

UNIVERSITATEA „ALEXANDRU IOAN CUZA” DIN IAȘI
FACULTATEA DE BIOLOGIE
ȘCOALA DOCTORALĂ DE BIOLOGIE

Rezumatul tezei de doctorat

Conducător de doctorat,
Profesor dr. emerit
Maria-Magdalena ZAMFIRACHE

Student-doctorand,
Elena-Iren HÂNCU (căs OLARU)

Iași
2026

**UNIVERSITATEA „ALEXANDRU IOAN CUZA” DIN
IAȘI
FACULTATEA DE BIOLOGIE
ȘCOALA DOCTORALĂ DE BIOLOGIE**

**CERCETĂRI MORFO-STRUCTURALE ȘI
FUNCȚIONALE PRIVIND COMPORTAMENTUL A
DOI TAXONI AUTOHTONI AI GENULUI *OCIMUM* L.
CULTIVAȚI ÎN CONDIȚII EXPERIMENTALE DE
STRES SALIN**

**Conducător de doctorat,
Profesor dr. emerit
Maria-Magdalena ZAMFIRACHE**

**Student-doctorand,
Elena-Iren HÂNCU (căs OLARU)**

**Iași
2026**

Cuprins

Capitolul 1 – Salinitatea solului – Cadru general, geneză, impact, monitorizare și efecte asupra plantelor	8
1.1. Solul – scurt istoric și importanță	8
1.2. Salinizarea solurilor: fundamente teoretice, mecanisme de manifestare și impact pedogenetic	9
1.2.1. Răspândirea terenurilor salinizate la nivel global și european ...	9
1.2.2. Răspândirea terenurilor salinizate în România	11
1.2.3. Habitate naturale de sărătură	13
1.2.4. Impactul salinității asupra terenurilor agricole	13
1.3. Efecte ale stresului salin asupra plantelor.....	14
1.4. Efecte ale stresului salin asupra plantelor de busuioc și răspunsul acestora.....	17
1.4.1. Efecte fiziologice induse de salinitatea mediului de cultivare busuiocului.....	17
Capitolul 2 – Stadiul actual al cercetărilor privind specia <i>Ocimum basilicum</i> L.	19
2.2. Genul <i>Ocimum</i> L.: Importanța speciei <i>Ocimum basilicum</i> L. în context agricol și industrial.....	19
2.2.1. Originea și distribuția geografică a speciei	19
2.2.2. Importanța farmacologică și utilizările în medicina tradițională	20
2.2.3. Importanța culinară (dieta mediteraneeană, aliment funcțional)	21
2.2.4. Importanța în industria cosmetică.....	21
2.2.5. Semnificația etnobotanică și utilizările în cultele religioase	22
2.3. <i>Ocimum basilicum</i> L. ca specie model în studiile de stres abiotic	22
Capitolul 3 – Material biologic și metode de lucru	24
3.1. Materialul biologic și organizarea experimentelor.....	24
3.1.1. Specii test	24

3.2. Condiții de cultivare	25
3.2.1. Protocol experimental în laborator - Experiment I	25
3.2.2. Protocol experimental în solar semideschis - Experiment II:.....	26
3.3. Stabilirea intervalului de concentrație pentru testare	28
3.4. Parametrii analizați și metodele de lucru	28
Capitolul 4 – Rezultate și discuții	30
4.1. Reacții morfometrice în prezența stresului salin.....	31
4.1.1. Reacții morfometrice ale plantelor aparținând soiului verde „Aromat de Buzău”.....	31
4.1.2. Reacții morfometrice ale plantelor aparținând soiului violet „Serafim”	34
4.2. Reacții micromorfometrice în prezența stresului salin	37
4.3. Reacții la nivel anatomic ale plantelor aparținând la două soiuri autohtone de <i>Ocimum basilicum</i> L. la stresul salin indus experimental.....	38
4.1. Reacții fiziologice ale plantelor aparținând la două soiuri autohtone de <i>Ocimum basilicum</i> L. la stresul salin indus experimental.....	39
4.1.1. Fluorescența clorofiliană	39
4.1.2. Conținutul de pigmenți asimilatori	43
4.2. Reacții biochimice ale plantelor aparținând la două soiuri autohtone de <i>Ocimum basilicum</i> L. la stresul salin indus experimental.....	50
4.2.1. Conținutul de polifenoli totali.....	50
4.2.2. Conținutul de flavonoide	56
4.2.3. Activitatea antioxidantă - DPPH.....	61
4.2.4. Activitatea superoxid dismutazei (SOD)	66
4.2.5. Activitatea peroxidazei (POD).....	70
4.2.6. Conținutul de proteine totale	73
Considerații finale	77
Bibliografie selectivă.....	83

Introducere

De-a lungul timpului mediul natural s-a aflat în continuă schimbare, atât plantele, cât și animalele fiind nevoite să se adapteze continuu noilor condiții de viață astfel conturate și să evolueze, pentru a supraviețui, în funcție de toate modificările pe care natura le-a oferit. Ca urmare plantele, ca și organismele animale, pot suferi modificări majore la nivel funcțional și morfo-anatomic în efortul de a se perpetua ca specii în condiții ostile, provocate de stresul biotic sau abiotic al mediului lor de vegetație.

Stresul abiotic, manifestat prin secetă, salinitate, temperaturi extreme sau toxicitate chimică, constituie la ora actuală o amenințare reală pentru supraviețuirea organismelor vegetale. La nivel global, salinitatea crescută a solului reprezintă azi o preocupare majoră pentru om, limitând sever producția culturilor agricole, dat fiind faptul că prezența excesivă a sărurilor în substrat modifică calitatea apei și reduce sau inhibă chiar asimilarea substanțelor nutritive din acesta, fenomene care acționează negativ asupra vieții plantelor de cultură.

Acest dezechilibru determină toxicitate ionică, dereglări nutriționale, stres osmotic și inhibarea creșterii rădăcinilor și a suprafeței foliare a plantelor afectând, în final, dezvoltarea și productivitatea lor normală.

