

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**

**PEDAGOGICKÁ FAKULTA**

**KATEDRA BIOLOGIE**

**Růstové faktory řepky olejky (*Brassica napus* L.) a kukuřice  
seté (*Zea mays* L.) po ošetření obilí netermálním  
plazmatem**

Tereza Landová

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Božena Šerá, Ph.D.

2015

## **Anotace:**

Ošetření semen studeným plazmatem patří v současné době k jednomu z trendů alternativního zemědělství. Spočívá ve stimulaci růstu semen bez podpory chemických stimulantů. Předmětem bakalářské práce je hodnocení účinku plazmatu na počáteční růst vybraných zemědělských plodin – kukuřice setá a řepka olejka. Od počátku klíčení byly měřeny délky nadzemních a podzemních částí. Vzešlá biomasa byla na konci každého pokusu vysušena a zvážena. Tyto hodnoty jsou ve výsledcích matematicky a graficky zpracovány a následně porovnány. Práce diskutuje, jaký čas stimulace plazmatem je pro danou plodinu nejvíce výnosný.

## **Anotation:**

Curently seed treatment with low-temperature plasma is one of the trends in alternative agriculture. This trend is based on a seed stimulation without the use of chemical stimulants. The subject of this thesis is the study the effects of low-temperature plasma on initial growth of selected agricultural crops – *Zea mays* L. and *Brassica napus* L.. The length of sprouts and roots were measured from the initial germination. Growing biomass was dried and weighed at the end of each experiments. Discussion is focused on the time of plasma treatment in relation to possible profitable crops.

Poděkování:

Touto formou děkuji RNDr. Boženě Šeré, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, za čas, který mi věnovala při zpracovávání a vyhodnocování výsledků a za odbornou pomoc.

Dále děkuji mé kolegyni Kamile Petráškové za věčné úsměvy v nesnázích a za pomoc při pracích v laboratoři a při vyhodnocování našich společných dat.

Poděkování také patří Miloslavě Škvorové a Janě Vomáčkové za poskytnutí potřebných semen.

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 výsledky obhajoby kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum:

Podpis studenta:

# Obsah:

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. ÚVOD .....</b>                                      | <b>7</b>  |
| <b>2. LITERÁRNÍ REŠERŠE.....</b>                          | <b>8</b>  |
| 2.1 CO JE PLAZMA.....                                     | 8         |
| 2.1.1 Výskyt plazmatu .....                               | 8         |
| 2.1.2 Vlastnosti plazmatu .....                           | 8         |
| 2.1.3 Druhy plazmatu.....                                 | 9         |
| 2.1.4 Použití netermálního plazmatu .....                 | 9         |
| 2.2 ŘEPKA OLEJKA ( <i>BRASSICA NAPUS L.</i> ).....        | 11        |
| 2.2.1 Morfologie a anatomie.....                          | 11        |
| 2.2.2 Růst a vývoj, organogeneze.....                     | 13        |
| 2.2.3 Rozšíření a produkce.....                           | 14        |
| 2.2.4 Podmínky prostředí.....                             | 15        |
| 2.2.5 Hospodářský význam .....                            | 18        |
| 2.3 KUŘICE SETÁ ( <i>ZEA MAYS L.</i> ).....               | 19        |
| 2.3.1 Morfologie a anatomie.....                          | 19        |
| 2.3.2 Růst a vývoj, ontogeneze .....                      | 22        |
| 2.3.3 Rozšíření a produkce.....                           | 24        |
| 2.3.4 Podmínky prostředí.....                             | 25        |
| 2.3.5 Hospodářský význam .....                            | 27        |
| <b>3. METODIKA.....</b>                                   | <b>29</b> |
| 3.1 POUŽITÉ VZORKY OSIVA.....                             | 29        |
| 3.2 PLAZMOVÁNÍ.....                                       | 29        |
| 3.2.1 Plazmování řepky olejky .....                       | 30        |
| 3.2.2 Plazmování kukuřice seté .....                      | 30        |
| 3.3 ZAKLÁDÁNÍ POKUSŮ.....                                 | 31        |
| 3.3.1 Pokusy s řepkou olejkou .....                       | 31        |
| 3.3.2 Pokusy s kukuřicí setou .....                       | 33        |
| 3.4 ZPŮSOB ZAZNAMENÁVÁNÍ HODNOT .....                     | 35        |
| 3.5 FOTOGRAFIE Z LABORATOŘE .....                         | 37        |
| <b>4. VÝSLEDKY .....</b>                                  | <b>38</b> |
| 4.1 POKUSY S ŘEPKOU OLEJKOU .....                         | 38        |
| 4.1.1 Výsledky pokusu s řepkou olejkou (květen 2014)..... | 38        |
| 4.1.2 Výsledky pokusu s řepkou olejkou (září 2014).....   | 40        |
| 4.2 POKUSY S KUKUŘICÍ SETOU .....                         | 42        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.2.1 Výsledky pokusu s kukuřicí setou (srpen 2014)..... | 42        |
| 4.2.2 Výsledky pokusu s kukuřicí setou (říjen 2014)..... | 45        |
| <b>5. DISKUSE .....</b>                                  | <b>47</b> |
| <b>6. ZÁVĚR.....</b>                                     | <b>50</b> |
| <b>7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>                | <b>52</b> |

# 1. Úvod

Studium fyziky plazmatu je oblastí, která má velikou budoucnost nejen v energetickém, ale i v zemědělském průmyslu. V zemědělství je zkoumáno z hlediska stimulace růstu a dezinfekce semen a plodů hospodářských plodin (Straňák a kol., 2007). Již v minulosti byly prováděny pokusy, které dokázaly, že tento proces může pozitivně ovlivnit povrchové vlastnosti semen a plodů, jejich klíčivost i růst (Dubinová a kol., 2000; Yin a kol., 2005; Šerá a kol., 2010; Henselová a kol., 2012). Aplikací této metody lze také dospět k lepší ochraně před škůdci a patogeny, jelikož plazma působí i antibakteriálně (Mráz a kol., 2014). Mezi jasné přednosti stimulace plazmatem patří výnosy plodin bez chemického ošetření.

V této práci se zabývám tím, jaký vliv má stimulace plazmatem na plody kukuřice seté a semena řepky olejky. Vyhodnocuji růstové faktory, tedy délku nadzemních a podzemních částí a hmotnost čerstvé a vysušené biomasy klíčícího osiva. Za základní předpoklad ve své práci považuji fakt, že délky nadzemních a podzemních orgánů jsou ovlivnitelné délkou působení plazmatu na semeno. Semena byla vystavována působení plasmu v časovém rozmezí od 1 po 10 minut. Podle zaznamenaných hodnot z laboratoře jsem vyhodnocovala nejvýnosnější sadu u řepky i kukuřice.

V teoretické práci se zabývám dosavadním výzkumem plazmatu a popisem použitých plodin (řepka olejka a kukuřice setá). V praktické části se věnuji vlastnímu pokusu, vyhodnocuji naměřené hodnoty délek a hmotností.

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo uskutečnit pokus zapadající do širšího kontextu probíhajícího výzkumu a ukázat, která délka expozice plazmatu je pro dané plodiny nejvýhodnější. Dalším cílem bylo zjištění rozdílů v rychlosti počátečního růstu mezi namořenou a nenamořenou kukuřicí setou. Dále pak porovnání dvou experimentů s řepkou olejkou spočívající v posouzení vlivu intervalu od doby stimulace plazmatem do doby vysetí.

## 2. Literární rešerše

### 2.1 Co je plazma

Mimo běžné skupenské stavy látek, tedy pevných, kapalných a plynných látek, se vyskytuje ještě takzvané čtvrté skupenství hmoty, tím je právě plazma (Stach, 1987). Plazma je charakterizováno jako elektricky vodivý plyn s atomy, které jsou disociované na kladné a záporné částice (Chen, 1984). Někdy bývá definováno jako směs na sebe vzájemně působících elektricky nabitých a neutrálních částic s rozdílnou energií, které udržují celkový kvazineutrální stav a kolektivní chování (Stach, 1987).

Kvazineutrální stav je takový stav, kdy v určitém objemu je přibližně stejný počet jak kladných, tak i záporných částic (Stach, 1987). Plazma, které má nabitě částice, může vytvářet místa s větší koncentrací kladných iontů a místa s větší koncentrací záporných elektronů. Tyto náboje vedou ke vzniku elektrických polí. Elektrická pole ovlivňují pohyb nabitých částic. Tím se rozumí to, že plazma vykazuje „kolektivní chování“ (Chen, 1984).

#### 2.1.1 Výskyt plazmatu

Vesmír je téměř celý (99 %) tvořen plazmatem. V plazmatickém stavu jsou nitra i atmosféry hvězd, mezihvězdný vodík i plynné mlhoviny. Naopak na Zemi se plazma vyskytuje spíše vzácně (Chen, 1984).

Ačkoliv se plazma vyskytuje na Zemi přirozeně, není to až tak běžná forma existence hmoty. Můžeme se s ním setkat při vzniku blesku nebo při svitu polární záře. Uměle vytvořené plazma se vyskytuje v zářivkách, neonových reklamách v podobě vodivého plynu nebo v plazmových televizích (Stach, 1987).

#### 2.1.2 Vlastnosti plazmatu

Plazma se v mnoha ohledech velice podobá plynům, ale liší se jednou důležitou charakteristikou a to tím, že částice v plazmatu jsou elektricky nabitě. Elektrická vodivost je hlavní vlastností plazmatu. Velká tepelná kapacita, působení elektrického i magnetického pole, šíření různých druhů vln patří mezi další charakteristické vlastnosti plazmatu, kterých se využívá v technických aplikacích.



Mezi děje, které probíhají uvnitř plazmatu, se řadí ionizace, srážky nabitých částic, excitace, pohlcování a vyzařování záření a v neposlední řadě za velmi extrémních podmínek dochází k termonukleární reakci.

Studium plazmatu je v posledních desetiletích velmi intenzivní. Je to důsledek především vyčerpání a nedostatku energie. S tím souvisí hledání nového způsobu výroby energie, kterou by měla být kontrolovaná termonukleární reakce. Studium probíhá i z jiných důvodů. Mezi další využití plazmatu patří plazmové hořáky, chemické reakce v plazmatu, plazmové generátory a nové technologie založené na zneškodňování a čištění nežádoucích příměsí různých látek či složek (Stach, 1987).

### **2.1.3 Druhy plazmatu**

Plazma se v závislosti na pracovní teplotě dělí na dvě skupiny – nízkoteplotní a vysokoteplotní.

První skupina se nazývá také netermální plazma. Při nízkém tlaku a dostatku budící energie přejde plynná látka v plazma, o nižší teplotě, přibližně do  $10^4 - 10^5$  K. Teplota, kterou mají jednotlivé druhy částic, je nestejná, elektrony mají teplotu do  $10^4$  K, zatímco teplota iontů dosahuje teploty okolního prostředí.

Druhou skupinou je vysokoteplotní plazma. Je to plazma, které vzniká při působení vysoké teploty. Toto plazma se používá hlavně pro termonukleární reakce. Teplota se pohybuje v řádech  $10^7 - 10^9$  K. Hledání obnovitelné energie se zaměřuje na ovládnutí termonukleární fúze. Při zahřátí plynu na velice vysokou teplotu dojde ke zvýšení srážení jednotlivých jader, mají velkou rychlost a tím dochází k interakci. Termonukleární fúze je příčinou hvězdného a slunečního záření, ale zde je termonukleární reakce nekontrolovaná, zatímco lidstvo potřebuje kontrolovanou reakci (Stach, 1987).

### **2.1.4 Použití netermálního plazmatu**

Nízkotermální plazma má široké spektrum uplatnění. Používá se v různých průmyslových odvětvích. Ošetření povrchu netermálním plazmatem má za následek například snížení nebo zvýšení povrchové energie modifikované látky. Tímto způsobem ošetření ovlivňujeme smáčivost povrchu. Netermální plazma působí

na látky pomocí energetické aktivity částic, UV zářením i chemickou reakcí. Tyto vlivy se mohou projevit i dezinfekčními účinky. Největší sterilizační efektivitu má plazma, které má v sobě kyslíkové ionty a radikály. V posledních letech se ošetření plazmatem studuje v oblasti stimulace povrchu osiva, kde má potenciál technologický a ekonomický.

Plazma má důležitou a přínosnou vlastnost – schopnost dodávat energii a urychlovat reakce, které by bez stimulace nenastaly. Charakteristické chemické reakce či fyzikální změny plazmatu jsou přisuzovány právě těmto účinným složkám. Tyto reakce by bez účinku plazmatu buď vůbec nenastaly, anebo by se uskutečnily za velice složitých okolností (Straňák a kol., 2007).

Používání různých fyzikálních metod se řadí mezi nejčastější aktuální výzkumné metody v oblasti zemědělských věd. Fyzikální faktory, jako ionizující záření, laser, vysokofrekvenční světelné záření, elektromagnetické záření aj. byly použity i pro stimulaci růstu. Využití magnetického a elektrického pole bylo široce využíváno k předčištění semen, ke zvýšení životnosti osiva a pro stimulaci klíčení semen, zvýšení vzcházejivosti, zvýšení výnosu a také pro stimulaci fotosyntetické aktivity. Laser, gama záření a elektrostatické pole zřejmě indukují enzymatickou aktivitu, změnu termodynamických parametrů a zrychlují fyziologické procesy a metabolismus. Jedním z dalších fyzikálních zdrojů, které nabízejí širokou škálu zajímavých průmyslových aplikací, je nízkoteplotní plazma. Existuje mnoho výsledků, které indikují pozitivní účinky nízkoteplotního plazmatu na klíčení semen (zvýšení klíčící síly semen a snížení doby klíčení), také na vývoj, růst, enzymatickou aktivitu a výnos plodin. Účinným důsledkem stimulace plazmatem je také sterilizace a destrukce mikroflóry na povrchu semen rostlin (Henselová a kol., 2012).

Již se provádělo mnoho prací, které zkoumaly účinky nízkoteplotního plazmatu na různé materiály. Zkoumala se jeho účinnost na živé buňky nebo tkáně. Yildirim a jeho kolektiv (2008) zkoumali, zda se po stimulaci plazmou zlepší adheze osteoblastů a jejich proliferace. Kalghatgi a jeho kolektiv (2007) popisují změny a mechanismy srážení krve při přímém kontaktu s netermálním plazmatem. Dalším předmětem zkoumání bylo působení netermálního plazmatu na inaktivaci bakteriálních buněk (Fridman a kol., 2007). Mnoho dalších prací popisuje působení na semena hospodářských plodin – oves setý a ječmen setý (Dubinov a kol., 2000),

oves setý a pšenice setá (Hrušková, 2009), pšenice setá a oves setý (Šerá a kol., 2010), mák setý a pohanka setá (Petřík, 2010), mák setý (Gavril a kol., 2012), kukuřice setá (Henselová a kol., 2012). Také bylo zkoumáno mnoho méně tradičních plodin, jako je světlice barvířská (Dhayal a kol., 2005), merlík bílý (Šerá a kol., 2008), paulovnie plstnatá (Živkovič a kol., 2004) nebo rajče jedlé (Yin a kol., 2005).

## **2.2 Řepka olejka (*Brassica napus* L.)**

Řepka olejka se řadí spolu s dalšími 200 rody do čeledi brukvovitých – *Brassicaceae*. Vznikla křížením brukve zelné (*B. oleracea*) a brukve řepice (*B. campestris*). Proto nemá planě rostoucího předchůdce. Po morfologické a anatomické stránce je to velice variabilní druh (Vašák a kol., 2000).

### **2.2.1 Morfologie a anatomie**

Řepka olejka je jednoletá přezimující plodina, která má v našem podnebném pásu vegetační dobu 300 – 340 dnů. V podmínkách nad 600 m. n. m. má vegetační dobu po celý rok. Řepka olejka je charakteristická svým kúlovým vřetenovitým kořenem. Nadzemní část se objevuje ve dvou formách. Na podzim ve formě vegetativní, kdy se vytváří listová růžice a na jaře ve formě generativní, kdy dochází ke zrání generativních orgánů (Vašák a kol., 2000). Na Obr. 1 je ilustrovaná celá rostlina řepky olejky.

Kořen dospělé řepky olejky je druhotně ztloustlý a má četné boční kořeny. Vyrůstá skoro z 90 % z orné půdy a zasahuje až do hloubek 300 cm. Je značně tvrdý, což je dáno druhotným tloušťnutím - přítomností zdřevnatělého xylému a sklerenchymatizované lýkové části. Cévní svazky jsou přítomny v radiálním uspořádání (Michl, 1988).

Kořen přechází v poddélžní článek – hypokotyl, který má u poškozené lodyhy regenerační funkci. Lodyha je chráněna voskovou vrstvou, díky které je zbarvena do šedozelena až šedofialova, je vyplněna dřevem (Michl, 1988). Může dorůstat délky v rozpětí od 120 cm do 220 cm. Lodyha se větví na četné množství lodyh prvního i druhého řádu, v úžlabí vyrůstají listy (Vašák a kol., 2000).



**Obr. 1.** Řepka olejka (*Brassica napus* L.)

(Převzato z Špaldon a kol., 1986)

Listy vyrůstají na lodyze střídavě a jsou přibližně lyrovitě peřenodílné (Baranyk a kol., 2010). Jsou tmavozelené barvy, pokryté, podobně jako lodyha, hladkým a lesklým voskovým povlakem. Rozlišují se listy rostoucí ve spodní a vrchní části lodyhy. Spodní listy jsou řapíkaté, krátké s velkými úkrojky a místy mají chlupy. Střední a horní listy jsou přisedlé, vůbec nemají chlupy, celokrajné či lehce ozubené a částečně objímají lodyhu (Michl, 1988).

Květenství řepky olejky je ve formě prodlouženého hroznu. Květy začínají rozkvétat odspodu, v horní části jsou nerozvinuté kvítky, které převyšují ty rozkvetlé (Michl, 1988). Oboupohlavní bisymetrické květy obsahují 4 kališní a 4 korunní lístky. Delší, korunní lístky jsou žlutě zbarvené, intenzita zbarvení záleží na odrůdě (Baranyk a kol., 2010). V květu je obsaženo 6 tyčinek, 2 krátké a 4 vnitřní dlouhé. Nejprve začínají rozkvétat hrozny na hlavním stonku a postupně se kvetení přesouvá na spodní části. Kvetení trvá až 21 dnů, záleží na vnějších podmínkách a počtu hroznů (Michl, 1988). Řepka olejka je fakultativně cizosprašná i samosprašná. Květ může být

opylen hmyzem, hlavně včelami, kterému poskytují nektar. Také může být opylen pylem z vlastních tyčinek (Baranyk, 2010).

