BIOSTUDENT, 2026, vol.9 (1), pp. 79-100

COLD PLASMA FOR SEED TREATMENT: MECHANISMS OF ACTION AND EFFECTS ON PLANTS

Alina Valeria IOZSA[1], Adelina-Iasmina JUCA[1], Nicoleta IANOVICI[1,2]
[1]Department of Biology, Faculty of Chemistry, Biology, Geography,
West University of Timisoara, Romania
[2] Environmental Biology and Biomonitoring Research Center; Institute for Advanced Environmental Research, West University of Timisoara, Romania
**Corresponding author e-mail: alina.iozsa02@e-uvt.ro*
Received 1 June 2026; accepted 30 July 2026

ABSTRACT
Cold plasma is a technology with applications in seed treatment, the promotion of plant development, and the decontamination of plant material. This review examines the mechanisms of action of cold plasma and the effects of direct and indirect treatments, including the use of plasma-activated water, on germination, growth, yield, and plant responses to stress. Reactive oxygen and nitrogen species generated during treatment modify the physicochemical properties of the seed coat, increase wettability, and promote water uptake. They also participate in redox signaling, hormonal regulation, and changes in enzyme activity and the expression of genes involved in germination, metabolism, and defense. The studies reviewed demonstrate accelerated germination, improved seedling vigor, increased biomass, and, in some crops, higher yields and favorable changes in biochemical composition. Seed surface decontamination and the reduction of phytopathogenic microorganisms complement the effects on plant development. Findings concerning tolerance to drought, salinity, extreme temperatures, and heavy metals are also presented, alongside applications in postharvest preservation, food processing, and plant propagation. Treatment efficacy depends on the species, seed characteristics, plasma type, gas used, and exposure duration. Prolonged treatments may cause oxidative stress, DNA damage, and disruptions in physiological functions. Agricultural application requires protocol optimization and standardization, clarification of long-term effects, and validation under field conditions, together with the development of scalable and cost-effective systems.
KEYWORDS: *cold plasma; seed treatment; germination; plasma-activated water; reactive oxygen and nitrogen species; redox signaling; microbial decontamination; stress tolerance.*

1. Introducere

În ultimii ani, aplicarea diferitelor forme de energie fizică, cum ar fi microundele, ultrasunetele, procesarea la presiune înaltă, ultravioletele, energia câmpului electric, câmpurile magnetice și plasma, a apărut ca o

abordare inovatoare pentru îmbunătățirea germinării semințelor și a valorii lor nutritive (Vashisth & Nagarajan, 2008; Wang et al, 2019).

Plasma este recunoscută în mod obișnuit ca a patra stare a materiei alături de solide, lichide și gaze, constând dintr-un amestec divers de specii reactive de oxigen (ROS) și specii reactive de azot (RNS) (Reema et al. 2022). Plasma poate fi găsită ușor în multe locuri: lămpile fluorescente, fulgere, fuziunea nucleară, ionosfera, soarele, etc. (Yan et al. 2022). Tratamentele cu plasmă se realizează cu costuri relativ mici de energie (Randeniya & de Groot, 2015). Tratamentul cu plasmă rece a atras o atenție semnificativă în ultimii ani datorită aplicațiilor sale potențiale în domeniile biomedical, de mediu și agricol (Sayahi et al, 2024). Este ecologică și de aceea este studiată pe scară largă pentru îmbunătățirea germinării semințelor (Bormashenko et al. 2015), pentru creșterea, dezvoltarea și reproducerea plantelor (Pańka et al. 2022), pentru controlul insectelor și bolilor (Adhikari et al. 2020a), creșterii duratei de valabilitate a alimentelor perisabile și neperisabile etc. CAP este eficace în conservarea alimentelor fără a provoca modificări perceptibile ale calității alimentelor (Pan et al. 2019). Rezultatele cercetărilor din ultimele decenii arată că plasma poate mări capacitatea de germinare și biomasa (Măgureanu et al. 2018) sau poate crește rezistența la boli și la stres (Jiang et al. 2014a; Iranbakhsh et al. 2018). În plus, poate grăbi sau amâna germinația și dezvoltarea ulterioară (Waskow et al. 2021), poate scădea consumul de apă (Bormashenko et al. 2012), poate reduce nivelul de agenți patogeni microbieni sau insecte (Shintani et al. 2010), fără reziduuri toxice depistate (Sivachandiran & Khacef, 2017).

CAP are o gamă largă de utilizări: modificarea suprafeței materialelor plastice (Pańka et al. 2022), descompunerea gazelor toxice și nocive și a apelor uzate (Svarnas et al, 2020), generarea de ozon (Hafeez et al, 2021), sterilizarea solului și a rănilor (Lou et al, 2020; Lazra et al, 2020), decontaminarea suprafețelor (Rusu et al, 2018), reducerea efectului negativ al microorganismelor în industria alimentară (Múgica-Vidal et al, 2019) și agricultură (Adhikari et al, 2020b). Atractivitatea tehnologiei plasmei reci se datorează și gamei largi de microorganisme țintă: fungi (Frías et al, 2020), bacterii (Laroussi, 2002), bacterii formatoare de biofilm (Puligundla & Mok, 2017), virusuri (Puligundla & Mok, 2016), prioni (Julák et al, 2011). Există dovezi că plasma a ajutat la degradarea micotoxinelor produse de unele ciuperci (Hojnik et al, 2017; Pankaj et al, 2018; Misra et al, 2019).

Primele studii privind aplicarea plasmei reci asupra plantelor au fost publicate în anul 2000 și au descris efectele asupra germinării semințelor (Mildaziene et al, 2022). Dubinov și colab. (2000) au tratat semințele de *Avena sativa* și *Hordeum vulgare*. Modul continuu a stimulat germinarea semințelor

mai eficient decât modul pulsat, dar nu s-au observat modificări ale creșterii timpurii a răsadurilor. Volin și colab. (2000) au aplicat tratamente mai lungi (2-20 min) semințelor de *Hordeum vulgare, Raphanus sativus, Pisum sativum, Glycine max, Zea mays* și *Phaseolus vulgaris*. S-au observat efecte negative puternice asupra germinării în majoritatea cazurilor.

Acest mini-review urmărește efectele tratării semințelor cu plasmă rece asupra germinării, dezvoltării ulterioare a plantelor și răspunsurilor la stres, precum și mecanismele implicate, aplicațiile complementare și limitele tehnologice.

2. Mecanisme de acțiune asupra semințelor

Metodele de producere a plasmei atmosferice reci (CAP) în laborator includ descărcarea cu barieră dielectrică - metoda DBD, metoda cu jet de plasmă și descărcarea Corona (Reema et al. 2022). Pentru generarea plasmei se pot utiliza diferite gaze: cel mai adesea se folosește aerul ambiental, dar se pot aplica și argon, oxigen, azot, heliu sau amestecuri de mai multe gaze (Konchekov et al, 2023). Aplicarea tehnologiei cu plasmă ia în principal două forme: tratarea indirectă cu apă activată cu plasmă (PAW) și tratarea directă cu plasmă (Xie et al, 2025; Ongrak et al, 2025).

2.1. Structura seminței imbibiția și reglarea hormonală

Semințele conțin toate elementele necesare dezvoltării lor în plantule odată ce condițiile de mediu sunt adecvate (Adhikari et al, 2020a). Țesuturile vii ale semințelor sunt protejate de tegumentul seminal care poate varia între specii și soiuri. Embrionul se află într-o stare parțial deshidratată, de repaus, gata să germineze la adăugarea de apă (imbibiție). Ulterior i se furnizează nutrienți stocați în endosperm. Germinarea reprezintă trecerea de la o sămânță inactivă la cea activă care crește, se rupe învelișul și se dezvoltă mai întâi o plantulă fragilă și deosebit de sensibilă la stresul extern, apoi o plantă autotrofă mai rezistentă la stres. Declanșarea germinării necesită îndeplinirea unui număr de parametri externi, în general o combinație de apă, oxigen, temperatură și lumină (Waskow et al. 2021). Fiecare sămânță are cerințe diferite din cauza diferențelor structurale. Imbibiția este primul pas în care sămânța trece prin trei etape cu absorbție inițial rapidă, apoi lentă și în final rapidă. Apa are rol în reactivarea enzimelor care pot repara deteriorarea ADN-ului și activează enzimele implicate în beta-oxidare și amilaze pentru a descompune uleiul și amidonul stocate în vederea producerii de energie. De asemenea, proteazele descompun proteinele de stocare în aminoacizi. După a treia fază de absorbție a apei, sămânța este umflată deoarece țesuturile s-au mărit și embrionul se dezvoltă. Primul semn vizibil este ieșirea radiculei, care după aceea devine rădăcină. Hipocotilul, ce leagă rădăcina și lăstarul se prinde și scoate lăstarul

cu cotiledon sau cotiledoane, apoi frunzele adevărate. Când începe fotosinteza, planta poate evolua independent de depozitele anterioare de materie organică și va lua doar nutrienți și apă din sol (Dekkers et al. 2013; Rifna et al, 2019).

Anterior germinării, se remarcă prezența de hormoni și inhibitori care împiedică procesul, pentru a asigura mediul potrivit și pentru a crește probabilitatea ca sămânța să supraviețuiască și să prospere. Acidul abscisic (ABA) este recunoscut pentru rolul său în menținerea repausului și pentru inhibarea germinării. În momentul în care ABA este îndepărtat printr-o imbibiție îndelungată de apă, se produce acidul giberelic (GA) și se declanșează germinarea. În timp ce embrionul crește, atât auxina, cât și citochinina intervin în expansiunea celulară și, respectiv, în diviziunea celulară. Mai târziu acidul salicilic, acidul iasmonic și etilena vor avea un rol important în apărarea plantelor pentru a le proteja împotriva stresului abiotic (frigul, căldura, deshidratarea) și stresul biotic (bacteriile, fungi, virusuri și erbivore) (Waskow et al. 2021).

