,01 < p\text{-value} = 0,0306 < 0,05$, liší se sady K – 3T

Energie klíčení 5. den: $0,01 < p\text{-value} = 0,0164 < 0,05$, K – 3T

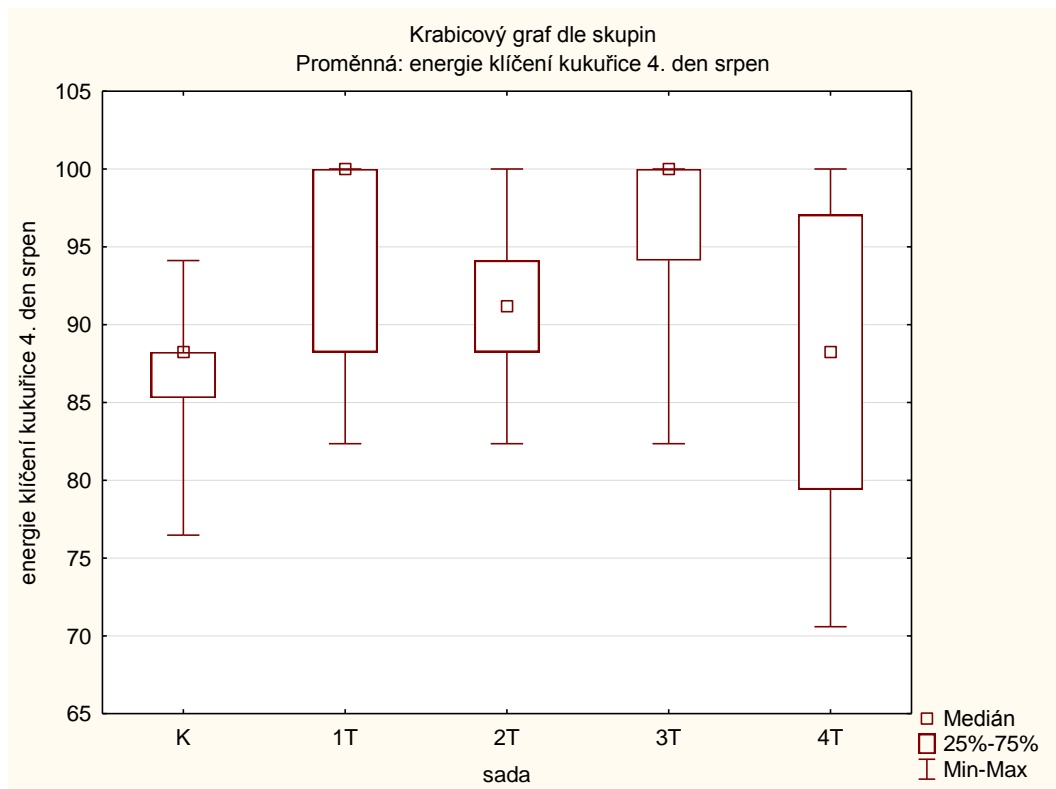
Energie klíčení 6. den: $p\text{-value} = 0,0098 < 0,05$, liší se sady K-1T, K-3T.

Závěr: Nebylo prokázáno, že 3. den oplazmování obilek kukuřice seté (srpen 2014) mělo vliv na energii klíčení. Prokázalo se, že 4. den, 5. den a 6. den mělo oplazmování vliv na energii klíčení obilek kukuřice seté. Sady, které se ve všech třech případech lišily, byly K-3T.

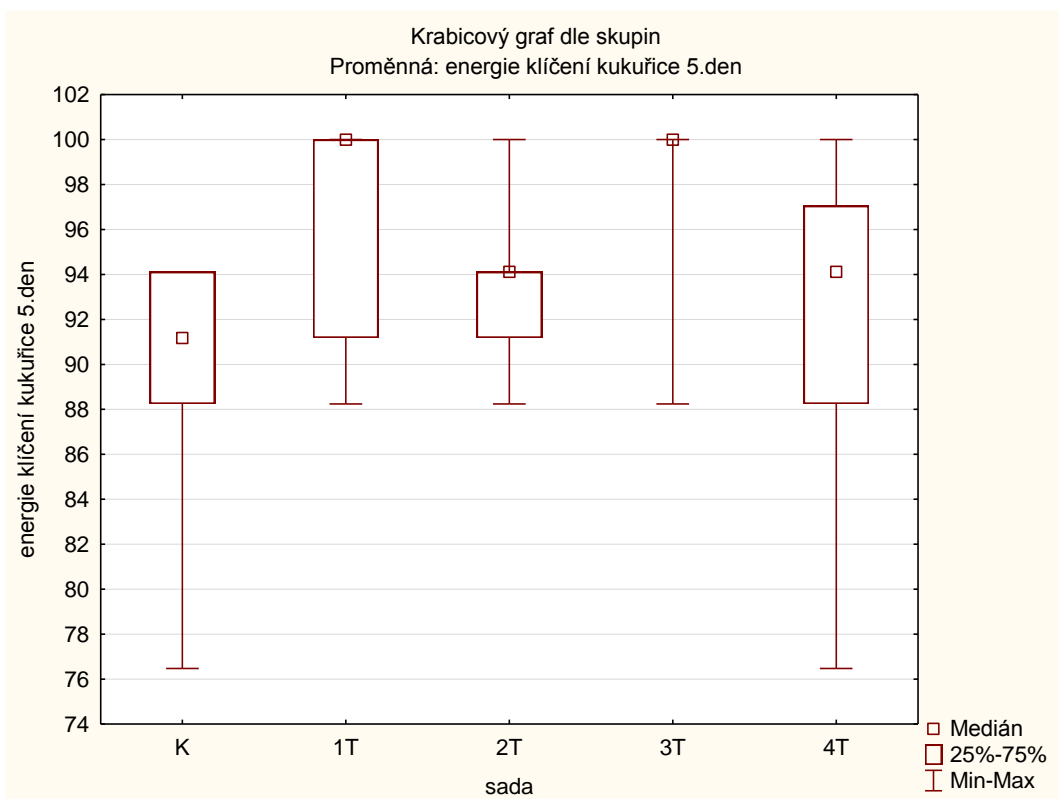
Na obr. 27 je zaznamenána průměrná hodnota a intervaly ($\bar{x} - SD, \bar{x} + SD$), ($\bar{x} - 1,96 \cdot SD, \bar{x} + 1,96 \cdot SD$) pro energii klíčení kukuřice seté u kontrolní sady, sady 1T, 2T, 3T a 4T (srpen) 3. den. Obr. 28 až 30 znázorňují medián a kvartilové rozpětí pro energii klíčení kukuřice seté (4. den, 5. den a 6. den), neboť normalita dat byla zamítnuta.



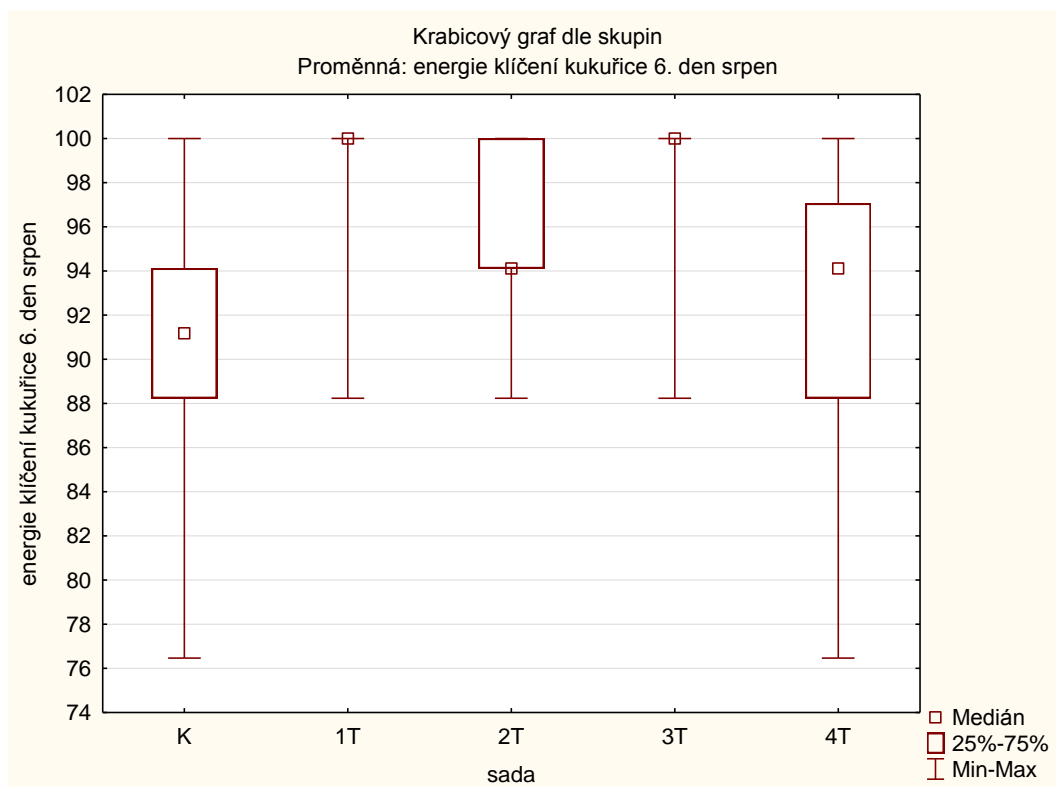
Obr. 27. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 3. den (srpen 2014)



Obr. 28. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 4. den (srpen 2014)



Obr. 29. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 5. den (srpen 2014)



Obr. 30. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 6. den (srpen 2014)

4.4.2.2. Kukuřice setá říjen

V tabulkách 30 až 33 jsou uvedeny údaje o energii klíčení kukuřice seté 3. den až 6. den. Poté následuje přehled základních charakteristik (tabulka 34).