Protáhlá šešule se dvěma chlopněmi s blanitou příhrádkou představuje plod řepky olejky. Na okrajích blanité příhrádky se tvoří průměrně 15-20 semen (Baranyk a kol., 2010). Po puknutí šešulí zbyde jen „rámeček“ se semeny, chlopně odpadnou (Michl, 1988).

Semena řepky olejky jsou červenohnědé až modročerné, většinou kulovité. Dosahují velikostí okolo 2 mm (Baranyk a kol., 2010). Z 50 % je semeno tvořeno olejem, z 20 % bílkovinami a zbytek činí jiné organické látky (Michl, 1988).

Řepka olejka je dlouhodobá rostlina, která potřebuje prodělat i několik teplotních změn pro její vyklíčení. Je schopná odolat při klíčení mrazu až -20 °C. Již při 1 °C začíná klíčit semeno. Po dobu 30 – 60 dnů trvá jarovizace, která nejlépe probíhá za krátkého dne (Vašák a kol., 2000).

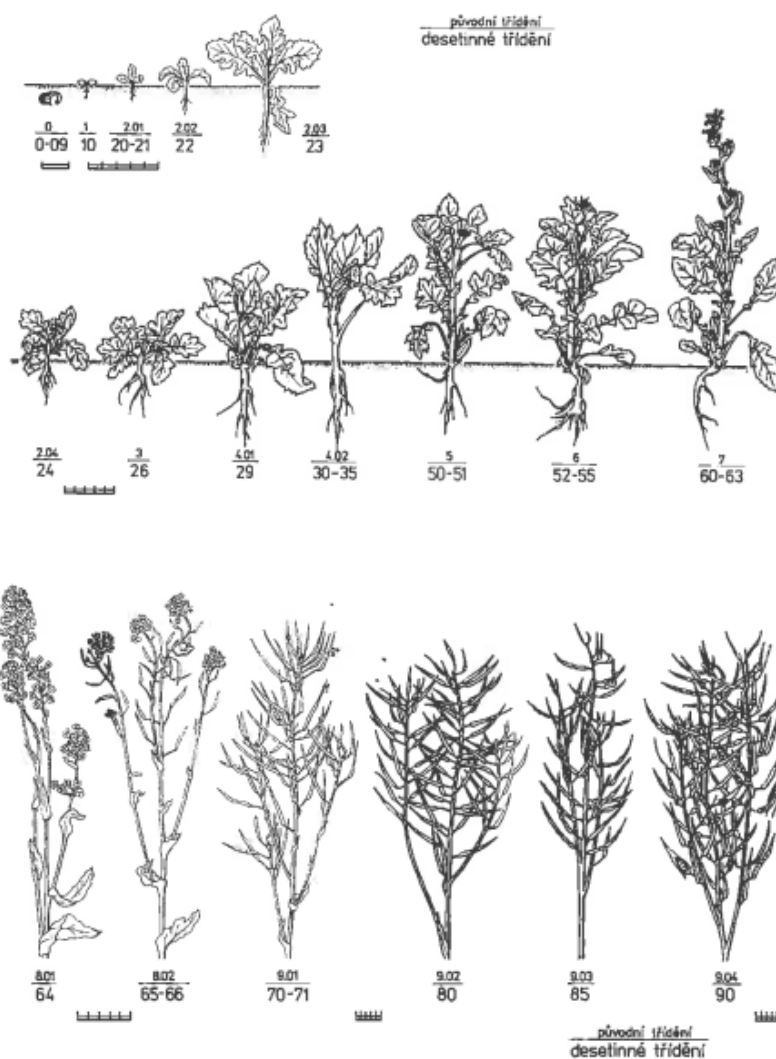
### **2.2.2 Růst a vývoj, organogeneze**

V době, kdy dochází ke klíčení, jsou okolní podmínky natolik optimální, aby mohl probíhat růst a vývoj dalších orgánů. Nejprve se objevuje ohnutý tenký hypokotyl a děložní lístky, které nejsou ještě rozvinuty (Michl, 1988). Tyto procesy probíhají pomocí dělení a růstu buněk meristému ve vzrostlém vrcholu, buňky se rozrůžňují podle určité funkce a tím se začínají tvořit funkční orgány. Tato diferenciace probíhá prvotně hlavně působením fytohormonů na různé části rostliny a také díky genetickému regulačnímu uspořádání (Baranyk a kol., 2010).

Během podzimního vegetačního období dochází ke tvorbě a růstu vegetativních orgánů a ke shromažďování asimilátů v oblasti kořene a hypokotylu. Na jaře tyto shromážděné látky podporují vývoj generativních orgánů a podílejí se na jejich vyživování během růstu (Michl, 1988).

Rozlišuje se mnoho růstových fází, které jsou ilustrovány na Obr. 2. Po vytvoření vegetativní sféry, se buňky rozrůžňují v pletiva a tvoří se zárodečné orgány. Po vyvinutí všech vegetativních orgánů se začíná diferencovat květenství na hlavním vrcholu lodyhy. V další fázi dochází ke tvorbě květů a generativních orgánů. Začíná se zakládat kalich a koruna, tyčinky a pestíky. Také se tvoří mateřské buňky pylu

(mikrospory) a buňky zárodečného vaku (makrospory) a posléze se vytváří samčí a samičí gametofyt. Po úplném dokončení gametogeneze se vytváří zelená poupata, která se poté zbarví a přemění v květ. Květ oplozením přechází v plod se semeny, které se dále odvodní a přejdou do vynuceného klidového stavu (Michl, 1988).



**Obr. 2.** Růstové fáze řepky olejky  
(Převzato z Hosnedl a kol., 1998)

### 2.2.3 Rozšíření a produkce

Oblast mírnějšího pásma je nejpřirozenějším výskytem řepky olejky, původně výskyt zasahoval až do středomořské oblasti, kde vládou optimální podmínky pro výskyt brukve zelné a řepice, jejichž křížení dalo vzniku řepce olejce. Řepka olejka se stále rozšiřuje do jiných oblastí a řadí se tak ve světě mezi 10 nejvýznamnějších hospodářských plodin (Vašák a kol., 2000). Řepka olejka je druhou nejvýznamnější

olejninou ve světě. Její produkce činí 55 miliónů tun semen, mezi největší producenty se řadí Evropská unie a Čína (Baranyk a kol., 2010). Řepka olejka se postupně začíná pěstovat i ve stepních zemích – Kanada, Austrálie, Rusko. Pěstuje se nejen kvůli zvyšující se potřebě oleje a nízkým osevním nákladům, ale také díky tomu, že je považována za výbornou předplodinu pro pšenici. Německo je v EU největším producentem řepky olejky, vyprodukuje přibližně 5 miliónů tun. Mezi významné pěstitele v Evropě patří Francie, Velká Británie, Polsko a Česká republika (Bečka a kol., 2007).

ČR nyní vyprodukuje okolo 1 miliónu tun a výnos činí 3 - 3,2 t/ha semen (Bečka a kol., 2007). V Česku se pěstování řepky rozmohlo na začátku předminulého století. Řepka olejka se používala hlavně v potravinářském průmyslu. Po roce 1990 došlo spolu s ústupem jetelovin a luskovin ke ztrojnásobení ploch osetých řepkou olejkou, která se začala využívat k energetickým účelům (Bečka a kol., 2007; Vašák a kol., 2000).

#### **2.2.4 Podmínky prostředí**

Nejlépe se řepka olejka pěstuje v nížinách, ale lze ji vypěstovat i ve vyšších nadmořských výškách okolo 700 m. Její výhodou je to, že je možné ji vypěstovat téměř kdekoli. Oproti jiným plodinám (např. pšenice) není náchylná na teplotu, nadmořskou výšku nebo typ půdy. Optimální podmínky pro pěstování řepky olejky jsou polohy, kde je roční průměr teplot v rozpětí 6,5 – 8,5 °C a roční úhrn srážek 500 – 750 mm.

Nejnevýnosnější podmínky pro růst řepky olejky představují stanoviště, kde je půda více než týden zaplavená. Místa, kde mrazy dosahují hodnot až -20 °C a sníh zůstává déle než 2 měsíce na půdě, nejsou ideální pro pěstování řepky olejky (Vašák a kol., 2000).

##### **a) Půdní podmínky**

Pro nejúrodnější pěstování řepky olejky by měla být půda hlinitá, písčitohlinitá až hlinitopísčité. Měla by mít dostatek kyslíku a humusu nad 1,5 %, vyšší množství vody a živin (hlavně Mg, P, K, a B). Půda by také měla mít neutrální až slabě kyselé pH. Pravidelné a dostatečné hnojení je základem pro úrodné pěstování (Vašák a kol., 2000).

Hluboké strukturní půdy jsou schopné poskytnout řepce olejce optimální množství organické složky a vody. V půdách lehkých a písčítých je výnos závislý na četnosti srážek v průběhu vegetace. Špatná kompaktnost těžkých půd je důvodem nevýnosnosti řepky olejky, kořeny se již na začátku růstu špatně zakotví a také mají málo vláhy. Řepka má v půdách protierozní funkci, jelikož je utvrzuje svými kořeny (Baranyk a kol., 2000).

Na konci vegetační doby řepka zpětně poskytuje živiny do půdy. Má veliké množství biomasy z kořenů i z lodyh proto poskytuje velké množství organické složky. Působí jako jeden z faktorů, které pozitivně ovlivňují úrodnost půdy (Baranyk a kol., 2010). Řepka olejka se kvůli této výhodě pěstuje hlavně jako předplodina pro pšenici, jelikož pšenice je náročnější na množství živin v půdě, které řepka zpětně vpustí do půdy. Neměla by se vysívat na místech, kde již předešlý rok byla vyseta. Je to z důvodu možnosti výskytu chorob a škůdců, kteří přežívají tuto dobu v půdě a nakazí tak další linii řepky olejky. Rozestup pro setí na témže místě by měl činit při běžném pěstování nejméně 4 roky (Vašák a kol., 2000).

#### b) Srážky

Dobrý růst a vývoj řepky olejky může probíhat pouze za dostatečného množství vláhy. Řepka olejka potřebuje vlhčí a teplejší podmínky, nikoli ale trvalé zaplavení či časté srážky. Semeno k nabobtnání potřebuje vodu o objemu 51 % své hmotnosti (Michl, 1988). V době setí, tedy v srpnu, potřebuje řepka olejka první srážky k uchycení v půdě a vzrůstu kořínků, opačný účinek mají silné srážky, kdy dochází až k odumírání v důsledku nepřístupu kyslíku k rostlině. Po vytvoření listů je již poté lepší sušší podnebí, aby řepka příliš nevzešla a v zimě neomrzla (Vašák a kol., 2000).

#### c) Teplota

Řepka olejka prochází, dvěma teplotními fázemi, zimní a jarní. Pro růst a vývoj musí projít oběma fázemi, proto bude závislost teploty na růstu značná. Během zimy snese teploty kolem  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , při holomrazech je již hraniční teplota okolo  $-13$  až  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pod sněhem v nezamrzlé půdě vydrží řepka olejka i teploty okolo  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Michl, 1988).



V jarním období snese teploty do 20 °C. Záleží především na působení teploty v době růstu a vývoje. V období, kdy počínají pupeny kvést, mohou mrazy okolo -6 °C způsobit popraskání stonků a opad poutat a květů (Vašák a kol., 2000).

#### d) Světlo

Jako všechny ostatní rostliny, je řepka olejka z metabolického hlediska závislá na světle. Je rostlinou dlouhodobní. Pokud by řepka neměla dostatek světla, docházelo by k nedostatečnému tloušťnutí pletiv. Pletiva by nebyla dostatečně pevná a rostlina by těžce odolávala přírodním podmínkám (teplotám, srážkám aj.). Kvůli možnému zastínění rostlin navzájem, se musí dodržovat při osevním postupu šířka řádků pro setí. Hustě seté plodiny se málo větví, vyrůstají více do výšky a tím vzniká více biomasy na úkor semene (Michl, 1988).

#### e) Ekologické podmínky

Mezi nejdůležitější skleníkové plyny se řadí CO<sub>2</sub> a NO<sub>2</sub>. Tyto plyny v atmosféře absorbují tepelné záření a tak oteplují Zemi a udržují ji na určité hladině teploty. Pokud ale bude koncentrace těchto plynů v atmosféře stoupat, bude teplota atmosféry vyšší. Rostliny dokážou poutat až polovinu CO<sub>2</sub> z atmosféry a přeměňovat ho svým metabolismem na vodu a kyslík. Naopak NO<sub>2</sub> nedokážou rostliny nijak poutat.

NO<sub>2</sub> je nejvíce produkován z polního hospodářství – dusíkatými hnojivy. Právě nárůst NO<sub>2</sub> je obávaným rizikem při zvyšování osevních ploch řepky. Řepka olejka má vysoké nároky na dusík a jiné minerální složky, musí se tedy pravidelně hnojit dusíkatými hnojivy. Emise NO<sub>2</sub> je příčinou bakteriálních procesů, které probíhají v půdě. V budoucnosti tedy produkce řepky olejky bude závislá na dusíkatých hnojivech, jelikož výnos je dán právě hnojením (Masarovičová a kol., 2014).

Mezi nejčastější živočišné škůdce řepky olejky se řadí plži, dřepčící, pilatka, květilka, dále hlodavci a brouci jako blýskáček, také bejlmorka či mšice. Mezi hlavní houbové patogeny se řadí fómová suchá hniloba – houba *Leptosphaeria maculans*, sklerotiniová hniloba – houba *Sclerotinia sclerotiorum*, a jiné choroby. Proti těmto škůdcům pomáhá aplikace různých druhů pesticidů, jejichž náklady na pořízení se pěstitelům několikrát vrátí. Právě proto je řepka upřednostňovaná před jinými plodinami. (Baranyk a kol., 2010).

### 2.2.5 Hospodářský význam

Řepkové semeno má nejen v zemědělském průmyslu ekonomicky významnou roli. Pokud je zajištěn dobrý výnos, musí být současně zajištěn i dobrý odbyt. Mezi nejdůležitější oblasti využití se řadí: potravinářství, krmivářství, oleochemie a také slouží jako zdroj obnovitelné energie (Baranyk a kol., 2010).

Výroba potravinářského oleje z řepkových semen se stala populární po druhé světové válce. V této době se olej používal za různými účely, k výrobě ztužených tuků, margarínů a také jako stolní olej (Vašák a kol., 2000). Pokud porovnáme řepkový olej s ostatními, tak má určité přednosti, např. má vyšší a delší trvanlivost, snáší velmi dobře vyšší teploty. Ve svém složení má méně nasycených mastných kyselin a více nenasycené kyseliny olejové, linolové, alfa-linoleové a také větší množství vitamínu E (Baranyk a kol., 2010). Nyní se z 50 miliónů tun řepkových semen vyrobí přibližně 19 miliónů tun řepkového tuku. Do potravinářství vstupuje 13-14 miliónů tun oleje a ze zbytku se vyrábí hlavně biopaliva a částečně se užívají pro přípravu mazadel a jako zdroj tuku pro krmné směsi (Bečka a kol., 2007).

Řepkovou biomasou se kvůli velkému množství bílkovin mohou zkrmovat hospodářská zvířata. Krmné směsi jsou nejčastěji ve formě extrahovaných šrotů, které vznikají extrakcí tuku ze semene. Mohou se použít i řepkové výlisky, které se získávají lisováním semene, nebo se semena jednoduše drtí či se zvířata krmí čerstvou řepkou (Vašák a kol., 2000). Avšak použití řepky olejky jako krmiva brzdí obsah antinutričních látek (glukosinoláty), které jsou právě v řepce v různém poměru zastoupeny. (Baranyk a kol., 2010).

Z řepky olejky se mohou vyrábět i technické oleje, které mohou dále hydrolyzovat či alkoholyzovat až na glycerol a mastné kyseliny a jejich deriváty, které mají široké použití v průmyslu (Baranyk a kol., 2010). Působení ochrany přírody se začaly vyrábět z řepkového oleje maziva, která jsou výhodná právě svou snadnou biologickou rozložitelností (Vašák a kol., 2000).

Nyní je velice diskutabilním produktem z řepky olejky bionafta. Bionafta vznikne transesterifikací řepkového oleje a methylenem za vzniku methylesteru řepkového oleje (MEŘO). Methylester řepkového oleje je právě bionafta, pohonná hmota. Hlavní výhodou MEŘO je velmi dobrá biologická rozkladnost a také fakt,

že nezpůsobuje nadměrnou tvorbu skleníkových plynů ani jiných toxických látek pro životní prostředí. Mezi významné nevýhody se řadí velká spotřeba jako pohonné hmoty a tím tedy nutná vyšší produkce řepky olejky (Baranyl a kol., 2010).

Množství biomasy, které vznikne z řepky olejky při produkci oleje, se řadí mezi nejvyšší ze všech plodin. Na 170 tisíc tun methylesteru řepkového oleje připadá přibližně 340 tisíc tun lisované, šrotované biomasy. Tyto zbytky ale mají jednu důležitou přednost a to vysokou výhřevnost, proto se také používají v energetickém průmyslu pro tvorbu tepla a elektřiny (Baranyk a kol., 2010). Avšak nevýhodou je, že se biomasa odvádí z půdy a spaluje se. Tím se nedostanou živiny zpět do půdy a půda je ochuzována (Vašák a kol., 2000).

## **2.3 Kuřice setá (*Zea mays* L.)**

Kukuřice setá je jednou z nejvýznamnějších plodin světa. Není známa žádná její planá forma. Známe ji pouze jako kulturní plodinu, u které se přesně neví její původ (Zimolka a kol., 2008).

Pěstování kukuřice seté má v Americe historii delší než 5000 let. Nejpůvodnější rozšíření má ve Střední a Jižní Americe, odkud se po objevení Ameriky rozšířila na všechny kontinenty mimo Antarktidu (Diviš a kol., 2000). Kukuřice setá se řadí do jednoděložných rostlin - *Monokotyledonea*, do čeledi lipnicovitých - *Poaceae*, skupiny kukuřicovitých - *Maydeae* (Zimolka a kol., 2008). Tato skupina kukuřicovitých se dále rozděluje podle určitých charakteristik (tvaru zrna a barvy) do dalších skupin (Diviš a kol., 2000).