2.2. Specii reactive și semnalizare redox

Interacțiunea plasmei cu materialele biologice, precum semințele, are loc printr-un proces complex, în care speciile reactive generate de plasmă pot induce modificări structurale și chimice în suprafața semințelor. Speciile reactive de oxigen și azot (RONS) se formează în mod tipic ca urmare a coliziunii dintre electronii care plutesc în câmpul electric și difuzează prin mediul de atomi neutri, rezultând ioni și atomi excitați. RONS comuni formați în plasmă includ (Arjunan et al. 2015):

- ROS - peroxidul de hidrogen (H_2O_2), ozonul (O_3), anionul superoxid ($O_2^{\bullet -}$), hidroperoxil ($HO^{\bullet}$), alcoxil ($RO^{\bullet}$), peroxil ($ROO^{\bullet}$), oxigen singlet ($^1O_2$), radical hidroxil ($^{\bullet}OH$) și radical anion carbonat ($CO^{\bullet -}$)
- RNS - oxidul nitric ($NO^{\bullet}$), radicalul dioxid de azot ($^{\bullet}NO_2$), peroxinitritul ($ONOO^-$), acidul peroxinitros (OONOH) și alchil peroxi- trite (ROONO).

Acești constituenți induc oxidarea suprafeței, eroziunea, ondularea și hidrofilizarea învelișului semintelor, îmbunătățind astfel calitatea semințelor (Gao et al. 2019). Cu toate acestea, eficacitatea tratamentului cu PC variază în funcție de proprietățile învelișului semințelor, de umiditate și de hormeză (o cantitate mică de substante tipic dăunătoare, cum ar fi ROS, exercită efecte benefice asupra organismelor vii (Dauwe et al. 2021).

ROS și RNS sunt generate în mod natural în plante aflate sub acțiunea diferiților stresori de mediu. Plantele au dezvoltat o gamă largă de antioxidanți, enzime oxidative și alte molecule mici pentru a neutraliza speciile reactive. Atunci când există un dezechilibru între producția de ROS și detoxifierea lor prin reacții enzimatice și non-enzimatice, acesta duce la stres oxidativ. Acest

dezechilibru are ca rezultat o creștere a formării nete de ROS, provocând daune fotooxidative ale ADN-ului, proteinelor și lipidelor, ducând în cele din urmă la moartea celulară (Tripathy & Oelmüller, 2012). Cu toate acestea, la concentrații scăzute, aceste specii reactive au capacitatea de a acționa ca molecule de semnalizare comparabile cu fitohormonii și de a regla creșterea și dezvoltarea plantelor, metabolismul și răspunsul la stresul biotic și abiotic (Motrescu et al. 2023; Pauly et al. 2006). Studii recente indică faptul că tratamentele cu plasmă a semințelor activează procesele biochimice și moleculare, dincolo de impactul lor superficial asupra semințelor. Acestea includ reglarea căilor oxidative și reductive, catabolismul acidului abscisic, biosinteza hormonilor vegetali și producția de izoflavone, exercitând o influență semnificativă asupra germinării și etapelor ulterioare de dezvoltare (Adhikari et al. 2020c; Priatama et al. 2022; Starič et al. 2020; Pérez-Pizá et al. 2020; Zhang et al. 2017). Recenziile realizate de Priatama și colaboratorii (2022) și Starič și colaboratorii (2020) au discutat pe larg efectele tratamentelor cu plasmă asupra expresiei genelor, activității enzimatice, modificărilor morfologice și chimice în timpul germinării semințelor și creșterii răsadurilor la plante/culturi.

2.3. Modificarea tegumentului și absorbția apei

Tratamentul cu plasmă, în special utilizând reactoare cu descărcare cu barieră dielectrică (DBD), induce modificări biochimice și moleculare semnificative la suprafața semințelor, care la rândul lor afectează procesele fiziologice, cum ar fi absorbția apei și vigoarea germinării. Unul dintre cele mai importante efecte observate este modificarea umectabilității învelișului semințelor. Hidrofilicitatea crescută este strâns corelată cu o absorbție îmbunătățită a apei, evidențiată de o creștere a absorbției de apă de la 29% în semințele de control la 40% după un singur tratament cu plasmă și până la 56% cu secvență optimizată și proceduri de agitare. Aceste modificări sunt probabil atribuibile atât modificărilor chimice - cum ar fi introducerea grupurilor funcționale polare de către speciile reactive de oxigen și azot (RONS) - cât și modificărilor fizice, inclusiv formarea de microfisuri și creșterea spațiilor intercelulare în tegumentul seminal. Astfel de modificări facilitează o penetrare mai eficientă a apei, ceea ce este un factor critic pentru inițierea proceselor metabolice în timpul germinării [Dufour & Gutierrez, 2021].

Tratamentul direct cu plasma a indus modificări morfologice vizibile la suprafața semințelor. Aceste modificări pot include modificări ale învelișului semințelor sau alte modificări structurale care ar putea fi legate de o absorbție îmbunătățită a apei, a nutrienților sau a protecției împotriva stresului din mediu. Astfel de modificări morfologice ar putea fi factori cheie care contribuie la

creșterea observată a randamentelor și la efectele tratamentului pe termen lung (Yemeli et al. 2022).

În studiul realizat de Švubová et al. (2020) a fost investigat impactul asupra activității enzimelor esențiale pentru germinarea semințelor de mazăre. Analiza spectrelor în infraroșu a evidențiat că speciile reactive de oxigen și azot generate de plasmă, împreună cu radiațiile UV, au determinat oxidarea lipidelor și polizaharidelor de pe suprafața semințelor, ceea ce a condus la creșterea umectabilității și, astfel, poate facilita procesul de germinare.

Importanța luării în considerare a caracteristicilor specifice ale semințelor, cum ar fi compoziția acizilor grași, atunci când se determină timpul optim de tratament cu plasmă pentru obținerea unei germinări optime este prezentată în studiul realizat de Bafoil et al. (2021). Răspunsurile diferite observate la semințele de *Arabidopsis thaliana* și *Camelina sativa* sunt probabil atribuite modificărilor contrastante ale profilurilor acizilor grași induse de tratamentul cu plasmă, care pot influența neutralizarea RONS și procesele ulterioare de germinare.

Studiul realizat de Le et al. (2022) a identificat parametrii optimi care au promovat stimularea creșterii. Modificările observate în învelișul semințelor de fasole Mung (*Vigna radiata*) și creșterea hidrofilicității au jucat probabil un rol vital în îmbunătățirea absorbției apei de către semințe, contribuind la creșterea lor sporită.

Studiul privind tratamentul cu plasmă de mare intensitate al semințelor de fasole a demonstrat efecte pozitive, cum ar fi reducerea infecțiilor fungice, creșterea umectabilității, modificări ale suprafeței semințelor, o reducere drastică a unghiului de contact al apei, recuperarea parțială hidrofobă în timp și o creștere a lungimii rădăcinii (Recek et al. 2021).

Pentru probele de ridiche albă (*Raphanus sativus*), tratamentul a influențat pozitiv și tegumentul seminal, făcându-l mai hidrofil și sporind permeabilitatea pentru apă. Acest lucru a contribuit la îmbunătățirea germinației și a parametrilor de creștere ai răsadurilor, inclusiv creșterea vigorii, a conținutului de clorofilă și a activității antioxidante. Tratamentul a sporit, de asemenea, prezența compușilor benefici în răsaduri, cum ar fi flavonoidele și fenolii (Guragain et al. 2023a, 2023b).

În studiul lui Motrescu et al. (2024) s-a înregistrat un impact pozitiv asupra semințelor de *Trigonella foenum-graecum*, iar stimularea semnificativă a creșterii a fost promovată în răsadurile rezultate. Au fost efectuate două tipuri de procesare: tratamentul direct și cu acoperire (pentru a simula procesarea semințelor ambalate). Pentru toate tratamentele, a fost studiat și efectul pre-înmuierii semințelor. Analizele semințelor după procesare au indicat o creștere a hidrofilicității suprafeței acestora. O creștere semnificativă a creșterii

răsadurilor, cu până la 50%, a fost constatată în special pentru semințele pre-înmuiate. De asemenea a crescut concentrația de clorofilă, mai mult în cazul tratamentului direct. Tratamentul direct timp de 30 de secunde pentru semințele uscate a condus la creșterea concentrației de flavonoide. Pentru polifenoli și activitatea antioxidantă, tratamentele cu acoperire s-au dovedit a fi semnificativ mai bune, în special pentru tratamentul de 90 de secunde al semințelor pre-înmuiate.

3. Efecte asupra germinării creșterii și producției

3.1. Germinarea și dezvoltarea timpurie

Dincolo de modificările de suprafață s-a demonstrat că expunerea la plasmă reduce timpul median de germinare, accelerând astfel debutul germinării și crescând vigoarea răsadului în comparație cu controalele netratate. În configurații optimizate, poate fi expusă până la 92% din suprafața semințelor, maximizând impactul biochimic al tratamentului cu plasmă. În plus, utilizarea expunerilor secvențiale la plasmă combinată cu proceduri de agitare amplifică semnificativ aceste efecte. Aceste îmbunătățiri se datorează probabil difuziei sporite a RONS în țesuturile semințelor și modificărilor morfologice și tisulare uniforme. Interacțiunea dintre parametrii plasmatici și aranjamentul semințelor apare astfel ca un determinant critic al rezultatelor biochimice și moleculare ale tratamentului cu plasmă, cu implicații pentru optimizarea vigorii semințelor (Dufour & Gutierrez, 2021).

Studiul privind îmbunătățirea germinării a trei specii de pin (*Pinus*) a arătat că nu au existat diferențe semnificative statistic între probele tratate cu plasmă și cele netratate. Cu toate acestea, a existat o tendință pozitivă în germinarea și creșterea semințelor de pin, în special după o durată scurtă de tratament de 3 secunde. Acest lucru indică faptul că o scurtă expunere la plasmă a avut un efect benefic asupra germinării și creșterii inițiale a semințelor de pin. Pe de altă parte, atunci când timpul de expunere la plasmă a fost extins la 10 secunde sau mai mult, a avut un efect de întârziere asupra germinării și creșterii (Šerá et al. 2021).

Într-un alt studiu, atât tratamentele cu plasmă cu argon (Ar), cât și cu heliu (He) au dus la o creștere semnificativă a umectabilității suprafeței semințelor și la o germinare accelerată. Un tratament cu plasmă al cariopselor de grâu a dus la oxidarea suprafeței, la îmbunătățirea absorbției apei și la creșterea ratei de germinare. Tratamentul a indus acumularea de peroxid de hidrogen, a sporit expresia genelor antioxidante și a influențat pozitiv randamentul. Conținutul mai mare de fier și grăsimi din cariopse, împreună cu conținutul redus de apă, ar putea spori și mai mult valoarea lor nutritivă și capacitatea de depozitare (Hasan et al. 2022).