Având în vedere necesitatea combaterii efectelor de nedorit ale salinității, cercetările actuale se axează pe investigarea modului de creștere, dezvoltare și adaptare a plantelor sensibile la diferite grade de salinitate, urmărirea modificărilor morfo-anatomice, fiziologice și biochimice suferite de organismele vegetale sub incidența acestui factor de stres oferind perspective valoroase de interpretare a capacității de adaptare a speciilor vegetale de importanță economică la stresul salin abiotic.

În acest context, cultivarea plantelor aromatice și medicinale prezintă un interes științific și agronomic tot mai mare. Printre speciile de importanță economică recunoscută din acest grup se numără și busuiocul (*Ocimum basilicum* L.), taxon aparținând familiei Lamiaceae, originar din India. Datorită conținutului ridicat de compuși fenolici și uleiuri volatile bogate în compuși bioactivi precum eugenol, linalol, estragol sau camfor, busuiocul prezintă un potențial terapeutic și aromatic ridicat, având proprietăți antioxidante,

antibacteriene și antifungice și fiind, totodată, intens utilizat ca material biologic înalt calitativ în industria alimentară, a parfumurilor și a cosmeticelor.

Astfel, pentru fundamentarea unor viitoare strategii agricole de cultivare a speciei în zone predispuse salinizării din România, devine esențială investigarea modalităților de răspuns la stresul salin indus de NaCl a soiurilor autohtone de busuioc, între care, busuiocul verde „Aromat de Buzău” și busuiocul violet „Serafim”, fiind necesară abordarea unei analize integrate de cercetare, ce pornește de la morfometria indivizilor vegetali și micromorfologia suprafeței foliare și ajungând până la cuantificarea răspunsurilor funcționale, biochimice și a reactivității căilor lor metabolice de detoxifiere, în condițiile stresului abiotic menționat.

Subiect de mare interes la nivel mondial în momentul de față, problematica acestora fiind

Scopul cercetării

Scopul prezentei teze de doctorat este de a evalua capacitatea de toleranță la salinitate a două varietăți românești de *Ocimum basilicum* L., soiul verde „Aromat de Buzău” și soiul violet „Serafim”, evaluare axată pe strategiile acestora de adaptare (morfo-anatomică, fiziologică și biochimică) la stresul salin indus controlat cu NaCl, prin analiza lor comparativă în condiții experimentale duale (de laborator și de teren).

Obiectivele cercetării

O1. Proiectarea și implementarea sistemelor experimentale: cultivarea soiurilor autohtone de busuioc (soiul verde „Aromat de Buzău” și violet „Serafim”) în două medii distincte de vegetație (condiții controlate de laborator și condiții de solar semideschis) suplimentate cu soluții de NaCl într-un interval controlat de concentrații, pentru stabilirea pragurilor și limitelor lor de toleranță la stresul salin indus experimental.

O2. Evaluarea modificărilor morfo-structurale, induse plantelor test de busuioc, în condiții de stres salin experimental: cuantificarea adaptărilor

morfo-anatomice, cu accent pe analiza anatomiei organelor lor vegetative (rădăcini și tulpini), prin tehnici de microscopie optică.

O3. Evaluarea micromorfologică a suprafeței foliare la plantele test de busuioc: investigarea aparatului stomatic prin microscopia electronică de baleiaj (SEM), pentru evaluarea modificărilor de densitate și dimensiune a stomatelor, ca răspuns la seceta fiziologică indusă de stresul salin creat experimental.

O4. Evaluarea profilului funcțional al plantelor de busuioc test: aprecierea stării de vitalitate a aparatului fotosintetic prin analiza fluorescenței clorofilene și cuantificarea pigmentilor asimilatori foliari (clorofile și pigmenți carotenoizi), ca efect al toxicității ionice a mediului de cultivare suplimentat cu NaCl.

O5. Cuantificarea răspunsului metabolic al plantelor test: determinarea variației cantitative a metaboliților secundari (fenoli totali și flavonoide) implicați în răspunsul defensiv al indivizilor de busuioc cultivați în condiții de stres abiotic salin indus artificial.

O6. Evaluarea sistemului antioxidant al plantelor test: analiza capacității antioxidante totale determinată prin testul DPPH și a activității enzimelor specifice de apărare împotriva stresului oxidativ – peroxidaza (POD) și superoxid dismutaza (SOD), implicate în mecanismele celulare de detoxifiere a speciilor reactive de oxigen (ROS) din plantele de busuioc.

Capitolul 1 – Salinitatea solului – Cadru general, geneză, impact, monitorizare și efecte asupra plantelor

3.2. Solul – scurt istoric și importanță

Solurile, formate din alterarea rocilor și a materialelor organice, reprezintă stratul superior al scoarței terestre (aprox. 45% minerale, 25% apă, 25% aer, 5% materie organică) și găzduiesc cea mai mare parte a biosferei (Doula și Sarris, 2016). Principalele funcții ale solului sunt producția de hrană, biomasă, materii prime și energie regenerabilă, habitat pentru numeroase specii și fundament pentru structuri industriale/socio-economice, stocarea, filtrarea și transformarea apei, nutrienților și carbonului, fiind cel mai mare depozit de carbon la nivel global (~1500 Gt), cu rol în calitatea apei potabile dar și arhivarea informației ecologice, reflectând în proprietățile fizico-chimice etapele evolutive ale lumii vii (Doula și Sarris, 2016; Dumitriu și Manea, 2011; Kopittke și colab., 2025).

Amenințări majore ale solului precum eroziunea, declinul materiei organice, contaminarea locală și difuză, etanșarea, compactarea, declinul biodiversității, salinizarea și sodificarea, inundațiile și alunecările de teren determină o deteriorare a structurii acestuia, dăunând astfel și altor medii și ecosisteme. O combinație a unora dintre aceste amenințări poate duce în cele din urmă la deșertificare în condiții climatice aride sau semiaride (Doula și Sarris, 2016; Kopittke și colab., 2025).

