



UNIVERSITATEA „ALEXANDRU IOAN CUZA” DIN IAȘI
ȘCOALA DOCTORALĂ DE FIZICĂ



TEZĂ DE DOCTORAT

Rezumat

APLICAȚII ALE TEHNOLOGIILOR CU PLASMĂ LA PRESIUNE ATMOSFERICĂ ÎN AGRICULTURA MODERNĂ

Conducător științific

Prof. univ. dr. habil. Ionuț Topală

Student doctorand

Bianca-Dumitrița Tatarcan

Iași – 2025

Mulțumiri

Această lucrare a fost realizată în cadrul Laboratorului de Fizica Plasmei al Facultății de Fizică de la Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași.

Întreaga mea experiență în Laboratorul de Fizica Plasmei nu ar fi fost posibilă fără îndrumarea și sprijinul oferit de Domnul Cristian Enăchescu, care a crezut în viitorul meu academic. Îi sunt recunoscătoare pentru răbdarea de care a dat dovadă pe parcursul doctoratului meu.

Experimentele realizate în timpul pregătirii tezei de doctorat au fost integrate cu activitățile din colaborările interdisciplinare:

Studiile biologice asupra semințelor de crăițe au fost efectuate împreună cu biolog principal dr. Camelia Mariana Ifrim și biolog dr. Cristiana Virginia Petre din cadrul Grupului de Cercetare pentru Micropropagarea și Prezervarea Germoplasmei, Grădina Botanică, "Anastase Fătu," Iași, Universitatea, "Alexandru Ioan Cuza" din Iași.

Germinarea semințelor de grâu și quinoa a fost investigată împreună cu CS III dr. Gabriela Mihalache, din cadrul Centrului Integrat de Studii în Știința Mediului pentru Regiunea de Dezvoltare Nord-Est (CERNESIM), Institutul de Cercetări Interdisciplinare (ICI), Universitatea “Alexandru Ioan Cuza” din Iași.

Analizele de spectroscopie a fotoelectronilor de radiație X pentru semințele de grâu și quinoa au fost efectuate de CS III dr. Marius Dobromir, din cadrul Centrului de Cercetare în Domeniul Materialelor și Tehnologiilor Avansate (RAMTECH), Institutul de Cercetări Interdisciplinare (ICI), Universitatea “Alexandru Ioan Cuza” din Iași.

Analizele de microscopie electronică de baleiaj pentru semințele de grâu și quinoa au fost realizate de CS dr. Laurențiu Valentin Șoroagă, din cadrul Centrului Integrat de Studii în Știința Mediului pentru Regiunea de Dezvoltare Nord-Est (CERNESIM), Institutul de Cercetări Interdisciplinare (ICI), Universitatea “Alexandru Ioan Cuza” din Iași.

Îi sunt recunoscătoare Domnului Andrei Năstuță pentru sprijinul constant, încurajările oferite și disponibilitatea de a-mi acorda timpul necesar pentru finalizarea acestei lucrări.

Îi mulțumesc lui Cătălin pentru că m-a încurajat și susținut pentru a finaliza studiile doctorale, fiind mândru pentru reușitele mele profesionale.

Cuprins

Introducere	3
I. Aspecte actuale și perspective ale utilizării plasmei non-termice pentru tratamentul semințelor	4
I.1. Expunerea structurilor biologice la acțiunea plasmei.....	4
I.2. Decontaminarea cu plasmă.....	6
II. Surse de plasmă non-termică utilizate pentru tratamentul semințelor de plante.....	7
II.1 Tipuri de tratament și configurații experimentale tipice	7
II.2. Surse de plasmă cu descărcare cu barieră dielectrică de volum (VDBD)	7
II.3. Surse de plasmă cu descărcare cu barieră dielectrică de suprafață SDBD	9
II.4. Surse de plasmă cu descărcare corona.....	10
II.5. Jetul de plasmă la presiune atmosferică	11
III. Tehnici de diagnoză a plasmei non-termice la presiune atmosferică în timpul expunerii semințelor	12
IV. Efecte fizice, chimice și biologice după acțiunea directă a plasmei asupra semințelor de plante.....	15
IV.1. Expunerea semințelor de crăițe la acțiunea plasmei	15
IV.1.1. Monitorizarea speciilor reactive din plasmă prin spectroscopie de absorbție în IR, pe durata expunerii semințelor de crăițe	18
IV.1.2. Efecte asupra cineticii de germinare.....	19
IV.2. Expunerea semințelor de grâu și quinoa la acțiunea plasmei.....	21
IV.2.1. Analiza curentului de descărcare.....	23
IV.2.2. Monitorizarea spectrului optic de emisie	27
IV.2.3. Monitorizarea temperaturii globale și a temperaturii de rotație a azotului molecular.....	29

IV.2.4. Monitorizarea speciilor reactive din fluxul de gaze efluate prin spectroscopie de absorbție UV	31
IV.2.5. Monitorizarea speciilor reactive din fluxul de gaze efluate prin spectroscopie de absorbție FTIR.....	32
IV.2.6. Efecte chimice la nivelul suprafeței semințelor	36
IV.2.7. Efecte fizice la nivelul suprafeței semințelor	39
IV.2.8. Efecte asupra cineticii de germinare și biomasei.....	40
Concluzii.....	44
Referințe	46
Anexa 3. Diseminarea activității desfășurate în cadrul studiilor	55
A.3.1. Articole publicate.....	55
A.3.2. Participări la conferințe.....	55
A.3.3. Alte activități	58
Anexa 4. Drepturi de autor	59

Introducere

Populația lumii crește rapid, iar schimbările climatice afectează agricultura. Avem nevoie de soluții noi pentru a crește producția, a asigura mâncare suficientă și a proteja mediul. Agricultura modernă se confruntă cu probleme mari, cum ar fi scăderea fertilității solului, bolile plantelor și rezistența agenților patogeni la pesticide. Metodele vechi, cum ar fi extinderea terenurilor agricole sau folosirea multor fertilizanți chimici, nu mai sunt soluții bune pe termen lung, deoarece dăunează mediului, solului și apei. În acest context, tehnologiile cu plasmă rece sunt o soluție nouă și promițătoare. Ele oferă metode eficiente și ecologice pentru tratarea semințelor, plantelor și solului sau pentru procesarea alimentelor, contribuind la siguranța alimentară și la prelungirea duratei de viață a produselor.

După ce sunt expuse la plasmă, fie direct, fie indirect, se observă schimbări fizico-chimice pe semințe, plante sau în apa folosită în agricultură. Acestea au efecte dovedite științific în ultimii ani: - crește rata de germinare a semințelor; - semințele și plantele sunt decontaminate, adică bacteriile, fungii și virușii sunt eliminați, oferind o alternativă la tratamentele chimice; - se îmbunătățește randamentul agricol, crescând recolta și calitatea produselor; - apa tratată cu plasmă poate fi folosită ca fertilizant ecologic, înlocuind produsele chimice tradiționale; de asemenea, tratamentul cu plasmă poate curăța apa de poluanți ca pesticidele și antibioticele; - se reduce cantitatea de pesticide și îngrășăminte chimice folosite, oferind o soluție ecologică pentru protecția plantelor; - folosirea tehnologiilor cu plasmă poate reduce amprenta de carbon a agriculturii. Integrarea acestor tehnologii în agricultură nu doar că oferă o metodă mai sigură și sustenabilă de protecție a culturilor, dar și deschide noi perspective pentru optimizarea proceselor agricole.

Teza aceasta are patru capitole. Primul capitol prezintă problemele și perspectivele folosirii plasmelor non-termice pentru tratarea semințelor. Se discută tehnologii inovatoare bazate pe plasmă în agricultură pentru a îmbunătăți productivitatea și utilizarea resurselor. Al doilea capitol descrie sursele de plasmă non-termică folosite pentru tratarea semințelor. După ce sunt prezentate tipurile de tratament și configurațiile experimentale, sunt detaliate surse de plasmă la presiune atmosferică și studii despre aplicațiile lor în agricultură. Al treilea capitol include contribuții personale despre diagnoza plasmelor la presiune atmosferică în timpul expunerii semințelor. Sunt prezentate echipamentele, materialele și metodele folosite, precum și rezultatele privind tensiunea aplicată, intensitatea curentului, spectrul optic de emisie, temperatura globală și calculul temperaturii de rotație, identificarea și monitorizarea speciilor excitate și reactive prin spectroscopie. Al patrulea capitol include contribuții personale despre efectele fizice, chimice și biologice ale plasmelor asupra semințelor. Sunt prezentate echipamentele, materialele și metodele folosite, precum și rezultatele expunerii semințelor de crăițe, grâu și quinoa la plasmă.

I. Aspecte actuale și perspective ale utilizării plasmei non-termice pentru tratamentul semințelor

1.1. Expunerea structurilor biologice la acțiunea plasmei

Rezultatele tratamentelor cu plasmă depind de factori precum tipul de gaz, durata expunerii, puterea descărcărilor și caracteristicile semințelor. Nu există standarde pentru diferite tipuri de semințe. Expunerea prelungită la plasmă poate afecta semințele și reduce germinarea. Probleme majore sunt costul echipamentelor și lipsa informațiilor despre efectele pe termen lung. Reglementările și introducerea tehnologiilor cu plasmă necesită timp pentru certificare. Totuși, tratamentele cu plasmă sunt promițătoare, stimulând germinarea și creșterea plantelor. Pot decontamina semințele, eliminând agenții patogeni fără substanțe chimice. Tehnologia îmbunătățește rezistența plantelor la boli și stres, reducând nevoia de pesticide și fiind adaptabilă pentru diverse culturi. Poate reduce impactul negativ asupra mediului. Combinarea cu biostimulatori sau tehnici genetice poate crește randamentul agricol.

Expunerea structurilor biologice la plasma rece este un subiect de cercetare important, cu aplicații în medicină, agricultură și ingineria materialelor biologice. Plasma rece este un gaz cu particule încărcate, care interacționează cu structurile biologice și le schimbă proprietățile. În medicină, plasma este folosită pentru a steriliza suprafețe, a vindeca răni, a distruge celule tumorale și a regenera țesuturi, datorită efectelor sale antimicrobiene și antiinflamatorii. Plasma poate schimba structura membranelor celulare și a proteinelor, afectând transportul de substanțe și activitatea celulelor (Dezest et al., 2017; Motaln et al., 2021; Nitsch et al., 2022; Suschek, 2024). În ingineria materialelor biologice, plasma rece îmbunătățește suprafețele biomaterialelor din implanturi și dispozitive medicale, făcându-le mai compatibile cu corpul. Interacțiunea plasmei cu polimerii sau proteinele biologice poate crea suprafețe mai bune pentru celule, ajutând la integrarea în țesuturi (Akdoğan and Şirin, 2021; Cheng et al., 2013; Griffin et al., 2018; Jacobs et al., 2012; Mildaziene et al., 2022; Šrámková et al., 2020). În agricultură, plasma rece ajută semințele să germineze mai bine, stimulează creșterea plantelor și elimină agenții patogeni, reducând nevoia de pesticide. Aceasta poate schimba permeabilitatea semințelor și activa procese biochimice care ajută plantele să crească. La plante, structura biologică include rădăcini, tulpini și frunze, care ajută la absorbția luminii, nutrienților și apei. De exemplu, modificările genetice pot îmbunătăți structura frunzelor pentru a crește eficiența fotosintezei și productivitatea. La nivel celular, structura pereților celulari și a sistemelor vasculare ajută plantele să reziste la stres, cum ar fi seceta sau temperaturile extreme. Sistemele biologice includ și microbiomul plantelor, cu microorganisme benefice, cum ar fi bacteriile care fixează azotul sau fungii micorizați, care ajută la absorbția nutrienților și protecția împotriva agenților patogeni.

NTP ((*engl.* Non-Thermal Plasma) este un factor de stres fizic și chimic folosit pentru a trata semințele și are un efect important asupra germinării. NTP acționează prin intermediul speciilor reactive de oxigen și azot (RONS), cum ar fi anionul superoxid (O_2^-), oxidul nitric (NO), peroxidul de hidrogen (H_2O_2), hidroxilul ($-OH$) și peroxinitritul ($ONOO^-$). Aceste molecule sunt importante pentru semnalizarea celulară la plante și ajută la reglarea latenței și germinării semințelor. Când semințele sunt expuse la NTP, apar schimbări biochimice și fizice în tegument și metabolism: modificarea tegumentului – RONS pot degrada parțial stratul protector al seminței, permițând absorbția apei și oxigenului, esențiale pentru germinare; acest proces este similar cu scarificarea chimică sau mecanică folosită pentru a stimula germinarea la semințele cu tegument dur (ex. *Trifolium spp.*)(Šerá et al., 2021a); stimularea enzimelor antioxidante – NTP poate crește producția de enzime precum superoxid dismutaza (SOD) și catalaza (CAT), care ajută la reducerea stresului oxidativ și la echilibrarea nivelului de RONS în celule (Yang et al., 2023); reglarea fitohormonilor – NTP poate influența nivelurile de acid abscisic (ABA) și gibereline (GA), hormoni importanți pentru germinare; unele studii (Kobayashi et al., 2024; Leti et al., 2022; Priatama et al., 2022; Sayahi et al., 2024; Šerá et al., 2021a; Waskow et al., 2021a) au arătat că NTP reduce ABA (care inhibă germinarea) și stimulează GA, favorizând astfel germinarea.

Eficiența tratamentului cu NTP depinde de mai mulți factori. Unul dintre aceștia este specia vegetală. Studii recente arată că NTP poate ajuta la germinarea unor plante precum grâul (*Triticum aestivum*) (Iranbakhsh et al., 2017) și rapița (*Brassica napus*) (Maruyama-Nakashita et al., 2021). Totuși, poate avea efecte neutre sau chiar negative asupra altor plante, cum ar fi roșia (*Solanum lycopersicum*) (Carmassi et al., 2022; Guragain et al., 2024a; Shivakumar et al., 2025). Un alt factor este durata și intensitatea tratamentului. Prea multă expunere la NTP poate deteriora membranele celulare și poate opri germinarea. De exemplu, un tratament prea intens la semințele de salată (*Lactuca sativa*) a redus rata de germinare din cauza stresului oxidativ excesiv (Carmassi et al., 2022). Starea fiziologică a semințelor este, de asemenea, importantă. Semințele cu multă apă pot reacționa diferit la NTP față de semințele uscate, ceea ce influențează eficiența tratamentului (Guragain et al., 2024b, 2023a, 2023b; Li et al., 2021; Mildaziene et al., 2022; Prakash Guragain et al., 2024). Formarea semințelor încheie procesul de reproducere a ciclului de vegetație a plantelor (Figura 1).



Figura 1. Ciclul de formare a semințelor

I.2. Decontaminarea cu plasmă

Sursele de plasmă produc specii reactive importante în biologia redox și aplicațiile biologice. Aceste specii reactive ajută la inactivarea agenților patogeni (Domonkos et al., 2021) (Figura 2) prin modificarea mediului celular. RONS pot cauza distrugerea peretelui celular, afectarea membranei celulare, schimbări în funcționarea proteinelor, deteriorarea ADN-ului și ARN-ului și pot induce moartea celulară. Mecanismul exact prin care plasma inactivează microbi și rolul componentelor nu este încă pe deplin înțeles. (Domonkos et al., 2021)

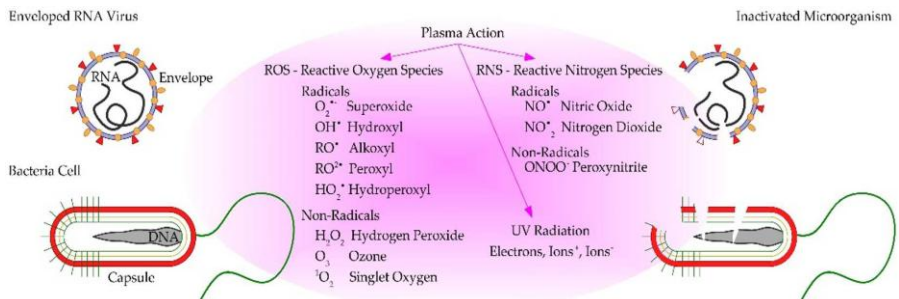


Figura 2. Acțiunea RONS asupra agenților patogeni, preluată din (Domonkos et al., 2021)

Partea exterioară a peretelui celular este bombardată de particule încărcate din plasmă. Când aceste sarcini se adună pe suprafață, potențialul transmembranar atinge un nivel critic, deformând canalele ionice și permițând trecerea ionilor precum clor, sodiu și calciu. Câmpul electric puternic poate modifica structura proteinelor, formând pori (electroporare), astfel particulele încărcate pot pătrunde în celule, afectând mediul intern.

II. Surse de plasmă non-termică utilizate pentru tratamentul semințelor de plante

II.1 Tipuri de tratament și configurații experimentale tipice

Cele mai frecvente soluții tehnice pentru expunerea țințelor biologice utilizate în agricultură la acțiune plasmelor non-termice sunt reprezentate de (Ahmed et al., 2025; Attri et al., 2020; Desai et al., 2024; Ranieri et al., 2021):

- *expunerea directă a materialului biologic*, acest tip de tratament presupune expunerea semințelor la acțiunea directă a plasmei, adică prezența acestora în volumul plasmei pe toată durata funcționării descărcării; această strategie experimentală asigură acțiunea componentelor plasmei în mod concentrat asupra semințelor;

- *expunerea indirectă a materialului biologic*, acest tip de tratament presupune expunerea semințelor la acțiunea produșilor de reacție din descărcare, efectele fiind produse datorită acțiunii speciilor reactive cu durată lungă de viață din faza gazoasă; această strategie experimentală se încadrează în categoria tratamentelor la distanță;

- *expunerea apei (sau altor lichide) la acțiunea plasmei și ulterior expunerea materialului biologic la acțiunea apei (sau altor lichide) tratate*; această strategie experimentală vizează expunerea apei sau altor lichide în volume semnificative la acțiunea directă a plasmei și implicit la acțiunea speciilor reactive; și acest tip de tratament face parte din categoria tratamentelor la distanță (Domonkos et al., 2021).

II.2. Surse de plasmă cu descărcare cu barieră dielectrică de volum (VDBD)

Descărcarea VDBD se generează între doi electrozi, dintre care cel puțin unul este acoperit cu un material dielectric. Acest material limitează curentul electric și previne formarea unui arc electric. Descărcarea funcționează cu curent alternativ sau cu impulsuri de tensiune. Materialele folosite ca barieră dielectrică includ sticla, cuarțul, ceramicile și polimerii. Distanța dintre electrozi este de câțiva milimetri, iar între ei se află aer sau alt gaz la presiune atmosferică. Această distanță mică este un dezavantaj pentru tratarea semințelor mari. Pe lângă aer, se folosesc gaze precum heliul, argonul sau amestecuri cu azot sau oxigen. Un avantaj al acestei metode este că semințele sunt complet acoperite de plasmă. Parametrii de funcționare variază, dar efectele sunt similare. Temperatura gazului poate fi menținută scăzută pentru a nu afecta materialul biologic, iar speciile reactive produse îmbunătățesc calitatea semințelor și plantelor (Rusu et al., 2018). O configurație VDBD a fost folosită în experimente de laborator de către (Dufour et al., 2021), cu un tub de cuarț de 30 cm și un volum de 6x15x65 mm³. Tensiunea era sinusoidală, de 6 kV și 500 Hz, cu un amestec de heliu și azot la presiune atmosferică (Figura 3.).

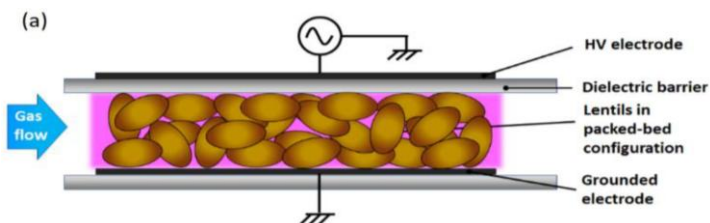


Figura 3. Configurație VDBD ca sursă de tratament direct al semințelor de linte, preluată din (Dufour et al., 2021)

După cum se observă în tabelul 1, acest tip de sursă de plasmă a fost utilizat pentru tratamentul multor tipuri de semințe. Fiecare grup de cercetare utilizează parametri diferiți de funcționare a descărcărilor astfel încât să obțină efecte biologici pozitive.

Tabel 1. Parametrii surselor VDBD pentru tratamentul semințelor.