Obr. 31 znázorňuje vývoj energie klíčení obilek kukuřice seté v průběhu 3. až 6. dne (říjen 2014). Sada 4T se 3. den odchyľuje od ostatních sad. Toto odchyľení ale není statisticky významné. 4. den až 5. den jsou průměrné hodnoty srovnatelné.

Tabulka 30: Energie klíčení - kukuřice setá, 3. den (říjen 2014)

K1	100	1T1	94,12	2T1	100	3T1	88,24	4T1	70,59
K2	94,12	1T2	88,24	2T2	58,82	3T2	82,35	4T2	88,24
K3	94,12	1T3	82,35	2T3	82,35	3T3	64,71	4T3	82,35
K4	58,82	1T4	64,71	2T4	70,59	3T4	64,71	4T4	94,12
K5	82,35	1T5	70,59	2T5	76,47	3T5	76,47	4T5	88,24
K6	64,71	1T6	58,82	2T6	70,59	3T6	47,06	4T6	94,12
K7	47,06	1T7	58,82	2T7	76,47	3T7	76,47	4T7	82,35
K8	47,06	1T8	58,82	2T8	47,06	3T8	88,24	4T8	52,94

Tabulka 31: Energie klíčení - kukuřice setá, 4. den (říjen 2014)

K1	100	1T1	100	2T1	94,12	3T1	100	4T1	82,35
K2	94,12	1T2	100	2T2	94,12	3T2	94,12	4T2	94,12
K3	94,12	1T3	94,12	2T3	100	3T3	100	4T3	88,24
K4	88,24	1T4	94,12	2T4	94,12	3T4	88,24	4T4	100
K5	100	1T5	94,12	2T5	94,12	3T5	94,12	4T5	94,12
K6	100	1T6	100	2T6	88,24	3T6	70,59	4T6	100
K7	94,12	1T7	82,35	2T7	94,12	3T7	94,12	4T7	94,12
K8	88,24	1T8	82,35	2T8	76,47	3T8	88,24	4T8	76,47

Tabulka 32: Energie klíčení - kukuřice setá, 5. den (říjen 2014)

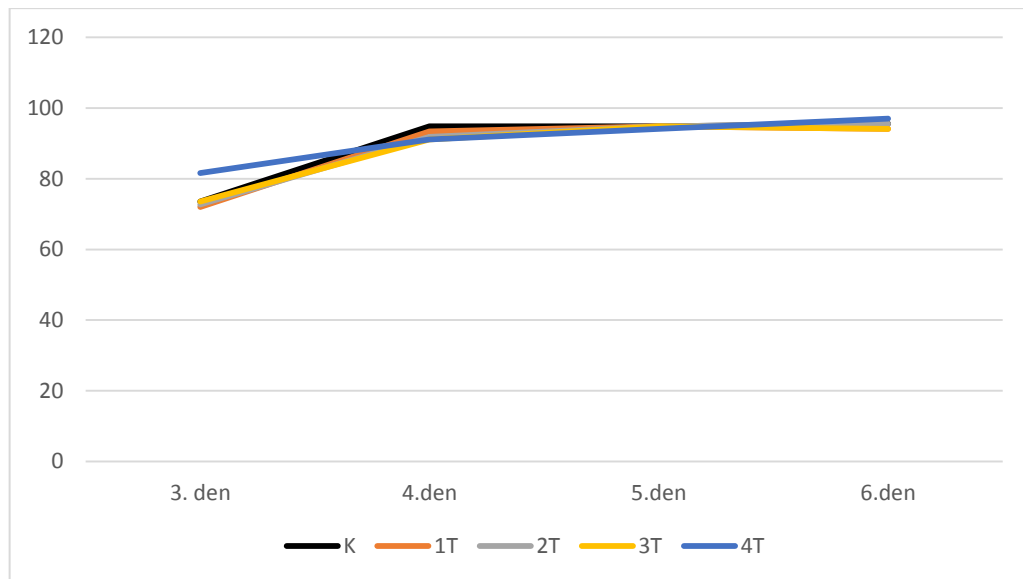
K1	100	1T1	100	2T1	94,12	3T1	100	4T1	82,35
K2	94,12	1T2	100	2T2	100	3T2	100	4T2	94,12
K3	94,12	1T3	88,24	2T3	100	3T3	100	4T3	100
K4	88,24	1T4	94,12	2T4	100	3T4	94,12	4T4	100
K5	100	1T5	100	2T5	100	3T5	94,12	4T5	100
K6	100	1T6	100	2T6	94,12	3T6	82,35	4T6	100
K7	88,24	1T7	88,24	2T7	94,12	3T7	100	4T7	94,12
K8	94,12	1T8	88,24	2T8	76,47	3T8	88,24	4T8	82,35

Tabulka 33: Energie klíčení - kukuřice setá, 6. den (říjen 2014)

K1	100	1T1	100	2T1	94,12	3T1	100	4T1	94,12
K2	94,12	1T2	100	2T2	100	3T2	100	4T2	100
K3	94,12	1T3	88,24	2T3	100	3T3	100	4T3	100
K4	94,12	1T4	94,12	2T4	94,12	3T4	94,12	4T4	100
K5	100	1T5	94,12	2T5	100	3T5	94,12	4T5	100
K6	100	1T6	100	2T6	100	3T6	76,47	4T6	100
K7	88,24	1T7	88,24	2T7	100	3T7	100	4T7	94,12
K8	94,12	1T8	88,24	2T8	76,47	3T8	88,24	4T8	88,24

Tabulka 34: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD), popř. medián, kvartilová odchylka (KO) energie klíčení obilek kukuřice seté (říjen 2014)

sada	3. den		4. den		5. den		6. den	
	průměr	SD	Průměr/ medián	SD/KO	průměr	SD	průměr	SD
K	73,53/ 73,53	21,78/ 20,59	94,86/ 94,12	4,91/ 4,41	94,86/ 94,12	4,91/ 4,41	95,59/ 94,12	4,16/ 2,94
1T	72,06/ 67,65	14,32/ 13/24	93,38/ 94,12	7,33/ 5,88	94,86/ 97,06	5,83/ 5,88	94,12/ 94,12	5,44/ 5,88
2T	72,79/ 73,53	15,7/ 7,35	91,91/ 94,12	6,99/ 1,47	94,85/ 97,06	7,98/ 2,94	95,59/ 100	8,17/ 2,94
3T	73,53/ 76,47	14,06/ 10,29	91,18/ 94,12	9,43/ 4,41	94,85/ 97,06	6,62/ 4,41	94,12/ 97,06	8,32/ 4,41
4T	81,62/ 85,3	13,86/ 7,35	91,18/ 94,12	8,32/ 5,88	94,12/ 97,06	7,70/ 5,88	97,06/ 100	4,44/ 2,94



Obr. 31. Vývoj energie klíčení obilek kukuřice seté v průběhu 3. až 6. dne (říjen 2014)

K ověření, resp. zamítnutí nulové hypotézy byla použita v případě energie klíčení 3. den a 4. den jednofaktorová ANOVA (předpoklady testu byly splněny). V případě energie klíčení 5. den a 6. den byl použit Kruskal – Wallisův test (porušení normality dat – normalita dat nevyšla ani po transformaci dat):

Energie klíčení 3. den: p-value = 0,760867 > 0,05

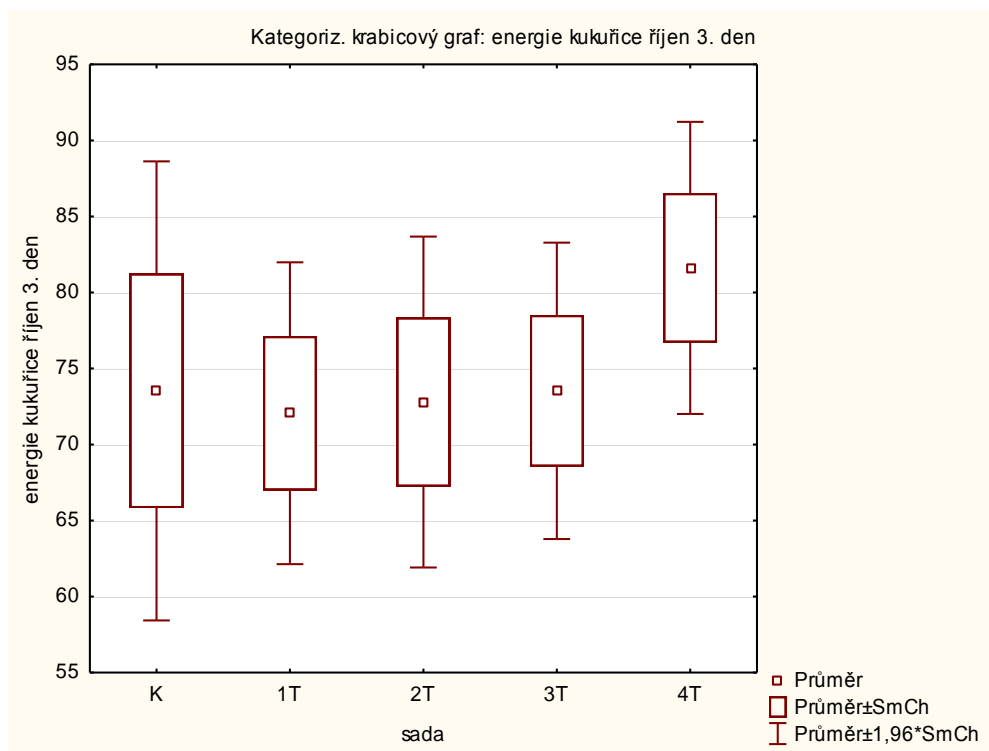
Energie klíčení 4. den: p-value = 0,837548 > 0,05