Cu toate că, agricultura ocupă 37% din terenul global (~4,8 miliarde ha), până în anul 2030 se estimează faptul că 87% din creșterea producției va veni din optimizarea randamentelor, nu din extinderea suprafețelor — progres amenințat de degradarea solului, salinizarea fiind o barieră majoră pentru fertilitate și disponibilitatea terenurilor arabile (FAO, 2022; Kopittke și colab., 2025).

Salinizarea reprezintă acumularea excesivă de săruri solubile în profilul de sol, la un nivel ce periclitează productivitatea agricolă și sănătatea ecosistemelor (Rusu și colab., 2025; Surugiu și colab., 2025)

3.3. Salinizarea solurilor: fundamente teoretice, mecanisme de manifestare și impact pedogenetic

Studiile privind salinitatea solurilor au luat amploare în anii '60, cele mai multe cercetări fiind realizate în țări precum S.U.A., Rusia, Ungaria, India și China, acestea având regiuni cu mari suprafețe salinizate (Măianu, 1964). Numeroase studii ce privesc diverse căi de degradare a solului se desfășoară și astăzi la nivel mondial (și european), însă subiectele sunt abordate într-o manieră izolată, fără a integra complexitatea interacțiunilor dintre diferiți factori de mediu (Prăvălie și colab., 2025).

Salinitatea se numără printre cele mai importante tipuri de stres abiotic, care afectează negativ creșterea, absorbția de nutrienți și randamentul plantelor de cultură (Qadir și colab., 2001; Tolay, 2021).

Impactul salinității asupra terenurilor agricole reprezintă o problemă certă, însă amploarea viitoare a fenomenului rămâne un subiect de dezbatere; în timp ce unele estimări pesimiste indică un prag de 50% de terenuri agricole afectate până în 2050 (Butcher și colab., 2016), validitatea acestor proiecții depinde de evoluția factorilor climatici și de eficiența strategiilor de management al solului.

1.2.1. Răspândirea terenurilor salinizate la nivel global și european

Solurile saline se întâlnesc cu precădere în climatele aride și semi-aride, unde pierderile prin evaporare depășesc cantitatea de precipitații, sărurile eliberate în timpul procesului de alterare acumulându-se în sol (Singh și Chandran, 2012), dar pot fi găsite și în zonele în care clima și mobilitatea sărurilor pot determina creșterea concentrației acestora în ape sau în soluri pentru perioade scurte de timp (Butcher și colab., 2016).

Potrivit statisticilor recente, terenurile saline acoperă aproximativ 7% din suprafața globului, acestea fiind salinizate fie în urma irigațiilor, fie în urma utilizării fertilizatorilor chimici, practici des întâlnite în agricultură. La nivel global, peste 10% din terenurile irigate sunt afectate de acest fenomen, cauzând pierderi economice anuale estimate la miliarde de dolari (Daliakopoulos și colab., 2016).

La nivel european salinizarea solului este recunoscută drept a doua cea mai importantă amenințare la adresa resurselor de sol, afectând aproximativ 30,7

milioane de hectare (circa 3,3% din totalul global al solurilor saline și sodice) (Prăvălie și colab., 2026).

Distribuția solurilor afectate de săruri în Europa este heterogenă, variind semnificativ între regiuni. Cele mai mari concentrații de soluri saline se află de-a lungul coastei mediteraneene, regiune în care fenomenul afectează în mod semnificativ 25% din terenurile agricole irigate. Alte zone puternic afectate includ Valea Ebrului (Spania), regiunile Campania și Sicilia (Italia), precum și zonele de coastă ale Greciei și Ciprului. Deși mai puțin frecventă, salinitatea afectează și țări precum Danemarca, Polonia, Letonia și Estonia. În aceste zone, precum și în Olanda, NE Franței sau SE Angliei, problema este adesea legată de intruziunea apei marine în acviferele de coastă sau de inundații maritime istorice și contemporane. O analiză recentă a terenurilor agricole europene arată că, la nivel continental, aproximativ 1,1% (24.000 km²) din suprafața agricolă evaluată este afectată de niveluri critice de salinitate (Fig. 1.1) (Daliakopoulos și colab., 2016; Prăvălie și colab., 2026).

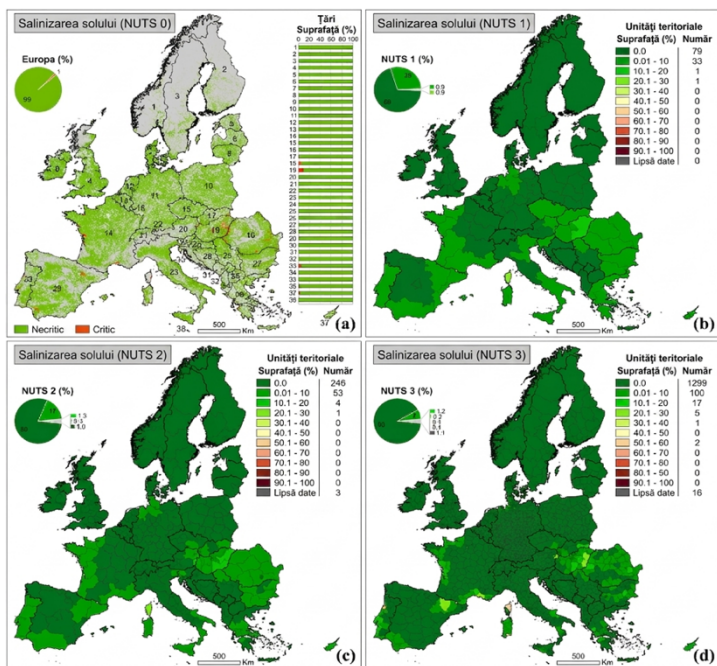


Figura 1. 1 Răspândirea solurilor salinizate în Europa (d. Prăvălie și colab., 2026)

1.2.2. Răspândirea terenurilor salinizate în România

Zonele salinizate din România au fost documentate de peste cinci secole, însă abia în a doua jumătate a secolului XX au fost integrate sistematic în politicile agricole naționale, prin metode de ameliorare chimică, fizică și biologică, urmând ca după anii 1990 preocupările pentru reabilitarea acestor terenuri să fie în mare parte abandonate (Grigore și Cojocariu, 2021).