Tipul de semințe	Parametrii descărcării				Referință
	Tensiune (vârf-la-vârf)	Frecvența	Gazul de lucru	Debit	
grâu	13 kV	50 Hz	Aer uscat	0 L/min	(Guo et al., 2017)
<i>Cannabis sativa L.</i>	8 kV	13 kHz	Argon	2 L/min	(Iranbakhsh et al., 2020)
grâu	13 kV	50 Hz	Aer	1,5 L/min	(Li et al., 2017)
grâu (<i>Triticum aestivum</i>)	80 kV RMS	50 Hz	Aer ambiental	0 L/min	(Los et al., 2019)
grâu	10 kV	50 Hz	Aer ambiental	0 L/min	(Rusu et al., 2018)
orez	7 kV	1 kHz	Aer amestec cu argon	2 L/min	(Rongsangchai charean et al., 2022)
orz	8,6 kV	1 kHz	Aer uscat	0 L/min	(Perea-Brenes et al., 2022)
ridiche (<i>Raphanus sativus</i>) rosii (<i>Solanum</i>	40 kV	1 kHz	Aer ambiental	1 L/min	(Sivachandiran and Khacef, 2017)

<i>lycopersicum</i>) ardei (<i>Capsicum</i> <i>annum</i>)					
raپیٹا	8,7 kVpp	5,7 kHz	Aer	20 L/min	(Schnabel et al., 2012)
linte	6 kV	600 Hz	Heliu ameste cat cu azot sau oxigen (0–150 SCCM)	2 L/min	(Dufour et al., 2021)

II.3. Surse de plasmă cu descărcare cu barieră dielectrică de suprafață SDBD

Sursele de plasmă SDBD au o configurație specială a electrozilor și a dielectricului, care permite generarea plasmei doar lângă suprafața dielectricului. Datorită acestei forme, nu există restricții privind dimensiunile semințelor care pot fi expuse la plasmă. Totuși, expunerea poate fi neuniformă pentru semințele mari, deoarece doar o parte a suprafeței lor este expusă plasmei. Tratamentul poate fi considerat o combinație între unul direct și unul indirect. Aceste surse pot funcționa în aerul din jur în regim static sau, dacă sunt închise într-un vas, se poate folosi un flux controlat de aer sau alt gaz. Generarea descărcărilor SDBD necesită utilizarea unor tensiuni înalte sinusoidale, cu amplitudini între câțiva kV și zeci de kV și frecvențe de la zeci de Hz până la zeci de kHz.

Tabel 2. Parametrii surselor SDBD pentru tratamentul semințelor

Tipul de semințe	Parametrii descărcării				Referință
	Tensiu ne vârf- la-vârf	Frecvenț a	Gazul de lucru	Debit	
Grâu (<i>Triticum aestivum</i>)	15 kV	50 Hz	Aer	1 L/min	(Dobrin et al., 2015)
Grâu (<i>Triticum aestivum</i> L. cv. Eva)	20 kV	14 kHz	Aer	0 L/min	(Zahoranová et al., 2016)
Orz (<i>Hordeum Vulgare</i>)	4 kV	30 kHz	Azot, aer	N ₂ (3L/min)	(Park et al., 2018)

				amestec at cu aer (0,1 L/min, O ₂ 0.65%)	
Orz (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	20 kV	15 kHz	Aer, azot și oxigen	3 L/min	(Pet'ková et al., 2021)
Porumb (<i>Zea mays</i> L.)	20 kV	15 kHz	Aer, azot și oxigen	3 L/min	(Holubová et al., 2021)
Mazăre (<i>Pisum sativum</i> L. var. Prophet)	20 kV	14 kHz	Aer, azot, oxigen și amestec uri	3 L/min	(Tomeková et al., 2020)
Ridiche (<i>Raphanus sativus</i> , var. Icicle)	15 kV	50 Hz	Aer	1 L min ⁻¹	(Mihai et al., n.d.)
Castravete (<i>Cucumis sativus</i> L.) Ardei (<i>Capsicum annuum</i> L.)	20 kV	15 kHz	Aer ambient al	0 L/min	(Štěpánová et al., 2018)
Broccoli (<i>Brassica oleraceae</i>) Iarbă de grădină (<i>Lepidium sativum</i>)	18 kV	10 kHz	Aer ambient al	0 L/min	(Motrescu et al., 2023)
<i>Arabidopsis thaliana</i>	8,8 kV	12 kHz	Aer ambient al	0 L/min	(Waskow et al., 2021c)

II.4. Surse de plasmă cu descărcare corona

Descărcarea de tip corona folosește cel puțin un electrod cu vârf ascuțit sau margine subțire. În jurul acestui electrod, liniile de câmp electric sunt foarte dense. Descărcările corona sunt numite după forma electrozilor: vârf-plan, vârf-vârf, fir-

plan, fir-cilindru. Aceste descărcări pot apărea în curent continuu (CC), curent alternativ (AC) sau impulsuri de curent. Pentru a evita trecerea la un arc electric, se limitează intensitatea curentului prin mărirea distanței dintre electrozi, acoperirea electrodului cu un material izolant sau aplicarea de impulsuri scurte de înaltă tensiune. Tensiunea necesară pentru a începe descărcarea este de obicei de câțiva kV, iar frecvențele pentru sursele AC sunt de câteva zeci de Hz. Sursele de plasmă corona pentru tratarea semințelor folosesc diferite gaze, de obicei aer sau amestecuri de aer cu gaze nobile. Semințele nu sunt plasate direct în zona de descărcare, ci în zona de drift, astfel tratamentul este indirect și se face prin speciile reactive din plasmă (Nishime et al., 2022).

Tabel 3. Parametrii plamei corona pentru tratamentul semințelor

Tipul de semințe	Parametrii descărcării				Referință
	Tensiunea vârf-la-vârf	Frecvența	Gazul de lucru	Debit	
Soia (<i>Glycine max</i> L. Merr.)	10.8 până la 22.1 kV rms	60 Hz	Argon pur	2 L/min	(Zhang et al., 2017)
Soia (<i>Glycine max</i> (L. Merrill)	25 kV	50 Hz	Oxigen și nitrogen	6 L/min	(Pérez Pizá et al., 2018)
Orez (<i>Oryza sativa</i> L.)	~14 kV	700 Hz	Amestec de aer cu argon	2,5 L/min	(Khamsen et al., 2016)
Orez	7 kV	1 kHz	Amestec de aer cu argon	2 L/min	(Rongsangchaicharean et al., 2022)
Bumbac (var. Sicot 74BRF)	38 kV pentru aer 11 kV pentru argon	1 kHz	Aer și argon	1 L/min	(De Groot et al., 2018)
<i>Moringa oleifera</i>	9.35 kV	2000 Hz	Aer	0 L/min	(Ouf et al., 2022)

II.5. Jetul de plasmă la presiune atmosferică

Unul dintre cele mai mari avantaje ale jetului de plasmă la presiune atmosferică (APPJ) este că poate crea o coloană de plasmă mică, stabilă și ușor de controlat. Cea mai comună configurație folosește un tip de plasmă DBD, generată într-un tub prin care trece un gaz nobil. În jurul sau în interiorul tubului sunt montați electrozi care primesc un semnal de tensiune înaltă variabilă. Acest semnal ajută la inițierea descărcării gazului în tub, creând astfel coloana de plasmă care se extinde și în aer. Alegerea gazului este importantă pentru compoziția speciilor reactive. Un alt factor care influențează un APPJ este alegerea configurației electrozilor. Un avantaj al acestei configurații este tensiunea de aprindere mai mică. Totuși, un

dezavantaj este lipsa unui material dielectric între electrodul de putere și proba pe care se concentrează coloana de plasmă, ceea ce face sistemul vulnerabil la trecerea în regim de arc electric.

Tabel 4. Parametrii surselor APPJ pentru tratamentul semințelor

Tipul de semințe	Parametrii descărcării				Referință
	Tensiune vârf-la-vârf	Frecvența	Gazul de lucru	Debit	
Grâu (<i>Triticum aestivum</i> L.), 'Dacic' and 'Otilia'	18 kVpp	48 kHz	helium	1,5 L/min	(Burducea et al., 2023)
Dovleac (n Cucurbita pepo L., cv. Cinderella, Cucurbita maxima L., cv. Jarrahdale and Cucurbita maxima L. cv. Warty Goblin)	8 kV	6 kHz	helium sau argon	2 L/min	(Volkov et al., 2019)
Floarea soarelui (<i>Helianthus annuus</i> L.)		25 kHz	argon	4 L/min	(Sarapiron and Yu, 2021)
schinduf (<i>Trigonella foenum-graecum</i>)	16 kV	24 kHz	argon	2 L/min	(Fadhlalmawla et al., 2019)
Thuringian Mallow (<i>Lavatera thuringiaca</i> L.)	3.7 kV	17 kHz	amestec de helium cu nitrogen	1,6 L/min de helium cu 0,03 L/min de azot	(Pawlat et al., 2018)

III. Tehnici de diagnoză a plasmelor non-termice la presiune atmosferică în timpul expunerii semințelor

După cum s-a discutat în primul capitol, descărcarea dielectrică de barieră este des folosită în tratamentul semințelor și inițierea reacțiilor chimice la temperaturi scăzute. Experimentele pentru această teză de doctorat au folosit o sursă de plasmă bazată pe o descărcare cu barieră dielectrică de volum (VDBD) la presiune atmosferică, adaptată pentru semințe. Detaliile sursei sunt prezentate în Figura 4. Un electrod plan din bandă adezivă de aluminiu, cu diametrul de 55 mm, a fost lipit pe o placă Petri din sticlă. Al doilea electrod este o grilă transparentă din

oțel inoxidabil, cu fir de 1 mm și ochiuri pătrate de 7 mm. Distanța dintre grilă și dielectric poate fi ajustată la 5 mm sau 3 mm cu distanțiere din teflon. O pompă uscată extrage continuu gazul reactiv din reactorul DBD la un debit constant de 20 mL/min, folosind tuburi de silicon (0,4 cm diametru interior, 50 cm lungime). Această prelevare minimizează fluctuațiile curentului de descărcare cauzate de presiune. Ansamblul este acoperit cu un capac de plastic, care permite aerului să intre. Descărcarea are loc la presiune atmosferică, folosind curent alternativ (AC) cu tensiune sinusoidală de până la 20 kV (vârf-la-vârf) la 50 Hz.

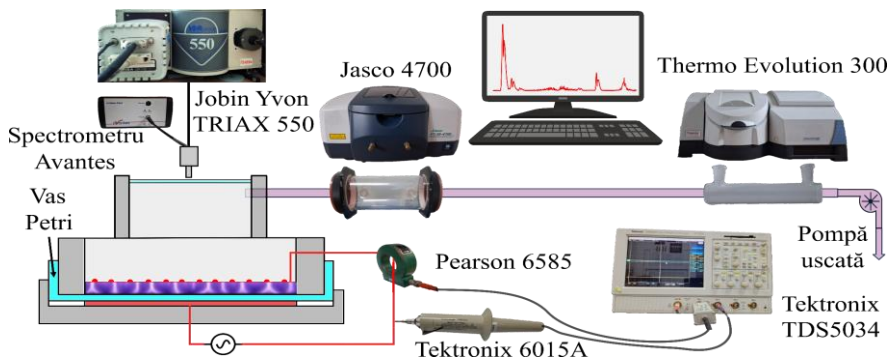


Figura 4. Aranjamentul dispozitivelor utilizate în cadrul experimentelor

Gazul este mai întâi trimis într-o celulă cu capete transparente pentru infraroșu (IR), cu o singură trecere de 10 cm, aflată în spectrometrul FTIR. Apoi, gazul trece printr-un tub de silicon de 2,5 m către o celulă de cuarț (cu o lungime optică de 10 cm și un diametru de 2 cm) în spectrofotometrul UV-Vis. Spectrele au fost înregistrate în trei momente diferite pentru a analiza schimbările chimice: înainte de tratament, în timpul expunerii la plasmă și după tratament. Gazul de la sursa DBD trece prin celula IR, apoi prin celula UV și este evacuat din laborator, reducând fluctuațiile semnalului de fond cauzate de specii reactive rămase. Acest aranjament menține stabilitatea condițiilor inițiale pentru calibrarea echipamentului. Pentru a obține date despre cum se generează și consumă speciile reactive, s-au făcut măsurători spectroscopice timp de 20 de minute cât a funcționat descărcarea. Un spectru complet se obține în 115 secunde, permițând o analiză detaliată timp de 20 de minute, cu o scanare nouă la fiecare două minute. În total, s-au înregistrat 10 scanări spectrale distincte cu cele două instrumente. Măsurătorile au continuat după oprirea sursei de plasmă pentru a observa scăderea concentrației speciilor reactive cu durată lungă de viață, fie prin recombinație, fie prin îndepărtare din sistem prin pompare. Producția de specii reactive este foarte sensibilă la schimbările de umiditate și temperatură (Dascalu et al., 2021; Moiseev et al., 2014). S-au făcut trei experimente independente cu aceiași parametri pentru a verifica reproducibilitatea. Temperatura medie în laborator a fost de 22°C, iar umiditatea relativă de 35%, dar experimentele au avut loc în zile diferite. Rezultatele sunt prezentate ca valori medii din cele trei experimente, împreună cu abaterea standard.

Spectroscopia optică de emisie (OES) este o tehnică de diagnoză neinvazivă a plasmăi, utilizată pentru sursele de plasmă la presiune joasă sau atmosferică. Configurația experimentală implică colectarea și analiza luminii emise de plasmă în UV, vizibil și NIR. Studiile arată că temperatura semințelor rămâne sub 60°C, evitând deteriorarea termică. Factorii care influențează acest echilibru includ configurația electrozilor, puterea de descărcare, tensiunea, frecvența, densitatea plasmăi, durata expunerii și compoziția gazului. Adaptarea acestor parametri la tipul de semințe este crucială, deoarece unele specii sunt mai sensibile. Temperatura în zona de descărcare a fost monitorizată prin două metode pentru verificarea echilibrului termic local pentru descărcarea cu barieră dielectrică. Prima metodă a utilizat un senzor de temperatură cu fibră optică (Opsens OTG-MPK5) introdus prin electrodul tip grilă. Sondele nu sunt afectate de tensiunea înaltă și interferențele electromagnetice, asigurând măsurători precise (Archambault-Caron et al., 2015; Wertheimer et al., 2012). Vârful sondei de 0,5 mm a fost plasat în zona de descărcare, permițând înregistrarea temperaturii datorită timpului de răspuns rapid ($< 0,2$ s) și preciziei ($\pm 0,3^\circ\text{C}$). În a doua metodă, temperatura a fost calculată folosind măsurători spectroscopice cu monocromatorul Jobin Yvon TRIAX 550 pentru spectre ale benzii de azot la 337 nm, procesate cu software-ul Massive OES (Voráč et al., 2017). Spectroscopia optică de emisie în timp real a evaluat stabilitatea proceselor de emisie din sursa DBD, monitorizând intensitatea benzilor emise de azotul molecular în UV. Au fost identificate capete de bandă pentru tranziții la 315,9 nm, 337,1 nm, 357,6 nm și 375,5 nm (Lofthus and Krupenie, 1977). Intensitățile benzilor spectrale au rămas neschimbate în timpul experimentelor, sugerând stabilitatea descărcării pentru reproducerea proprietăților plasmăi controlate prin parametrii electrice. Spectroscopia FTIR folosește radiații infraroșii pentru analiza probelor prin excitarea legăturilor chimice. Gazul a fost transportat printr-un tub de silicon (diametru 0,4 cm, lungime 50 cm) către o celulă IR (lungime 10 cm, diametru 4 cm, ferestre ZnSe) plasată în spectrometru. Spectrele FTIR au fost înregistrate între 4000 cm^{-1} și 500 cm^{-1} , cu o rezoluție de 4 cm^{-1} . Gazul a fost evacuat după celula IR pentru a preveni fluctuațiile semnalului, menținând condițiile inițiale ca referință. Am detectat principalele gaze în spectrele IR: ozon (O_3), dioxid de carbon (CO_2) și protoxid de azot (N_2O) (Dascalu et al., 2021; Kyzek et al., 2019; Sakiyama et al., 2012; Tomeková et al., 2020; Waskow et al., 2021c). Măsurătorile s-au concentrat pe CO_2 ($2411\text{--}2267\text{ cm}^{-1}$), N_2O ($2267\text{--}2171\text{ cm}^{-1}$) și O_3 ($1083\text{--}969\text{ cm}^{-1}$, $2151\text{--}2046\text{ cm}^{-1}$). Din cauza debitului mic (20 mL/min) și distanței de 50 cm, datele cinetice au fost ajustate pentru timpul de tranzit al gazului.

Analiza cantitativă folosind spectrele de absorbție UV-Vis măsoară concentrația moleculelor. Această metodă a fost aleasă pentru studierea speciilor reactive de oxigen în gaz și evoluția lor. Concentrația de ozon (O_3) a fost monitorizată în timpul descărcării DBD, folosind spectroscopia de absorbție UV-Vis. Pentru măsurători s-a folosit un spectrofotometru UV-Vis model Thermo Evolution 300 (Figura 4) cu o celulă de gaz din cuarț de 10 cm. Gazul a fost transportat printr-un tub de silicon (0,4 cm diametru interior, 50 cm lungime) către

celula de absorbție UV pentru analize. Secțiunea transversală de absorbție (σ) este un parametru din legea Lambert - Beer ce descrie atenuarea luminii monocromatice într-un mediu absorbant omogen (Keller-Rudek et al., 2013). Această lege fundamentală se folosește în spectroscopie pentru determinarea concentrațiilor moleculare și este exprimată exponențial:

$$A_{ln} = \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\sigma nd \text{ și } A_{ln} = 2,3A_{10} \quad (1)$$

unde: A_{ln} este absorbanta naturală, A_{10} este absorbanta zecimală, I_0 reprezintă intensitatea fasciculului incident, I reprezintă intensitatea fasciculului transmis, n este densitatea moleculei care absoarbe (în molecule/cm³), d este drumul optic (exprimat în cm), σ este secțiunea transversală de absorbție, definită ca suprafața efectivă pe care o singură moleculă o prezintă pentru absorbția fotonilor incidenți (exprimată tipic în cm²). Semnul negativ indică faptul că intensitatea luminii transmise scade ca urmare a absorbției de către moleculele din sistem.

Densitatea n_{O_3} a moleculelor de ozon absorbante din celula UV a fost evaluată prin integrarea spectrului de absorbție pe banda centrată pe 254 nm. Valorile secțiunii transversale de absorbție au fost obținute din MPI-Mainz UV/Vis Spectral Atlas (Keller-Rudek et al., 2013). Am selectat valorile determinate la temperatura de 295 K (Brion et al., 1993), în intervalul 200-340 nm, regiune specifică pentru moleculele de ozon. Pentru drumul optic de 10 cm, densitatea moleculelor de ozon absorbante calculată din spectrele de absorbție devine:

$$n_{O_3} = 4.584 \cdot 10^{14} \int_{200}^{340} A_{10} d\lambda \quad (2)$$

Valorile concentrației obținute în molecule/cm³ au fost convertite în ppm pentru compararea cu alte studii publicate.

IV. Efecte fizice, chimice și biologice după acțiunea directă a plasmelor asupra semințelor de plante

IV.1. Expunerea semințelor de crăițe la acțiunea plasmelor

Un prim studiu din teza de doctorat a analizat tratamentul semințelor de flori - crăițe Petite Yellow (*Tagetes erecta*). Aceste semințe au fost expuse direct la plasmă (Figura 5) pentru a vedea cum afectează plasma germinarea și cum se comportă semințele tratate în apă sărată. Parametrii pentru sursa de plasmă au fost: tensiunea de 15,5 kV sau 18,5 kV și durata de expunere de 2 sau 5 minute.



Figură 5. Tratarea semințele de crăițe "Petite Yellow".

După tratament, semințele au fost puse în vase Petri (25 de semințe pe vas), pe hârtie de filtru, la 22°C, și au fost observate timp de 6 zile. Semințele au fost udate cu soluție de clorură de sodiu (NaCl) de 0,05 M și 0,1 M. Pentru proba martor, s-au folosit 80 de semințe, iar pentru fiecare set de condiții experimentale s-au tratat câte 80 de semințe. În total, 320 de semințe au fost tratate cu plasmă, conform schemei din Figura 6.

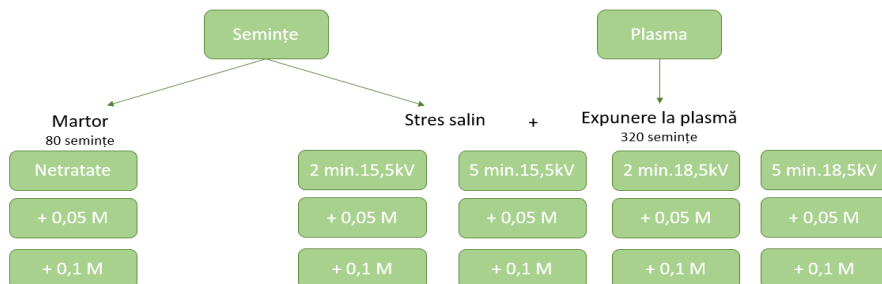


Figura 6. Prezentare condițiilor de tratament cu plasmă a semințelor de crăițe "Petite Yellow"

Tabel 5. Formulele utilizate pentru a determina parametrii de germinare după expunerea semințelor de crăițe "Petite Yellow" la acțiunea plasmei (Kader, 2005).