### **2.3.1 Morfologie a anatomie**

Kukuřice setá je jednoletá jednodomá rostlina, která může být pěstována v různých podmínkách, jelikož se snadno přizpůsobí. Má různopohlavní květ s rozděleným samčím a samičím květenstvím (Moudrý a Jůza, 1988). Podle charakteru endospermu zrna se *Zea mays* L. rozděluje do několika poddruhů a variant. Hospodářsky nejvýznamnější variantou je kukuřice koňský zub a kukuřice tvrdá (Špaldon a kol., 1986). Nákres rostliny kukuřice seté je uveden na Obr. 3.



a) kořeny, a<sub>1</sub>) vzdušné kořeny,  
b) stéblo, c) internodium, d) kolénka, e) listy, f) lata, g) palice

### Obr. 3. Kukuřice setá (*Zea mays* L.)

(Převzato z Sobotka a Jelínková-Paroulková, 1958)

Hluboký a svazčitý kořenový systém je pro kukuřici setou charakteristický. Kořeny mohou zabíhat do hloubek tří a více metrů a tím zajišťují dostatek vody a živin i v dobách, kdy je těchto faktorů nedostatek. Do povrchových vrstev půdy zasahuje pouze jemné kořenové vlášení, které může zasahovat až 100 cm od stébla (Zimolka a kol., 2008). Primární kořeny začínají vyrůstat již v zárodku, sekundární kořeny představují ostatní stonkové adventivní kořeny (Diviš a kol., 2000). Důležitou funkci mají vzdušné kořeny, které vyrůstají na bázi 2. a 3. nadzemního internodia. Po zarůstání do půdy získávají opěrnou funkci, chrání rostlinu před polehnutím. Později jsou schopné se přeměnit na kořeny získávající živiny z půdy. Hlavní biomasa kořenů se nachází v půdě v hloubce okolo 0,4 metrů (Špaldon a kol., 1986).

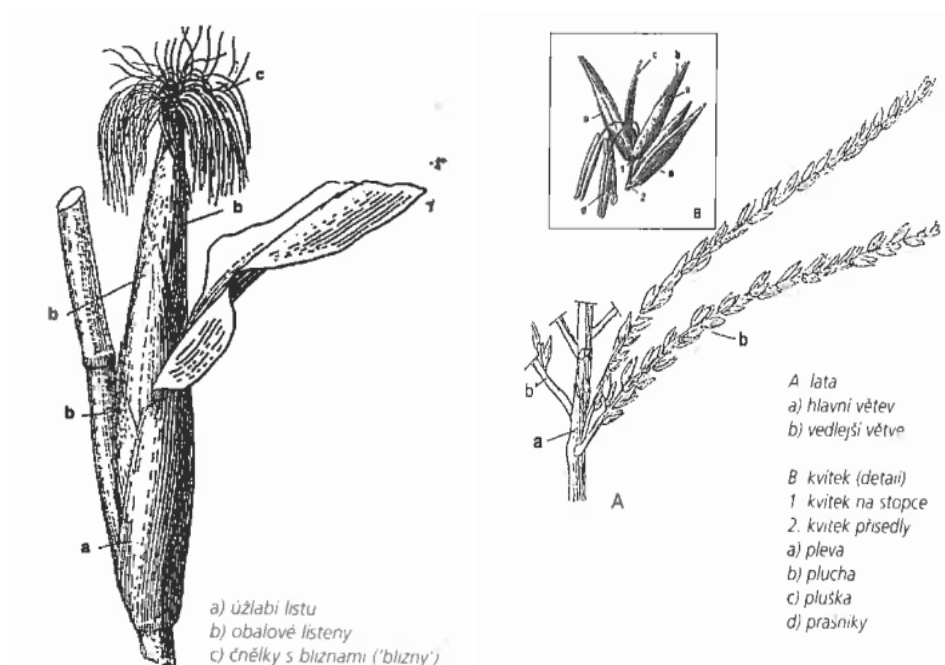
Stéblo je hladké, vzpřímené a dužnaté, může dosahovat až tří metrové výšky (i více). Stéblo je vždy v horní části užší než v dolní. Stéblo, jako u ostatních obilovin, se skládá z článků (internodií) a kolének (nodů). Zprostředkovává přenos živin z kořenů do asimilačních orgánů – listů a je též zásobním orgánem. U kukuřice seté je nejčastější počet článků a kolének od 11 do 15, záleží na okolních podmínkách a podnebí (Zimolka a kol., 2008). V podzemní části stébla je několik kolének, která se shlukují do tzv. odnožovacího uzle. Ve stéblu se nachází dřev, která má stabilizační funkci, zvyšuje pevnost a je zásobním pletivem. Cévní svazky jsou na okraji velice husté a uzavřené sklerenchymatizovanými pochvami, do středu cévní svazky ubývají. Na počátku každého článku stébla je pás meristematického pletiva, který svým dělením buněk prodlužuje celý stonek. V kolénkách se nachází silně tvrdé pletivo, kde se kříží cévní svazky sousedních článků (Špaldon a kol., 1986). Z jednotlivých kolének vyrůstají vždy dva vstříčné listy, chrání tak bazální části článků. Nejvyšší článek přerůstá v květenství - latu (Zimolka a kol., 2008).

Listy kukuřice seté jsou široké a dlouze kopinaté se širokou čepelí, kde má viditelné střední žebro. Buňky na okraji listu rostou rychleji oproti čepeli, tím jsou okraje zvlněné. Povrch listu na vrchní straně je pokryt chloupky, spodní strana je hladká. Ve spodní části listu objímá stéblo, tvoří jazýček a pochvu, která chrání bázi článků s meristematickým pletivem a také úžlabní pupeny. Jazýček objímá stéblo a tím shromažďuje vodu do listové pochvy. V listu se také nachází elastické buňky, které jsou zanořeny až v mezenchymu a mají schopnost nabobtnání. Tak tedy dochází ke svinutí listů při ztrátě vody. Jejich listy jsou přizpůsobené ke vstřebávání i nepatrných srážek (Zimolka a kol., 2008).

Vytvořením samčího květenství – latic na konci stébla končí celkový vývin stébla. Samičí květenství je klas (palice), který je obalen listeny a vyrůstá ve střední části stébla. Květenství se tvoří i na vedlejších větvích, tvoří je dvoukvěté klásky, u samičího je ale pouze jeden plodný. Klásky i zrna na palici jsou stavěny do řad.

Kukuřice setá je cizosprašná plodina, proti samoopylení se brání tím, že samčí květy kvetou o 10 dnů dříve než květy samičí. Při dozrání pylových zrn v latě se pomocí větru začne jejich velké množství šířit. Uvolňování pylu trvá až 8 dní. Čnělky na samičím květenství se prodlužují a vylézají ven z palice a tím zachycují velké

množství pylu. Palice kvetou přibližně 15 dní. Po 45 dnech po oplození vznikne plně diferenciované embryo, z něhož se dále vyvine plod – zrno (Zimolka a kol., 2008). Na Obr. 4 můžeme porovnat samčí a samičí květenství. Samčím květenstvím je lata a samičím květenstvím je palice neboli klas (Skládanka, 2006).



**Obr. 4.** Samčí květenství (vpravo) a samičí květenství (vlevo) kukuřice seté  
(Převzato z Zimolka a kol., 2008)

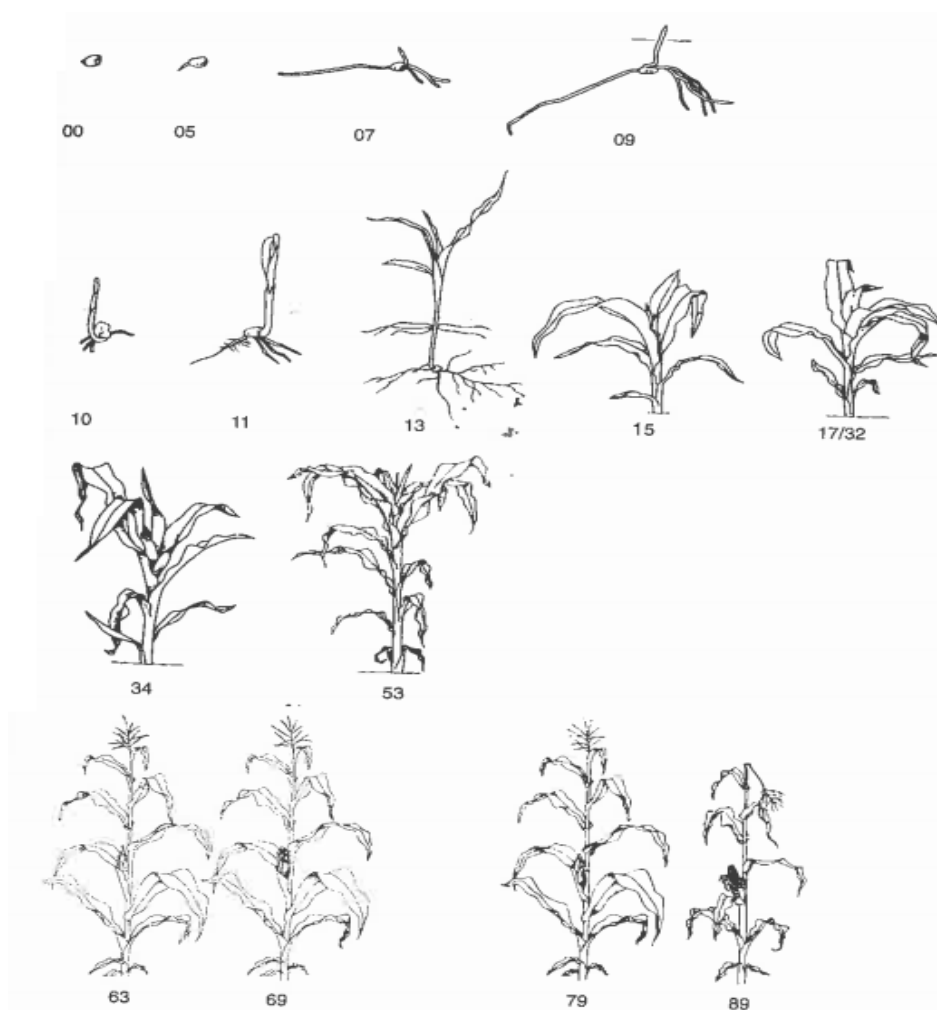
Plodem kukuřice seté je větší obilka, která váží od 50 – 800 g (Moudrý a Jůza, 1988). Zrna mají zploštělý až kulovitý tvar a jsou na palici nepravidelně rozmístěna. Endosperm v zrnu zaujímá 85 % a 10 % embrya připadá na štítek. Na zrnu se vyskytuje oplodí, které se skládá z vrstvy tenkostěnných buněk se suberizovanými buněčnými stěnami. Oplodí chrání plod před poškozením a před napadením patogenů (Zimolka a kol., 2008). Mezi hlavní chemické složky zrna se řadí ze 70 % škrob, ze 12 % bílkoviny, ze 3 % sacharidy a z asi 2 % vlákninu. Obsahuje také malé množství tuku (3 - 6 %), karotenů, vitamínu E a minerálních látek. Tyto hodnoty se mohou lišit a to v závislosti na stanovišti, podnebí, množství živin v půdě a hnojení a také na odrůdě kukuřice seté (Diviš a kol., 2000).

### 2.3.2 Růst a vývoj, ontogeneze

Kukuřice setá se řadí mezi krátkodenní rostliny. Na prodloužení dne tedy reaguje zvýšením své asimilační funkce i rychlosti růstu. Řadí se mezi C4 rostliny, což

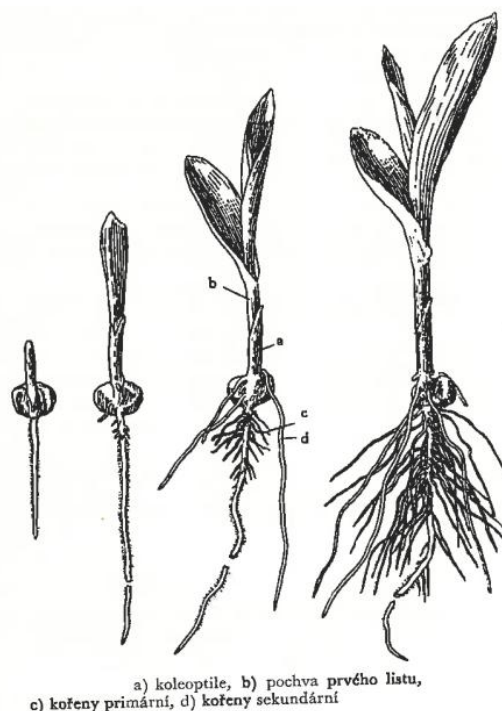
znamená, že využívá Hatch-Slackův cyklus pro výrobu oxalacetátu (Zimolka a kol., 2008). Fotosyntéza probíhá ve dvou druzích buněk, v pochvách cévního svazku a v mezofylových buňkách, kde probíhá světelná fáze fotosyntézy. Tento proces jim umožňuje vyšší produkci sacharidů, ale také vyšší spotřebu energie (Špička, 2004).

Celkový vývoj je znázorněn na Obr. 5. Růstové a vývojové změny se můžou rozdělit do čtyř základních období. První fází se rozumí počáteční vegetativní období, kdy dochází ke klíčení, vzcházení rostliny a tvoří se listy. V další fázi - aktivní vegetativní období, začíná prodlužování stébla, vytváří se kolénka a články, začíná se tvořit květenství, které později kvete. Počáteční období naplňování obilek je dalším obdobím, dochází k opylení blizen a oplodnění vajíček. Aktivní období naplnění obilek se charakterizuje celkovou zralostí rostliny až do sklizňového období (Moudrý a Jůza, 1998).



**Obr. 5.** Růstové fáze kukuřice seté  
(Převzato z Zimolka a kol., 2008)

Vyšší příjem vody a bobtnání aktivuje klíčení obilky. Pro růst kořínku v půdě je nutný obsah vody nejméně 57 % při 30 °C. Doba klíčení činí okolo 7 - 10 dnů, při optimálním příjmu vody a teplotě může vzejít již za 4 - 5 dnů (Skládanka, 2006). Kukuřice se řadí mezi rostliny, které klíčí hypogeicky, uplatňují podzemní klíčení. Směrem dolů roste primární kořen a směrem vzhůru epikotyl, z něhož nad půdou vyrůstají listy. Klíčení kukuřice seté je znázorněno na Obr. 6.



**Obr. 6.** Klíčící rostlina kukuřice seté  
(Převzato ze Sobotka a Jelínková-Paroulková, 1958)

### 2.3.3 Rozšíření a produkce

Prvotní oblastí výskytu kukuřice seté je hlavně Mexiko a Peru, kde je dosud známá její největší druhová rozmanitost. Do západní Evropy byla dovezena po objevení Ameriky a pěstována z okrasných důvodů na zahradách. Díky své variabilitě a výnosnosti a také ekologické přizpůsobivosti byla rozšiřována na velké vzdálenosti, do severní Afriky, Turecka a východní Evropy (Zimolka a kol., 2008).

Hlavně ve 20. století se v ČR rozšířilo pěstování kukuřice seté a to díky vyšlechtění raných odrůd, kterým se daří i v těchto podmínkách. Hlavními směry využití kukuřice seté je zpracovávání na zrno, ale také pro siláž (Špaldon a kol., 1986).



Kukuřice setá se zde začala používat jako zdroj lidské výživy a také v průmyslu chemickém, farmaceutickém, stavebním, papírnickém a také v krmivářství měla významnou roli. V ČR se pěstuje v nejteplejších oblastech Moravy a Čech (Diviš a kol., 2000). Pěstování kukuřice seté na zrno se u nás v poslední době velice rozšířilo. V roce 2000 byla plocha pěstování na zrno okolo 39 000 ha, již v roce 2007 byla plocha více jak dvojnásobná, činila přibližně 93 000 ha. Výnos kolísá mezi hybridy od 5,7 t/ha až po 15,8 t/ha při vlhkosti zrna 14 %. Produkce kukuřice seté v Česku vystačí na 40 % z celkové domácí potřeby (Zimolka a kol., 2008).

#### **2.3.4 Podmínky prostředí**

Kukuřice setá díky své četné druhové variabilitě může být pěstována v rozdílných podmínkách. Ze všech faktorů plodinu nejvíce ovlivňuje druh půdy a podnebí (Špaldon a kol., 1986).

ČR nemá nejvhodnější klimatické podmínky pro pěstování kukuřice seté, protože je velice náročná na světlo, teplo a vodní zásobení. Výnos kukuřice seté závisí na použití vyšlechtěných plodů, počtu rostlin na určitou jednotku plochy, hnojení a také typu půdy a jejím vodním režimu. Tyto vlastnosti se prolínají a navzájem se ovlivňují (Diviš a kol., 2000).

##### **a) Půdní vlastnosti**

V sušším klimatu jsou upřednostňovány pro pěstování kukuřice seté humózní hlinité půdy, jelikož mají větší obsah vody i během sušších období. V mírném, chladnějším podnebí je pěstování častější na lehčích půdách a na slunných a dobře provzdušněných stanovištích, kde jsou pravidelné srážky. Tyto podmínky ale často v chladnějších oblastech nejsou stálé, proto se kukuřice více pěstuje právě na hlinitých půdách. Nejnevýhodnějším půdním horizontem pro kukuřici setou jsou jílové půdy se studeným klimatem, kde je často vysoká hladina spodní vody. Chemická reakce půdy pro pěstování by měla být neutrální a půda by měla obsahovat větší množství minerálních látek (Špaldon a kol., 1986).

##### **b) Srážky**

Voda je pro kukuřici setou jeden z hlavních faktorů vývoje rostliny. U čerstvě vzešlých rostlin (květen a červen) je potřeba vody ještě malá, probíhá velmi pomalý metabolismus a růst. S růstem rostliny roste i potřeba vody. S malým množstvím

srážek se mění kořenový systém, kořeny prostupují do větších hloubek a sahají tak více po podzemní vodě. Denní přírůstky, při optimálních podmínkách (tedy dostatek vody a ideální teplotě) se pohybují v rozmezí od 7 cm až 10 cm. V období, kdy dochází k dozrávání generativních orgánů, je potřeba vody nejvyšší. Fáze, kdy dochází k nejvyššímu nahromadění sušiny v zrnech, se označuje jako žlutá zralost. V tomto období zrno obsahuje 38 – 40 % vody a potřeba vody a živin výrazně klesá (Špaldon a kol., 1986).