Energie klíčení 5. den: p-value = 0,9967 > 0,05

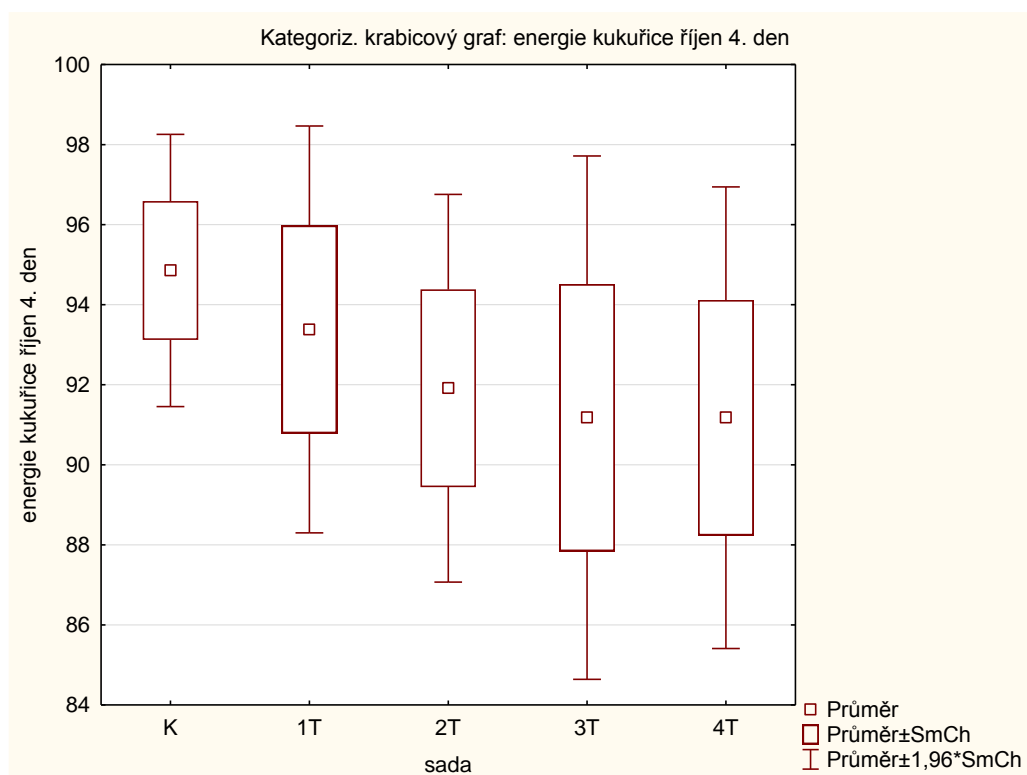
Energie klíčení 6. den: p-value = 0,758 > 0,05.

Závěr: Nebylo prokázáno, že oplazmování obilek kukuřice seté (říjen 2014) mělo vliv na energii klíčení.

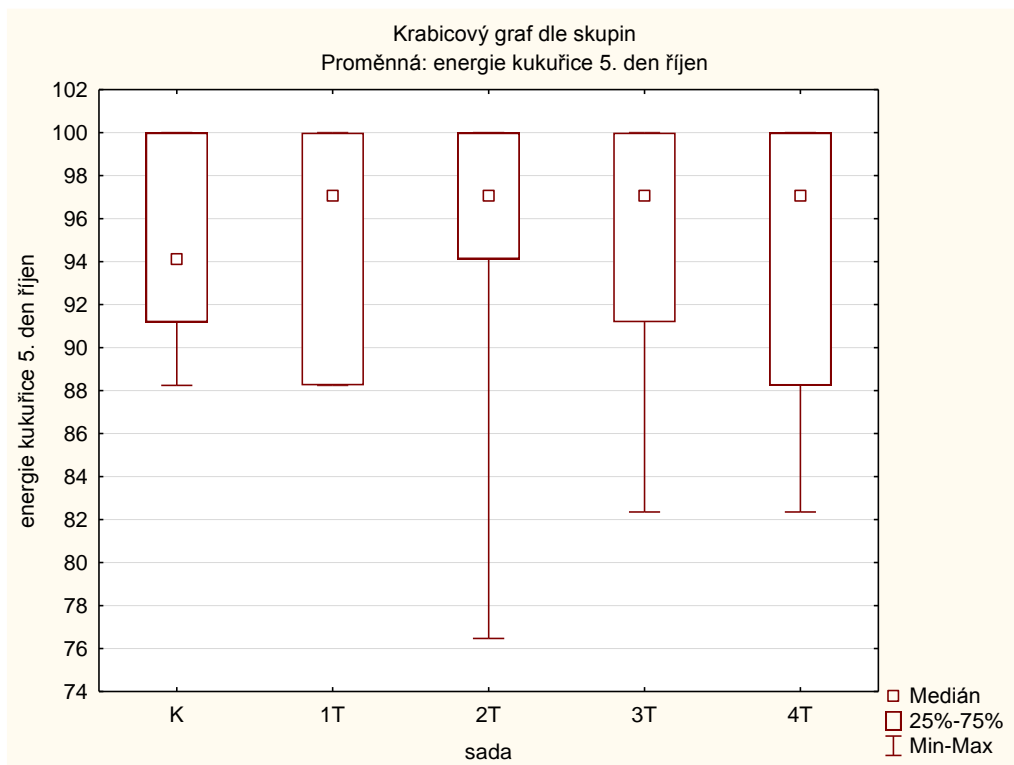
Na obr. 32 a 33 je zaznamenána průměrná hodnota a intervaly ($\bar{x} - SD$, $\bar{x} + SD$), ($\bar{x} - 1,96 \cdot SD$, $\bar{x} + 1,96 \cdot SD$) pro energii klíčení kukuřice seté u kontrolní sady, sady 1T, 2T, 3T a 4T (říjen) 3. den a 4. den. Obr. 34 a 35 znázorňují medián a kvartilové rozpětí pro energii klíčení kukuřice seté (5. den a 6. den), neboť normalita dat byla zamítnuta.



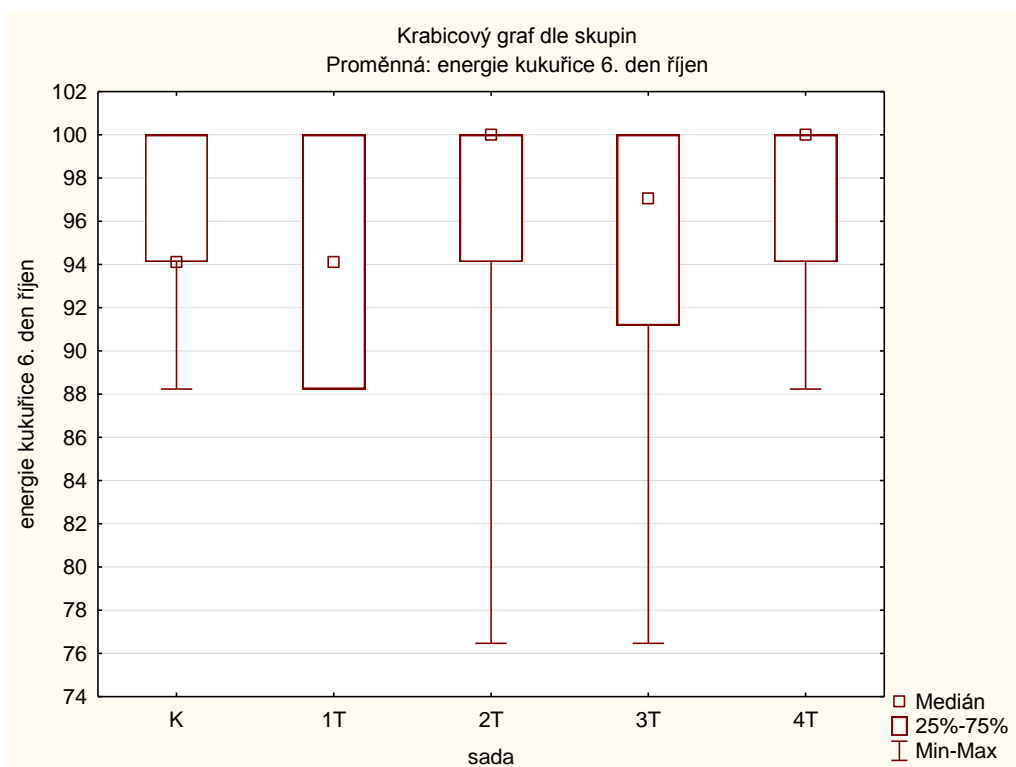
Obr. 32. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 3. den (říjen 2014)



Obr. 33. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 4. den (říjen 2014)



Obr. 34. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 5. den (říjen 2014)



Obr. 35. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 6. den (říjen 2014)

5. Diskuse

V posledních desítkách let je v oblasti biotechnologií věnována pozornost vědců ohledně vztahu mezi netermálním (chladným) plazmatem a semeny různých rostlin. Zájem je směřován především na možnost kontroly klíčivosti semen ošetřených různými typy plazmatu, včetně atmosférických nebo nízkotlakých plazmových výbojů (např. Volin a kol. 2000, Šerá a kol. 2013, 2017, Li a kol. 2014, Bormashenko a kol. 2015, Stolárik a kol. 2015, Mildaziene a kol. 2016). Relativně hodně prací je soustředěno na stimulaci obilovin, především na pšenici setou. Bylo zjištěno, že kořeny a klíčky pšeničných obilek (*Triticum aestivum*) ošetřených netermálním atmosférickým plazmatem byly delší a těžší než kořeny neošetřených obilek, nebo že obilky lépe klíčily (Dubinov a kol. 2000, Šerá a kol. 2010, Filátová a kol. 2011, Dobrin a kol. 2015). Pozitivní účinek studeného heliového plazmatu byl nedávno popsán na klíčení, růst a výnosy obilek také u pšenice seté (Jiang a kol. 2014).