Parametrii de germinare	Simbol	Unitate de măsură	Formula de calcul	Descrierea formulei
Procentul final de germinare	FGP	%	Numărul final de semințe germinate dintr-	

			un lot de semințe x 100	
Timpul mediu de germinare	MGT	Zile	$\Sigma \frac{f \cdot x}{f}$	f = semințele germinate în ziua x
Coeficientul vitezei de germinare	CVG	-	$\frac{N_1 + N_2 + \dots + N_x / 100}{N_1 T_1 + \dots + N_x T_x}$	N = numărul de semințe germinat în fiecare zi; T = numărul de zile de la însămânțare corespunzătoare lui N;
Indicele ratei de germinare	GRI	%/Zile	$\frac{G_1 / 1 + G_2 / 2 + \dots + G_x / x}{x}$	G ₁ = procentul de germinare x 100 în prima zi după însămânțare

Tabel 6. Rezultatele studiului de expunere a semințelor de crăițe "Petite Yellow" la acțiunea plasmei.

Condiții germinare semințe	Număr de semințe	Număr de semințe germinate	GRI (%/Zi)	MGT (Zi)	CVG	FGP (%)
Netratate	75	49	86,42	2,59	38,58	65,33
0,1M NaCl		41	54,71	3,20	31,30	54,67
0,05M NaCl		49	71,58	2,92	34,27	65,33
2 min. 15,5kV	75	57	136,69	2,05	48,72	76,00
2 min. 15,5kV+0,1 M NaCl		52	77,62	2,94	33,99	69,33
2 min. 15,5kV+0,05 M NaCl		63	146,04	2,00	50,00	84,00

5 min. 15,5kV	75	58	168,53	1,40	71,60	77,33
5 min. 15,5kV+0,1 M NaCl		60	108,09	2,67	37,50	80,00
5 min. 15,5kV+0,05 M NaCl		63	132,60	2,22	45,00	84,00
2 min. 18,5kV	75	59	113,07	2,56	39,07	78,67
2 min. 18,5kV+0,1 M NaCl		42	57,44	3,24	30,88	56,00
2 min. 18,5kV+0,05 M NaCl		51	80,29	2,90	34,46	68,00
5 min. 18,5kV	75	59	118,69	2,22	45,04	78,67
5 min. 18,5kV+0,1 M NaCl		53	91,31	2,55	39,26	70,67
5 min. 18,5kV+0,05 M NaCl		55	112,07	2,16	46,22	73,33

IV.1.1. Monitorizarea speciilor reactive din plasmă prin spectroscopie de absorbție în IR, pe durata expunerii semințelor de crăițe

Semințele de crăițe au fost expuse 2 minute, iar monitorizarea speciilor reactive s-a făcut cu spectroscopie FTIR timp de 6 minute. Primele 2 minute au fost pentru spectrul pre-experiment, următoarele 2 pentru spectrul din timpul expunerii la plasmă, iar ultimele 2 pentru spectrul post-descărcare. La 15,5 kV, spectrul FTIR a arătat CO₂ între 2411-2267 cm⁻¹, N₂O între 2267-2171 cm⁻¹ și O₃ între 1083-969 cm⁻¹ și 2151-2046 cm⁻¹. La aceeași expunere, dar la 18,5 kV, s-au observat și alte specii, cum ar fi HNO₂, cu suprapunerea benzii N₂O cu HNO₂ între 1330-1210 cm⁻¹. În pasul următor, s-a analizat efectul prelungirii tratamentului la 5 minute la tensiunile de 15,5 kV (Figura 7) și 18,5 kV. Speciile reactive au fost monitorizate prin FTIR timp de 10 minute, cu 2,5 minute pre-experiment, 5 minute în timpul expunerii și 2,5 minute post-descărcare.

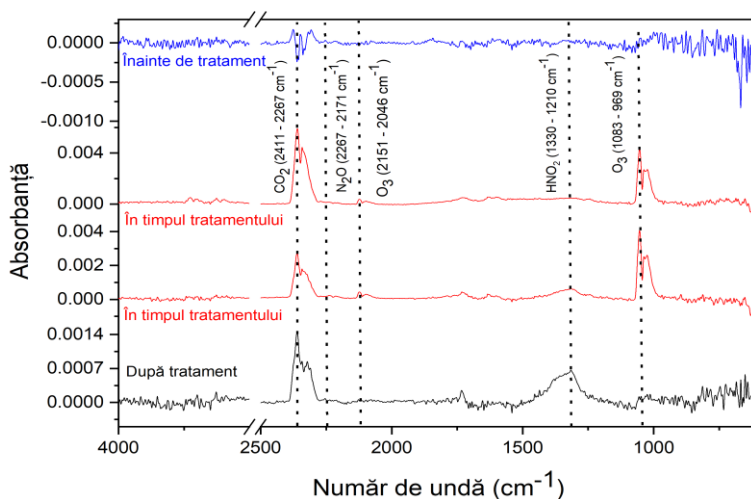


Figura 7. Spectrele de absorbție FTIR pentru 5 minute de tratament la 15,5 kV în cazul semințelor de crăițe.

Din analiza spectrelor FTIR, se vede că atât prelungirea timpului de tratament, cât și creșterea tensiunii aplicate schimbă rata proceselor chimice din plasma DBD. Acest lucru duce la formarea unor concentrații mai mari de specii reactive. Aceste efecte similare arată că ambii factori influențează direct reacțiile chimice din plasmă și de pe suprafața semințelor.

IV.1.2. Efecte asupra cineticii de germinare

Spre deosebire de semințele netratate, care au o rată de germinare mai lentă și ajung la valori mai scăzute la sfârșitul perioadei de observație, semințele tratate cu plasmă germinează mai repede, indiferent de durata tratamentului, iar procentul de germinare crește în timp. În primele 24-48 de ore, germinarea este redusă, dar după 72 de ore, procentele cresc semnificativ, atingând valori maxime între 120 și 144 de ore. În prezența NaCl (0,1 M și 0,05 M), semințele netratate germinează mai încet și ating procente mai mici. Tratamentul cu plasmă contracarează acest efect, permițând semințelor tratate să atingă procente de germinare mai mari chiar și în prezența sării.

Studiul privind efectul diverselor tratamente asupra germinării semințelor de crăițe "Petite Yellow" indică faptul că tratamentul cu plasmă timp de 5 minute îmbunătățește rata de germinare. Acest efect este mai pronunțat între 48 și 96 de ore, unde tratamentele cu plasmă, în special la 18,5 kV (Figura 9 și 11), accelerează procesul de germinare. Tratamentele de 2 minute la 15,5 kV (Figura 8 și 10) au avut cel mai redus efect benefic asupra germinării.

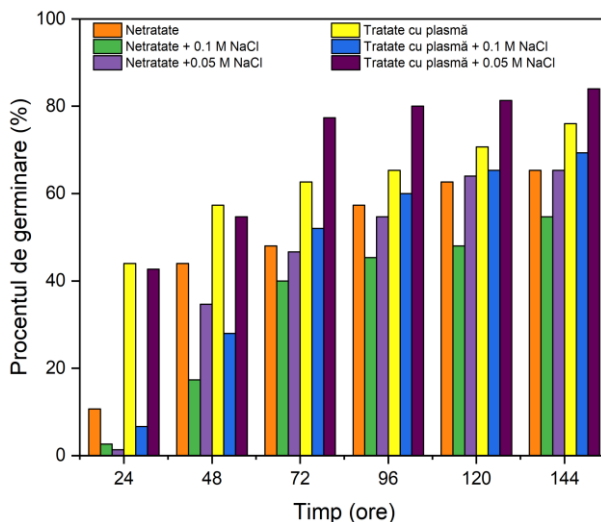


Figura 8. Procentul de germinare a semințelor de crăițe după 2 minute de tratament DBD, la 15,5 kV.

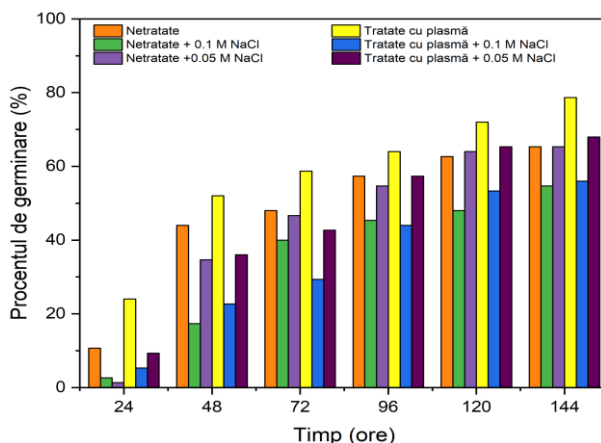


Figura 9. Procentul de germinare a semințelor de crăițe după 2 minute de tratament DBD, la 18,5 kV.

Tratamentele cu plasmă facilitează germinarea rapidă a semințelor, în special la tensiuni și durate mai mari. Stresul salin încetinește procesul de germinare; cu toate acestea, tratamentele cu plasmă atenuează acest efect negativ. Semințele netratate și expuse la NaCl (0,1 M și 0,05 M) prezintă o germinare mai dificilă comparativ cu semințele tratate cu plasmă. Tratamentul cu plasmă îmbunătățește capacitatea semințelor de a rezista stresului salin.

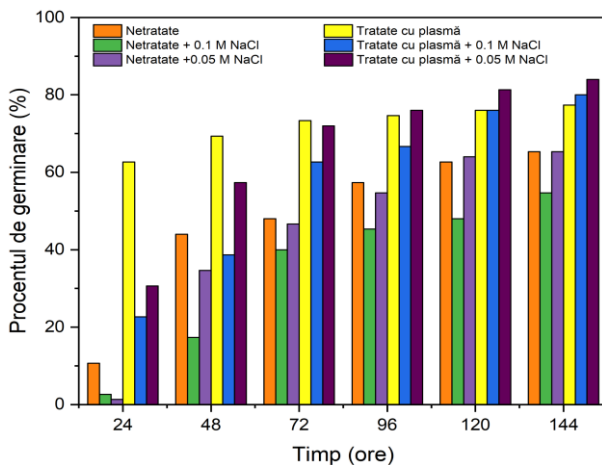


Figura 10. Procentul de germinare a semințelor de crăițe după 5 minute de tratament DBD, la 15,5 kV.

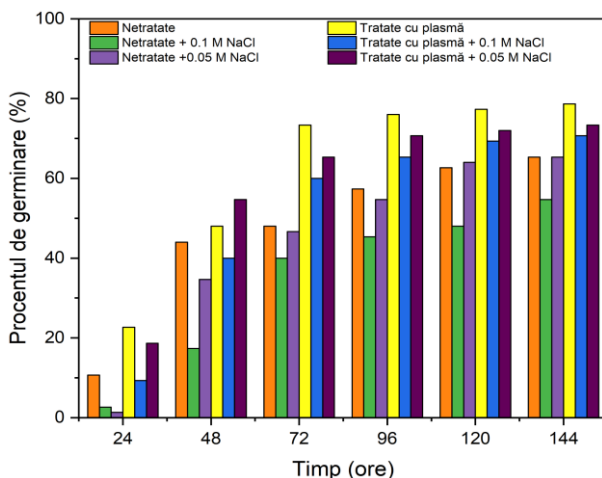


Figura 11. Procentul de germinare a semințelor de crăițe după 5 minute de tratament DBD, la 18,5 kV.

Aceste constatări sugerează că plasma poate fi utilizată pentru a optimiza agricultura pe soluri sărate. Tratamentele de 5 minute la 18,5 kV determină o germinare rapidă și eficiență a semințelor, atingând procente ridicate într-un interval de timp mai scurt (între 72 și 96 de ore). La 15,5 kV și 2 minute, creșterea este mai lentă, iar diferențele față de semințele netratate nu sunt evidente în primele 72 de ore.

IV.2. Expunerea semințelor de grâu și quinoa la acțiunea plasmiei

Înainte de tratamente, s-a dorit asigurarea că rezultatele vor fi aceleași. Principalul obiectiv a fost crearea unei metode pentru verificarea așezării semințelor

în vasul Petri. S-a urmărit obținerea unui aranjament constant al electrozilor, dielectricului și semințelor, considerând că semințele pot varia biologic în cadrul aceleiași specii sau între specii. Înainte de experiment, semințele au fost așezate fără suprapunere și în contact cu vasul Petri (Figura 12). Alți autori (Dufour et al., 2021) au discutat despre importanța contactului dintre semințe și plasmă. S-a folosit iluminare pentru fotografierea semințelor din vasul Petri în aceleași condiții. Pozele au fost importate și procesate cu programul ImageJ (Schneider et al., 2012): s-a delimitat zona din interiorul spațiatorului inelar, imaginea a fost transformată în alb-negru și conturul fiecărei semințe a fost recunoscut automat. Mai jos este prezentată secvența de procesare a imaginilor pentru semințele de grâu (*Triticum spelta*):

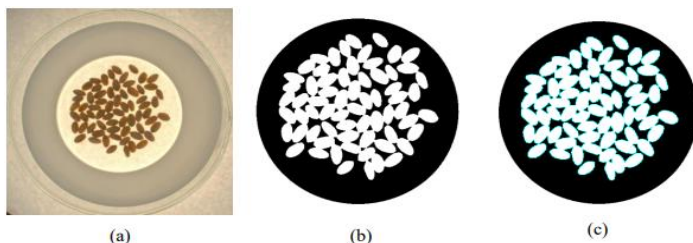


Figura 12. Secvența de procesare a imaginilor obținute a semințelor pentru a determina gradul de acoperire pentru semințele de grâu (*Triticum spelta*)

Gradul de acoperire a fost calculat scăzând aria totală a semințelor de grâu (*Triticum spelta*) din aria totală a cercului și exprimând rezultatul în procente. Valorile gradului de acoperire au fost corelate cu numărul mediu de semințe din vas: 40% corespunde la 66 de semințe (Figura 13 (a)), 50% corespunde la 82 de semințe (Figura 13 (b)) și 60% corespunde la 99 de semințe (Figura 13 (c) și (d)).

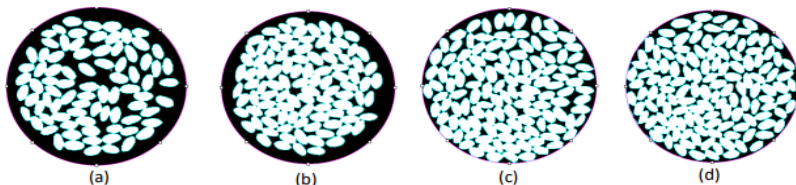


Figura 13. Imagini obținute în urma utilizării programului Image J și determinarea gradului de acoperire: (a) 40%, (b) 50% și (c), (d) 60% pentru semințele de grâu (*Triticum spelta*)

Semințele de quinoa (*Chenopodium Quinoa* cv. Titicaca) au fost păstrate la 3-5°C pentru a-și menține valorile nutritive. În ziua experimentului, au fost aduse la temperatura camerei, fotografiate și apoi expuse la plasmă și s-a urmat schema de expunere prezentată în Figura 14. S-a ales un grad de acoperire de 60% în vasul Petri, adică 1,6 grame de semințe (Figura 15):

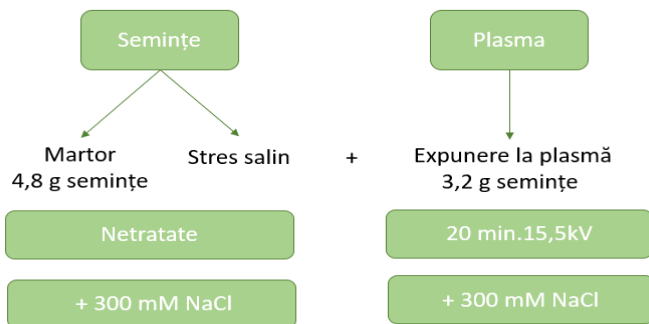


Figura 141. Prezentare condițiilor de tratament cu plasmă al semințelor de quinoa (*Chenopodium Quinoa* cv. Titicaca)

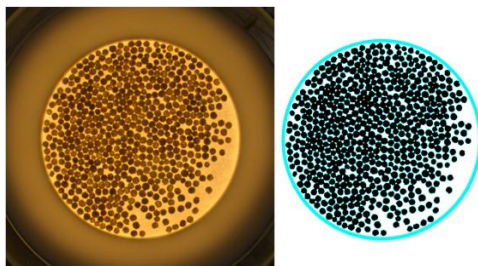
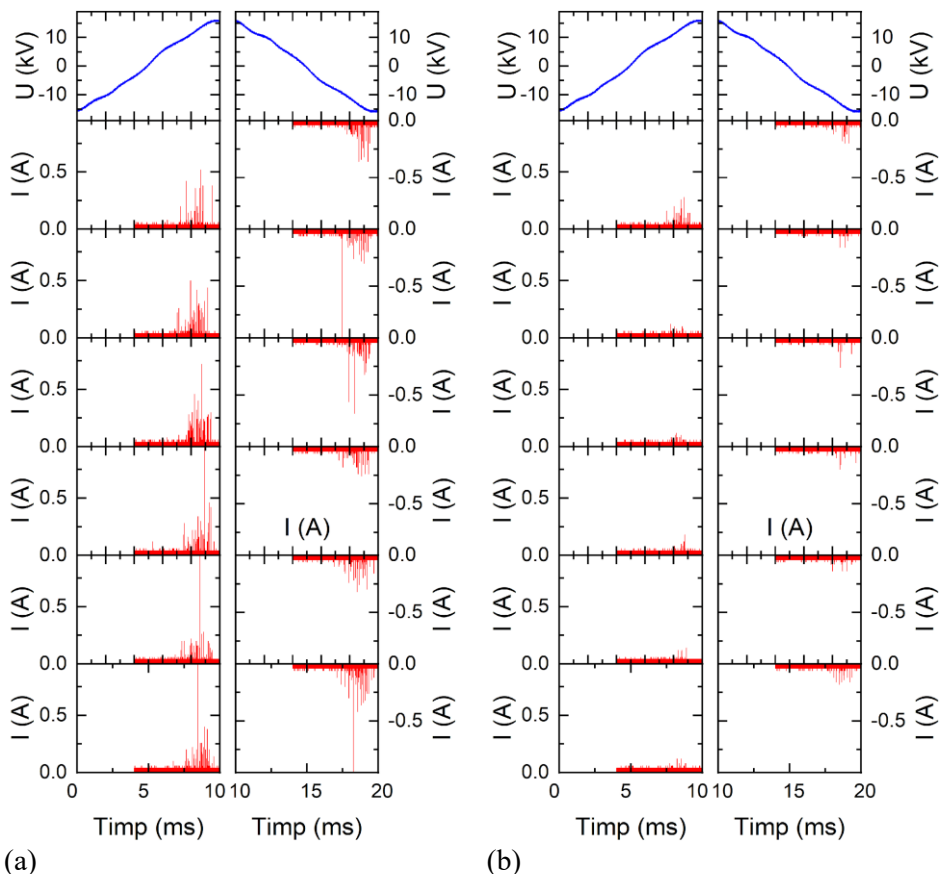


Figura 15. Secvența de procesare a imaginilor semințelor în vederea determinării gradului de acoperire pentru semințele de quinoa.

IV.2.1. Analiza curentului de descărcare

Caracterizarea electrică a DBD este importantă pentru a înțelege factorii care îi afectează eficiența. Sistemele DBD sunt de obicei alimentate cu tensiune înaltă alternativă, având forme de undă sinusoidale, pătrate sau dinți de fierăstrău. Formele sinusoidale sunt cele mai comune și au o creștere și scădere treptată a tensiunii, ceea ce ajută la menținerea stabilității descărcării. Curentul de descărcare are multe impulsuri scurte, care corespund descărcărilor individuale și pot fi aproape periodice. În DBD cu semințe, alimentat de un semnal sinusoidal de tensiune înaltă, curentul are impulsuri scurte, grupate în pachete (August et al., 2024; Benabderrahim et al., 2024; Judée and Dufour, 2020). În studiile noastre, am observat modul filamentar de funcționare a DBD în aer, cu un pachet de impulsuri de curent pentru fiecare creștere și scădere a tensiunii înalte. Analiza impulsurilor individuale arată că acestea sunt foarte ascuțite și variază în intensitate și durată, fiind influențate de condițiile de funcționare, compoziția gazului, caracteristicile spațiului de descărcare, prezența și tipul semințelor, precum și numărul acestora. Câteva serii de forme de curent tipice pentru sursa DBD în aer, cu și fără semințe de grâu și quinoa, sunt prezentate în Figura 17 și Figura 18.



(a) (b)
 Figura 17. Forme tipice ale curentului de descărcare achiziționate la fiecare 3 minute, pe flancul de creștere și respectiv de scădere pentru un spațiu de descărcare de 5 mm, fără semințe (a) și cu semințe de grâu (b).