#### c) Teplota

Setí kukuřice seté by mělo probíhat při teplotě půdy okolo 9 °C, ke vzcházení dochází při teplotě 21 °C během 6 dnů. Studené a vlhké klima působí na klíčení negativně. Tyto podmínky totiž vyhovují patogenům, které působí na rostlinu. Působení mrazů již okolo -2 až -3 °C poškodí nadzemní část rostliny, ale rostlina neodumře. Pokud teplota poklesne pod 10 °C, listy rostliny zežloutnou a tím se snižuje asimilace a růst rostlin. Teplota zásadně ovlivňuje rychlost růstu a počátek uvolňování pylových zrn (Špaldon a kol., 1986).

#### d) Světlo

Množství světelného záření je dalším faktorem pro výnos kukuřice seté. Tím, že je vyšší světelné záření, dochází k vyšší fotosyntéze a dochází k lepšímu zásobení rostliny živinami. Proto se také kukuřice setá více pěstuje v sušších a slunnějších oblastech (Špaldon a kol., 1986).

#### e) Ekologické podmínky

Produkce skleníkových plynů je značná kvůli množství osazovaných ploch kukuřicí setou a tyto plochy by měly v dalších letech stále narůstat. Ethanol, jako biopalivo, které se vyrábí z kukuřice, by se po roce 2020 měl považovat za biopalivo pouze tehdy, pokud produkce skleníkových plynů bude o 35 % nižší, než je u běžných paliv. Produkce skleníkových plynů z biopaliv z druhé generace může být až o 80–85 % snížena. Proto se zdají být biopaliva v budoucnosti jedním z možných řešení zdroje energie (Zimolka a kol., 2008).

Mezi nejčastější patogeny se řadí rez kukuřičná a sněť kukuřičná. Tyto choroby se vyskytují v teplejších oblastech a napadají celou rostlinu. Houba *Helminthosporium turcicum*, způsobuje helmintosporiózu - odumírání mladých rostlin. Hnilobu zrn

a stébel způsobuje houba rodu *Gibberella* a *Diplodia*. Mezi hlavní živočišné škůdce se řadí třásněnka travní (*Chirothrips menicatus*), brvnatka travní (*Sipha maydis*), larvy kovaříků, zavíječ kukuřičný (*Ostrinia nubilalis*), osenice polní (*Scotia segetum*) a mnoho dalších (Špaldon a kol., 1986).

### 2.3.5 Hospodářský význam

Kukuřice setá je jednou z plodin, která je rozšířena po celé zeměkouli, jelikož má vysoký výnosový potenciál a využívá se v zemědělství pro zkrmování hospodářských zvířat. Stále více je využívána v potravinářství, ale v dnešní době má hlavní význam v oblasti obnovitelné energie, ve formě bioethanolu a bioplynu.

Kukuřice setá se pěstuje za účelem produkce siláže či samotného zrna. V krmivářství se může využívat celá nadzemní část rostliny, buď ve své čerstvé zelené, nebo v sušené formě. Hospodářská zvířata (hlavně prasata a drůbež) se mohou zkrmovat zrny kukuřice či kukuřičným šrotem. Dříve bylo krmivářské využití kukuřice seté nejdůležitější. V posledních letech, ale výrazně její setí nabývá za účelem obnovitelného zdroje energie (Špaldon a kol., 1986).

V potravinářském průmyslu se z kukuřice nejčastěji využívá zrno, pro přípravu mouky a různých krupic a jiných produktů, také k výrobě alkoholu, piva, kukuřičného škrobu a jiných potravinářských produktů. Z klíčků se může získávat olej, který má značný podíl kyseliny linolové (až z 50 %), která je u olejů žádoucí (Špaldon a kol., 1986).

V poslední době se kukuřice setá využívá hlavně na zpracování pro výrobu bioplynu či bioethanolu, tedy k výrobě obnovitelné energie. Bioethanol se vyrábí ze zrna, které obsahuje velké množství škrobu. Prvotně neobsahuje žádné fermentované škroby, proto se před vlastní fermentací na alkohol musí nejprve převést škroby na cukry. To se provede přidáním enzymu amylázy. Nejprve se zrna melou a tím se vytvoří směs, dále se přidá amyláza a poté následuje kvašení pomocí kvasinek druhu *Sacharomyces cerevisiae*. Poté probíhá destilace a dehydratace, tím vznikne alkohol. Zbytek nezpracované rostliny se může dále použít jako krmivo nebo se může jiným, složitějším procesem také přeměnit na ethanol. Tento vzniklý bioethanol se používá jako pohonná hmota. Avšak problémem se stává vlastnost vzniklého alkoholu, že s vodou tvoří azeotropickou směs, kterou není jednoduché

destilací rozdělit na složky – tedy vodu (10 %) a etanol (95 %). Z 1 tuny zrn kukuřice se dokáže vyrobit až 400 l bezvodého ethanolu a 340 kg zbytkové hmoty (Zimolka a kol., 2008).

Pro výrobu bioplynu v bioplynových stanicích se stále více používá silážní kukuřice. Nejprve je nutné nastolit podmínky, které podporují růst fermentačních bakterií. Musí se tedy nastavit anaerobní podmínky a vhodné chemické složení směsi – často se míchá kukuřičná siláž spolu s hospodářskou kejdou a také musí být zajištěna dostatečná vláha. Fermentační bakterie jsou závislé na poměru C:N, nejvhodněji 20-30:1. Bioplyn, který vzniká při kvašení, se odvádí a dále se používá pro výrobu tepla a elektřiny. Zbytky materiálu z fermentoru mohou být použity jako hnojivo (Zimolka a kol., 2008).

## 3. Metodika

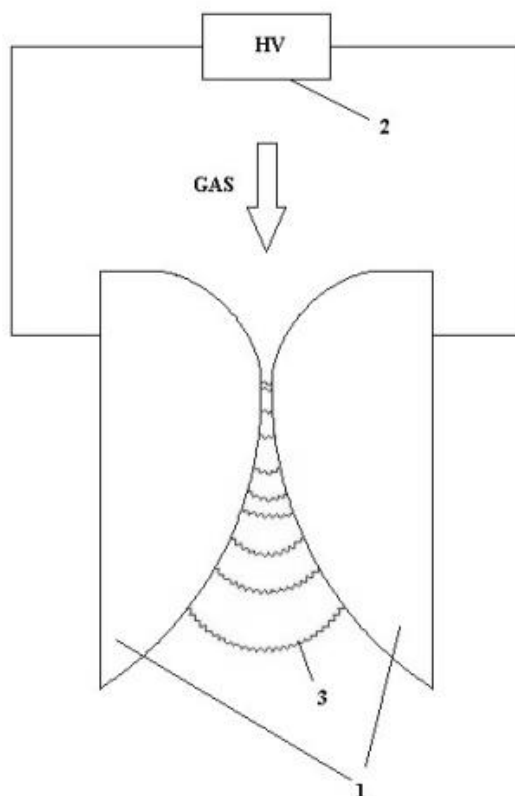
### 3.1 Použité vzorky osiva

Při zakládání pokusů jsem spolupracovala s Kamilou Petráškovou, která používala tytéž vzorky kukuřice seté i řepky olejky a zjišťovala klíčivost. Mým úkolem bylo sledovat na stejném materiálu charakteristiky počátečního růstu. Osivo kukuřice seté a řepky olejky bylo získáno jako komerční produkt od praktikujících zemědělců (Miloslava Škvorová z Bukové Lhoty, Jana Vomáčková ze Ševětína). Pro označení osiva (plodů kukuřice seté a semen řepky olejky) je jednotně v dalším textu používán název semeno.

### 3.2 Plazmování

Ošetření atmosférickým plazmatem se provádí v reaktoru GlidArc. Hlavní částí zařízení jsou dvě divergentní elektrody (Obr. 7). Hliníkové elektrody jsou tlusté 2 mm a jsou připojené k AUPEM - výkonovému měniči napájeného z elektrické sítě (50 Hz) přes nastavitelný transformátor. Výboj se iniciuje v oblasti, kde je vzdálenost mezi elektrodami nejmenší a přechází podél okrajů elektrod, tím se prodlužuje a dochází ke vzniku klouzavého pohybu. K dosažení tohoto klouzavého pohybu je zapotřebí proudu plynu, který je vstřikován podél elektrod směrem ven souborem trysek o vnitřním průměru 0,6 mm. Tok plynu pomáhá udržovat parametry studeného plazmatu ve vhodných limitních podmínkách, způsobující deionizaci, která brání přechodu do výboje elektrického oblouku. Parametry vypouštění jsou udržovány ve studené plazmě v určitém rozsahu díky speciálnímu napájecímu zdroji, který dokáže způsobit rychle klesající výboj. Tato funkce pomáhá udržovat proud v obvodu na relativně nízkých hodnotách.

Testovaná semena byla umístěna pod elektrodami, ve vzdálenosti 250 mm. Tato vzdálenost byla zvolena tak, aby se minimalizovaly tepelné účinky. Teplota v cílové oblasti nepřesáhla 50 °C pro nejdelší expozici. Jako pracovní plyn byl použit vzduch. Průtok plynu byl 10 l/min. Vzorky semen byly převedeny na aktivní, oplazmovaná semena prostřednictvím proudu plynu, který „vane“ z GliArc reaktoru (Obr. 7).



**Obr. 7.** GliArc reaktor (1 – elektrody, 2 – zdroj vysokého napětí, 3 – klouzavý pohyb výboje)  
(Převzato z Gavril a kol., 2011)

### 3.2.1 Plazmování řepky olejky

Na univerzitě v Iasi v Rumunsku (tým prof. E. Hnatiuca) námi dodané množství řepky olejky rozdělili na čtyři části. Tyto části byly různě dlouhou dobu vystavovány působením plazmatu (viz. níže). První část byla nechána neoplazmovaná, byla použita jako kontrolní sada, značena „K“. Druhá část byla plazmována po dobu 3 minut, značena „2T“ (treatment 2). Po dobu 5 minut byla plazmatu vystavena další část, popisována jako „3T“ (treatment 3) a po dobu 10 minut byla plazmována poslední část, která je značena „4T“ (treatment 4).

### 3.2.2 Plazmování kukuřice seté

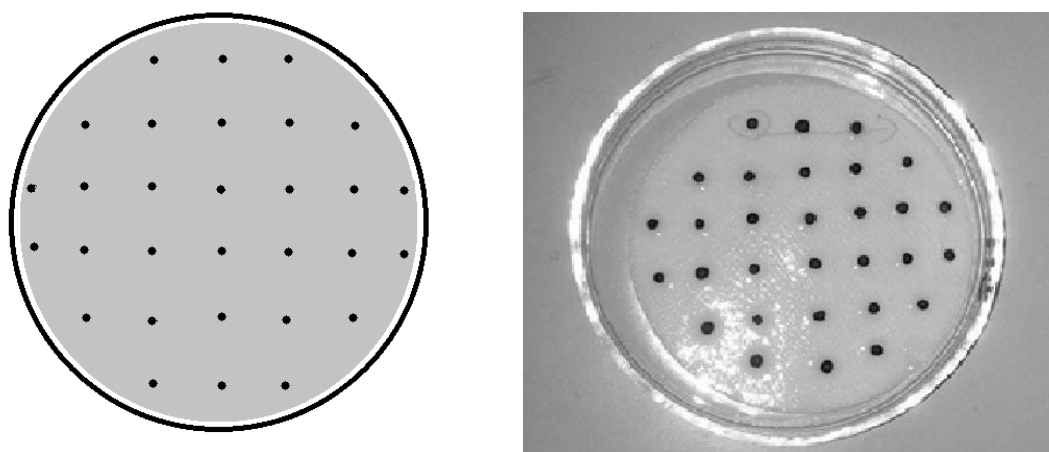
Plazmování kukuřice seté bylo prováděno podobně jako u řepky olejky, také na univerzitě v Rumunsku. Avšak přibyla jedna sada, a to část se semeny, která byla plazmována po dobu 1 minuty. U kukuřice byly k dispozici tyto sety: kontrolní – „K“ (neoplazmován), sada plazmovaná 1 minutu – „1T“ (treatment 1), 3 minuty – „2T“

(treatment 2), 5 minut – „3T“ (treatment 3), 10 minut – „4T“ (treatment 4). Takový byl stav kukuřice u obou pokusů, lišící se v namoření.

### 3.3 Zakládání pokusů

#### 3.3.1 Pokusy s řepkou olejkou

Do čistých, umělých Petriho misek o průměru 8,5 cm byly vloženy čtyři filtrační papíry a přilito 6 ml destilované vody. Pro každou sadu bylo vždy 5 misek, které byly řádně popsány příslušnými popisky. Semena byla rozmístněna podle určitého vzoru (Obr. 8), tak aby se nedotýkala a aby vzdálenosti mezi sousedními semeny byly přibližně stejné.



**Obr. 8.** Skládání řepky olejkou na Petriho misku

Do prvního setu misek značených písmenem „K“ byla skládána semena kontrolní, neoplazmované řepky. Do druhého setu misek – „2T“ byla naskládána řepka 3 minuty plazmovaná, do další – „3T“ řepka 5 minut plazmovaná. A do posledního setu misek „4T“ byla vyskládána řepka plazmovaná 10 minut (Obr. 9). Design založení pokusu je popsán v Tab. 1.

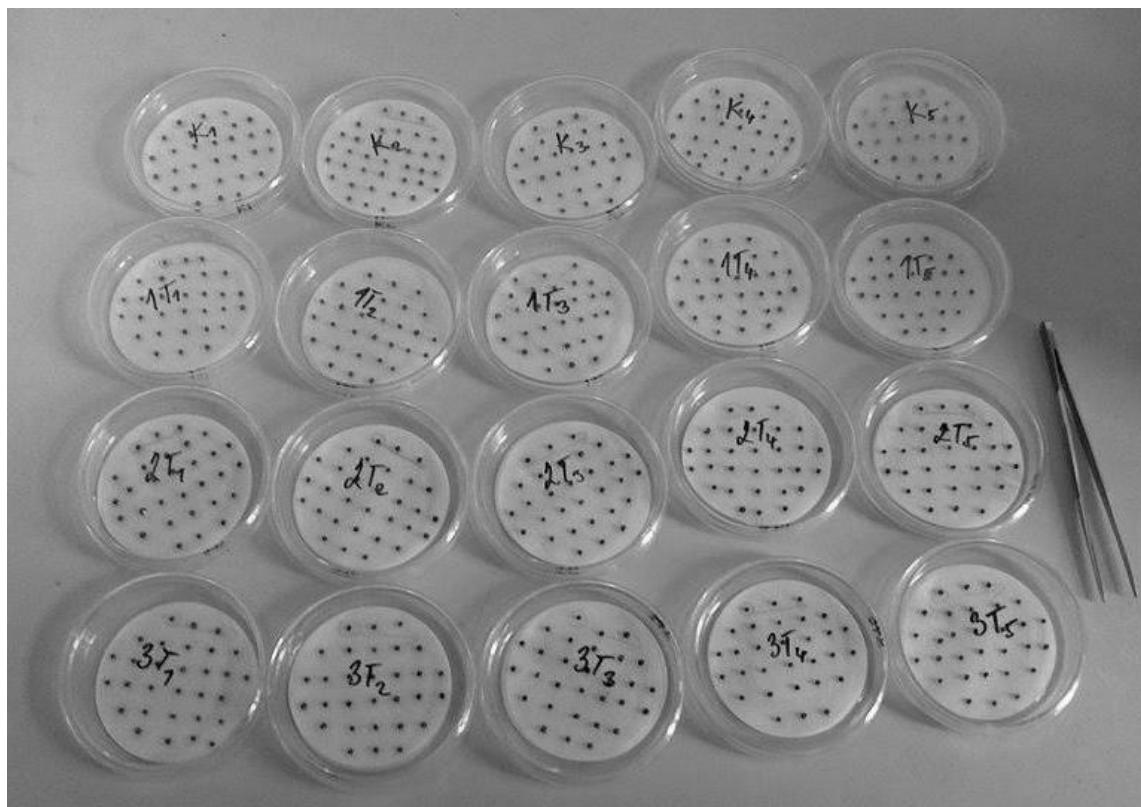
Dohromady bylo na pokus s řepkou použito 20 Petriho misek, přičemž v každé bylo použito 30 semen. Testy klíčivosti a růstu byly prováděny na 600 semenech řepky olejkou.

Vlastní pokus klíčení a růstu semen byl prováděn v laboratorních podmínkách ve tmě a při pokojové teplotě. Všechny Petriho misky byly naskládány do kartonové krabice a uloženy v laboratoři tak, aby se zamezilo působení denního světla. V tomto

prostředí byly ponechány klíčení a růstu (Obr. 10). Každý den byla zaznamenávána délka nadzemních částí a kořínků. Tento pokus byl prováděn po dobu 7 dní.

Celkem byly provedeny dva testy, avšak v jiném časovém období. První pokus se uskutečnil v květnu roku 2014 (od pondělí 12. 5. 2014 do pondělí 19. 5. 2014), přičemž semena byla oplazmována 4 měsíce před samostatným pokusem. V září roku 2014 (od pondělí 1. 9. 2014 do pondělí 8. 9. 2014) byl proveden druhý pokus, za použití semen, která byla krátce před tím dovezena z univerzity v Iasi.

U jednotlivých setů byly sledovány denní délky nadzemních a podzemních částí a na konci testů byla určena hmotnost čerstvé a poté suché biomasy. Nakonec byla data získaná z obou testů porovnána a bylo sledováno, zda záleží na časovém intervalu od doby oplazmování do doby těsně před prováděním experimentu.



**Obr. 9.** Přehled Petriho misek s řepkou olejkou

**Tab. 1.** Přehled setů řepky olejky

| Set         | Doba stimulace semen | Počet misek | Počet semen | Označení |
|-------------|----------------------|-------------|-------------|----------|
| Kontrolní   | 0 minut              | 5           | 30          | K (1-5)  |
| Treatment 2 | 3 minuta             | 5           | 30          | 2T (1-5) |
| Treatment 3 | 5 minuty             | 5           | 30          | 3T (1-5) |
| Treatment 4 | 10 minut             | 5           | 30          | 4T (1-5) |



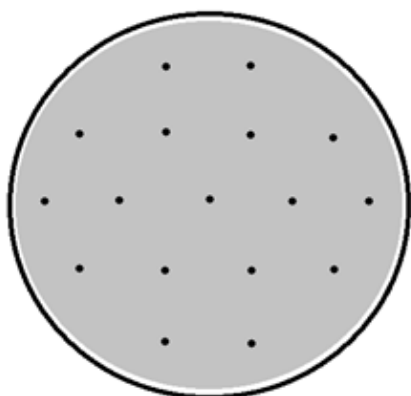


**Obr. 10.** Naskládání Petriho misek do krabice (nahore), uložené Petriho misky v laboratoři (dole)

### 3.3.2 Pokusy s kukuřicí setou

Kukuřice setá byla zkoumána podobně jako řepka olejka. Opět za použití čistých Petriho misek, tentokrát však skleněných, o průměru 9 cm. Do každé byly vloženy tři filtrační papíry, a přilito 6 ml destilované vody. Poté bylo do každé naskládáno vždy 17 semen kukuřice seté podle vzoru (Obr. 11). Více semen nebylo možné do misky skládat, jelikož při klíčení zabírají vzorky více prostoru. Proto bylo použito více Petriho misek.