Já jsem se ve svých pokusech zaměřila na stimulaci semen kukuřice seté a řepky olejky netermálním atmosférickým plazmatem při různých časových expozicích. Především se vlivem plazmatu na různé růstové parametry kukuřice seté zabývala Henselová se svým týmem (Henselová a kol. 2012). Zjistili, že ošetření plazmatem zvyšuje propustnost obilek a jejich pozitivní růst u kukuřice seté. Tato kukuřice vykazovala nejlepší počáteční růst v prvních dnech pokusu (testované časy: 60 s, 120 s). Tyto výsledky ovšem nelze s mým pokusem porovnávat, protože jejich obilky byly ošetřeny zcela jiným typem výboje (difúzní koplanární povrchová bariéra, viz Šerá a kol. 2012). Moje pokusy ukázaly, že lépe klíčily obilky kukuřice seté, které byly před ošetřením plazmatem chemicky namořené (komerční moření).

Řepka olejka byla nedávno testována vzhledem k dekontaminaci povrchu od fytopatogenních mikroorganismů a vzhledem ke klíčení semen (Puligundla a kol. 2017, Li a kol. 2015). Ošetření plazmatem semen řepky olejky vedlo ke zlepšení odolnosti vůči suchu tím, že zlepšilo aktivity antioxidantních enzymů, zvýšilo osmotický potenciál a snížilo peroxidaci lipidů (Li a kol. 2015). Po dobu působení 180 s došlo k úplné dekontaminaci povrchů od *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* a *Salmonella* spp. Časy ošetření pod 120 s semena spíše stimulovala (pozitivní efekt na rychlost klíčení a růst semenáčků), nad 120 s spíše inhibovala (Puligundla a kol. 2017). Stimulace nižšími časy ohledně klíčivosti a počátečního růstu (Puligundla a kol. 2017, Li a kol. 2015) odpovídají mým zjištěním a výsledkům prezentovaných v bakalářské práci Landové (2015). Ošetření

osiva netermálním plazmatem může být pravděpodobně použito v praxi ke zlepšení klíčivosti a ochraně semen řepky olejné proti škodám způsobeným stresem při suchu.

Výzkumníci obecně souhlasí s tím, že studená plazmatická léčba je úsporným typem ošetření vedoucí ke zlepšení kvality osiva a výnosu. Navíc takové ošetření je bez emise chemického či jiného znečištění. Vliv plazmatu je založen na širokém spektru ontogenetických a fyziologických procesů v rostlinách, včetně snížení počtu bakteriálních ložisek na povrchu semen, změny chemického složení osemení, zvýšení smáčivosti, zvýšení propustnosti semenných vrstev, stimulace klíčivosti semen a počátečního růstu.

6. Závěr

Cílem předkládané práce bylo zjistit, jaký vliv má stimulace netermálním atmosférickým plazmatem na obilky kukuřice seté a semena řepky olejky. Pozornost byla věnována charakteristikám popisujícím klíčivost semen; konkrétně klíčivosti semen, rychlosti klíčení a energii klíčení semen obou sledovaných rostlin. Parciální výsledky byly použity k prezentaci na vědecké konferenci. Úplný text příspěvku ze sborníku (evidován na WoS) je uveden jako příloha této bakalářské práce. Stanovené cíle bakalářské práce byly naplněny.

U použitého osiva bylo zjištěno, že vliv plazmatu na klíčení semen byl prokázán pouze u „srpnového pokusu“ kukuřice seté, tedy u namořené kukuřice, a to v klíčivosti semen a energii klíčení. Statisticky významné rozdíly byly prokázány v klíčivosti semen u sad K – 1T a K – 3T (doba oplazmování: 60 s a 300 s), kdy tyto sady vykazovaly vyšší hodnoty klíčivosti. V energii klíčení byly prokázány rozdíly ve 4., 5. a 6. dnu měření, a to u sady K – 3T (doba oplazmování: 300 s). Nelze tedy rozhodnout, zda nižší nebo vyšší použité časy při ošetření plazmatem jsou vhodnější nebo méně vhodné.

U pokusu kukuřice seté, který byl prováděn v říjnu, tedy u nenamořené kukuřice, nebyl vliv plazmatu na zkoumané charakteristiky klíčení prokázán.

Jinak tomu bylo u pokusů s řepkou olejkou, kdy se vliv plazmatu neprojevil ani v jednom z testovaných sad, tedy ani v jednom z pokusů („květnový“ a „zářijový“). V některých případech byl spočítán rozdíl v jednotlivých charakteristikách, ale tento rozdíl nebyl statisticky významný ($P < 0,05$).

Netermální atmosférické plazma tedy mělo jiný dopad na klíčivost kukuřice seté (namořená, nenamořená) a klíčivost řepky olejky.

7. Seznam použité literatury

Adkins C.R., Hinesley L. E., Blazich F.A., 1984: Role of stratification, temperature and light in Faser fir germination. *Canadian Journal of Forest Research*, 14: 88-93.

Anděl J., 1985: *Matematická statistika*. Praha: SNTL, 346 s.

Bam R.K., Kumaga F.K., Ori K., Asiedu E.A., 2006: Germination, vigour and dehydrogenase activity of naturally aged rice (*Oryza sativa* L.) seeds soaked in potassium and phosphorus. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(6): 948-955.

Baskin C.C., Baskin J.M., 2001: *Seeds, Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. San Diego: Academic Press, 665 s.

Bezděčková L., Řezníčková J., 2012: Vliv předosevní přípravy na klíčivost a vzcházivost semen jedle bělokoré. *Zpráva lesnického výzkumu*, 57: 249-156.

Bormashenko E., Shapira Y., Grynyov R., Whyman G., Bormashenko Y., Drori E., 2015: Interaction of cold radiofrequency plasma with seeds of beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Experimental Botany*, 66: 4013-4021.

Brasoveanu M., Nemtanu M.R., Surdu – Bob C., Karaca G., Erper I., 2015: Effect of glow discharge plasma on germination and fungal load of some cereal seeds. *Romanian Reports in Physics*, 67: 617-624.

Bretagnolle F., Thompson J.D., Lumaret R., 1995: The influence of seed size variation on seed-germination and seedling vigor in diploid and tetraploid *Dactylis glomerata* L. *Annals of Botany*, 76(6): 607-615.

Butscher D., Van Loon H., Waskow A., Von Rohr P.R., Schuppler M., 2016a: Plasma inactivation of microorganisms on sprout seeds in a dielectric barrier discharge. *International Journal of Food Microbiology*, 238: 222-232.

Butscher D., Zimmermann D., Schuppler M., Rudolf Von Rohr P., 2016b: Plasma inactivation of bacterial endospores on wheat grains and polymeric model substrates in a dielectric barrier discharge. *Food Control*, 60: 636-645.

Chloupek O., 2008: *Genetická diverzita, šlechtění a semenářství*. Praha: Academia, 307 s.

Dhayal M., Lee S.-Y., Park S.-U., 2006: Using low-pressure plasma for *Carthamus tinctorium* L., seed surface modification. *Vacuum*, 80: 499-506.

Dobrin D., Magureanu M., Mandache N.B., Ionita M.D., 2015: The effect of non-thermal plasma treatment on wheat germination and early growth. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 29: 255-260.

Dubinov A.E., Lazarenko E.M., Selemir V.D., 2000: Changing Germination Rate of Brown Mustard Seeds After Treatment With Plasmas of Nanosecond Electric Discharges. *IEEE Transaction on Plasma Science*, 45: 294-300.

Filátová I., Azharonok V., Kadyrov M., Beljavsky V., Gvozdo A., Shik A., Antonuk A., 2011: The effect of plasma treatment of seeds of some grain and legumes on their sowing quality and productivity. *Romanian Journal of Physics*, 56:139-143.

Gavril B., Hnatiuc E., Sera B., Hruskova I., Padureanu S., and Hăisan C., 2011: Possibilities of performing treatments on seeds using cold plasma discharges. In: XIXth Symposium on Physics of Switching Arc. pp. 189-192. Brno: University of Technology.