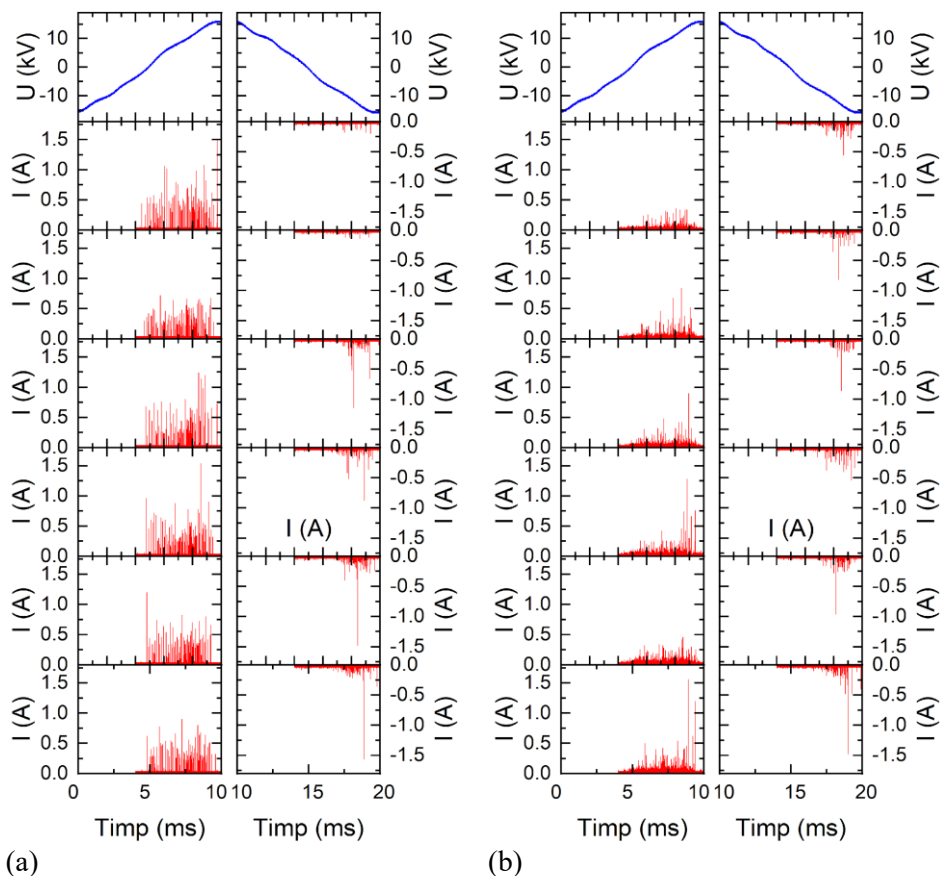


Figura 18. Forme tipice ale curentului de descărcare achiziționate la fiecare 3 minute, pe flancul de creștere și respectiv de scădere pentru un spațiu de descărcare de 5 mm, fără semințe (a) și cu semințe de quinoa (b).

Numărul și amplitudinea curentului microdescărcărilor în timpul creșterii și scăderii tensiunii AC în timpul operării sursei de plasmă fără semințe și cu semințe au fost analizate statistic utilizând funcția normală a densității de probabilitate (Figura 19. și Figura 20.).

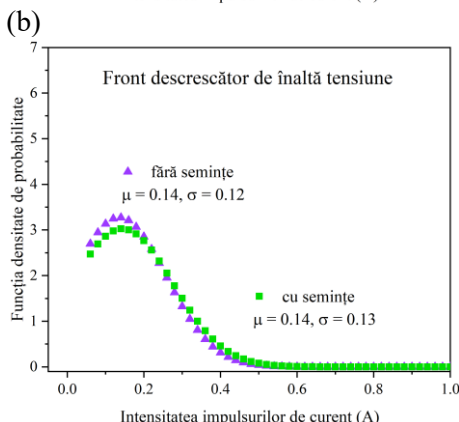
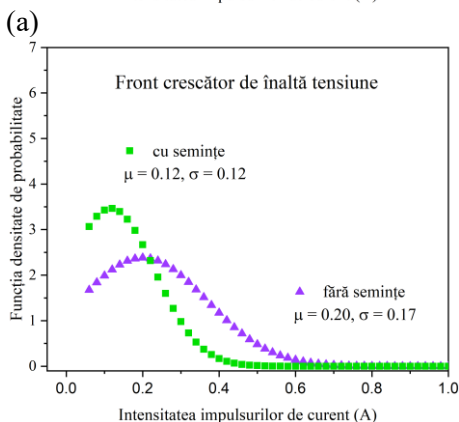
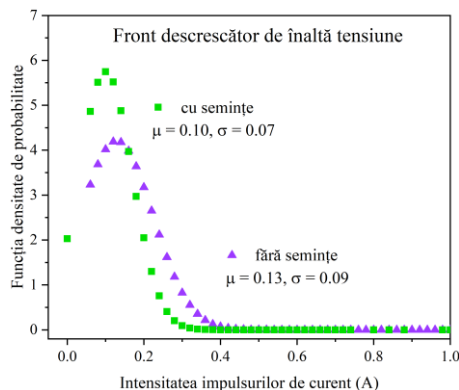
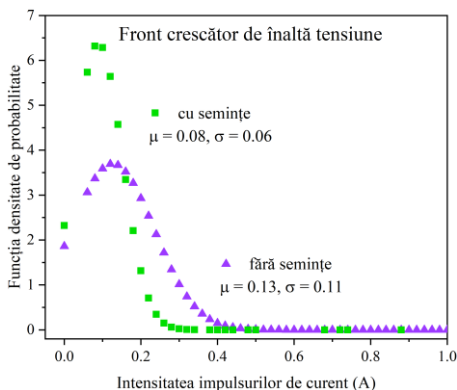
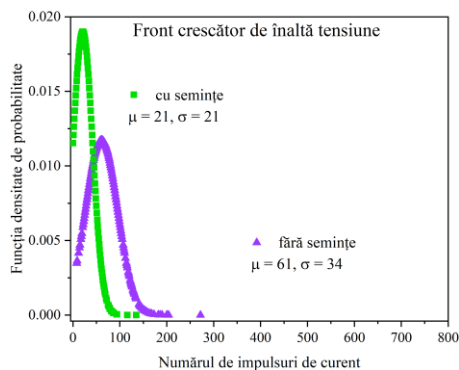
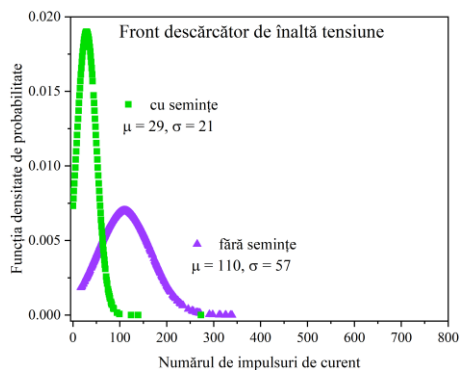


Figura 19. Densitatea de probabilitate a amplitudinii impulsurilor de curent specifice microdescărcărilor în timpul creșterii și respectiv, scăderii tensiunii pentru semințe de grâu (a), (b) și semințe de quinoa (c), (d).

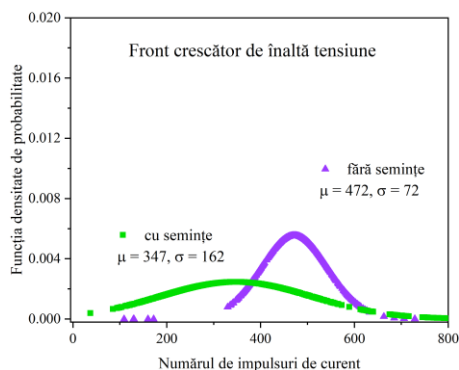
Numărul de microdescărcări scade când dielectricul din sticlă DBD este parțial acoperit cu semințe, atât la creșterea, cât și la scăderea tensiunii alternative. După adăugarea semințelor, intensitatea impulsurilor de curent scade în timpul creșterii forme de undă HV, dar rămâne similară în timpul scăderii. Diferențele în numărul și intensitatea impulsurilor de curent când semințele sunt prezente se explică prin schimbările în circuitul electric echivalent. Acestea includ mai mulți condensatori imperfecti pentru fiecare sămânță și schimbări în coeficientul de emisie a electronilor secundari, datorită materialelor care intră în contact cu plasma, sticla și straturile exterioare ale semințelor. De asemenea, desorbția gazelor din semințe, care poate crește local prin căldură de la filamentele de plasmă, schimbă caracteristicile electrice ale sursei de plasmă cu semințe.



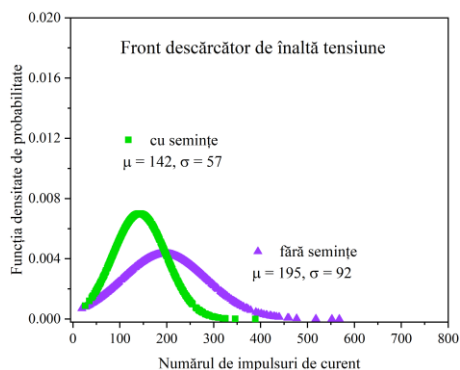
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 20. Densitatea de probabilitate a numărului impulsurilor de curent specifice microdescărcărilor în timpul creșterii și respectiv, scăderii tensiunii pentru semințe de grâu (a), (b) și semințe de quinoa (c), (d).

IV.2.2. Monitorizarea spectrului optic de emisie

Spectroscopia optică de emisie a fost folosită pentru verificarea stabilității radiației UV emise de plasmă timp de 20 minute, prin achiziții de 115 secunde la fiecare două minute. Spectrul de emisie (Figura 21) arată benzi ale azotului molecular excitat, similar cu rezultatele anterioare despre plasma filamentară DBD în aer de la centrul IPARC (Rusu et al., 2018; Stache et al., 2023). Spectrul prezintă benzi de emisie ale moleculei de azot (N_2) între 315 nm și 405 nm, caracteristice celui de-al doilea sistem pozitiv ($C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$). Etichetarea folosește perechi (v' , v''), unde v' este nivelul excitat și v'' nivelul inferior de oscilație. Cele mai intense benzi sunt pentru tranzițiile (0,0) la 337 nm. Alte benzi sunt: (1,0) la ~315 nm, (2,1) la ~317 nm; (1,2) la ~357 nm, (0,1) la ~360 nm; (2,4) la ~375 nm, (1,3) la ~380 nm, (0,2) la ~385 nm; (3,6) la ~405 nm, (1,4) la ~400 nm, (0,3) la ~395 nm. Se observă o scădere a intensității benzilor în spectrul DBD cu semințe față de cel

fără semințe, explicabilă prin: absorbția radiației de către semințe, schimbarea proceselor din plasmă și competiția cu alte specii chimice din semințe care influențează dinamica plasmei.

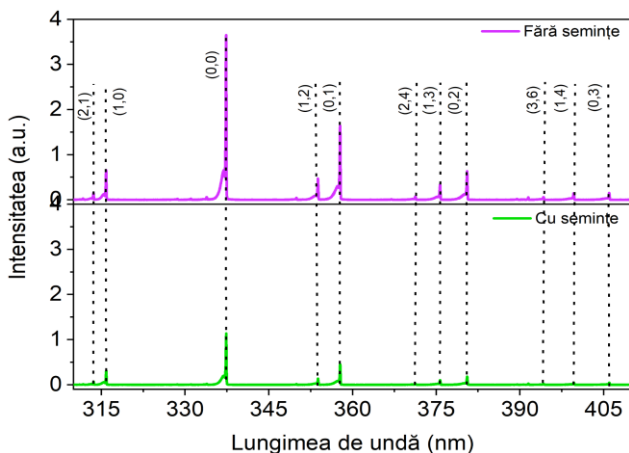


Figura 21. Spectre OES tipice obținute în timpul funcționării sursei de plasmă, fără și cu semințe de quinoa; sunt indicate benzile caracteristice ale celui de-al doilea sistem pozitiv al azotului molecular.

În timpul celor 20 de minute de funcționare a descărcării, s-a observat că intensitățile unor benzi cu capete la 315,9 nm, 337,1 nm, 357,6 nm și 375,5 nm au rămas stabile. Aria spectrului integral a fost mediată pentru toate condițiile experimentale, cu și fără semințe, pe toată durata tratamentului, iar rezultatele sunt prezentate în (Figura 22). Semințele influențează plasma, reducând intensitatea benzilor de emisie ale azotului molecular, sugerând o schimbare a parametrilor plasmei și a condițiilor de excitare. Datele pentru creșterea și scăderea semnalului de înaltă tensiune pot fi comparate pentru a verifica consistența funcționării sursei de plasmă. În experimente independente, intensitatea integrală a benzilor din spectrul de emisie este similară pentru două distanțe ale descărcării (3 mm și 5 mm) și indiferent de prezența semințelor.

Sursa de plasmă DBD folosită în aceste studii își păstrează stabilitatea spectrului de radiații UV emise atunci când sunt tratate semințele. Totuși, parametrii electrici se schimbă și valoarea totală a spectrului emis de azotul molecular scade cu peste 50% față de situația în care DBD funcționează fără semințe. Această scădere este observată pentru toate benzile spectrale monitorizate.

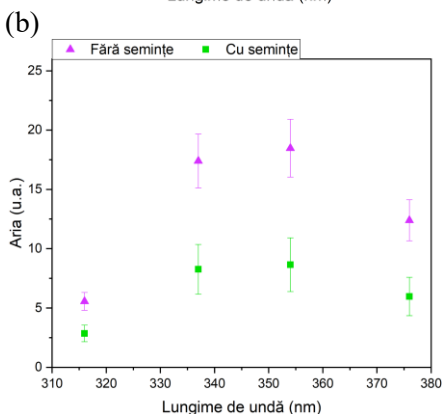
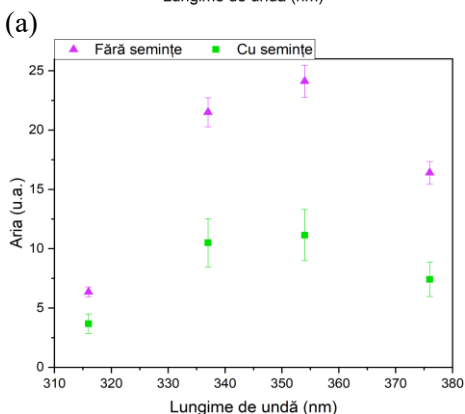
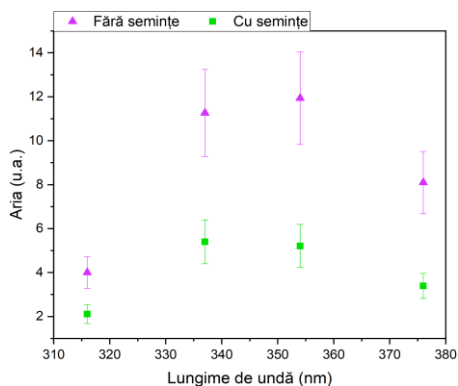
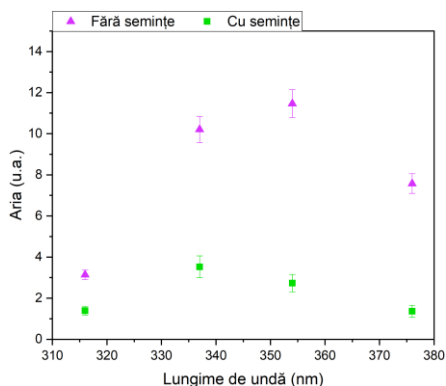


Figura 22. Media valorii integrate a spectrelor azotului molecular pe întreaga durată de tratament, comparând condițiile cu și fără semințe de grâu (a), (b) și quinoa (c), (d) pe frontul de creștere (a), (c) respectiv scădere (b), (d) a tensiunii.

IV.2.3. Monitorizarea temperaturii globale și a temperaturii de rotație a azotului molecular

În 20 de minute de funcționare a sursei DBD, temperatura gazului măsurată cu un senzor cu fibră optică crește de la temperatura camerei la aproximativ 30°C pentru semințele de grâu și la aproximativ 40°C pentru semințele de quinoa. Această creștere este rapidă în primele 5 minute, apoi se stabilizează. Temperatura de rotație a fost calculată pe baza unei tranziții specifice a moleculei de azot, observată la 337,1 nm. Valorile temperaturii de rotație ale moleculelor de azot variază mult, datele fiind dispersate în jurul valorilor oferite de senzorul cu fibră optică. Introducerea semințelor schimbă regimul termic al plasmei, efectul fiind mai puternic pentru quinoa decât pentru grâu. Metoda cu fibră optică oferă măsurători mai stabile, în timp ce spectrele de rotație variază mai mult, dar oferă informații suplimentare despre dinamica plasmei. Figura 23 și Figura 24 compară rezultatele celor două tipuri de măsurători, arătând modificările cauzate de prezența semințelor.

Se evidențiază supraestimarea temperaturii reale a gazului prin presupunerea că temperatura de rotație este egală cu temperatura gazului în cazul operării sursei DBD în regim filamentar.

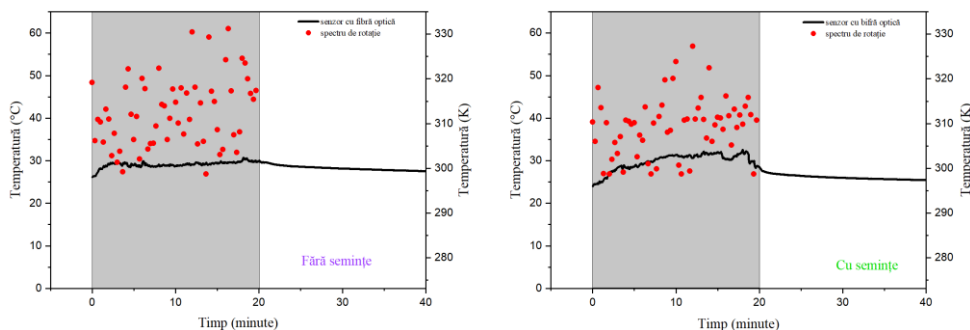


Figura 23. Rezultate comparative privind temperatura de rotație și temperatura gazului măsurate cu termometrul cu fibră optică comparând condițiile cu și fără semințe de grâu.

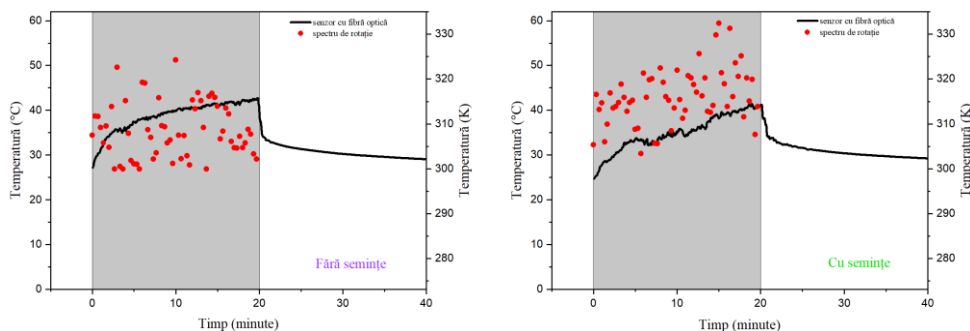


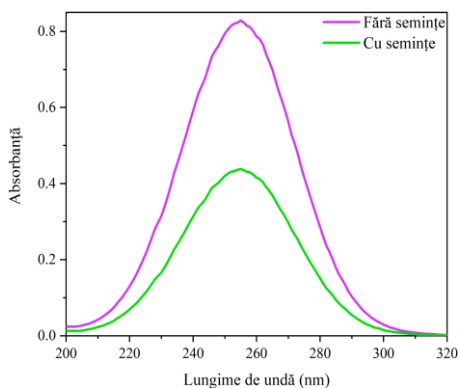
Figura 24. Rezultate comparative privind temperatura de rotație și temperatura gazului măsurate cu termometrul cu fibră optică comparând condițiile cu și fără semințe de quinoa.

