



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra genetiky a zemědělských technologií

Autoreferát disertační práce

Vliv fyzikálního a biologického ošetření semen na klíčivost, energii klíčení, vzcházení a počáteční vývoj genetických zdrojů obilovin

Autor: Ing. Martin Matějovič

Školitel: prof. Ing. Vladislav Čurn, Ph.D.

Školitel specialista: Ing. Petra Hlásná Čepková, Ph.D.

České Budějovice, 2024

Autoreferát disertační práce

Doktorand: Ing. Martin Matějovič
Studijní program: Biotechnologie
Studijní obor: Zemědělské biotechnologie
Název práce: Vliv fyzikálního a biologického ošetření semen na klíčivost, energii klíčení, vzcházení a počáteční vývoj genetických zdrojů obilovin
Školitel: prof. Ing. Vladislav Čurn, Ph.D.
Zemědělská fakulta
Katedra genetiky a zemědělských biotechnologií
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Školitel specialista: Ing. Petra Hlásná Čepková, Ph.D.
Výzkumný ústav rostlinné výroby (VÚRV), Praha – Ruzyně
Oponent: Ing. Kateřina Pazderů, Ph.D.
Katedra agroekologie a rostlinné produkce
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Česká zemědělská univerzita v Praze
Oponent: Doc. Dr. Ing. Jaroslav Salava
Výzkumný ústav rostlinné výroby (VÚRV), Praha – Ruzyně
Oponent: prof. Ing. Petr Špatenka, CSc.
Zemědělská fakulta
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Obhajoba disertační práce se koná dne 11.12.2024 v 10:30 hodin v zasedací a seminární místnosti ZR-ZM 01 053, 1. patro na Katedře genetiky a zemědělských biotechnologií Zemědělské fakulty JU v Českých Budějovicích.

S disertační prací se lze seznámit na studijním oddělení Zemědělské fakulty JU v Českých Budějovicích.

prof. Ing. Vladislav Čurn, Ph.D.
Předseda oborové rady
Zemědělské biotechnologie
FZT JU v Českých Budějovicích

Abstrakt

V rámci disertační práce byl hodnocen vliv dlouhodobého skladování v genové bance a vliv ošetření nízkoteplotní plazmou na klíčivost semen, vývojové charakteristiky klíčenců, výskyt chorob a tvorba sloučenin, spojených s klíčením a případnými stresovými reakcemi, spojenými se vznikem reaktivních sloučenin kyslíku nebo dusíku po použití elektromagnetického výboje. Do experimentu byla zahrnuta semena jedenácti rostlinných druhů pšenice (*Triticum aestivum*), ovsa (*Avena sativa*), ječmene (*Hordeum vulgare*), lnu (*Linum usitatissimum*) a řepky (*Brassica napus*). Testovala se čerstvá semena a semena uložená v genové bance při teplotě -18 °C po dobu 10ti a 20ti let. Všechny varianty byly dále ošetřeny nízkoteplotní plazmou po dobu 20, 25 a 30 min. U semen byla hodnocena klíčivost, u klíčenců pak délka kořenů a klíčků, přítomnost děložních listů a počty poškozených semen. Fyziologické charakteristiky sledovaly obsah fyziologicky aktivních látek, podílejících se na mechanismu klíčení. Patřily sem obsah celkových fenolů, aktivita superoxiddismutázy, antioxidační aktivita a obsah malonyl-di-aldehydu. Výsledky ukazují, že doba uložení 10 a 20 let měla příznivý vliv na klíčivost semen a vývoj klíčenců u všech sledovaných druhů. Doba 30 min ošetření nízkoteplotní plazmou se jeví jako dlouhá expozice pro sledované druhy, která nepříznivě ovlivnila vývoj klíčících rostlin. Jako vhodnou dobou ošetřování se jeví doba 25 min. Výjimku představovala klíčivost u vzorků lnu a řepky, kde došlo ke zvýšení klíčivosti, jak u čerstvých semen, tak uskladněných po dobu 10 i 20 let. Výsledky analýz antioxidačních enzymů, aktivity a dalších složek ukázaly, že lze semenné vzorky rozdělit na skupinu drobnosemenných, kdy došlo k navýšení obsahu sledovaných antioxidačních látek a enzymů a naopak na skupinu velkosemenných druhů, které obsah a antioxidační aktivitu snížily. Do první skupiny lze zařadit len a řepku, do druhé skupiny pak náleží pšenice, oves a ječmen. aktivitu Z výše získaných výsledků vyplývá, že reakce jednotlivých druhů rostlin na dlouhodobé uskladnění v genové bance, a také na délku expozice nízkoteplotní plazmou, je druhová záležitost.

Klíčová slova: nízkoteplotní plazma, vakuová plazma, semena, klíčivost, pšenice, oves, ječmen, len, řepka

Abstract

This study evaluated the effect of long-term storage in a gene bank and the effect of low-temperature plasma treatment on seed germination, seedling developmental characteristics, disease incidence, and the formation of compounds associated with germination and possible stress reactions associated with the formation of reactive oxygen or nitrogen compounds following the application of electromagnetic discharge. Seeds of eleven plant species of wheat (*Triticum aestivum*), oats (*Avena sativa*), barley (*Hordeum vulgare*), flax (*Linum usitatissimum*) and rape (*Brassica napus*) were included in the experiment. Fresh seeds and seeds stored in a genebank at -18 °C for 10 and 20 years were tested. All variants were further treated with low-temperature plasma for 20, 25 and 30 min. Seeds were evaluated for germination, while root and radicle length, presence of womb leaves and number of damaged seeds were evaluated. The physiological characteristics monitored the content of physiologically active substances involved in the germination mechanism. These included total phenolic content, superoxide dismutase activity, antioxidant activity and malonyl-di-aldehyde content. The results show that storage periods of 10 and 20 years had a favourable effect on seed germination and seedling development in all species studied. A 30 min treatment period with low-temperature plasma appears to be a long exposure for the species studied, which adversely affected germination development. A treatment period of 25 min appears to be appropriate. Effect of plasma seed treatment on germination and plant development. An exception was germination in flax and rapeseed samples, where germination was increased both in fresh seeds and those stored for 10 and 20 years. The results of the analyses of antioxidant enzymes, activity and other components showed that the seed samples can be divided into a group of small-seeded species, where the content of the observed antioxidant substances and enzymes increased, and vice versa into a group of large-seeded species, which decreased the content and antioxidant activity. The first group includes flax and rape, while the second group includes wheat, oats and barley. The above results indicate that the response of individual plant species to long-term storage in a gene bank, and also to the length of exposure to low-temperature plasma, is a species-specific issue.

Keywords: low temperature plasma, vacuum plasma, seeds, germination, wheat, oats, barley, flax, rape

Obsah

1. Úvod.....	6
2. Literární přehled.....	8
2.1. Klíčení.....	8
2.2. Chemické sloučeniny vázané na procesy klíčení.....	8
2.3. Zlepšení procesu klíčení semen a klíčivosti.....	9
2.4. Plazma.....	10
2.5. Typy plazmových technologií.....	10
2.6. Vliv nízkoteplotní plazmy na rostliny.....	10
2.7. Dlouhodobé skladování.....	11
3. Hypotézy a cíle.....	12
3.1. Cíle práce.....	12
3.2. Hypotézy.....	12
4. Experimentální část a výsledky.....	13
4.1. Aplikační aparatura vakuové nízkoteplotní plazmy.....	13
4.2. Rostlinný materiál.....	13
4.3. Základní parametry hodnocení klíčení a klíčivosti.....	14
4.4. Morfometrické hodnocení.....	14
4.5. Výskyt fytopatogenních organismů.....	15
4.6. Enzymatická a antioxidační aktivita.....	15
5. Posouzení stanovených hypotéz.....	17
6. Literatura.....	18
7. Seznam publikací.....	22
8. Životopis.....	24