Conform cercetărilor recente, România și Ungaria sunt considerate epicentrele pan-europene ale condițiilor de salinizare, cu suprafețe critice de aproximativ 5.000 km² fiecare (Prăvălie și colab., 2026). Ca metodă de răspuns, în areale precum Câmpia Brăilei, cercetările au arătat că irigarea culturilor de orez prin inundare poate fi o metodă eficientă pentru ameliorarea acestor soluri (Trifan și colab., 2024).

În România solurile aparținând clasei salsodisolurilor (clasă ce include solonchecurile și solonechurile) ocupă o suprafață totală de aproximativ 614.000 de hectare (aproximativ 4,1% - 4,2% din suprafața agricolă a țării) (Fig. 1.2)., iar procesul de salinizare afectează circa 400.000 hectare (4,3% din totalul terenurilor arabile) (Prăvălie și colab., 2025).

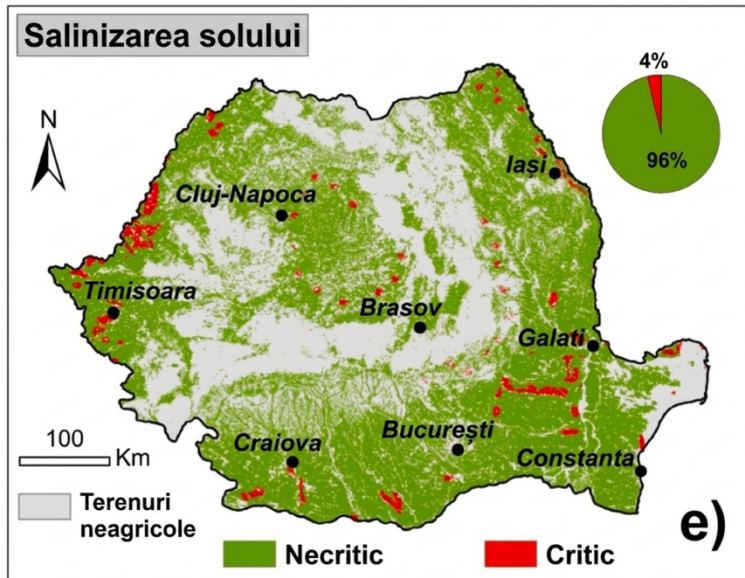


Figura 1. 2 Zone afectate de salinitate în România (d. Prăvălie și colab.,

Epicentre și zone critice de degradare

Cele mai afectate județe din România de degradarea solului sunt localizate cu precădere în sud-estul țării (județele din Câmpia Română și Dobrogea), în vest și în regiunea centrală (Podișul Transilvaniei), suprafețele de sărătură fiind concentrate în zone cu drenaj natural deficitar sau cu regim hidric exudativ (Secu, 2020; Prăvălie și colab., 2025).

- *Regiunea de Sud-Est*

Câmpia Bărăganului și Podișul Dobrogei sunt considerate epicentrul național al degradării terenurilor și deșertificării, punând în pericol aproximativ 40% din suprafața agricolă a României (Prăvălie și colab., 2020).

Județul Brăila reprezintă un punct critic la nivel național, având aproape 500 km² de terenuri agricole afectate de salinitate (aproximativ 12% din suprafața de teren arabil a județului) (Ontel și colab., 2023; Prăvălie și colab., 2025).

- *Regiunea de Vest și Sud*

Câmpia de Vest este afectată de salinitate pe o suprafață de 1897 km², ceea ce reprezintă aproximativ 13,4% din totalul terenurilor sale agricole. Această pondere este considerată semnificativă, fiind comparabilă cu nivelul de afectare din Câmpia Română (Prăvălie și colab., 2025).

Județul Arad este județul cel mai grav afectat din vest, cu 712 km² (adică 15,1% din suprafața sa agricolă) prezentând condiții de salinitate, în timp ce județul Timiș are o suprafață de 568,8 km² afectată, reprezentând 8,3% din terenurile sale agricole (Prăvălie și colab., 2025).

- *Regiunea Centrală și de Nord-Est*

În Câmpia Moldovei salinizarea solului este rezultatul direct al interacțiunii dintre structura geologică veche și condițiile climatice actuale. Sursa principală de săruri se află chiar în subsolul regiunii, în depozitele de argilă sarmațiană (cunoscute sub numele de „argile cu Cryptomactra”), bogate în săruri din mediul marin de odinioară (Grasu și colab., 2002; Ionesi și colab., 2005; Stan și colab., 2022). Din cauza încălzirii climatice și a secetei tot mai

dese, aceste săruri sunt „trase” spre suprafața solului prin procesul de evaporare (Stan și colab., 2022)

În județul Iași salinizarea afectează aproximativ 6,7% (circa 260 km²) din terenurile agricole, remarcându-se, alături de Bacău și prin pierderi mari de carbon organic (Prăvălie și colab., 2025).

1.2.3. Habitate naturale de sărătură

Dincolo de implicațiile agronomice, solurile afectate de salinitate din România susțin habitate naturale de o importanță deosebită, cunoscute sub numele de sărături. Habitatele naturale de sărătură din România sunt arii geografice dominate de salsodisoluri, care susțin comunități vegetale specifice, numite halofite. Aceste habitate au un caracter insular și se găsesc în zonele stepă și silvostepă (Florea și colab., 2012; Stoica și colab., 2012).

Aceste ecosisteme găzduiesc vegetație halofilă (plante care iubesc sarea), precum *Salicornia europaea* L. (iarba sărată) sau *Artemisia santonicum* L. (gărdurarița), care s-au adaptat supraviețuirii în condiții de stres salin ridicat (Doniță și colab., 2005; Cárdenas-Pérez și colab., 2021; Urziceanu și colab., 2024).