Atunci când semințele de grâu sunt introduse în plasmă, temperatura de rotație medie crește la $(41.37 \pm 4.08) ^\circ\text{C}$, comparativ cu $(38.076 \pm 3.43) ^\circ\text{C}$ în absența semințelor (Figura 23). Pentru semințele de quinoa, temperatura crește la $(43 \pm 3) ^\circ\text{C}$, față de $(35 \pm 3) ^\circ\text{C}$ în absența acestora (Figura 24). Diferențele în valorile temperaturii și încălzirea gazului sunt legate de prezența semințelor și parametrii plasmei. Temperaturile de rotație ale moleculelor de azot variază mult, cu valori medii mai mari decât cele măsurate de senzorul cu fibră optică, ducând la supraestimarea rezultatelor. Acest lucru se datorează colectării spectrului de emisie și metodei de calcul din spectrele moleculelor. Datele reflectă doar temperatura filamentelor de plasmă cu lumină utilă pentru analiză. Senzorul cu fibră optică oferă valori pentru volumul de gaz din interior, unde echilibrul termic între regiunile cu

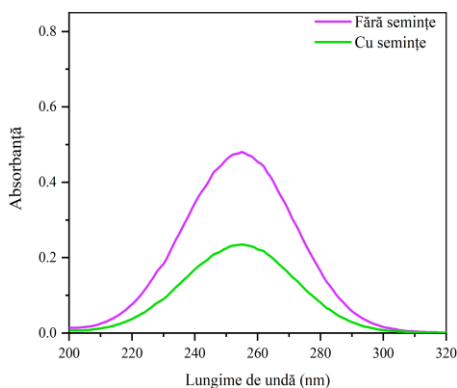
temperaturi diferite este greu de realizat. Observațiile experimentale sunt similare cu datele raportate de alți autori, folosind diverse metode: senzori cu fibră optică pentru grâu (Rusu et al., 2018), camere infraroșu pentru ridichi (Kitazaki et al., 2014), grâu (Nishime et al., 2022), orez (Hashizume et al., 2021; Khamsen et al., 2016), rapiță (Nishime et al., 2022), termometre pentru endospori pe grâu (Butscher et al., 2016), termometru infraroșu pentru grâu (Lotfy et al., 2019), termocupluri pentru *Lavatera thuringiaca* L. (Pawlat et al., 2018) și schinduf (Fadhlalmawla et al., 2019).

IV.2.4. Monitorizarea speciilor reactive din fluxul de gaze efluente prin spectroscopie de absorbție UV

Concentrația de ozon (O_3) a fost măsurată în timpul funcționării sursei DBD, cu și fără semințe, folosind banda de absorbție la 254 nm (vezi Figura 25). Banda arată o creștere rapidă a absorbției între 220-260 nm, urmată de o scădere. Rezultatele arată că absorbția scade când sunt prezente semințe de grâu sau quinoa. Pentru grâu, absorbția maximă a ozonului este de 0,5 unități, față de 0,8 unități fără semințe. Pentru quinoa, absorbția maximă este de 0,35 unități, față de 0,6 unități fără semințe, indicând că quinoa reduce mai mult concentrația de ozon. Valorile concentrației moleculelor de ozon în sursa DBD, calculate utilizând ecuația (2), sunt reprezentate în Figura 26, cu abaterea standard din măsurători independente.



(a)



(b)

Figura 25. Spectru tipic de absorbție a ozonului, caracterizat printr-o bandă largă centrată la 254 nm comparând condițiile cu și fără semințe de grâu (a) și quinoa (b).

Experimental se observă o întârziere de 10 minute până la atingerea concentrației maxime de ozon, cauzată de aranjamentul instalației și spectrofotometrului (celula de gaz este conectată printr-un tub siliconic de 1,5 m). Datele din Figura 26 sunt corectate pentru timpul de tranzit. Literatura de specialitate arată că monitorizarea in situ a ozonului în timpul descărcării de

suprafață nu prezintă întârzieri, comportamentul variind cu puterea aplicată (Shimizu et al., 2012). În perioada activă a descărcării (marcată cu gri), concentrația de ozon crește rapid (0-20 min). Fără semințe, ozonul atinge o concentrație maximă mai mare ($\sim 9 \times 10^{15}$ molecule/cm³), iar cu semințe crește mai lent până la ($\sim 4 \times 10^{15}$ molecule/cm³). După oprirea descărcării, concentrația scade mai rapid în prezența semințelor, sugerând un efect catalitic asupra degradării ozonului.

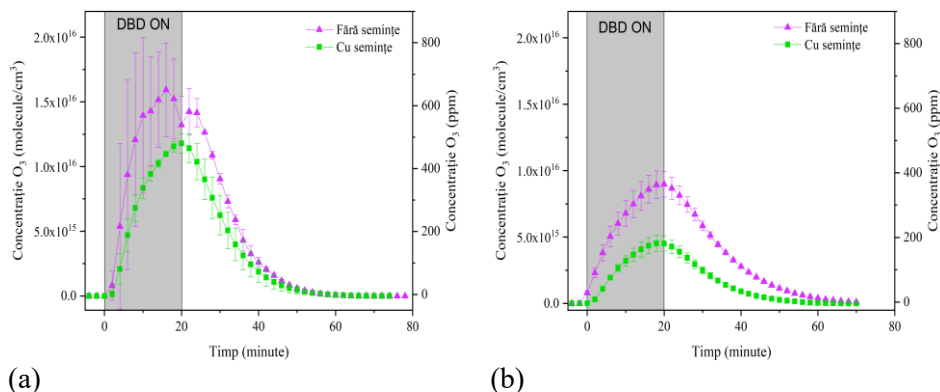


Figura 26. Concentrația de ozon evaluată din banda de absorbție centrată la 254 nm comparând condițiile cu și fără semințe de grâu (a) și quinoa (b).

Scăderea nivelului de ozon în prezența semințelor arată schimbări în procesele chimice din sursa de plasmă și interacțiuni între ozon și compușii organici de pe suprafața semințelor. Tipul de semințe și condițiile de descărcare influențează valorile maxime ale ozonului și viteza de degradare. Semințele de quinoa, la tensiune și spațiu mai mici, consumă mai mult ozon, în timp ce semințele de grâu, la parametri mai mari, permit concentrații mai ridicate. Rezultatele noastre pentru concentrația de ozon sunt similare cu cele raportate pentru alte surse de plasmă folosite la tratarea semințelor, cu frecvențe între zeci de Hz și kHz. După 30 de minute de funcționare, s-au observat următoarele concentrații de O₃: 10 ppm (Gómez-Ramírez et al., 2017), 1600 ppm (Sivachandiran and Khacef, 2017), 140 ppm (Ambrico et al., 2019), 180 ppm (Kitazaki et al., 2014) sau 750 ppm (Dascalu et al., 2021).

IV.2.5. Monitorizarea speciilor reactive din fluxul de gaze efluate prin spectroscopie de absorbție FTIR

Spectroscopia de absorbție în infraroșu a fost folosită în studii anterioare pentru a analiza specii reactive cu durată de viață mai lungă, produse în reactoarele cu plasmă pentru expunerea semințelor. Exemple de specii active în faza gazoasă studiate prin FTIR includ ozonul (O₃), oxidul nitric (NO), oxidul de azot (N₂O), dioxidul de azot (NO₂), acidul nitros (HNO₂), monoxidul de carbon (CO) și dioxidul

de carbon (CO_2) (Rusu et al., 2018; Sivachandiran and Khacef, 2017; Tomeková et al., 2020; Wang et al., 2017). Măsurătorile FTIR dinamice în gaz au arătat că după 30 de minute de funcționare a reactorului cu plasmă, N_2O a fost găsit la un nivel de 18 ppm (Sivachandiran and Khacef, 2017). Cu tuburile de detecție a gazelor, concentrația maximă de NO_x a fost de 320 ppm (300 ppm pentru NO și 15 ppm pentru NO_2) (Kitazaki et al., 2014), în timp ce analizorul de chemiluminescență a arătat o concentrație de NO_x de 2,8 ppm (Ambrico et al., 2019). În experimentele noastre, principalele specii reactive din faza gazoasă cu durată lungă de viață identificate în spectrele IR (Figura 27 și Figura 28) au fost ozonul (O_3), dioxidul de carbon (CO_2) și oxidul de azot (N_2O) (Dascalu et al., 2021; Kyzek et al., 2019; Sakiyama et al., 2012; Tomeková et al., 2020; Waskow et al., 2021b).

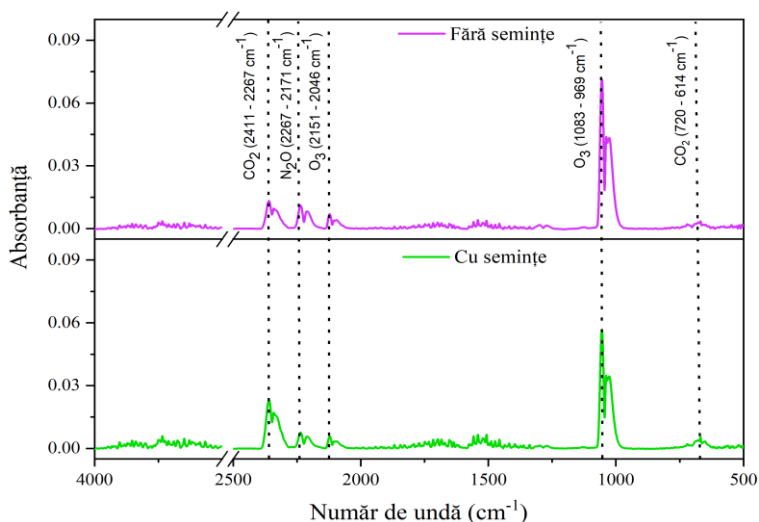


Figura 27. Spectru tipic FTIR pentru gazul din sursa DBD operată cu semințe de grâu.

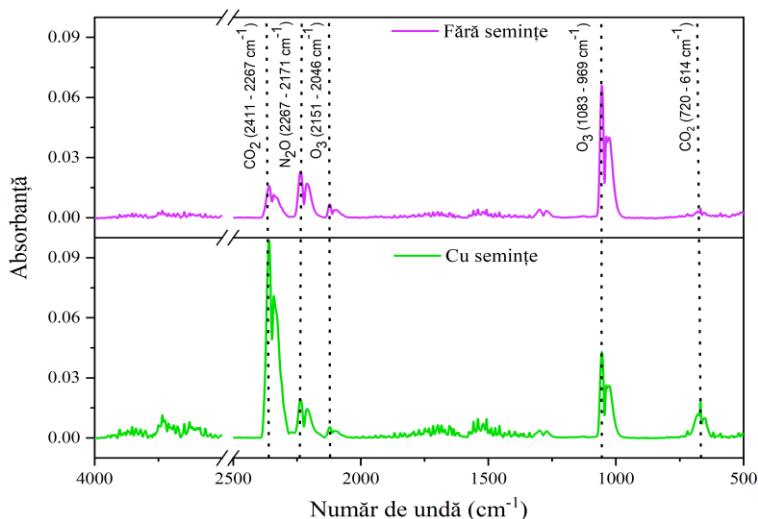


Figura 28. Spectru tipic FTIR pentru gazul din sursa DBD operată cu semințe de quinoa.

A fost analizat procesul de formare și descompunere a speciilor reactive pentru a vedea influența semințelor. Astfel, s-a măsurat nivelul de CO_2 , N_2O și ozonul (O_3) la intervale specifice (Figura 29 și Figura 30).

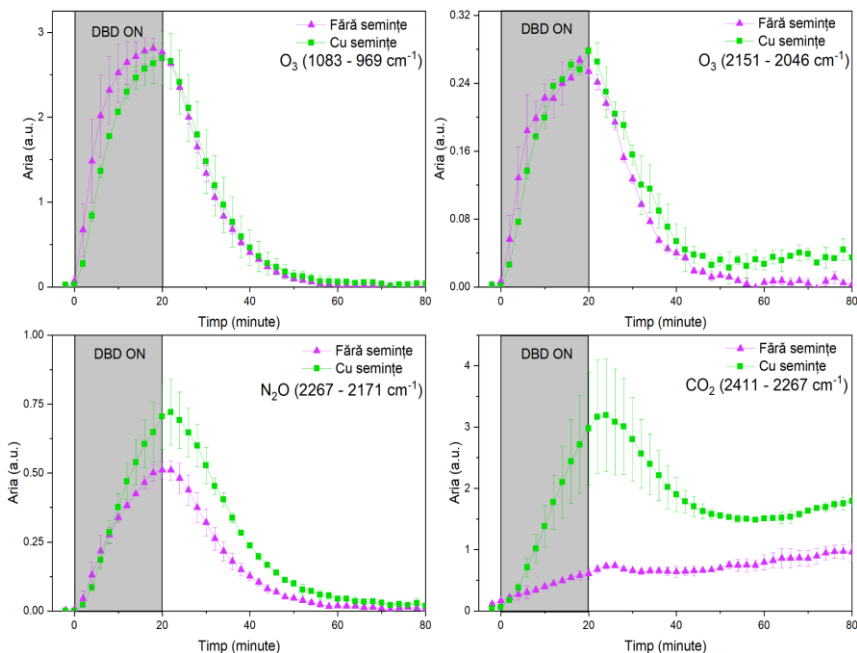


Figura 29. Aria benzilor FTIR în fază gazoasă obținute în timpul descărcării în plasmă comparând condițiile cu și fără semințe de grâu.

S-a observat o întârziere între începutul descărcării și detectarea speciilor reactive în celula IR, din cauza debitului și distanței. Datele au fost ajustate pentru timpul necesar gazului să ajungă la celulele FTIR. Măsurătorile au arătat că ozonul atinge maxim mai repede decât CO_2 și N_2O . Ozonul scade imediat după oprirea sursei DBD, în timp ce CO_2 și N_2O cresc. În plasmă atmosferică, N_2O se formează prin radicali. Speciile reactive din descompunerea ozonului și activarea azotului influențează procesul. Reacțiile ozon-azot sunt improbabile datorită stabilității N_2 . Radicalii susțin reacțiile în lanț în plasmă. CO_2 se formează prin oxidarea CO din impurități sau direct din surse de carbon. Prezența CO_2 afectează puțin formarea N_2O , putând doar să o reducă ușor când radicalii din ozon activează azotul.

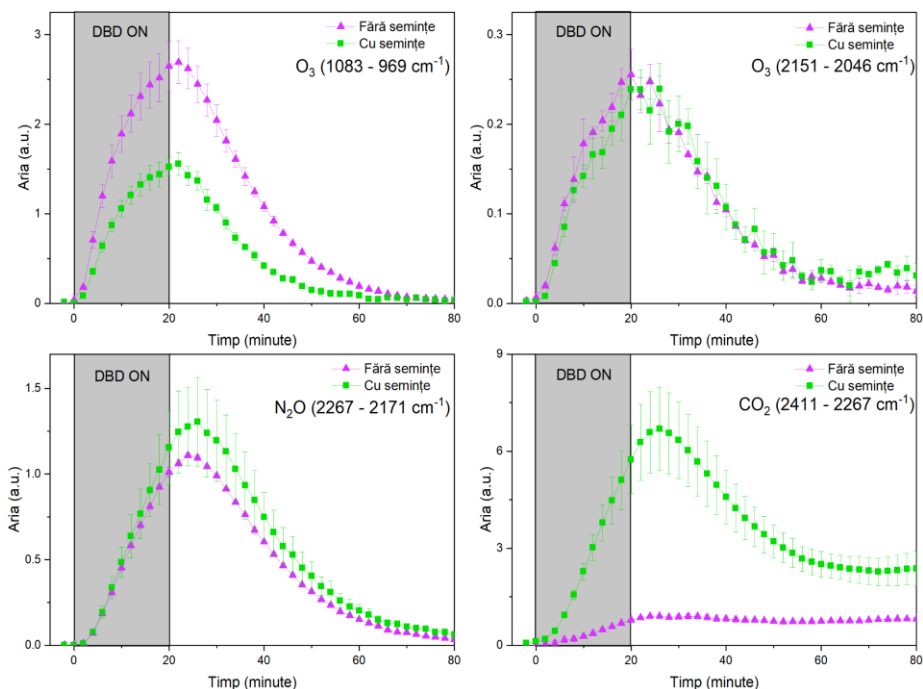


Figura 30. Aria benzilor FTIR în fază gazoasă obținute în timpul descărcării în plasmă comparând condițiile cu și fără semințe de quinoa.

Studiile anterioare au arătat că, folosind surse DBD de suprafață pentru expunerea semințelor de *Arabidopsis thaliana*, timpul mai lung de tratament cu plasmă și tensiunea mai mare cresc concentrația de ozon. În schimb, debitul mai mare de aer sintetic uscat scade concentrația de ozon. Moleculele O_3 și N_2O au avut dinamică similară în timpul expunerii de 150 secunde (Waskow et al., 2021b). Pentru sursele DBD de suprafață în aer liber, spectrele FTIR au arătat că absorbția N_2O , O_3 , HNO_3 și N_2O_5 depinde de debitul de aer, care variază între 0-8 L/min (Yoon et al., 2017).

IV.2.6. Efecte chimice la nivelul suprafeței semințelor

Plasma afectează semințele prin reacții chimice, adăugând grupuri noi la suprafață și schimbând structura chimică. Semințele devin mai ușor de umezit, iar aceste modificări afectează compoziția chimică și metabolismul. Efectele plasmei asupra chimiei suprafeței au fost studiate cu spectroscopia fotoelectronilor de radiație X (XPS). S-a folosit spectrometrul VersaProbe 5000 ULVAC-PHI cu radiație X Al-K α , măsurătorile făcându-se în vid înalt cu colectarea fotoelectronilor la 45°. Spectrele au fost înregistrate în aceleași condiții pentru compararea semințelor. S-au analizat 5 semințe tratate și 5 netratate, rezultatele fiind în Figura 31. Analiza arată elemente ca C, N, O, K și Si la suprafață. După tratament, semnalele pentru N, Si și K rămân similare, dar raportul O/C crește, deoarece grupurile cu carbon scad și cele cu oxigen cresc. Plasma elimină grupuri cu carbon volatile, iar creșterea oxigenului este legată de interacțiunea cu ozonul, proces numit oxidare.

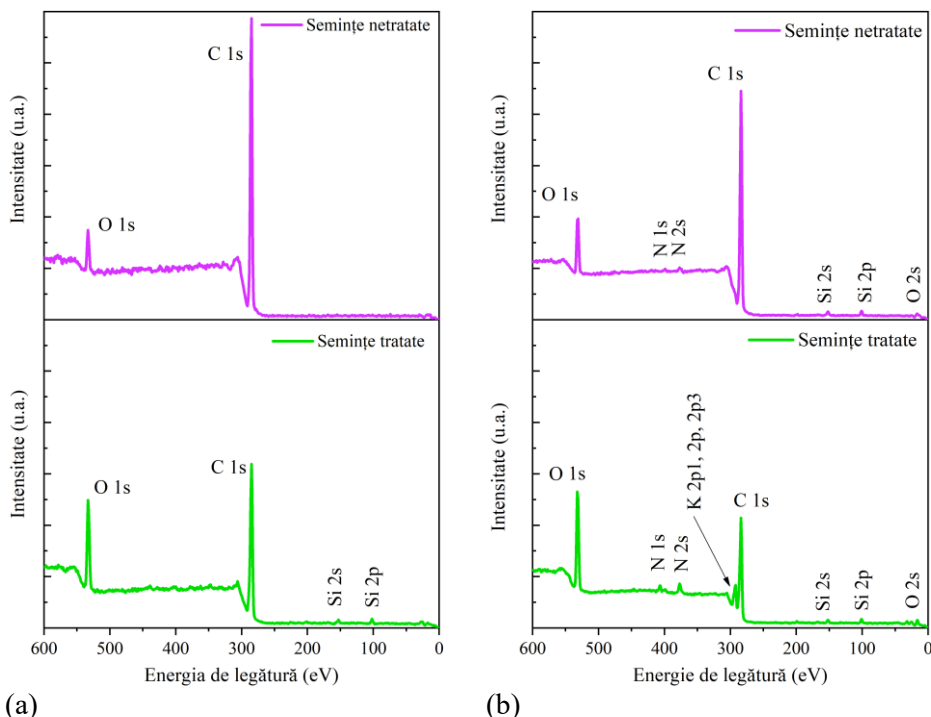


Figura 31. Analiza XPS a semințelor de grâu (a) și quinoa (b) netratate și tratate în plasmă.

Aria semnalelor XPS pentru elementele din spectru a fost calculată după corectarea liniei de bază și factorul de sensibilitate atomică. Rezultatele sunt în Tabel 7 și 8. Semințele tratate cu plasmă au aceleași semnale, dar aria unor semnale se schimbă din cauza sursei DBD. La grâu, semnalele pentru Si, O și C se schimbă,

iar raportul O/C crește de la 0,09 la 0,55 după tratament. La quinoa, semnalele pentru N, Si, K, O și C se schimbă, iar raportul O/C crește de la 0,12 la 0,35. Plasmele DBD fac ca grupurile de carbon să genereze elemente volatile și CO₂ (Figura 29 și 30). Creșterea oxigenului pe suprafața semințelor este legată de scăderea ozonului din volumul de descărcare (Figura 29 și 30).

Tabel 7. Compoziția elementală la suprafața semințelor de grâu (procente atomice).

Concentratia elementelor la suprafață	% O	% C	% Si
Semințe netratate	8,13	90,65	1,22
Semințe tratate	18,68	76,02	5,29

Tabel 8. Compoziția elementală la suprafața semințelor de quinoa (procente atomice).

