

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



Fyzikální metody úpravy osiva

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Farrukh Alinazarov

Obor studia: Rostlinná produkce (AMRR)

Vedoucí práce: Ing. Kateřina Pazderů, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Fyzikální metody úpravy osiva" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval paní Ing. Kateřině Pazderů, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a poskytnutí cenných rad v průběhu zpracování této práce, dále bych chtěl poděkovat kolegyni Mgr. Irině Velichko za velkou pomoc k použití plazmového přístroje a své kolegy za jazykovou korekturu.

Souhrn

Pšenice je nejvýznamnější obilninou ve světě i u nás. Ozimá pšenice je klíčová obilovina v České republice a její produkce je zásadní pro zásobování obyvatelstva potravinami. Tato diplomová práce na téma "Fyzikální metody úpravy osiva" je založená na vědecké literatuře týkající se vlivu fyzikálních metod na semenářské parametry osiva.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda nízkoteplotní plazmová úprava osiva pšenice má pozitivní vliv na jejich klíčivost a další semenářské parametry. Pokusy byly provedeny částečně v laboratoři matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze a KARP FAPPZ ČZU v Praze. Pokus byl založen s odrůdami pšenice ozimé Fakir a Alicia, a dvou odrůd žita: Dankowskie Diament a Aventino. Nejdříve jsme prováděli úpravu čtyř partií osiva pšenice a žita argonovou vysokofrekvenční atmosférickou tlakovou plazmou JET (Radio Frequency Atmospheric Pressure Plasma Jet) a bariérového výboje dielektrika DBD (Atmospheric Pressure Dielectric Barrier Discharge). Každá partie osiva pšenice a žita byla upravena v JET po 15; 60 a 180 sekund při výkonu 30 Wattů. Dále všechny čtyři partie osiva byly upraveny v DBD silou 10 a 25 skanů. Semenářské testy byly provedeny na složeném filtračním papíře ve 35 ml vody. Klíčení trvalo 14 dní za konstantní teploty 20 ° C v klimatizované boxe. Byla hodnocena klíčivost, střední doba klíčení a energie klíčení, následně statisticky vyhodnoceny výsledky.

Z výsledků testů laboratorní klíčivosti plyne, že díky nízkoteplotním plazmovým úpravám došlo prokazatelně ke prodloužení střední doby klíčení osiva. U varianty J60 a J180 došlo k průkaznému zpomalení klíčení, což se projevilo u odrůdy žita Aventino a odrůdy pšenice Alicia. Co se ostatních variant týče, žádné statisticky významné rozdíly v MGT (střední doba klíčení) nebyly zaznamenány. Nejkratší doba úprav osiva plazmovou tryskou (JET) byla srovnatelná s kontrolou, křivky klíčení se prakticky překrývali. U způsobu úpravy plazmou DBD byl průběh klíčení také velmi podobný.

Výzkumnou hypotézu, že semenářská kvalita osiv není negativně ovlivněna studenou plazmou, tady nemůžeme ani zcela přijmout, ani zcela vyvrátit. Z našich měření, v laboratorních podmínkách vyšly varianty JET15 a DBD25 jako optimální pro správný průběh klíčení odrůd pšenice a žita.

Klíčová slova: semena, klíčení, vzcházivost, úprava osiv, studená plazma.

Abstract

Wheat is the most important cereal in the world and in our country. Winter wheat is a key cereal and its production in the Czech Republic is fundamental to food supply. This diploma thesis on "Physical methods of seed treatment" is based on scientific literature on the influence of physical methods on various seed parameters. The work also describes the basic concepts such as germination, seed quality and vigor.

The main aim of this diploma thesis was to ensure that the cold plasma treatment of wheat and rye seed has a positive effect on their germination and other seed parameters. The experiments were carried out partly at the laboratory of the Faculty of Mathematics and Physics of the Charles University in Prague and at the FAFNR faculty of the Czech University of Life Sciences in Prague. The experiment was based on varieties of winter wheat Fakir and Alicia and two varieties of rye: Dankowskie Diament and Aventino. Initially, we performed the treatment of 4 sections of wheat seed and rye seed by Radio Frequency Atmospheric Pressure Plasma JET and Atmospheric Pressure Dielectric Barrier Discharge DBD equipments. Each piece of wheat and rye seed was treated in JET 15; 60 and 180 seconds. The treatment power was 30 Watts in all experiments. In addition, all 4 seed lots were modified in DBD with 10 and 25 skans. Seed tests were performed on compound filter paper in 35 ml of water. Germination lasted 14 days at a constant temperature of 20 ° C in the air-conditioned box. The germination, mean germination time and germination energy were evaluated, followed by statistically evaluated results. Evaluated were germination, mean time to germination and germination energy, then statistical evaluation of results.

Laboratory germination results indicate that due to cold plasma treatment, it has been shown to prolong the mean germination time. Especially for variants J60 and J180, the significant decrease of germination was seen in the variety of rye Aventino and the wheat variety Alicia. No statistically significant differences in MGT (mean germination time) were recorded according to other variants of the experiment. For JET, the shortest period of seed treatment by the plasma nozzle was comparable to control, the germination curves practically overlapped. For the DBD treatment method, germination was also very similar.

The research hypothesis that seed grade is not adversely affected by cold plasma treatment can't be accepted or totally refuted here. In the laboratory conditions we have found that the variants JET15 and DBD25 were the optimal treatment time for wheat and rye varieties.

Keywords: seeds, germination, emergence, seed treatment, cold plasma.

Obsah

1. Úvod	7
2. Cíl práce.....	8
3. Literární přehled	9
3.1. Význam úprav osiva.....	9
3.2. Kvalita osiva.....	9
3.3. Fyzikální možnosti zvyšování kvality osiva	11
3.3.1. Gama – záření	11
3.3.2. X – paprsky	13
3.3.3. Ultrafialové záření	14
3.3.4. Mikrovlny	15
3.3.5. E – ventus.....	17
3.3.6. Studená plazma	18
4. Materiál a metodika	21
4.1 Materiál	21
4.2. Metodika	22
5. Výsledky.....	24
5.1. Neupravené osivo.....	24
5.2. Osivo po úpravě	25
5.3. Upravené osivo po skladování po dobu 4 měsíců.....	32
6. Diskuze	40
7. Závěr	43
8. Seznam literatury	44
9. Seznam tabulek a grafů	51

1. Úvod

Pšenice je jedna z nejvýznamnějších obilovin ve světě. Plocha pšenice přesahuje téměř 30 % celkových osevních ploch obilovin ve světě. Pšenice má vysokou potravinářskou hodnotu pro výživu lidstva. Je základní potravinářskou surovinou pro výrobu pečiva, těstovin, snídaňových cereálií a mnoha dalších výrobků. Používá se také pro výrobu krmných směsí, zatímco škrob, ethanol a její biomasa mají energetický význam jako obnovitelný zdroj energie.

Osivo hraje zásadní roli v reprodukci rostlin i jako klíčový zdroj energie, živin a surovin pro rozvoj a udržení lidstva. Vlivem rozšiřování a obecně bohatší světové populace, jejíž počet se odhaduje až na devět miliard do poloviny století, a ve spojení s klesající dostupností vstupů čelí zemědělství stále větším výzvám, aby zajistilo dostatečnou produkci obilí. Hlubší pochopení vývoje semen fyziologie bude nepochybně poskytovat důležitý základ pro zlepšení šlechtění rostlin, postupy a nakonec i výnosy (Sabelli & Larkins 2015).

Použití fyzikálních metod úprav může představovat dobrou alternativu ke zvýšení výnosu zemědělské produkce při současném zlepšení ochrany a skladování rostlin (Aladjadjiyan et al. 2012). Fyzikální metody ošetření (oživení) osiva nabízejí několik výhod oproti běžným způsobům ošetření založeným na chemických látkách. Zaprvé omezují používání pesticidů, čímž snižují možný výskyt jejich reziduí v produktech vyráběných na farmě. Další výhodou je, že fyzikální metody mohou být použity také pro dezinfekci osiv před výsevem a během skladování (Aladjadjiyan et al. 2012).

Úprava osiv studeným plazmatem je jedna z modernějších metod, která přispívá ke klíčení a dezinfekci semen, zvýšení výnosu a mnoha dalších semenářských parametrů. Předložená práce se pokouší prověřit použití studeného plazmatu pro zlepšení semenářských parametrů osiva v laboratorních podmínkách a zároveň poskytnout kritickou diskuzi o jeho omezeních a výhodách.

2. Cíl práce

Cílem této diplomové práce je vyhodnotit efekt úprav osiv studeným plazmatem na semenářské parametry osiva pšenice a žita, popřípadě stanovit, jaká doba úpravy je pro ošetření semen této plodiny nejoptimálnější.

Cílem bylo porovnat jednotlivé varianty úpravy. Porovnáním jednotlivých variant by se měla projevit závislost klíčení osiva na době úpravy. Pro lepší porovnávání byly vybrány dvě odrůdy pšenice a dvě odrůdy žita. Výsledky zpracované v diplomové práci mohou posloužit jako příručka pro farmáře.

Výzkumná hypotéza:

Semenářská kvalita osiv není negativně ovlivněna úpravou studeným plazmatem.

3. Literární přehled

3.1. Význam úprav osiva

Zrychlení klíčení a vzcházení je možné ovlivnit úpravou osiv, jejichž cílem je většinou nejen ovlivnění klíčení a vzcházení rostlin, ale také ochrana rostlin před chorobami a škůdci nebo zlepšování manipulace s osivem (Rishi et al. 2015).

Ošetření osiva hrálo a stále hraje klíčovou roli v udržitelné rostlinné produkci, o čemž svědčí i historie lidstva. Ošetřování osiva pomohlo zlepšit výnosy mnoha různých plodin tím, že poskytovalo ochranu před hmyzem a choroby a pojištění uniformního porostu napříč celou řadou typů půd, kulturních postupů a podmínek prostředí. Ošetření osiva poskytuje ekonomický vstup do plodin, který se aplikuje přímo na osivo pomocí vysoce účinné technologie (Crop Life Foundation 2013).

Jedním z nejvýznamnějších faktorů ovlivňujících produktivitu a efektivitu produkce je kvalita osiva (Afzal et al. 2016). Jejich úprava ovlivňuje pozitivní změnu podmínek, které zlepšují klíčivost a vzcháživost semen a některé z fyzikálních metod lze dokonce použít k přizpůsobení se změnám klimatu v důsledku možnosti prevence a ochrany semen proti škůdcům a chorobám (Rishi et al. 2015). Semena mnoha rostlin a stromů potřebují určitou dobu, aby se jejich nezralé části vyvinuly a jejich dormance (faktory bránící klíčení) skončila, což jim umožní klíčit. Podmínky prostředí, které podporují klíčivost semen, se liší v závislosti na druhu semen; některé vyžadují velmi mokré a chladné podmínky, zatímco jiné musí být udržovány v suchém a horkém prostředí. V závislosti na objemu šarže, druhu, místních faktorech a dostupnosti příslušného vybavení a zařízení jsou používány různé metody na podporu urychlení klíčení (Bentsink et al. 2008).

Předseťové úpravy chrání osivo před chorobami. Zpracování osiva ochranným povlakem kolem něj působí jako bariéra, jakmile se osivo vysadí, aby se odrazilo od napadení jak semennými, tak půdními organismy. Ty ovlivňují všechna semena plodin a stupeň napadení závisí na řadě faktorů, které mají zvláštní význam pro organismy. *Pythium* spp, *Rhizoctonia* a *Sclerotium*, které jsou přítomny ve všech půdách, mohou napadnout semeno předtím, než klíčení začne dobře, nebo mohou zabít sadby předtím, než se objeví, nebo tak ovlivnit to, že zemře po vzplanutí, nebo dohlíží pouze na oslabenou rostlinu. Odpovědi na ochranné úpravy se liší podle druhu semen plodin, intenzity jednotlivých semen, množství jejich mechanického poškození, podmínek na povrchu semen a nepříznivých podmínek výsadby (Sharma et al. 2015).

Ochrana rostlin před poškozením hmyzem při skladování má rostoucí význam s trendem na zpracování a jednotkové balení osiva při sklizni.

3.2. Kvalita osiva

Kvalita osivo je posuzována podle následujících, tzv. semenářských parametrů: druhová a odrůdová pravost, klíčivost, čistota, zdravotní stav, hmotnost tisíce semen (HTS) a vlhkost. V zemědělské praxi je odhadována podle polní vzcháživosti a vyrovnanosti vzcházení.

Výraz „kvalita osiva“ je v podstatě užíván volně k vyjádření celkové hodnoty osiva pro zamýšlené využití. Projev (performance) osiva musí vyhovovat očekávání a záměru konečného uživatele tohoto osiva (Hampton et al. 2002).

Podle Prokinové (2001) – kvalitu osiv lze popsat jako soubor biologických a semenářských hodnot. Základní faktory nejvíce ovlivňující kvalitu osiva jsou – ročník, lokalita a odrůda (Šťastný & Hosnedl 2005).

Dle metodiky zkoušení osiva a sadby (2014) je klíčivost semen stanovena laboratorním testem schopnost semen poskytnout v optimálních podmínkách maximální počet normálně vyvinutých zárodečných rostlin, u nichž se očekává, že se za příznivých půdních podmínek vyvinou na normální rostliny.

Klíčení semen zahrnuje řadu složitých biochemických, fyzikálních a biologických procesů (např. hydratace proteinů, strukturální buněčné změny, dýchání, makromolekulární syntézy a prodlužování buněk), jejichž vlivem embryo přechází z dehydratovaného klidového stavu do stadia s aktivním metabolismem, který je završen růstem (Hosnedl et al. 2003). Z pohledu fyziologů je snížená klíčivost osiva přisuzována výskytu semen dormantních a semen neživých (Copeland & McDonald 1995). Podle Hosnedla et al. (2003) je semenářské hledisko podstatně náročnější, neboť za klíčivá jsou považována pouze ta semena, která poskytnou normální, plně životaschopnou klíčnou rostlinku, schopnou dalšího vývinu. Proto ke klíčivým semenům není započítána přítomnost anomálních a poškozených klíčenců. Problémy vznikají v některých případech při hodnocení klíčících rostlin a rozlišování vadných klíčků. Podle semenářských předpisů definují seznam možných defektů primárního kořínku, epikotylu, hypokotylu a mezokotylu, děloh, primárních listů, terminálního pupenu, koleoptilu a prvního listu (*Gramineae*) a klíčenců jako celku. Tyto defekty v kombinaci nebo samostatně mohou způsobit abnormalitu klíče.

Vitalitu osiva můžeme popsat jednoduše jako schopnost osiva vzcházet v méně příznivých podmínkách. Hosnedl et al. (2003) definují vitalitu jako přirozenou sílu zdravých semen zabezpečující rychlé klíčení a jeho dokončení v různých podmínkách prostředí. Je to kvantitativní znak kontrolovaný mnoha geny, jako jsou geny pro toleranci k suchu a rezistenci k chorobám. (Hrstková et al. 1999). Při zachování vysokého výnosu se zlepšuje vitalita, protože jak u výnosu, tak u vitality semen převládá obecná kombinační schopnost (Cho & Scott 2000). Za vitální se počítá jen zdravé osivo. Než se vytvoří pylové zrno, růstové faktory mohou ovlivnit na vitalitu osiva.

Velký stres během plnění obilky na mateřské rostlině má za následek větší podíl malých semen s nízkou vitalitou (Doornbos & Mullen 1991). Vitalita má zásadní význam u plodin s malou autoregulační a kompenzační schopností, kde pro dobré využití výnosového potenciálu odrůdy je nezbytný přesně vymezený počet rostlin na jednotce plochy a také u plodin, kde je důležité synchronní vzcházení pro získání porostu vyrovnaného a stejnoměrně dozrávajícího podle Hamptona & Coolbeara (1990).

3.3. Fyzikální možnosti zvyšování kvality osiva

Nedávné výzkumy v technologii osiva zdůrazňují, že použití fyzikálních metod pro zvýšení rostlinné produkce nabízí více výhod oproti konvenčním úpravám založeným na chemických látkách. Účinky fyzikálních revitalizačních ošetření u semen mohou být nyní řešeny na více úrovních od morfo-strukturních aspektů po změny exprese genů a akumulaci bílkovin nebo metabolitů (Araújo et al. 2016). Mezi fyzikálními metodami, které jsou k dispozici, jsou elektromagnetické pole (Magneto-priming) a ozáření mikrovlnami nebo ionizujícím zářením, které představují nejslibnější ošetření osiva před zasetím. „Magneto-priming“ je založen na použití elektromagnetických polí a je popsán jako ekologicky šetrná, neinvazivní technika, která má osvědčené příznivé účinky na klíčivost, sílu a výnosy plodin. Ionizující záření jako γ -paprsky a X – paprsky byly široce považovány za mocný nástroj v zemědělských vědách a potravinářské technologii. Gama-paprsky dodávané v nízké dávce prokázaly, že zvyšují procento klíčivosti a stanovení semenáčků a působí jako skutečné „primární“ ošetření. Různé biologické účinky byly pozorovány u osiva vystaveného ozařování mikrovlnami a rentgenovými paprsky, ale je třeba dále rozšířit znalosti o jejich působení jako činidla pro oživení osiva nebo o stimulační účinky na klíčení. Ultrafialová (UV) záření, jmenovitě UV-A a UV-C, ukázala, že stimulují pozitivní dopady na zdraví osiva, klíčivost a intenzitu (vitalitu) sadby. U všech zmíněných fyzikálních úprav je stále zapotřebí rozsáhlého základního a aplikovaného výzkumu, aby se zjistila optimální dávka, doba expozice, podmínky ozáření závislé na genotypu a prostředí (Araújo et al. Paparella et al. Dondi et al. Bentivoglio et al. Carbonera et al. Balestrazzi et al. 2016).

3.3.1. Gama – záření

Ionizující záření je silným nástrojem v oblasti zemědělských věd a potravinářské technologie a je často využíváno k řešení problematiky mikrobiologické bezpečnosti potravin a skladovatelnosti (Jayawardena & Peiris 1988). Gama záření (γ) je vysokoenergetický typ ionizujícího záření (IR), které je schopno proniknout a interagovat se živými tkáněmi. Obvykle se dodává pomocí zdrojů Cobalt-60 (60 C) (Moussa et al. 2006). Absorbovaná dávka IR je vyjádřena v jednotkách šedé (Gy), ve kterých dávka 1 Gy odpovídá adsorbované energii 1 joule na kilogram. Při interakci s biologickým materiálem (organismu, orgánu, tkáně) by absorbovaná dávka IR mohla být také vyjádřena v Sievertových jednotkách (Sv), ve kterých 1 Sv dávka odpovídá energii 1 Joule záření adsorbované na kilogram hmotnosti orgánu nebo tkáně. Dalším klíčovým parametrem pro stanovení IR úpravy je dávka (rychlost ukládání energie, vyjádřená jako Gy h⁻¹). V současné době se γ -paprsky používají převážně v situacích, kdy je vyžadována vysoká úroveň sterilizace. Ošetření gama zářením se široce používá k odstranění mikrobiální kontaminace nebo k potlačení hmyzích škůdců a patogenů, a tím působí při prevenci onemocnění. Vedle bezpečnostních problematik se ozáření γ používá také ke zpoždění dozrávání plodin a klíčení zelenin tím, že brání aktivaci klíčových enzymových aktivit, což přispívá k prodloužené skladovatelnosti plodin (Mokobia et al. Anomohanran et al. Moussa et al. 2006). V jiném zemědělském kontextu reprezentují gama paprsky účinný mutagenní nástroj pro šlechtitele rostlin, kteří chtějí přidat nové vlastnosti do komerčně cenných plodin a vyvinout nové odrůdy (Irfaq & Nawab 2001).