Stimularea mediată de plasma în timpul etapelor incipiente ale dezvoltării semințelor de mazăre este corelată pozitiv cu o creștere a conținutului de ROS, o activitate sporită a peroxidazei în pereții celulari și o rezistență mecanică îmbunătățită a pereților celulari. Aceste efecte au contribuit probabil la rezistența și vigoarea mai mari a răsadurilor de mazăre tratate cu plasmă, ceea ce a dus la o creștere a germinării semințelor și a creșterii timpurii (Švubová et al. 2021).

Tomeková et al. (2020) au demonstrat că descărcarea cu barieră dielectrică (DBD) poate fi folosită ca o metodă sigură și eficientă pentru stimularea germinării și creșterii semințelor de mazăre, fără a provoca daune semnificative ADN-ului răsadurilor. Totuși, este esențial ca timpul de expunere la tratamentul cu plasmă să fie respectat cu precizie pentru a asigura efectele benefice asupra germinării și dezvoltării semințelor, minimizând în același timp orice risc de afectare a integrității ADN-ului.

Absorbția apei și germinarea semințelor de spanac au fost îmbunătățite după tratament (Lim et al. 2023).

Tratamentele cu CAP au demonstrat o capacitate semnificativă de a îmbunătăți procesele fiziologice la plante, în special în primele etape de dezvoltare. Studii multiple au raportat că semințele tratate cu plasmă prezintă rate de germinare crescute și o vigoare îmbunătățită a răsadurilor în comparație cu controalele netratate. De exemplu, tratamentul semințelor de grâu cu plasmă a îmbunătățit dezvoltarea rădăcinilor în primele etape de creștere (Dobrin et al. 2015). Această îmbunătățire a dezvoltării rădăcinilor indică o activitate fiziologică îmbunătățită și un potențial de achiziție a resurselor în faza de creștere timpurie. În mod similar, expunerile scurte la plasmă - adesea mai puțin de un minut - s-au dovedit a crește nu numai ratele de germinare, ci și masa uscată și vigoarea generală a răsadurilor. Aceste descoperiri sugerează că tratamentul cu plasmă poate modula pozitiv procesele fiziologice care stau la baza germinării semințelor și a creșterii timpurii, oferind potențial un mijloc de a stimula stabilirea și productivitatea culturilor în diverse condiții agricole (Dobrin et al. 2015; Jiang et al. 2014b).

3.2. Biomasa și compoziția biochimică

Tratamentul cu plasmă DBD al semințelor de floarea-soarelui a dus la dezvoltarea și producerea accelerată a unor răsaduri mai înalte, cu o greutate totală mai mare în comparație cu controalele netratate. Evaluarea ulterioară a plantelor mature cultivate în câmp a indicat că semințele tratate cu plasmă au avut un impact pozitiv asupra dimensiunii calatidiului, crescând numărul de achene și greutatea la 1000 de semințe, rezultând o creștere semnificativă a randamentului general. În plus, efectele benefice au persistat timp de cel puțin două săptămâni de depozitare a achenelor (Florescu et al. 2023).

Tratamentul în stadiul de sămânță a dus la modificări ale anumitor componente biochimice ale germenilor de grâu. A crescut conținutul de clorofilă, flavonoide și polifenoli. În plus, conținutul de cenușă din soiurile de grâu tratate cu plasmă a fost mai mare în comparație cu cele netratate, în timp ce alți parametri nutriționali au rămas relativ neschimbați. Aceste constatări pot avea implicații pentru îmbunătățirea valorii nutriționale și a potențialelor beneficii pentru sănătate ale germenilor de grâu în aplicațiile alimentare (Burducea et al. 2023).

În ciuda scăderii inițiale a răsăritului, tratamentul cu plasmă rece și câmp electromagnetic s-a dovedit benefic pentru creșterea, randamentul și compoziția biochimică a semințelor de *Fagopyrum esculentum* (hrișcă) (Ivankov et al. 2021).

Tratamentul cu plasmă rece asupra proprietăților fizice și biochimice la *Ocimum basilicum* au relevat un efect de creștere sporit precum și niveluri mai ridicate de componente antioxidante prezente în extractele de uleiuri esențiale. Rezultatele au arătat că plantele tratate cu plasmă au prezentat o creștere sporită a frunzelor și tulpinilor. În general, tratamentul cu plasmă a dus la o creștere semnificativă a concentrației de estragol și linalool în frunze, în timp ce concentrații mai mici ale acestor două componente au fost înregistrate în flori (Auguste et al, 2023).

Tratamentul cu plasmă a avut efecte benefice asupra salatei, ducând la creșterea randamentului, îmbunătățirea conținutului de nutrienți și o potențială creștere a eficienței fotosintetice, ceea ce îl face o tehnică promițătoare pentru îmbunătățirea producției și calității salatei (Nicoletto et al. 2023).

3.3. Efecte sinergice ale tratamentelor directe și indirecte

Tratamentul semințelor cu plasmă, în special prin aplicarea tehnologiilor cu plasmă rece, cum ar fi descărcarea cu barieră dielectrică sub presiune atmosferică (DAP) și apa activată cu plasmă (PAW), a apărut ca o abordare promițătoare pentru a îmbunătăți germinarea semințelor și dezvoltarea ulterioară a plantelor. S-a demonstrat că combinația dintre amorsarea cu DAP și tratamentul cu PAW produce cele mai semnificative îmbunătățiri ale creșterii timpurii a răsadurilor (Kamseu-Mogo et al, 2025). Dovezile experimentale demonstrează că tratamentul cu DAP crește semnificativ rata de germinare a semințelor de porumb, ridicând-o de la 65% la peste 90% și reduce timpul mediu de germinare cu 37,5%. Aplicarea sinergică a amorsării cu DAP, urmată de tratamentul cu PAW, produce îmbunătățiri ale parametrilor de creștere a răsadurilor, inclusiv lungimea tulpinii, lungimea hipocotilului și numărul de frunze, indicând faptul că DAP sporește în principal germinarea și vigoarea inițială, în timp ce PAW stimulează în continuare creșterea vegetativă. Astfel de îmbunătățiri ale creșterii timpurii sunt esențiale

pentru stabilirea unei baze solide pentru dezvoltarea ulterioară a plantelor și pot contribui la îmbunătățirea rezistenței și productivității culturilor. Efectele sinergice observate evidențiază potențialul integrării mai multor tratamente pe bază de plasmă pentru a optimiza rezultatele creșterii timpurii a plantelor (Kamseu-Mogo et al, 2025).

Studiul realizat de Rashid et al. (2023) a arătat că tratamentul cu plasmă la *Solanum melongena* (semințele au fost tratate cu DAP iar plantele au fost pulverizate foliar cu PAW) a sporit activitatea antioxidantă a plantelor, indicând o creștere a capacității acestora de a rezista la stresul oxidativ. În plus, s-au observat niveluri mai ridicate de zaharuri, proteine solubile și fenoli totali, calciu, cupru, fier, mangan și potasiu. Conținutul de zinc la plantele tratate a fost redus în comparație cu grupul martor, ceea ce poate indica modificări ale echilibrului general de nutrienți.

S-a observat că tratamentul cu plasma rece induce modificări structurale la semințele de linte, ducând la îmbunătățirea ratelor de germinare și creștere. În special, utilizarea apelor uzate activate cu plasmă rece de la fermele de păsări s-a dovedit a fi cel mai eficient mediu pentru stimularea creșterii plantelor în comparație cu apa de ploaie potabilă. În plus, tratamentul a dus la o scădere a conținutului de bacterii, în special *Escherichia coli* și *Salmonella typhimurium*, în structurile lintei (Gutiérrez-León et al. 2022).

3.4. Aplicații complementare în procesare și propagare

Tratamentul DBD poate îmbunătăți eficient proprietățile vâscoelastice ale aluatului din făină de grâu prin întărirea legăturilor disulfidice intermoleculare din proteinele glutenului și prin formarea unor rețele proteină-amidon mai puternice. Timpii de tratament mai lungi nu au adus beneficii suplimentare, în timp ce hidratarea crescută a făinii datorită tratamentului cu plasmă a jucat, de asemenea, un rol în îmbunătățirea proprietăților aluatului. Aceste descoperiri au implicații pentru optimizarea preparării aluatului și îmbunătățirea calității produselor de panificație (Khan et al. 2022).

În studiul realizat de Kim et al. (2023), probe diferite de soia au fost supuse tratamentului cu plasmă rece. Lucrarea evidențiază potențialul tratamentului cu plasmă în creșterea randamentului de extracție a proteinelor și modificarea proprietăților funcționale ale proteinelor de soia.

Tratamentul poate promova semnificativ propagarea protocormilor la orhideele *Cymbidium tracyanum*. Îmbunătățirile observate în ceea ce privește dimensiunea, numărul de muguri și greutatea, împreună cu modificările celulare, au fost observate la microscop (Pavasupree et al. 2021).

Alte studii introduc o abordare inovatoare pentru altoirea pomilor fructiferi, în special a perilor și cireșilor (Konchekov et al. 2022; Izmailov et al. 2022). Cercetările demonstrează că aplicarea tratamentului cu plasmă la altoi

și portaltoi produce mai multe rezultate avantajoase. Una dintre principalele descoperiri este că altoirea tratată cu plasmă duce la crearea unei zone de altoire mai robuste și îmbunătățite calitativ. Această îmbunătățire contribuie la o acumulare mai rapidă a biomasei vegetale.

Un impact pozitiv asupra activității antioxidante a extractelor din plante este descris în studiul realizat de Pogorzelska-Nowicka și colab (2021). Modificările structurale ale materialelor vegetale rezultate în urma procesului de procesare au jucat un rol crucial în extragerea mai multor compuși biologic activi, în special a polifenolilor. Mai exact, conținutul de flavonoide și antocianine a crescut. Cu toate acestea, compoziția compușilor volatili din extracte a fost redusă datorită tratamentului cu plasmă, ceea ce a dus la un miros mai puțin intens al extractelor. În plus, utilizarea plasmei a dus la o scădere a numărului total de bacterii aerobe din soluțiile de extract. În plus, culoarea extractelor s-a modificat și s-a observat o creștere a pH-ului soluțiilor.