Do první sady misek, značených „K“, byla naskládána neoplazmovaná semena. Do další byla skládána semena stimulovaná 1 minutu, do „2T“ semena stimulovaná 3 minuty. Kukuřice setá, která byla stimulována plazmatem 5 minut, byla skládána do misek označených „3T“. Semena stimulovaná plazmatem po dobu 10 minut byla skládána do misek označených „4T“. Design založení pokusu je popsán v Tab. 2.



**Obr. 11.** Skládání kukuřice seté na Petriho misku

Celkově bylo použito 680 semen kukuřice seté, která byla umístěna ve 40 Petriho miskách. Stejně jako u pokusu s řepkou, byly misky skládány do kartonové krabice, která byla uložena v laboratoři tak, aby se zamezilo působení přímého denního světla. Ve tmě a při pokojové teplotě v laboratoři byly ponechány klíčení a růstu.

**Tab. 2.** Přehled setů kukuřice seté

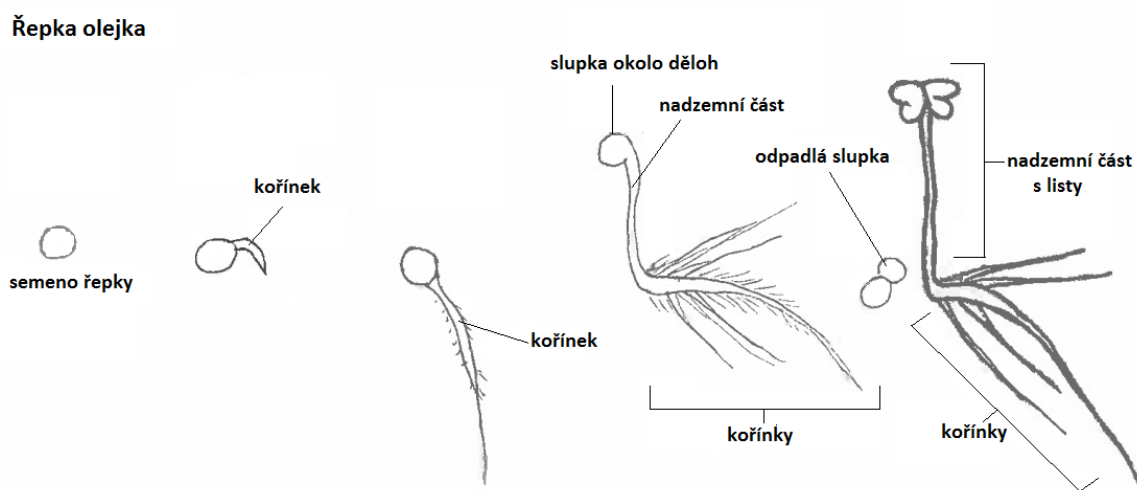
| Set         | Doba stimulace semen | Počet misek | Počet semen | Označení |
|-------------|----------------------|-------------|-------------|----------|
| Kontrolní   | 0 minut              | 8           | 17          | K (1-8)  |
| Treatment 1 | 1 minuta             | 8           | 17          | 1T (1-8) |
| Treatment 2 | 3 minuty             | 8           | 17          | 2T (1-8) |
| Treatment 3 | 5 minut              | 8           | 17          | 3T (1-8) |
| Treatment 4 | 10 minut             | 8           | 17          | 4T (1-8) |

U kukuřice seté byly prováděny také dva testy. Zde bylo úkolem zjistit, zda je rozdíl v růstu mezi namořenými a nemořenými obilkami. První srpnový pokus se uskutečnil od pátku 8. 8. 2014 do pátku 15. 8. 2014, kdy byla zkoumána namořená kukuřice setá. Pokus s nemořenou kukuřicí setou byl zakládán v říjnu (od pátku 10. 10. 2014 do pátku 17. 10. 2014).

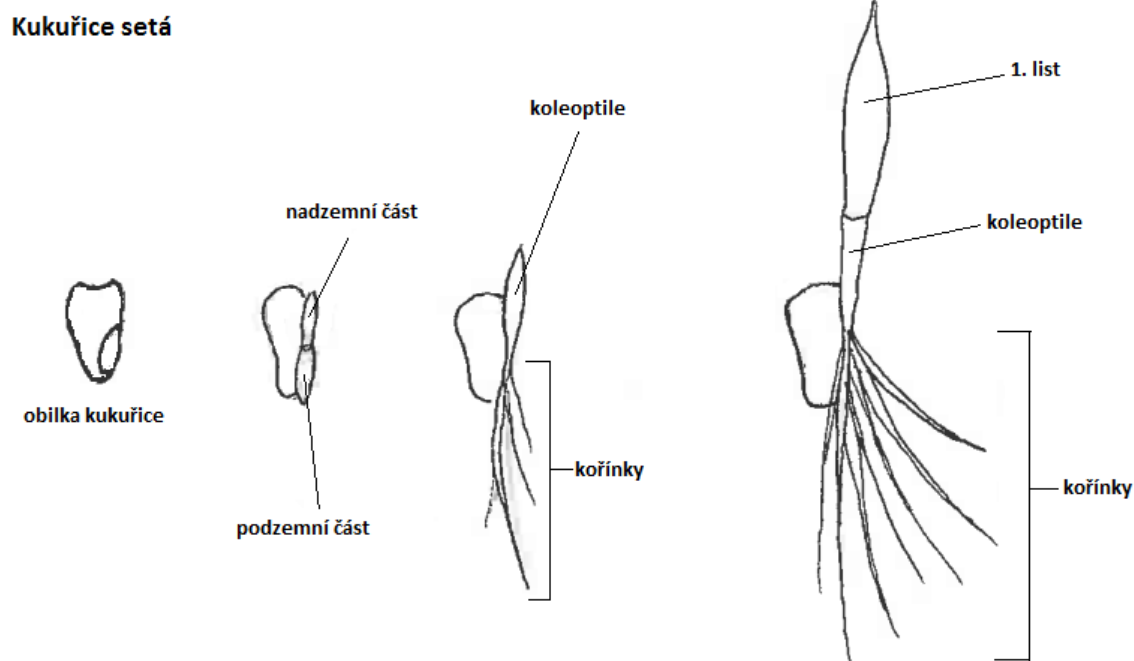
Po dobu jednoho týdne byly každý den zaznamenávány délky nadzemních a podzemních částí a na konci testu hmotnosti čerstvé a suché biomasy.

### 3.4 Způsob zaznamenávání hodnot

U obou pokusů byla každý den zaznamenávána velikost podzemních a nadzemních částí rostoucích semen. Pro toto zaznamenávání bylo nutné rozlišit nadzemní a podzemní části. U řepky olejky byla měřena délka nadzemní části a nejdelšího kořene, znázorněno na Obr. 12. U kukuřice seté byla měřena délka koleoptile a délka nejdelšího kořene, znázorněno na Obr. 13.



Obr. 12. Klíčení řepky olejky a její nadzemní a podzemní části



Obr. 13. Klíčení kukuřice seté a její nadzemní a podzemní části

Sběr dat začal v době, kdy nadzemní část měřila nejméně 3 mm. Do té doby bylo semeno pouze ve stádiu klíčení nikoli růstu. Pomocí papírového ohybného měřidla byla měřena délka nadzemních a podzemních částí u každého semena a naměřené hodnoty byly následně zanášeny do tabulky. Vždy byla měřena nadzemní část a nejdelší podzemní část. Pro relevanci pokusu bylo nutné průběžně vyřazovat shnilá, plesnivá a poškozená semena.

Ze získaných dat byly vypočítány průměrné a sumární délky podzemních a nadzemních částí a z těchto hodnot byly vypracovány tabulky a grafy. Délka je uváděna v cm. Průměr délek je vypočítán jako aritmetický průměr délek všech semen jedné sady a značí průměrnou délku nadzemní a podzemní části jedné klíčící rostliny. Průměrný součet délek představuje průměrnou hodnotu ze součtu délek nadzemních i podzemních částí všech rostlin jedné sady. U všech hodnot byla také vypočítána směrodatná odchylka (v tabulkách značena SD).

Na konci parciálních testů byly u každé Petriho misky ořezány a vysušeny nadzemní části a kořínky a byla měřena hmotnost čerstvé i suché biomasy. Z hmotností obojího druhu biomasy byla vypočítána průměrná hmotnost nadzemních a podzemních částí, které se vztahují na jednu Petriho misku. Ke každé hodnotě byla vypočítána i směrodatná odchylka, značena SD. Z těchto hodnot byly vypracovány tabulky a následně potřebné grafy, které jsou vztaženy na procenta vzhledem ke kontrolní sadě, která představuje 100 %. Hmotnosti byly měřeny na analytických vahách s přesností na tisíce gramů.

Statistické vyhodnocování dat bylo zaměřeno na data z posledního dne testů. Testován byl rozdíl mezi oplazmovanými semeny a příslušnou kontrolou. U cílených dat byla nejdříve provedena logaritmická transformace a to z důvodu jejich normalizace. Poté byl proveden t-test na hladině pravděpodobnosti  $\alpha \leq 0,05$ . Tyto výsledky měly dokreslit význam jednotlivých časových expozic plazmování. Ostatní data budou statisticky vyhodnocena v rámci širšího kontextu výzkumu.

Všechny hodnoty byly zaznamenány a zpracovány v programu Microsoft Office Excel 2007 a Statistica (verze 6). Veškerá základní data, která byla nasbírána a se kterými se dále pracovalo, jsou součástí příloženého CD.

### 3.5 Fotografie z laboratoře



Obr. 14. Klíčící kukuřice setá 3. den



Obr. 15. Klíčící kukuřice setá 4. den



Obr. 16. Klíčící kukuřice setá 5. den



Obr. 17. Klíčící kukuřice setá 6. den



Obr. 18. Klíčící kukuřice setá 7. den



Obr. 19. Kukuřice setá po ořezání klíčků (nahore) a kořínků (dole)

## 4. Výsledky

### 4.1 Pokusy s řepkou olejkou

#### 4.1.1 Výsledky pokusu s řepkou olejkou (květen 2014)

Uvedené tabulky a obrázek (Tab. 3, Tab. 4, Obr. 20) ukazují, že v porovnání s kontrolním setem „K“ se nejdelší a nejmenší délky nadzemní části a kořínku mění v závislosti na době plazmování a dnu odečtu dat (stáří semenáčků). Na hladině významnosti  $P \leq 0,05$  nebyl zpravidla nalezen žádný signifikantní rozdíl ve sledovaných délkových datech.

Na Obr. 20 je přehled délek nadzemních částí a kořínků poslední, pátý den. Pozitivní trend byl zaznamenán u semen, která byla 5 min stimulována – sada „3T“. Negativní vliv byl zaznamenán u sady „2T“, kdy byly všechny měřené hodnoty menší než u kontrolní sady. Pátý den pokusu byl zaznamenán významný rozdíl v délce kořínků u semen oplazmovaných po dobu 1 min vzhledem ke kontrole (t-test).

Průměrné hmotnosti čerstvé i suché biomasy jsou uvedené v Tab. 5. Sady „3T“ a „4T“ mají hmotnosti čerstvé biomasy vyšší než kontrolní sada „K“. Nejvyšší průměrné hmotnosti čerstvé biomasy byly jednoznačně zaznamenány u sad „3T“ (ozařována 5 minut). Hmotnost čerstvých kořínků u sady „3T“ je oproti kontrolní sadě „K“ trojnásobně vyšší (významný rozdíl, t-test). Nejlehčí hmotnosti čerstvé biomasy byly zaznamenány u sady „2T“ (Obr. 21). Průměrné hmotnosti suchých nadzemních částí byly nejvyšší u sady „3T“, kdy podle Obr. 21 přesahovaly 100 % průměrné hmotnosti kontrolní sady. U průměrných hmotností suchých kořínků byla nejvyšší hmotnost zaznamenána u sady „4T“. Nejmenší hmotnosti (významný rozdíl, t-test) suchých nadzemních částí i kořínků dosahoval treatment „2T“.

**Tab. 3.** Průměrná a sumární délka nadzemních částí řepky olejky (květen 2014). Hodnoty jsou uváděny v cm.

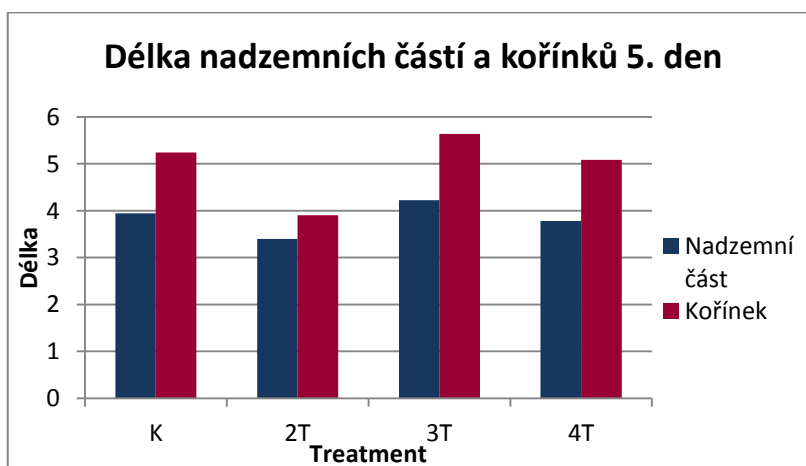
| Treatment | 2. den |      |      |      | 3. den |      |       |      | 4. den |      |       |      | 5. den |      |        |       |
|-----------|--------|------|------|------|--------|------|-------|------|--------|------|-------|------|--------|------|--------|-------|
|           | ø      | SD   | Σ    | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD   | ø      | SD   | Σ      | SD    |
| K         | 0,30   | 0,41 | 0,30 | 0,41 | 0,62   | 0,05 | 14,88 | 1,25 | 1,69   | 0,27 | 42,02 | 7,57 | 3,95   | 0,24 | 103,32 | 8,08  |
| 2T        | 0,22   | 0,20 | 0,22 | 0,20 | 0,70   | 0,16 | 14,52 | 2,29 | 1,42   | 0,19 | 34,02 | 6,53 | 3,40   | 0,30 | 81,94  | 14,59 |
| 3T        | 0,14   | 0,31 | 0,14 | 0,31 | 0,61   | 0,05 | 13,78 | 0,83 | 1,69   | 0,13 | 39,48 | 3,43 | 4,23   | 0,37 | 104,28 | 5,06  |
| 4T        | 0,39   | 0,04 | 1,88 | 1,83 | 0,72   | 0,08 | 17,08 | 2,56 | 1,83   | 0,18 | 45,18 | 4,49 | 3,78   | 0,10 | 100,74 | 8,37  |

**Tab. 4.** Průměrná a sumární délka kořínků řepky olejky (květen 2014). Hodnoty jsou uváděny v cm.

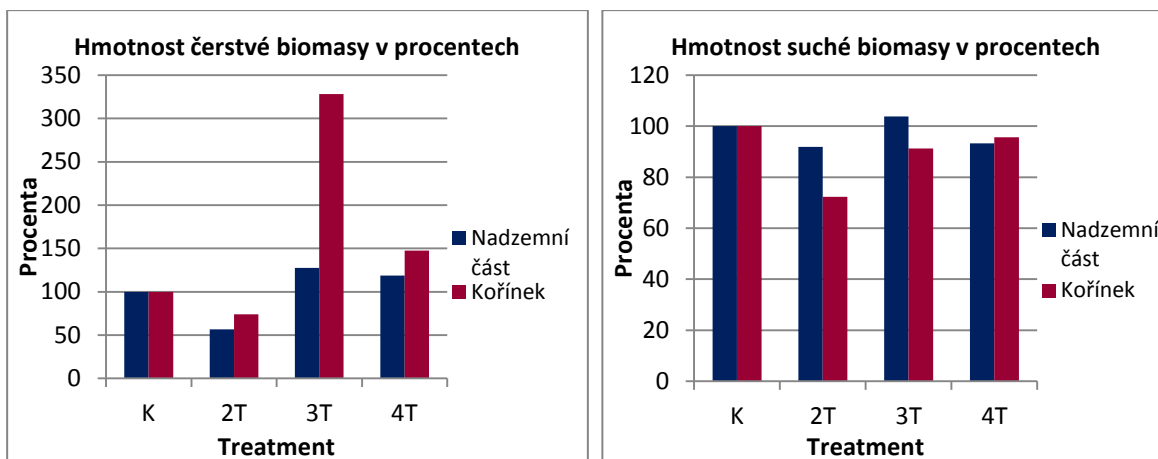
| Treatment | 2. den |      |      |      | 3. den |      |       |      | 4. den |      |       |       | 5. den |      |        |       |
|-----------|--------|------|------|------|--------|------|-------|------|--------|------|-------|-------|--------|------|--------|-------|
|           | ø      | SD   | Σ    | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD    | ø      | SD   | Σ      | SD    |
| K         | 0,48   | 0,12 | 8,46 | 1,99 | 1,13   | 0,10 | 27,82 | 3,36 | 2,25   | 0,36 | 55,98 | 11,41 | 5,24   | 0,49 | 136,60 | 18,99 |
| 2T        | 0,35   | 0,06 | 6,50 | 1,07 | 1,05   | 0,25 | 25,28 | 5,14 | 2,03   | 0,64 | 50,14 | 15,17 | 3,90   | 1,06 | 93,76  | 33,29 |
| 3T        | 0,41   | 0,02 | 7,36 | 0,72 | 1,04   | 0,11 | 23,66 | 3,16 | 2,30   | 0,56 | 53,92 | 14,55 | 5,64   | 0,89 | 136,60 | 18,03 |
| 4T        | 0,42   | 0,06 | 8,68 | 2,02 | 1,30   | 0,19 | 31,54 | 5,27 | 2,43   | 0,38 | 61,46 | 9,15  | 5,08   | 1,05 | 132,18 | 22,11 |

**Tab. 5.** Průměrná hmotnost čerstvé a suché biomasy řepky olejky (květen 2014). Hodnoty jsou uváděny v g.

| Treatment | Hmotnost čerstvé biomasy |       |         |       | Hmotnost suché biomasy |       |         |       |
|-----------|--------------------------|-------|---------|-------|------------------------|-------|---------|-------|
|           | Nadzemní část            |       | Koříněk |       | Nadzemní část          |       | Koříněk |       |
|           | ø                        | SD    | ø       | SD    | ø                      | SD    | ø       | SD    |
| K         | 0,773                    | 0,176 | 0,022   | 0,005 | 0,105                  | 0,009 | 0,021   | 0,003 |
| 2T        | 0,439                    | 0,136 | 0,017   | 0,002 | 0,097                  | 0,011 | 0,015   | 0,003 |
| 3T        | 0,987                    | 0,060 | 0,074   | 0,027 | 0,109                  | 0,010 | 0,019   | 0,002 |
| 4T        | 0,918                    | 0,089 | 0,033   | 0,019 | 0,098                  | 0,047 | 0,020   | 0,002 |



**Obr. 20.** Délka nadzemních částí a kořínků poslední den (5. den) – řepka olejka (květen 2014)



**Obr. 21.** Graf průměrné hmotnosti čerstvé a suché biomasy (procenta) v závislosti na kontrolní sadě (100 %) – řepka olejka (květen 2014)

#### 4.1.2 Výsledky pokusu s řepkou olejkou (září 2014)

Nejdelších průměrných délek nadzemních částí dosahovala během prvních dnů kontrolní sada „K“, avšak ta měla poslední den nejkratší nadzemní části. Nejdelších průměrných délek kořínků dosahovala sada „3T“ (plazmována 5 minut). V Tab. 6 a Tab. 7 jsou uvedeny naměřené hodnoty a znázorněny na Obr. 22.