Concentratia elementelor la suprafață	% O	% C	% N	% K	% Si
Semințe netratate	9,90	84,47	1,97	1,22	2,43
Semințe tratate	22,11	64,03	6,63	2,19	5,04

Alți autori au raportat date din spectroscopia fotoelectronilor de radiație X (XPS) care arată oxidarea suprafeței semințelor. Pentru semințele de quinoa, raportul oxigen/carbon (O/C) a crescut de la 0,10 la 0,63 (Gómez-Ramírez et al., 2017). La semințele de năsturel, raportul O/C a crescut de la 0,14 la 0,36 (Molina et al., 2018). Semințele de ardei și castravete au avut o creștere a raportului O/C de la 0,23 la 0,77 și de la 0,28 la 0,89, respectiv (Štěpánová et al., 2018). La semințele de grâu, raportul O/C a crescut de la 0,07 la 0,57 datorită creșterii grupurilor C-O, C=O/O-C-O și O-C=O (Molina et al., 2021). Semințele de găscăriță au avut o creștere a raportului O/C de la 0,07 la 0,58 (Waskow et al., 2021c), iar la orz de la 0,11 la 0,20 (Perea-Brenes et al., 2022). Folosind spectroscopia EDX, conținutul de oxigen a crescut de la 38,11% la 45,25% pentru semințele de găscăriță (Cui et al., 2019), de la 9,68% la 14,23% pentru ridiche (Attri et al., 2021) și de la 32,78% la 37,22% pentru grâu (Burduea et al., 2023). După aproximativ 1000 de ore de utilizare, suprafața firelor metalice din grilă s-a schimbat de la luciu metalic la suprafață oxidată (Figura 32):

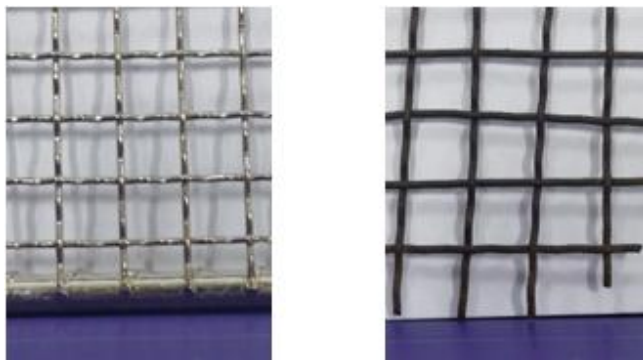


Figura 32. Fotografii ale electrodului tip grilă la începutul studiilor (stânga) și la finalul studiilor (dreapta).

Compoziția elementelor de la suprafața unui fir metalic, măsurată prin tehnica XPS, a fost comparată cu compoziția din interiorul firului, la începutul și la sfârșitul studiilor (Tabel 9 și Tabel 10). S-a observat o creștere mare a concentrației de oxigen și îndepărtarea stratului de nichel anticoroziv.

Tabel 9. Compoziția elementală a suprafeței firului metalic din electrodul de tip grilă.

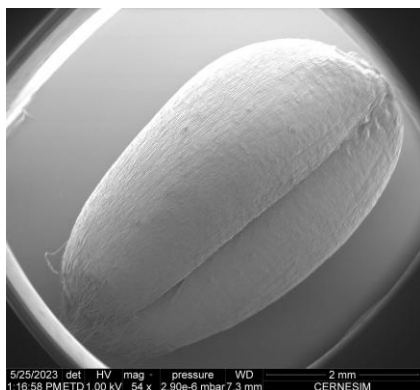
Concentratia elementelor la suprafață	% C	% Ni	% O	% Cu	% Fe
Fir electrod nativ	52,3	37,5	5,7	4,5	-
Fir electrod utilizat	49,5	-	22,5	4,7	23,2

Tabel 10. Compoziția elementală a suprafeței secțiunii firului metalic din electrodul de tip grilă.

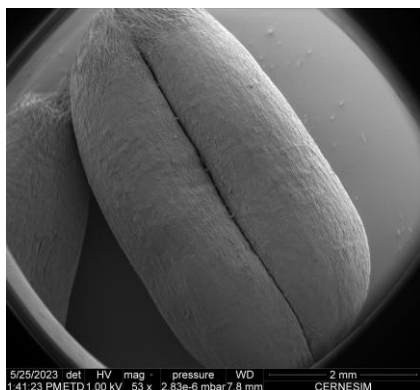
Concentratia elementelor la suprafață	% Fe	% O	% Cu	% C
Secțiune fir electrod nativ	84,2	11,4	2,8	1,6
Secțiune fir electrod utilizat	48,4	31,1	3,9	16,6

IV.2.7. Efecte fizice la nivelul suprafeței semințelor

Efectele plasmei asupra semințelor includ schimbări fizice, cum ar fi modificarea suprafeței și crearea de microfisuri. Pentru a vedea cum afectează plasma suprafața semințelor, s-au folosit analize cu microscopul electronic cu baleiaj (SEM). Rezultatele SEM arată dacă plasma schimbă structura semințelor la nivel mic. Imaginile arată că nu există daune sau schimbări vizibile ale semințelor tratate. S-a folosit un microscop Quanta FEI 250 și nu s-a aplicat acoperire metalică pentru a păstra forma semințelor. Analizele au fost făcute pe 5 semințe, tratate și netratate, iar imaginile sunt în Figura 33 și Figura 34. Imaginile SEM arată că nu există daune structurale sau schimbări de formă. Observații similare au fost făcute pentru semințe de piper, năsturel, grâu, mazăre, porumb, pătrunjel. La semințele tratate cu plasmă DBD, analizele XPS și SEM arată că efectul principal nu este gravarea, ci activarea suprafeței prin procese chimice.



Semințe de grâu netratate



Semințe de grâu tratate

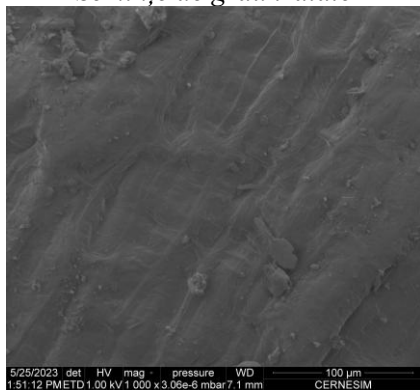
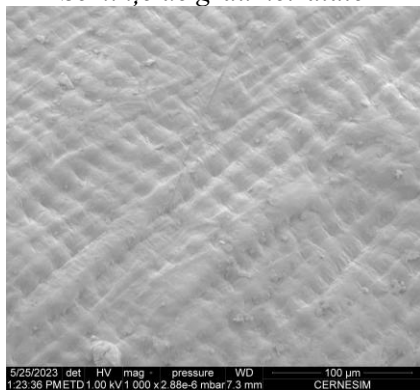
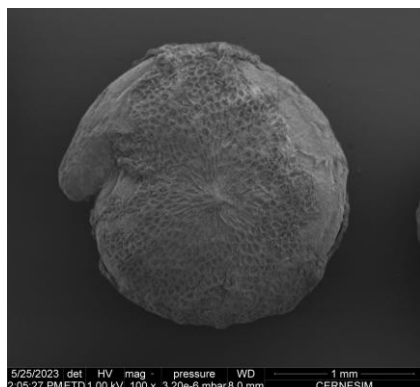
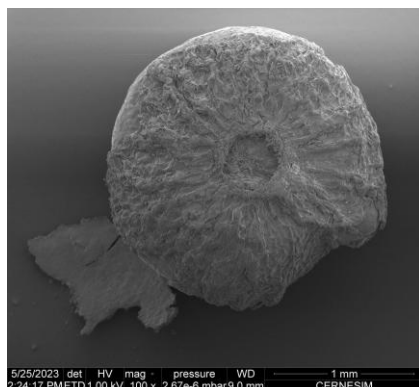


Figura 33. Imagini SEM ale semințelor de grâu la diferite mărimi.



Semințe de quinoa netratate



Semințe de quinoa tratate

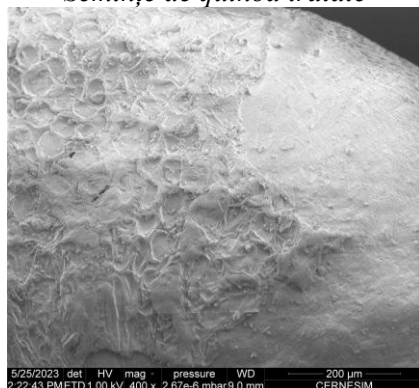
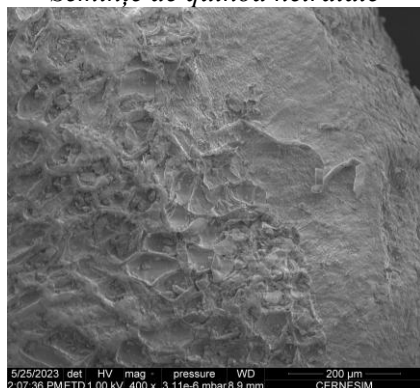


Figura 34. Imagini SEM ale semințelor de quinoa la diferite mărituri.

IV.2.8. Efecte asupra cineticii de germinare și biomasei

Pentru a înțelege cum afectează tratamentul cu plasmă atmosferică germinarea semințelor, s-a făcut o evaluare biologică. La semințele de grâu, s-a măsurat rata de germinare. Parametrii biologici urmăriți sunt în Tabelul 11. La semințele de quinoa, evaluarea a comparat cum răspund semințele la doi factori externi: tratamentul cu plasmă și stresul salin.

Tabel 11. Formulele utilizate pentru a determina parametrii de germinare după expunerea semințelor de grâu la acțiunea plasmă (Hotta et al., 2016)

Parametrii de germinare	Unitatea de măsură	Formula/descrierea
Rata de germinare	%	$(\text{Numărul de semințe germinate} / \text{numărul total de semințe}) \times 100$

Indexul vitezei de germinare		$\Sigma \left(\frac{\text{numărul total de semințe germinate zilnic}}{\text{numărul de zile de la germinare}} \right)$
Timpul mediu de germinare		$\Sigma \frac{Ni \cdot Ti}{Ni}$
Lungimea radiclei	mm	
Lungimea coleoptilului	mm	
Indicele de vigoare		$SVI = [(coleoptil + lungimea radiclei) \text{ mm}] \times G\%$

Protocolul descris de (Panuccio et al., 2014) a fost adaptat. 50 de semințe tratate cu plasma DBD sau 50 netratate au fost puse pe hârtie de filtru cu 3 ml apă distilată sterilă sau soluție NaCl 300 mM, în vase Petri de 9 cm diametru. Vasele au fost ținute la 21°C, în întuneric, 7 zile. Semințele erau considerate germinate când radicula avea minim 1 mm. Germinarea a fost verificată zilnic și s-a măsurat biomasa proaspătă. Rata de germinare a fost calculată folosind ecuația:

$$\text{Rata de germinare} = \frac{\text{numărul de semințe germinate}}{\text{numărul total de semințe}} \times 100 \quad (3)$$

Pentru expunerea la plasmă, s-au selectat semințe nedeteriorate la suprafață, neîntețate și fără culoare închisă indicând mucegai (Figura 35).



Figura 35. Exemple de semințe care nu fost utilizate în studiu: lovite, tăiate sau care prezintă o culoare mai închisă, specifică prezenței mucegaiului

Parametrii de germinare au fost calculați din 3 experimente: Indexul vitezei de germinare (GSI) este $62,88 \pm 1,43$ pentru semințele netratate și $65,81 \pm 0,19$ pentru cele tratate cu plasmă; Timpul mediu de germinare (MGT) este $4,073 \pm 0,025$ pentru semințele netratate și $4,0068 \pm 0,0025$ pentru cele tratate; Lungimea radiclei este $52,79 \pm 2,81$ pentru semințele netratate și $49,04 \pm 0,57$ pentru cele

tratate;· Lungimea coleoptilului este $43,83 \pm 4,85$ pentru semințele netratate și $40,86 \pm 1,33$ pentru cele tratate;· Indicele de vigoare (SVI) este $8906,62 \pm 675,6$ pentru semințele netratate și $8234,82 \pm 161,38$ pentru cele tratate; Coeficientul vitezei de germinare (CVG) arată rapiditatea germinării, fiind util când mai multe semințe germinează și timpul scade (Than et al., 2022).Vigoarea semințelor indică capacitatea de germinare și creștere (Pérez-Pizá et al., 2019).Pentru analiza ratei de germinare, s-a folosit testul Tukey (Tukey, 1949), unde literele diferite arată diferențe semnificative la $p < 0,05$.Au fost alese semințe de quinoa cu rată de germinare de 90% (Figura 36 și Figura 37). În prima zi, semințele tratate au avut o rată de germinare mai mică decât cele netratate.

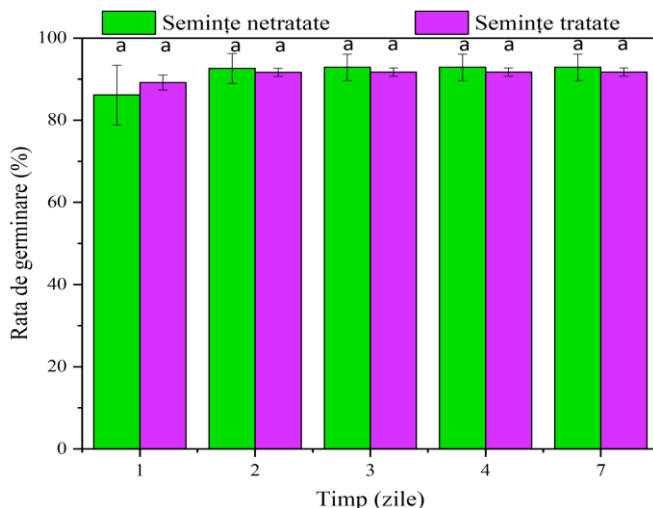


Figura 36. Rata de germinare a semințelor de grâu evaluată într-un interval de 7 zile.

Stresul salin a redus semnificativ germinarea semințelor, ajungând la câteva procente. În prima zi, au existat diferențe mari între semințele netratate, tratate în plasmă și cele cu 300 mM NaCl (Figura 36). Din ziua doi, semințele tratate în plasmă au atins o rată de germinare similară cu cele netratate, de 90%. Semințele cu stres salin au germinat mai lent, stabilizându-se la 80% după a treia zi. Nu au existat diferențe mari între tratamentele saline, iar lipsa diferențelor între semințele netratate și cele tratate în plasmă arată că expunerea la plasmă nu afectează germinarea.

Biomasa proaspătă după șapte zile arată că stresul salin inhibă germinația (Figura 38). Tratamentul în plasmă reduce biomasa cu 11%, stresul salin cu 41%. Diferențe semnificative apar doar fără stres salin, datorită schimbărilor oxidative ale suprafeței semințelor, arătate de creșterea raportului oxigen/carbon (O/C) (Tabel 7 și 8). Densitatea grupurilor funcționale cu oxigen poate crește hidrofilicitatea, afectând gestionarea nutrienților și reglarea apei, reducând biomasa. Grupurile reactive din tratamentul în plasmă pot provoca stres oxidativ, afectând funcțiile

celulare (Mildaziene et al., 2022). Lipsa diferențelor cu stresul salin sugerează că stresul de la 300 mM NaCl e mai puternic decât tratamentul în plasmă, ducând la reduceri similare ale biomasei. Tratamentul în plasmă de 20 de minute afectează mai mult biomasa decât germinarea.

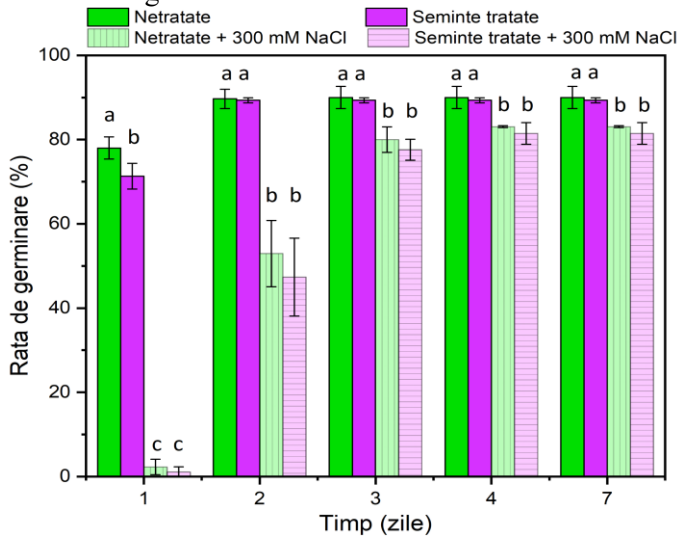


Figura 37. Rata de germinare a semințelor de quinoa evaluată într-un interval de 7 zile.

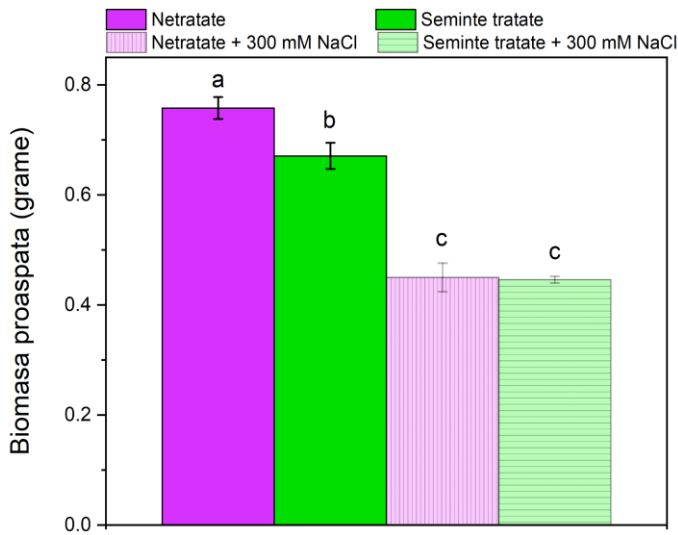


Figura 38. Biomasa proaspătă a semințelor de quinoa determinată la sfârșitul intervalului de evaluare de 7 zile.

Concluzii

Rezultatele din această teză arată importanța tratamentului cu plasmă non-termică pentru semințele plantelor. Tratamentul are efecte pozitive asupra germinării, biomasei și caracteristicilor fizico-chimice ale suprafeței semințelor. S-a folosit o sursă de plasmă cu barieră dielectrică pentru tratarea semințelor de crăițe (*Tagetes erecta*), grâu (*Triticum spelta*) și quinoa (*Chenopodium quinoa*). În timpul expunerii, plasma a fost analizată prin metode electrice și optice. Analiza curentului electric a oferit informații despre intensitatea și numărul impulsurilor, cu și fără semințe. Prin spectroscopie, s-au observat benzile azotului molecular în UV, a căror intensitate scade când semințele sunt prezente, din cauza absorbției radiației. Măsurătorile temperaturii gazului au arătat o creștere ușoară în timpul tratamentului, menținându-se în limite sigure. Monitorizarea speciilor reactive a arătat că semințele afectează concentrațiile de O₃, N₂O și CO₂, cu o reducere a ozonului sugerând procese de oxidare la suprafața semințelor. Spectroscopia IR și UV a arătat că dinamica speciilor reactive depinde de tipul semințelor și condițiile experimentale, indicând interacțiuni complexe între plasmă și semințe. Interacțiunea plasmei cu semințele a modificat chimic suprafața lor, fără deteriorări structurale.

Analizele XPS au arătat creșterea raportului oxigen/carbon după expunere, indicând oxidarea tegumentului și adăugarea grupurilor funcționale cu oxigen, crescând hidrofilicitatea. Microscopul electronic a confirmat absența deteriorărilor fizice. Durata expunerii și concentrația speciilor reactive sunt factori importanți. Într-un sistem DBD închis, un tratament de 20 minute a generat ozon ($\sim 9 \times 10^{15}$ molecule/cm³) fără semințe și ($\sim 4 \times 10^{15}$ molecule/cm³) cu semințe. Comparând efectele plasmei și stresului salin, s-au observat diferențe semnificative. Expunerea la plasmă de 20 minute a afectat minimal germinarea, dar stresul salin cu NaCl 300 mM a avut impact negativ puternic. Absența diferențelor între semințele tratate și netratate în condiții saline sugerează că efectele plasmei sunt anulate de stresul salin. Tratamentul cu plasmă de 5 minute la 15,5 kV pentru semințele de crăiță a crescut rata de germinare de la 86,42%/zi la 168,53%/zi și procentul final de la 65,33% la 77,33%. În prezența NaCl 0,05 M, plasma a îmbunătățit germinarea până la 84%. Expunerea de 5 minute la 18,5 kV nu aduce beneficii suplimentare față de 15,5 kV.

În cazul semințelor de grâu efectele observate sunt:

- indexul de viteză a germinării a crescut ușor de la $62,88 \pm 1,43$ la $65,81 \pm 0,19$;
- timpul mediu de germinare s-a redus de la $4,073 \pm 0,025$ la $4,0068 \pm 0,0025$ zile;
- o ușoară reducere a lungimii radiclei ($52,79 \pm 2,81 \rightarrow 49,04 \pm 0,57$) și a coleoptilului ($43,83 \pm 4,85 \rightarrow 40,86 \pm 1,33$), precum și o scădere a indicelui de vigoare de la $8906,62 \pm 675,6$ la $8234,82 \pm 161,38$.