4. Decontaminare și răspunsuri la stres

4.1. Decontaminarea și rezistența la stresul biotic

Un alt mecanism semnificativ prin care plasma interacționează cu semințele este inactivarea microorganismelor asociate suprafeței. Tratamentele CAP au demonstrat eficacitate în reducerea populațiilor de bacterii epifite, ciuperci filamentoase fitopatogene și toxinogene prezente pe suprafețele semințelor. Această inactivare microbiană este atribuită acțiunii directe a speciilor reactive generate de plasmă, care perturbă membranele celulare microbiene și inhibă formarea biofilmelor. Prin reducerea încărcăturii microbiene de pe semințe, tratamentul cu plasmă nu numai că îmbunătățește sănătatea semințelor, dar minimizează și riscul transmiterii bolilor la răsaduri, contribuind la îmbunătățirea vigorii plantelor și a rezistenței la boli. Acest efect de decontaminare este deosebit de valoros în reducerea dependenței de pesticidele și fungicidele chimice, aliniindu-se cu obiectivele unei agriculturi durabile și fără reziduuri (Scholtz et al. 2021; Waskow et al. 2018; Adhikari et al. 2020b). Pentru controlul fungilor transmiși prin semințe de floarea-soarelui au fost evaluate și tratamente fungicide convenționale (Addrah et al. 2020).

CAP joacă un rol aparte în decontaminarea alimentelor. Componentele abundente ale speciilor reactive din CAP îl fac o tehnologie flexibilă și ieftină de procesare a alimentelor pentru legume, fructe și carne (Yan et al. 2022). Recenzia lui Scholtz și colab. (2021) este dedicată efectului microbicid al plasmei non-termice. Aceasta a confirmat că contaminarea suprafeței diferitelor cereale cauzată de bacterii și ciuperci poate fi redusă/eliminată prin tratamentul cu plasmă, fără deteriorare sau scădere a calității. De exemplu, un CAP de azot a inactivat *Salmonella typhimurium* pe cartofi, căpșuni și salată

verde (Fernández et al. 2013). Decontaminarea în ambalaj este de asemenea, realizată cu ajutorul CAP. Tratamentul a sporit rezistența roșiilor la *Ralstonia solanacearum* cu o eficiență de 25%, ce s-ar putea datora reglării peroxidazei, polifenol oxidazei și fenilalaninei amoniac liaze din tomate (Jiang et al. 2014a).

Tratamentul cu plasmă la *Lycopersicon esculentum* a demonstrat efecte antibacteriene (asupra bacteriilor aerobe mezofile) și antifungice (asupra *Aspergillus rugulovalvus* ca tulpină sensibilă și *Aspergillus niger* ca tulpină rezistentă) puternice, provocând daune severe sporilor și reducând viabilitatea acestora. În plus, tratamentul a dus la o creștere a conținutului de licopen în roșiile uscate fără a le altera proprietățile antioxidante (Molina-Hernandez et al. 2022). Acest rezultat este în concordanță cu descoperirile lui Jiang și colab. (2014a), care au descoperit că tratamentul cu plasmă a crescut semnificativ germinarea semințelor de tomate. Selcuk și colab. (2008) au demonstrat decontaminarea cerealelor și leguminoaselor infectate cu *Aspergillus* și *Penicillum*, cu păstrarea calității germinării.

La semințele de porumb, combinația fungicidului și a acoperirii cu plasmă demonstrează un efect sinergic, oferind un mecanism de apărare mai robust împotriva contaminării cu *Fusarium* (Masiello et al. 2021).

Tratamentul DBD combinat cu PAW s-a dovedit a fi extrem de benefic în ceea ce privește inhibarea creșterii bacteriei *Xylella fastidiosa* care provoacă simptome severe la măslini, ducând la moartea plantelor. Experimentele efectuate in vitro au confirmat efectul biocid al aplicării directe a plasmei dar și activitatea PAW ca posibil agent biocid care se poate mișca liber în xilem, deschizând calea pentru testarea pe plante infectate. Rezultatele au arătat o rată ridicată de decontaminare pentru celulele bacteriene încorporate în biofilme crescute pe medii solide și inactivare completă în mediu de cultură lichid (Ambrico et al. 2022).

În ultimul deceniu, plasma non-termică a demonstrat un mare potențial ca instrument pentru inactivarea fungilor patogeni (Avramidis et al, 2010; Xiong et al, 2010; Shimada et al, 2020; Ambrico et al, 2020; Schnabel et al, 2020; Veerana et al, 2022). Frunzele cu pete negre, mai mici de 2 mm, ar putea fi complet tratate de infecția cu fungi. Când un jet de plasmă a fost aplicat direct pe frunzele simptomatice de *Philodendron erubescens* infectate cu ciuperci, nu a apărut nicio dezvoltare suplimentară a simptomelor, iar frunzele și-au revenit din starea infectată (*Zhang* et al, 2014). Inflorescențele de canabis medicinal inoculate cu *Botrytis cinerea* au fost dezinfectate eficient cu plasmă (Jerushalmi et al, 2020). Într-un timp scurt de tratament un jet CAP ar putea ucide *Cladosporium fulvum,* patogen al tomatelor și reduce procentul de putrezire a semințelor de roșii infectate (Lu et al. 2014). Totodată, s-a concluzionat că un jet cu plasmă rece de argon cu dublă presiune

atmosferică inhibă eliberarea de micotoxine de către *Aspergillus niger,* un agent patogen potențial periculos al fructelor de curmal din cauza producției de fumonisină și ochratoxină A (Ouf et al. 2015).

Tehnologia semințelor tratate cu plasmă oferă beneficii agricole suplimentare legate de sănătatea plantelor și siguranța alimentară. Inactivarea microbiană reduce sau chiar inhibă formarea biofilmelor de suprafață, care sunt adesea precursori ai bolilor transmise de semințe și ai alterării post-recoltare. Tratamentul cu plasmă poate reduce astfel incidența bolilor transmise de semințe, contribuind astfel la culturi mai sănătoase și produse alimentare mai sigure. (Puligundla & Mok, 2017; Adhikari et al. 2020b).

4.2. Conservarea și decontaminarea produselor după recoltare

Tratamentul cu plasmă rece a demonstrat un mare potențial în îmbunătățirea calității post-recoltare și în ambalaj la *Agaricus bisporus*. În plus, tratamentul cu plasmă rece a contribuit la conservarea conținutului total de vitamina C și proteine (Guo et al, 2024).

Tratamentul cu plasma rece asupra *Flammulina velutipes* a dat efecte bacteriostatice în timpul depozitării, dar a redus și deteriorarea celulară cauzată de oxidarea radicalilor liberi, rezultând o calitate post-recoltare mai bună și o durată de valabilitate mai lungă (Ding et al. 2023).

Wiktor și colab (2020) au examinat utilitatea plasmei de microunde cu argon la presiune atmosferică pentru decontaminarea semințelor de piper negru, a fructelor de ienibahar și a fructelor de ienupăr. Durata scurtă de tratament a demonstrat inactivarea eficientă a *A. niger*, în timp ce impactul său asupra bacteriilor gram-pozitive *B. subtilis* a fost mai puțin semnificativ, indiferent de organul tratat. Prelungirea timpului de tratament a dus la eliminarea mucegaiurilor din probe, dar nu s-a obținut un efect antibacterian complet. Tratamentul nu a avut un impact negativ asupra calității chimice a condimentelor. Cu toate acestea, s-a observat o modificare vizibilă a culorii probelor supuse tratamentului cu plasmă, ceea ce le poate afecta aspectul.

4.3. Rezistența la stresul abiotic

Seceta și temperaturile ridicate afectează producția agricolă și răspunsurile fiziologice ale plantelor (Fahad et al. 2017). Majoritatea studiilor care se ocupă de tratamentul cu plasmă al semințelor au fost efectuate în laboratoare și sere, în condiții bine controlate de umiditate, iradiere cu lumină și temperatură. În anii din urmă, mai multe cercetări au luat în considerare și germinarea semințelor tratate cu plasmă în condiții de secetă (Li et al, 2015; Guo et al, 2017; Feng et al, 2018; Molina et al, 2021), metale grele toxice (Hou et al, 2021; Priatama et al, 2022), salinitate (Abarghuei et al, 2021; Iranbakhsh et al, 2018), șoc termic (Song et al, 2020) și alte condiții de stres (Song et al, 2020). În aceste cazuri, plasma a contrabalansat parțial efectele negative ale

mediului și a produs o îmbunătățire a ratei de germinare, a caracteristicilor fenotipului sau a concentrației pigmenților fotosintetici în frunze.

Aceste îmbunătățiri fiziologice sunt probabil legate de generarea indusă de plasmă de ROS, care pot acționa ca molecule de semnalizare pentru a amorsa mecanismele de apărare a plantelor și căile de răspuns la stres. Capacitatea tratamentului cu plasmă de a modula aceste caracteristici fiziologice sugerează un rol potențial în pregătirea plantelor pentru a rezista mai bine la condițiile de mediu adverse, cum ar fi seceta, salinitatea sau temperaturile extreme. Astfel, agricultura cu plasmă oferă o abordare nouă pentru creșterea rezistenței plantelor împotriva unei game de stresuri abiotice, contribuind la îmbunătățirea productivității și sustenabilității culturilor (Song et al. 2020; Priatama et al. 2022).

Leti și colab. (2022) au prezentat perspectivele utilizării plasmei pentru stimularea expresiei diferitelor gene legate de dezvoltarea embrionară, creșterea plantelor, rezistența la agenți patogeni și toleranța la stresul abiotic.

Perea-Brenes și colaboratorii (2023) au studiat influența tratamentelor cu plasmă rece la orz asupra ratei de germinare și a etapelor inițiale de creștere a plantelor în medii de stres commune (seceta, salinitatea și condițiile de temperatură scăzută). Ca rezultat general, s-a constatat că rata de germinare a fost mai mare pentru semințele tratate cu plasmă decât pentru cele netratate. Plasma a indus, de asemenea, modificări favorabile ale dimensiunilor plantei și radiculei. Rezultatele obținute demonstrează că plasma afectează lanțurile metabolice biochimice ale semințelor și plantelor, rezultând modificări ale concentrației factorilor biochimici de creștere, o germinare mai rapidă și o creștere inițială mai robustă a plantelor, chiar și în condiții de stres. Aceste modificări ale fenotipului sunt însoțite de diferențe în concentrația biomarkerilor, cum ar fi pigmenții fotosintetici (clorofilele a și b și carotenoizii), speciile reactive de oxigen și, în special, prolina din frunzele plantelor tinere.