Henselova M., Slovakova L., Martinka M., Zahoranova A., 2012: Growth, anatomy and enzyme activity changes in maize roots induced by treatment of seeds with low-temperature plasma. *Biologia*, 67:490-497.

Honsová H., Capouchová I., Stehno Z., Konvalina P., Prokinová E., Chalupský R., Bláha L., 2011: Seed germination and vigor of chosen species of spring cereals in relation to yield in organic farming. In: Osivo a sadba X. odborný a vědecký seminář. pp. 150-156. Praha: ČZU.

Hosnedl V., Honsová H., 2002: Barley seed sensitivity to water stress at germination stage. *Rostlinna Vyroba*, 48(7): 293-297.

Houba M., Hosnedl V., 2002: Osivo a sadba, praktické semenářství. Praha: Profi Press, 116 s.

Jiang J.F., He X., Li L., Li J.G., Shao H.L., Xu Q.L., Ye R.H., Dong Y.H., 2014: Effect of cold plasma treatment on seed germination and growth of wheat. *Plasma Science and Technology*, 16: DOI: 10.1088/1009-0630/16/1/12

Khan A.Z., Shah P., Mohd F., Khan H., Amanullah, Perveen S., Nigar S., Khalil S.K., Zubair M., 2010: Vigor tests used to rank seed lot quality and predict field emergence in beat. *Pakistan Journal of Botany*, 42(5): 3147-3155.

Kulhánek P., 2011: Úvod do teorie plazmatu. Praha: AGA, 372 s.

Landová T., 2015: Růstové faktory řepky olejky (*Brassica napus* L.) a kukuřice seté (*Zea mays* L.) po ošetření obilí netermálním plazmatem. Bakalářská práce, Pedagogická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 55 s.

Li L., Jiang J.F., Li J.G., Shen M.C., He X., Shao H.L., Dong Y.H., 2014: Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean. *Science Reports*, 4: no. 6581.

Li L., Li J.G., Shen M.C., Yhang C., Dong Y.H., 2015: Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress. *Science Reports*, 5: no. 13033.

Mildaziene V., Pauzaite G., Malakauskiene A., Zukiene R., Nauciene Z., Filatova I., Azharonok V., Lyushkevich V., 2016: Response of perennial woody plants to seed treatment by electromagnetic field and low-temperature plasma. *Bioelectromagnetics*, Doi: 10.1002/bem.22003.

Misra N.N., Schluter O., Cullen P. J., 2016: Plasma in food and agriculture. In: N.N. Misra, O. Schluter a P.J Cullen (eds.) *Cold plasma in food and agriculture: fundamentals and application*. pp. 1-13. Academic Press.

Ono R., Uchida S., Hayashi N., Kosaka R., Soeda Y., 2016: Inactivation of bacteria on plant seed surface by low-pressure RF plasma using a vibrating stirring device. *Vacuum*, 136: 214-220.

Pazdera J., 2002: Speciální úpravy osiv. In: M. Houba., V. Hosnedl (eds) *Osivo a sadba*. pp. 36-45. Praha: Martin Sedláček.

Piskurewicz U., Tureckova V., Lacombe E., Lopez-Molina L., 2009: Far-red light inhibits germination through DELLA-dependent stimulation of ABA synthesis and ABI₃ activity. *EMBO Journal*, 28: 2259-2271.

- Procházka P., Štranc P., Štranc J., 2013: Prospěšnost testování vitality osiva sóji. In: K. Pazderů (eds.): Prosperující olejniny. pp. 123-126. Praha: ČZU.
- Puligundla, P., Kim, J.W., Mok C., 2017: Effect of corona discharge plasma jet treatment on decontamination and sprouting of rapeseed (*Brassica napus* L.) seeds. Food Control, 71: 376-382.
- Sarath G., Bethke P.C., Jones R., Baird L.M., Hou G.C., Mitchell R.B., 2006: Nitric oxide accelerates seed germination in warm-season grasses. Planta, 6: 1154-1164.
- Selcuk M., Oksuz Z., Basaran P., 2008: Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. Bioresource Technology, 99: 5104-5109.
- Schmiedt L., 2006: Úvod do fyziky plazmatu. Karlova univerzita.[cit. 20. 5. 2017]. Dostupné z: <http://atrey.karlin.mff.cuni.cz/~marble/d/?p=0>
- Sera B., Sery M., Gavril B., Gajdova I., 2017: Seed Germination and Early Growth Responses to Seed Pre-treatment by Non-thermal Plasma in Hemp Cultivars (*Cannabis sativa* L.). Plasma Chemistry and Plasma Processing, 37: 207-221.
- Song W.J., Zhou W.J., Jin Z.L., Cao D.D., Joel D.M., Takeuchi Y., Yoneyama K., 2005: Germination response of *Orobancha* seeds subjected to conditioning temperature, water potential and growth regulator treatments. Weed Research, 45(6): 467-476.
- Stolárik T., Henselová M., Martinka M., Novák O., Zahoranová A., Černák M., 2015: Effect of low-temperature plasma on the structure of seeds, growth and metabolism of endogenous phytohormones in pea (*Pisum sativum* L.). Plasma Chemistry and Plasma Processing, 35: 659-676.
- Šerá B., Špatenka P., Šerý M., Vrchotová N., Hrušková I., 2010: Influence of plasma treatment on corn germination and early growth. IEEE Transactions on Plasma Science, 38: 2963-2968.
- Šerá B., 2012: Dormance semen u planě rostoucích rostlinných druhů se zřetelem k problematice plevelů, pp. 130-137. In: Bláha L., Šerá B. (eds) Vybrané kapitoly z fyziologie rostlin a zemědělského výzkumu, Praha: Powerprint.

Šerá B., 2013: Jak funguje poměr „root:shoot“. In: Bláha L., Šerá B. (eds) Význam celistvosti rostliny ve výzkumu, šlechtění a produkci. pp 65-73. Praha: Powerprint.

Šerá B., 2014: Klíčivost semen jako běžný test v botanickém pozorování, šlechtění a experimentech. In: L. Bláha a B. Šerá (eds.) Příspěvky k problematice zemědělského pokusnictví. pp. 9-17. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Praha; České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta.

Šerá B., Gajdová I., Černák M., Gavril B., Hnatiuc E., Kováčik D., Kříha V., Sláma J., Šerý M., Špatenka P., 2012: How various plasma sources may affect seed germination and growth. In: Proceedings of the international conference on optimization of electrical and electronic equipment. pp. 1365-1370. Brasov: OPTIM.

Šerá B., Gajdová I., Šerý M., Špatenka P., 2013: New physicochemical treatment method of Poppy seeds for agriculture and food industries. Plasma Science and Technology, 15:935-938.

Šťastný J., Hosnedl V., 2005: Semenářská kvalita osiva odrůd pšenice jarní. In: Osivo a sadba VII. odborný a vědecký seminář. pp. 114-117. Praha: ČZU.

Vega J.A., Fernandez C., Perez-Gorostiaga P., Fonturbel T., 2008: The influence of fire severity, serotiny, and post-fire management on *Pinus pinaster* Ait. recruitment in three burnt areas in Galicia (NW Spain). Forest Ecology and Management, 256(9): 1596-1603.

Velichko I., Pazderů K., Pulkrábek J., 2017: Úprava osiv nízkoteplotním plazmatem a její vliv na vývoj rostlin. In: Osivo a sadba XIII. národní odborný a vědecký seminář. pp. 54-59. Praha: ČZU.

Volin J.C., Denes F.S., Young R.A., Park S.M.T., 2000: Modification of seed germination performance through cold plasma chemistry technology. Crop Science, 40: 1706-1718.

8. Přílohy

Příloha 1. Seznam tabulek.

Příloha 2. Seznam obrázků.

Příloha 3. Ryplová R., Šerá B., Bicanová L., Landová T., Petrášková K., Rákosníková T., 2015: Odezva semenáčků řepky olejky na ošetření semen chladným plazmatem. In: Osivo a sadba XII. odborný a vědecký seminář. pp. 35-40. Praha: ČZU.