Na Obr. 22 je uvedeno, která sada měla na konci pokusu nejdelší nadzemní části a kořínky. Podle měřených hodnot lze konstatovat, že nejdelší délky byly zaznamenány u semen, která byla ozařována plazmatem po dobu 3 minut („2T“). Signifikantní rozdíly vzhledem ke kontrole byly nalezeny u oplazmovaných semen po dobu 3 a 10 minut (t-test). U délek nadzemních částí byly naměřeny podobné hodnoty u všech treatmentů. Nejmenší nadzemní části i kořínky byly zaznamenány u kontrolní sady „K“. Můžeme tedy říci, že u tohoto pokusu měla stimulace plazmatem pozitivní vliv na všechny ošetřené sady.

Průměrné hmotnosti čerstvé a suché biomasy jsou zaznamenány v Tab. 8. Vzhledem ke kontrolní sadě „K“ mají všechny plazmatem stimulované sady hmotnost čerstvé biomasy vyšší než 100 % (signifikantní rozdíly, t-test). Byl na nich zaznamenán pozitivní vliv. Hmotnost čerstvých kořínků všech tří plazmovaných sad jsou dvakrát až třikrát větší oproti sadě „K“ (Obr. 23). Průměrné hmotnosti suché biomasy měly podobný trend jako kontrolní linie „K“, ostatní dosahovaly téměř 100 nebo více procent (Obr. 23). Největších hmotností suché biomasy dosahovaly



sady „2T“ a „4T“, které měly hodnoty nad 100 %. U sady „4T“ byl zaznamenán signifikantní rozdíl (t-test).

**Tab. 6.** Průměrná a sumární délka nadzemních částí řepky olejky (září 2014). Hodnoty jsou uváděny v cm.

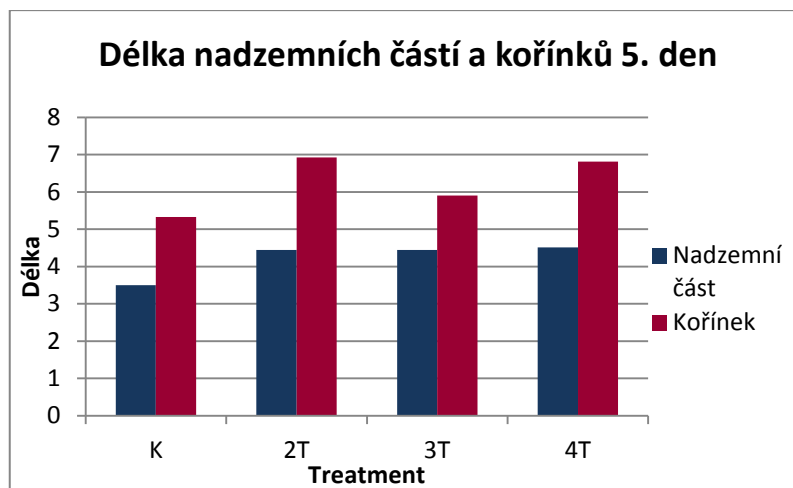
| Treatment | 2. den |      |      |      | 3. den |      |       |      | 4. den |      |       |      | 5. den |      |        |       |
|-----------|--------|------|------|------|--------|------|-------|------|--------|------|-------|------|--------|------|--------|-------|
|           | ø      | SD   | Σ    | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD   | ø      | SD   | Σ      | SD    |
| K         | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,75   | 0,06 | 18,84 | 2,17 | 1,78   | 0,06 | 45,98 | 2,51 | 3,50   | 0,26 | 93,86  | 7,47  |
| 2T        | 0,02   | 0,04 | 0,22 | 0,49 | 0,69   | 0,08 | 19,06 | 2,12 | 1,65   | 0,10 | 46,46 | 2,72 | 4,44   | 1,07 | 127,24 | 31,68 |
| 3T        | 0,02   | 0,02 | 0,28 | 0,26 | 0,69   | 0,07 | 16,14 | 3,57 | 1,52   | 0,20 | 38,60 | 7,69 | 4,51   | 0,48 | 120,28 | 18,06 |
| 4T        | 0,02   | 0,02 | 0,24 | 0,23 | 0,67   | 0,08 | 17,40 | 1,47 | 1,48   | 0,10 | 38,78 | 1,32 | 4,32   | 0,34 | 113,74 | 8,08  |

**Tab. 7.** Průměrná a sumární délka kořínků řepky olejky (září 2014). Hodnoty jsou uváděny v cm.

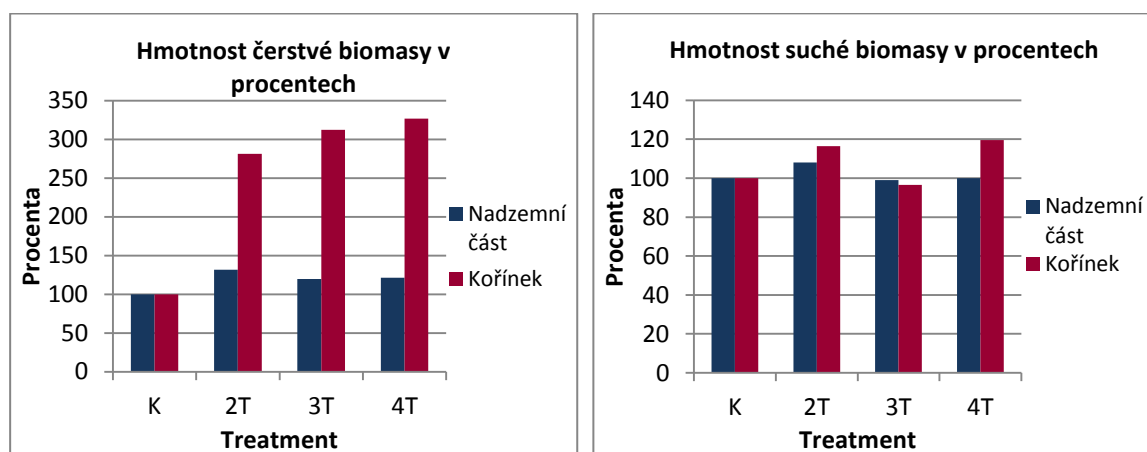
| Treatment | 2. den |      |      |      | 3. den |      |       |      | 4. den |      |       |       | 5. den |      |        |       |
|-----------|--------|------|------|------|--------|------|-------|------|--------|------|-------|-------|--------|------|--------|-------|
|           | ø      | SD   | Σ    | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD    | ø      | SD   | Σ      | SD    |
| K         | 0,40   | 0,04 | 5,58 | 1,70 | 1,15   | 0,07 | 28,98 | 3,16 | 2,54   | 0,32 | 65,52 | 9,03  | 5,33   | 0,64 | 143,00 | 19,80 |
| 2T        | 0,44   | 0,10 | 6,98 | 3,31 | 1,21   | 0,18 | 33,12 | 4,45 | 2,54   | 0,31 | 71,66 | 8,37  | 6,93   | 0,83 | 197,86 | 20,49 |
| 3T        | 0,35   | 0,04 | 4,38 | 2,16 | 1,19   | 0,16 | 28,38 | 8,07 | 2,21   | 0,33 | 56,30 | 12,89 | 5,91   | 1,90 | 159,04 | 58,05 |
| 4T        | 0,38   | 0,03 | 5,08 | 1,33 | 1,23   | 0,20 | 31,72 | 3,61 | 2,35   | 0,33 | 61,26 | 6,99  | 6,82   | 1,14 | 178,82 | 23,16 |

**Tab. 8.** Průměrná hmotnost čerstvé a suché biomasy řepky olejky (září 2014). Hodnoty jsou uváděny v g.

| Treatment | Hmotnost čerstvé biomasy |       |         |       | Hmotnost suché biomasy |       |         |       |
|-----------|--------------------------|-------|---------|-------|------------------------|-------|---------|-------|
|           | Nadzemní část            |       | Kořínek |       | Nadzemní část          |       | Kořínek |       |
|           | ø                        | SD    | ø       | SD    | ø                      | SD    | ø       | SD    |
| K         | 0,907                    | 0,109 | 0,060   | 0,034 | 1,037                  | 0,007 | 0,207   | 0,002 |
| 2T        | 1,193                    | 0,097 | 0,169   | 0,034 | 1,121                  | 0,007 | 0,241   | 0,002 |
| 3T        | 1,085                    | 0,143 | 0,188   | 0,081 | 1,027                  | 0,007 | 0,200   | 0,006 |
| 4T        | 1,101                    | 0,151 | 0,197   | 0,077 | 1,038                  | 0,012 | 0,248   | 0,003 |



Obr. 22. Délka nadzemních částí a kořínků poslední den (5. den) – řepka olejka (září 2014)



Obr. 23. Graf průměrné hmotnosti čerstvé a suché biomasy (procenta) v závislosti na kontrolní sadě (100 %) – řepka olejka (září 2014)

## 4.2 Pokusy s kukuřicí setou

### 4.2.1 Výsledky pokusu s kukuřicí setou (srpen 2014)

V Tab.9 můžeme vidět naměřené délky koleoptile. Nejkratších délkových hodnot koleoptile dosahovala sada „4T“. Z Tab.10 vyplývá, že nejdelších hodnot dosahovala sada „1T“, která dosáhla ve všech dnech největších délek kořínků. Nejmenších délek kořínků dosahovala sada „4T“, která měla během všech dní nejkratší délky. Na hladině významnosti  $P \leq 0,05$  byly nalezeny signifikantně menší hodnoty délek u obilek plazmovaných po dobu 10 minut (t-test).

Z grafu délek posledního dne (Obr. 24) lze konstatovat, že největší délky koleoptile i kořínků byly shledány u treatmentu „1T“, který byl ošetřován po dobu 1 minuty. Nejmenší vzrůst koleoptile i kořínků má jednoznačně sada „4T“. Ostatní sady měly podobné rozměry nadzemních i podzemních částí.

Naměřené hmotnosti čerstvé i suché biomasy jsou zaznamenány v Tab. 11. Většina navážených hmotností čerstvé biomasy nepřesáhla hranici 100 %, nepřevýšila hmotnost kontrolní sady. Nejvyšší hmotnost čerstvé koleoptile byla zaznamenána u sad „1T“ a „3T“. U těchto sad byl potvrzen významný rozdíl u koleoptylí vzhledem ke kontrole (t-test). Nejlehčích hmotností čerstvé biomasy dosahovala sada „4T“, u kořínku na významné úrovni (t-test) (Obr. 25). Většina průměrných hmotností suché biomasy u setů přesahuje naměřenou hodnotu pro kontrolní sadu „K“, měly tedy větší hmotnosti suché biomasy. Největší hmotnost suché biomasy (koleoptile i kořínky) byla naměřena u sady „1T“ a nejmenší hmotnost u sady „4T“ (Obr. 25).

**Tab. 9.** Průměrná a sumární délka koleoptile kukuřice seté (srpen 2014). Hodnoty jsou uváděny v cm.

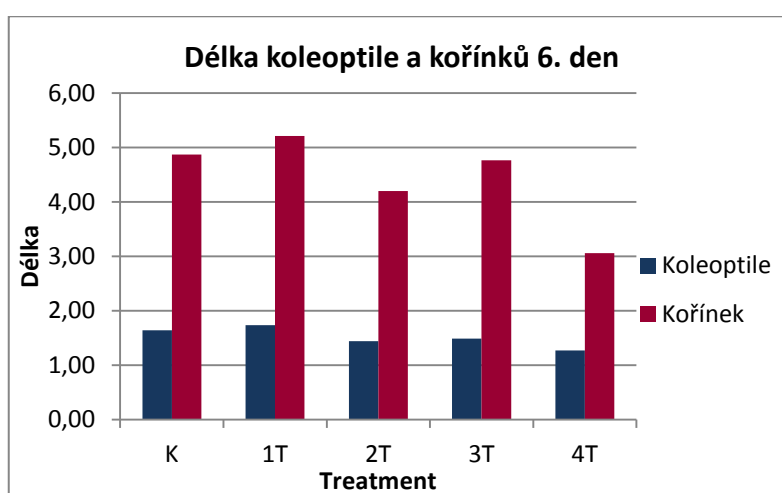
| Treatment | 3. den |      |      |      | 4. den |      |      |      | 5. den |      |       |      | 6. den |      |       |      |
|-----------|--------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|-------|------|--------|------|-------|------|
|           | ø      | SD   | Σ    | SD   | ø      | SD   | Σ    | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD   |
| K         | 0,41   | 0,06 | 2,99 | 0,99 | 0,56   | 0,09 | 7,39 | 1,14 | 0,92   | 0,17 | 13,55 | 2,59 | 1,64   | 0,27 | 25,20 | 5,22 |
| 1T        | 0,46   | 0,13 | 3,91 | 1,70 | 0,66   | 0,11 | 9,65 | 1,90 | 0,90   | 0,08 | 13,86 | 2,13 | 1,73   | 0,33 | 27,25 | 6,66 |
| 2T        | 0,38   | 0,05 | 3,01 | 0,96 | 0,64   | 0,09 | 8,39 | 1,49 | 0,98   | 0,26 | 14,08 | 2,81 | 1,44   | 0,19 | 22,06 | 3,02 |
| 3T        | 0,86   | 0,29 | 6,19 | 3,90 | 0,60   | 0,08 | 8,69 | 1,89 | 0,94   | 0,15 | 15,59 | 2,67 | 1,49   | 0,24 | 24,95 | 4,47 |
| 4T        | 0,76   | 0,28 | 3,69 | 2,53 | 0,57   | 0,04 | 7,01 | 2,12 | 0,87   | 0,10 | 12,41 | 2,93 | 1,27   | 0,19 | 18,79 | 3,84 |

**Tab. 10.** Průměrná a sumární délka kořínků kukuřice seté (srpen 2014). Hodnoty jsou uváděny v cm.

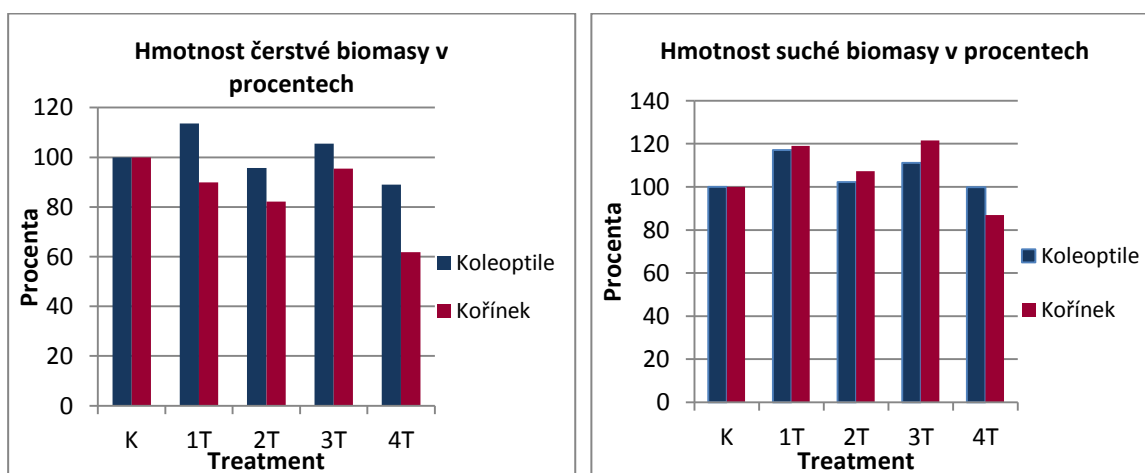
| Treatment | 3. den |      |      |      | 4. den |      |       |      | 5. den |      |       |       | 6. den |      |       |       |
|-----------|--------|------|------|------|--------|------|-------|------|--------|------|-------|-------|--------|------|-------|-------|
|           | ø      | SD   | Σ    | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD    | ø      | SD   | Σ     | SD    |
| K         | 0,96   | 0,27 | 6,96 | 3,15 | 1,64   | 0,46 | 21,50 | 5,31 | 2,89   | 0,36 | 42,64 | 6,02  | 4,87   | 0,58 | 74,21 | 10,29 |
| 1T        | 1,00   | 0,25 | 8,54 | 4,15 | 1,84   | 0,42 | 26,90 | 6,63 | 3,25   | 0,43 | 49,78 | 8,19  | 5,21   | 0,66 | 81,50 | 13,45 |
| 2T        | 0,79   | 0,11 | 6,30 | 2,12 | 1,52   | 0,41 | 20,41 | 7,42 | 2,66   | 0,64 | 39,44 | 12,11 | 4,20   | 1,06 | 65,20 | 19,34 |
| 3T        | 0,70   | 0,36 | 4,98 | 3,86 | 1,57   | 0,50 | 23,53 | 9,16 | 3,00   | 0,76 | 49,48 | 13,00 | 4,76   | 0,89 | 80,09 | 16,71 |
| 4T        | 0,43   | 0,07 | 1,93 | 0,99 | 1,15   | 0,45 | 15,01 | 9,42 | 2,09   | 0,77 | 30,58 | 15,36 | 3,06   | 1,31 | 46,58 | 24,70 |

**Tab. 11.** Průměrná hmotnost čerstvé a suché biomasy kukuřice seté (srpen 2014). Hodnoty jsou uváděny v g.

| Treatment | Hmotnost čerstvé biomasy |       |         |       | Hmotnost suché biomasy |       |         |       |
|-----------|--------------------------|-------|---------|-------|------------------------|-------|---------|-------|
|           | Koleoptile               |       | Kořínek |       | Koleoptile             |       | Kořínek |       |
|           | ø                        | SD    | ø       | SD    | ø                      | SD    | ø       | SD    |
| K         | 1,303                    | 0,361 | 2,488   | 1,138 | 2,183                  | 0,043 | 3,344   | 0,028 |
| 1T        | 1,480                    | 0,142 | 2,237   | 0,444 | 2,555                  | 0,016 | 3,978   | 0,055 |
| 2T        | 1,247                    | 0,129 | 2,044   | 0,415 | 2,232                  | 0,012 | 3,587   | 0,053 |
| 3T        | 1,374                    | 0,137 | 2,375   | 0,382 | 2,427                  | 0,021 | 4,062   | 0,065 |
| 4T        | 1,160                    | 0,184 | 1,539   | 0,466 | 2,181                  | 0,029 | 2,904   | 0,070 |



**Obr. 24.** Délka koleoptile a kořínků poslední den (6. den) – kukuřice setá (srpen 2014)



**Obr. 25.** Graf průměrné hmotnosti čerstvé a suché biomasy (procenta) v závislosti na kontrolní sadě (100 %) – kukuřice setá (srpen 2014)

#### 4.2.2 Výsledky pokusu s kukuřicí setou (říjen 2014)

Z tabulek (Tab. 12 a Tab. 13) vyplývá, že nejdelších průměrných délek koleoptile i kořínků dosáhla kontrolní sada „K“. Nejmenších délek kořínků dosahovala sada „3T“. Nejkratší průměrné délky koleoptile byly zaznamenány u sady „1T“ a „3T“.