5. Factori care condiționează eficacitatea și efecte adverse

Efectele asupra germinării semințelor și creșterii timpurii a răsadurilor par să depindă de durata expunerii. Expunerea prelungită poate avea efecte dăunătoare, posibil din cauza perturbării structurilor și proceselor celulare cauzate de speciile reactive generate. Prin urmare, este necesară o optimizare atentă a parametrilor de tratament pentru a asigura rezultatele dorite și a evita potențialele efecte negative asupra semințelor și răsadurilor (Konchekov et al. 2023). Importanța optimizării parametrilor de tratament cu plasmă pentru a obține efectele dorite asupra viabilității semințelor *de Zea mays* și creșterii timpurii a răsadurilor este descrisă în studiul realizat de Holubová et al. (2021).

Peťková și colab (2021) au evaluat pe lângă parametrii de germinare, deteriorarea ADN-ului și activitățile diferitelor enzime de germinare și antioxidante la răsadurile de orz. Expunerea la plasmă a dus la modificări ale parametrilor de germinare și ale activităților enzimatice. Expunerile mai lungi au avut efecte genotoxice. Constatările indică faptul că trebuie optimizate cu atenție condițiile adecvate de expunere la plasmă pentru a păstra germinarea, echilibrul de oxidare și stabilitatea genomului.

În ciuda beneficiilor clare pentru germinare și creștere timpurie, tratamentele cu plasmă au fost, de asemenea, asociate cu anumite compromisuri fiziologice. În special, răsadurile tratate au prezentat un conținut redus de clorofilă și o densitate stomatală mai mică în frunzele lor. Aceste modificări sugerează că, deși ROS generate de plasmă și mecanismele conexe promovează creșterea, acestea ar putea face acest lucru în detrimentul eficienței fotosintetice. Reducerea conținutului de clorofilă ar putea limita capacitatea plantei de a capta energia luminoasă, în timp ce scăderea densității stomatelor ar putea afecta schimbul de gaze și transpirația. Mecanismele care stau la baza acestor efecte sunt probabil complexe, implicând căi de transducție a semnalului, interacțiuni hormonale, modularea expresiei genelor, răspunsuri la stresul oxidativ și modificări metabolice mai ample. Aceste descoperiri subliniază importanța echilibrării promovării creșterii cu menținerea funcțiilor fiziologice esențiale pentru sănătatea și productivitatea plantelor pe termen lung. Sunt necesare cercetări suplimentare pentru a elucida aceste mecanisme și pentru a determina implicațiile pe termen lung ale tratamentelor cu plasmă asupra dezvoltării și randamentului plantelor (Kamseu-Mogo et al, 2025).

6. Concluzii și perspective

Studiile prezentate evidențiază efecte ale tratamentelor cu plasmă rece asupra tegumentului seminal, germinării, creșterii și compoziției biochimice, precum și aplicații în decontaminare și răspunsul la stres. Efectele favorabile și cele adverse descrise în manuscris depind de caracteristicile materialului biologic și de condițiile tratamentului (Konchekov et al. 2023; Mildaziene et al. 2022; Starič et al. 2020).

Integrarea cu practicile agronomice și limitările tehnologice. Deși potențialul agricol al semințelor tratate cu plasmă este considerabil, trebuie abordate mai multe limitări și provocări pentru o adoptare pe scară largă. O considerație cheie este optimizarea parametrilor procesului plasmatic - cum ar fi durata tratamentului, tipul de plasmă și compoziția speciilor reactive - pentru a maximiza efectele benefice, minimizând în același timp orice fitotoxicitate potențială sau impacturi negative asupra viabilității semințelor. Transpunerea

succeselor la scară de laborator în aplicații la scară de teren necesită, de asemenea, dezvoltarea unor sisteme scalabile și rentabile de livrare a plasmei, care pot fi integrate în fluxurile de lucru existente de procesare a semințelor. În plus, mecanismele fiziologice care stau la baza modificărilor induse de plasmă, în special rolul speciilor reactive de oxigen generate în timpul tratamentului, necesită o elucidare suplimentară pentru a asigura rezultate consecvente și previzibile la diverse specii de culturi și condiții de mediu. Abordarea acestor limitări va fi esențială pentru a face legătura între știința plasmei și agronomie, permițând în cele din urmă implementarea practică a tehnologiilor bazate pe plasmă în agricultura modernă (Randeniya & de Groot, 2015; Konchekov et al. 2023; Waskow et al. 2022).

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Abarghuei, F. M.; Etemadi, M.; Ramezanian, A.; Esehaghbeygi, A.; Alizargar, J. (2021). An application of cold atmospheric plasma to enhance physiological and biochemical traits of basil. Plants,10 (10), 2088, DOI: 10.3390/plants10102088
- Addrah, M. E., Zhang, Y., Zhang, J., Liu, L., Zhou, H., Chen, W., & Zhao, J. (2020). Fungicide Treatments to Control Seed-borne Fungi of Sunflower Seeds. Pathogens, 9(1), 29. https://doi.org/10.3390/pathogens9010029
- Adhikari, B., Adhikari, M., & Park, G. (2020a). The Effects of Plasma on Plant Growth, Development, and Sustainability. Applied Sciences, 10(17), 6045. https://doi.org/10.3390/app10176045
- Adhikari, B., Adhikari, M., Ghimire, B., Adhikari, B. C., Park, G., & Choi, E. H. (2020c). Cold plasma seed priming modulates growth, redox homeostasis and stress response by inducing reactive species in tomato (Solanum lycopersicum). Free Radical Biology and Medicine, 156, 57–69. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.06.003
- Adhikari, B., Pangomm, K., Veerana, M., Mitra, S., & Park, G. (2020b). Plant Disease Control by Non-Thermal Atmospheric-Pressure Plasma. Frontiers in Plant Science, 11, 77. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00077
- Ambrico, P. F., Zicca, S., Ambrico, M., Rotondo, P. R., De Stradis, A., Dilecce, G., Saponari, M., Boscia, D., & Saldarelli, P. (2022). Low Temperature Plasma Strategies for Xylella fastidiosa Inactivation. Applied Sciences, 12(9), 4711. https://doi.org/10.3390/app12094711
- Ambrico, P.F.; Šimek, M.; Rotolo, C.; Morano, M.; Minafra, A.; Ambrico, M.; Pollastro, S.; Gerin, D.; Faretra, F.; De Miccolis Angelini, R.M. (2020). Surface Dielectric Barrier Discharge Plasma: A Suitable Measure Against Fungal Plant Pathogens. Sci. Rep. 10, 3673.
- Arjunan, K. P., Sharma, V. K., & Ptasinska, S. (2015). Effects of Atmospheric Pressure Plasmas on Isolated and Cellular DNA—A Review. International Journal of Molecular Sciences, 16(2), 2971–3016. https://doi.org/10.3390/ijms16022971
- Auguste, S., Buonopane, G.J., Tanielyan, S. et al. (2023). Effects of cold plasma treatment on growth enhancement and on the chemical composition of sweet basil plants (Ocimum basilicum). Eur. Phys. J. D 77, 64. https://doi.org/10.1140/epjd/s10053-023-00633-5
- Avramidis, G.; Stüwe, B.; Wascher, R.; Bellmann, M.; Wieneke, S.; von Tiedemann, A.; Viöl, W. (2010). Fungicidal Effects of an Atmospheric Pressure Gas Discharge and Degradation Mechanisms. Surf. Coatings Technol. 205, S405–S408.
- Bafoil M, Yousfi M, Dunand C, Merbahi N. (2021). Effects of Dielectric Barrier Ambient Air Plasma on Two Brassicaceae Seeds: Arabidopsis thaliana and Camelina sativa. Int J Mol Sci. 22(18):9923. doi: 10.3390/ijms22189923.
- Bormashenko, E., Grynyov, R., Bormashenko, Y., & Drori, E. (2012). Cold Radiofrequency Plasma Treatment Modifies Wettability and Germination Speed of Plant Seeds. Scientific Reports, 2, 741. https://doi.org/10.1038/srep00741