În cazul semințelor de quinoa efectele observate sunt:

- la finalul perioadei de monitorizare, semințele tratate cu plasmă au avut o rată de germinare comparabilă cu semințele netratate, demonstrând că tratamentul cu plasmă nu a afectat negativ germinarea; totuși, în condiții de stres salin, germinarea a fost semnificativ redusă, indicând faptul că salinitatea este factorul dominant;
- biomasa proaspătă a fost mai mare la semințele netratate comparativ cu cele tratate cu plasmă, ceea ce sugerează un posibil stres oxidativ indus de tratament; expunerea la soluția salină a redus semnificativ biomasa pentru toate probele, indiferent de tratament; diferențele dintre semințele tratate și netratate sunt evidente în absența stresului salin, însă, în condiții de stres salin, efectul plasmă devine mai puțin relevant, deoarece biomasa este afectată în principal de salinitate.

Deși nu s-au observat efecte negative asupra germinării, s-a constatat o ușoară scădere a cantității de biomasă proaspătă, indicând un stres oxidativ moderat. Aceste rezultate susțin ipoteza existenței unei limite între efectele de biostimulare și cele de sterilizare, influențată de durata expunerii și concentrația speciilor reactive. În acest context, tratamentul cu plasmă al semințelor nu este doar benefic, ci necesită ajustări atente în funcție de obiectiv: stimularea germinării sau decontaminarea biologică. Astfel, în această teză de doctorat s-a evidențiat nu doar potențialul, ci și limitările tratamentului cu plasmă în condiții agroecologice complexe. Rezultatele obținute furnizează date utile pentru a înțelege modul de acțiune al plasmă la presiune atmosferică asupra materialului biologic de pe suprafața semințelor, utilizând o abordare experimentală care a combinat metode fizice, chimice și biologice. Se deschid noi perspective pentru utilizarea tehnologiilor cu plasmă în agricultură, în special în tratamentele care îmbunătățesc performanța semințelor și cresc rezistența în condiții de mediu dificile. De asemenea, se subliniază necesitatea standardizării parametrilor de tratament și extinderea studiilor asupra parametrilor plasmă pentru diferite surse de plasmă, pentru a valida rezultatele obținute în laborator în condiții de câmp pentru cât mai multe specii vegetale de interes agronomic.

Referințe

- Ahmed, N., Yong, L.X., Yang, J.H.C., Siow, K.S., 2025. Review of Non-Thermal Plasma Technology and Its Potential Impact on Food Crop Seed Types in Plasma Agriculture. *Plasma Chem. Plasma Process.* 45, 421–462. <https://doi.org/10.1007/s11090-024-10534-z>
- Akdoğan, E., Şirin, H.T., 2021. Plasma surface modification strategies for the preparation of antibacterial biomaterials: A review of the recent literature. *Mater. Sci. Eng. C* 131, 112474. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2021.112474>
- Ambrico, P.F., Şimek, M., Ambrico, M., Morano, M., Prukner, V., Minafra, A., Allegretta, I., Porfido, C., Senesi, G.S., Terzano, R., 2019. On the air atmospheric pressure plasma treatment effect on the physiology, germination and seedlings of basil seeds. *J. Phys. Appl. Phys.* 53, 104001. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab5b1b>
- Archambault-Caron, M., Gagnon, H., Nisol, B., Piyakis, K., Wertheimer, M.R., 2015. Precise energy and temperature measurements in dielectric barrier discharges at atmospheric pressure. *Plasma Sources Sci. Technol.* 24, 045004. <https://doi.org/10.1088/0963-0252/24/4/045004>
- Attri, P., Ishikawa, K., Okumura, T., Koga, K., Shiratani, M., 2020. Plasma Agriculture from Laboratory to Farm: A Review. *Processes* 8, 1002. <https://doi.org/10.3390/pr8081002>
- Attri, P., Ishikawa, K., Okumura, T., Koga, K., Shiratani, M., Mildaziene, V., 2021. Impact of seed color and storage time on the radish seed germination and sprout growth in plasma agriculture. *Sci. Rep.* 11, 2539. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81175-x>
- August, J., Bailly, C., Dufour, T., 2024. Treatment of seeds by cold ambient air plasma: combining impedance measurements with water sorption modeling to understand the impact of seed hydration. *J. Phys. Appl. Phys.* 57, 265203. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ad3838>
- Benabderrahim, M.A., Bettaieb, I., Hannachi, H., Rejili, M., Dufour, T., 2024. Cold plasma treatment boosts barley germination and seedling vigor: Insights into soluble sugar, starch, and protein modifications. *J. Cereal Sci.* 116, 103852. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.103852>
- Brion, J., Chakir, A., Daumont, D., Malicet, J., Parisse, C., 1993. High-resolution laboratory absorption cross section of O₃. Temperature effect. *Chem. Phys. Lett.* 213, 610–612. [https://doi.org/10.1016/0009-2614\(93\)89169-I](https://doi.org/10.1016/0009-2614(93)89169-I)
- Burducea, I., Burducea, C., Mereuta, P.-E., Sirbu, S.-R., Iancu, D.-A., Istrati, M.-B., Straticiu, 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, 208. <https://doi.org/10.3390/foods12010208>
- Butscher, D., Zimmermann, D., Schuppler, M., Rudolf von Rohr, P., 2016. Plasma inactivation of bacterial endospores on wheat grains and polymeric model substrates in a dielectric barrier discharge. *Food Control* 60, 636–645. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.09.003>
- Carmassi, G., Cela, F., Trivellini, A., Gambineri, F., Cursi, L., Cecchi, A., Pardossi, A., Incrocci, L., 2022. Effects of Nonthermal Plasma (NTP) on the Growth and Quality of Baby Leaf Lettuce (*Lactuca sativa* var. *acephala* Alef.) Cultivated in an Indoor

- Hydroponic Growing System. *Horticulturae* 8, 251.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae8030251>
- Cha, M.S., Snoeckx, R., 2022. Plasma Technology—Preparing for the Electrified Future. *Front. Mech. Eng.* 8. <https://doi.org/10.3389/fmech.2022.903379>
- Cheng, Q., Lee, B.L.-P., Komvopoulos, K., Yan, Z., Li, S., 2013. Plasma surface chemical treatment of electrospun poly(L-lactide) microfibrinous scaffolds for enhanced cell adhesion, growth, and infiltration. *Tissue Eng. Part A* 19, 1188–1198.
<https://doi.org/10.1089/ten.TEA.2011.0725>
- Chiappim, W., De Paula Bernardes, V., Almeida, N.A., Pereira, V.L., Bragotto, A.P.A., Cerqueira, M.B.R., Furlong, E.B., Pessoa, R., Rocha, L.O., 2023. Effect of Gliding Arc Plasma Jet on the Mycobiota and Deoxynivalenol Levels in Naturally Contaminated Barley Grains. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* 20, 5072.
<https://doi.org/10.3390/ijerph20065072>
- Cui, D., Yin, Y., Wang, J., Wang, Z., Ding, H., Ma, R., Jiao, Z., 2019. Research on the Physio-Biochemical Mechanism of Non-Thermal Plasma-Regulated Seed Germination and Early Seedling Development in Arabidopsis. *Front. Plant Sci.* 10.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01322>
- Dascalu, A., Pohoata, V., Shimizu, K., Sirghi, L., 2021. Molecular Species Generated by Surface Dielectric Barrier Discharge Micro-plasma in Small Chambers Enclosing Atmospheric Air and Water Samples. *PLASMA Chem. PLASMA Process.* 41, 389–408. <https://doi.org/10.1007/s11090-020-10122-x>
- De Groot, G.J.J.B., Hundt, A., Murphy, A.B., Bange, M.P., Mai-Prochnow, A., 2018. Cold plasma treatment for cotton seed germination improvement. *Sci. Rep.* 8, 14372.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-32692-9>
- Desai, M., Chandel, A., Chauhan, O.P., Semwal, A.D., 2024. Uses and future prospects of cold plasma in agriculture. *Food Humanity* 2, 100262.
<https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100262>
- Dezest, M., Chavatte, L., Bourdens, M., Quinton, D., Camus, M., Garrigues, L., Descargues, P., Arbault, S., Burlet-Schiltz, O., Casteilla, L., Clément, F., Planat, V., Bulteau, A.-L., 2017. Mechanistic insights into the impact of Cold Atmospheric Pressure Plasma on human epithelial cell lines. *Sci. Rep.* 7, 41163.
<https://doi.org/10.1038/srep41163>
- Dobrin, D., Magureanu, M., Mandache, N.B., Ionita, M.-D., 2015. The effect of non-thermal plasma treatment on wheat germination and early growth. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 29, 255–260. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.02.006>
- Domonkos, M., Tichá, P., Trejbal, J., Demo, P., 2021. Applications of Cold Atmospheric Pressure Plasma Technology in Medicine, Agriculture and Food Industry. *Appl. Sci.* 11, 4809. <https://doi.org/10.3390/app11114809>
- Dufour, T., Gutierrez, Q., Bailly, C., 2021. Sustainable improvement of seeds vigor using dry atmospheric plasma priming: Evidence through coating wettability, water uptake, and plasma reactive chemistry. *J. Appl. Phys.* 129, 084902.
<https://doi.org/10.1063/5.0037247>
- Fadhlalmawla, S.A., Mohamed, A.-A.H., Almarashi, J.Q.M., Boutraa, T., 2019. The impact of cold atmospheric pressure plasma jet on seed germination and seedlings growth of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). *Plasma Sci. Technol.* 21, 105503.
<https://doi.org/10.1088/2058-6272/ab2a3e>

- Gómez-Ramírez, A., López-Santos, C., Cantos, M., García, J.L., Molina, R., Cotrino, J., Espinós, J.P., González-Elípe, A.R., 2017. Surface chemistry and germination improvement of Quinoa seeds subjected to plasma activation. *Sci. Rep.* 7, 5924. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06164-5>
- Griffin, M., Palgrave, R., Baldovino-Medrano, V.G., Butler, P.E., Kalaskar, D.M., 2018. Argon plasma improves the tissue integration and angiogenesis of subcutaneous implants by modifying surface chemistry and topography. *Int. J. Nanomedicine* 13, 6123–6141. <https://doi.org/10.2147/IJN.S167637>
- 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, 16680. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16944-8>
- Guragain, R.P., Baniya, H.B., Guragain, D.P., Pradhan, S.P., Subedi, D.P., 2023a. From seed to sprout: Unveiling the potential of non-thermal plasma for optimizing cucumber growth. *Heliyon* 9, e21460. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21460>
- Guragain, R.P., Baniya, H.B., Guragain, D.P., Subedi, D.P., 2024a. Optimizing germination in tomato (*Solanum lycopersicum*) seeds through non-thermal plasma treatment. *Phys. Scr.* 99, 125606. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ad8fe1>
- Guragain, R.P., Baniya, H.B., Guragain, D.P., Subedi, D.P., 2024b. Assessing the influence of non-thermal plasma treatment on sprouting of mosaic yard long beans (*Vigna unguiculata*). *AIP Adv.* 14, 015207. <https://doi.org/10.1063/5.0167344>
- 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.). *J. Food Qual.* 2023, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2023/4131657>
- Hashizume, H., Kitano, H., Mizuno, H., Abe, A., Yuasa, G., Tohno, S., Tanaka, H., Ishikawa, K., Matsumoto, S., Sakakibara, H., Nikawa, S., Maeshima, M., Mizuno, M., Hori, M., 2021. Improvement of yield and grain quality by periodic cold plasma treatment with rice plants in a paddy field. *Plasma Process. Polym.* 18, 2000181. <https://doi.org/10.1002/ppap.202000181>
- Holubová, L., Švubová, R., Slováková, L., 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. *Int. J. Mol. Sci.* 22, 8509. <https://doi.org/10.3390/ijms22168509>
- Hotta, M., Kennedy, J., Higginbotham, C., Morris, N., 2016. Durum Wheat Seed Germination Response to Hydrogel Coatings and Moisture under Drought Stress. *Am. J. Agric. Biol. Sci.* 11, 67–75. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2016.67.75>
- Iranbakhsh, A., Ghoranneviss, M., Oraghi Ardebili, Z., Oraghi Ardebili, N., Hesami Tackallou, S., Nikmaram, H., 2017. Non-thermal plasma modified growth and physiology in *Triticum aestivum* via generated signaling molecules and UV radiation. *Biol. Plant.* 61, 702–708. <https://doi.org/10.1007/s10535-016-0699-y>
- Iranbakhsh, A., Oraghi Ardebili, Z., Molaei, H., Oraghi Ardebili, N., Amini, M., 2020. Cold Plasma Up-Regulated Expressions of WRKY1 Transcription Factor and Genes Involved in Biosynthesis of Cannabinoids in Hemp (*Cannabis sativa* L.). *Plasma Chem. Plasma Process.* 40, 527–537. <https://doi.org/10.1007/s11090-020-10058-2>

- Jacobs, T., Morent, R., De Geyter, N., Dubruel, P., Leys, C., 2012. Plasma Surface Modification of Biomedical Polymers: Influence on Cell-Material Interaction. *Plasma Chem. Plasma Process.* 32, 1039–1073. <https://doi.org/10.1007/s11090-012-9394-8>
- Judée, F., Dufour, T., 2020. Seed-packed dielectric barrier device for plasma agriculture: Understanding its electrical properties through an equivalent electrical model. *J. Appl. Phys.* 128, 044901. <https://doi.org/10.1063/1.5139889>
- Kader, M.A., 2005. A comparison of seed germination calculation formulae and the associated interpretation of resulting data. *J. Proc. R. Soc. New South Wales* 138, 65–75. <https://doi.org/10.5962/p.361564>
- Keller-Rudek, H., Moortgat, G.K., Sander, R., Sörensen, R., 2013. The MPI-Mainz UV/VIS Spectral Atlas of Gaseous Molecules of Atmospheric Interest. *Earth Syst. Sci. Data* 5, 365–373. <https://doi.org/10.5194/essd-5-365-2013>
- Khamseen, N., Onwimol, D., Teerakawanich, N., Dechanupaprittha, S., Kanokbannakorn, W., Hongesombut, K., Srisophon, S., 2016. Rice (*Oryza sativa* L.) Seed Sterilization and Germination Enhancement via Atmospheric Hybrid Nonthermal Discharge Plasma. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 8, 19268–19275. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b04555>
- Kitazaki, S., Sarinont, T., Koga, K., Hayashi, N., Shiratani, M., 2014. Plasma induced long-term growth enhancement of *Raphanus sativus* L. using combinatorial atmospheric air dielectric barrier discharge plasmas. *Curr. Appl. Phys., International Symposium of Plasma Biosciences* 2013 14, S149–S153. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2013.11.056>
- Kobayashi, M., Yamaguchi, S., Kusano, S., Kumagai, S., Ito, T., 2024. Non-thermal atmospheric-pressure plasma exposure as a practical method for improvement of Brassica juncea seed germination. *J. Biotechnol.* 392, 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2024.06.019>
- Kyzek, S., Holubová, E., Medvecká, V., Tomeková, J., Gálová, E., Zahoranová, A., 2019. Cold Atmospheric Pressure Plasma Can Induce Adaptive Response in Pea Seeds. *Plasma Chem. Plasma Process.* 39, 475–486. <https://doi.org/10.1007/s11090-018-9951-x>
- 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. <https://doi.org/10.3390/plants11162181>
- Li, K., Zhong, C., Shi, Q., Bi, H., Gong, B., 2021. Cold plasma seed treatment improves chilling resistance of tomato plants through hydrogen peroxide and abscisic acid signaling pathway. *Free Radic. Biol. Med.* 172, 286–297. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2021.06.011>
- Li, Y., Wang, T., Meng, Y., Qu, G., Sun, Q., Liang, D., Hu, S., 2017. Air Atmospheric Dielectric Barrier Discharge Plasma Induced Germination and Growth Enhancement of Wheat Seed. *Plasma Chem. Plasma Process.* 37, 1621–1634. <https://doi.org/10.1007/s11090-017-9835-5>
- Lofthus, A., Krupenie, P.H., 1977. The spectrum of molecular nitrogen. *J. Phys. Chem. Ref. Data* 6, 113–307. <https://doi.org/10.1063/1.555546>
- Los, A., Ziuzina, D., Boehm, D., Cullen, P.J., Bourke, P., 2019. Investigation of mechanisms involved in germination enhancement of wheat (*Triticum aestivum*) by cold

- plasma: Effects on seed surface chemistry and characteristics. *Plasma Process. Polym.* 16, 1800148. <https://doi.org/10.1002/ppap.201800148>
- Lotfy, K., Al-Harbi, N.A., Abd El-Raheem, H., 2019. Cold Atmospheric Pressure Nitrogen Plasma Jet for Enhancement Germination of Wheat Seeds. *Plasma Chem. Plasma Process.* 39, 897–912. <https://doi.org/10.1007/s11090-019-09969-6>
- Maruyama-Nakashita, A., Ishibashi, Y., Yamamoto, K., Zhang, L., Morikawa-Ichinose, T., Kim, S.-J., Hayashi, N., 2021. Oxygen plasma modulates glucosinolate levels without affecting lipid contents and composition in *Brassica napus* seeds. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 85, 2434–2441. <https://doi.org/10.1093/bbb/zbab157>
- Mihai, A.L., Dobrin, D., Măgureanu, M., Popa, M.E., n.d. POSITIVE EFFECT OF NON-THERMAL PLASMA TREATMENT ON RADISH SEEDS.
- Mildaziene, V., Ivankov, A., Sera, B., Baniulis, D., 2022. Biochemical and Physiological Plant Processes Affected by Seed Treatment with Non-Thermal Plasma. *Plants* 11, 856. <https://doi.org/10.3390/plants11070856>
- Moiseev, T., Misra, N.N., Patil, S., Cullen, P.J., Bourke, P., Keener, K.M., Mosnier, J.P., 2014. Post-discharge gas composition of a large-gap DBD in humid air by UV–Vis absorption spectroscopy. *Plasma Sources Sci. Technol.* 23, 065033. <https://doi.org/10.1088/0963-0252/23/6/065033>
- Molina, R., Lalueza, A., López-Santos, C., Ghobeira, R., Cools, P., Morent, R., de 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. <https://doi.org/10.1002/ppap.202000086>
- Molina, R., López-Santos, C., Gómez-Ramírez, A., Vilchez, A., Espinós, J.P., González-Elipe, A.R., 2018. Influence of irrigation conditions in the germination of plasma treated Nasturtium seeds. *Sci. Rep.* 8, 16442. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34801-0>
- Motaln, H., Recek, N., Rogelj, B., 2021. Intracellular Responses Triggered by Cold Atmospheric Plasma and Plasma-Activated Media in Cancer Cells. *Molecules* 26, 1336. <https://doi.org/10.3390/molecules26051336>
- Motrescu, I., Ciolan, M.A., Calistru, A.E., Jitareanu, 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, 150. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010150>
- Nishime, T.M.C., Werner, J., Wannicke, N., Mui, T.S.M., Kostov, K.G., Weltmann, K.-D., Brust, H., 2022. Characterization and Optimization of a Conical Corona Reactor for Seed Treatment of Rapeseed. *Appl. Sci.* 12, 3292. <https://doi.org/10.3390/app12073292>
- Nitsch, A., Strakeljahn, S., Jacoby, J.M., Sieb, K.F., Mustea, A., Bekeschus, S., Ekkernkamp, A., Stope, M.B., Haralambiev, L., 2022. New Approach against Chondrosoma Cells—Cold Plasma Treatment Inhibits Cell Motility and Metabolism, and Leads to Apoptosis. *Biomedicines* 10, 688. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10030688>
- Ouf, S.A., Almarashi, J.Q.M., Mohamed, A.-A.H., 2022. Characterization and evaluation of cold atmospheric plasma as seedborne fungal disinfectant and promoting mediator for physico-chemical characteristics of Moringa oleifera seedlings. *Sci. Rep.* 12, 15812. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18768-7>

- Panuccio, M.R., Jacobsen, S.E., Akhtar, S.S., Muscolo, A., 2014. Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. *AoB PLANTS* 6, plu047–plu047. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu047>
- Park, Y., Oh, K.S., Oh, J., Seok, D.C., Kim, S.B., Yoo, S.J., Lee, M., 2018. The biological effects of surface dielectric barrier discharge on seed germination and plant growth with barley. *Plasma Process. Polym.* 15, 1600056. <https://doi.org/10.1002/ppap.201600056>
- Pawłat, J., Starek, A., Sujak, A., Terebun, P., Kwiatkowski, M., Budzeń, M., Andrejko, D., 2018. Effects of atmospheric pressure plasma jet operating with DBD on *Lavatera thuringiaca* L. seeds' germination. *PLOS ONE* 13, e0194349. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194349>
- Perea-Brenes, A., Gómez-Ramírez, A., López-Santos, C., Oliva-Ramírez, M., Molina, R., Cotrino, J., García, J.L., Cantos, M., González-Elípe, A.R., 2022. Comparative analysis of the germination of barley seeds subjected to drying, hydrogen peroxide, or oxidative air plasma treatments. *Plasma Process. Polym.* 19, 2200035. <https://doi.org/10.1002/ppap.202200035>
- Pérez Pizá, M.C., Prevosto, L., Zilli, C., Cejas, E., Kelly, H., Balestrasse, K., 2018. Effects of non-thermal plasmas on seed-borne *Diaporthe/Phomopsis* complex and germination parameters of soybean seeds. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 49, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.009>
- Pérez-Pizá, M.C., Prevosto, L., Grijalba, P.E., Zilli, C.G., Cejas, E., Mancinelli, B., Balestrasse, K.B., 2019. Improvement of growth and yield of soybean plants through the application of non-thermal plasmas to seeds with different health status. *Heliyon* 5, e01495. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01495>
- Petřková, M., Švubová, R., Kyzek, S., Medvecká, V., Slováková, E., Ševčovičová, A., Gálová, E., 2021. The Effects of Cold Atmospheric Pressure Plasma on Germination Parameters, Enzyme Activities and Induction of DNA Damage in Barley. *Int. J. Mol. Sci.* 22, 2833. <https://doi.org/10.3390/ijms22062833>
- Prakash Guragain, R., Bahadur Baniya, H., Prakash Guragain, D., Prasad Subedi, D., 2024. Exploring the effects of non-thermal plasma pre-treatment on coriander (*Coriander sativum* L.) seed germination efficiency. *Heliyon* 10, e28763. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28763>
- 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. <https://doi.org/10.3390/ijms23094609>
- Ranieri, P., Sponsel, N., Kizer, J., Rojas-Pierce, M., Hernández, R., Gatiboni, L., Grunden, A., Stapelmann, K., 2021. Plasma agriculture: Review from the perspective of the plant and its ecosystem. *Plasma Process. Polym.* 18, 2000162. <https://doi.org/10.1002/ppap.202000162>
- Rongsangchaicharean, T., Srisophon, S., Onwimol, D., 2022. Responses of Rice Seed Quality to Large-Scale Atmospheric Nonthermal Plasmas. *Plasma Chem. Plasma Process.* 42, 1127–1141. <https://doi.org/10.1007/s11090-022-10261-3>
- 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. *ROMANIAN J. Phys.* 63, 905.