Mezi různými radiobiologickými aspekty je téma charakterizace vliv γ -paprsků na semena, které nedávno začalo vzbuzovat evidentní pozornost. Uskutečněné studie byly zaměřeny zejména na dopady nízké dávky a nebo nízkých celkových dávek γ -ozáření na výnos klíčivosti a výkonnost sadby. Gama záření přímo interaguje s buněčnými složkami na více úrovních, dosahující membrány, proteinů a nukleových kyselin (Kovács & Keresztes 2002). Nicméně nepřímá akce je také dobře hlášena generací reaktivních druhů kyslíku (ROS) z vodní radiolýzy (Borzouei & kol 2010; Esnault et al. 2010). ROS difundují a poškozují buněčné makromolekuly a orgány. Přesto bylo prokázáno, že biologické účinky γ -záření jsou silně závislé na intenzitě, době dávky a době expozice. Pokud jde o ošetření osiva, γ -záření dodávané v nízké dávce zvyšují procento klíčivosti a usazování semenáčků, působí jako skutečná „primární“ úprava.

V kontextu technologií osiva je pozitivní vliv ozařování gama jako oživení hnací silou pro zkoumání molekulárního mechanismu aktivovaného při reakci semen na toto fyzikální ošetření. Nedávno Qi et al. (2015) zkoumala vliv ošetření γ -záření na semena *Arabidopsis thaliana* vyhodnocením biologických reakcí výsledných sazenic. Ozařování osiva s celkovými dávkami nižšími než 100 Gy význačně stimuloval index klíčivosti. Stejný rys byl pozorován při růstu sazenic, primární délce kořenů a čerstvé hmotnosti ve srovnání s neozářenými dávkami semen. Ze zkušebních dávek ozařování vykazují semena *A. thaliana* ošetřená dávkou 50 Gy maximální pozitivní účinky na všechny testované růstové parametry. Gamma-ozáření se ukázalo být také účinným přístupem ke zlepšení výkonu klíčivosti semen a usazování semenáčků u plodin nebo dřevin. Maity & kol. (2005) popsali účinky indukované působením paprsku na *Oryza sativa L.* a *Phaseolus mungo L.* Aplikace záření se pohybovala v rozmezí 50–350 Gy. Zatímco ozařování při nižších dávkách zlepšilo morfologické rysy, jako jsou výška rostliny, počet výhonků, délka latě a počet semen na latku expozice ve vyšších dávkách měla negativní dopad na stejné parametry. V *O. sativa* nejvíce stimulační dávka odpovídala 50 Gy, ale u *P. mungo* byl nejvýraznější příznivý účinek pozorován pouze u 200 Gy. Dopad ozařování gama byl studován také na semenech kukuřice (*Zea mays*, hybridní Turda Star) (Marcu et al. 2013). V této studii byla provedena zkouška citlivosti na záření za účelem porovnání klíčivosti, růstu rostlin a obsahu fotosyntetických pigmentů mezi ozařovanými a neozářenými semeny. Opět byly pozorovány stimulační účinky gama paprsků při nízkých dávkách (2 až 30 Gy), zatímco vysoké dávky (70 Gy) ukázaly, že jsou škodlivé pro výkonnost rostlin. Jedním z důležitých výsledků této studie je, že ozařování nízkou dávkou má také příznivý vliv na produktivní vlastnosti plodin, kromě klíčivosti nebo zřízení sazenic. U ibiškovce jedlého (*Abelmoschus esculentus* (L.) Monech), Hegazi a Hamideldin et al. (2010) se srovnávaly účinky dvou předseťových úprav osiva: konvenční hydropriming a γ -ozařování prováděné v různých dávkách (300, 400 a 500 Gy). Při hydroprimingovém ošetřování se semena před nasazením radikulů prostě namočí ve vodě, což umožňuje aktivaci metabolismu klíčivosti. Přestože obě předseťové úpravy byly účinné při zlepšování usazování rostlin, γ -ozařování 400 Gy poskytlo nejlepší výsledky, co se týče klíčivosti, výnosu a kvality semen, stejně jako fotosyntetické kapacity. Celkově tyto výsledky zdůrazňují, že aplikace fyzikálních ošetření osiva závisí na studovaném druhu, což vyžaduje předchozí zhodnocení optimálních dávek, které mají být použity.

Příznivé účinky úpravy gama zářením nebyly omezeny na druhy plodin, což představuje skutečně alternativní přístup k podpoře ochrany přirozených druhů. Byly zkoumány účinky

ozařování gama na semena *Moluccella laevis* L. (Irsko) (Minisi et al. 2013). Stejně jako u předchozích popisů zvýšily γ -paprsky dodávané v malých dávkách (až do 5 Gy) procento klíčivosti ve srovnání s neozářenými nebo ozářenými vzorky s vyššími dávkami (až do 20 Gy). Nízká dávka γ -záření také stimulovala klíčení, růst a rozmnožování semen divokého ovsa (*Avena fatua* L.) (Maherchandani et al. 1975), zahradní řeřichy (*Lepidium sativum* L.) (Majeed et al. 2010) (Dubey et al. 2007) a roketu seté (*Eruca vesicaria* L. subsp. *Sativa*) (Moussa et al. 2008), Abel-Hady et al. Všechny tyto práce poskytly kumulativní důkazy, že tyto malé dávky γ -paprsků vedou k příznivému účinku na fyzikálně ošetřená semena, což odpovídá definici hormonózy (Luckey et al. 1980, 2006). Prahová hodnota nízkých dávek je obvykle umístěna těsně nad úrovní přírodního pozadí záření (2,4 millisievert za rok, ve kterém 1 sievert (Sv) představuje ekvivalentní biologický účinek uložení joulu energie záření v kilogramu lidské tkáně) a definuje hranice mezi biopozitivními a bionegativními účinky. Hormesis je základní koncept v evoluční biologii (Calabrese & Baldwin 2000). To představuje adaptivní reakci buněk a organismů na mírné a přerušované stresy, stimuluje aktivaci buněčných obranných a opravných mechanismů proti stresujícímu činiteli, jinak chybí v nepřítomnosti stresu (Mattson et al. 2008).

3.3.2. X – paprsky

Účinky rentgenového záření na organismy nejsou stále plně pochopeny. Mezi zdroji IR má rentgenové záření vlnovou délku v rozmezí 0,01 až 10 nm elektromagnetického spektra, což odpovídá frekvenci v rozmezí 30 až 30 000 PHz (1 Petahertz odpovídá 10¹⁵ Hz) a energie v rozmezí 120 eV až 120 keV (Kotwaliwale & kol. 2014). Měkké rentgenové záření s energií od 0,12 do 12 keV představuje nejvhodnější rentgenové záření, které se používá na zemědělských produktech kvůli nízké penetrační síle a schopnosti odhalit změny vnitřní hustoty (Kotwaliwale et al. 2014). Potravinová úprava s rentgenovým zářením byla provedena za účelem zlepšení mikrobiologické bezpečnosti potravin a skladovatelnosti (Farkas & Mohácsi-Farkas 2011). Zatímco dopad rentgenových paprsků je dobře studován u lidí kvůli jeho obecnému použití v lékařské praxi, výzkum vlivu X-záření na rostliny měl jen posílení během období 1930–1960 (Benedict & Kersten 1934, Bless et al. 1938, Smith et al. 1950, Caldecott & kol. 1952, Yagyū & Morris 1957, Beard et al. 1958).

Podle našeho nejlepšího vědomí bylo velmi málo prací zaměřených na dopady rentgenového záření na výkonnost osiva publikováno po dekádě 60. let (Al-Enezi et al. 2012; De Micco et al. 2014; Einset & Collins 2015, Pérez-Torres & kol. 2015). Zvýšené dávky ozáření rentgenovým zářením snižovaly procento klíčivosti semen a růst kořenů semen listu (*Phoenix dactylifera* L.) (Al-Enezi & kol. 2012). Tito autoři však zaznamenali stimulační účinek na růst listů, když se semena ozařovala dávkou 0,65 Gy. Další zajímavá studie byla nedávno provedena u *S. lycopersicum* L. cv. *Microtom* (De Micco et al. 2014). Byly v ní zkoumány anatomické a ekofyziologické rysy (např. růstové znaky, anatomie listů) rostlin rajčat rostoucích ze semen ozářených rostoucími dávkami rentgenových paprsků. Celkové výsledky ukázaly, že klíčení a vývoj funkčních listů nebyly výrazně narušovány zvýšením dávky ozařování, což naznačovalo určitou odolnost tohoto kultivaru vůči ozařování. Dále byla odolnost kultivaru *microtom* podpořena mírnými strukturálními perturbacemi pozorovanými v listech s malým zhoršením fotosyntetické účinnosti, zejména když byla semena ozářena vysokými dávkami

rentgenových paprsků. Identifikace radioaktivně rezistentních kandidátských druhů nebo šarží může být důležitým úspěchem při konstrukci vesmírného zemědělství (Arena et al. 2014).

Dosavadní poznatky o účincích rentgenu v rostlinách jsou stále vzácné, zaměřené na několik aspektů fyziologie rostlin a je třeba je rozšířit. Nové stopy molekulárních a fyziologických mechanismů, které jsou základem rezistence rostlinných tkání k rentgenovým paprskům, by mohly být odhaleny použitím globálních profilovacích technik (např. Omics).

3.3.3. Ultrafialové záření

Množství slunečního UV záření, které dosahuje zemského povrchu, roste v důsledku zeslabení ozonové vrstvy. Podle rozsahu vlnové délky je sluneční UV záření klasifikováno do UV-C (200–280 nm), UV-B (280–320 nm) a UV-A (320–400 nm). Velký počet studií byl zaměřen na celkový dopad UV záření na rostliny na různých úrovních, a to od ekosystému po celé rostliny (Kovács & Keresztes 2002; Heisler & kol. 2003). Na druhé straně bylo věnováno velmi málo studií zkoumání vlivu UV záření na biologii osiva a klíčení.

I když je záření UV-C extrémně škodlivé pro organismy, není relevantní při přirozených podmínkách slunečního záření (Hollósy et al. 2002). UV-C záření je neionizující a proniká povrchově do rostlinných tkání, což podporuje jeho potenciál jako germicidního činidla. Pro získání odolnosti hostitele k černé hnilobě v kapustě (*Brassica oleracea L.*) (Brown et al. 2001) byla použita ošetření semen nízkými dávkami UVC ($3,6 \text{ kJ m}^{-2}$). Tato ošetření semen UV-C také zlepšila reakci na kvalitu a růst zelí v skleníkových podmínkách. V jiné studii Ouhibi et al. (2014) byl zkoumán vliv UV-C na předseťové úprava na hlávkový salát (*Lactuca sativa L. Romaine*). Semena salátu byla ošetřena působením UV-C vystavením 0,82 a 3, 42 kJ m^{-2} dávkám a výsledné semenáčky byly vystaveny působení stresu zasolením. Výsledky ukázaly, že semenáčky ošetřené UV-C byly schopny zmírnit dopad nadměrné slanosti, a to možná jako důsledek zvýšené čisticí aktivity volných radikálů zjištěných v listových tkáních (Ouhibi et al., 2014). Dále autoři také ukázali, že na dávce UV-C závisí odezva: semenáčky vyklíčené ze semen ošetřených s nejnižší dávkou UV-C vykazují vyšší toleranci k podmínkám zasolení.

Přestože UV-B záření představuje pouze přibližně 1,5 % celkového spektra, jsou škodlivé účinky UV-B na fyziologii rostlin dobře popsány. Mezi ně patří poškození DNA, poškození proteinů a membrán, které omezují fotosyntézu a růst rostlin (Hideg et al. 2013, Choudhary & Agrawal 2014). Účinky ozařování UV-B na klíčivost semen, růst sazenic a vývoj rostlin byly zkoumány v mungu-fazole (*Vigna mungo L.*) Hepper) (Shaukat et al. 2013). Ačkoli autoři hlásili urychlenou klíčovou rychlost, konečné procento klíčivosti zůstalo ovlivněno působením UV-B. Důležité je, že byly zřejmé některé škodlivé účinky, například snížení růstu kořenů a výhonků. Na biochemické úrovni působilo UV-B na značný nárůst celkových rozpustných fenolů stejně jako na zvýšení aktivity L-fenylalanin amoniakolyasy a tyrosin amoniakolyasy. Nedostatek dostupných informací o možném použití UV-B záření jako oživení osiva může odrážet jeho nevhodnost pro tento účel.

Ultrafialové záření představuje přibližně 6,3 % přicházejícího slunečního záření a je méně nebezpečnou složkou ultrafialového záření (Hollósy et al. 2002). Informace o možném využití UV-A záření jako oživení osiva jsou velmi vzácné. Hamid & Jawaid (2011) zkoumali účinky

UV-A záření na semena fazole mungo (*Vigna radiata L.*). Výsledky této studie byly velice slibné, což ukázalo, že předběžná úprava UV-A stimulovala rychlost klíčení stejně jako výkonnost sazenic odrážející se v hodnotách specifické plochy listů, délce kořenů a výhonků a suché hmotnosti. Podle našich nejlepších znalostí je to jediná veřejně dostupná studie, ale tento pozitivní výsledek podporuje další výzkumný vývoj na toto téma.

Dopady rostoucího slunečního UV záření na suchozemské ekosystémy byly podrobně přezkoumány v rámci současného kontextu změn klimatu. Podobně, jak je popsáno u elektromagnetická pole, se vliv UV záření může výrazně lišit v závislosti na použitém cílovém organismu a složce záření. Pozitivní účinky UV-A a UV-C záření byly zdůrazněny při klíčivosti semenářství semen stejně jako při ochraně osiva. Nicméně hlubší vhled je stále požadován k objasnění molekulárních mechanismů, které jsou základem zlepšení, které se vyskytují u UV ošetřených semen.

Tabulka 1 Shrnutí (UV) účinků ultrafialových paprsků na výkon osiva a sadby.

Druh	Aplikace UV záření	Popisované efekty	Odkazy
<i>Lactuca sativa</i>	UV-C	Zvýšená stresová tolerance na NaCl.	Ouhibi et al. 2014
<i>Phaseolus vulgaris</i>	UV-C	Zvýšená míra klíčivosti. Zvýšená akumulace koncentrace bioaktivních molekul v plátcích semen.	Guajardo-Flores et al. 2014
<i>Vigna radiata</i>	UV-C; UV-A	Zvýšená klíčivost a intenzita sazenic. Sazenice se sníženou náchylností k napadení houbami kořeny	Hamid & Jawaid, 2011; Siddiqui et al. 2011
<i>Arachis hypogaea</i>	UV-C	Zvýšená klíčivost a intenzita sazenic. Sazenice se sníženou náchylností k napadení houbami kořeny	Siddiqui et al. 2011
<i>Vigna mungo</i>	UV-B	Expozice hydratovaných semen významně snížila klíčivost, potlačila syntézu fotosyntetických pigmentů stejně jako kořen a vývoj výhonků. Metanů a zkroucení sazenic	Shaukat et al. 2013
<i>Carthamus tinctorius</i>	UV-B	Zlepšená míra klíčivosti, ale následný růst sazenic je ztěžován.	Farokh et al. 2010

3.3.4. Mikrovlny

Mikrovlnné záření (MZ) je součástí elektromagnetického spektra. MZ zahrnují záření ve frekvenci 300 MHz až 300 GHz, která odpovídají vlnové délce od 1 m do 1 mm (Banik et al., 2003). Přes počáteční diskusi je nyní obecně známo, že absorbované neionizující elektromagnetické mikrovlnné záření způsobuje tepelné a také netermické účinky v biologických systémech (Banik et al. 2003). Rostoucí důkazy ukazují, že MZ způsobují různé biologické účinky v závislosti na intenzitě pole, frekvenci vlnové délce, modulaci a délce expozice.

Zatímco účinky MZ na člověka a na zvířata byly široce prozkoumány, velmi omezený počet publikovaných studií se zabýval vlivy způsobenými MZ na rostlinách (Jayasanka & Asaeda 2014). Je zajímavé, že většina současně dostupných studií popisuje vliv záření 2,45 GHz, které je absorbováno molekulami vody v živých buňkách (Iuliana et al. 2013). Když je záření MZ absorbováno živými tkáněmi, způsobuje to iontové pohyby, rotaci dvojpólu a zkreslení elektronové dráhy, která nakonec vede k rychlému a selektivnímu zahřívání.

V kontextu technologie osiva bylo neletální mikrovlnné ošetření používáno pro extenzivní dezinfekci semen před setím nebo skladováním (Reddy et al. 1995, 1998, Scialabba & Tamburello 2002, Aladjadjiyan et al. 2010, Knox et al. 2013). Zajímavé je, že mikrovlnné škodlivé ošetření bylo použito k inhibici klíčení semen plevelů pohřbených v půdě (Velázquez-Martí et al. 2006, Sahin et al. 2014). Způsoby mikrovlnného ošetření způsobily zahřátí půdy (až do 80 °C) a klíčivosti plevelů bylo zcela zabráněno. V důsledku toho se mikrovlnné úpravy objevily jako platná nechemická alternativa pro kontrolu plevelů ve sklenicích se zahradnickými okrasnými rostlinami.

Poznatky o účincích mikrovlnných úprav jako ošetření osiva stejně jako klíčivosti jsou omezené na několik rostlin (tabulka 2). Soran & kol. (2014) zkoumali dopady mikrovlny v pásmech odpovídajících bezdrátovému směrovači (WLAN, bezdrátová lokální síť: 70 MZ m⁻²) a mobilním zařízením (GSM, globální systém pro mobilní komunikaci: 100 MZ m⁻²) ve třech aromatických druzích. Petržel (*Petroselinum crispum* L. cv. Plained Leaved 2), celer (*Apium graveolens* L. květu Pascal Giant) a kopr (*Anethum graveolens* L. subsp. *Hortorum* cv. Common) byly ozářeny a použity k posouzení dopadů na anatomii listu, obsah esenciálních olejů a těkavé emise. Výsledky ukázaly, že aplikované molekulové modifikace indukovaly strukturní (např. tenčí buněčné stěny a menší plastidy) a chemické modifikace (např. zvýšené emisní monoterpeny) na třech sledovaných druzích rostlin. Je zajímavé, že vlnové kmity WLAN frekvence se na výše zmíněných parametrech zdají být škodlivější než frekvence GSM, a to navzdory vyšší hodnotě radiace.

Zatímco kmitání MZ 2,45 GHz nemá jasný vliv na klíčení semen, zdá se být přínosem pro růst sadby a akumulaci biomasy u různých druhů (Aladjadjiyan et al. 2010, Jakubowski et al. 2010, Talei & kol. 2013). Jak je popsáno u jiných druhů radiační úpravy, účinky MZ na semena závisí na druhu a stupni růstu rostlin stejně jako na délce expozice, frekvenci, hustotě výkonu (Jayasanka & Asaeda 2014). Počet dostupných studií stále nepostačuje k vyhodnocení vlivu MZ na rostlinné systémy ani na technologii osiva.