Zkratky

Zkratky v textu

DBD	dielektrický výboj s bariérou (dielectric barrier discharge)
DNA	deoxyribonukleová kyselina
GB	Genová banka Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v.v.i.
GI	index klíčivosti (germination index)
GR	rychlost klíčení (germination rate)
GZR	genetické zdroje rostlin
JČU	Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
kPa	kiloPascal
LTP	nízkoteplotní plazma (low temperature plasma)
LTVP	nízkoteplotní vakuová plazma (low temperature vacuum plasma)
MDA	malonyl-di-aldehyd
MGT	střední doba klíčení (mean germination time)
MLR	střední délka kořenů (mean length of roots)
MLS	střední délka klíčků (mean length of sprouts)
NPGZ	Národní program genetických zdrojů rostlin, zvířat a mikroorganismů významných pro výživu a zemědělství
PDA	živné agarové médium (potato dextrose agar)
POD	peroxidáza
RNS	dusíkové radikály
ROS	kyslíkové radikály
RSR	Poměr kořenů a klíčků (root:shoot ratio)
SG [3]	Procento klíčivosti [3. den] (seed germination)
SOD	superoxiddismutáza
SVI	index vitality semenáčů (seedling vigor index)
TAC	celková antioxidační aktivita / obsah (total antioxidant content)
TFC	celkový obsah flavonoidů (total flavonoid content)
TPC	celkový obsah fenolů (total phenol content)
VÚRV	Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. v Praze

Zkratky použité pro varianty ošetření

C	kontrola (control)
T1	varianta 1 – 20 min ošetřování (Treatment 1)
T2	varianta 2 – 25 min ošetřování (Treatment 2)
T3	varianta 3 – 30 min ošetřování (Treatment 3)
P1	perioda 1 – recentně uložená semena do GB
P10	perioda 2 – semena uložená 10 let v GB
P20	perioda 3 – semena uložená 20 let v GB

1. Úvod

Biologická rozmanitost živých organismů a její ochrana jsou předpokladem zachování základních podmínek existence lidstva a kvality života. Zejména pak zachování rozmanitosti rostlin, které díky schopnosti poutat sluneční energii a ukládat ji v chemických vazbách organické hmoty, vytvářejí předpoklad pro existenci dalších forem života. Z celkových 290 tisíc druhů rostlin je asi 100 druhů rostlin patřících k 37 rodům je označováno jako významné plodiny a přes 800 dalších druhů bývá označováno jako plodiny minoritní. Pěstováním a později záměrným šlechtěním vznikla v rámci těchto druhů obrovská vnitrodruhová genetická diverzita, reprezentovaná krajovými a šlechtěnými odrůdami a jiným genetickým materiálem, který je spolu s planými příbuznými druhy označován jako genetické zdroje rostlin (GZR). Genetická diverzita zemědělských plodin má základ v jejich planých předcích a vyvíjela se v průběhu jejich pěstování, kdy výběrem a vlivy prostředí vznikala široká škála krajových (Holubec et al., 2017) i dalších odrůd.

Většina kvetoucích rostlin se reprodukuje procesem opylení, jehož zakončením je vznik klíčivé diaspory - semene.

Uchování jak planých druhů tak i šlechtěných odrůd ve formě semenných vzorků má v ČR na starosti Genová banka Výzkumného ústavu rostlinné výroby v Praze - Ruzyni (VÚRV, v.v.i.). Základní povinností GB VÚRV je uchování krajových odrůd české provenience a zároveň planých druhů rostlin s potenciálem užití ve šlechtění. Za tímto účelem vznikl v 1993 program na ochranu GZR (Národní program konzervace a využití genetických zdrojů rostlin), který definoval další zacházení s GZR (Dotlačil et al., 2013). Úkolem genových bank je během shromažďování a ošetřování semenných vzorků GZR zachování čistoty odrůdy nebo druhu, zachování vhodné úrovně klíčivosti a v neposlední řadě zachování odpovídajícího zdravotního stavu semen. Tyto úkoly jsou doplněny o dlouhodobé uchování GZR pro potřeby budoucího šlechtění.

Protože není možné přijmout k dlouhodobému uskladnění semena poškozená, nemocná, chemicky ošetřená, nabízí se možnost využít nejnovější poznatky pro ošetření semen v podobě nových fyzikálních metod. Tyto metody jsou v současnosti populární pro svoji jednoduchou aplikaci a nízkou finanční náročnost. Mezi tyto metody lze zařadit metodu plazmatického ošetření semen prostřednictvím různých typů plazmatického výboje. Výhodou této metody, běžně označované jako nízkoteplotní plazma, je snížení fytopatogenní zátěže povrchu semen, některé modifikace povrchu semen, aktivace enzymatických a metabolických drah vedoucích ke klíčení a to vše metodou šetrnou k životnímu prostředí.

Předkládaná práce se věnuje úpravě semenných vzorků GZR před setím metodou nízkoteplotního plazmatického výboje ve vakuu. Metoda vakuového nízkoteplotního plazmatického výboje (LTVP) byla vybrána na základě velikosti a hmotnosti použitých semen. Běžně v literatuře uváděné metody tzv. DBD plazmatického výboje nebo Gliding Arc využívají k vynesení elektického výboje mezi elektrodami proudu inertního plynu, který ale může vzorky s lehkými a drobnými semeny defragmentovat. Další výhodou LTVP může být nižší teplota výboje než u předchozích metod. Již byl prokázán vliv nízkoteplotního plazmatu na úspěšné snížení fytopatogenní zátěže semen a zdravotního stavu, také byl prokázán vliv na aktivaci klíčení a vzcházení a též na tvorbu

pravidelného porostu v polních podmínkách a stejně tak i vliv na množství biomasy a aktivaci různých metabolických drah.

Většina dosud publikovaných studií nepokrývala vliv LTVP na dlouhodobě uložená semena. Přínos této práce spočívá zejména ve studiu a ověření vlivu ošetření LTVP na dlouhodobě uložené semenné vzorky používaných plodin s drobnými (řepka, len) i většími (obiloviny) semeny. Využití všech zmíněných výhod, které nízkoteplotní plazma nabízí, jej předurčuje k dalšímu výzkumu, který může ovlivnit zvýšení kvality skladovaného osiva v genových bankách, délku skladování či zlepšit parametry klíčení a vzcházení v polních podmínkách.

2. Literární přehled

2.1. Klíčení

Většina kvetoucích rostlin se reprodukuje mechanismem opylení, dvojitého oplození a tvorbou semen (Rajjou et al., 2012). Jedná se o nejkompexnější a nejúspěšnější metodu sexuální reprodukce cévnatých rostlin (Linkies et al., 2010). Následné klíčení semen je komplikovaný fyziologický proces, počínající absorpcí vody (imbibicí) a je zakončen vývojem kořene (Attri et al., 2021; Starič et al., 2020; Adhikari et al., 2019). Úspěšné vyklíčení a vývoj zdravě utvářených semenáčů jsou faktory, hrající zásadní roli při rozmnožování planých i kulturních druhů rostlin, pro rozšiřování populací a rychlé zotavení z perturbací (de Melo et al., 2015). Klíčení je kritickou fází vývoje rostliny (Gelmond, 1978), které zahrnuje komplex fyziologických (Yamaguchi, Nambara, 2006) procesů počínajících absorpcí vody (Bewley et al., 2013; Rajjou et al., 2012) suchým, plně vyzrálým semenem až po ukončení vývoje diferenciací pletiv embrya, tvorbou embryonální osy (Bewley et al., 2013) a perforací semenných obalů radikulou, kdy nastává rozvoj semenáčů (Rajjou et al., 2012). Aby se zvýšila produkce zemědělských rostlin, je žádoucí rovnoměrné klíčení a vzcházení semen po výsevu. Předtím, než může semeno začít s rozvojem procesů vedoucích ke klíčení, musí být ukončeny fáze příprav (Miransari, Smith, 2009). Ty závisí na metabolickém stavu semene, zejména na dostupnosti rezervních látek (Aguire et al., 2018; Baud, 2018; Gallardo et al., 2008; Wang et al., 2015; Miernyk, Hajdych, 2011), které se k embryu dostávají prostřednictvím specifických enzymů a drah (Miransari, Smith, 2009).