Multe dintre cele mai reprezentative arii de terenuri săraturate întâlnite în Câmpia Română, în Câmpia de Vest și, în mod special în zonele joase din Câmpia Moldovei și din Delta Dunării (*Rezervația de soluri săraturate, La sărătură, Sărăturile și Ocna Veche, Sărăturile din Valea Ilenei, Lacul Ursul și arboretele de pe sărături, Sărăturile Diniaș*) sunt incluse în Rețeaua europeană Natura 2000, fiind considerate, conform Agenției Naționale pentru Arii Naturale Protejate (ANANP), 2024, prioritare pentru conservarea biodiversității.

1.2.4. Impactul salinității asupra terenurilor agricole

Stresul salin limitează producția agricolă din întreaga lume, această problemă afectând aproximativ 20% din terenurile arabile de pe glob (Tarchoune și colab., 2012b; Aghaei și Komatsu, 2013a).

Salinitatea afectează productivitatea agricolă prin mai multe mecanisme fiziologice și fizico-chimice: stresul osmotic reduce capacitatea rădăcinilor de

a absorbi apa chiar și în soluri umede, în timp ce acumularea de Na^+ și Cl^- devine toxică la nivel celular, afectând fotosinteza și echilibrul nutrițional. În paralel, excesul de sodiu schimbabil degradează structura fizică a solului, provocând compactare, aerisire deficitară și formarea de cruste care împiedică răsărirea plantulelor.

Aceste efecte combinate reduc semnificativ randamentul culturilor sensibile (porumb, majoritatea legumelor), spre deosebire de cele tolerante (grâu, orz, bumbac), iar la nivel global fenomenul ar putea determina pierderi de producție agricolă de până la 50% până la mijlocul secolului XXI (Daliakopoulos și colab., 2016; Prăvălie și colab., 2026; Singh, 2022).

1.3. Efecte ale stresului salin asupra plantelor

În mediul natural, plantele sunt expuse la diferite tipuri de stres biotic și abiotic, ce perturbă starea de homeostazie metabolică. Seceta, temperaturile extreme, inundațiile, vânturile puternice sau salinitatea crescută a solurilor sunt câteva tipuri de stres care limitează creșterea și productivitatea plantelor și provoacă pierderi considerabile producției agricole la nivel mondial (Said-Al Ahl și Omer, 2011; Shrivastava și Kumar, 2015). Din acest motiv, plantele și-au dezvoltat propriile mecanisme de apărare, cu scopul de a căpăta o nouă stare de homeostazie (Grigore și Toma, 2010).

Condițiile de stres abiotic provoacă mari pierderi în producția agricolă la nivel mondial, principalul factor de stres fiind salinitatea solului (Boyer, 1982; Grigore și Toma, 2010; Attia și colab., 2011; Tarchoune, Sgherri, și colab., 2012a; Aghaei și Komatsu, 2013; Caliskan și colab., 2017). Salinitatea reprezintă o amenințare continuă pentru producția culturilor, în special în țările în care irigația este un ajutor esențial în agricultură (Tarchoune și colab., 2012a; Papadimitropoulos și Klapa, 2015; Muchate și colab., 2016). Se cunoaște faptul că stresul salin, la orice concentrație, inhibă creșterea și dezvoltarea plantelor, răspunsul acestora prezentând un mare interes pentru cercetători (Munns, 1993).

Majoritatea plantelor de cultură sunt glicofite sau non-halofite. Aceste plante tolerează în mică măsură sau deloc stresul impus de condițiile saline sau sodice, spre deosebire de halofite, care se dezvoltă în aceste condiții (Läuchli și Epstein, 1970). Prin definiție, doar halofitele sunt capabile să se dezvolte în

mediu cu concentrații mari de săruri, aproximativ 400 mM NaCl (Flowers, 2004; Grigore, 2008b, 2021).

Pe de altă parte, există o categorie de plante halofite, numite *halofite facultativ* sau *halofite adaptate la salinitate*, care sunt capabile să se dezvolte atât pe soluri normale, cât și pe soluri sărăturate, existând însă diferențe în ceea ce privește creșterea și dezvoltarea acestora în funcție de solul pe care se găsesc (Grigore, 2008a). Adaptările anatomice ale plantelor variază considerabil în funcție de habitatul specific fiecărei specii. Întrucât stresul osmotic reprezintă o consecință directă a stresului salin, se anticipează că speciile cu un consum mai eficient al apei vor demonstra o rezistență mai ridicată în momentul expunerii la concentrații moderate de sare (Grigore și colab., 2014).

Efectele negative ale salinității pot fi observate încă de la debutul biologiei plantulei, fiind afectate atât germinația semințelor, cât și creșterea și dezvoltarea noilor indivizi formați (Said-Al Ahl și Omer, 2011). Stresul salin afectează creșterea plantelor în două faze: faza osmotică (răspuns timpuriu) și faza ionică (răspuns târziu) (Rana Munns și Tester, 2008; Läuchli și Grattan, 2011; Evelin și colab., 2019) (Fig. 1.5).

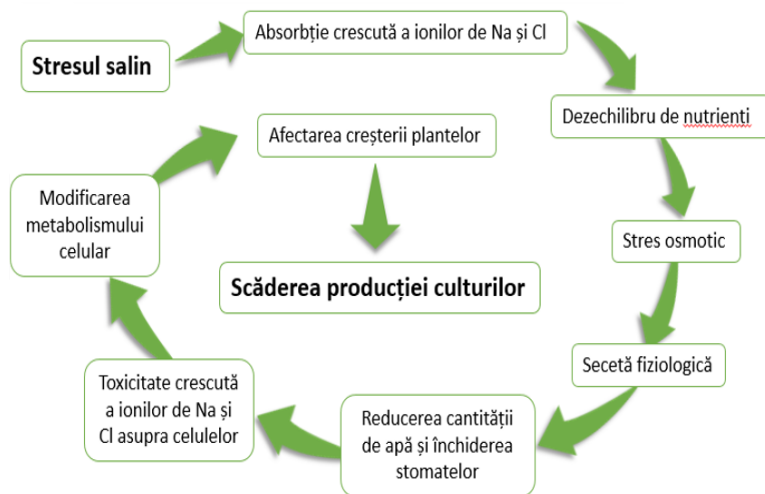


Figura 1. 3 Efecte ale salinității asupra plantelor (d. Evelin și colab., 2019 și d. Läuchli și Grattan, 2011)