Nejslibnější přístup k ošetření molekulových hmotností by měl vycházet z návrhů nových přístupů bez chemikálií k regulaci plevelů v agroindustriálních zařízeních a kontroly onemocnění v systémech skladování a produkce osiva.

Tabulka 2 Shrnutí vlivů mikrovln (MZ) na výkon osiva a sadby.

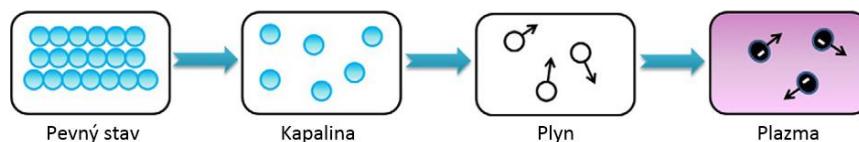
Druh:	Aplikace MZ:	Popisované efekty:	Odkazy:
<i>Lens culinaris</i>	2.45 GHz	Žádný vliv na klíčení nebo rychlost klíčení. Délka sadby je stimulována po expozici 30 s. Vyšší doba expozice negativně ovlivňuje všechny parametry.	Aladjadjian et al. 2010
<i>Raphanus sativus</i>	10.5 and 12.5 GHz	Snížená klíčivost, rychlost klíčení a rychlost růstu hypokotylu.	Scialabba & Tamburello 2002
<i>Oriza sativa</i>	2.45 GHz	Zvýšené procento klíčení a míra stejně jako primární výhon a délka kořenů.	Talei et al. 2013
<i>Triticum aestivum</i>	2.45 GHz	Snížení napadení zamořeným <i>Fusarium graminearum</i> a intenzita semen.	Reddy et al. 1998
<i>Solanum tuberosum</i>	2.45–54 GHz	Nejvyšší růst biomasy u bakterií semenných zárodků brambor	Jakubowski, et al. 2010
<i>Hordeum vulgare</i>	2.45 GHz	Zvýšená klíčivost a index vitality po expozici po dobu 20 s	Iuliana et al. 2013

3.3.5. E – ventus

E-ventus je jedna z modernějších fyzikálních metod pro ošetření osiva za účelem jeho ochrany osiva proti virům, bakteriím a houbovým patogenům. Mechanismus účinku této metody jsou nízkonoenergetické elektrony. Nejdříve se musí oddělit od osiva kovové příměsi, aby nedošlo k poškození zařízení. Následně je nutno provést separaci jednotlivých zrn od sebe, aby byly dostatečně exponovány elektronům, které narušují strukturu patogenů. Semena spadají mezi dva generátory elektronů, a proto jsou ošetřována ve velmi krátké době. Zatímco rychlost propadávání semena je konstantní, řízením generátorů je možné řídit hloubku obalů semen (pletiv), na které budou elektrony působit. Pro ochranu před poškozením embryí je důležité nastavit přístroje podle jednotlivých druhů osiva. Efektivnost celého postupu ošetření lze monitorovat a případně okamžitě opravit řídicím počítačem. Zařízení může vykonávat bez problému až 200 tisíc semen za sekundu, a to cca 30 tun za hodinu (Křen et al. 2018). V Německu byla tato metoda komplexně testována pro ošetření osiva všech typů malozrnných obilovin. Nebylo zjištěno žádné vnější poškození semen. Elektronicky ošetřené osivo se snáze manipuluje a má lepší výkon na secích strojích než chemicky ošetřené. Toto ošetření nemá vliv na klíčivost, osiva má rychlejší vzcházivost a doporučuje se pro pozdější termíny setí (Gleser 2016). Toto ošetření dokázalo velmi dobrou účinnost na mazlavou sněť pšeničnou (Henze 2017).

3.3.6. Studená plazma

Čtvrtý základní stav hmoty se nazývá plazma, jelikož ostatní jsou pevné, kapalné a plynné. Sir William Crookes, anglický fyzik, poprvé popsal v roce 1879 to, co dnes známe jako plazma. V roce 1929 byl termín „plazma“ poprvé aplikován na ionizovaný plyn Dr. Irvingem Langmuirem, americkým chemikem a fyzikem (Langmuir et al. 1929). Ionizace zahrnuje, že alespoň jeden elektron není navázaný na atom nebo molekulu, resp. na konverzi atomů nebo molekul na pozitivně nabitý ionty. Plazmový stav je nejhojnější stav všech pozorovatelných věcí v našem vesmíru. Příkladem je slunce a hvězdný vítr. Na zemi tento stav hmoty může být pozorován jako osvětlení nebo jako aurora borealis. Plazma je definováno jako ionizovaný plyn, který obsahuje stejný počet negativních a pozitivních nabitých částic, je kvazineutrální. Neutrální částice mohou být přítomny. Relativní počet iontů a atomů (poměr hustoty hlavních nabitých druhů k hustotě neutrálního plynu) se nazývá stupeň ionizace. Přírodní a uměle vytvořeného plazmatu jsou kvazineutrální, což znamená, že koncentrace kladně nabitých částic (kladných iontů) a záporně nabitých částic (elektronů a negativních iontů) jsou dobře vyvážené. Ionizační energie nebo ionizační potenciál je typicky specifikován v elektronvoltech (eV) a vztahuje se k energii potřebné k odstranění jednoho elektronu z jediného atomu nebo molekuly. Pro ionizaci jsou obvykle vyžadovány velmi vysoké teploty a vysoká energetická náročnost. Plazma je označována jako „horká“, neboť alespoň teplota elektronů je vysoká. Někdy se termín „studená plazma“ používá, když jsou teploty přítomných iontů a neutrálních mnohem nižší než teplota elektronů, tj. E částice v plazmě nejsou v tepelné rovnováze (Körntzer et al. 2013).

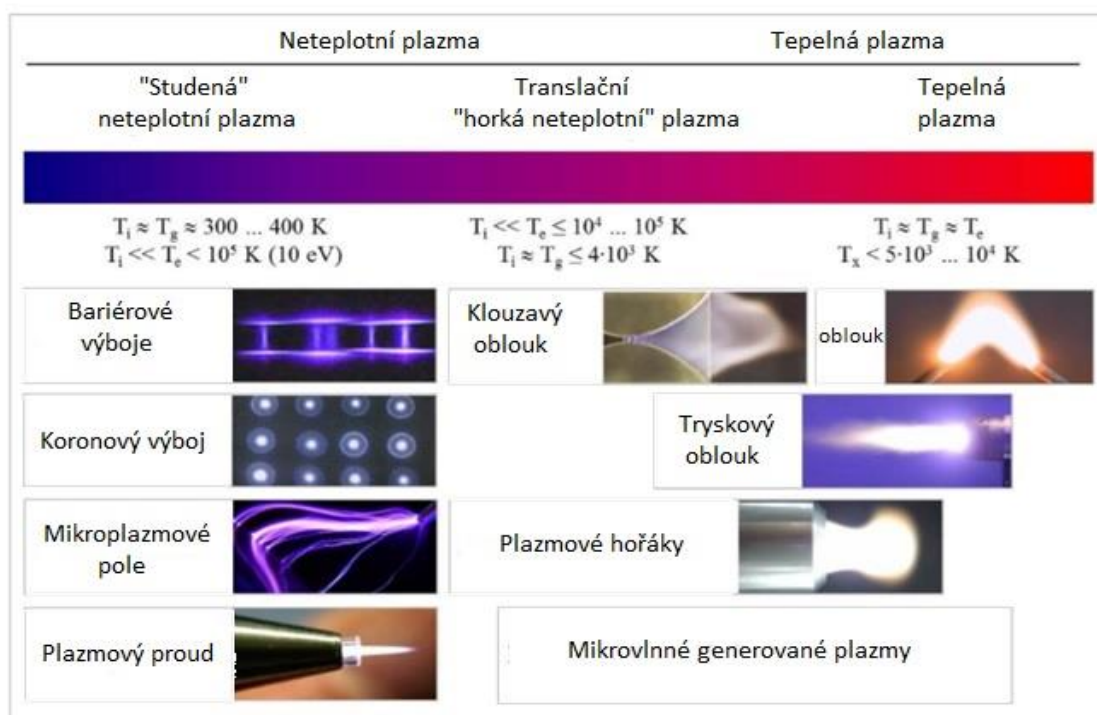


Obr. 1 Čtyři skupenství látek (Misra et al. 2016).

Mnoho plazmat existuje daleko od termodynamické rovnováhy a je charakterizováno více teplotami souvisejícími s různými plazmatickými částicemi a různými stupni volnosti. Je to teplota elektronů T_e , která často výrazně překračuje teplotu těžkých částic T_0 ($T_e \gg T_0$). Ionizace a chemické procesy v takových nerovnovážných plazmatech jsou určovány především funkcí distribuce elektronů, proto nejsou tak citlivé na tepelné procesy a teplotu plynu. Plazma v nerovnovážném stavu se obvykle nazývá netermální plazma. Příkladem netermického plazmatu v přírodě je aurora borealis. V mnoha netermálních plazmových systémech je teplota elektronů řádově několik eV (1 eV se rovná 11 600 K), zatímco teplota neutrálních a iontů je blízká pokojové teplotě. Netermální plazmata se obvykle vytvářejí buď při nízkých tlacích, nebo při nižších úrovních výkonu v porovnání s termálními plazmaty nebo v různých typech pulzních vypouštěcích systémů. Zařízení povrchového mikroobvodu (SMD) produkuje studené netermické plazma při atmosférickém tlaku v krátkých intervalech (v rozsahu 100 ns) plazmového vznícení, což má za následek pouze částečnou ionizaci okolního vzduchu. Tím jsou elektrony napájeny a dosahují teploty několika eV, přičemž současně teplota iontů zůstává při pokojové teplotě. Celková teplota systému nepřekračuje pokojovou teplotu, jelikož stupeň

ionizace je maximálně 10⁻⁷. Další možností snížení teploty plazmového systému (ale nikoliv elektronů) by bylo zředit „horké“ plazmové složky vyvoláním průtoku plynu. Toto bylo realizováno pro MicroPlaSter-plazmové zařízení s chladnou atmosférickou plazmou v mikrovlnné troubě, kde studený průtok argonového plynu vede ke snížení teploty celého systému. Hustota elektronů a iontů je téměř neutrální (Köritzere et al. 2013).

Ve zjednodušeném schématu je plazmové zařízení tvořeno dvěma elektrodami vloženými do komory, která je naplněna vzduchem nebo různými jinými plyny. Použitím elektrické energie mezi dvěma elektrodami a zvýšením aplikovaného napětí se proud náhle zvýší při určitém napětí požadovaném pro dostatečně intenzivní elektronové kaskády. Je-li tlak nízký, nižší než řádově o řádu 100 Pa, dojde ke vzniku zábleskového výboje. Jedná se o nízkoproudý vysokonapěťový výboj široce používaný ke generování netermického plazmatu. Takové výboje jsou použity pro několik procesů výroby polovodičů, jako jsou leptání, spárování, nanášení (Köritzer et al. 2013). K produkci studeného atmosférického plazmatu lze použít několik různých plynů, například helium, argon, dusík, heliox a vzduch. Existuje mnoho způsobů výroby, jimiž se vytváří studené atmosférické plazma (Hoffmann et al. 2013).



Obr. 2 Rozdělení různých druhů plazmat podle teploty a plazmatických druhů

Studené atmosférické plazma se jako ionizovaný plyn v závislosti na konstrukci plazmového zdroje inaktivuje nebo snižuje:

- Bakterie, spory, houby a viry;
- Biofilmy;
- Roztoči a alergen;
- Zápachy – ve vzduchových proudech nebo textilu (proces „elektronového nárazu – disociace“);

- Škodlivé molekuly v procesu toku – např. emise. Terraplasma. 2020. Application areas. Available from <https://www.terraplasma.com/en/application-areas/> (accessed March 2020).

Studená plazmatická úprava je rychlá, ekonomická a bez znečištění metoda ke zlepšení výkonu osiva a výnosu plodin (Tong et al. 2014). Má základní roli v širokém spektru vývojových a fyziologických procesů v rostlinách, včetně snížení počtu bakteriálních ložisek semen, změn struktury semenných vrstev, zvýšení průhlednosti vrstev semen a stimulace klíčivosti semen a růstu semenáčků (Zhou et al. 2011). Tento jev byl prokázán v několika rostlinách, jako jsou *Chenopodium album*, *Oryza sativa*, *Triticum aestivum*, *Lycopersicon esculentum* a *Solanum melongena* L. (Zhou et al. 2012). Kromě toho může plazmatické ošetření také zlepšit fyziologický metabolismus rostliny, jako je dehydrogenázová aktivita, superoxid dismutáza a aktivity peroxidázy, fotosyntetické pigmenty, fotosyntetická účinnost a aktivita reduktázy nitrátů (Wu et al. 2007). Ošetření plazmatem by mohlo výrazně zvýšit výskyt kožních výrůstků. Jelikož byly hlášeny závažné poruchy výživy, Selcuk et al. (2008) uvádí, že výnosy zrn a luštěnin byly významně zvýšeny studeným plazmatem.

Plazmová úprava povrchů polymerů je široce používanou metodou pro úpravu fyzikálních a chemických vlastností povrchu. Plazmové zpracování vytváří komplexní směs povrchových funkcí, které ovlivňují fyzikální a chemické vlastnosti povrchu. Zvláště vede k dramatické změně smáčivého chování povrchu. Nejen chemická struktura, ale také drsnost povrchu je ovlivněna plazmovým zpracováním, může to také změnit smáčitelnost povrchu. Bylo rovněž prokázáno, že zvlhčení biologické tkáně (keratin) může být modifikováno nízkoteplotním radiofrekvenčním plazmatem (Edward Bormashenko & kol. 2012).

Studené (nerovnovážné) radiofrekvenční plazmatické ošetření biologických objektů se stává důležitým nástrojem pro modifikaci jejich chemických a fyzikálních vlastností. Studené plazma je schopná inaktivace bakterií a hub a modifikace nezánettivých tkání. Hojení ran a regenerace tkáně lze dosáhnout po různých typech plazmového ošetření v mnoha patologických stavech poranění. Stále existuje mnoho otevřených otázek, pokud jde o mechanismy plazmatického působení na buňky a tkáně. Například chemie interakce plazma tkáň a přesné role různých plazmatických složek v léčbě tkáně zůstávají obskurní (Edward Bormashenko & kol. 2012).

4. Materiál a metodika

4.1 Materiál

Úprava studenou plazmou osiva probíhaly se dvěma odrůdami pšenice a dvěma odrůdami žita. Odrůdy byly následující: P1 Fakir, P2 Alicia, Ž1 Dankowskie Diament, Ž2 Aventino.

Fakir

Špičková potravinářská odrůda pšenice s kvalitativními parametry A/E, jedním z rodičů je Cubus. Vyniká nejvyšší mrazuvzdorností (8,0) mezi odrůdami základního sortimentu (SDO 2010–2015). Fakir má velice dobrou odolnost k suchu a snáší pozdní setí. Odolnost proti padlí travnímu dosahuje výborné hodnoty 7. Velmi dobrou odolnost má také ke rzi plevové. Vyniká vysokým obsahem N-látek (14 %) a vynikající objemovou hmotností. Velmi stabilní je také hodnota čísla poklesu. Fakir je vhodný do všech oblastí pěstování, odmění se vysokým výnosem a špičkovou kvalitou zrna.

Alicia

Alicia je pekařská polopozdní odrůda. Rostliny středně vysoké až vysoké, středně odolné proti poléhání. Zrno velké. Středně odolná proti napadení padlím travním na listu, odolná proti napadení padlím travním v klasu, středně odolná proti napadení listovými skvrnitostmi, odolná proti napadení braničnatkou plevovou v klasu, středně odolná až odolná proti napadení rzi pšeničnou, středně odolná až odolná proti napadení rzi plevovou. Dle provokačních testů středně odolná až odolná proti napadení rzi travní. Výnos zrna v neošetřené variantě pěstování vysoký až velmi vysoký, v ošetřené variantě pěstování středně vysoký.

Dankowskie Diament

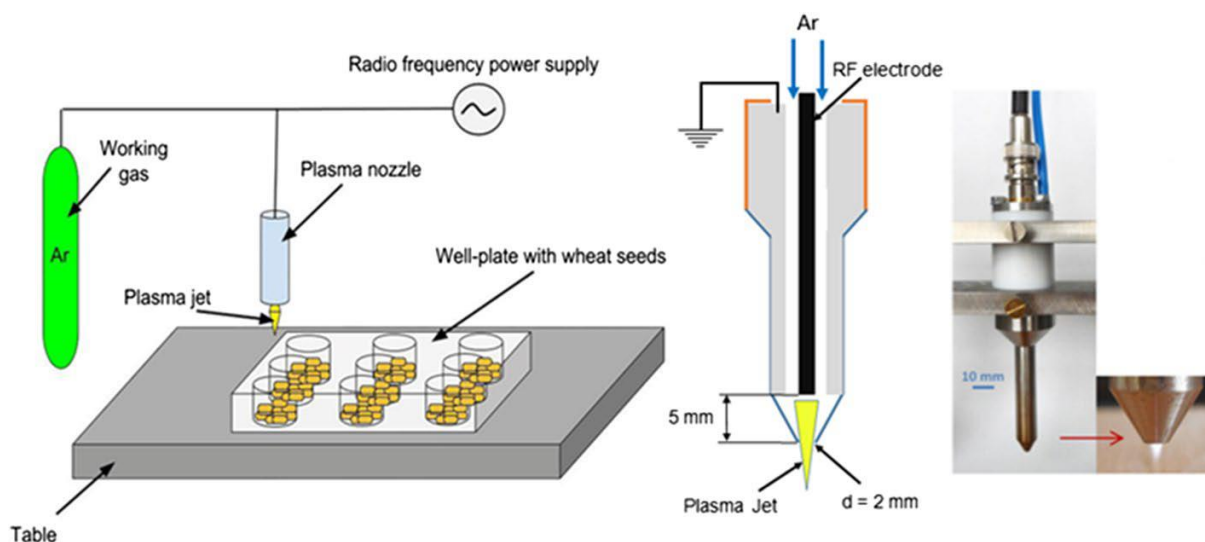
Dańkowskie Diament je populační odrůda žita patřící do skupiny nejvýnosnějších původních odrůd Polska. Odrůda s dobrou odolností vůči onemocnění. Rostliny střední výšky s dobrou odolností vůči poléhání. Velkou výhodou žita Dańkowskie Diament je velmi dobrá kvalita zrna, což je ideální pro pěstování pro účely pečení. To je způsobeno skutečností, že má vysoké číslo poklesu, vysokou viskozitu škrobu a vysokou konečnou želatinizační teplotu.