- Sakiyama, Y., Graves, D.B., Chang, H.-W., Shimizu, T., Morfill, G.E., 2012. Plasma chemistry model of surface microdischarge in humid air and dynamics of reactive neutral species. *J. Phys. Appl. Phys.* 45, 425201. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/45/42/425201>
- Sarapirom, S., Yu, L.D., 2021. Low-pressure and atmospheric plasma treatments of sunflower seeds. *Surf. Coat. Technol.* 406, 126638. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126638>
- Sayahi, K., Sari, A.H., 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, 93. <https://doi.org/10.1186/s12896-024-00921-x>
- Schnabel, U., Niquet, R., Krohmann, U., Winter, J., Schlüter, O., Weltmann, K., Ehlbeck, J., 2012. Decontamination of Microbiologically Contaminated Specimen by Direct and Indirect Plasma Treatment. *Plasma Process. Polym.* 9, 569–575. <https://doi.org/10.1002/ppap.201100088>
- Schneider, C.A., Rasband, W.S., Eliceiri, K.W., 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat. Methods* 9, 671–675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
- Šerá, B., Scholtz, V., Jirešová, J., Khun, J., Julák, J., Šerý, M., 2021a. Effects of Non-Thermal Plasma Treatment on Seed Germination and Early Growth of Leguminous Plants—A Review. *Plants* 10, 1616. <https://doi.org/10.3390/plants10081616>
- Šerá, B., Vanková, R., Roháček, K., Šerý, M., 2021b. Gliding Arc Plasma Treatment of Maize (*Zea mays* L.) Grains Promotes Seed Germination and Early Growth, Affecting Hormone Pools, but Not Significantly Photosynthetic Parameters. *Agronomy* 11, 2066. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102066>
- Shimizu, T., Sakiyama, Y., Graves, D.B., Zimmermann, J.L., Morfill, G.E., 2012. The dynamics of ozone generation and mode transition in air surface micro-discharge plasma at atmospheric pressure. *New J. Phys.* 14, 103028. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/14/10/103028>
- Shivakumar, N., Bagade, N., Lal, V.S., Rajanikanth, B.S., 2025. Effects of Non-Thermal Plasma on Germination, Root and Shoot Length of Tomato Seeds and Ginger Rhizome. *Plant Tissue Cult. Biotechnol.* 34, 141–152. <https://doi.org/10.3329/ptcb.v34i2.78829>
- Sivachandiran, L., Khacef, A., 2017. Enhanced seed germination and plant growth by atmospheric pressure cold air plasma: combined effect of seed and water treatment. *RSC Adv.* 7, 1822–1832. <https://doi.org/10.1039/C6RA24762H>
- Slavíček, P., Štěpánová, V., Fleischer, M., Kelar, J., Kelar Tučková, Z., Jurmanová, J., Pazderka, M., Prášil, V., Prášil, J., 2023. The Multi-Hollow Surface Dielectric Barrier Discharge Usage for the Seeds' Treatment Aimed to the Dustiness Decrease of Free-Floating Particles from Agrochemicals. *Plasma Chem. Plasma Process.* 43, 1887–1906. <https://doi.org/10.1007/s11090-023-10396-x>
- Šrámková, P., Zahoranová, A., Kelar, J., Kelar Tučková, Z., Stupavská, M., Krumpolec, R., Jurmanová, J., Kováček, D., Černák, M., 2020. Cold atmospheric pressure plasma: simple and efficient strategy for preparation of poly(2-oxazoline)-based coatings designed for biomedical applications. *Sci. Rep.* 10, 9478. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66423-w>
- Stache, A.B., Mihăilă, I., Gerber, I.C., Dragoș, L.M., Mihai, C.T., Ivanov, I.C., Topală, I., Gorgan, D.-L., 2023. Optimization of Indirect CAP Exposure as an Effective

- Osteosarcoma Cells Treatment with Cytotoxic Effects. Appl. Sci. 13, 7803. <https://doi.org/10.3390/app13137803>
- Štěpánová, V., Slaviček, P., Kelar, J., Prášil, J., Smékal, M., Stupavská, M., Jurmanová, J., Černák, M., 2018. Atmospheric pressure plasma treatment of agricultural seeds of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and pepper (*Capsicum annuum* L.) with effect on reduction of diseases and germination improvement. Plasma Process. Polym. 15, 1700076. <https://doi.org/10.1002/ppap.201700076>
- Suschek, C.V., 2024. Plasma Applications in Biomedicine: A Groundbreaking Intersection between Physics and Life Sciences. Biomedicines 12, 1029. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12051029>
- Than, H.A.Q., Pham, Thien Huu, Nguyen, D.K.V., Pham, Thuong Hoai, Khacef, A., 2022. Non-thermal Plasma Activated Water for Increasing Germination and Plant Growth of *Lactuca sativa* L. Plasma Chem. Plasma Process. 42, 73–89. <https://doi.org/10.1007/s11090-021-10210-6>
- 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>
- Topala, I., Nagatsu, M., 2015. Capillary plasma jet: A low volume plasma source for life science applications. Appl. Phys. Lett. 106, 054105. <https://doi.org/10.1063/1.4907349>
- Tukey, J.W., 1949. Comparing individual means in the analysis of variance. Biometrics 5, 99–114.
- Volkov, A.G., Hairston, J.S., Patel, D., Gott, R.P., Xu, K.G., 2019. Cold plasma poration and corrugation of pumpkin seed coats. Bioelectrochemistry 128, 175–185. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2019.04.012>
- Voráč, J., Synek, P., Procházka, V., Hoder, T., 2017. State-by-state emission spectra fitting for non-equilibrium plasmas: OH spectra of surface barrier discharge at argon/water interface. J. Phys. Appl. Phys. 50, 294002. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aa7570>
- Wang, X.-Q., Zhou, R.-W., Groot, G. de, Bazaka, K., Murphy, A.B., Ostrikov, K. (Ken), 2017. Spectral characteristics of cotton seeds treated by a dielectric barrier discharge plasma. Sci. Rep. 7, 5601. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04963-4>
- Waskow, A., Howling, A., Furno, I., 2021a. Mechanisms of Plasma-Seed Treatments as a Potential Seed Processing Technology. Front. Phys. 9. <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.617345>
- Waskow, A., Howling, A., Furno, I., 2021b. Advantages and Limitations of Surface Analysis Techniques on Plasma-Treated *Arabidopsis thaliana* Seeds. Front. Mater. 8. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.642099>
- Waskow, A., Ibba, L., Leftley, M., Howling, A., Ambrico, P.F., Furno, I., 2021c. An In Situ FTIR Study of DBD Plasma Parameters for Accelerated Germination of *Arabidopsis thaliana* Seeds. Int. J. Mol. Sci. 22, 11540. <https://doi.org/10.3390/ijms222111540>
- Wertheimer, M.R., Ahlawat, M., Saoudi, B., Kashyap, R., 2012. Accurate in-situ gas temperature measurements in dielectric barrier discharges at atmospheric pressure. Appl. Phys. Lett. 100, 201112. <https://doi.org/10.1063/1.4719208>

- Yang, Y., Wang, Y., Wei, S., Wang, X., Zhang, J., 2023. Effects and Mechanisms of Non-Thermal Plasma-Mediated ROS and Its Applications in Animal Husbandry and Biomedicine. *Int. J. Mol. Sci.* 24, 15889. <https://doi.org/10.3390/ijms242115889>
- Yoon, S.-Y., Yi, C., Eom, S., Park, S., Kim, S.B., Ryu, S., Yoo, S.J., 2017. Effects of gas temperature in the plasma layer on RONS generation in array-type dielectric barrier discharge at atmospheric pressure. *Phys. Plasmas* 24, 123516. <https://doi.org/10.1063/1.5003205>
- Zahoranová, A., Henselová, M., Hudecová, D., Kaliňáková, B., Kováčik, D., Medvecká, V., Černák, M., 2016. Effect of Cold Atmospheric Pressure Plasma on the Wheat Seedlings Vigor and on the Inactivation of Microorganisms on the Seeds Surface. *Plasma Chem. Plasma Process.* 36, 397–414. <https://doi.org/10.1007/s11090-015-9684-z>
- Zhang, J.J., Jo, J.O., Huynh, D.L., Mongre, R.K., Ghosh, M., Singh, A.K., Lee, S.B., Mok, Y.S., Hyuk, P., Jeong, D.K., 2017. Growth-inducing effects of argon plasma on soybean sprouts via the regulation of demethylation levels of energy metabolism-related genes. *Sci. Rep.* 7, 41917. <https://doi.org/10.1038/srep41917>

Anexa 3. Diseminarea activității desfășurate în cadrul studiilor

A.3.1. Articole publicate

I.C. Gerber, S. Simon, **B. Tatarcan**, G. Mihalache, I. Mihaila, I. Topala, Plasma treated liquid: reactive species and influence on saline stress in quinoa seeds, *Acta Physica Polonica A*, 146(4), 563-566 (2024),

<https://doi.org/10.12693/APhysPolA.146.563>. **FI: 0.5, AIS: 0.099**

B. Tatarcan, V. Pohoata, I.C. Gerber, G. Mihalache, I. Mihaila, M. Dobromir, L. Soroaga, I. Topala, Effects of long-duration non-thermal plasma treatment on quinoa seeds: surface chemistry, mesoscale morphology and germination under optimal and saline conditions, *Food Bioscience*, 68, 106709 (2025),

<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106709>. **FI: 5.9, AIS: 0.752**

Articol în pregătire:

B. D. Tatarcan, F. D. Cojocaru, C. Agheorghiesei, M.A. Ciolan, A.V. Nastuta, Electrical, spectroscopic and thermal diagnostics of an atmospheric pressure plasma source for biomedical applications: from plasma parameters to cleaning, activation and functionalization of organic surfaces, **Romanian Reports in Physics** (2025).

A.3.2. Participări la conferințe

A.3.2.1. Prezentări tip Oral

- Conferințe Internaționale

- **Bianca Tatarcan**, Camelia Ifrim, Cristiana Virginia Petre, Eugen Teodorescu-Soare, Claudia Konrad-Soare, Ilarion Mihaila, Valentin Pohoata, Ionut Topala, Fourier-Transform Infrared Spectroscopy Monitoring During the Plasma Exposure of Seeds, International Conference on Laser, Plasma, and Radiation – Science and Technology (ICLPR-ST), Bucharest, Romania, June 7-10, 2022, O-07, Book of Abstracts, 61 (2022).
- I.C. Gerber, S. Simon, **B. Tatarcan**, G. Mihalache, I. Mihaila, I. Topala, Plasma source for liquid treatment: diagnosis and life science applications, 22th International Conference on Global Research and Education (interAcademia 22), V Scientific Session, 4-7 September 2024, Pultusk-Warsaw, Poland (2024)
- E.G. Teodorescu-Soare, C. Ionita, C.T. Konrad-Soare, I. Mihaila, **B. Tatarcan**, I. Topala, R. Schrittwieser, Combined effects of Dielectric Barrier Discharge plasma treatment and Ag nanoparticles on Triticum Durum seed germination, Europhysics Conference on the Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases (ESCAMPIG) XXVI, Brno, Czech Republic, July 9–13, 2024, Topic number: 99 (2024)

- **Bianca Tatarcan**, Ramona Huzum, Marian Burducea, Constantin Lungoci, Andrei Vasile Nastuta - Assessment of Atmospheric Pressure Plasma Exposure on the Seeds Germination, International Conference on Innovative Research, EUROINVENT ICIR 2024, June 6th to 7th, Iasi- Romania (2024)
- **B. Tatarcan**, V. Pohoata, I.C. Gerber, G. Mihalache, I. Mihaila, M. Dobromir, L. Soroaga, I. Topala, Effects of long-duration non-thermal plasma treatment and saline stress effects on Quinoa seeds, 10th Central European Symposium on Plasma Chemistry (CESPC 2025), Bucharest, Romania, 1-5 September, (2025).
- **B. D. Tatarcan**, F. D. Cojocar, M. Dobromir, A. V. Nastuta, Plasma exposure as green method to enhance surface adhesion of commercial polymers for 3D printing, 4. EUROINVENT 11th International Conference on Innovative Research (ICIR) 2025, 8-10 May 2025, Iasi, Romania (2025).
- Conferințe Naționale
 - **Bianca-Dumitrița Tatarcan**, Ionuț Topală, Aplicații ale tehnologiilor cu plasmă la presiune atmosferică în agricultura modernă, Conferința Școlilor Doctorale din Consorțiul Universitaria (CSDCU-MIF2020), secțiunea Fizică, Ediția a III-a, 2020 – online, 22-24 octombrie 2020, Universitatea “Alexandru Ioan Cuza” din Iași (2020).
 - F. C. Manea, F. B. Popa, **B. D. Tatarcan**, A.V. Nastuta, Proiectarea, imprimarea 3D si testarea unui dispozitiv de măsurare a unghiului de contact pentru studiul suprafețelor, 2. Fundamental and Applied Research in Physics Workshop – FARPHYS 2024, 26 Octombrie 2024, Iasi, Facultatea de Fizica, Universitatea ‘Alexandru Ioan Cuza’ din Iasi, Romania (2024).
 - B. Mihalea, S. Farauanu, V. Raischii, F. B. Popa, F. C. Manea, **B. D. Tatarcan**, A. V. Nastuta, Metoda unghiului de contact static pentru studiul suprafețelor polimere imprimate 3D: Proiectarea, Optimizare și Validare Experimentală, 27-a Conferința Națională de Bioinginerie pentru Studenți și Tineri Cercetători - BENG Conference 2025, 07-10 Mai 2025, Iasi, Facultatea de Bioinginerie Medicala, Universitatea de Medicina si Farmacie ‘Grigore T. Popa’ Iasi, Romania, (2025).

A.3.2.2. Prezentări tip Poster

- Conferințe Internaționale
 - **Bianca Tatarcan**, Camelia Ifrim, Cristiana Virginia Petre, Ilarion Mihaila, Valentin Pohoata, Ionut Topala, The influence of air atmospheric pressure plasma treatment on the germination of Tagetes erecta seeds under saline stress, 19th International Conference on

Plasma Physics and Application & 1st Workshop on Plasma Applications for Smart and Sustainable Agriculture, under COST Action CA 19110 – PIAgri, August 31-September 3, 2021, Magurele-Bucharest, Romania, PW-02, 128 (2021).

- **B. Tatarcan**, C. Ifrim, C.V. Petre, I. Mihaila, V. Pohoata, I. Topala, Air plasma exposure of *Tagetes erecta* seeds: gas phase FTIR monitoring and effects on germination dynamics, 9th Central European Symposium on Plasma Chemistry (CESPC9) + COST Action CA19110 Plasma Applications for Smart and Sustainable Agriculture (PIAgri), September 4-9, 2022, Vysoké Tatry, Slovakia, Book of Abstracts, P-48, 135 (2022).
- **B. Tatarcan**, G. Mihalache, I. Mihaila, M. Dobromir, I.C. Gerber, V. Pohoata, I. Topala, The influence of air atmospheric pressure plasma treatment on the seeds germination parameters, XXth International Conference on Plasma Physics and Applications 14th-16th June 2023, Iasi, Romania, P3-T4, 67 (2023).
- **B. D. Tatarcan**, R. Huzum, M. Burducea, C. Lungoci, A. V. Nastuta, Environmental method for enhancing seed germination based on plasma exposure at atmospheric pressure, EUROINVENT expo 2025, 8-10 May 2025, Iasi, Romania (2025).
- F. C. Manea, F. B. Popa, S. Farauanu, B. Mihalea, V. Raischii, **B. D. Tatarcan**, A. V. Nastuta, The design, 3D printing, and experimental validation of a static contact angle measurement device for the study of surface energy of materials, EUROINVENT expo 2025, 8-10 May 2025, Iasi, Romania (2025).
- **B. D. Tatarcan**, R. Huzum, M. Burducea, C. Lungoci, A. V. Nastuta, The impact of direct and indirect plasma treatment on the germination of wheat seeds, 10th Central-European Symposium on Plasma Chemistry (CESPC 2025), 1-5 September, 2025, Bucharest, Romania (2025).

- Conferințe Naționale

- **Bianca Tatarcan**, Ramona Huzum, Marian Burducea, Constantin Lungoci, Andrei Vasile Nastuta – The impact of plasma exposure at atmospheric pressure on seed germination – A-18-a conferință națională de Biofizică (CNB 2024), Iași România, 05-07 septembrie (2024).
- S. Farauanu, B. Mihalea, V. Raischii, F. C. Manea, F. B. Popa, **B. D. Tatarcan**, A. V. Nastuta. Proiectarea, Optimizare și Validare Experimentală a unui dispozitiv imprimat 3D de măsurare a unghiului de contact static pentru studiul suprafețelor polimere obținute prin fabricație aditivă, A LIV-a Conferința Națională Fizica și Tehnologiile Educaționale Moderne (FTEM 2025), 17 Mai 2025, Iasi, Facultatea de Fizica, Universitatea ‘Alexandru Ioan Cuza’ din Iasi, Romania (2025).

A.3.3. Alte activități

A.3.3.1. Mobilități

- Stagiul în cadrul acțiunii COST CA19110 - Plasma applications for smart and sustainable agriculture la Comenius University in Bratislava, Slovakia, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Division of Environmental Physics in the frame, coordonator Assoc. Prof. Dr. Karol Hensel. Tema studiului: Assessment of long lived RONS in liquids after exposure to helium and air atmospheric pressure plasmas (03/10/2021 to 17/10/2021).

A.3.3.2. Participări proiecte

- Contracte naționale – membru

Suport educațional și formativ pentru doctoranzi și tineri cercetători în pregătirea inserției în piața muncii POCU/993/6/13/153322 - Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași în parteneriat cu Academia Română - Filiala Iași, în perioada 01.11.2022 – 30.10.2023

Anexa 4. Drepturi de autor

Dreptul de autor al figurilor ce au fost preluate din literatura de specialitate sunt protejate de licența **Creative Commons CC BY 4.0** ¹care are următoarele specificații:

“Sunteți liber să:

Partajați - copiați și redistribuiți materialul în orice mediu sau format, în orice scop, chiar și comercial.

Adaptați - remixați, transformați și construiți pe baza materialului în orice scop, chiar și comercial.

Licențiatorul nu poate revoca aceste libertăți atât timp cât respectați termenii licenței.

În conformitate cu următorii termeni:

Atribuire - Trebuie să acordați creditul corespunzător , să furnizați un link către licență și să indicați dacă au fost făcute modificări . Puteți face acest lucru în orice mod rezonabil, dar nu în niciun fel care să sugereze că licențiatorul vă aprobă pe dumneavoastră sau utilizarea dumneavoastră.

Fără restricții suplimentare - Nu puteți aplica termeni legali sau măsuri tehnologice care restricționează în mod legal pe alții de la a face orice permite licența.”

¹ <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>