Klíčení se tradičně popisuje jako proces, který zahrnuje 3 fáze (Nonogaki et al., 2010). V první fázi, kdy semeno nastartuje procesy, vedoucí ke klíčení je absorpce (imbibice) vody (Toole et al., 1956). Dehydratace a rehydratace během vývoje a zrání semene a jeho klíčení jsou spojeny také s vysokou úrovní oxidativního stresu, což ve výsledku vede k poškození DNA (Curien et al., 1998). Ve druhé fázi klíčení se iniciují metabolické procesy (Nonogaki et al., 2010), kdy se opětovně spojují jedno- a dvouřetězcové zlomy DNA pomocí DNA ligázy (Rajjou et al., 2012). Enzymatické reparace DNA během klíčení dokazuje navýšení množství enzymů, které se na opravě v prvních stádiích klíčení podílí (Macovei et al., 2011). Poslední, třetí fázi klíčení je prorůstání radikuly skrz semenné obaly (Nonogaki et al., 2010).

2.2. Chemické sloučeniny vázané na procesy klíčení

Kyslíkové nebo dusíkové radikály (ROS, resp. RNS) mezi které se řadí superoxidové anionty ($\bullet\text{O}_2^-$), singletový kyslík ($^1\text{O}_2$), hydroxylové radikály ($\bullet\text{OH}$) nebo peroxid vodíku (H_2O_2), jsou podle Abrantes et al. (2021) hlavními spouštěči řady reakcí v buňkách. Během suchého skladování semen dochází při zvýšení obsahu vody v semeni ke spuštění procesů spojených s respirací, čímž dochází k tvorbě H_2O_2 (Wojtyla et al., 2016) či dalších ROS. Jejich působením může docházet k oslabení tvorby kyseliny abscisové (ABA), působící proti ROS (Diaz-Vivancos et al., 2013; El-Maarouf-Bouteau et al., 2015) a tím k oslabení dormance vedoucí ke stárnutí semen (Kumar et al., 2015; Chen, Arora, 2011). Zvýšení respiračního metabolismu semene v hydratovaném stavu zvyšuje také produkci superoxidového aniontu ($\bullet\text{O}_2^-$) během výtoky elektronů z transportu elektrolytů

mitochondrií s následnou dismutací v H_2O_2 (Wojtyla et al., 2016).

Malonyl-di-aldehyd (MDA) je v prostředí oxidativního stresu produktem membránové peroxidace a je často používán jako hlavní indikátor lipidové peroxidace a poškození membrán (Liu et al., 2013; Yuan et al., 2010). LTP dokáže redukovat lipidovou peroxidaci v membránách zvýšením antioxidační aktivity, signifikantně snižující obsah MDA indukovaného za působení stresu ze sucha (Ling et al., 2015). Stejný závěr poskytla také studie Yin et al. (2005), když bylo zjištěno, že obsah MDA byl po ošetření rajčat LTP signifikantně snížen (Yin et al., 2005).

Superoxiddismutáza (SOD) je enzym obsahující kovy, které katalyzují rozklad superoxidových radikálů na kyslík a peroxid vodíku. Tento enzym byl nalezen ve všech zkoumaných aerobních organismech, kde hraje hlavní roli v ochraně proti redukovaným formám kyslíku, které vznikají jako vedlejší produkty mnoha biologických oxidací. Tvorba kyslíkových radikálů může být dále zesílena během nepříznivých vlivů prostředí, a proto se předpokládá, že SOD je důležitá pro vznik tolerance rostlin vůči stresu. V rostlinách existují tři formy enzymu, které se dělí podle aktivních iontů: 1. měď/zinek, 2. mangan a 3. železo. Aktivita enzymu superoxiddismutázy (SOD) se v kontrolním materiálu pokusu Leprince et al. (1990) během prvních 96 h klíčení zvýšila pětinašobně. Vysušení mělo za následek výrazné snížení aktivity SOD během vysoušení a to zejména v odběrech po 24 a 48 h. Aktivita klesla 20krát u odběru po 24 h z 2-10 jednotek-1 na 0-12 jednotek-1 (mg proteinu)-1 s menším poklesem ve starších vzorcích (Leprince et al., 1990).

2.3. Zlepšení procesu klíčení semen a klíčivosti

Také pro snížení fytopatogenní zátěže a zamezení přenosu patogenů na povrchu semen a pro zajištění ochrany klíčící a vzcházející rostliny je osivo mořeno. Během 20. stol. byla vyvinuta řada pesticidních preparátů na ochranu semen a rostlin během klíčení a vzcházení. Vzhledem k obavám z negativního vlivu užívaných pesticidů na zdraví člověka a životní prostředí přijala EU prostřednictvím směrnice 2009/128/ES povinnost uplatňovat systém integrované ochrany rostlin, mezi které patří také upřednostňování alternativních metod ochrany rostlin namísto standardně používaných chemických metod. Tento přístup se uplatňuje také u problematiky osiv.

Ošetření různými typy fyzikálních metod (Al-Bachir, 2007), jako jsou např. magnetické pole, záření gama, laser a elektrické pole, ionizující záření, ultrazvuk, světlo, teplo či naopak chlad (Kwon et al., 2001) nebo nízkoteplotní plazma – LTP (Attri et al., 2020), je inovativní oblastí výzkumu pro zlepšení výnosů plodin.

K překonání všech výše zmíněných problémů se naskýtá vhodné ošetření plazmou. Ošetření semen plazmou je přístup, který byl navržen k usnadnění klíčení semen a dalšího vývoje semenáčů (Randeniva, de Groot, 2015).

V současnosti si netermální/nízkoteplotní plazmové (LTP) technologie získaly velkou pozornost svojí bezpečností, efektivitou, rychlou reakční dobou, nízkou aplikační teplotou, která šetří životnost semen (Attri et al., 2020) stimulující klíčení, růst rostlin a výnos (Li et al., 2016; Jiang et al., 2014; Bormashenko et al., 2012; Zhou et al., 2011) s pozitivním vlivem na přerušení dormance a inaktivaci nežádoucích mikroorganismů (Junior, 2016), suchým prostředím během aplikace,

ekologickým přístupem bez reziduí a mutagenních vlivů (Foster, 2017; Zhou et al. 2016; Jiafeng et al., 2014; Kolb et al. 2008; Shashurin et al. 2008), snadnou dostupností (Attri et al., 2020) a stále se zvyšujícím se množstvím využití (Attri et al., 2020).

2.4. Plazma

Plazma tvoří více než 99 % viditelné hmoty ve vesmíru. Skládá se z kladných iontů, elektronů nebo záporných iontů a neutrálních částic (Chu, Lu, 2014). Fyzikální teorie definuje plazmu jako neutrální ionizovaný plyn, který představuje čtvrtý a energeticky nejvyšší stav hmoty po pevných látkách, kapalinách a plynu (Moreau et al., 2008). Pokud dojde k výraznému dodání energie prostřednictvím např. elektrického výboje, dojde k emisi elektronů z atomů, které se navzájem mohou srážet a tím dávají vznik dalším částicím, v elektrickém poli dále urychlovaným. Konečnou fází takto elektricky vybuzeného plynu je vznik, tzv. ionizovaného plynu nebo plazmy (Chu, Lu, 2014).