Aventino

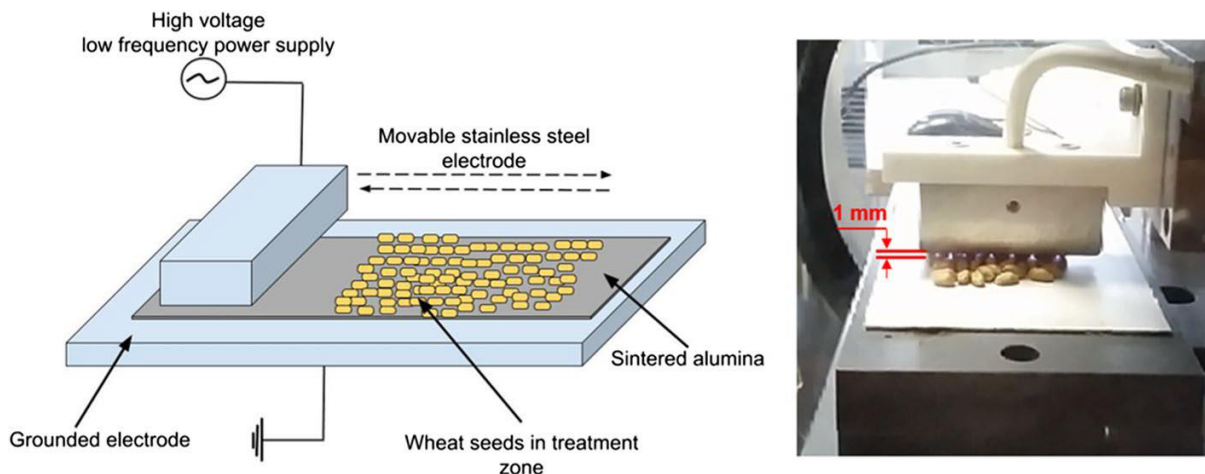
Polopozdní odrůda typu populace. Výnos zrna má v rámci odrůd typu populace středně vysoký. Rostliny jsou vysoké, méně odolné proti poléhání. Zrno je středně velké až velké. Jako odrůda žita typu volně se opylující populace je plastická a málo náročná na stanovištní podmínky. Jako univerzální odrůdu jí lze doporučit do všech produkčních oblastí. Výnosy jsou stabilní, a to i v horších podmínkách. Odrůda má dobrou odolnost k chorobám, především k plísni sněžné a padlí. Tato odrůda má také dobrou potravinářskou kvalitu zrna a zvýšenou odolnost k porůstání.

4.2. Metodika

Byla provedena úprava dvou partií osiva pšenice a dvou partií osiva žita studenou plazmou dne 15.1.2018. Úprava byla provedena argonovou vysokofrekvenční atmosférickou tlakovou plazmou JET (Radio Frequency Atmospheric Pressure Plasma Jet) a bariérového výboje dielektrika DBD (Atmospheric Pressure Dielectric Barrier Discharge). Každá partie osiva byla upravena v pěti různých variantách, které se lišily v různé době působení a to 15; 60 a 180 sekund na JET a 10; 25 skanů v DBD. Na ošetřeném osivu probíhaly testy laboratorní klíčivosti. Schéma plazmového paprsku atmosférického tlaku JET a jeho uspořádání pro ošetření semen pšenice a žita je znázorněno na obrázku č. 3. Argon byl používán jako pracovní inertní plyn. Plazmový paprsek je tvořen emisní částí o délce asi 2 mm a dosvitem. Homogenní ošetření semen bylo dosaženo smícháním semen proudem argonu, který vychází z tryskové hlavy. Proces zpracování byl produkován při proudu Ar (4 l/min) a výkonu (30W), které byly udržovány konstantní ve všech pokusech. V naší práci bylo prováděno ošetření osiva buď ve vzdálenosti 20 mm nebo 24 mm mezi tryskou a dnem baňky, přičemž obě vzdálenosti zajišťovaly ošetření v dosvitu. Doba ošetření byla 15; 60 a 180 s. Schematický diagram nastavení DBD, který byl použit pro ošetření semena pšenice a žito, je uveden na obrázku č. 4. Semena byla vložena na spodní uzemněnou elektrodu (plocha cca. 20 cm²) pokrytou dielektrickou vrstvou použitého DBD zdroje (viz. obrázek č. 4). Vrchní pohyblivá elektroda byla napájena nízkofrekvenčním vysokonapěťovým zdrojem pracujícím na frekvenci 22.5 kHz a pohybovala se nad negativní elektrodou s laditelnou rychlostí (typická hodnota 40 mm/s). Negativní elektroda byla uzemněná ocelová deska (72 mm x 160 mm) pokrytá 1 mm silnou vrstvou sintrovaného hliníku. Proces ošetření byl prováděn při výkonu 30W ve všech pokusech. Vzdálenost mezi povrchem semen a horní elektrodou byla zafixována na 1 mm. Semena byla ošetřena dávkou 10 a 25 skanů.



Obr. 3 Schematický pohled na plazmový paprsek atmosférického tlaku používaný pro ošetření pšeničných a žitných semen.



Obř. 4 Schematické uspořádaní atmosferického tlaku DBD výboje.

Test laboratorní klíčivosti

Testy klíčivosti byly zakládány 2 krát ihned po úpravě, 22. 2. 2018, a po skladování po dobu 4 měsíců. Testy probíhaly 14 dnů v klimaboxu při teplotě 20 °C bez osvětlení. Semena jednotlivých odrůd pšenice a žita se nechala klíčit v plastové misce na filtračním papíru, který byl navlhčen 35 ml vody. Byly klíčeno pět ošetřených variant-JET 15; 60; 180 a DBD 10; 25 a neošetřená kontrola od každé z partií. Vše ve čtyřech opakováních po padesáti semenech. Klíčivost byla počítána v intervalu 24 hodin. Jako klíčivé se bralo semeno s 3 mm dlouhým, zdravým kořínkem. Semena uznaná za klíčivá se pak z misky odstraňovala. Na základě pozorování byly z údajů vypočteny semenářské parametry jako je energie klíčení, střední doba klíčení (MGT) a klíčivost.

Klíčivost (KL) - udává v procentech podíl semen, která ve stanovených podmínkách a ve stanovené době vytvořila normální klíčící rostlinu.

Energie klíčení (EK) - suma vyklíčených semen od založení pokusu ke konkrétnímu dni. V tomto případě to bylo ke druhému (EK2), třetímu (EK3) a čtvrtému (EK4) dni.

Střední doba klíčení (MGT) – počítána z hodnot denních klíčivostí podle rovnice metodiky Nicholse a Heydeckera (1968)

Statistická analýza

Nejprve byla provedena analýza získaných dat. Z hodnocení byly vyřazeny takové hodnoty, u kterých byla odhalena velká odchylka od průměrných naměřených dat. K následnému statistickému hodnocení výsledků byl použit balík statistických programů SAS, (SAS Institute Inc. Cary, NC, USA).

5. Výsledky

V této kapitole jsou uvedeny výsledky pokusů, které byly prováděny 2-krát po 4 měsících. Naším úkolem bylo hodnocení semenářských parametrů dvou partií osiva pšenice a dvou partií osiva žita, v pěti různých úpravách a u neošetřené kontroly. Předmětem zájmu bylo zjistit, zda se upravené osivo dané partie prokazatelně liší v rychlosti klíčení od kontroly, na které nebyla prováděna žádná ošetření. Výsledky v detailu jsou uvedeny v jednotlivých grafech, kde je zobrazen průběh klíčení v procentech v době 14 dnů. Dále v tabulkách uvedeny přesná data týkající se změn parametrů osiva u jednotlivých druhů úprav.

Tabulka 3 Zkratky použité ve výsledcích.

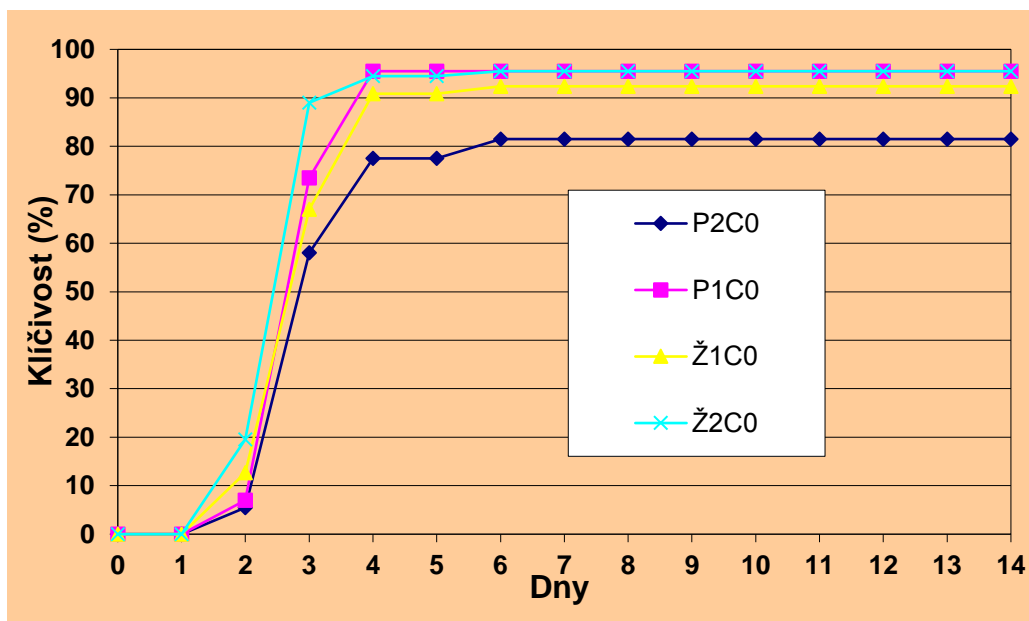
KL	Klíčivost
EK2	Energie klíčovosti 2.dne
EK3	Energie klíčovosti 3.dne
EK4	Energie klíčovosti 4.dne
MGT	střední doba klíčení
HDS	minimální průkazná diference

Výsledky byly mezi sebou porovnávány na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Písmena vedle průměrné hodnoty příslušného parametru ukazují, zda se od sebe hodnoty ve sloupci liší na hladině významnosti α . Hodnoty, které se od sebe statisticky významně neliší, jsou označeny stejným písmenem.

Proběhlo zaokrouhlení dat, u procentických hodnot se zaokrouhlovalo na celá čísla, u HSD na dvě desetinná místa.

5.1. Neupravené osivo

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, bylo vybráno tyto dvě odrůdy pšenice a žita: P1 Fakir, P2 Alicia, Ž1 Dánkowskie Diament, Ž2 Aventino. Tyto odrůdy byly vybrány náhodně všechny čtyři odrůdy jsou zdravé a jsou v registrovány v seznamu doporučených odrůd. Byly prováděny otestování semínek na klíčovost v laboratoři naší katedry. Semena každé partie upravené a neupravené prošli testem laboratorní klíčovosti v úplně stejných podmínkách, což bylo řečeno v předchozích kapitolách.

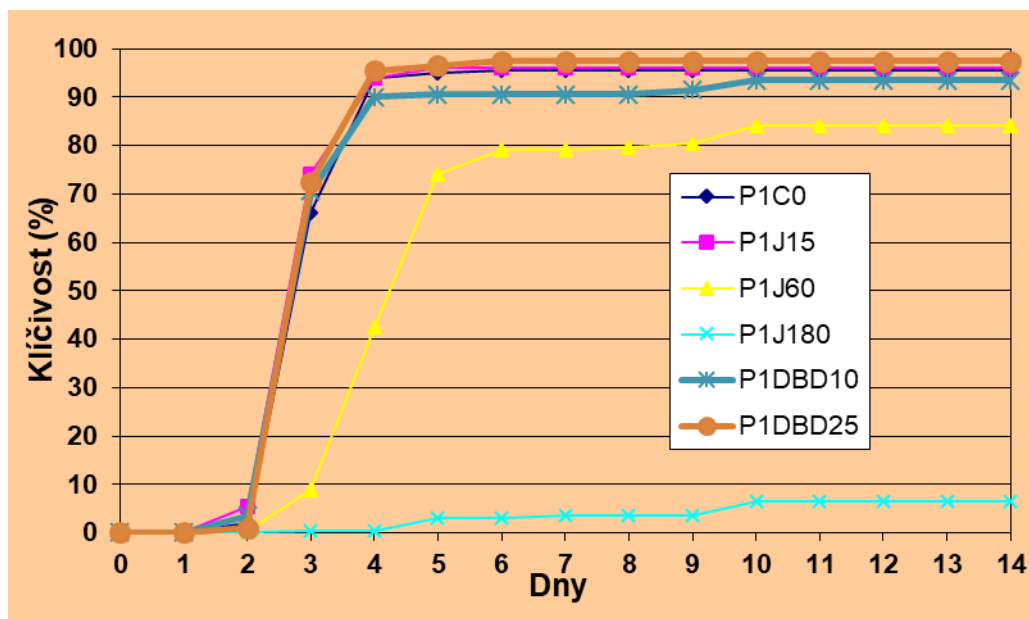


Graf. 1 Klíčení-neošetřená osiva pšenice a žita

V grafu č. 1 uvedeny křivky klíčení dvě partií neošetřené osivy pšenice a žita. Je vidět, že každá osiva klíčí rozdílně, pokud porovnáme klíčivost odrůdy mezi sebou Ž2 a P1 mají vysoký stupeň klíčivosti oproti ostatní varianty což trochu klíčily pomaleji. Pokud porovnáme P1 a P2 sice na začátku klíčily skoro stejny ale je vidět že odrůda Alicia má nižší úroveň klíčivosti než Fakir která klíčila o 10 procent navíc. Oproti pšenici odrůdy žita nemají obrovský rozdíl v rychlosti a procentu klíčivosti. Podle naměřených křivek u obou odrůd žita lze vidět, že klíčivost dosahovala přes 90 %.

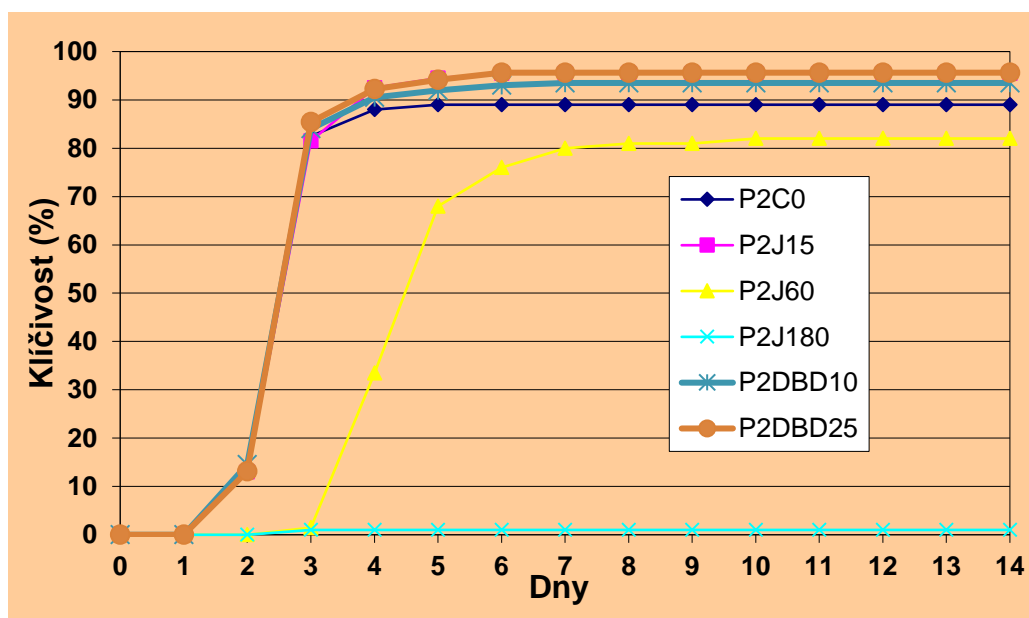
5.2. Osivo po úpravě

V této kapitole jsou zaznamenány výsledky pokusů klíčivosti hned po úpravě. Každá partie osiva pšenice a žita byla upravena argonovou plazmou v zařízení JET. Úpravy proběhly po dobu 15; 60 a 180 sekund plazmou JET. Paralelně probíhaly úpravy plazmou v zařízení DBD dávkou 10 a 25 skanů. Upravená semena všech partií následně byla připravena k testu laboratorní klíčivosti. Test laboratorní klíčivosti probíhal po dobu 14 dnů v klimatizovaném boxu při 20 °C bez osvětlení.



Graf. 2 Klíčení-průměr pšenice Fakir

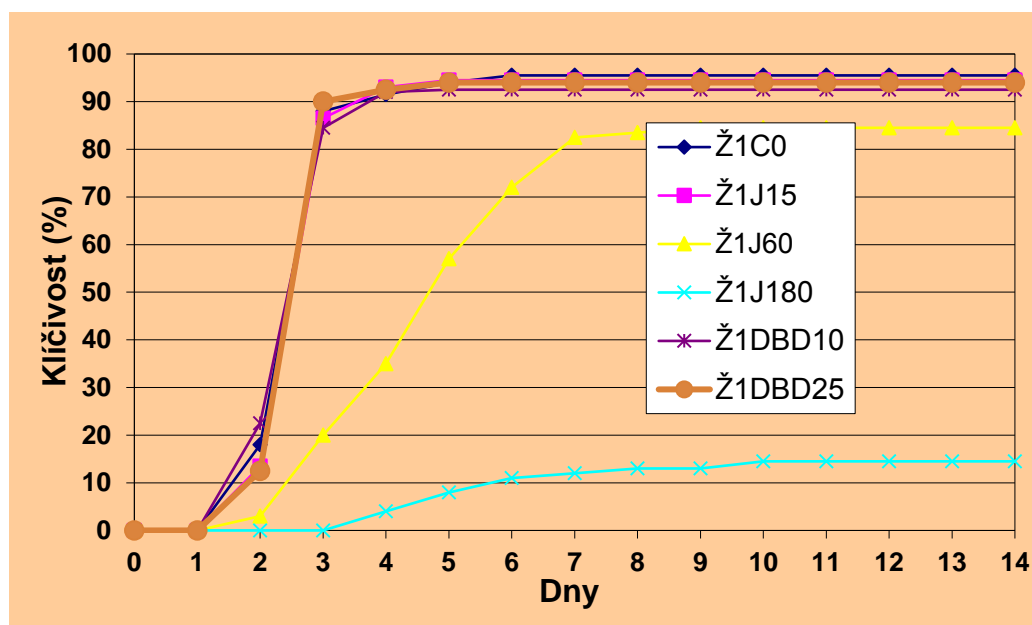
Z grafu lze vyčíst, že u odrůd Fakir P1, z porovnání klíčivosti, jak výrazný význam má úprava DBD25. Došlo k nejvyššímu vyklíčení semínek oproti ostatním variantám úprav, jak v klíčivosti tak v energii klíčení dosáhla 98 % klíčivosti. Po DBD25 pak rovnou dvě varianty, a to jsou kontrola a JET15, které mají také vysoké procento klíčivosti až 95 %. Co se týče variant úpravy JET180 tady došlo oproti kontrole k statisticky významnému snížení klíčivosti. U variant úprav JET60 je také viditelný rozdíl oproti kontrole, ale tato varianta začala klíčit trochu později než ostatní varianty kromě JET180, nicméně na konci měla procento klíčivosti přes 80 %.