Příloha 1. Seznam tabulek

Tabulka 1: Klíčivost řepky olejky (květen 2014)	27
Tabulka 2: Klíčivost řepky olejky (září 2014).....	27
Tabulka 3: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD), medián, kvartilová odchylka klíčivosti semen řepky olejky (květen, září 2014)	27
Tabulka 4: Klíčivost kukuřice seté (srpen 2014)	29
Tabulka 5: Klíčivost kukuřice seté (říjen 2014)	29
Tabulka 6: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD), medián, kvartilová odchylka klíčivosti obilek kukuřice seté (srpen, říjen 2014).....	30
Tabulka 7: Rychlost klíčení řepky olejky (květen 2014).....	32
Tabulka 8: Rychlost klíčení řepky olejky (září 2014)	32
Tabulka 9: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD), medián, kvartilová odchylka rychlosti klíčení řepky olejky (květen, září 2014)	32
Tabulka 10: Rychlost klíčení kukuřice seté (srpen 2014).....	34
Tabulka 11: Rychlost klíčení kukuřice seté (říjen 2014).....	34
Tabulka 12: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD), medián, kvartilová odchylka rychlosti klíčení kukuřice seté (srpen, říjen 2014)	35
Tabulka 13: Energie klíčení – řepka olejka, 1. den (květen 2014)	37
Tabulka 14: Energie klíčení – řepka olejka, 2. den (květen 2014)	37
Tabulka 15: Energie klíčení – řepka olejka, 3. den (květen 2014)	37
Tabulka 16: Energie klíčení – řepka olejka, 4. den (květen 2014)	37
Tabulka 17: Energie klíčení – řepka olejka, 5. den (květen 2014)	38
Tabulka 18: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD) energie klíčení semen řepky olejky (květen 2014)	38
Tabulka 19: Energie klíčení – řepka olejka, 1. den (září 2014)	42
Tabulka 20: Energie klíčení – řepka olejka, 2. den (září 2014)	42
Tabulka 21: Energie klíčení – řepka olejka, 3. den (září 2014)	43
Tabulka 22: Energie klíčení – řepka olejka, 4. den (září 2014)	43
Tabulka 23: Energie klíčení – řepka olejka, 5. den (září 2014)	43
Tabulka 24: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD) energie klíčení semen řepky olejky (září 2014)	43
Tabulka 25: Energie klíčení - kukuřice setá, 3. den (srpen 2014)	48
Tabulka 26: Energie klíčení - kukuřice setá, 4. den (srpen 2014)	48
Tabulka 27: Energie klíčení - kukuřice setá, 5. den (srpen 2014)	48
Tabulka 28: Energie klíčení - kukuřice setá, 6. den (srpen 2014)	48

Tabulka 29: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD), popř. medián, kvartilová odchylka (KO) energie klíčení obilok kukuřice seté (srpen 2014)	49
Tabulka 30: Energie klíčení - kukuřice setá, 3. den (říjen 2014).....	52
Tabulka 31: Energie klíčení - kukuřice setá, 4. den (říjen 2014).....	53
Tabulka 32: Energie klíčení - kukuřice setá, 5. den (říjen 2014)	53
Tabulka 33: Energie klíčení - kukuřice setá, 6. den (říjen 2014)	53
Tabulka 34: Průměrná hodnota, směrodatná odchylka (SD), popř. medián, kvartilová odchylka (KO) energie klíčení obilok kukuřice seté (říjen 2014)	53

Příloha 2. Seznam obrázků.

Obr. 1. Diagram znázorňující typické druhy plazmatu.....	15
Obr. 2. Schéma generovaného plazmatu a způsob umístění semen během ošetření.	21
Obr. 3: Vzor pro skládání semen na filtrační papír (vlevo řepka, vpravo kukuřice)	24
Obr. 4: Semena naskládána v Petriho miskách (vlevo řepka, vpravo kukuřice)	24
Obr. 5: Běžící pokus v laboratoři (vlevo), naskládané Petriho misky v krabici (vpravo)	24
Obr. 6. Krabicový graf pro klíčivost řepky olejky (květen 2014) pro jednotlivé sady...	28
Obr. 7. Krabicový graf pro klíčivost řepky olejky (září 2014) pro jednotlivé sady	29
Obr. 8. Krabicový graf pro klíčivost kukuřice seté (srpen 2014)	31
Obr. 9. Krabicový graf pro klíčivost kukuřice seté (říjen 2014).....	31
Obr. 10. Krabicový graf pro rychlost klíčení řepky olejky (květen 2014)	33
Obr. 11. Krabicový graf pro rychlost klíčení řepky olejky (září 2014)	34
Obr. 12. Krabicový graf pro rychlost klíčení kukuřice seté (srpen 2014)	36
Obr. 13. Krabicový graf pro rychlost klíčení kukuřice seté (říjen 2014).....	36
Obr. 14. Vývoj energie klíčení semen řepky olejky v průběhu 1. až 5. dne (květen 2014)	39
Obr. 15. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 1. den (květen 2014)	40
Obr. 16. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 2. den (květen 2014)	40
Obr. 17. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 3. den (květen 2014)	41
Obr. 18. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 4. den (květen 2014)	41
Obr. 19. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 5. den (květen 2014)	42
Obr. 20. Vývoj energie klíčení semen řepky olejky v průběhu 1. až 5. dne (září 2014)	44
Obr. 21. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 1. den (září 2014)	45
Obr. 22. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 2. den (září 2014)	45
Obr. 23. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 3. den (září 2014)	46
Obr. 24. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 4. den (září 2014)	46
Obr. 25. Krabicový graf pro energii klíčení řepky olejky, 5. den (září 2014)	47
Obr. 26. Vývoj energie klíčení obilek kukuřice seté v průběhu 3. až 6. dne (srpen 2014)	49
Obr. 27. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 3. den (srpen 2014)	50
Obr. 28. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 4. den (srpen 2014)	51
Obr. 29. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 5. den (srpen 2014)	51
Obr. 30. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 6. den (srpen 2014)	52

Obr. 31. Vývoj energie klíčení obilek kukuřice seté v průběhu 3. až 6. dne (říjen 2014).....	54
Obr. 32. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 3. den (říjen 2014).....	55
Obr. 33. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 4. den (říjen 2014).....	55
Obr. 34. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 5. den (říjen 2014).....	56
Obr. 35. Krabicový graf pro energii klíčení kukuřice seté, 6. den (říjen 2014).....	56

Příloha 3. Ryplová R., Šerá B., Bicanová L., Landová T., Petrášková K., Rákosníková T., 2015: Odezva semenáčků řepky olejky na ošetření semen chladným plazmatem. In: Osivo a sadba XII. odborný a vědecký seminář. pp. 35-40. Praha: ČZU.

ODEZVA SEMENÁČKŮ ŘEPKY NA OŠETŘENÍ SEMEN CHLADNÝM PLAZMATEM

The Response of Rape Seedlings to Cold Plasma Treatment of Seeds

**Renata Ryplová, Božena Šerá, Laura Bicanová, Tereza Landová,
Kamila Petrášková, Tamara Rákosníková
Katedra biologie PF JU v Českých Budějovicích**

Abstract

This study investigated the effect of cold plasma treatment of rape seeds (*Brassica napus* L. var. *napus*) on germination, initial growth and basic physiological characteristics of first leaf (net photosynthesis - PN, and total chlorophyll content). The effects of different duration (0 min, 3 min, 5 min, and 10 min) of cold plasma treatment of rape seeds were studied. Although no significant influence of cold plasma treatment on seed germination was detected, initial growth of rape seedlings was affected. The cold plasma treatment of 5 min improved initial growth, but, on the other hand, negative impact of the 3 min cold plasma treatment on initial growth was found. Net photosynthesis and total chlorophyll content of the first leaf of rape seedlings were affected by cold plasma treatment as well. The effect varied according to the duration of cold plasma treatment and also according to the first leaf ontogeny. Higher PN values were reached by 20 days old plants of 3 min variant. At the age of 27 days significantly higher net photosynthesis values were reached by the plants of 3 min and 10 min treated variants. On the other hand, in senescent leaves, at the age of 34 days, lower PN values were detected in 10 min variant. Higher total chlorophyll content was measured in first leaf of 21 days old plants of 3 min as well as 10 min variant, but no significant changes were detected in older plants.

Key words: *rape seed, cold plasma, chlorophyll, net photosynthesis*

Souhrn

Ošetření semen chladným plazmatem je moderní high-tech metoda s potenciálem využití v zemědělství ke zvýšení klíčivosti a produktivity hospodářských plodin. Detailní znalosti vlivu ošetření semen chladným plazmatem na fyziologické charakteristiky rostlin však doposud chybějí. Z tohoto důvodu byl proveden experiment, v jehož průběhu byl sledován vliv ošetření semen brukve řepky olejky (*Brassica napus* L. var. *napus*) na klíčivost, počáteční růst a fyziologické charakteristiky prvního listu (čistou fotosyntézu PN a množství chlorofylu). Semena byla ošetřena chladným plazmatem po dobu 0 min, 3 min, 5 min a 10 min. Ošetření chladným plazmatem ani v jedné z pokusných variant neovlivnilo klíčivost, avšak počáteční růst ovlivněn byl. Pozitivní vliv bylo možno pozorovat u varianty 5 min, naopak u varianty 3 min se projevil efekt negativní. U rostlin kultivovaných následně ze semen v plně kontrolovaných podmínkách byl zjištěn také vliv ošetření semen na základní fyziologické charakteristiky prvního listu. Efekt ovlivnění se lišil v závislosti na délce oplazmování semen. 20. den kultivace byl zjištěn pozitivní vliv oplazmování na čistou fotosyntézu PN u varianty 3 min, 27. den byly zjištěny vyšší hodnoty čisté fotosyntézy u varianty 3 min i 10 min. Naopak 34. den kultivace vykazovaly rostliny varianty 10 min snížené hodnoty čisté fotosyntézy. U varianty 3 min i 10 min byl také zjištěn v 21. dnu kultivace vyšší celkový obsah chlorofylu a+b, během dalšího průběhu pokusu však již odchylky v obsahu chlorofylu a+b mezi variantami oplazmovanými a variantou kontrolní zjištěny nebyly. Vliv ošetření chladným plazmatem na čistou fotosyntézu i obsah chlorofylu vykazoval variabilitu v průběhu ontogeneze prvního listu.