- Bormashenko, E., Shapira, Y., Grynyov, R., Whyman, G., Bormashenko, Y., & Drori, E. (2015). Interaction of cold radiofrequency plasma with seeds of beans (Phaseolus vulgaris). Journal of Experimental Botany, 66(13), 4013–4021. https://doi.org/10.1093/jxb/erv206
- Burducea, I., Burducea, C., Mereuta, P.-E., Sirbu, S.-R., Iancu, D.-A., Istrati, M.-B., Straticiuc, M., Lungoci, C., Stoleru, V., Teliban, G.-C., Robu, T., Burducea, M., & Nastuta, A. V. (2023). Helium Atmospheric Pressure Plasma Jet Effects on Two Cultivars of Triticum aestivum L. Foods, 12(1), 208. https://doi.org/10.3390/foods12010208
- Dauwe, R., Roulard, R., Ramos, M., Thiombiano, B., Mesnard, F., Gontier, E., & Jamali, A. (2021). Etching of the seed cuticle by cold plasma shortens imbibitional leakage in Linum usitatissimum L. Industrial Crops and Products, 167, 113536. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113536
- Dekkers, B. J. W., et al. (2013). Transcriptional Dynamics of Two Seed Compartments with Opposing Roles in Arabidopsis Seed Germination. Plant Physiology, 163(1), 205–215. https://doi.org/10.1104/pp.113.223511
- Ding Y, Mo W, Deng Z, Kimatu BM, Gao J, Fang D. (2023). Storage quality variation of mushrooms (Flammulina velutipes) after cold plasma treatment. Life 13: 70. https://doi.org/10.3390/life13010070
- Dobrin, D., Măgureanu, M., Mandache, N. B., & Ionita, M. D. (2015). The effect of non-thermal plasma treatment on wheat germination and early growth. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 29, 255–260. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.02.006
- Dubinov, A.E.; Lazarenko, E.M.; Selemir, V.D. (2000) Effect of glow discharge air plasma on grain crops seed. IEEE Trans. Plasma Sci. 28, 180–183. https://doi.org/10.1109/27.842898
- Dufour, T., & Gutierrez, Q. (2021). Cold plasma treatment of seeds: deciphering the role of contact surfaces through multiple exposures, randomizing and stirring. Journal of Physics D: Applied Physics, 54(50), 505202. https://doi.org/10.1088/1361-6463/ac25af
- Fahad, S.; Bajwa, A. A.; Nazir, U.; Anjum, S. A.; Farooq, A.; Zohaib, A.; Sadia, S.; Nasim, W.; Adkins, S.; Saud, S.; Ihsan, M. Z.; Alharby, H.; Wu, C.; Wang, D.; Huang, J. (2017). Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. Frontiers in Plant Science, 8, 1147. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147
- Feng, J.; Wang, D.; Shao, C.; Zhang, L.; Tang, X. (2018) Effects of cold plasma treatment on alfalfa seed growth under simulated drought stress. Plasma Sci. Technol. 20 (3), 035505, DOI: 10.1088/2058-6272/aa9b27
- Fernández A, Noriega E, Thompson A. (2013) Inactivation of Salmonella enterica serovar Typhimurium on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology. Food Microbiol. 33(1):24-9. doi: 10.1016/j.fm.2012.08.007.
- Florescu, I., Radu, I., Teodoru, A., Gurau, L., Chireceanu, C., Bilea, F., & Magureanu, M. (2023). Positive Effect Induced by Plasma Treatment of Seeds on the Agricultural Performance of Sunflower. Plants, 12(4), 794. https://doi.org/10.3390/plants12040794
- Frías, E.; Iglesias, Y.; Alvarez-Ordóñez, A.; Prieto, M.; González-Raurich, M.; López, M. (2020). Evaluation of Cold Atmospheric Pressure Plasma (CAPP) and plasma-activated water (PAW) as alternative non-thermal decontamination technologies for tofu: Impact on microbiological, sensorial and functional quality attributes. Food Res. Int. 129, 108859. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108859
- Gao, X., Zhang, A., Héroux, P., Sand, W., Sun, Z., Zhan, J., Wang, C., Hao, S., Li, Z., Li, Z., Guo, Y., & Liu, Y. (2019). Effect of Dielectric Barrier Discharge Cold Plasma on Pea Seed Growth. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 67(39), 10813–10822. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03099
- Guo, Q.; Wang, Y.; Zhang, H.; Qu, G.; Wang, T.; Sun, Q.; Liang, D. (2017) Alleviation of adverse effects of drought stress on wheat seed germination using atmospheric dielectric barrier discharge plasma treatment. Sci. Rep. 7 (1),16680, DOI: 10.1038/s41598-017-16944-8
- Guo, Y., Xia, S., Shi, C., Ma, N., Pei, F., Yang, W., Hu, Q., Kimatu, B. M., & Fang, D. (2024). The Effect of Cold Plasma Treatment on the Storage Stability of Mushrooms (Agaricus bisporus). Foods, 13(21), 3393. https://doi.org/10.3390/foods13213393
- Guragain, R. P., Baniya, H. B., Shrestha, B., Guragain, D. P., & Subedi, D. P. (2023b). Non-Thermal Plasma: A Promising Technology for the Germination Enhancement of Radish (Raphanus sativus) and Carrot (Daucus carota sativus L.). Journal of Food Quality, 2023, 4131657. https://doi.org/10.1155/2023/4131657

- Guragain, R.P., Baniya, H.B., Pradhan, S.P. et al. (2023a) Growth Enhancement of Radish Seed Induced by Low-Temperature Argon Plasma. Plasma Chem Plasma Process 43,111–137. https://doi.org/10.1007/s11090-022-10291-x
- Gutiérrez-León, D. G., Serrano-Ramírez, T., López-Callejas, R., & Rodríguez-Méndez, B. G. (2022). Non-Thermal Plasma as an Alternative to Enhance the Early Growth Structures in Lentil Plants. Agronomy, 12(12), 2920. https://doi.org/10.3390/agronomy12122920
- Hafeez, A.; Javed, F.; Fazal, T.; Shezad, N.; Amjad, U.-E.-S.; Rehman, M.S.U.; Rehman, F. (2021) Intensification of ozone generation and degradation of azo dye in non-thermal hybrid corona-DBD plasma micro-reactor. Chem. Eng. Process. Process Intensif. 159, 108205. https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108205
- Hasan, M.; Sohan, M. S. R.; Sajib, S. A.; Hossain, M. F.; Miah, M.; Maruf, M. M. H.; Khalid-Bin-Ferdaus, K. M.; Kabir, A. H.; Talukder, M. R.; Rashid, M. M.; Moinuddin, M.; Elseehy, M. M.; El-Shehawi, A. M.; Reza, M. A. (2022). The Effect of Low-Pressure Dielectric Barrier Discharge (LPDBD) Plasma in Boosting Germination, Growth, and Nutritional Properties in Wheat. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 42, 339–362. https://doi.org/10.1007/s11090-021-10217-z
- Hojnik, N.; Cvelbar, U.; Tavcar-Kalcher, G.; Walsh, J.L.; Krizaj, I. (2017) Mycotoxin decontamination of food: Cold atmospheric pressure plasma versus “Classic” decontamination. Toxins. 9, 151. https://doi.org/10.3390/toxins9050151
- Holubová, Ľ., Švubová, R., Slováková, Ľ., Bokor, B., Chobotová Kročková, V., Renčko, J., Uhrin, F., Medvecká, V., Zahoranová, A., & Gálová, E. (2021). Cold Atmospheric Pressure Plasma Treatment of Maize Grains—Induction of Growth, Enzyme Activities and Heat Shock Proteins. International Journal of Molecular Sciences, 22(16), 8509. https://doi.org/10.3390/ijms22168509
- Hou, C.-Y.; Kong, T.-K.; Lin, C.-M.; Chen, H.-L. (2021) The Effects of Plasma-Activated Water on Heavy Metals Accumulation in Water Spinach. Appl. Sci. 11, 5304, DOI: 10.3390/app11115304
- Iranbakhsh, A.; Ardebili, N. O.; Ardebili, Z. O.; Shafaati, M.; Ghoranneviss, M. (2018) Non-thermal Plasma Induced Expression of Heat Shock Factor A4A and Improved Wheat (Triticum aestivum L.) Growth and Resistance Against Salt Stress. Plasma Chem. Plasma Process. 38, 29– 44, DOI: 10.1007/s11090-017-9861-3
- Ivankov, A., et al. (2021). Changes in Agricultural Performance of Common Buckwheat Induced by Seed Treatment with Cold Plasma and Electromagnetic Field. Applied Sciences, 11(10), 4391. https://doi.org/10.3390/app11104391
- Izmailov, A., Khort, D., Filippov, R., Pishchalnikov, R. Y., Simakin, A. V., & Shogenov, Y. (2022). Improvement of Winter Graft Techniques Using Cold Plasma and Plasma-Treated Solution on Cherry Cultures. Applied Sciences, 12(10), 4953. https://doi.org/10.3390/app12104953
- Jerushalmi S., Maymon M., Dombrovsky A., Freeman S. (2020) Effects of Cold Plasma, Gamma and e-Beam Irradiations on Reduction of Fungal Colony Forming Unit Levels in Medical Cannabis Inflorescences. J. Cannabis Res. 2:12. doi: 10.1186/s42238-020-00020-6.
- Jiang, J., He, X., Li, L., Li, J., Shao, H., Xu, Q., Ye, R., & Dong, Y. (2014b). Effect of cold plasma treatment on seed germination and growth of wheat. Plasma Science and Technology, 16(1), 54–58. https://doi.org/10.1088/1009-0630/16/1/12
- Jiang, J., Lu, Y., Li, J., Li, L., He, X., Shao, H., & Dong, Y. (2014a). Effect of Seed Treatment by Cold Plasma on the Resistance of Tomato to Ralstonia solanacearum (Bacterial Wilt). PLOS ONE, 9(5), e97753. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097753
- Julák, J.; Janoušková, O.; Scholtz, V.; Holada, K. (2011) Inactivation of prions using electrical DC discharges at atmospheric pressure and ambient temperature. Plasma Process. Polym. 8, 316–323. https://doi.org/10.1002/ppap.201000100
- Kamseu-Mogo J-P, Soulier M, Kamgang-Youbi G, Apala Mafouasson H N, Dufour T. (2025). Advancements in maize cultivation: synergistic effects of dry atmospheric plasma combined with plasma-activated water, J. Phys. D: Appl. Phys. 58 055201. https://doi.org/10.1088/1361-6463/ad8acf
- Khan, M. J., Jovicic, V., Zbogar-Rasic, A., & Delgado, A. (2022). Enhancement of Wheat Flour and Dough Properties by Non-Thermal Plasma Treatment of Wheat Flour. Applied Sciences, 12(16), 7997. https://doi.org/10.3390/app12167997