Graf. 3 Klíčení-průměr pšenice Alicia

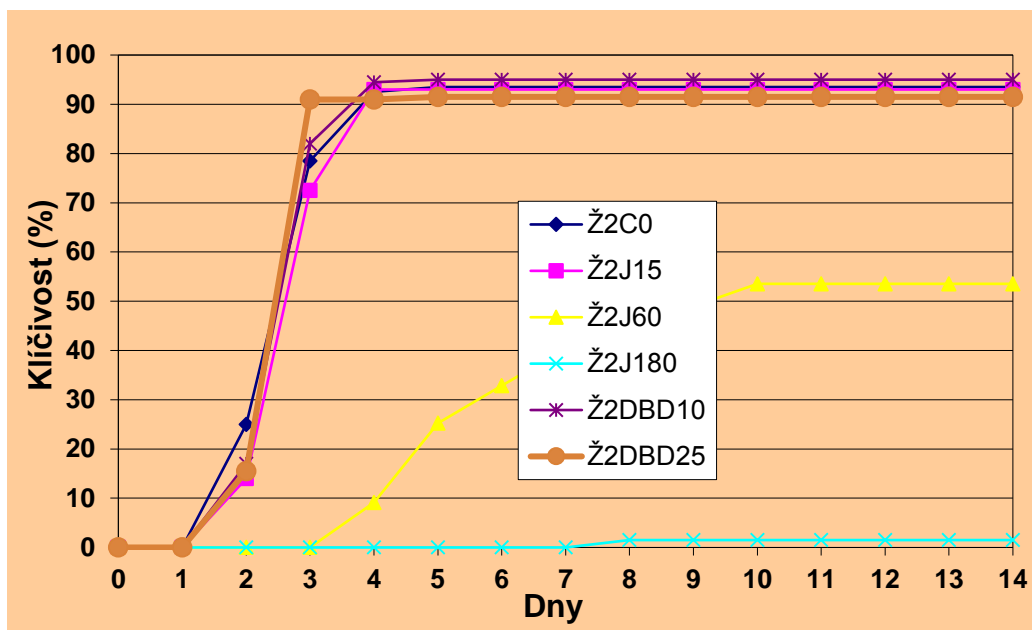
V grafu č. 3 jsou křivky klíčení odrůdy pšenice Alicia. Z průběhu křivek klíčení vyplývá, že každá varianta úpravy působila rozdílně. Od druhého dne začala klíčit rychleji a to až do

14. dne, kdy dosahovala 95 % klíčivosti varinta DBD25, nicméně varinta DBD10 také měla vysoké procento klíčivosti jako DBD25. Co se týče variant JET15 je vidět z grafu, že klíčila stejně jako kontrola a dosáhla 90 %. Varianta JET60 začala klíčit pomalu, pak dosáhla 80 % klíčivosti, ale oproti kontrole má výrazně nižší uroveň klíčivosti. Jedině varianta úprav JET180 působila negativně, je to vidět, že zbrzdila klíčení semen a tím měla nulové procenta klíčivosti, protože nejspíš došlo k poškození semen.



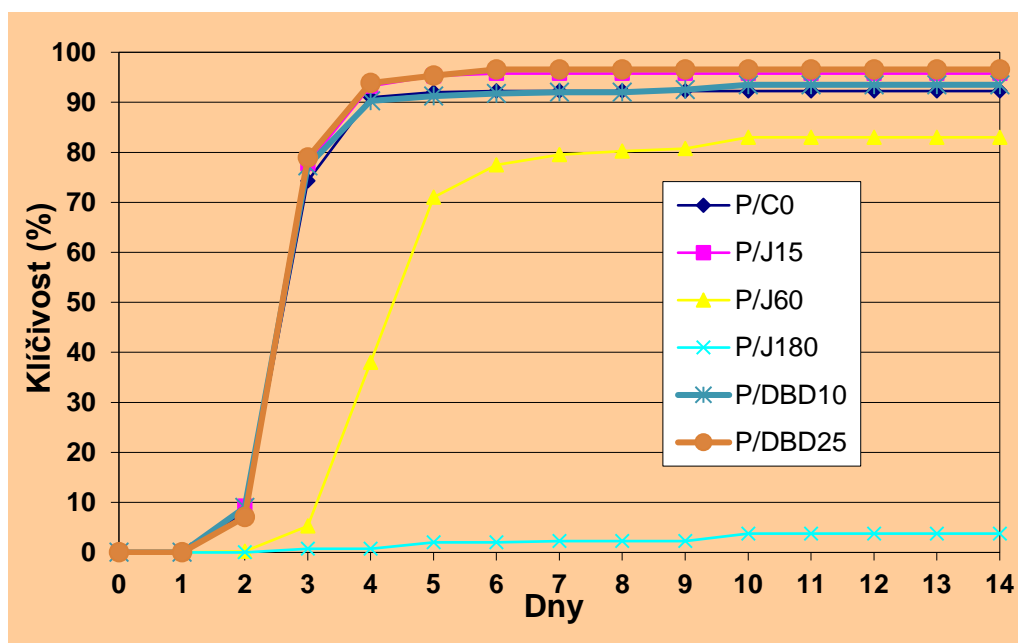
Graf. 4 Klíčení průměr žito Ž1

Graf č.4 představuje výsledky našeho pokusu s žitem a konkrétně s odrůdou Dánkowskie Diament. Když se porovnáme jednotlivé varianty úprav na klíčivost dané odrůdy, vidíme, že jak DBD25, DBD10 a JET15 se překrývají s kontrolou. Můžeme říct, že tyto varianty úpravy působily neutrálně a skoro všechny 3 dosáhly 95 % klíčivosti, kterých dosáhla i kontrola. Varianta JET60 a JET180 vykazala výraznou odlišnost výsledků pokusů oproti kontrole. Jak vidíme u křivky JET60, začala klíčit o den později tak přesto nedohнала kontrolu a maximální klíčivost měla 83 %. Co se týče varianty JET180 ta začala o dva dny později klíčit, ale pokud ji porovnáme s přechozim grafem se pšenici, je vidět, že její maximální klíčivost byla pouhých 14 procent.



Graf. 5 Klíčení průměr žito Ž2

V grafu č. 5 jsou křivky klíčení odrůdy žito Aventino. Pokud porovnáme předchozí graf s tímto, u obou partií osiva (odrůdy) varianty úpravy J15, DBD10 a DBD25 klíčení probíhalo téměř stejně. U úpravy J60 Ž2 došlo k výraznému zpomalení klíčení než u Ž1. I u úpravy J180 Ž2 je jasně vidět že, skoro neklíčila oproti úpravy J180 Ž1. Dále, hodnocení průměru obou partií osiva žito nalezneme na grafu č. 7.



Graf. 6 Klíčení průměr pšenice P1, P2

Z grafu je patrné, že nejkratší doba úprav osiva plasmovou tryskou je srovnatelná s kontrolou, křivky klíčení se prakticky překrývají. U způsobu úpravy plazmou DBD byl průběh klíčení také velmi podobný. Zpomalení klíčení je patrné u úprav J60 a J180.

V tabulce č. 4 jsou uvedeny detailní hodnoty se statistickými průkaznostmi. Nalezneme průběh klíčení pšenice v průměru obou odrůd. Na grafu detailněji rozebraný pokus pomocí energie klíčení 2. 3. a 4. dne, celkové klíčivosti a MGT. Podle tabulky vyplývá, že pouze varianty J60 a J180 se od kontroly statisticky významně lišily, které měly nižší procento klíčivosti. Ostatní varianty J15, DBD10 a DBD25 od kontroly statisticky významně nelišily v EK a KL.

Tabulka 4 Semenařské parametry pšenice v závislosti na druhu úpravy.

Úprava	EK2 %	EK3 %	EK4 %	KL %	MGT den
Kontrola	8,00a	74,25a	91a	92,25a	3,11b
DBD10	9,00a	77,25a	90,25a	93,5a	3,19b
DBD25	7,00	78,41a	93a	95,66a	3,14b
J15	9,25a	77,75a	93a	95,75a	3,12b
J60	0,25b	5,25b	38b	84,85b	4,81a
J180	0b	0,75b	0,75c	4,6c	5,44a
HSD	3,77	9,44	8	4,57	0,91

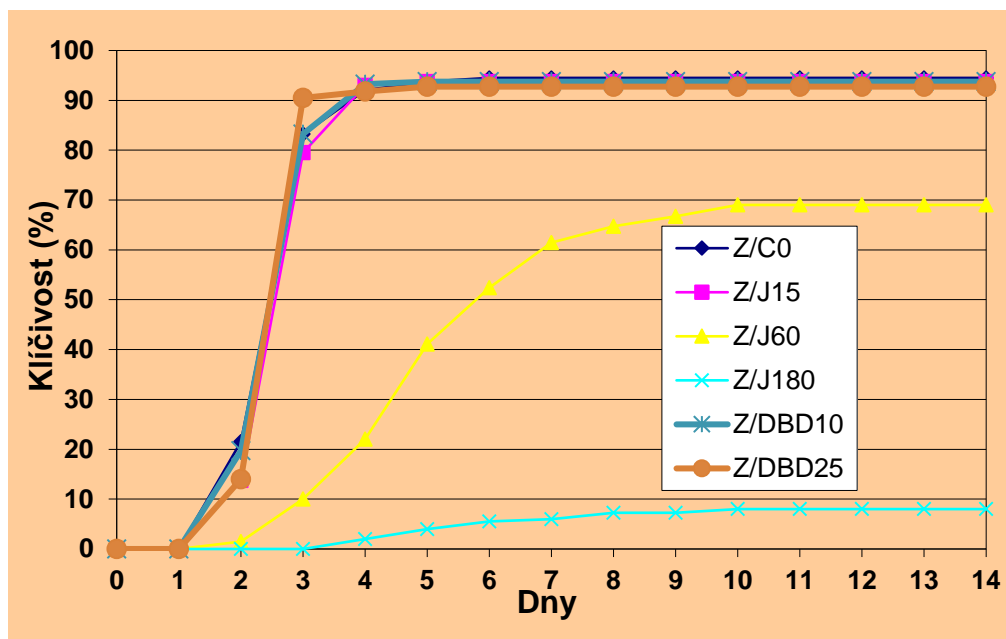
Výsledky byly mezi sebou porovnávány na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Písmena vedle průměrné hodnoty příslušného parametru ukazují, zda se od sebe hodnoty ve sloupci liší na hladině významnosti α . Hodnoty, které se od sebe statisticky významně neliší, jsou označeny stejným písmenem.

Obě odrůdy pšenice ukázali stejné výsledky jako odrůdy žita z pozorování střední doby klíčivosti, varianta J60 a J180 oproti kontrole statisticky významně prodloužila střední dobu klíčení. Co se týče ostatních variant v MGT oproti kontrole statisticky významně nelišily.

Tabulka 5 Semenařské parametry pšenice v závislosti na partii.

Partie	EK2 %	EK3 %	EK4 %	KL %	MGT den
P1	2,1b	48,7b	69,4a	82,3a	4a
P2	9a	55,8a	66b	76b	3,2b
HSD	1,45	3,6	3,1	1,77	0,35

V tabulce č. 5 nalezneme detailněji rozebraný pokus pomocí energie klíčení 2. 3. a 4. dne, celkové klíčivosti a MGT obou partií osiva pšenice. P2 na 2.a 3. den vyklíčila statisticky významně oproti P1. 4. dne je vidět, že varianta P1 vyklíčila významně rychleji než P2. Co se celkového hodnocení týče, partie P1 statisticky významně klíčila oproti P2 a nejkratší střední dobu klíčení měla partie P2.



Graf. 7 Klíčení-průměr žita Ž1, Ž2

Graf č.7. znázorňuje křivky klíčení obou odrůd žita v průměru. Z grafu je vidět, že ty křivky prakticky se neliší od odrůd žita. V průměru vyklíčely moc dobře varianty DBD25, DBD10 a JET15 což prakticky překrývají kontrolu. Co se týče JET60 v průměru u obou odrůd klíčily pomaleji než samostan, kdy obě odrůdy dosahly procenticky z 80 na 60 % a varianta JET180 měla prakticky stejnou rychlost klíčení.

Z tabulky lze vyčíst, že jako u obou odrůd žita varianty J60 a J180 se oproti kontrole měli nižší stupeň klíčivosti. Co se celkové klíčivosti týče, nebyly mezi úpravami a kontrolou zaznamenány žádné, statisticky významné rozdíly.

Tabulka 6 Semenařské parametry obou odrůd žita v závislosti na druhu úpravy.

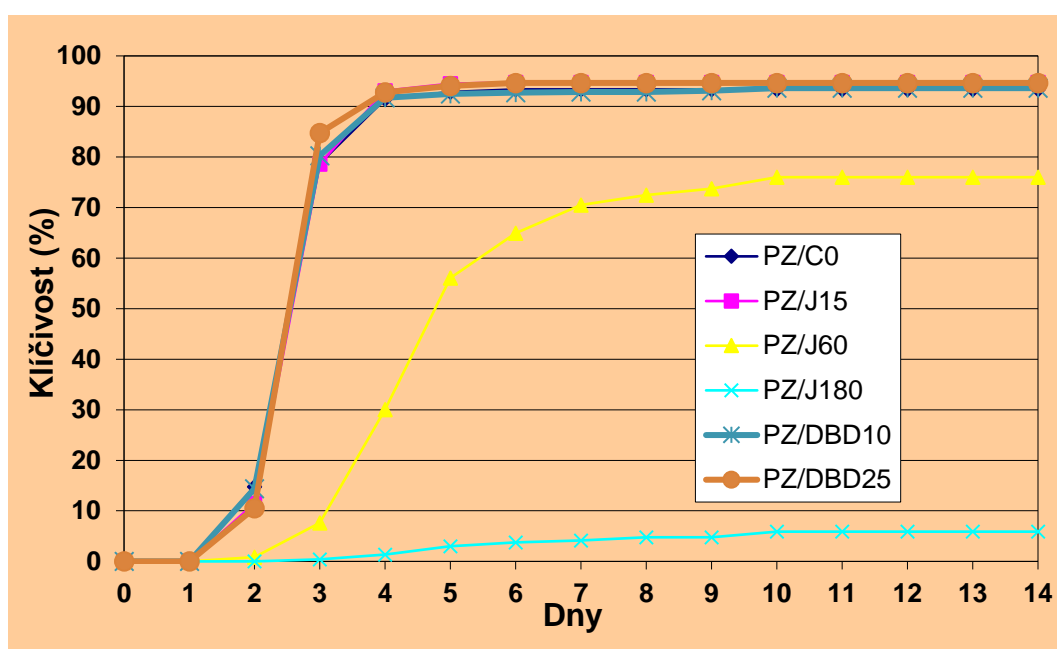
Úprava	EK2 %	EK3 %	EK4 %	KL %	MGT den
Kontrola	10a	77a	92,7a	95,5a	3,1c
DBD10	13a	77,5a	91a	93a	3,1c
DBD25	6,75b	79,42a	93,7a	95,4a	3,1c
J15	9,5a	80,25a	93,1a	94,8a	3c
J60	1,75c	14,5b	38,7b	84b	4,7b
J180	0c	0,25c	2,5c	12,2c	6,6a
HDS	4,71	7,83	7,5	6,49	0,97

U obou druhu plodin pozorování střední doby klíčivosti vyšlo tak, že varianty J60 a J180 oproti kontrole statisticky významně měly prodlouženu střední dobu klíčivosti. Ostatní varianty měly stejné ukazovatele v MGT jako kontrola, žádné statisticky významné rozdíly nebyly zaznamenány.

Tabulka 7 Semenářské parametry žita v závislosti na partii.

Partie	EK2 %	EK3 %	EK4 %	KL %	MGT den
Ž1	2b	48,7b	72,4a	82,3a	4a
Ž2	11,6a	60a	65,4b	77,1b	3,5b
HSD	1,8	3	3	2,5	0,37

V tabulce č. 7 nalezneme detailněji rozebraný pokus pomocí energie klíčení 2. 3. a 4. dne, celkové klíčivosti a MGT obou partií osiva žita. Z tabulky lze vyčíst, že v EK2 významně vyklíčila partie Ž2 oproti Ž1 a dál pokračovala i na 3. den, a je to statisticky výrazný rozdíl oproti Ž1. U odrůdy Ž1 došlo k výraznému zlepšení a vyklíčila dokonce statisticky významně oproti odrůdy Ž2. Celkově, partie Ž1 dominovala nad partií Ž2, vyklíčila statisticky průkazně. Co se týče střední doby klíčení, partie Ž2 měla kratší než Ž1.



Graf. 8 Klíčení průměr pšenice a žita P, Ž

V grafu č.8 jsou výsledky našeho pokusu pšenice a žita v průměru. Pokud tedy vyhodnotíme klíčení obou druhů je vidět, že zde nejsou žádné velké rozdíly. V průměru tady oba druhy začaly klíčit o den dříve než samotné druhy. Ty křivky maximálně dosahly 95 % u variant DBD25, DBD10 a JET15 a překryvají kontrolu.

Je vidět, že v průměru u obou plodin, jako předchozí porovnání, varianta J60 a J180 měla statisticky významné rozdíly oproti kontrole v EK a KL. Co se ostatních variant týče, žádné statisticky významné rozdíly nebyly zaznamenány.

Tabulka 8 Semenářské parametry pšenice a žito v závislosti na druhu úpravy.

Úprava	EK2 %	EK3 %	EK4 %	KL %	MGT den
Kontrola	14,7a	78,7a	91,5a	93,3a	3c
DBD10	14,3a	80,2a	91,7a	93,6a	3c
DBD25	10,4a	84,7a	93,2a	95a	3c
J15	11,5a	78,6a	93,6a	95,3a	3c
J60	0,87b	7,6b	30b	76,8b	5,1b
J180	0b	0,37b	1,4c	6,5c	6a
HDS	5,37	8,38	6,6	7,4	0,82

V průměru obou druhů a všech odrůd se ukázalo, že delší doby expozice plasmovou tryskou statisticky průkazně zpomalují klíčení upravených semen, rozdíl mezi kontrolou a nejdelší expozicí J180 byl 14,7 % v termínu počítání energie klíčivosti 2 den (EK2). Podobně dopadla i varianta J60. S rostoucí dobou klíčení je i u těchto variant rozdíl klíčení patrný. Rozdíl mezi kontrolou a variantou J60 byl ale prakticky 70 % ve prospěch kontroly.

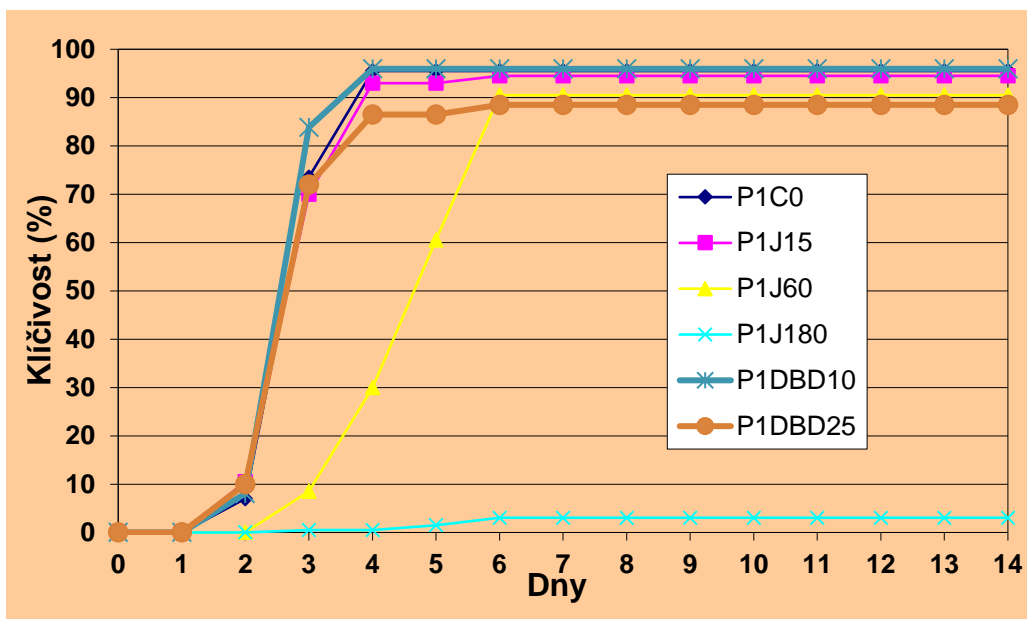
Tabulka 9 Semenářské parametry mezi pšenicí žita.