Klíčová slova: *semena řepky, chladné plazma, chlorofyl, fotosyntéza*

Úvod

Brukev řepka olejka je rostlina světového hospodářského významu a mnohostranného využití. Proto je důležité hledat moderní metody vedoucí ke zvýšení klíčivosti semen i zvýšení produkce biomasy této hospodářské plodiny. V této souvislosti je v posledních letech zkoumán vliv ošetření semen plazmatem. Plazma je ionizovaný plyn složený z iontů, elektronů a dalších částic, který vzniká odtržením elektronů z elektronového obalu atomů plynu nebo ionizací molekul. Plazma se může používat ke sterilizaci povrchů (např. Mráz et al., 2013), ale může mít uplatnění i v pěstování rostlin. Předcházející studie prokázaly pozitivní vliv na klíčivost semen a počáteční růst různých druhů rostlin (Kuchtová et al., 2013a; 2013b; Šerá et al. 2009; 2012a; 2012b; 2013). U některých rostlin byl pozorován také pozitivní vliv ošetření semen plazmatem na následnou produktivitu rostlin (Jiang et al., 2014). Doposud však chybí hlubší studie popisující detailní odpověď fotosyntetického aparátu semenáčků na ošetření semen chladným plazmatem. Z těchto důvodů jsme provedli experiment, během něhož byl sledován vliv ošetření semen chladným plazmatem na klíčivost, rychlost fotosyntézy a obsah chlorofylu u semenáčků brukve řepky olejky.

Metodika

Semena brukve řepky olejky (*Brassica napus* L. var. *napus*), dále jen řepky, byla ošetřena chladným plazmatem. K modifikaci semen bylo použito atmosférické plazma generované mezi hliníkovými elektrodami, použitým plynem byl vzduch. Detailní popis aparatury je v práci Gavril et al., (2011). Semena byla ošetřena při různých časových expozicích (0 min, 3 min, 5 min, 10 min) v počtu 150 kusů na jednu variantu.

V průběhu experimentu byla zjišťována klíčivost a rychlost počátečního růstu rostlin jednotlivých variant a základní fyziologické charakteristiky prvního listu, konkrétně rychlost fotosyntézy a obsah fotosyntetických pigmentů.

Klíčivost a rychlost počátečního růstu

Pro testy klíčivosti byly použity plastové Petriho misky o průměru 9 cm. Na jednu Petriho misku byly umístěny 4 filtrační papíry KA0/80, 6 ml destilované vody a rozmístěno 30 semen. Na jedno ošetření bylo založeno 5 Petriho misek. Misky byly uloženy do tmy při teplotě cca 20 °C.

Experiment klíčení byl založen 12. 5. 2014 a trval 19 dnů. Během pokusu byl sledován počet klíčících semen a jejich přírůstky. Poslední den byly vyrostlé rostliny sklizeny, usušeny a byla určena jejich hmotnost.

Fyziologické charakteristiky prvního listu

Kultivace rostlinného materiálu

Ze semen ošetřených chladným plazmatem byly vypěstovány rostliny v plně kontrolovaných laboratorních podmínkách. Vzhledem k omezení prostorovými možnostmi kultivačního boxu byly pro sledování fyziologických charakteristik prvního listu vybrány pouze varianty 3 min, 10 min a varianta kontrolní (0 min). Semena řepky byla vyseta do komerčně připravované zeminy (Garden Forestina, Střelské Hoštice) do plastových květináčů o rozměrech 11 x 11 x 12 cm. Kyselost půdy byla pH 4,5 - 6,5. Do každého květináče bylo vyseto 5 semen v pravidelných vzdálenostech od sebe. Květináče byly umístěny po pěti na plata, tak, aby na každém platě byly květináče s rostlinami téže pokusné varianty. Takto bylo připraveno vždy 10 květináčů (2 plata) od každé pokusné varianty. Rostliny byly pravidelně zavlažovány do plat odstátou vodou z vodovodu, 0,5 l na každé plato denně, v posledním týdnu kultivace bylo zavlažováno 1 l vody denně. Rostliny byly umístěny do plně automatického kultivačního boxu Fytoscope (PSI, Brno, Česká republika) a pěstovány pod režimem uvedeným v tab. 1:

Tab. 1: Podmínky kultivace rostlinného materiálu

Fáze	Teplota (°C)	Relativní vlhkost (%)	Ozářenost ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Rozednívání 2 hod.	17 → 24	80 → 65	0 → 286
Den 10 hod.	24	65	286
Stmívání 2 hod.	24 → 17	65 → 80	286 → 0
Noc 10 hod.	17	80	0

Měření fotosyntetické výměny plynů

Počínaje 20. dnem kultivace byla v pravidelných týdenních intervalech měřena čistá fotosyntéza (P_N) prvního vyvinutého listu pomocí přístroje LI-6400 XT (LICOR Inc., Lincoln, NE, USA). Měření probíhalo přímo v kultivačním boxu, při denním režimu nastaveného programu (ozářenost $286 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). List řepky byl uzavřen do měřicí květy přístroje, v níž byly upraveny podmínky měření tímto způsobem: CO_2 400 ppm, rel. vlhkost 56 – 60 %, teplota listu 23 °C. Před měřením byl list ponechán v květě cca 10 – 15 min, do ustálení hodnot měřených parametrů. Tímto způsobem bylo provedeno vždy 10 měření náhodně vybraných rostlin od každé pokusné varianty. Měření probíhalo 20., 27. a 34. den kultivace. Další měření již nebylo možné na prvním listu provádět z důvodu jeho senescence.

Stanovení fotosyntetických pigmentů

Následující den po měření fotosyntetické výměny plynů (tj. 21., 28. a 35. den kultivace) byla prováděna analýza fotosyntetických pigmentů. Z prvního listu byly pomocí korkovrtu vyřaty terčíky o známém obsahu, z nichž byly pigmenty extrahovány 80 % acetonem. Množství chlorofylu pak bylo zjišťováno spektrofotometricky podle Lichtenthalera a Wellburna (1983), pomocí spektrofotometru UV VIS 250 (Shimadzu, Japonsko).

Statistická analýza

Získaná data byla zpracována v programech EXCEL a STATISTICA. Data byla normalizována logaritmickou transformací a následně statisticky vyhodnocena jedno faktorovou analýzou variance (one-way ANOVA) a poté HSD Tukey testem, vše na hladině významnosti 0,05.

Výsledky a diskuse

Klíčivost a rychlost počátečního růstu

Klíčivost semen řepky nebyla použitým ošetřením ovlivněna. Naopak v růstových parametrech semenáčků byly nalezeny signifikantní rozdíly vzhledem ke kontrolnímu vzorku (tab. 2).

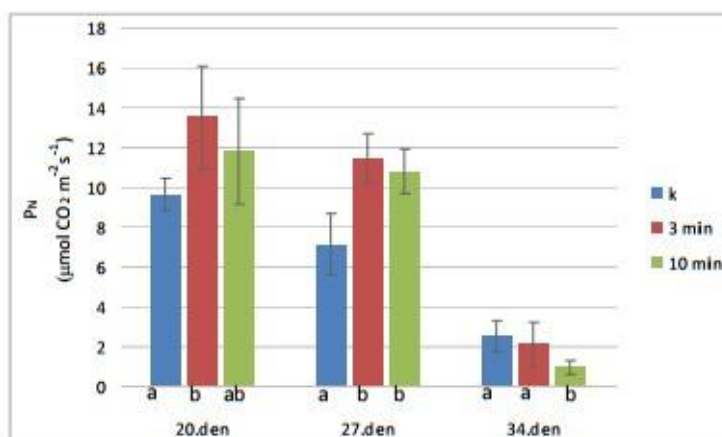
Tab. 2: Charakteristiky klíčení a počátečního růstu oplazmovaných semen řepky olejky z posledního dne pokusu. (Označení R znamená podzemní část rostliny a S nadzemní část rostliny. Různá písmena ve sloupci HSD uvádí významné rozdíly zjištěné v testu Tukey ($P < 0,05$) při porovnávání každý s každým. Tučně jsou vyznačené významné rozdíly u ošetřených semen vzhledem k příslušné kontrole)

	Klíčení		Délka R		Délka S		Čerstvá biomasa hmotnost R		Čerstvá biomasa hmotnost S		Sušina hmotnost R		Sušina hmotnost S	
	(%)	HSD	(%)	HSD	(%)	HSD	(%)	HSD	(%)	HSD	(%)	HSD	(%)	HSD
Kontrola	100	a	100	a	100	a	100	a	100	a	100	a	100	a
3 min	94	a	74	b	86	b	74	a	57	b	72	b	92	a
5 min	97	a	108	a	106	a	328	b	128	a	91	ab	104	a
10 min	102	a	97	ab	96	ab	148	a	119	a	96	a	93	a

Podle porovnání všech měřených charakteristik lze konstatovat, že nejlépe rostly rostliny ze semen ozářených chladným plazmatem po dobu 5 min. U této varianty byl zjištěn pozitivní trend v délkách nadzemních a podzemních orgánů a v množství biomasy. Pozitivní vliv byl zaznamenán především u hmotnosti čerstvých podzemních částí semenáčků po ošetření plazmatem po dobu 5 min v porovnání s kontrolním vzorkem. Naopak nejhůře rostly rostliny řepky ze semen plazmovaných po dobu 3 min. U těchto rostlin byly hodnoty všech sledovaných charakteristik pod hodnotami kontrolního vzorku.