2.5. Typy plazmových technologií

Lze rozlišit vysokoteplotní plazma (Tanakaran, Matra, 2021), které vzniká za vysokého tlaku (>10 kPa), pak nízkoteplotní plazma (LTP) s nízkými provozními teplotami, které nepoškozují povrch osiva a aktivují některé vlastnosti osiva před výsevem (Attri et al., 2020; Ito et al., 2018; Cheng et al., 2015). Dalším hlediskem členění plazmových technologií může být typ použitého elektrického zdroje k vývinu výboje, kdy lze využít střídavého nebo stejnosměrného proudu (Shi, 2017; Schoenbach, Becker, 2016). Také lze tyto technologie dělit dle frekvence generátoru výboje na nízkofrekvenční (Chu, Lu, 2014) a vysokofrekvenční (Chu, Lu, 2014; Kang et al., 2011; Stoffels et al., 2002), případně pulzní (Wallsh, Kong, 2007). V závislosti na použitém provozním tlaku lze LTP rozdělit na vakuovou / nízkotlakou plazmu a vysokotlakou plazmu (Tanakaran, Matra, 2021). Základní i aplikovaný výzkum nízkoteplotní plazmy za atmosférického tlaku nebo vakua exponenciálně roste v posledních dvou dekáдах (Schoenbach, Becker, 2016) a bylo aplikováno pomocí řady technik.

2.6. Vliv nízkoteplotní plazmy na rostliny

Nízkoteplotní plazmové technologie za nízkého i středního tlaku a za různé doby ošetřování prokázaly vliv na různé vývojové fáze semen a semenáčů a jejich fytopatogenní zátěž. Za vhodných podmínek se urychlí absorpce vody a živin, což podporuje klíčení semen (Laroussi et al., 2003; Mendis et al., 2003). Zejména permeabilita plazmatické membrány a obsah malonyl-di-aldehydu (MDA) byly ve srovnání s kontrolou významně sníženy, což snížilo nebo dokonce zabránilo poškození membrány peroxidací (Huang, Yi, 2010). Výboj LTP vytváří různé radikály kyslíku nebo dusíku, někdy souhrnně označované jako RONS (Priatama et al., 2022), dále pak nabitě částice, ionty a UV světlo, které mají pozitivní vliv na semena (Laroussi, 2002). LTP stimulovalo aktivitu SOD i POD u semenáčů rajčat (Henselová et al., 2012; Jiang et al., 2014), má statisticky průkazný pozitivní vliv na potenciál a index klíčivosti, rychlost klíčení, výšku klíčenců (MLS), délku kořenů (MLR) a dále také na počet kořenů (Hui et al., 2020). Ji et al. (2016) prokázali zvýšenou hladinu

chlorofylu a celkového obsahu polyfenolů v semenáčích špenátu po ošetření LTP (Ji et al., 2016).

2.7. Dlouhodobé skladování

Uchovávání semenných genetických zdrojů rostlin v genových bankách je předmětem náplně části Národního programu genetických zdrojů rostlin, zvířat a mikroorganismů významných pro výživu a zemědělství (NPGZ), který hraje klíčovou roli v ochraně genofondu kulturních rostlin ex-situ (Aubry, 2023; Borner, 2006). Při dodržení odpovídajících podmínek během skladování, je možné uchovat životaschopnost po dobu desítek let (Aubry, 2023). Během tohoto období ovšem dochází k poklesu klíčivosti semen, která je pravidelně monitorována (Don, 2009). Tímto procesem je kontrolována pouze vitalita semen, nejedná se o stimulaci klíčivosti. Doposud neexistuje studie, která by zohlednila nástup nových technologií kvantového zemědělství (Govindaraj et al., 2017) do podmínek genových bank a dlouhodobého skladování semen, zaměřil se tento pokus na zhodnocení vhodnosti používání technologie nízkoteplotního plazmatu ve vakuu.

3. Hypotézy a cíle

3.1. Cíle práce

- optimalizace metod fyzikálního ošetření semen
- hodnocení vybraných růstových a fyziologických parametrů
- demonstrace pozitivních efektů fyzikálního ošetření semen

3.2. Hypotézy

- Ošetření nízkoteplotním plazmatem zvyšuje vitalitu osiva a procento klíčivosti.
- Po ošetření plazmou se mění aktivita enzymů spojených s procesem klíčení
- Ošetření plazmou má vliv na zvýšení procenta klíčivosti u různě dlouho uchovávaného osiva

4. Experimentální část a výsledky

4.1. Aplikační aparatura vakuové nízkoteplotní plazmy

K ošetření semen bylo použito experimentální aparatury, počítačem řízeného komerčního přístroje Plasonic AR-550-M generujícího nízkotlakou až vakuovou (dle nastavení) nízkoteplotní plazmu (LTVP) prostřednictvím stacionárního mikrovlnného zdroje Plasonic MAL 1200, katedry zemědělské, dopravní a manipulační techniky JČU v Českých Budějovicích. Aparatura byla dodatečně modifikována od původního výrobku, zejména rozšířena o další možnosti využití. Sestava byla složena z jednotlivých modulů, jež zahrnovaly olejové vakuové rotační čerpadlo Leybold D16A Trivac ($399,3 \text{ l} \times \text{min}^{-1}$), vakuový hliníkový recipient o objemu cca 10 l pro vzorky do něhož ústí cca 10 cm nade dnem stacionární generátor mikrovlnného elektrického výboje (magnetron). Řídící a kontrolní jednotky zaznamenávající pracovní tlak a teplotu v recipientu, dobu ošetřování a základní ovládací prvky, jako je hlavní vypínač a bezpečnostní jistič či manuální ovládání magnetronu, jsou umístěny ve standardizované skříni (tzv. rack) společně s modulem počítače, jež inicializuje, nastavuje, řídí a kontroluje samotný proces ošetření.

4.2. Rostlinný materiál

K testu bylo použito 11 odrůd 5 různých druhů. Zastoupené semenné vzorky reprezentují 3 druhy obilovin s celkem 5 odrůdami a 2 druhy olejnatých drobnosemenných zástupců s 6 odrůdami, viz. Tab. 1. Celkem bylo do všech uskutečněných testů použito cca 64 000 semen.

Tab. 1. Seznam rostlinného materiálu použitého k testování.

Číslo vzorku	ECN (národní evidenční číslo)	Rod a druh	Kultivar
1	01C0100139	<i>Triticum aestivum</i>	Ruská červenožrná
2	01C0204799	<i>Triticum aestivum</i>	Granny
3	03C0700959	<i>Avena sativa</i>	Ulan
4	03C0700967	<i>Avena sativa</i>	Risto
5	01C0501836	<i>Hordeum vulgare</i>	Kompolti 4
6	05X1100395	<i>Linum usitatissimum</i>	Nsl.c.547
7	05X1100390	<i>Linum usitatissimum</i>	N-9/62/K3/B
8	05X1300255	<i>Linum usitatissimum</i>	Lino Grossenau
10	15O0100097	<i>Brassica napus</i> f. <i>napus</i>	Skrivenskij
11	15O0100214	<i>Brassica napus</i> f. <i>napus</i>	Sv7473
12	15O0100218	<i>Brassica napus</i> f. <i>napus</i>	MAH-2

4.3. Základní parametry hodnocení klíčení a klíčivosti

Pro hodnocení byly použity parametry, indikující procento klíčivosti (SG), rychlost klíčení (GR), střední dobu klíčení (MGT) a index klíčivosti (GI). Na tyto testy navazuje dále index vitality semenáčů (SVI), který kombinuje jak klíčivostní, tak morfometrické charakteristiky.

Od každé varianty ošetření plazmou bylo vybráno 30 ks semen ve třech opakováních, která byla vložena do Petriho misek o průměru 90 mm. U některých genotypů bylo nutné použít menší množství semen z důvodu jejich nedostatečné zásoby v GB.

Semena byla z obou stran zakryta filtračním papírem (Roy et al., 2018) KA 2 (Papírna Pernštejn s.r.o., CZ) o průměru 90 mm. Takto zakrytá semena byla ovlhčena destilovanou H₂O (Iranbakhsh et al., 2017; Roy et al., 2018) o objemu 5 ml.

Připravená semena byla vložena do klimatizované komory Sanyo Incubator MIR 252 (Sanyo Electric Co., Ltd., Japonsko) a inkubována při teplotě 20 °C (Li et al., 2017), za tmy (Don, 2009).