Partie	EK2 %	EK3 %	EK4 %	KL %	MGT den
P	5,6b	52,3b	67,7a	79,2a	3,7a
Z	11,7a	57,3a	66,4a	76,6a	3,8a
HSD	2,1	3,3	2,6	2,9	0,3

V tabulce č. 9 nalezneme detailněji rozebraný pokus pomocí energie klíčení 2. 3. a 4. dne, celkové klíčivosti a MGT mezi obou partií tedy pšenice a žito. Podle tabulky je patrné, že v EK2 a EK3 statisticky významně vyklíčila partie Z oproti P až 4. den, což obě partie osiva měly skoro stejné tempo klíčivosti. Co se týče celkového hodnocení, nebyly žádné statisticky významné rozdíly zaznamenány mezi partií P a Ž.

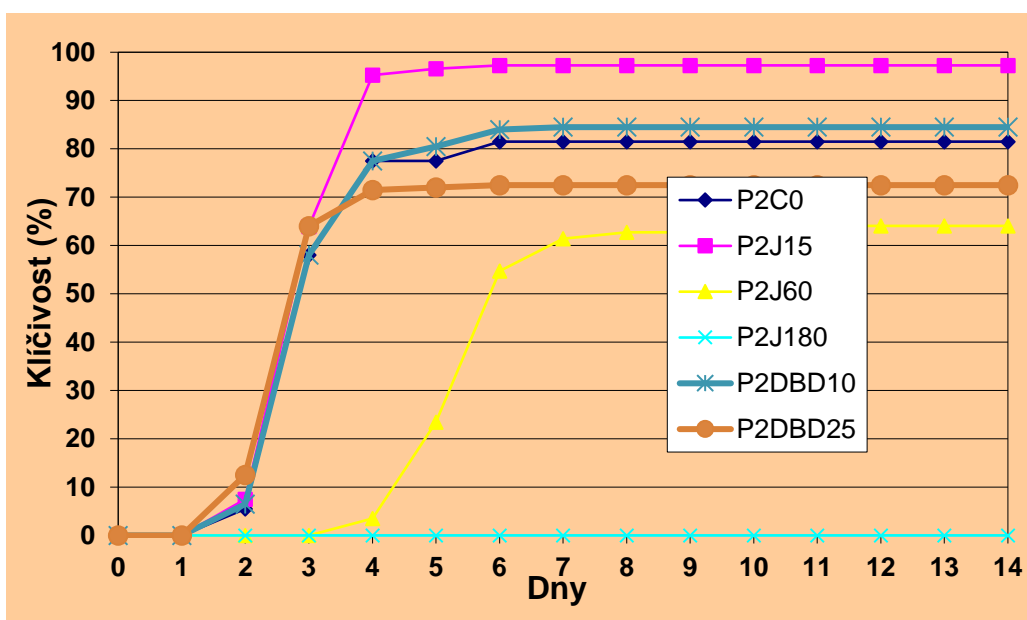
5.3. Upravené osivo po skladování po dobu 4 měsíců

Část semínek z obou odrůd po úpravě byly skladování 4 měsíce. Po 4 měsících ještě jednou proběhly testy laboratorní klíčivosti v úplně stejných podmínkách. Cílem bylo vyhodnocení účinnosti různých variant úpravy a změny parametrů kvality upraveného osiva během skladování. Další úkolem bylo porovnání variant úprav mezi sebou a určení optimální varianty úprav vzhledem ke skladování osiva. Výsledky, vše co bylo řečeno výše představíme v grafech, kde jsou zobrazeny křivky klíčení obou partií osiva upravených různými způsoby úprav a v tabulkách jsou detailnější rozbory týkající se parametrů semen.

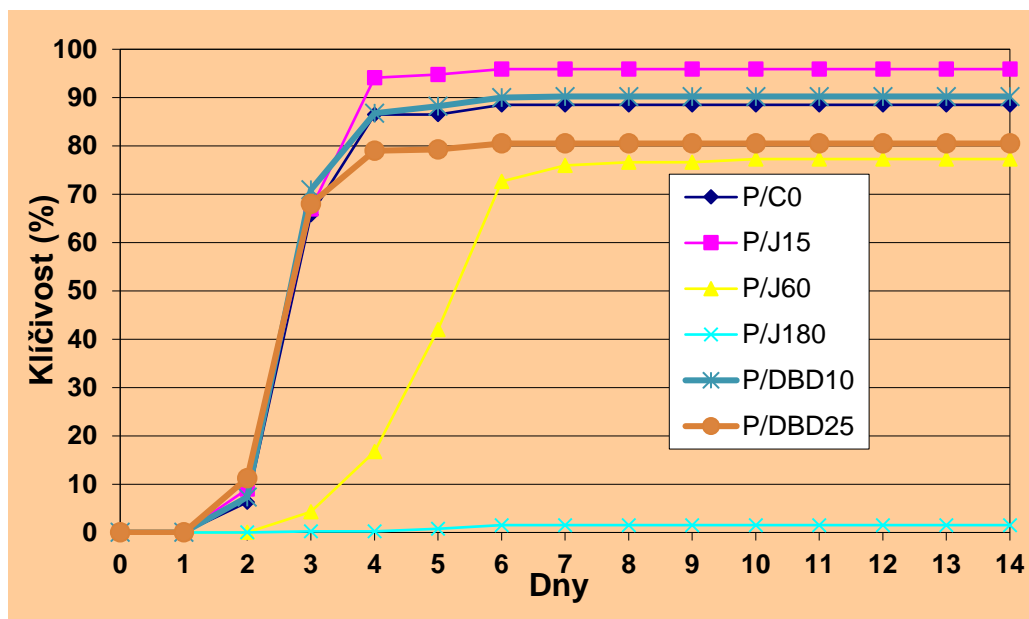


Graf. 9 Klíčení, průměr pšenice P1

V grafech 9 a 10 jsou křivky klíčení jednotlivých hodnocených odrůd (partií osiva) samostatně. V grafech jsou výsledky klíčení opakovaného pokusu uchovaných semen pšenice po 4 měsících. Podle grafu vidět, že každá partie osiva klíčila jinak, pouze u úpravy JET180, která skoro neklíčila vůbec. Co se týče JET15, která ukázala nejlepší procento klíčivosti, skoro 98 %, u partie P2, u partie P1 největší procento klíčivosti ukázala varianta DBD10 oproti DBD10 a DBD25 u partie P2.



Graf. 10 Klíčení, průměr pšenice P2



Graf. 11 Klíčení, průměr pšenice P1 a P2

Graf 11. ukazuje výsledky porovnání dvou partií pšenice P1 a P2. Z grafu vyplývá, že klíčivost ošetřeného osiva plazmou je srovnatelná s kontrolou, a je jasné viditelné, že úprava J15 více stimuluje klíčivosti osiv oproti ostatním úpravám. Opakem, jsou úpravy DBD25, Jet180 a Jet60 které brzdí klíčení osiva.

Tabulka 10 Semenařské parametry v závislosti na druhu úpravy mezi P1 a P2.

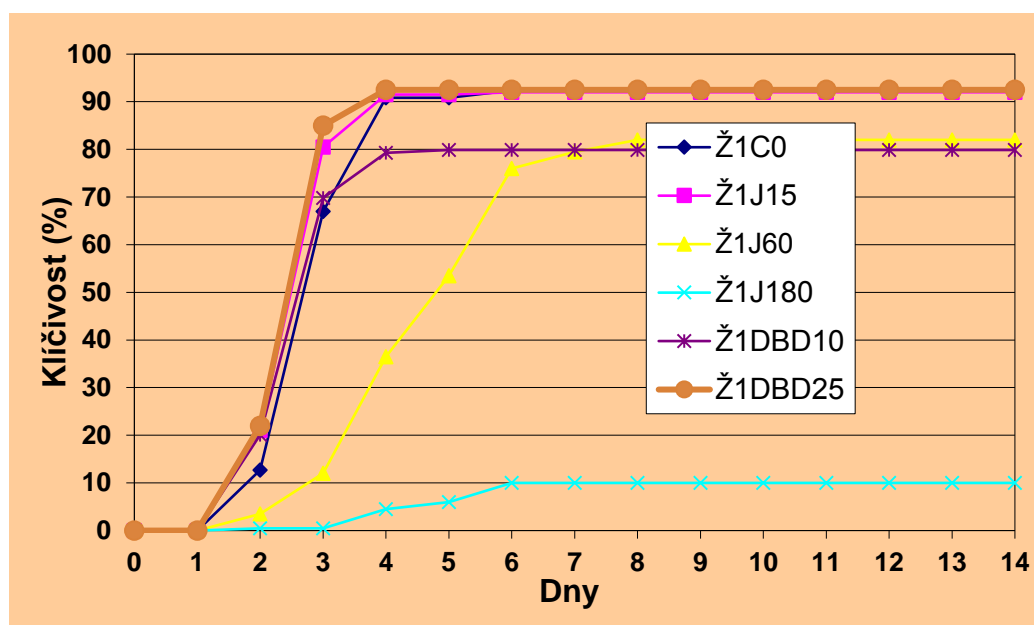
Úprava	EK2 %	EK3 %	EK4 %	KL %	MGT den
Kontrola	6,2b	65,75a	86,5a	88,5a	3,2b
DBD10	7,2b	70,5a	86,25a	89,75a	3,2b
DBD25	11,2a	68a	79b	80,5b	3b
J15	9a	63a	90,5a	92,25a	3,25b
J60	0c	4,25b	16,75c	74c	5,3a
J180	0c	0,25b	0,25d	1,5d	5,3a
HSD	3,5	13,9	9,15	9,75	0,33

V tabulce č.10 nalezneme detailněji rozebraný pokus pomocí energie klíčení 2. 3. a 4. dne, celkové klíčivosti a MGT. Z tabulky lze vyčíst, že varianta DBD25 a JET15 vykazovaly statisticky významný rozdíl v EK již od začátku klíčení. Co se týče varianty DBD10 zde se o něco lépe měla EK, ale žádné statisticky významné rozdíly nebyly zaznamenány. U variant JET60 a JET180 bylo zaznamenáno výrazně zpomalené klíčení. Pokud bereme celkové hodnocení, nebyly mezi úpravami a kontrolou zaznamenány žádné statisticky významné rozdíly.

Tabulka 11 Semenářské parametry pšenice v závislosti na partií.

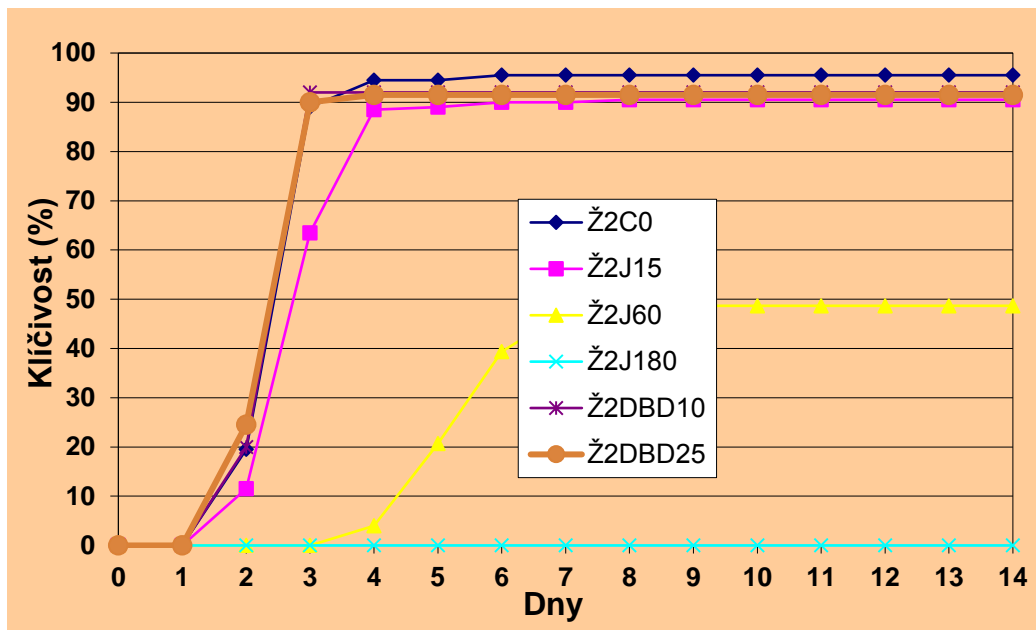
Partie	EK2 %	EK3 %	EK4 %	KL %	MGT den
P1	5,9a	51,2a	66,7a	77,8a	3,7a
P2	5,3a	39,3b	53b	64,3b	3,7a
HSD	1,4	5,4	3,6	3,8	0,12

V tabulce 11 nalezneme detailněji rozebraný pokus pomocí energie klíčení 2. 3. a 4. dne, celkové klíčivosti a MGT obou partií osivo pšenice. Z tabulky lze vyčíst, že pouze 2. den obě odrůdy pšenice tedy P1 a P2 vyklíčily stejně, žádné statisticky průkazné rozdíly neměly. U partií P1 již při 3. dni došlo k zlepšení klíčivosti a dosáhla statistické průkaznosti oproti P2, stejná situace byla i ve 4. dni u P2, stále pomalá rychlost klíčení. Celkově u odrůdy P1 došlo k statistické průkaznosti z hlediska klíčivosti oproti P2.



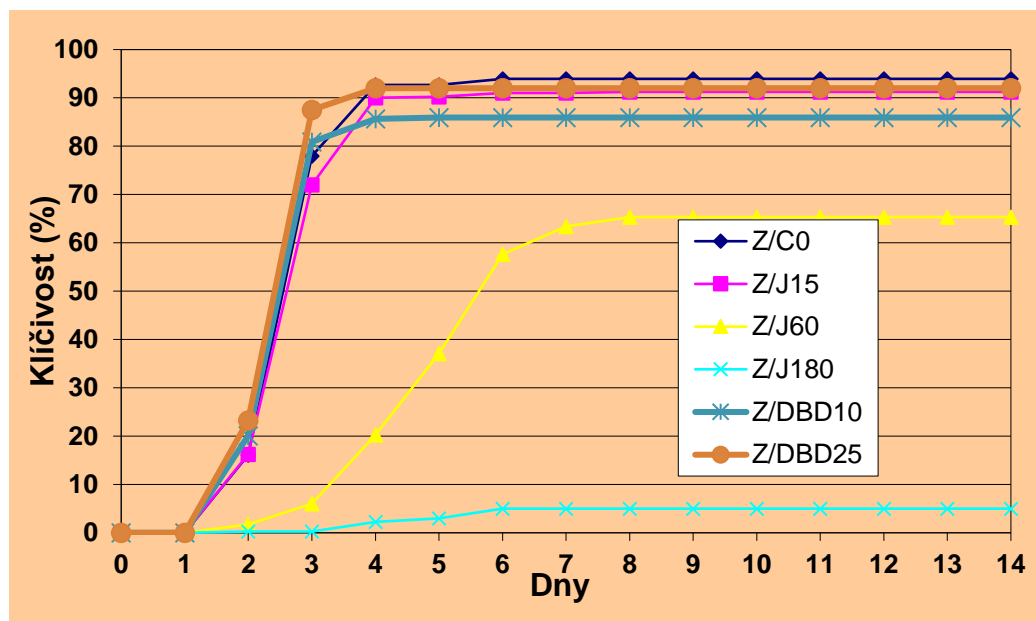
Graf. 12 Klíčení-průměr žita Ž1

V grafech 12 a 13 jsou křivky klíčení jednotlivých odrůd žita. V případě partií Ž1 je patrné, že úpravy DBD25 a JET15 pozitivně ovlivňovaly klíčivost oproti kontrole. Ostatní úpravy jako JET180,60 a DBD10, podle křivky, zpomaluje klíčení. Co se týče odrůdy Ž2 tady byla trochu jiná situace. Jak je viditelné, že všechny varianty úprav nemají negativní vliv na klíčivost kromě úprav JET180 a Jet60, které vývoj zpomalují a nebo v případě JET180, která vůbec neklíčila.



Graf. 13 Klíčení-průměr žita Ž2

Graf č.14 znázorňuje porovnání klíčení obou odrůd (partií osiva) žita. Z křivek je patrné jako u obou partií osiva pšenice, že vysoké procento klíčivosti ukazaly úpravy DBD10 a JET15, kde sice kontrola také klíčí ve stejné míře. Opakem jsou úpravy JET180 a JET60 které i v tomto případě zpomalovaly klíčení.



Graf. 14 Klíčení-průměr žita Ž1 a Ž2

Tabulka 12 Semenářské parametry v závislosti na druhu úpravy mezi Ž1 a Ž2

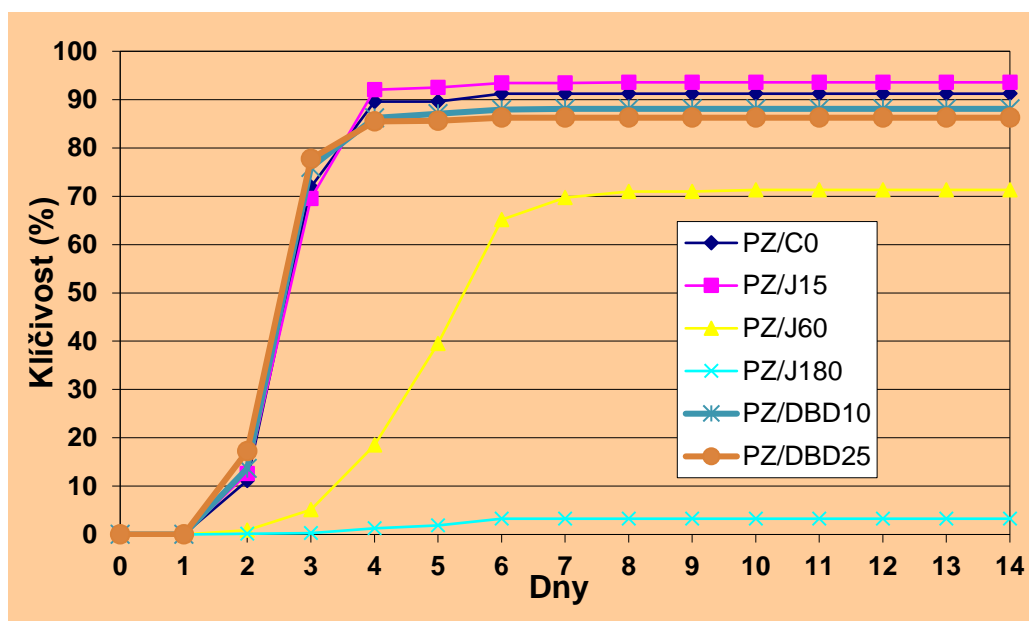
Úprava	EK2 %	EK3 %	EK4 %	KL %	MGT den
Kontrola	16a	77,5a	92a	93,2a	3c
DBD10	19,75a	80,25a	84,25a	84,5a	2,81c
DBD25	23,25a	87,5a	92a	92a	2,7c
J15	16,25a	72b	90a	91,25a	3c
J60	1,7b	6c	19,75b	61,75b	5,3a
J180	0,25b	0,25c	2,2c	5c	4,95b
HSD	8,21	12,4	12,9	14,8	0,31

Z tabulky 12 lze vyčíst, že ve 2. a 3. dni klíčení došlo u varianty DBD25 a DBD10 k prokazatelnému rozdílu v počtu vyklíčených semen oproti kontrole, ale není to statisticky významný rozdíl. Co se týče ostatních variant nebyly rozdíly v klíčivosti oproti kontrole. Pokud hodnotíme pokus celkově, nejvyšší laboratorní klíčivost mělo osivo kontroly.