Na Obr. 26 je graficky znázorněna délka koleoptile a kořínků poslední den. Nejkratší délku koleoptile a kořínků měla sada „3T“ (stimulována 5 minut). Kontrolní sada „K“ měla nejdelší rozměry měřených částí, avšak délky treatmentu „1T“ a „2T“ se k této hodnotě přibližovaly. U tohoto pokusu lze konstatovat, že stimulace plazmatem neměla pozitivní vliv na obilky, jelikož největší délky byly zaznamenány u sady, která nebyla plazmovaná.

Naměřené průměrné hmotnosti čerstvé i suché biomasy jsou zaznamenány v Tab. 14. U hmotností čerstvé i suché biomasy hodnoty nepřesahují 100 %, hmotnosti nebyly vyšší než hmotnosti kontrolní sady (Obr. 27). Největší hmotnosti čerstvé biomasy jsou zaznamenány u sady „4T“. U průměrných hmotností suché biomasy má opět treatment „4T“ nejvyšší hodnotu, u kořínků přesahuje hodnotu 100%. Výsledky t-testu rámcově odpovídají grafické prezentaci dat (Obr. 27).

**Tab. 12.** Průměrná a sumární délka koleoptile kukuřice seté (říjen 2014). Hodnoty jsou uváděny v cm.

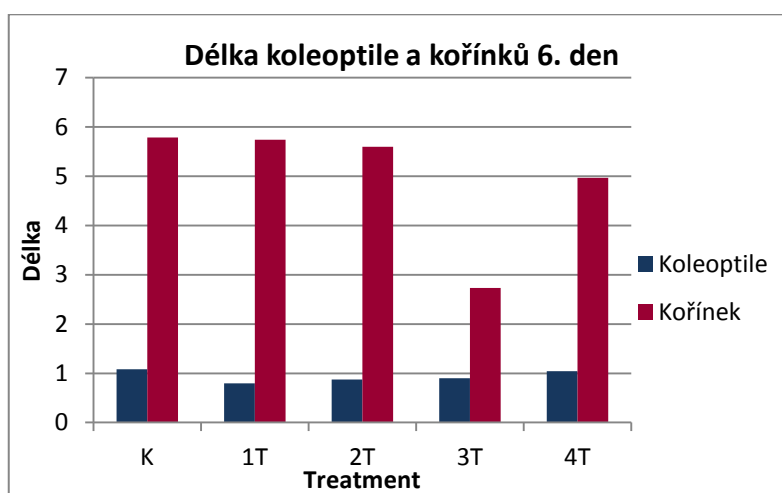
| Treatment | 3. den |      |      |      | 4. den |      |      |      | 5. den |      |       |      | 6. den |      |       |      |
|-----------|--------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|-------|------|--------|------|-------|------|
|           | ø      | SD   | Σ    | SD   | ø      | SD   | Σ    | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD   |
| K         | 0,02   | 0,04 | 0,26 | 0,52 | 0,10   | 0,07 | 1,65 | 1,16 | 0,73   | 0,25 | 11,86 | 4,39 | 1,08   | 0,23 | 17,46 | 4,05 |
| 1T        | 0,00   | 0,01 | 0,05 | 0,14 | 0,06   | 0,06 | 0,89 | 0,86 | 0,46   | 0,10 | 7,49  | 1,54 | 0,80   | 0,13 | 12,73 | 1,87 |
| 2T        | 0,03   | 0,05 | 0,26 | 0,49 | 0,08   | 0,07 | 1,18 | 1,07 | 0,59   | 0,12 | 9,33  | 1,93 | 0,88   | 0,14 | 14,04 | 2,13 |
| 3T        | 0,02   | 0,06 | 0,18 | 0,39 | 0,04   | 0,05 | 0,58 | 0,80 | 0,46   | 0,21 | 7,16  | 3,23 | 0,90   | 0,34 | 14,26 | 5,21 |
| 4T        | 0,06   | 0,06 | 0,56 | 0,66 | 0,09   | 0,08 | 1,50 | 1,25 | 0,56   | 0,14 | 9,18  | 2,76 | 1,04   | 0,19 | 17,30 | 3,74 |

**Tab. 13.** Průměrná a sumární délka kořínků kukuřice seté (říjen 2014). Hodnoty jsou uváděny v cm.

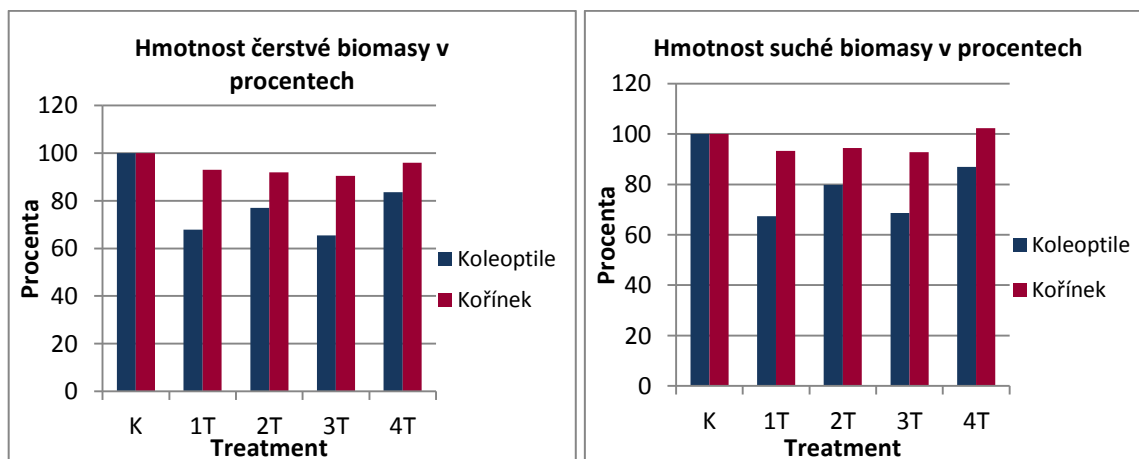
| Treatment | 3. den |      |      |      | 4. den |      |       |       | 5. den |      |       |       | 6. den |      |       |       |
|-----------|--------|------|------|------|--------|------|-------|-------|--------|------|-------|-------|--------|------|-------|-------|
|           | ø      | SD   | Σ    | SD   | ø      | SD   | Σ     | SD    | ø      | SD   | Σ     | SD    | ø      | SD   | Σ     | SD    |
| K         | 0,86   | 0,30 | 9,90 | 5,76 | 1,95   | 0,31 | 30,91 | 6,76  | 3,61   | 0,54 | 58,45 | 10,64 | 5,78   | 0,69 | 93,43 | 13,56 |
| 1T        | 0,81   | 0,14 | 7,60 | 2,88 | 1,85   | 0,31 | 29,09 | 6,23  | 3,55   | 0,44 | 57,23 | 8,34  | 5,74   | 0,64 | 91,90 | 12,60 |
| 2T        | 0,75   | 0,17 | 6,43 | 2,36 | 1,75   | 0,27 | 27,53 | 5,43  | 3,56   | 0,57 | 57,20 | 11,08 | 5,60   | 0,76 | 90,59 | 15,56 |
| 3T        | 0,24   | 0,32 | 2,35 | 3,29 | 0,65   | 0,86 | 10,71 | 14,33 | 1,61   | 1,67 | 26,46 | 27,87 | 2,73   | 2,56 | 45,40 | 44,25 |
| 4T        | 0,77   | 0,27 | 8,63 | 3,63 | 1,91   | 0,27 | 29,26 | 5,64  | 3,47   | 0,18 | 55,58 | 6,09  | 4,97   | 0,36 | 82,01 | 7,81  |

**Tab. 14.** Průměrná hmotnost čerstvé a suché biomasy kukuřice seté (říjen 2014). Hodnoty jsou uváděny v g.

| Treatment | Hmotnost čerstvé biomasy |       |         |       | Hmotnost suché biomasy |       |         |       |
|-----------|--------------------------|-------|---------|-------|------------------------|-------|---------|-------|
|           | Koleoptile               |       | Kořínek |       | Koleoptile             |       | Kořínek |       |
|           | ø                        | SD    | ø       | SD    | ø                      | SD    | ø       | SD    |
| K         | 0,733                    | 0,154 | 1,583   | 0,255 | 2,027                  | 0,026 | 3,807   | 0,052 |
| 1T        | 0,498                    | 0,073 | 1,471   | 0,143 | 1,365                  | 0,011 | 3,549   | 0,037 |
| 2T        | 0,565                    | 0,154 | 1,456   | 0,221 | 1,619                  | 0,025 | 3,594   | 0,039 |
| 3T        | 0,479                    | 0,193 | 1,432   | 0,278 | 1,390                  | 0,034 | 3,533   | 0,047 |
| 4T        | 0,612                    | 0,202 | 1,518   | 0,242 | 1,762                  | 0,032 | 3,893   | 0,043 |



**Obr. 26.** Délka koleoptile a kořínků poslední den (6. den) – kukuřice setá (říjen 2014)



**Obr. 27.** Graf průměrné hmotnosti čerstvé a suché biomasy (procenta) v závislosti na kontrolní sadě (100 %) – kukuřice setá (říjen 2014)

## 5. Diskuse

Šerá a její kolektiv (2010) a Hrušková (2009) hodnotily ošetřování plazmatem na pšenici seté a ovsu setém. Metody tohoto pokusu byly odlišné, byla použita jiná aparatura. Semena byla stimulována plazmatem po dobu 3, 5, 10, 20 a 40 minut a také byla zvláště prováděna stimulace vakuem. Semena byla ponechána klíčení, na Petriho miskách v laboratorních podmínkách ve tmě. Zjišťovala se změna povrchového materiálu, vzcházivost a počáteční růst semen a také obsah fenolických složek. Nejpriznivější změny byly zaznamenány u plazmatem ošetřené pšenice, kde byly značné změny v povrchovém materiálu a počtu klíčících semen. Výsledek této studie naznačuje, že ošetření plazmatem inhibuje v prvních dnech klíčící rychlost pšenice. Pozorovány byly větší délky koleoptilí u střední doby stimulace. Ošetření u ovsu setého neovlivnilo klíčení semen, ale délka kořínku byla větší.

Petřík (2010) ve své práci uvedl vliv plazmatu na mák setý a pohanku setou. Ke stimulaci plazmatem používal jinou plazmochemickou aparaturu. U máku setého byly prováděny dva pokusy, při ošetřujících časech 10, 30, 50, 70, 90 minut. U pohanky seté byly časy ošetření: 3, 5, 10 minut. U těchto vzorků byla sledována klíčivost, délky klíčků a změna povrchu. Z prvního pokusu máku setého měla nejvyšší průměrnou délku klíčků semena ošetřená po dobu 50 minut. Ve druhém pokusu s mákem setým byly potvrzeny výsledky prvního pokusu, doba stimulace 50 minut měla na semena opět pozitivní vliv. U pohanky seté byl zaznamenán negativní vliv u všech dob stimulace v porovnání s kontrolní sadou. Hmotnost, délky klíčků i počty klíčících semen se snižovaly se zvyšující se dobou stimulace.

Další pokus Gavrila a jeho kolektivu (2012) byl uskutečňován na máku setém, kdy byl testován počet klíčících semen a délkové přírůstky. Výzkum byl prováděn na dvou kultivarech máku setého – Major a Orfeus. Byla použita stejná metodika, zaznamenávání se provádělo v jednodenních intervalech až do vzniku děložního lístku. Pro ošetření plazmatem byl použit stejný GliArc reaktor. Použité časy ošetření: 0, 3, 5, 10 minut. U obou kultivarů nedošlo ke zlepšení klíčivosti semen, ale byl zjištěn pozitivní nárůst délek u nadzemních částí a kořínků. U kultivaru Major byly délky nadzemních částí jednoznačně větší než u kontrolní sady. Nejlépe se dařilo semenům ozařovaným 3 minuty. V případě kultivaru Orfeus byly největší délky klíčků

zaznamenány u semen stimulovaných po dobu 3 a 10 minut, naopak u doby stimulace 5 minut byla semena negativně ovlivněna.

Henselová a její kolektiv (2012) prováděli výzkum na kukuřici seté. K ozařování plazmatem bylo užito jiné aparatury, časy stimulace byly 1 a 2 minuty. Bylo zkoumáno mnoho charakteristik: počáteční růst semen, obsah proteinů, enzymatická aktivita příslušných enzymů a také kořenová morfologie a anatomie. Měření koleoptile, kořínků a stanovení hmotnosti biomasy bylo prováděno třetí a šestý den od počátku pokusu. Z výsledků výzkumu lze snadno interpretovat jednoznačně pozitivní vliv stimulace semen po dobu jedné minuty, kdy jejich délka byla navýšena o 21 % kontrolní sady, přičemž pozitivně ovlivněna byla i jejich hmotnost. Doba stimulace po dobu dvou minut měla negativní vliv nejen na délku, ale též na hmotnost semen. V tomto případě sice stimulace plazmatem pozitivně ovlivnila počáteční růst kořenů kukuřice seté, na druhou stranu však jen v malé míře ovlivnila anatomii a morfologii kořenů.

V závislosti na charakteru použité metody se výzkumy značně liší. Všechny práce byly prováděny s cílem objevit nejvýhodnější způsob pro zvýšení výnosnosti a zlepšení vlastností osiva. Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující rozdíly ve výzkumných pracích se řadí charakter plazmatu, doba jeho aplikace, použité hnací plyny, vnější podmínky a v neposlední řadě také druh či kultivar plodiny. Prováděný experiment s řepkou olejkou a kukuřicí setou na aparatuře GlidArc potvrdil jako nejvhodnější ošetření plazmatem použitím kratších časů expozice.

U obou pokusů s řepkou olejkou bylo zjištěno, že hodnoty délek nadzemních částí i kořínků a hmotností byly u prováděných experimentů rozdílné. Pokus založený v květnu, který byl prováděn se semeny, která byla plazmována 4 měsíce před začátkem pokusu, se vyznačuje menšími naměřenými délkami i hmotnostmi než u pokusu založeného v září. Lze tedy konstatovat, že lepší délkové hodnoty i hmotnosti má plodina, která je vysívána krátce po stimulaci plazmatem. V úvahu musíme brát i odlišné podmínky růstu semen (fotoperioda, množství a intenzita slunečního záření). S tím bylo u pokusů počítáno, proto byly všechny parciální testy růstu prováděny ve tmě.



V porovnávání obou pokusů s kukuřicí setou lze říci, že růstové faktory namořené (pokus založený v srpnu) a nenamořené (pokus založený v říjnu) kukuřice seté se v zásadě liší. U pokusu, který proběhl v srpnu (namořená kukuřice) lze pozorovat, že délkové hodnoty kořínků byly zpravidla nižší než u pokusu prováděného v říjnu (nenamořená kukuřice). Naopak je tomu u délek koleoptilí, které jsou u experimentu v srpnu delší než u experimentu probíhajícího v říjnu. Z toho vyplývá, že moření obilky kukuřice seté společně s úpravou plazmatem má pozitivní vliv na růst koleoptile a negativní vliv na růst kořínků. Stejný trend lze pozorovat i u hmotnosti biomasy. Hmotnosti koleoptilí jsou u pokusu s namořenou kukuřicí setou vyšší a hmotnosti kořínků opět nižší než u pokusu probíhajícího v říjnu.

K dosažení co nejpřesnějšího výsledku práce by bylo třeba měření délek všech podzemních částí (součet všech adventivních kořínků u kukuřice seté), nikoli jen nejdelších podzemních částí. Tento postup nebylo možné z časových důvodů provést. Z obdobného důvodu nebyl statisticky vyhodnocen kompletní data set.

## 6. Závěr

Vytyčené cíle práce byly splněny. U použitých plodin bylo zjištěno, který čas stimulace je nejvýnosnější. Bylo stanoveno, zda záleží na prodlevě mezi aplikací plazmatu a dobou vysévání a také zda má vliv na semena ošetření mořidlem. Krátké výsledky jsou prezentovány v těchto odstavcích.

Z prvního pokusu s řepkou olejkou (květen) je patrné, že největších měřených hodnot dosahovala sada „3T“ (doba ošetření 5 minut). U čerstvých i suchých nadzemních částí byly zjištěny nejvyšší hmotnosti. Ošetření plazmatem po dobu 3 minut („2T“) mělo jednoznačně negativní vliv. U těchto semen byly naměřeny nejmenší délky i hmotnosti čerstvé i suché biomasy. Pozitivní vliv byl zaznamenán u semen s dobou stimulace 5 a 10 minut. Negativní vliv byl shledán u semen stimulovaných po dobu 3 minut.