Semena byla považována za vyklíčená, když délka kořínku činila polovinu podélného průměru semene (Jiafeng et al., 2014). Počet vyklíčených semen a další parametry byly zaznamenávány každých 24 h (Roy et al., 2018) po dobu 5 dnů a poslední hodnocení probíhalo v 7. den, dle metodiky ISTA (Don, 2009), kdy byl test ukončen.

U všech vyklíčených semen byl zaznamenáván počet vyklíčených semen, délka kořene, délka stonku, přítomnost děložních listů a počet poškozených případně fytopatogenně poškozených semen nebo semenáčů.

Statistické hodnocení ukázalo řadu rozdílů mezi jednotlivými variantami ošetření a kontrolou. Bylo prokázáno, že existují rozdíly v citlivosti k ošetření LTP mezi genotypy i v rámci jednotlivých odrůd. Zhodnocením kolekce pšenice se ukázalo, že ošetření LTVP snížilo SG3 oproti kontrole, ovšem při hodnocení GR již byly hodnoty s kontrolou vyrovnány. Tomu odpovídají i výsledky pro MGT, kdy došlo u většiny genotypů ke zkrácení střední doby klíčivosti. Variabilní hodnoty byly zaznamenány i GI odrůdy pšenice ‚Granny‘. Podobné výsledky byly zaznamenány dále u všech odrůd lnu a řepky. Obiloviny oves a ječmen ovšem vykázaly průkazné snížení jak SG3 a GR, tak ale i zvýšení hodnot MGT a průkazné snížení GI.

Závěr: Je možné konstatovat, že pozitivní vliv LTVP byl prokázán u lnu a řepky, zatímco u pšenice, ovsa a ječmene byly zaznamenány variabilní výsledky. Také je možné konstatovat, že dlouhodobě uložená semena reagovala intenzivněji na jednotlivé varianty ošetření než semena krátkodobě uložená.

4.4. Morfometrické hodnocení

Délka kořenů (MLR) a stonků (MLS) byla měřena dle Roy et al. (2018), současně s hodnocením počtu vyklíčených semen kontinuálně v každý termín hodnocení (1.-5. a 7. den), kdy u všech vyklíčených semenáčů nedestruktivní metodou standardizovaným milimetrovým měřidlem (typ 28101, Koh-i-noor Hardmuth, a.s., Praha, CZ).

Výsledky ukazují nižší průkaznost vlivu LTVP na morfometrické vlastnosti, ale i zde je možné

zaznamenat pozitivní vliv LTVP u odrůdy pšenice ‚Ruská červenozrná‘ ve znaku SVI nebo u řepky odrůdy ‚Sv7473‘ u znaku MLS. Odrůdy ovsa a ječmene reagovali podobně jako u předchozího hodnocení. Došlo k průkaznému snížení hodnot SVI, což koresponduje se sníženými hodnotami MLR a MLS, zejména u odrůdy ovsa ‚Ulan‘ a ‚Risto‘.

Závěr: Ošetření semen LTVP prokazatelně mění morfologické charakteristiky mladých semenáčů. Vyrovnané výsledky morfologických charakteristik byly zaznamenány u lnu a řepky, zatímco u obilovin bylo zjištěno výsledky variabilní a zejména pluchaté odrůdy lnu a ječmene pozastavily vývoj semen a následně i mladých rostlin.

4.5. Výskyt fytopatogenních organismů

Během zkoušky klíčivosti bylo prováděno hodnocení počtu poškozených semen různými fytopatogeny. Další hodnocení výskytu fytopatogenních organismů probíhalo kultivací vzorků semen kontrolní a ošetřených variant na živném agarovém médiu (Potato Dextrose Agar - PDA) v ředění 0,39 % a dále sterilizovaného při 121 °C na pracovišti Genetika a šlechtitelské metody VÚRV. Fytopatogenní organismy byly identifikovány mikroskopovacími technikami a druhová diverzita a počet byl klasifikován pomocí Bürkerovy komůrky.

V rámci kolekce odrůd pšenice nedošlo k ovlivnění výskytu houbových kolonií, pouze u odrůdy ‚Ruská červenozrná‘ v periodě P20 a variantě T2 ve srovnání s kontrolou došlo k navýšení počtu kolonií. Naopak u odrůdy ječmene ‚Kompolti 4‘ došlo v P20 ke snížení počtu kolonií u ošetřených variant ve srovnání s kontrolou. Podobný výsledek byl dále zaznamenán u lnu ‚Nsl.c.547‘ v P1, kdy došlo také ke snížení počtu houbových kolonií po ošetření LTVP. U odrůdy řepky ‚Skrivenskij‘ došlo v případě počtu houbových kolonií ke snížení, nicméně se nejedná o statisticky průkazný výsledek. Výsledky u ostatních druhů a odrůd jsou neprůkazné nebo značně variabilní a to včetně počtu kolonií bakterií, u kterých lze zaznamenat rozdíly v počtu kolonií, ale tyto rozdíly nejsou průkazné.

Závěr: ošetření semen LTVP prokázal slabý vliv na výskyt houbových a bakteriálních organismů na semenech. K průkaznému snížení došlo v případě odrůdy ječmene ‚Kompolti 4‘ u dlouhodobě uložených semen.

4.6. Enzymatická a antioxidační aktivita

Hodnocení sledovaných znaků jednotlivých genotypů prokázalo vliv plazmatického ošetření semen na aktivitu enzymatických drah v průběhu procesu klíčení. Dále byl potvrzen vliv LTVP na všechny sledované charakteristiky u všech druhů a odrůd.

Je možné konstatovat, že po ošetření LTVP došlo k nárůstu hodnot SOD po ošetření LTVP u odrůdy pšenice ‚Granny‘ a ovsa ‚Ulan‘ i ‚Risto‘. Pšenice ‚Ruská červenozrná‘ a ječmen odrůdy ‚Kompolti 4‘ nebyly hodnoceny pro nedostatek semen. Výsledky hodnocení SOD u olejnatých odrůd lnu a řepky ukázaly naopak pokles hodnot, v některých případech nebyla změna statisticky průkazná. Po ošetření LTVP došlo téměř u všech genotypů k poklesu obsahu MDA v semenech. Výjimkou jsou všechny odrůdy lnu v periodě P1 a P10 a dále odrůda řepky ‚Sv7473‘ v periodě P1 a P20. Výsledky hodnocení obsahu celkových polyfenolů (TPC) ukázaly, že po ošetření LTVP došlo ke zvýšení

jejich obsahu. Výjimkou byly odrůda řepky ,Skrivenskij‘ v periodě P1 a ,MAH-2‘ v periodách P1 a P10. Celkový obsah flavonoidů (TFC) byl po ošetření LTVP statisticky průkazně zvýšen u pšenice ,Granny‘, obou odrůd ovsa a ječmene odrůdy ,Kompolti 4‘. Naopak snížení množství TFC bylo zaznamenáno u pšenice ,Ruská červenozrná‘ v periodě P1, lnu odrůdy ,Nsl.c.547‘ u dlouhodobě uložených semen, u všech period odrůdy lnu ,N-9/62/K3/B‘ a neprůkazně u odrůdy lnu ,Lino Grossenau‘ ve všech periodách. Také výsledky všech odrůd řepky ukázaly snížení hodnot TFC. Celková antioxidační aktivita (TAC) ukázala vyšší variabilitu, když u obou odrůd pšenice, ovsa, a lnu odrůd ,Nsl.c.547‘ všech period a ,Lino Grossenau‘ v periodách P1 a P10 došlo ke statisticky průkaznému snížení TAC, zatímco odrůda ječmene ,Kompolti 4‘, lnu ,N-9/62/K3/B‘ v periodě P10 a dále pak ,Lino Grossenau‘ také v periodě P10 a nakonec u odrůdy řepky ,Sv7473‘ v P20 došlo ke zvýšení antioxidační aktivity.