Tabulka 13 Semenářské parametry žito v závislosti na partii.

Partie	EK2 %	EK3 %	EK4 %	KL %	MGT den
Ž1	13,2a	52a	65,2a	74a	3,6a
Ž2	12,6a	55,7a	61,6a	69a	3,5a
HSD	3,2	4,8	5	6	0,12

V tabulce 13 nalezneme detailněji rozebraný pokus energie klíčení 2., 3. a 4. dne, celkové klíčivosti a MGT obou partií osiva žita. Podle tabulky je patrné, že obě odrůdy žita, tedy po skladování po 4 měsíce, vyklíčily přesně stejným způsobem a rychlostí, nebyly žádné statisticky významné rozdíly u obou partií osiva žita.



Graf. 15 Klíčení-průměr pšenice a žita P, Ž

Graf 15 znázorňuje průběh testu laboratorní klíčivosti pšenice a žito v průměru. Z grafu je jasné, že u varianty JET180 a JET60 došlo k výraznému zpomalení klíčení hned od prvního dne a od kontroly statisticky významně se lišily. U varianta JET15 je vidět, že klíčila lépe oproti kontrole. Co se týče ostatních variant, od kontroly se statisticky významně nelišily.

Tabulka 14 Semenařské parametry v závislosti obou druh P a Z

Druh	EK2 %	EK3 %	EK4 %	KL %	MGT den
P1	5,9b	51b	68,8a	77,8a	3,7a
P2	5,3b	39,3c	51,8b	65,3c	3,7a
Ž1	13,1a	52,6a	66,3a	75,6a	3,6a
Ž2	13,1a	58,1a	64,2a	70,6b	3,3b
HSD	3,79	7,1	5,8	5,9	0,2

V tabulce č. 14 nalezneme detailněji rozebraný pokus pomocí energie klíčení 2., 3. a 4. dne, celkové klíčivosti a MGT mezi pšenice a žito. Tabulka ukazuje, že obě odrůdy žito v 2. a 3. den výklíčily statisticky významně oproti obou odrůd pšenici. 4. den ukazuje, že pouze P2 klíčila významně pomalu oproti P1, Ž1 a Ž2. Co se týče celkové klíčivosti, nejvyšší klíčivost měly P1 a Ž1 zatím stojí Ž2 a nejhůře klíčila P2.

Tabulka 15 Semenařské parametry v závislosti na druhu úpravy.

Druh Úpravy	EK2 %	EK3 %	EK4 %	KL %	MGT den
Kontrola	11b	71,6b	89,2a	90,8a	3,1b
DBD	15,4a	79a	87,7a	89,2a	3b
JET	4,6c	23,8c	37b	55b	4,3a
HSD	3,3	6,1	5	5	0,18

V tabulce 15 nalezneme detailněji rozebraný pokus energie klíčení 2., 3. a 4. dne, celkové klíčivosti a MGT v souvislosti mezi kontrolou a druhy úprav. Z tabulky lze vyčíst, že ta semena, která byla upravena pomocí DBD, 2. den výklíčila statisticky významně oproti kontrole a JET. Nejkratší střední dobu měla varianta DBD a kontrola. Celkově, pouze u varianty JET byl zaznamenán statisticky významný pokles klíčivosti oproti DBD a kontrole.

Tabulka 16 Semenařské parametry v závislosti na době úpravy.

Čas	EK2 %	EK3 %	EK4 %	KL %	MGT den
0	11b	71,6a	89,2a	90,8a	3,1b
10	13,5a	80,4a	88,4a	90,4a	3b
25	17,2a	77,8a	87,2a	88a	2,9b
J15	12,6a	70,6b	91,4a	93a	3,1b
J60	0,9c	5,4c	19,5b	73,4b	5,2a
J180	0,1c	0,2c	1,2c	3,2c	5,1a
HSD	5,2	9,7	7,8	8	0,3

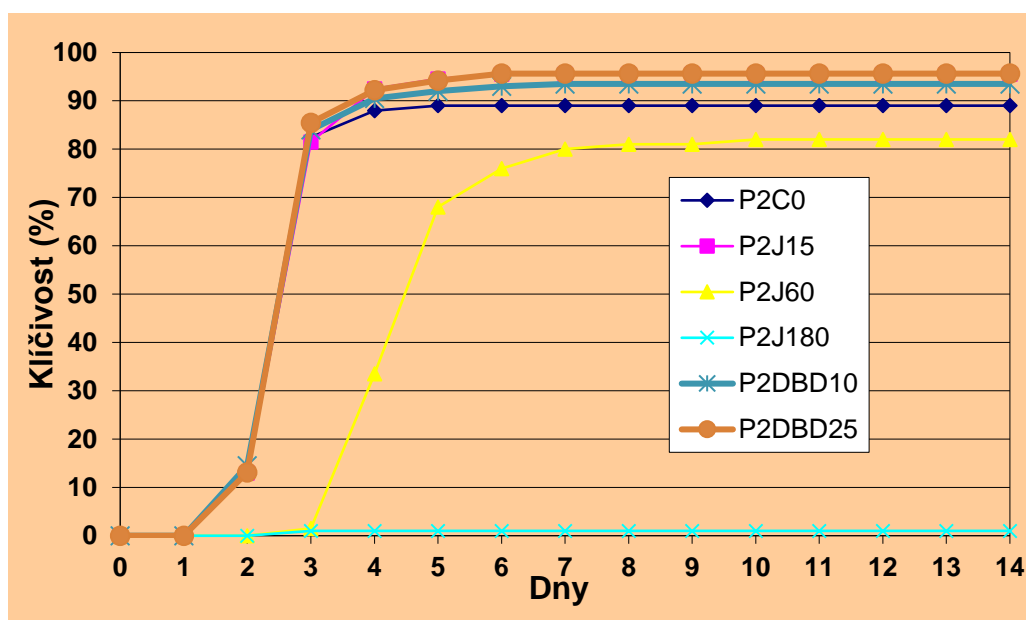
V tabulce 16 nalezneme detailněji rozebraný pokus pomocí energie klíčení 2. 3. a 4. dne, celkové klíčivosti a MGT v závislosti na době úpravy. Varianty úpravy 10; 15 a 25 výklíčily nejlépe a statisticky významně oproti ostatním variantám v EK 2. dne. Již ve 4 dni, mezi variantami 0 až 25 nebyly žádné významné rozdíly. Významně pomalu klíčily varianty 60 a 180 oproti ostatním. Střední dobu klíčení měla varianta 25.

6. Diskuze

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, hlavním cílem a přínosem úprav osiv studeným plazmatem je zlepšení jejich semenářských parametrů a rozšíření variability podmínek, v nichž jsou semena schopna vyklíčit. V následující kapitole bude zhodnoceno, nakolik naše pokusy úpravy osiva pšenice a žita studeným plazmatem přinesly očekávané výnosy.

Zjištění z této studie naznačují, že úprava osiva studeným plazmatem může zlepšovat rychlost klíčení, procento klíčivosti a dalších semenářských parametrů osiva v závislosti na druhu nebo odrůdě a době ošetření. Dále naše výsledky potvrzují, že nejlepší doba ošetření či varianta úpravy je J15 a DBD25.

Prvním předmětem diskuze je urychlení klíčení. Z našich výsledků vyplývá, že z pěti variant úprav ukázaly tři varianty (J15, DBD10 a DBD25) pozitivní efekt, ale není to statisticky prokazatelné oproti kontrole. Při hodnocení jsem zjistil, že varianty J60 a J180 prokázaly statisticky významné prodloužení MGT oproti kontrole.



Graf. 3 Klíčení průměr pšenice P2

Urychlení klíčivosti osiva upraveného studeným plazmatem byla zkoumána Volinem et al. (2000). Byla zaznamenána významná zpoždění rychlosti klíčení osiva upraveného plazmatem Fluorkarbonem. Výsledky uvedené v publikaci Volin et al. (2000) souhlasí s našimi pokusy u variant J60 a J180, které probíhaly déle než J15. Troufám si tvrdit, že delší doba ošetření (v našem případě J60 a J180) vede k prodloužení rychlosti klíčení. Výsledky u Edwarda Bormashenka et al. (2012) vyšly opačně než naše výsledky, protože osiva byla upravena induktivními plazmovými výboji od 15 s až 2 min. a v našem případě u JET60 180 sekund, což je delší doba než u Edwarda Bormashenkova. Je spousta pokusů, které mají podobné výsledky jako Edward Bormashenko et al. (2012). Například Jiafeng Jiang provedl (2014) pokus s osivy

rajčat upravenými indukčními heliovými plazmovými výboji po dobu 15 sekund, který měl o 11 % zvýšenou rychlost klíčení oproti kontrole.

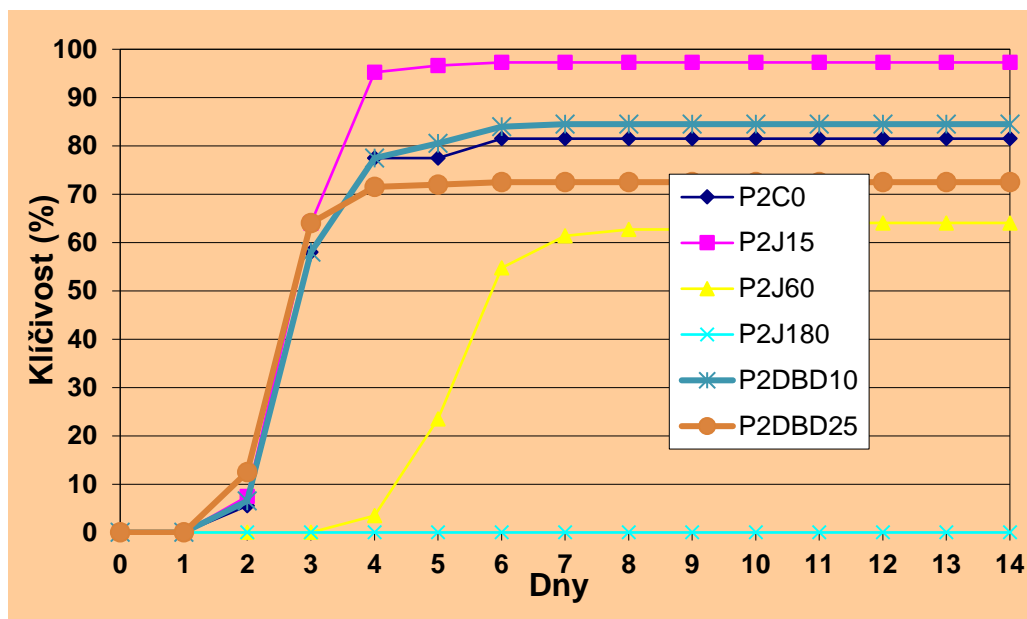
Ačkoliv se v tomto experimentu nepodařilo potvrdit zlepšení klíčivosti semen po úpravě plazmatem, dle Velichko et al. (2018, ústní sdělení) je nejkratší doba úpravy plazmovou tryskou průkazně lepší než kontrola. U delší doby úpravy je ale možné konstatovat stejný negativní vliv na klíčivost i podle Velichko et al. (2018), ale i podle jiných autorů.

Výsledky Subham Sadhu et al. (2016); Rohit et al.; Thirumdas et al. Deshmukh, Anapure (2016) ukázaly, že všechny ošetřené vzorky měly zvýšenou klíčivost maximálně o 36,2 % po 24 hodinách klíčení a o 15,3 % po 48 h v porovnání s neošetřenými vzorky. Jejich metodika spočívá v tom, že plazmový reaktor vyrobený ze skla, který je umístěn v klimatizovaném pokoji při teplotě 24 °C a doba úpravy byla 10, 15, 20 min. a semena mungy byla namáčena v destilované vodě, což se od naší metodiky úplně liší. Autoři Ling, Jiangang, Minchong, Chunlei & Yuanhua (2015) uvádějí, že studená plazmatická úprava zlepšila míru klíčivosti dokonce i v podmínkách stresového stavu sucha, při zvýšení absorpční schopnosti přiřazené k imbibici osiva.

Sang-Hye Ji & kol. (2016); tvrdí, že vzduchové plazma Micro DBD mírně podporovalo klíčení a růst klíčků. Klíčení špenátových semen bylo rychleji zvýšeno po ošetření 1 nebo 5 výstřely vysokonapěťového nanosekundového impulzu. Avšak míra klíčivosti špenátových semen ošetřených 10 výstřely byla nižší než neošetřená kontrola. Po 7 dnech se při ošetření 1 nebo 5 výstřely klíčilo asi 75–80 % semen, zatímco klíčilo asi 60 % neošetřených semen. Podle našich výsledků vyplývá, že máme opačný případ. U nás u DBD25 vychází lépe než u DBD10, o něco zvýšená klíčivost semena byla zaznamenána.

Podle Jiang Jiafeng et al. (2014) nízkoteplotní plazma urychluje klíčení semínek a také výnos pšenice. Autor píše, že u variant 60 W a 100 W nebyly žádné statisticky významné rozdíly zaznamenány mezi kontrolou, což souhlasí s mým pokusem. Dál zmínil, že optimální varianta je 80 W a je to statisticky prokazatelné oproti kontrole. Nicméně v našem pokusu byl nastaven výkon 30 W. Při celkovém hodnocení indexu klíčivosti autor uvádí, že NTP ovlivňuje pozitivně klíčivost, ale není to statisticky průkazné, což opět souhlasí s mými výsledky.

V našem pokusu dominovaly varianty JET15 a DBD10, někdy DBD25. Nejvyšší klíčivosti dosáhla varianta JET15 a je to přesně po skladování osiva u odrůdy Alicia P2, která dosáhla 98 %. Naše výsledky potvrzují i další autoři jako Lotfy, Al-Harbi & Abd El-Raheem (2018). Ti zkoušeli dusíkaté atmosférické plazma JET na ošetření osiva pšenice. Autoři píšou, že optimální doba ošetření u JETu jsou 4 minuty, což stimulovalo proces klíčení a absorpce vody. Co se týče hodnocení, úprava osiva pšenice atmosférickým dusíkatým plazmatem nemá žádný negativní vliv na semenářské parametry, což potvrzuje stanovenou hypotézu.



Graf. 10 Klíčení průměr pšenice P2 po skladování

Velichko et al. (2019) píšou, že při ošetření plazmovou tryskou JET45 se snižuje energie klíčení ošetření po dobu více jak 60 s ovlivňuje negativně klíčovost, což plně souhlasí s našimi výsledky. Dále autoři uvádějí, že při ošetření od 15 s do 60 s se stimuluje klíčovost semínek, což v našem experimentu odpovídá optimálnímu ošetření, které nejvíce stimulovalo klíčení semínek pšenice a žita.

Podle Munkhuu et al. (2015) byla při ošetření studeným plazmatem dávkou 20, 40 a 60 W klíčovost stimulována, ale nikoliv statisticky prokazatelně. Naše výsledky při dávce 30 W nebyly oproti kontrole statisticky významné. Dále kolegové publikovali výsledky, že se při dávce 140 W klíčovost snižovala a při dávce 160 W se klíčovost statisticky významně zvýšila.

Jak bylo zmíněno výše, při různých pokusech ošetření osiva různých plodin studeným plazmatem se liší jednotlivé varianty pokusu, ale byly zaznamenány víceméně shodné výsledky s dalšími autory vycházejícími z laboratorních pokusů. Pro dosažení očekávaných výsledků se musí i nadále pokračovat v laboratorních i polních experimentech s různými plodinami. Dále je potřeba upřesnit optimální dávku, dobu ošetření, správný typ přístroje, příkon, vzdálenost mezi tryskou a semínky dle jednotlivých plodin, aby bylo možné uplatnit tuto technologii v praxi a dávat správná doporučení konkrétním plodinám.

7. Závěr

Z výsledků pokusu vyplývá, že úprava osiva pšenice a žita studenou plazmou vedla ke statisticky neprůkaznému zlepšení klíčivosti v optimálních podmínkách v laboratoři. Nejvyšší procento klíčivosti ukázala varianta J15 a DBD25 oproti kontrole. U všech variant J60 a J180 měly statisticky prokazatelné nižší procento klíčivosti a zkrácenou střední dobu klíčení oproti kontrole.

Obě odrůdy pšenice při pozorování střední doby klíčivosti ukázaly, že oproti kontrole se statisticky významně prodloužila střední doba klíčení pouze u J180 a J60. U úprav J15 a DBD10, DBD25 bylo zaznamenáno také prodloužení MGT, to však nebylo tak významné, aby na hladině významnosti $\alpha=0,05$ vykazovalo statisticky významnou diferenci.

Optimální doba ošetření v našem případě byla 15 sekund u JET při výkonu 30 Wattů a 25 skanů u DBD.