- Kim, H.-J., Bae, J. H., Lee, S., Kim, J., Jung, S., Jo, C., Lee, J. Y., Seo, J. H., & Park, S. (2023). Structural and Functional Changes in Soybean Protein via Remote Plasma Treatments. Molecules, 28(9), 3882. https://doi.org/10.3390/molecules28093882
- Konchekov EM, Gusein-Zade N, Burmistrov DE, Kolik LV, Dorokhov AS, Izmailov AY, Shokri B, Gudkov SV. (2023) Advancements in Plasma Agriculture: A Review of Recent Studies. International Journal of Molecular Sciences. 24(20):15093. doi: 10.3390/ijms242015093.
- Konchekov EM, Kolik LV, Danilejko YK, Belov SV, Artem'ev KV, Astashev ME, Pavlik TI, Lukanin VI, Kutyrev AI, Smirnov IG, Gudkov SV. (2022) Enhancement of the Plant Grafting Technique with Dielectric Barrier Discharge Cold Atmospheric Plasma and Plasma-Treated Solution. Plants (Basel).11(10):1373. doi: 10.3390/plants11101373.
- Laroussi, M. (2002). Nonthermal decontamination of biological media by atmospheric-pressure plasmas: review, analysis, and prospects. IEEE Transactions on Plasma Science, 30(4), 1409–1415. https://doi.org/10.1109/TPS.2002.804220
- Lazra, Y.; Dubrovin, I.; Multanen, V.; Bormashenko, E.; Bormashenko, Y.; Cahan, R. (2020) Effects of atmospheric plasma corona discharges on soil bacteria viability. Microorganisms. 8, 704. https://doi.org/10.3390/microorganisms8050704
- Le, T. Q. X., Nguyen, L. N., Nguyen, T. T., Choi, E. H., Nguyen, Q. L., Kaushik, N. K., & Dao, N. T. (2022). Effects of Cold Plasma Treatment on Physical Modification and Endogenous Hormone Regulation in Enhancing Seed Germination and Radicle Growth of Mung Bean. Applied Sciences, 12(20), 10308. https://doi.org/10.3390/app122010308
- Leti, L.-I.; Gerber, I.C.; Mihaila, I.; Galan, P.-M.; Strajeru, S.; Petrescu, D.-E.; Cimpeanu, M.-M.; Topala, I.; Gorgan, D.L. (2022). The Modulatory Effects of Non-Thermal Plasma on Seed's Morphology, Germination and Genetics—A Review. Plants, 11, 2181.
- Li, L.; Li, J.; Shen, M. C.; Zhang, C. L.; Dong, Y. H. (2015) Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress. Sci. Rep. 5 (1),13033, DOI: 10.1038/srep13033
- Lim, J. S., Kim, D., Ki, S., Mumtaz, S., Shaik, A. M., Han, I., Hong, Y. J., Park, G., & Choi, E. H. (2023). Characteristics of a Rollable Dielectric Barrier Discharge Plasma and Its Effects on Spinach-Seed Germination. International Journal of Molecular Sciences, 24(5), 4638.
- Lou, B.-S.; Hsieh, J.-H.; Chen, C.-M.; Hou, C.-W.; Wu, H.-Y.; Chou, P.-Y.; Lai, C.-H.; Lee, J.-W. (2020) Helium/Argon-Generated Cold Atmospheric Plasma Facilitates Cutaneous Wound Healing. Front. Bioeng. Biotechnol. 8, 683. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00683
- Lu, Q.; Liu, D.; Song, Y.; Zhou, R.; Niu, J. (2014) Inactivation of the Tomato Pathogen Cladosporium fulvum by an Atmospheric-Pressure Cold Plasma Jet. Plasma Process. Polym. 11, 1028–1036.
- Măgureanu, M., Sîrbu, R., Dobrin, D., & Gîdea, M. (2018). Stimulation of the Germination and Early Growth of Tomato Seeds by Non-thermal Plasma. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 38, 989–1001. https://doi.org/10.1007/s11090-018-9916-0
- Masiello, M., Somma, S., Lo Porto, C., Palumbo, F., Favia, P., Fracassi, F., Logrieco, A. F., & Moretti, A. (2021). Plasma Technology Increases the Efficacy of Prothioconazole against Fusarium graminearum and Fusarium proliferatum Contamination of Maize (Zea mays) Seedlings. International Journal of Molecular Sciences, 22(17), 9301. https://doi.org/10.3390/ijms22179301
- Mildaziene, V., Ivankov, A., Sera, B., & Baniulis, D. (2022). Biochemical and Physiological Plant Processes Affected by Seed Treatment with Non-Thermal Plasma. Plants, 11(7), 856. https://doi.org/10.3390/plants11070856
- Misra, N.; Yadav, B.; Roopesh, M.; Jo, C. (2019) Cold Plasma for Effective Fungal and Mycotoxin Control in Foods: Mechanisms, Inactivation Effects, and Applications. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 18, 106–120. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12398
- Molina, R.; Lalueza, A.; López-Santos, C.; Ghobeira, R.; Cools, P.; Morent, R.; Geyter, N.; González-Elipe, A. R. (2021) Physicochemical surface analysis and germination at different irrigation conditions of DBD plasma-treated wheat seeds. Plasma Process. Polym. 18, 2000086, DOI: 10.1002/ppap.202000086
- Molina-Hernandez, J. B., Laika, J., Peralta-Ruiz, Y., Palivala, V. K., Tappi, S., Cappelli, F., Ricci, A., Neri, L., & Chaves-López, C. (2022). Influence of Atmospheric Cold Plasma Exposure on Naturally Present Fungal Spores and Physicochemical Characteristics of Sundried Tomatoes (Solanum lycopersicum L.). Foods, 11(2), 210. https://doi.org/10.3390/foods11020210

- Motrescu, I., Ciolan, M. A., Calistru, A. E., & Jităreanu, G. (2023). Germination and Growth Improvement of Some Micro-Greens under the Influence of Reactive Species Produced in a Non-Thermal Plasma (NTP). Agronomy, 13(1), 150. https://doi.org/10.3390/agronomy13010150
- Motrescu, I., Lungoci, C., Ciolan, M. A., & Jităreanu, G. (2024). Non-thermal plasma (NTP) treatment of Trigonella foenum-graecum L. seeds stimulates the sprout growth and the production of nutraceutical compounds. BMC Plant Biology, 24, 33. https://doi.org/10.1186/s12870-023-04710-0
- Múgica-Vidal, R.; Sainz-García, E.; Álvarez-Ordóñez, A.; Prieto, M.; González-Raurich, M.; López, Mercedes; López, María; Rojo-Bezares, B.; Sáenz, Y.; Alba-Elías, F. (2019). Production of Antibacterial Coatings Through Atmospheric Pressure Plasma: a Promising Alternative for Combatting Biofilms in the Food Industry. Food and Bioprocess Technology, 12, 1251–1263. https://doi.org/10.1007/s11947-019-02293-z
- Nicoletto, C., Falcioni, V., Locatelli, S., & Sambo, P. (2023). Non-Thermal Plasma and Soilless Nutrient Solution Application: Effects on Nutrient Film Technique Lettuce Cultivation. Horticulturae, 9(2), 208. https://doi.org/10.3390/horticulturae9020208
- Ongrak, P., Poolyarat, N., Harakotr, B., Jirakiattikul, Y., & Rithichai, P. (2025). Plasma-Activated Water (PAW) Enhances Seed Germination and Improves Biochemical Quality in Kangkong (Ipomoea aquatica Forssk.)Microgreens. Horticulturae, 11(10), 218.https://doi.org/10.3390/horticulturae11101218
- Ouf SA, Basher AH, Mohamed AA. (2015). Inhibitory effect of double atmospheric pressure argon cold plasma on spores and mycotoxin production of Aspergillus niger contaminating date palm fruits. J Sci Food Agric.95(15):3204-10. doi: 10.1002/jsfa.7060.
- Pan, Y., Cheng, J.-H., & Sun, D.-W. (2019). Cold Plasma-Mediated Treatments for Shelf Life Extension of Fresh Produce: A Review of Recent Research Developments. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 18(5), 1312–1326. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12474
- Pańka, D., Jeske, M., Łukanowski, A., Baturo-Cieśniewska, A., Prus, P., Maitah, M., Maitah, K., Malec, K., Rymarz, D., Muhire, J. d. D., & Szwarc, K. (2022). Can Cold Plasma Be Used for Boosting Plant Growth and Plant Protection in Sustainable Plant Production? Agronomy, 12(4), 841. https://doi.org/10.3390/agronomy12040841
- Pankaj, S.K.; Shi, H.; Keener, K.M. (2018) A review of novel physical and chemical decontamination technologies for aflatoxin in food. Trends Food Sci. Tech. 71, 73–83.
- Pauly, N., et al. (2006). Reactive oxygen and nitrogen species and glutathione: key players in the legume–Rhizobium symbiosis. Journal of Experimental Botany, 57(8), 1769–1776. https://doi.org/10.1093/jxb/erj184
- Pavasupree, S., Chanchula, N., Bootchanont, A., Wattanawikkam, C., Jitjing, P., Boonyawan, D., & Porjai, P. (2021). Enhancement Propagation of Protocorms in Orchid (Cymbidium tracyanum L. Castle) by Cold Atmospheric Pressure Air Plasma Jet. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 41, 573–589. https://doi.org/10.1007/s11090-020-10148-1
- Perea-Brenes A, Garcia JL, Cantos M, Cotrino J, Gonzalez-Elipe A.R., Gomez-Ramirez A, Lopez-Santos C. (2023). Germination and First Stages of Growth in Drought, Salinity, and Cold Stress Conditions of Plasma-Treated Barley Seeds. ACS Agricultural Science & Technology. 3 (9), 760-770, DOI: 10.1021/acsagscitech.3c00121
- Pérez-Pizá, M. C., Cejas, E., Zilli, C., Prevosto, L., Mancinelli, B., Santa-Cruz, D., Yannarelli, G., & Balestrasse, K. (2020). Enhancement of soybean nodulation by seed treatment with non–thermal plasmas. Scientific Reports, 10, 4917. https://doi.org/10.1038/s41598-020-61913-3
- Peťková, M., Švubová, R., Kyzek, S., Medvecká, V., Slováková, Ľ., Ševčovičová, A., & Gálová, E. (2021). The Effects of Cold Atmospheric Pressure Plasma on Germination Parameters, Enzyme Activities and Induction of DNA Damage in Barley. International Journal of Molecular Sciences, 22(6), 2833. https://doi.org/10.3390/ijms22062833
- Pogorzelska-Nowicka, E., Hanula, M. M., Brodowska-Trębacz, M., Górska-Horczyczak, E., Jankiewicz, U., Mazur, T., Marcinkowska-Lesiak, M., Półtorak, A., & Wierzbicka, A. (2021). The Effect of Cold Plasma Pretreatment on Water-Suspended Herbs Measured in the Content of Bioactive Compounds, Antioxidant Activity, Volatile Compounds and Microbial Count of Final Extracts. Antioxidants, 10(11), 1740. https://doi.org/10.3390/antiox10111740
- Priatama, R. A.; Pervitasari, A. N.; Park, S.; Park, S. J.; Lee, Y. K. (2022). Current Advancements in the Molecular Mechanism of Plasma Treatment for Seed Germination and Plant Growth. Int. J. Mol. Sci. 23, 4609, DOI: 10.3390/ijms23094609