Závěr: Ošetření LTVP prokazatelně mění aktivitu antioxidačního enzymů (SOD) a obsah antioxidačně aktivních sloučenin MDA, TPC a TFC. Ošetření LTVP iniciovalo vyšší produkci SOD, celkové antioxidační aktivity a celkového obsahu polyfenolů (TPC) a flavonoidů (TFC) u obilovin, naopak došlo ke snížení obsahu TFC a celkové antioxidační aktivity (TAC) u lnu a řepky.

5. Posouzení stanovených hypotéz

H: Ošetření nízkoteplotním plazmatem zvyšuje vitalitu osiva a procento klíčivosti.

- Hypotéza byla potvrzena jen částečně. Průkazně se potvrdil pozitivní účinek LTVP na klíčivost pšenice seté, lnu a řepky. U pluchatých odrůd ovsa a ječmene došlo naopak k negativnímu ovlivnění klíčení a dalšího vývoje semenáčů.

H: Po ošetření plazmou se mění aktivita enzymů spojených s procesem klíčení.

- Hypotéza byla potvrzena. Působení LTVP na biosyntézu antioxidantních sloučenin a jejich aktivitu byla potvrzena téměř u všech odrůd sledovaných druhů

H: Ošetření plazmou má vliv na zvýšení procenta klíčivosti u osiva uchovávaného po různě dlouhou dobu.

- Hypotéza byla potvrzena u pšenice ‚Granny‘ periody P20, lnu periody P20 a řepky v P20. V těchto případech došlo po prvotním snížení klíčivosti v parametru SG3 k vyrovnání hodnot klíčivosti s kontrolou a v některých případech také k překročení hodnot kontroly (řepka ‚Skrivenskij‘) v parametru GR.
- Hypotéza nebyla potvrzena u pluchatých odrůd ovsa všech period a testované odrůdy ‚Kompolti 4‘ ječmene period P10 a P20. V těchto případech došlo k průkaznému propadu klíčivosti a dalších sledovaných parametrů, včetně dalšího vývoje semenáčů všech sledovaných period uložení.

6. Literatura

- Abrantes F.L., Machado-Neto N.B., Custódio C.C. 2021. Seed moisture content can be used to accelerate dormancy release during after-ripening of *Urochloa humidicola* cv. Llanero spikelets. *Ciência Rural* 51(1): 10.1590/0103-8478cr20200526.
- Adhikari B., Adhikari M., Ghimire B., Park G., Choi E.H. 2019. Cold Atmospheric Plasma-Activated Water Irrigation Induces Defense Hormone and Gene Expression in Tomato Seedlings. *Scientific Reports* 9: 16080.
- Aguirre M., Kiegle E., Leo G., Ezquer I. 2018. Carbohydrate reserves and seed development: An overview. *Plant Reproduction* 31: 263-290.
- Al-Bachir M. 2007. Effect of gamma irradiation on microbial load and sensory characteristics of aniseed (*Pimpinella anisum*). *Bioresource Technology* 98: 1871e6.
- Attri P., Ishikawa K., Okumura T., Koga K., Shiratani M. 2020. Plasma Agriculture from Laboratory to Farm: A Review. *Processes* 8: 1002.
- Attri P., Koga K., Okumura T., Shiratani M. 2021. Impact of Atmospheric Pressure Plasma Treated Seeds on Germination, Morphology, Gene Expression and Biochemical Responses. *Japanese Journal of Applied Physics* 60: 040502.
- Aubry S. 2023. Genebanking plant genetic resources in the postgenomic era. *Agriculture and Human Values* 40: 961-971.
- Baskin J.M., Baskin C.C. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Sci. Res.* 14: 1-16.
- Baud S. 2018. Seeds as oil factories. *Plant Reproduction* 31: 213-235.
- Bewley J.D., Bradford K.J., Hilhorst H.M.W., Nonogaki H. 2013. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. New York, NY. Springer.
- Bormashenko E., Grynyov R., mBormashenko Y., Drori E. 2012. Cold Radiofrequency Plasma Treatment Modifies Wettability and Germination Speed of Plant Seeds. *Scientific Reports* 2: 741.
- Borner A. 2006. Preservation of plant genetic resources in the biotechnology era. *Biotechnology Journal* 1(12): 1393-1404.
- Curien G., Job D., Douce R., Dumas R. 1998. Allosteric activation of *Arabidopsis* threonine synthase by S-adenosylmethionine. *Biochemistry* 37: 13212-13221.
- de Melo R.B., Franco A.C., Silva C.O., Piedade M.T.F., Ferreira C.S. 2015. Seed germination and seedling development in response to submergence in tree species of the Central Amazonian floodplains. *AoB Plants* 7: plv041.
- Diaz-Vivancos P. Barba-Espín G., Hernández J.A. 2013. Elucidating hormonal/ROS networks during seed germination: insights and perspectives. *Plant Cell Reports* 32: 1491-1502.
- Don R. 2009 *ISTA Handbook on Seedling Evaluation*. 3ed ISTA, Bassersdorf.
- Donohue K. 2005. Niche construction through phenological plasticity: life history dynamics and ecological consequences. *New Phytologist* 166: 83-92.
- Dotlačil L., Faberová I., Holubec V., Stehno Z. (Eds.) 2013. *Rámcová metodika Národního programu konzervace a využívání genetických zdrojů rostlin a agro-biodiversity*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha.
- El-Maarouf-Bouteau H., Sajjad Y., Bazin J., Langlade N., Cristescu S.M., Balzergue S., Baudouin E., Bailly C. 2015. Reactive oxygen species, abscisic acid and ethylene interact to regulate sunflower seed germination. *Plant, Cell & Environment* 38: 364-374.
- Evans M.E.K., Dennehy J.J. 2005. Germ banking: bet-hedging and variable release from egg and seed dormancy. *The Quarterly Review of Biology* 80: 431-451.
- Forbis T.A., Floyd S.K., deQueiroz A. 2002. The evolution of embryo size in angiosperms and

- other seed plants: implications for the evolution of seed dormancy. *Evolution* 56: 2112-2125.
- Foster J.E. 2017. Plasma-based water purification: challenges and prospects for the future. *Physics of Plasmas* 24: 055501.
- Gallardo K., Thompson R., Burstin J. 2008. Reserve accumulation in legume seeds. *Comptes Rendus Biologies* 331: 755-762.
- Gelmond H. 1978. In: Gupta V.S. (ed). Problems in crop seed germination in crop physiology. Oxford and IBH publishing Co., New Delhi, pp. 1-78.
- Govindaraj M., Masilamani P., Alex Alert V., Bhaskaran M. 2017. Effect of physical seed treatment on yield and quality of crops: A review. *Agricultural Reviews* 38; 1: 1-14.
- Harper J.L. 1977. Population biology in plants. Academic Press, London.
- 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: 490-497.
- Huang M., Yi M. 2010. Physiological effects of plasma on seed germination of winter wheat under drought stress. *Chinese Agricultural Science Bulletin* 26: 204-207.
- Hui, Y.T.; Wang, D.C.; You, Y.; Shao, C.Y.; Zhong, C.S.; Wang, H.D. 2020. Effect of Low Temperature Plasma Treatment on Biological Characteristics and Yield Components of Wheat Seeds (*Triticum aestivum* L.). *Plasma Chem. Plasma Process.* 40, 1555-1570.
- Chen K., Arora R. 2011. Dynamics of the antioxidant system during seed osmopriming, post-priming germination, and seedling establishment in Spinach (*Spinacia oleracea*). *Plant Science* 180: 212-20.
- Cheng Y., Wang Y., Chen P., Deng S.B., Ruan R. 2015. Non-thermal plasma assisted polymer surface modification and synthesis: a review. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 7: 1-9.
- Chu P.K., Lu X.P. 2014. Low Temperature Plasma Technology. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Iranbakhsh A., Ghoranneviss M., Oraghi Ardebili Z., Oraghi Ardebili N., Hesami Tackallou S., Nikmaram A. 2017. Non-thermal plasma modified growth and physiology in *Triticum aestivum* via generated signaling molecules and UV radiation. *Biologia Plantarum* 61(4): 702-708.
- Ito M., Oh J., Ohta T., Shiratani M., Hori M. 2018. Current status and future prospects of agricultural applications using atmospheric-pressure plasma technologies. *Plasma Processes and Polymers* 15(2): 1700073.
- Jiafeng J., Xin H., Ling L., Jiangang L., Hanliang S., Qilai X., Renhong Y., Yuanhua D. 2014. Effect of Cold Plasma Treatment on Seed Germination and Growth of Wheat. *Plasma science and technology* 16(1): 54-58.
- 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: 54-58.
- Ji S.H., Choi K.H., Pengkit A., Im J.S., Kim J.S., Kim Y.H., Park Y., Hong E.J., Jung S.K., Choi E.H., Park G. 2016. Effects of high voltage nanosecond pulsed plasma and micro DBD plasma on seed germination, growth development and physiological activities in spinach. *Archives of biochemistry and biophysics* 605: 117-128.
- Junior C.A., de Oliveira Vitoriano J., Da Silva D.L.S., de Lima Farias M., de Lima Dantas N.B. 2016. Water uptake mechanism and germination of *Erythrina velutina* seeds treated with atmospheric plasma. *Scientific Reports* 6: 33722.
- Kang S.K., Choi M.Y., Koo I.G., Kim P.Y., Kim Y.S., Kim G.J., Mohamed A-A.H., Collins G.J., Lee J.K. 2011. Reactive hydroxyl radical-driven oral bacteria inactivation by radiofrequency atmospheric plasma. *Applied Physics Letters* 98: 143702.