Sărurile acumulate în afara zonei radiculare inhibă absorbția apei, creșterea rădăcinilor, alungirea celulelor și dezvoltarea frunzelor. În cel din urmă caz, apare senescența prematură a frunzelor, se diminuează fotosinteza și activitățile enzimatic, se modifică compoziția minerală și absorbția esențială a nutrienților, provocând, de asemenea, un dezechilibru ionic, dar și toxicitate ionică, determinate mai ales de absorbția ionilor de Cl^- și Na^+ (Hasanuzzaman și colab, 2013; Bekhradi și colab., 2015; Muchate și colab., 2016).

Concentrațiile mari de săruri din sol îngreunează absorbția apei la nivelul rădăcinilor și totodată circulația acestora către organele plantei, stresul salin având efecte similare secetei. Pentru a evita pierderea apei prin osmoză, plantele acumulează osmolite, precum prolină, glicină etc., folosind o mare parte din resursele proprii (Flowers, 2004).

Un alt efect al salinității crescute este închiderea stomatelor, pentru a reduce pierderea apei prin transpirație, scăzând astfel și rata fotosintezei, deoarece fixarea dioxidului de carbon este redusă; ulterior, reducerea dioxidului de carbon determină creșterea concentrației speciilor reactive de oxigen, conducând astfel la instalarea stresului oxidativ, (Papadimitropoulos și Klapa, 2015; Muchate și colab., 2016) (Fig. 1.6).

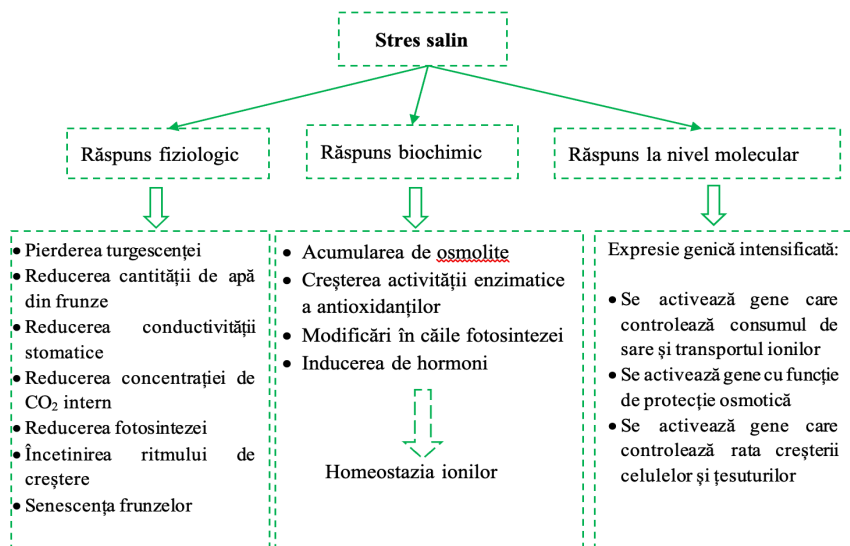


Figura 1. 4 Bazele fiziologice, biochimice și moleculare ale toleranței la stresul salin (d. Muchate, 2016)

Numeroase cercetări au raportat întârzierea germinării și creșterea răsadurilor în condiții de salinitate crescută. Cu toate acestea, plantele diferă în ceea ce privește sensibilitatea sau toleranța lor la săruri (Troeh și Thompson, 1993).

1.4. Efecte ale stresului salin asupra plantelor de busuioc și răspunsul acestora

Plantele medicinale și aromatice prezintă din ce în ce mai mult interes practic, datorită produșilor importanți furnizați, utilizați în diverse industrii precum industria farmaceutică, cosmetică și alimentară. Numeroase companii farmaceutice depun brevete pentru extracte medicinale și derivate ale acestora, iar aproximativ 40% din medicamentele nou aprobate în ultimele două decenii pe plan mondial sunt de origine naturală (Attia și colab., 2011b; Riaz și colab., 2021). Cultivarea plantelor aromatice necesită un management intensiv, fiecare specie având nevoie, pentru o productivitate crescută, de condiții de cultivare specifice (Skaria, 2007; Riaz și colab., 2021).

Efectele salinității asupra plantelor au făcut subiectul a numeroase lucrări științifice. În cazul busuiocului, numărul cercetărilor axate pe determinarea reacțiilor de răspuns, în condiții de cultivare sub influența stresului salin, manifestat prin grade diferite de salinitate, este în creștere. Fiind o plantă cu deosebită importanță economică, interesul cultivării acestei specii pe soluri sărăturate este tot mai mare, astfel încât, pentru a putea oferi cultivatorilor o mai bună perspectivă în posibila sa adaptare la salinitate sunt necesare numeroase investigații.

Specia *Ocimum basilicum* L. este una dintre cele mai răspândite plante aromatice din lume (Attia și colab., 2011b). Având în vedere importanța sa economică, busuiocul face parte din numeroase studii științifice, destinate să urmărească toleranța acestuia la diferite tipuri de sol sau factori stresori, precum seceta sau salinitatea crescută (Biswas și colab., 2011; Kordi și colab., 2013).

1.4.1. Efecte fiziologice induse de salinitatea mediului de cultivare busuiocului

Pentru a avea o perspectivă asupra a ceea ce înseamnă toleranța busuiocului la stresul salin este necesară consultarea literaturii de specialitate și

compararea rezultatelor proprii cu aceasta, în speranța că acest efort va oferi un răspuns pentru valorificarea culturilor de busuioc chiar și în condiții nefavorabile de cultivare.