Fotosyntetická asimilace CO₂ – čistá fotosyntéza P_N

Jednotlivé varianty vykazovaly statisticky významné rozdíly v čisté fotosyntéze prvního listu během celé doby jeho vývoje (graf 1). V prvním týdnu měření, tj. 20. den kultivace, byla nejvyšší čistá fotosyntéza prvního listu u semenáčků vyrostlých ze semen ošetřených chladným plazmatem po dobu 3 min, než u rostlin kontrolních (o cca 40 %). Semenáčky řepky ze semen ošetřených chladným plazmatem po dobu 10 min se v čisté fotosyntéze od ostatních dvou variant významně neodlišovaly. Ve druhém týdnu měření (27. den kultivace) došlo u všech variant pokusných rostlin k mírnému poklesu čisté fotosyntézy prvního listu, zřejmě v souvislosti s jeho probíhající senescencí. I tentokrát byla čistá fotosyntéza semenáčků varianty 3 min výrazně vyšší než u varianty kontrolní (cca 59 %). Ve 27. dnu kultivace byla zjištěna výrazně vyšší čistá fotosyntéza také u varianty 10 min (nárůst oproti kontrolní variantě cca 50%), přičemž nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi hodnotami čisté fotosyntézy prvního listu obou ovlivněných variant navzájem. Poslední měření (34. den kultivace) nízké hodnoty čisté fotosyntézy všech zkoumaných variant naznačují značný stupeň senescence. V tomto měření byl zjištěn nejvyšší pokles čisté fotosyntézy u rostlin varianty 10 min, kdy průměrná hodnota čisté fotosyntézy dosahovala pouhých cca 39 % hodnoty varianty kontrolní.

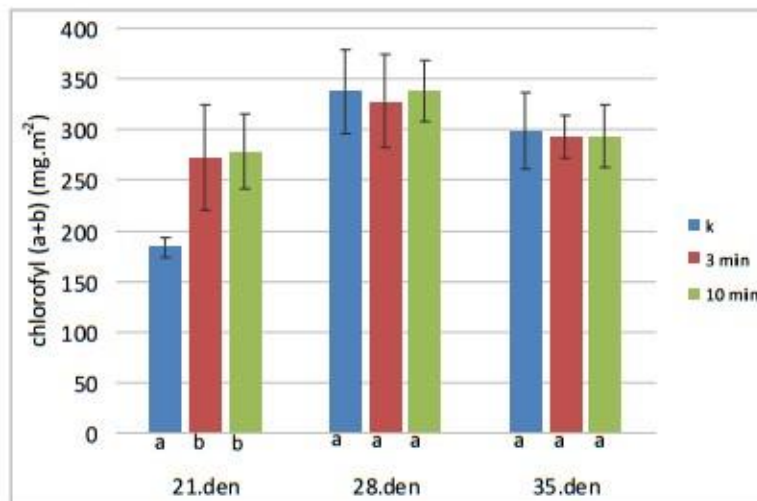


Graf 1: Vývoj průměrné rychlosti čisté fotosyntézy (PN) prvního listu v průběhu experimentu, 20., 27. 34. den kultivace (Chybové úsečky značí směrodatné odchylky. Různá písmena u jednotlivých sloupců v grafu značí významné rozdíly dle testu Tukey ($P < 0.05$) při porovnávání každých s každým)

Obsah chlorofylu a+b

U obou oplazmovaných variant pokusných rostlin došlo k významnému zvýšení (cca o 20 %) obsahu celkového chlorofylu prvního listu v prvním týdnu měření, tj. 21. den kultivace, (graf 2). Ve 28. a 35. dnu kultivace již nebyly sledovány žádné statisticky významné změny v obsahu celkového chlorofylu v prvního listu mezi jednotlivými zkoumanými variantami. Během vývoje v průběhu experimentu došlo u všech variant v druhém týdnu měření k mírnému nárůstu a ve třetím týdnu měření k mírnému poklesu obsahu celkového chlorofylu v prvního listu, zřejmě v souvislosti s ontogenetickými

změnami listu. Pozitivní vliv ošetření semen chladným plazmatem na obsah chlorofylu byl již v minulosti potvrzen u rostlin pšenice (Jiang et al., 2014).



Graf 2: Změny v obsahu chlorofylu (a+b) na m² listové plochy během vývoje prvního listu, 21., 28. a 35. den kultivace (Chybové úsečky značí směrodatné odchylky. Různá písmena u jednotlivých sloupců v grafu značí významné rozdíly dle testu Tukey ($P < 0,05$) při porovnávání každý s každým)

Oplazmování semen po dobu 3 min mělo zřejmě inhibiční vliv na některé parametry počátečního růstu klíčících rostlin do 19. dne, avšak již 20. den byly zjištěny u této varianty vyšší hodnoty čisté fotosyntézy i obsahu celkového chlorofylu. Oplazmování semen po dobu 10 minut neovlivnilo klíčivost ani počáteční růst, v 21. dnu kultivace se však projevilo nárůstem obsahu celkového chlorofylu. Pozitivní vliv oplazmování semen po dobu 10 minut na rychlost fotosyntézy bylo možno pozorovat až 27. den kultivace, avšak u senescenčních listů v 34. dnu kultivace byla čistá fotosyntéza rostlin této varianty naopak nejnižší.

Celkově lze tedy konstatovat, že byl zaznamenán vliv plazmování semen řepky na fyziologické a růstové parametry semenáčků. Efekt ovlivnění se lišil v závislosti na délce trvání ošetření semen chladným plazmatem a vykazoval výrazné změny v průběhu ontogeneze prvního listu. K vysvětlení této variability je potřeba dalšího výzkumu na úrovni fyziologických i biochemických charakteristik semenáčků.

Závěr

Ošetření semen chladným plazmatem ovlivnilo růstové a fyziologické charakteristiky v prvních fázích růstu rostlin brukve řepky olejky. Ovlivněny byly charakteristiky počátečního růstu mladých semenáčků (délky nadzemních a podzemních částí semenáčků, hmotnost jejich čerstvé biomasy a hmotnost sušiny kořenů), rychlost fotosyntézy i obsah chlorofylu v prvním listu starších semenáčků. Vliv ošetření semen chladným plazmatem se lišil u jednotlivých pokusných variant v závislosti na délce expozice semen vůči chladnému plazmatu.

Literatura

- GAVRIL B., HNATIUC E., SERA B., HRUSKOVA I., PADUREANU S., HĂISAN C., (2011). Possibilities of performing treatments on seeds using cold plasma discharges. In: XVIXth Symposium on Physics of Switching Arc, pp. 189-192, Bmo, University of Technology.
- HENSELOVA M., SLOVAKOVA L., MARTINKA M. & ZAHORANOVA A., (2012). Growth, anatomy and enzyme activity changes in maize roots induced by treatment of seeds with low-temperature plasma. *Biologia* 67/3: 490—497
- JIANG J., HE X., LI L., LI J, SHAO H., XU Q., YE R., DONG Y., (2014). Effect of Cold Plasma Treatment on Seed Germination and Growth of Wheat. *Plasma Science and Technology*, 16 (1), 54 – 58.
- KUCHTOVA P., SERA B., GAVRIL B., SERY M., HNAUTIC E., (2013a). Gliding arc plasma modified number of capsules in poppy seed. In: European Biotechnology Congress, Comenius Univ, Bratislava, Slovakia, May 16-18, 2013, *Current Opinion in Biotechnology*, 24(1). S133-S133. DOI: 10.1016/j.copbio.2013.05.425
- KUCHTOVA P., SERA B., HAJKOVA M., KAZDA J., DVORAK P., GAVRIL B., SERY M., MICA L., HNATIUC E., SPATENKA P., (2013b). Response of Poppy Seed on Non-thermal Plasma Treatment. In: 11th Scientific and Technical Seminar on Seed and Seedlings, Czech Univ Life Sci Prague (CULS), Prague, Czech Republic, Feb 07, 2013, *Seed and Seedlings*, 53-58.
- LICHTENTHALER H. K., WELLBURN A. R., (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591 – 592.
- MRAZ I., BERAN P., SERA B., GAVRIL B., HNATIUC E., (2014). Effect of low-temperature plasma treatment on the growth and reproduction rate of some plant pathogenic bacteria. *Journal of Plant Pathology*, 96 (1). 63-67.
- SERA B., GAJDOVA I., SERY M., SPATENKA P., (2013). New physicochemical treatment method of Poppy seeds for agriculture and food industries. – *Plasma Science and Technology*, 15(9):935-938. DOI: 10.1088/1009-0630/15/9/19.
- SERA B., GAJDOVA I., GAVRIL B., HNATIUC E., SERY M., SPATENKA P., (2012a). Hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds after plasma treatment. *Proceedings of the International Conference on Optimisation of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM*, art.no. 6231981, 1371-1374.
- SERA B., GAJDOVA I., CERNAK M., GAVRIL B., HNATIUC E., KOVACIK D., KRIHA V., SLAMA J., SERY M., SPATENKA P., (2012b). How various plasma sources may affect seed germination and growth. *Proceedings of the International Conference on Optimisation of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM*, art.no. 6231880, 1365-1370.
- SERA B., SERY M., STRANAK V., SPATENKA P., TICHY M., (2009). Does cold plasma change the seed dormancy? Study on seeds of Lambs Quarters (*Chenopodium album* agg.). - *Plasma Science and Technology*, 11(6). 750-754.

Contact address: RNDr. Renata Ryplová, Ph.D. Katedra biologie, PF JU v Českých Budějovicích, Jeronýmova 10, 371 15 České Budějovice, E-mail: ryplova@pf.jcu.cz