- Kolb J.F., Mohamed A.-A.H., Price R.O., Swanson R.J., Bowman A., Chiavarini R.L., Stacey M., Schoenbach K.H. 2008. Cold atmospheric pressure air plasma jet for medical applications. *Applied Physics Letters* 92: 241501.
- Kumar, S. P. J., Prasad, S. R., Banerjee, R., and Thammineni, C. 2015. Seed birth to death: dual functions of reactive oxygen species in seed physiology. *Annals of Botany* 116 (4): 663-668.
- Kwon W.S., Lee J.H., Lee M.G. 2001. Optimum chilling terms for germination of the dehiscent ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer) seed. *Journal of Ginseng Resource* 25: 167e70.
- Laroussi M. 2002. Nonthermal decontamination of biological media by atmospheric-pressure plasmas: review, analysis, and prospects. *IEEE T. Plasma Science* 30: 1409-1415.
- Laroussi M., Mendis D.A., Rosenberg M. 2003. Plasma interaction with microbes. *New Journal of Physics* 5: 41.
- Leprince O., Deltour R., Thorpe P.C., Atherton N.M., Hendry G.A.F. 1990. The role of free radicals and radical processing systems in loss of desiccation tolerance in germinating maize (*Zea mays* L.). *New Phytologist* 116: 573-580.
- Leubner-Metzger G. 2007. Samendormanz und Keimungskontrolle: Gene, Umweltfaktoren und Klimawandel. *Vorträge für Pflanzenzüchtung* 72: 87-104.
- Li L., Li J., Shen M., Hou J., Shao H., Dong. Y., Jiang J. 2016. Improving Seed Germination and Peanut Yields by Cold Plasma Treatment. *Plasma Science and Technology*, 18(10). 1027-1033.
- Li Y., Wang T., Meng Y., Qu G., Sun Q., Liang D., Hu S. 2017. Air Atmospheric Dielectric Barrier Discharge Plasma Induced Germination and Growth Enhancement of Wheat Seed. *Plasma Chemistry and Plasma Processing* 37: 1621-1634.
- Ling L., Jiangang L., Minchong S., Chunlei Z., Yuanhua D. 2015. Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress. *Scientific Report* 5: 13033.
- Linkies A., Graeber K., Knight C., Leubner-Metzger G. 2010: The evolution of seeds. *New Phytologist* 186(4): 817-831.
- Macovei A., Balestrazzi A., Confalonieri M., Faé M., Carbonera D. 2011. New insights on the barrel medic MtOGG1 and MtFPG functions in relation to oxidative stress response in planta and during seed imbibition. *Plant Physiology and Biochemistry* 49: 1040-1050.
- Mendis D.A., Rosenberg M., Azam F. 2000. A note on the possible electrostatic disruption of bacteria. *IEEE Transactions on Plasma Science* 28: 1304-1306.
- Miernyk J.A., Hajduch M. 2011. Seed proteomics. *Journal of Proteomics* 74: 389-400.
- Miransari M., Smith D.L. 2009. Rhizobial lipo-chitoooligosaccharides and gibberellins enhance barley (*Hordeum vulgare* L.). Seed germination *Biotechnology* 8: 270-275.
- Moreau M., Orange N., Feuilloley M.G.J. 2008. Non-thermal plasma technologies: New tools for bio-decontamination. *Biotechnology Advances*, 26(6), 610–617.
- Nonogaki H., Bassel G.W., Bewley J.D. 2010. Germination – still a mystery. *Plant Science* 179: 574–581.
- Priatama R.A., Pervitasari A.N., Park S., Park S.J. Lee Y.K. 2022. Current Advancements in the Molecular Mechanism of Plasma Treatment for Seed Germination and Plant Growth. *International Journal of Molecular Sciences* 23, 4609.
- Rajjou L., Duval M., Gallardo K., Catusse J., Bally J., Job C., Job D. 2012. Seed Germination and Vigor. *Annual Review of Plant Biology* 2012. 63:507-33.
- Randeniva L.K., de Groot G.J.J.B. 2015. Non-thermal plasma treatment of agricultural seeds for stimulation of germination, removal of surface contamination and other benefits: a review. *Plasma Process Polymers* 12: 608e23.
- Roy N.C., Hasan M.M., Talukder M.R., Hossain M.D., Chowdhury A.N. 2018. Prospective

- Applications of Low Frequency Glow Discharge Plasmas on Enhanced Germination, Growth and Yield of Wheat. *Plasma Chemistry and Plasma Processing* 38(1): 13-28.
- Shashurin A., Keidar M., Bronnikov S., Jurjus R., Stepp M. 2008. Living tissue under treatment of cold plasma atmospheric jet. *Applied Physics Letters* 93: 181501.
- Shi H., Ileleji K., Stroshine R.L., Keener K., Jensen J.L. 2017. Reduction of aflatoxin in corn by high voltage atmospheric cold plasma. *Food and Bioprocess Technology* 10(6): 1042e1052.
- Schoenbach K.H., Becker K. 2016. 20 years of microplasma research: a status report. *The European Physical Journal D*: 7029.
- Starič P., Vogel-Mikuš K., Mozetič M., Junkar I. 2020. Effects of Nonthermal Plasma on Morphology, Genetics and Physiology of Seeds: A Review. *Plants* 9: 1736.
- Stoffels E., Flikweert A.J., Stoffels W.W., Kroesen G.M.W. 2002. Plasma needle: a non-destructive atmospheric plasma source for fine surface treatment of (bio)materials. *Plasma Sources Science and Technology* 11: 383.
- Tanakaran Y., Matra K., 2021. The Influence of Atmospheric Non-thermal Plasma on Jasmine Rice Seed Enhancements. *Journal of Plant Growth Regulation* 41: 178-187..
- Toole E.H., Hendricks S.B., Borthwick H.A., Toole V.K. 1956. Physiology of seed germination. *Annual Review of Plant Physiology* 7: 299-324.
- Walsh J.L., Kong M.G. 2007. Room-temperature atmospheric argon plasma jet sustained with submicrosecond high-voltage pulses. *Applied Physics Letters* 91: 221502.
- Wang W-Q.Q., Liu S-J.J., Song S-Q.Q., Møller, I.M. 2015. Proteomics of seed development, desiccation tolerance, germination and vigor. *Plant Physiology and Biochemistry* 86: 1-15.
- Wojtyla L., Lechowska K., Kubala S., Garnczarska M. 2016. Different Modes of Hydrogen Peroxide Action During Seed Germination. *Frontiers in Plant Science* 4: 66.
- Yamaguchi S., Nambara E. 2006. Seed development and germination. In.: Hedden P., Thomas S.G. *Plant hormone Signalling* 24. Blackwell Publishing Ltd. Kundli.
- Yin M.Q., Huang M.J., Ma B.Z., Ma T.C. 2005. Stimulating effects of seed treatment by magnetized plasma on tomato growth and yield. *Plasma science technology* 7: 3143-3147.
- Yuan G.F. Jia C.G., Li Z., Sun B., Zhang L.P., Liu N., Wang Q.M. 2010. Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. *Scientia Horticulturae* 126: 103-108.
- Zhou R., Zhou R., Zhang X., Zhuang J., Yang S., Bazaka K., Ostrikov K.K. 2016. Effects of ;atmospheric-pressure N₂, He, air, and O₂ microplasmas on mung bean seed germination and seedling growth. *Scientific Reports* 6: 32603.
- Zhou Z.W., Huang Y., Yang S., Chen W. 2011. Introduction of a new atmospheric pressure plasma device and application on tomato seeds. *Agricultural Sciences* (2)1: 23.