Răspunsurile fiziologice și biochimice ale plantelor cultivate în condiții de stres salin reprezintă un subiect de actualitate, deoarece pot oferi informații despre modul în care plantele pot fi modificate pentru a deveni mai tolerante, în ultimii ani realizându-se progrese mari în studiul mecanismelor moleculare și fiziologice ale toleranței acestora la salinitate (Said-Al Ahl și Omer, 2011; Yan și colab., 2013).

Efectele dăunătoare ale stresului salin asupra plantelor pot fi evaluate prin modificări ale biomasei, randamentului culturilor și fotosintezei. Din pricina cantităților mari de ioni, transportul apei prin rădăcinile plantelor este îngreunat, fiind afectată sau inhibată astfel fotosinteza și diviziunea celulară în țesuturile lor. Din fericire, plantele pot ameliora aceste efecte adverse prin reglare fiziologică, acumulând, spre exemplu, substanțe organice precum glicinbetaina și prolina, în scopul reducerii potențialului de apă al celulelor lor, ca răspuns la stresul osmotic și își pot activa sistemul antioxidant, protejându-se, astfel, împotriva atacului provocat de speciile reactive de oxigen (Jakovljević și colab., 2017; Al Hinai și colab., 2022).

La momentul de față, cercetările de depistare a răspunsurilor genetice și fiziologice ale plantelor tolerante la salinitate este considerat doar primul pas în efortul de dezvoltare a unor culturi mai tolerante la solurile sărăturate (Yan și colab., 2013).

Creșterea toleranței plantelor la stresul salin este un pas important pentru înființarea și conducerea culturilor pe terenuri saline; în acest context, specialiștii vizează trei metode de atingere a acestui deziderat: programul de ameliorare convențional, metode de inginerie genetică și metode fiziologice tipice. Între acestea, la ora actuală, datorită complexității genelor funcționale implicate, programul convențional de ameliorare la stresul salin este relativ greu de executat eficient, iar rezultatele de obținere a plantelor transgenice cu toleranță sporită la săruri în condiții experimentale de cultivare controlată nu sunt încă suficient testate în teren. Ca urmare, se impune ca în viitor să se acorde mai multă atenție modalităților eco-fiziologice de îmbunătățire a toleranței plantelor la săruri, ca metodă viabilă de cultivare a acestora în viitorul apropiat (Yan și colab., 2013).

Capitolul 2 – Stadiul actual al cercetărilor privind specia *Ocimum basilicum* L.

2.2. Genul *Ocimum* L.: Importanța speciei *Ocimum basilicum* L. în context agricol și industrial

2.2.1. Originea și distribuția geografică a speciei

Genul *Ocimum* L. reprezintă unul dintre cele mai importante grupuri aromatice și medicinale ale familiei Lamiaceae, fiind recunoscut pentru diversitatea chimică și sacră în anumite culturi. Datorită toleranței sale la variații de temperatură și mediu, busuiocul este cultivat pe arii geografice extinse, fiind una dintre cele mai răspândite plante aromatice la nivel global (Azizah și colab., 2023). În funcție de clasificarea sa taxonomică, se estimează faptul că genul *Ocimum* cuprinde între 30 și 300 de specii (Rewers și Jedrzejczyk, 2016; Salles Trevisan și colab., 2006)

Dintre acestea, *Ocimum basilicum* L., cunoscut sub denumirea comună de *busuioc dulce* sau *busuioc* comun, este specia reprezentativă a genului *Ocimum*, fiind cea mai cunoscută la nivel global (Rewers și Jedrzejczyk, 2016). Acesta se distinge prin utilizarea sa în tratarea diverselor patologii, fiind una dintre cele mai intens studiate plante medicinale și aromatice, ca resursă generoasă de compuși polifenolici, dar și ca diversitate genetică și chimică remarcabilă (De Masi și colab., 2006; Attia și colab., 2009; Onofrei și colab., 2015; Ahmed și colab., 2019).

Busuiocul este recunoscut ca o plantă erbacee anuală cu multiple valențe culinare și medicinale, avându-și originile în regiunile tropicale și subtropicale ale Indiei și Asiei de Sud-Est (Marotti și colab., 1996). Denumirea lui vine din limba greacă, în care „*basileus*” înseamnă rege, această plantă fiind considerată în unele locuri ca fiind regele ierburilor aromatice (Bilal și colab., 2012). Cultivarea sa a fost adoptată pe scară largă și în bazinul mediteraneean, unde s-a integrat profund în practicile agricole locale (Bantis și colab., 2016).

Deși genul *Ocimum* își are originile în zonele tropicale ale Asiei și Africii, *Ocimum basilicum* L. prezintă actualmente o distribuție cosmopolită, fiind adaptat tehnologiilor de cultură din climate diverse. În România, busuiocul este cultivat în zonele din sudul și vestul țării, în Dobrogea, Bărăgan, Oltenia,

Câmpia Timișului, Câmpia Burnuzului, Valea Crișurilor și Valea Mureșului (Onofrei și colab., 2015).

Un rol strategic în distribuția soiurilor ameliorate pe teritoriul României îl joacă Stațiunea de Cercetare-Dezvoltare pentru Legumicultură Buzău, care a facilitat, prin omologarea genotipurilor adaptate condițiilor pedoclimatice locale, extinderea acestei culturi în exploatațile comerciale din sudul și sud-estul țării (Vînătoru și colab., 2019).

Conform datelor furnizate de *Plants of the World Online (Kew Science)*, arealul nativ al speciei *Ocimum basilicum* L. este localizat în regiunile tropicale și subtropicale ale Asiei până în Nordul Australiei, dezvoltându-se cu precădere în biomul tropical cu climă uscată (PWO, 2026).