- Puligundla, P.; Mok, C. (2016). Non-thermal plasmas (NTPs) for inactivation of viruses in abiotic environment. Res. J. Biotechnol. 11, 91–96.
- Puligundla, P.; Mok, C. (2017). Potential applications of nonthermal plasmas against biofilm-associated micro-organisms in vitro. J. Appl. Microbiol. 122, 1134–1148
- Randeniya, L., & de Groot, G. (2015). Non-Thermal Plasma Treatment of Agricultural Seeds for Stimulation of Germination, Removal of Surface Contamination and Other Benefits: A Review. Plasma Processes and Polymers, 12, 608-623. https://doi.org/10.1002/ppap.201500042
- Rashid, M., Rashid, M. M., Alam, M. S., & Talukder, M. R. (2023). Enhancement of Growth, Enzymes, Nutrition and Yield of Eggplant: Combined Effects of Plasma Treatments. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 43(1), 163–181. https://doi.org/10.1007/s11090-022-10301-y
- Recek, N., Holc, M., Vesel, A., Zaplotnik, R., Gselman, P., Mozetič, M., & Primc, G. (2021). Germination of Phaseolus vulgaris L. Seeds after a Short Treatment with a Powerful RF Plasma. International Journal of Molecular Sciences, 22(13), 6672. https://doi.org/10.3390/ijms22136672
- Reema, Khanikar RR, Bailung H and Sankaranarayanan K (2022), Review of the cold atmospheric plasma technology application in food, disinfection, and textiles: A way forward for achieving circular economy. Front. Phys. 10:942952. doi: 10.3389/fphy.2022.942952
- Rifna E.J. , Ratish Ramanan K. , Mahendran R. (2019). Emerging technology applications for improving seed germination, Trends in Food Science & Technology. 86:95-108
- Rusu, B.G.; Postolache, V.; Cara, I.G.; Pohoata, V.; Mihaila, I.; Topala, I.; Jitareanu, G. (2018) Method of fungal wheat seeds disease inhibition using direct exposure to air cold plasma. Rom. J. Phys. 63, 905 (1–13).
- Sayahi K, Sari AH, Hamidi A, Nowruzi B, Hassani F. (2024) Evaluating the impact of Cold plasma on Seedling Growth properties, seed germination, and soybean antioxidant enzyme activity. BMC Biotechnol.24(1):93. doi: 10.1186/s12896-024-00921-x.
- Schnabel, U.; Yarova, K.; Zessin, B.; Stachowiak, J.; Ehlbeck, J. (2020) The Combination of Plasma-Processed Air (PPA) and Plasma-Treated Water (PTW) Causes Synergistic Inactivation of Candida albicans SC5314. Appl. Sci. 10, 3303. https://doi.org/10.3390/app10093303
- Scholtz, V.; Jirešová, J.; Šerá, B.; Julák, J. (2021). A Review of Microbial Decontamination of Cereals by Non-Thermal Plasma. Foods.10, 2927
- Selcuk, M., Oksuz, L. & Basaran, P. (2008). Decontamination of grains and legumes infected with Aspergillus spp. and Penicillum spp. by cold plasma treatment. Bioresource Technol. 99, 5104–5109. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.076
- Šerá, B., Šerý, M., Zahoranová, A. et al. (2021). Germination Improvement of Three Pine Species (Pinus) After Diffuse Coplanar Surface Barrier Discharge Plasma Treatment. Plasma Chem Plasma Process 41, 211–226. https://doi.org/10.1007/s11090-020-10128-5
- Shimada, K.; Takashima, K.; Kimura, Y.; Nihei, K.; Konishi, H.; Kaneko, T. (2020). Humidification Effect of Air Plasma Effluent Gas on Suppressing Conidium Germination of a Plant Pathogenic Fungus in the Liquid Phase. Plasma Process. Polym. 17, 1900004. https://doi.org/10.1002/ppap.201900004
- Shintani, H., Sakudo, A., Burke, P., & McDonnell, G. (2010). Gas plasma sterilization of microorganisms and mechanisms of action (Review). Experimental and Therapeutic Medicine, 1, 731-738. https://doi.org/10.3892/etm.2010.136
- Sivachandiran, L. and Khacef, A. (2017) Enhanced Seed Germination and Plant Growth by Atmospheric Pressure Cold Air Plasma: Combined Effect of Seed and Water Treatment. RSC Advances, Royal Society of Chemistry, 7, 1822-1832.
- Song, J.-S.; Kim, S. B.; Ryu, S.; Oh, J.; Kim, D.-S. (2020). Emerging Plasma Technology That Alleviates Crop Stress During the Early Growth Stages of Plants: A Review. Front. Plant Sci. 11, 988, DOI: 10.3389/fpls.2020.00988
- Starič, P., Vogel-Mikuš, K., Mozetič, M., & Junkar, I. (2020). Effects of Nonthermal Plasma on Morphology, Genetics and Physiology of Seeds: A Review. Plants, 9(12), 1736. https://doi.org/10.3390/plants9121736
- Svarnas, P.; Giannakopoulos, E.; Kalavrouziotis, I.; Krontiras, C.; Georga, S.; Pasolari, R.S.; Papadopoulos, P.K.; Apostolou, I.; Chrysochoou, D. (2020). Sanitary effect of FE-DBD cold plasma in ambient air on sewage biosolids. Sci. Total Environ. 705, 135940.

- Švubová, R., Válková, N., Bathoova, M., Kyzek, S., Gálová, E., Medvecká, V., & Slováková, Ľ. (2021). Enhanced In situ Activity of Peroxidases and Lignification of Root Tissues after Exposure to Non-Thermal Plasma Increases the Resistance of Pea Seedlings. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 41, 903–922. https://doi.org/10.1007/s11090-021-10160-z
- Švubová, R.; Kyzek, S.; Medvecká, V.; Slováková, Ľ.; Gálová, E.; Zahoranová, A. (2020). Novel insight at the effect of cold atmospheric pressure plasma on the activity of enzymes essential for the germination of pea (Pisum sativum L. cv. Prophet) seeds. Plasma Chem. Plasma Proces. 40, 1221–1240.. https://doi.org/10.1007/s11090-020-10089-9
- Tomeková, J.; Kyzek, S.; Medvecká, V.; Gálová, E.; Zahoranová, A. (2020). Influence of Cold Atmospheric Pressure Plasma on Pea Seeds: DNA Damage of Seedlings and Optical Diagnostics of Plasma. Plasma Chem. Plasma Process. 40, 1571–1584. https://doi.org/10.1007/s11090-020-10109-8
- Tripathy, B. C., & Oelmüller, R. (2012). Reactive oxygen species generation and signaling in plants. Plant Signaling & Behavior, 7(12), 1621–1633. https://doi.org/10.4161/psb.22455
- Vashisth A, Nagarajan S. (2008). Exposure of seeds to static magnetic field enhances germination and early growth characteristics in chickpea (Cicer arietinum L.). Bioelectromagnetics. 29:571-578
- Veerana, M., Yu, N., Ketya, W., & Park, G. (2022). Application of Non-Thermal Plasma to Fungal Resources. Journal of Fungi, 8(2), 102. https://doi.org/10.3390/jof8020102
- Volin, J.C.; Denes, F.S.; Young, R.A.; Park, S.M.T. (2000). Modification of seed germination performance through cold plasma chemistry technology. Crop Sci. 40, 1706–1718. https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4061706x
- Wang J, Ma H, Wang S. (2019). Application of ultrasound, microwaves, and magnetic fields techniques in the germination of cereals. Food Science and Technology Research. 25(4):489-497
- Waskow, A., Avino, F., Howling, A., & Furno, I. (2022). Entering the plasma agriculture field: An attempt to standardize protocols for plasma treatment of seeds. Plasma Processes and Polymers, 19(1), 2100152. https://doi.org/10.1002/ppap.202100152
- Waskow, A., Betschart, J., Butscher, D., Oberbossel, G., Klöti, D., Büttner-Mainik, A., Adamcik, J., von Rohr, P. R., & Schuppler, M. (2018). Characterization of Efficiency and Mechanisms of Cold Atmospheric Pressure Plasma Decontamination of Seeds for Sprout Production. Frontiers in Microbiology, 9, 3164. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03164
- Waskow, A., Howling, A., & Furno, I. (2021). Mechanisms of Plasma-Seed Treatments as a Potential Seed Processing Technology. Frontiers in Physics, 9, 617345. https://doi.org/10.3389/fphy.2021.617345
- Wiktor, A., Hrycak, B., Jasiński, M., Rybak, K., Kieliszek, M., Kraśniewska, K., & Witrowa-Rajchert, D. (2020). Impact of Atmospheric Pressure Microwave Plasma Treatment on Quality of Selected Spices. Applied Sciences, 10(19), 6815. https://doi.org/10.3390/app10196815
- Xie, J., et al. (2025). Effects of Plasma and Activated Water on Biological Characteristics of Bromus inermis Seeds Under Different Power Supply Excitation. Plasma, 8(4), 43. https://doi.org/10.3390/plasma8040043
- Xiong, Z.; Lu, X.P.; Feng, A.; Pan, Y.; Ostrikov, K. (2010). Highly Effective Fungal Inactivation in He+ O2 Atmospheric-Pressure Nonequilibrium Plasmas. Phys. Plasmas, 17, 123502.
- Yan, D., et al. (2022). Improving Seed Germination by Cold Atmospheric Plasma. Plasma, 5(1), 98–110. https://doi.org/10.3390/plasma5010008
- Yemeli G. B. N., Janda M., Machala Z. (2022). Non-thermal plasma as a priming tool to improve the yield of pea in outdoor conditions. Plasma Chem. Plasma Process. 42, 1143–1168. doi: 10.1007/s11090-022-10264-0
- Zhang JJ, Jo JO, Huynh DL, Mongre RK, Ghosh M, Singh AK, et al. (2017). Growth-inducing effects of argon plasma on soybean sprouts via the regulation of demethylation levels of energy metabolism-related genes. Scientific Reports.7:41917
- Zhang X., Liu D., Zhou R., Song Y., Sun Y., Zhang Q., Niu J., Fan H., Yang S.-Z. (2014). Atmospheric Cold Plasma Jet for Plant Disease Treatment. Appl. Phys. Lett. 104:043702. doi: 10.1063/1.4863204.