7. Seznam publikací

Publikace s IF

- MATĚJOVIČ Martin**, JOZOVÁ Eva, ROST Michael, ČURN Vladislav, HNILIČKA František, KOTÍKOVÁ Zora, HLÁSNÁ ČEPKOVÁ Petra; *Evaluation of the Effect of Low-Temperature Plasma Treatment on Seed Germination of Long-Term Stored Genetic Resources*. AGRONOMY, 2024, 14(9), 10.3390/agronomy14091918. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14091918>. IF: 3.3.
- HOLUBEC, Vojtěch; SVOBODOVÁ, Leona; **MATĚJOVIČ, Martin**; *Spontaneous hybridisation within Aegilops collection and biobanking of crop wild relatives (CWR) (C)*. GENETIC RESOURCES AND CROP EVOLUTION. 2019, 66. (2), 311-319. ISSN 0925-9864. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-018-0723-5>. IF: 1.071.

Sborníky

- NESVADBA Zdeněk, **MATĚJOVIČ Martin**. *Genofondová kolekce ječmene ozimého v Genové bance Praha-Ruzyně*. Příspěvek v konferenčním sborníku. Praha, 2017. ISBN 978-80-7427-243-1.
- HOLUBEC Vojtěch, PAPOUŠKOVÁ Ludmila, HLÁSNÁ ČEPKOVÁ Petra, **MATĚJOVIČ Martin**; *Technologie pro zajištění dlouhodobé životaschopnosti semen v Genové bance v Praze*. GENETICKÉ ZDROJE ROSTLIN: MODERNÍ TECHNOLOGIE KONZERVACE A HODNOCENÍ. 2018.
- MATĚJOVIČ Martin**, HOLUBEC Vojtěch, LEISOVÁ SVOBODOVÁ Leona; *Phenotypic and genetic diversity of the Czech Aegilops collection*. Third Jack R. Harlan International Symposium., SupAgro Montpellier. 2019.
- MATĚJOVIČ Martin**, PALICOVÁ Jana, HLÁSNÁ ČEPKOVÁ Petra, PAPOUŠKOVÁ Ludmila, JOZOVÁ Eva, ČURN Vladislav; *Vliv nízkoteplotního plazmatu na klíčivost dlouhodobě uložených semen v genové bance*. OSIVO A SADBA. 2021.
- MATĚJOVIČ Martin**, HLÁSNÁ ČEPKOVÁ Petra; *Možnosti nechemického ošetření osiv*. Konference Aktuální poznatky v pěstování, šlechtění, ochraně rostlin a zpracování produktů. Brno. 2021.
- HOLUBEC Vojtěch; **MATĚJOVIČ Martin**; HANZALOVÁ Alena; SVOBODOVÁ Leona; JANOVSÁ Dagmar; *Aegilops collection in the Czech Gene Bank with emphasis on Caucasian accessions*. Plant genetic resources: Opportunities and challenges. 22-24.5.2024, Tbilisi, Gruzie.

Funkční vzorek

- CHRPOVÁ, Jana; HOLUBEC, Vojtěch; JANOVSÁ, Dagmar; **MATĚJOVIČ, Martin**;...et al. *Planý ječmen s prokázanou vyšší odolností k fuzarióze klasu a k Pyrenophora teres*. Funkční vzorek. 2020.
- CHRPOVÁ, Jana; HOLUBEC, Vojtěch; **MATĚJOVIČ, Martin**;...et al. *Planý ječmen s prokázanou vyšší odolností k houbovým chorobám*. Funkční vzorek. 2021.

Odborný časopis

- NESVADBA, Zdeněk; **MATĚJOVIČ, Martin**; *Kolekce genetických zdrojů ozimého ječmene v Ruzyni*. 2016. ISSN 0139-6013.
- HOLUBEC, Vojtěch; SVOBODOVÁ, Leona; **MATĚJOVIČ, Martin**; *Spontánní hybridizace v kolekci genetických zdrojů rodu Aegilops (D)*. *Úroda*. 2019, **67**. (12 vědecká příloha), 127-132. ISSN 0139-6013.
- NESVADBA, Zdeněk; **MATĚJOVIČ, Martin**; *Genetické zdroje ozimého ječmene. N01 - práce v odborném časopise*. 2017. ISSN 1210-9789.
- HOLUBEC, Vojtěch; DVOŘÁČEK, Václav; SVOBODOVÁ, Leona; **MATĚJOVIČ, Martin**; ... et al. *Morfologické, genetické a biochemické hodnocení kolekce Dasypyrum villosum (L.) P. Candargy*. *Úroda = Pôda a úroda : Časopis pro rostlinnou výrobu*. 2021, **69**. (12/2021), 19-26. ISSN 0139-6013.

Ostatní výsledky

- HOLUBEC, Vojtěch; ESIMBEKOVA, M.; HANZALOVÁ, Alena; **MATĚJOVIČ, Martin**; ... et al. *Evaluation of the Kazakh Aegilops collection in the Czech Republic*. Ostatní výsledky. 2019.
- MATĚJOVIČ Martin**; HLÁSNÁ ČEPKOVÁ Petra; HOLUBEC Vojtěch; PAPOUŠKOVÁ Ludmila; *Conservation of old landraces and viability of seeds in the Czech Gene bank*. Seed symposium IPK Gatersleben 2018. Poster na konferenci.
- MATĚJOVIČ Martin**; HOLUBEC Vojtěch; LEIŠOVÁ SVOBODOVÁ Leona; *Phenotypic and genetic diversity of the Czech Aegilops collection*. Third Jack R. Harlan International Symposium., SupAgro Montpellier. 2019. Poster na konferenci.

8. Životopis

Ing. Martin Matějovič

30.4.1970 v Domažlicích

Vzdělání:

VŠ:

2000 – 2008 **Česká zemědělská univerzita v Praze**, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Obor Zahradnictví. Zakončeno SZZ

Maturita:

1987 – 1989 **Střední odborné učiliště zemědělské v Lovosicích**, obor zahradnictví

Výuční list:

1984 – 1987 **Střední odborné učiliště v Plzni**, obor zahradník

Praxe:

2017 – doposud **Výzkumný ústav rostlinné výroby v Praze**. Pozice: technik

2011 – 2016 **Česká zemědělská univerzita v Praze**, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Pozice: technik

2011 – 2016 **Nedpak Packaging, s.r.o. v Praze**. Pozice: správa HW, SW, LAN

1997 – 2000 **Zahradnické služby Evženie Holá v Praze**. Pozice: zahradník

1987 – 1989 **JZD Zahořany, zahradnictví Bořice**. Pozice: zahradník

Jazykové znalosti:

Anglický jazyk	B1
Španělský jazyk	A1
Ruský jazyk	A2

Další dovednosti:

GNUPlot, R, NIS Elements AR

V Praze dne 29.10.2024