8. Seznam literatury

- Aladjadjiyan A. 2010. Effect of microwave irradiation on seeds of lentils (*Lens Culinaris*, Med.) Rom. Biophys J, 20,213–221.
- Aladjadjiyan A. 2012. Physical factors for plant growth stimulation improve food quality. In Food Production – Approaches, Challenges and Tasks, ed. A Aladjadjiyan (Rijeka: InTech), 145–168.
- Al-Enezi N, Al-Bahrany A & Al-Khayri J. 2012. Effect of X-irradiation on date palm seed germination and seedling growth. Emirates J. Food Agric. 24, 415–424.
- Afzal, Irfan & Rehman, Hafeez & Naveed, Muhammad & Basar, Shahzad. (2016). Recent Advances in Seed Enhancements. doi: 10.5772/64791.
- Araújo S, Paparella S, Dondi D, Bentivoglio A, Carbonera D, Balestrazzi A. 2016. Physical Methods for Seed Invigoration. Advantages and Challenges in Seed Technology. Frontiers in Plant Science. 7. doi: 10.3389/fpls.2016.00646
- Arena C, De Micco V, Macaeva E & Quintens R. 2014. Space radiation effects on plant and mammalian cells. Acta Astronaut. 104, 419–431. doi: 10.1016/j.actaastro.2014.05.005
- Banik S, Bandyopadhyay S & Ganguly S. 2003. Bioeffects of microwave– a brief review. Bioresour. Technol. 87, 155–159. doi: 10.1016/S09608524(02)00169-4
- Benedict HM & Kersten H. 1934. Effect of soft X-rays on germination of wheat seeds. Plant Physiol. 9, 173–178. doi: 10.1104/pp.9.1.173
- Bentsink L., and Koornneef M. (2008) Seed Dormancy and Germination. The Arabidopsis Book 6. doi:10.1199/tab.0119
- Beard BH, Haskins FA & Gardner CO. 1958. Comparison of effects of X-rays and thermal neutrons on dormant seeds of barley, maize, mustard, and safflower. Genetics 43, 728–736.
- Bless A. 1938. Effects of X-rays on seeds. Plant Physiol. 13, 209–211. doi: 10.1104/pp.13.1.209
- Bormashenko E, Grynyov R, Bormashenko Y, Drori E. 2012. Cold Radiofrequency Plasma Treatment Modifies Wettability and Germination Speed of Plant Seeds. Scientific Reports. doi:10.1038/srep00741
- Borzouei A, Naseriyan B, Majdabadi A, Kafi M & Khazaei H. 2010. Effects of gamma radiation on germination and physiological aspects of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. Pakistan J. Bot. 42, 2281–2290.
- Brown JE, Lu TY, Stevens C, Khan VA, Lu JY, Wilson CL et al. 2001. The effect of low dose ultraviolet light-C seed treatment on induced resistance in cabbage to black rot (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*). Crop Prot. 20, 873–883. doi:10.1016/S0261-2194(01)00037-0

- Calabrese EJ & Baldwin LA. 2000. Radiation hormesis: its historical foundations as a biological hypothesis. *Hum. Exp. Toxicol.* 19, 41–75. doi: 10.1191/096032700678815585
- Caldecott RS, Frolik E.F & Morris R. 1952. A comparison of the effects of X-rays and thermal neutrons on dormant seeds of barley. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 38, 804–809. doi:10.1073/pnas.38.9.804
- Choudhary KK & Agrawal SB. 2014. Ultraviolet-B induced changes in morphological, physiological and biochemical parameters of two cultivars of pea (*Pisum sativum* L.). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 100, 178–187. doi: 10.1016/j.ecoenv.2013.10.032
- Copeland LO, McDonald MB. 1995. *Principles of Seed Science and Technology. Seed Enhancements.* Chapman and Hall, New York.
- Cho, Y. K., and R. A. Scott, 2000: Combining ability of seed vigor and seed yield in soybean. *Euphytica* 112, 145-150.
- Crop Life Foundation, (2013). The role of modern seed treatment in U.S. crop production: A review of benefits. pp.-72. Retrieved: September, 2014 from <http://www.croplifeamerica.org/sites/default/files/SeedTreatment.pdf>
- Doornbos DL, Mullen RE, 1991. Influence of stress during soybean seed fill on seed weight, germination, and seedling growth-rate. *Canadian Journal of Plant Science* 71, 373-383.
- Dubey AK, Yadav JR & Singh B. 2007. Studies on induced mutations by gamma irradiation in okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Monch.). *Progress. Agric.* 7, 46–48.
- Einset J & Collins AR. 2015. DNA repair after X-irradiation. Lessons from plants. *Mutagenesis.* 30, 45–50. doi:10.1093/mutage/geu054
- Farkas J & Mohácsi-Farkas C. 2011. History and future of food irradiation. *Trends Food Sci. Technol.* 22,121–126. doi:10.1016/j.tifs.2010.04.002
- Farokh P, Mahmoodzadeh H & Satari T. 2010. Response of seed germination of safflower to UV-B radiation. *Res J. Environ. Sci.* 4, 70–74. doi: 10.3923/rjes.2010.70.74
- Gleser H. J. (2016): Samenbürtige Krankheiten sicher erfassen. Saatgutbeizung in Wintergetreide 2016. *Getreidemagazin* 4, s. 26–31.
- Guajardo-Flores D, Serna-Guerrero D, Serna-Saldívar SO & JacoboVelázquez DA. 2014. Effect of germination and UV-C radiation on the accumulation of flavonoids and saponins in black bean seed coats. *Cereal Chem.* 91,276–279. doi:10.1094/CCHEM-08-13-0172-R
- Hamid N & Jawaid F. 2011. Influence of seed pre-treatment by UV-A and UV-C radiation on germination and growth of Mung beans. *Pakistan J. Chem.* 1, 164–167. doi:10.15228/2011.v01.i04.p04
- Hampton JG, Coolbear P. 1990. Potential versus actual seed performance - can vigour testing provide an answer *Seed Science and Technology.* 18, 215 – 228.

- Hampton JG. 2002. What is seed quality. *Seed Sci. and Technol.*, 30, 1-10
- Henze P. (2017): Beizung im Wintergetreide 2017. *Getreidemagazin*, 4, s. 28–31.
- Hegazi AZ & Hamideldin N. 2010. The effect of gamma irradiation on enhancement of growth and seed yield of okra [*Abelmoschus esculentus* (L.) Monech] and associated molecular changes. *J. Hortic. For.* 2, 38–51.
- Hideg E, Jansen MAK & Strid A. 2013. UV-B exposure, ROS, and stress: inseparable companions or loosely linked associates? *Trends Plant Sci.* 18,107–115.doi:10.1016/j.tplants.2012.09.003
- Hosnedl V. 2003. Klíčivost a vzházivost osiva. Pazdera J. (ed.). *Osivo a sadba*, VI. odborný a vědecký seminář. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 24-29. ISBN: 8021309970
- Hollósy F. 2002. Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron* 33, 179–197.doi:10.1016/S0968-4328(01)00011-7
- Hoffmann et al. (2013). Cold Atmospheric Plasma: methods of production and application in dentistry and oncology. *Medical Gas Research* 2013, 3:21
<http://www.medicalgasresearch.com/content/3/1/21>
- Hrstková P, Chloupek O, Jurečka D. 1999. Vitalita obilek ječmene. [±](#).
- Irfaq M & Nawab K. 2001. Effect of gamma irradiation on some morphological characteristics of three wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *J.Biol.Sci.*1,935–937.doi:10.3923/jbs.2001.935.937
- Iuliana C, Caprita R, Giancarla V & Sorina R. 2013. Response of barley seedlings to microwaves at 2.45 GHz. *Sci. Pap. Anim. Sci. Biotechnol.* 46, 185–191.
- Jakubowski T, 2010. The impact of microwave radiations at different frequencies on the weight of seed potato germs and crop of potato tubers. *Agric. Eng.* 6, 57–64.
- Jayawardena SD. L, & Peiris R. 1988. Food crops breeding in Sri Lanka achievements and challenges. *BIONews.* 4, 22–34.
- Jayasanka S.M.D. & Asaeda T. 2014. The significance of microwaves in the environment and its effect on plants. *Environ. Rev.* 22, 220–228. doi: 10.1016/j.biortech.2015.02.055
- Jiafeng J., Xin H., Ling L., Jiangang L., Hanliang S., Qilai X., Renhong Y., Yuanhua D. Effect of Cold Plasma Treatment on Seed Germination and Growth of Wheat. *Plasma Science and Technology*, Vol.16, No.1, Jan. 2014.
- Kovács E & Keresztes Á. 2002. Effect of gamma and UV-B/C radiation on plantcells. *Micron* 33, 199–210. doi:10.1016/S0968-4328(01)00012-9

- Kotwaliwale N, Singh K, Kalne A, Jha SN, Seth N & Kar A. 2014. X-ray imaging methods for internal quality evaluation of agricultural produce. *J.Food Sci.Technol.*51,1–15.doi:10.1007/s13197-011-0485-y
- Knox OGG, McHugh MJ, Fountaine JM & Havis ND. 2013. Effects of microwaves on fungal pathogens of wheat seed. *Crop Prot.* 50, 12–16. doi: 10.1016/j.cropro.2013.03.009
- Köritzer J, 2013. Biophysical effects of cold atmospheric plasma on glial tumor cells.
- Křen J., Smutná P., Matušinský P. (2018): Pravidla použití mořeného a nemořeného osiva při pěstování obilnin, Certifikovaná metodika pro praxi, Brno 1.1.2018, 29-30.
- Langmuir I. 1929. The interaction of electron and positive ion space charges in cathode sheaths. *Physical Review* 33: 0954-0989.
- Ling L, Jiafeng J, Jiangang L, Minshong Sh, Xin H, Hanliang Sh, Yuanhua D. 2014. Effects of Cold Plasma Treatment on Seed Germination and Seedling Growth of soybean. *Scientific Reports.*, 10.1038/srep05859
- Ling, L., Jiangang, L., Minchong, S. et al. Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress. *Sci Rep* 5, 13033 (2015). <https://doi.org/10.1038/srep13033>
- Ling L, Jiangang L, Minchong S, Chunlei Z, Yuanhua D. Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress.
- Lotfy, K., Al-Harbi, N.A. & Abd El-Raheem, H. Cold Atmospheric Pressure Nitrogen Plasma Jet for Enhancement Germination of Wheat Seeds. *Plasma Chem Plasma Process* 39, 897–912 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11090-019-09969-6>
- Luckey TD. 1980. *Hormesis with Ionizing Radiation*. Boca Raton:CRCpress. Luckey TD. 2006. Radiation hormesis: the good, the bad, and the ugly. *Dose Response*.4,169–190.doi:10.2203/dose-response.06-102.Luckey
- Maity JP, Mishra D, Chakraborty A, Saha A, Santra SC & Chanda S. 2005. Modulation of some quantitative and qualitative characteristics in rice (*Oryza sativa* L.) and mung (*Phaseolus mungo* L.) by ionizing radiation. *Radiat. Phys. Chem.* 74, 391–394. doi:10.1016/j.radphyschem.2004.08.005
- Marcu D, Damian G, Cosma C & Cristea V. 2013. Gamma radiation effects on seed germination, growth and pigment content, and ESR study of induced free radicals in maize (*Zea mays*). *J. Biol. Phys.* 39, 625–634. doi: 10.1007/s10867-013-9322-z
- Majeed A, Ahmad H & Muhammad Z. 2010. Variation in chlorophyll contents and grain yield of *Lepidium sativum* L as induced by gamma irradiation. *Int.J.Biol.Sci.Eng.*1,147–151.
- Mattson MP. 2008. Hormesis defined. *Ageing Res. Rev.* 7, 1–7. doi: 10.1016/j.arr.2007.08.007

- Minisi FA, El-Mahrouk ME, Rida ME, & Nasr MN. 2013. Effects of gamma radiation on germination, growth characteristics and morphological variations of *Moluccella laevis* L. *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 13, 696–704.
- Misra NN, Schluter O, Cullen PJ. 2016. *Cold Plasma in Food and Agriculture*. Elsevier, 380 s. ISBN 9780128014899
- Moussa HR. 2006. Role of gamma irradiation in regulation of NO₃ level in rocket (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa*) plants. *Russ. J. Plant Physiol.* 53, 193–197. doi:10.1134/S1021443706020075
- Mokobia CE & Anomohanran O. 2005. The effect of gamma irradiation on the germination and growth of certain Nigerian agricultural crops. *J. Radiol. Prot.* 25, 181–188. doi:10.1088/0952-4746/25/2/006
- Munkhuu N. et al. (2015) Stimulating Effect of Low-Temperature Plasma on Seed Germination Characteristics of *Trifolium repens*. In: Li D., Chen Y. (eds) *Computer and Computing Technologies in Agriculture VIII*. CCTA 2014. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 452. Springer, Cham.
- Ouhibi C, Attia H, Rebah F, Msilini N, Chebbi M, Aarouf J et al. 2014. Salt stress mitigation by seed priming with UV-C in lettuce plants, growth, antioxidant activity and phenolic compounds. *Plant Phys. Biochem.* 83, 126–133. doi:10.1016/j.plaphy.2014.07.019
- Prokinová E. 2001. Zdravotní stav osiva jako dominantní znak semenářské kvality. Pazdera J. (ed.). *Osivo a sadba, V. odborný a vědecký seminář. Česká zemědělská univerzita v Praze*. Praha. s. 90-94. ISBN: 80-213-0717-X
- Qi W, Zhang L, Wang L, Xu H, Jin Q, & Jiao Z. 2015. Pretreatment with low-dose gamma irradiation enhances tolerance to the stress of cadmium and lead in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 115, 243–249. doi:10.1016/j.ecoenv.2015.02.02
- Reddy M. V. B, Raghavan G. S. V, Kushalappa A.C & Paulitz T.C. 1998. Effect of microwave treatment on quality of wheat seeds with *Fusarium graminearum*. *Agric J, Eng. Res.* 71, 113–117. doi:10.1006/jaer.1998. 0305
- Reddy M.V.B, Kushalappa A.C, Raghavan G.S.V & Stephenson M.M.P. 1995. Use of microwave energy for the eradication of seedborne *Diaporthe phaseolorum* in soybean and its effect on seed quality. *Microw J, Power Electromagn. Energy* 30, 199–204
- Rishi P. Singh, Raja Reddy, in [Advances in Agronomy](#), 2015.
- Sabelli PA, Larkins BA, eds. 2015. *Advances in Seed Biology*. Lausanne Frontiers Media. *Frontiers in Plant. Advances in Seed Biology*. doi:10.3389/978-2-88919-675-3 06 09 21 35 48 52 62 78 84 99
- Sang-Hye Ji, Ki-Hong Choi, Anchalee Pengkit, Jun Sup Im, Ju Sung Kim, Yong Hee Kim, Yeunsoo Park, Eun Jeong Hong, Sun kyung Jung, Eun-Ha Choi Gyungsoon Park. Effects of

high voltage nanosecond pulsed plasma and micro DBD plasma on seed germination, growth development and physiological activities in spinach (2016).

Selcuk M, Oksuz L & Basaran P. Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. *Bioresource Technol.* 99, 5104–5109 (2008).

Sharma, Kk & Singh, U.S. & Sharma, Pankaj & Kumar, Ashish & Sharma, Lalan. 2015. Seed treatments for sustainable agriculture-A review. *Journal of Applied and Natural Science.* 7. 521-539. doi:10.31018/jans.v7i1.641.

Shaukat S, Farooq M, Siddiqui M & Zaidi S. 2013. Effect of enhanced UV-B radiation on germination, seedling growth and biochemical responses of *Vigna*

Siddiqui A, Dawar S, Javed Zaki M & Hamid N. 2011. Role of ultra violet (UV-C) radiation in the control of root infecting fungi on groundnut and mung bean. *Pakistan Bot J.* 43, 2221–2224.

Scialabba A & Tamburello C. 2002. Microwave effects on germination and growth of radish (*Raphanus sativus* L.) seedlings. *Acta Bot. Gall.* 149, 113–123. doi:10.1080/12538078.2002.10515947

Soran M.L, Stan M, Niinemets & Copolovici L. 2014. Influence of microwave frequency electromagnetic radiation on terpene emission and content in aromatic plants. *Plant Physiol.* 171, 1436–1443. doi: 10.1016/j.jplph.2014.06.013

Subham Sadhu, Rohit Thirumdas R.R, Deshmukh U.S, Anapure 2016. Influence of cold plasma on the enzymatic activity in germinating mung beans (*Vigna radiate*)

Smith L. 1950. Effects of atomic bomb radiations and x-rays on seeds of cereals; a comparison of the effects of ionizing radiations from the “test Able” atomic bomb and from x-rays on seeds of barley, wheat and oats. *Hered J.* 41,125–130.

Šťastný & Hosnedl. 2005. Semenářská kvalita osiva odrůd pšenice jarní. Osivo a sadba, V. odborný a vědecký seminář. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha.

Talei D, Valdiani A, Maziah M & Mohsenkhah M. 2013. Germination response of MR 219 rice variety to different exposure times and periods of 2450 MHz microwave frequency. *Sci. World J.* 2013:408026. doi: 10.1155/2013/408026

Terraplasma. 2020. Application areas. Available from <https://www.terraplasma.com/en/application-areas/> (accessed March 2020)

Tong, J. Y., He, R., Zhang, X. L., Zhan, R. T., Chen, W. W. & Yang, S. Z. Effects of atmospheric pressure air plasma pretreatment on the seed germination and early growth of *Andrographis paniculata*. *Plasma Sci. Technol.* 16, 260 (2014).

Velázquez-Martí B, Gracia-López C & Marzal-Domenech A. 2006. Germination inhibition of undesirable seed in the soil using microwave radiation. *Biosyst. Eng.* 93, 365–373. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2006.01.005

Velichko, I., Gordeev, I., Shelemin, A. et al. Plasma Jet and Dielectric Barrier Discharge Treatment of Wheat Seeds. *Plasma Chem Plasma Process* 39, 913–928 (2019).

Volin, J. C., Denes, F. S., Young, R. A. & Park, S. M. T. Modification of seed germination performance through cold plasma chemistry technology. *Crop. Sci* 40, 1706–1718 (2000).

Wu, Z. H., Chi, L. H., Bian, S. F. & Xu, K. Z. 2007. Effects of plasma treatment on maize seeding resistance. *J Maize Sci.* 15, 111–113.

Zhou, Z. W., Huang, Y. F., Yang, S. Z. & Xiong, D. Y. 2012. Progress in electromagnetics research symposium proceedings. Kuala Lumpur, Malaysia. 1577.

Zhou, Z. W., Huang, Y. F., Yang, S. Z. & Chen, W. 2011. Introduction of a new atmospheric pressure plasma device and application on tomato seeds. *Agri. Sci.* 2, 23–27.

9. Seznam tabulek a grafů

Tabulka 1 Shrnutí ultrafialových (UV) účinků na výkon osiva a sadby.

Tabulka 2 Shrnutí vlivů mikrovln (MZ) na výkon osiva a sadby

Tabulka 3 Zkratky použité ve výsledcích

Tabulka 4 Semenářské parametry pšenice v závislosti na druhu úpravy.

Tabulka 5 Semenářské parametry pšenice v závislosti na partií.

Tabulka 6 Semenářské parametry obou odrůd žita v závislosti na druhu úpravy.

Tabulka 7 Semenářské parametry žito v závislosti na partií.

Tabulka 8 Semenářské parametry pšenice a žito v závislosti na druhu úpravy.

Tabulka 9 Semenářské parametry mezi pšenici žita.

Tabulka 10 Semenářské parametry v závislosti na druhu úpravy mezi P1 a P2.

Tabulka 11 Semenářské parametry pšenice v závislosti na partií.

Tabulka 12 Semenářské parametry v závislosti na druhu úpravy mezi Ž1 a Ž2

Tabulka 13 Semenářské parametry žito v závislosti na partií.

Tabulka 14 Semenářské parametry v závislosti obou druh P a Ž

Tabulka 15 Semenářské parametry v závislosti druhů úpravy.

Tabulka 16 Semenářské parametry v závislosti na doby úpravy.

Graf 1 Klíčení neošetřené osiva pšenice a žita

Graf 2 Klíčení průměr pšenice P1

Graf 3 Klíčení průměr pšenice P2

Graf 4 Klíčení průměr žito Ž1

Graf 5 Klíčení průměr žito Ž2

Graf 6 Klíčení průměr pšenice P1, P2

Graf 7 Klíčení průměr žita Ž1, Ž2

Graf 8 Klíčení průměr pšenice a žita P, Ž

Graf 9 Klíčení průměr pšenice P1 (po skladování)

Graf 10 Klíčení průměr pšenice P2 (po skladování)

Graf 11 Klíčení průměr pšenice P1 a P2 (po skladování)

Graf 12 Klíčení průměr žita Ž1 (po skladování)

Graf 13 Klíčení průměr žita Ž2 (po skladování)

Graf 14 Klíčení průměr žita Ž1 a Ž2 (po skladování)

Graf 15 Klíčení průměr pšenice a žita P, Ž (po skladování)

Obrázek 1 Čtyři skupenství látek (Misra et al., 2016)

Obrázek 2 Rozdělení různých druhů plazmy o teplotu plazmatických druhů

Obrázek 3 Schematický pohled na plazmový paprsek atmosférického tlaku používaný pro ošetření pšeničných a žitných semen.

Obrázek 4 Schematické uspořádání atmosférického tlaku DBD výboje.