U druhého pokusu řepky olejky (září) se nejvíce dařilo nadzemním částem sady, která byla 3 minuty ozařovaná plazmatem („2T“). Nejdelsí kořínky byly zaznamenány u sad „2T“ a „4T“, které měly velice podobné hodnoty. Hmotnosti čerstvých kořínků byly v porovnání s kontrolní sadou u všech plazmatem ošetřených sad několikanásobně vyšší. Negativní vliv na růst nadzemních částí i kořínků byl zaznamenán u sady kontrolní, která měla většinou nejkratší délky i nejmenší hmotnosti čerstvé i suché biomasy. Lze tedy konstatovat, že u těchto semen plazma působilo vždy pozitivně oproti kontrole.

První pokus s kukuřicí setou, prováděný v srpnu, ukazuje pozitivní vliv stimulace plazmatem po dobu 1 minuty („1T“). Z délkových hodnot lze také jasně určit, že sadě „4T“ se dařilo nejhůře, měla nejkratší délky koleoptile, kořínků i hmotností. Nejvyšší hmotnost čerstvé i suché biomasy vykazovala semena, stimulovaná po dobu 1 a 5 minut.

U druhého pokusu s kukuřicí setou (říjen) lze říci, že vliv plazmatu ve všech dobách stimulace měl negativní důsledky v porovnání s kontrolní sadou. Kontrolní sada měla vždy vyšší naměřené délky i hmotnosti. Nejkratší délky kořínků byly zaznamenány u treatmentu „3T“ (5 minut), a nejkratší délky koleoptile byly

u treatmentů „1T“ (1 minuta). Lze tedy konstatovat, že pro tento pokus nebylo výhodné plazmování.

Výsledky práce byly použity k prezentaci na vědecké konferenci. Úplný text příspěvku ze sborníku (evidován na WoS) je uveden jako příloha této práce.

## 7. Seznam použité literatury

Baranyk J., Balík J., Hájková M., Havel J., Kazda J., Lošák T., Málek B., Markytán P., Plachká E., Richter R., Soukup J., Stražil Z., Šaroun J., Škeřík J., Šmirous P., Štranc P., Volf M., Vrbovský V., Zehnálek P. a Zelený V., 2010: Olejníny. Praha: Profi Press s.r.o., 206 s.

Bečka D., Vašák J., Zukalová H. a Mikšík V., 2007: Řepka ozimá – Pěstitelský rádce. Praha: Kurent s.r.o., Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra rostlinné výroby, FAPPZ. 56. s.

Dhayal M., Lee S. Y., Park S. U., 2006: Using low-pressure plasma for *Carthamus tinctorium* L. seed surface modification. *Vacuum* 80(5): 499-506.

Diviš J., 2000: Pěstování rostlin: (učební texty pro obor provozní podnikatel a pozemkové úpravy a převody nemovitostí). České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 258 s.

Dubinov A. E., Lazarenko E. M., Selemir V. D., 2000: Effect of glow discharge air plasma on grain crops seed. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 28(1): 180-183.

Fridman G., Brooks A.D., Balasubramanian M., Fridman A., Gutsol A., Vasilets V. N., Ayan H., Friedman G., 2007: Comparison of direct and indirect effects of non-thermal atmospheric-pressure plasma on bacteria. *Plasma Processes and Polymers*, 4(4): 370-375.

Gavril B., Gajdová I., Šerá B., Kuchtová P., Šerý M., Špatenka P., Hnatiuc E., 2012: Různá reakce semen kultivarů máku setého po ošetření netermálním plazmatem. – 231-235 s., In: Hnilička F. (ed), *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin*, 2011, ČZU, Praha.

Gavril B., Hnatiuc E., Sera B., Hruskova I., Padureanu S., Haisan C., 2011: Possibilities of performing treatments on seeds using cold plasma discharges. - 189-192 s. In: *XVIXth Symposium on Physics of Switching Arc*, September 5-9, 2011, Nove Mesto na Morave, Brno.

Henselová M., Slováková L., Martinka M., Zahoranová 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.

Hosnedl V., Vašák J., Mečiar L., 1998: Rostlinná výroba II. (Luskoviny, olejniny). Praha: Agronomická fakulta ČZU v Praze, katedra rostlinné výroby, 180 s.

Hrušková, I., 2009: Modifikace povrchových vlastností plazmatem u semen. Diplomová práce, České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, 59 s.

Chen F., 1984: Úvod do fyziky plazmatu. Praha: Academia, 328 s.

Kalghatgi S. U., Fridman G., Cooper M., Nagaraj G., Peddinghaus M., Balasubramanian M., Vasilets N. V., Gutsol A., Fridman A., Friedman G. 2007: Mechanism of blood coagulation by nonthermal atmospheric pressure dielectric barrier discharge plasma. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 35(5): 1559-1566.

Masarovičová E., Malovcová L., Sekerková M., Babulicová M., 2014: Charakteristika repky olejky z hľadiska pestovateľských a klimatických podmienok, s. 71-100. In: Bláha L., Šerá B. (ed.), *Príspevky k problematice zemědělského pokusnictví: Contribution to agricultural experimentation*, 2014, Výzkumný ústav rostlinné výroby, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Praha, České Budějovice.

Michl J., 1988: Rostlinná výroba: Olejniny. Praha: Vysoká škola zemědělská v Praze. 224 s.

Moudrý J., Jůza J., 1998: Pěstování obilnin. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 87 s.

Mráz, I., Beran, P., Šerá, B., Gavrila, 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.

Petřík V., 2010: Studium vlivu plazmatu na klíčivost semen. Bakalářská práce, školitel České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, 57 s.

Skládanka J., 2006: Kukuřice setá *Zea Mays* L.. Ústav výživy zvířat a písařství MZLU v Brně, Oddělení písařství. [cit. 18. 4. 2015]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_222\\_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=kukurice.html](http://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=kukurice.html)

Sobotka M., Jelínková-Paroulková D., 1958: Atlas obilnin - československých povolených a rayonovaných odrůd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 280 s.

Stach V., 1987: Úvod do problematiky fyziky plazmatu. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta. 80 s.

Straňák V., Tichý M., Kříha V., Scholtz V., Šerá B., Špatenka P., 2007: Technological applications of sulfatron produced discharge. JOAM, 9(4): 852-857.

Šerá B., Straňák V., Šerý M., Tichý M., Špatenka P., 2008: Germination of *Chenopodium album* in response to microwave plasma treatment. Plasma Science and Technology, 10(4): 506-511.

Šerá B., Špatenka P., Šerý M., Vrchotová N., Hrušková I., 2010: Influence of plasma treatment on wheat and oat germination and early growth. IEEE Transactions on Plasma Science, 38(10): 2963-2968.

Špaldon E., Andraščík M., Bechyně M., Belej J., Fric V., Fuciman L., Hruška L., Krausko A., Petr J., Rybáček V., Škula K., Váša F., Votoupal B., Vrzalová J., 1986: Rostlinná výroba. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 714 s.

Špička J., 2004: Biochemie. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 150 s.

Yildirim E. D., Ayan H, Vasilets V. N., Fridman A., Gucer S., Sun W., 2008: Effect of dielectric barrier discharge plasma on the attachment and proliferation of osteoblasts cultured over poly (alfa-caprolactone) scaffolds. Plasma Processes and Polymers, 5: 58-66.

Yin M., Huang M., Ma B., Ma T., 2005: Stimulating effects of seed treatment by magnetized plasma on tomato growth and yield. Plasma Science and Technology, 7(6): 3143-3147.

Zimolka J., 2008: Kukuřice: hlavní a alternativní užitkové směry. Praha: Profi Press, 200 s.

Živkovič S., Puač N., Giba Z., Grubišič, D., Petrovič Z. L. J., 2004: The stimulatory effect of non-equilibrium (low temperature) air plasma pretreatment on light-induced germination of *Paulownia tomentosa* seeds. *Seed Science and Technology*, 32(3): 693-701.

## **Seznam příloh**

**Příloha 1.** Seznam obrázků

**Příloha 2.** Seznam tabulek

**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., Vědecký a technický seminář, 5. 2. 2015, Praha, 35-40 s.



## **Příloha 1. Seznam obrázků**

|   |    |
|---|----|
| <b>Obr. 1.</b> Řepka olejka ( <i>Brassica napus</i> L.) .....   | 12 |
| <b>Obr. 2.</b> Růstové fáze řepky olejky .....  | 14 |
| <b>Obr. 3.</b> Kukuřice setá ( <i>Zea mays</i> L.) .....  | 20 |
| (Převzato z Sobotka a Jelínková-Paroulková, 1958).....  | 20 |
| <b>Obr. 4.</b> Samčí květenství (vpravo) a samičí květenství (vlevo) kukuřice seté .....  | 22 |
| <b>Obr. 5.</b> Růstové fáze kukuřice seté .....   | 23 |
| <b>Obr. 6.</b> Klíčící rostlina kukuřice seté.....  | 24 |
| <b>Obr. 7.</b> GliArc reaktor (1 – elektrody, 2 – zdroj vysokého napětí, 3 – klouzavý<br>pohyb výboje).....   | 30 |
| <b>Obr. 8.</b> Skládání řepky olejky na Petriho miskou .....  | 31 |
| <b>Obr. 9.</b> Přehled Petriho misek s řepkou olejkou .....   | 32 |
| <b>Obr. 10.</b> Naskládání Petriho misek do krabice (nahore), uložené Petriho misky<br>v laboratoři (dole) .....  | 33 |
| <b>Obr. 11.</b> Skládání kukuřice seté na Petriho miskou .....  | 34 |
| <b>Obr. 12.</b> Klíčení řepky olejky a její nadzemní a podzemní části .....   | 35 |
| <b>Obr. 13.</b> Klíčení kukuřice seté a její nadzemní a podzemní části .....  | 35 |
| <b>Obr. 14.</b> Klíčící kukuřice setá 3. den .....  | 37 |
| <b>Obr. 15.</b> Klíčící kukuřice setá 4. den .....  | 37 |
| <b>Obr. 16.</b> Klíčící kukuřice setá 5. den .....  | 37 |
| <b>Obr. 17.</b> Klíčící kukuřice setá 6. den .....  | 37 |
| <b>Obr. 18.</b> Klíčící kukuřice setá 7. den .....  | 37 |
| <b>Obr. 19.</b> Kukuřice setá po ořezání klíčků (nahore) a kořínků (dole).....  | 37 |
| <b>Obr. 20.</b> Délka nadzemních částí a kořínků poslední den (5. den) – řepka olejka<br>(květen 2014).....   | 39 |
| <b>Obr. 21.</b> Graf průměrné hmotnosti čerstvé a suché biomasy (procenta)<br>v závislosti na kontrolní sadě (100 %) – řepka olejka (květen 2014) ..... | 40 |
| <b>Obr. 22.</b> Délka nadzemních částí a kořínků poslední den (5. den) – řepka olejka<br>(září 2014).....   | 42 |
| <b>Obr. 23.</b> Graf průměrné hmotnosti čerstvé a suché biomasy (procenta)<br>v závislosti na kontrolní sadě (100 %) – řepka olejka (září 2014) .....   | 42 |
| <b>Obr. 24.</b> Délka koleoptile a kořínků poslední den (6. den) – kukuřice setá<br>(srpen 2014).....   | 44 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Obr. 25.</b> Graf průměrné hmotnosti čerstvé a suché biomasy (procenta)<br>v závislosti na kontrolní sadě (100 %) – kukuřice setá (srpen 2014) ..... | 44 |
| <b>Obr. 26.</b> Délka koleoptile a kořínků poslední den (6. den) – kukuřice setá<br>(říjen 2014) .....  | 46 |
| <b>Obr. 27.</b> Graf průměrné hmotnosti čerstvé a suché biomasy (procenta)<br>v závislosti na kontrolní sadě (100 %) – kukuřice setá (říjen 2014) ..... | 46 |

## **Příloha 2. Seznam tabulek**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tab. 1.</b> Přehled setů řepky olejky .....  | 32 |
| <b>Tab. 2.</b> Přehled setů kukuřice seté .....   | 34 |
| <b>Tab. 3.</b> Průměrná a sumární délka nadzemních částí řepky olejky (květen 2014).<br>Hodnoty jsou uváděny v cm.....  | 38 |
| <b>Tab. 4.</b> Průměrná a sumární délka kořínků řepky olejky (květen 2014). Hodnoty<br>jsou uváděny v cm. ....          | 39 |
| <b>Tab. 5.</b> Průměrná hmotnost čerstvé a suché biomasy řepky olejky<br>(květen 2014). Hodnoty jsou uváděny v g. ....  | 39 |
| <b>Tab. 6.</b> Průměrná a sumární délka nadzemních částí řepky olejky (září 2014).<br>Hodnoty jsou uváděny v cm.....    | 41 |
| <b>Tab. 7.</b> Průměrná a sumární délka kořínků řepky olejky (září 2014). Hodnoty<br>jsou uváděny v cm. ....            | 41 |
| <b>Tab. 8.</b> Průměrná hmotnost čerstvé a suché biomasy řepky olejky (září 2014).<br>Hodnoty jsou uváděny v g. ....    | 41 |
| <b>Tab. 9.</b> Průměrná a sumární délka koleoptile kukuřice seté (srpen 2014).<br>Hodnoty jsou uváděny v cm.....        | 43 |
| <b>Tab. 10.</b> Průměrná a sumární délka kořínků kukuřice seté (srpen 2014).<br>Hodnoty jsou uváděny v cm.....          | 43 |
| <b>Tab. 11.</b> Průměrná hmotnost čerstvé a suché biomasy kukuřice seté<br>(srpen 2014). Hodnoty jsou uváděny v g. .... | 44 |
| <b>Tab. 12.</b> Průměrná a sumární délka koleoptile kukuřice seté (říjen 2014).<br>Hodnoty jsou uváděny v cm.....       | 45 |
| <b>Tab. 13.</b> Průměrná a sumární délka kořínků kukuřice seté (říjen 2014). Hodnoty<br>jsou uváděny v cm. ....         | 45 |
| <b>Tab. 14.</b> Průměrná hmotnost čerstvé a suché biomasy kukuřice seté<br>(říjen 2014). Hodnoty jsou uváděny v g.....  | 46 |

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., Vědecký a technický seminář, 5. 2. 2015, Praha, 35-40 s.

## 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 (ozáření 286  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). List řepky byl uzavřen do měřicí kvyety přístroje, v níž byly upraveny podmínky měření tímto způsobem:  $\text{CO}_2$  400 ppm, rel. vlhkost 56 – 60 %, teplota listu 23 °C. Před měřením byl list ponechán v kvyetě 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 vyřezány 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).

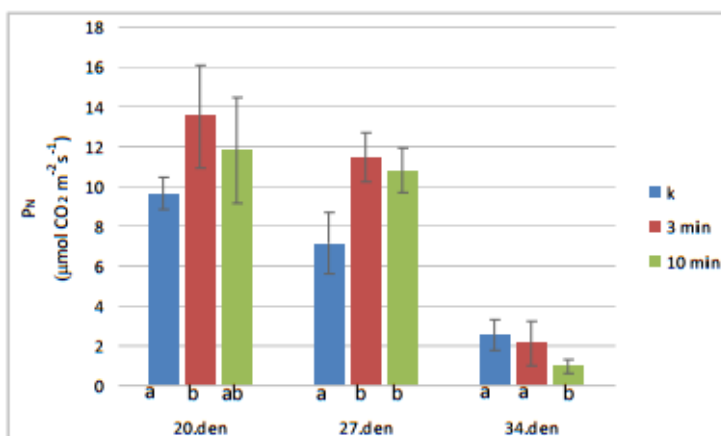
**Tab. 2: Charakteristiky klíčení a počátečního růstu oplazmovaných semen řepky olejky z posledního dne pokusu.** (Označení R znamená podzemní část rostliny a S nadzemní část rostliny. Různá písmena ve sloupci HSD uvádí významné rozdíly zjištěné v testu Tukey ( $P < 0.05$ ) při porovnávání každý s každým. 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 |
| <b>Kontrola</b> | 100     | a   | 100     | a   | 100     | a   | 100                        | a   | 100                        | a   | 100               | a   | 100               | a   |
| <b>3 min</b>    | 94      | a   | 74      | b   | 86      | b   | 74                         | a   | 57                         | b   | 72                | b   | 92                | a   |
| <b>5 min</b>    | 97      | a   | 108     | a   | 106     | a   | 328                        | b   | 128                        | a   | 91                | ab  | 104               | a   |
| <b>10 min</b>   | 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 CO<sub>2</sub> – čistá fotosyntéza P<sub>N</sub>

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.

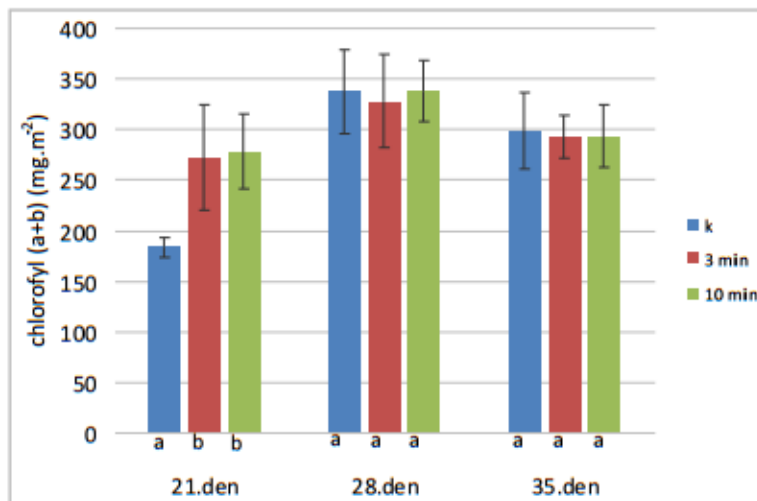


**Graf 1:** Vývoj průměrné rychlosti čisté fotosyntézy (PN) prvního listu v průběhu experimentu, 20., 27. 34. den kultivace (Chybové úsečky značí směrodatné odchylky. Různá písmena u jednotlivých sloupců v grafu značí významné rozdíly dle testu Tukey ( $P < 0.05$ ) při porovnávání každých s každým)

#### 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 shledány 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 m<sup>2</sup> 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 každým 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