2.2.2. Importanța farmacologică și utilizările în medicina tradițională

Datorită compoziției complexe, busuiocul este recunoscut oficial în numeroase farmacopei naționale, fiind valorificat în medicina tradițională sub formă de infuzii sau uleiuri volatile pentru tratarea afecțiunilor gastrointestinale, respiratorii și neurologice, având proprietăți demonstrate de la atenuarea migrenelor și a oboselii mentale până la ce a simptomelor reumatice. De asemenea, extractele din frunze, flori și semințe sunt utilizate terapeutic pentru efectele lor antispastice, fiind totodată recunoscute și pentru capacitatea de a îndepărta insectele și reptilele, dar și pentru a trata înțepătura sau mușcătura lor. Frunzele proaspete de busuioc, bogate în uleiuri volatile și compuși fenolici, au efecte benefice asupra sănătății, mai ales dacă sunt consumate în doze mari (Salles Trevisan și colab., 2006; Ahmed și colab., 2019; Dharsono și colab., 2022).

Consumul zilnic de frunze de busuioc contribuie la ameliorarea tulburărilor gastrointestinale și la atenuarea simptomelor asociate acestora, prin modularea microflorei intestinale, ca urmare a interacțiunii metaboliților fenolici activi, astfel *Ocimum basilicum* L. poate fi utilizat ca unul dintre ingredientele cheie pentru dezvoltarea alimentelor funcționale (Rahman și colab., 2025).

Partea aeriană (*basilici herba*) este cea mai utilizată parte în medicina tradițională și fitoterapie. Aceasta se recoltează prin tăierea tulpinii deasupra primelor frunze, de obicei în perioada înfloririi, când concentrația de uleiuri

volatile este maximă, iar preparatul rezultat se utilizează sub formă de infuzii, tincturi, extracte sau pulbere (Temelie, 2008).

2.2.3. Importanța culinară (dieta mediteraneeană, aliment funcțional)

Creșterea interesului global pentru un stil de viață sănătos a propulsat plantele aromatice în centrul dietelor moderne, acestea fiind apreciate nu doar pentru calitățile lor organoleptice superioare, ci și pentru aportul bogat în compuși bioactivi și antioxidanți (Miraj și Kiani, 2016; Sestili și colab., 2018). În acest context, busuiocul se remarcă drept un aliment funcțional de elită, fiind un pilon al gastronomiei mediteraneene, datorită profilului său aromatic caracteristic și a capacității de a furniza nutrienți esențiali cu un conținut caloric redus (Ciriello și colab., 2021).

Datorită gustului puternic aromat și ușor dulceag, adesea comparat cu cel al anasonului (Kamelnia și colab., 2023), importanța sa gastronomică este incontestabilă, fiind un ingredient fundamental în bucătăria mediteraneeană (în special cea italiană) și în tradițiile culinare din Asia de Sud-Est, precum cele din Thailanda și Vietnam, busuiocul reprezentând ingredientul principal pentru produse industriale de succes global, precum sosul „pesto”(Akbari și colab., 2018; Purushothaman și colab., 2018).

În bucătărie, frunzele (*basilici folium*) în formă proaspătă sunt cele mai utilizate datorită conținutului ridicat de linalool și estragol, care oferă acea aromă dulce-piperată, cu note de cuișoare, fiind recomandată adăugarea lor la finalul preparării termice, deoarece căldura prelungită distruge compușii volatili și oxidează frunza. În culturile asiatice se valorifică și semințele, datorită proprietăților lor hidrofile și texturii mucilaginoase. Mai mult, utilizarea florilor ca elemente de decor comestibile subliniază valoarea estetică a genotipurilor pigmentate, transformând busuiocul dintr-un simplu ingredient într-un compus multifuncțional al gastronomiei moderne (Simon și colab., 1999; Makri și Kintzios, 2008).

2.2.4. Importanța în industria cosmetică

În industria cosmetică și a parfumeriei, specia *Ocimum basilicum* L. este intens valorificată pentru uleiurile sale bogate în compuși volatili (linalool,

eugenol și geraniol), care conferă produselor de îngrijire nu doar o amprentă olfactivă distinctă, ci și proprietăți antiseptice și antioxidante naturale esențiale, fiind utilizat în formule avansate de îngrijire a pielii, pentru a preveni degradarea oxidativă, dar și pentru a servi ca agent conservant natural pentru formulele dermato-cosmetice moderne (Volpe și colab., 2018; Śliwa și colab., 2025).

2.2.5. Semnificația etnobotanică și utilizările în cultele religioase

Importanța speciei *Ocimum basilicum* L. depășește sfera culinară și medicinală, fiind și o plantă cu o profundă încărcătură culturală și spirituală (Ch și colab., 2015).

De exemplu, în tradiția hindusă, cunoscut sub numele de Tulsi (specia sacră principală fiind *Ocimum tenuiflorum*/*Ocimum sanctum* L.), busuiocul este considerat o manifestare a divinității în formă vegetală. Este cultivat în jurul templelor și al locuințelor, pentru a asigura protecția spirituală și armonia familiei (Simoons, 1998).

În Creștinismul Ortodox busuiocul ocupă un loc central, fiind utilizat la prepararea și sfințirea aghesmei (apa sfințită). Conform tradiției, planta a răsărit pe locul unde a fost găsită Sfânta Cruce, devenind un simbol al prezenței divine și al purificării. Este utilizat în ritualul pentru binecuvântarea credincioșilor și a locuințelor, având rol de purificator spiritual, iar fetele tinere, necăsătorite își pun sub pernă crenguțe de busuioc pentru a-și visa alesul (Pârvu, 2000; Ivanova și colab., 2023).

În Grecia Antică și în Egipt, busuiocul era utilizat în ritualurile de îmbalsămare sau era depus în morminte, pentru a asigura „trecerea” sufletului în siguranță către lumea de dincolo, fiind considerat o plantă de legătură între planul terestru și cel spiritual (Manniche, 1993).

2.3. *Ocimum basilicum* L. ca specie model în studiile de stres abiotic

Alegerea speciei *Ocimum basilicum* L. ca obiect al prezentei cercetări este susținută de statutul consacrat al acesteia de specie-test în fiziologia vegetală și biotehnologie. Analiza literaturii de specialitate indică o utilizare extensivă a busuiocului ca organism model într-o gamă diversă de studii experimentale, de

la evaluarea impactului factorilor de stres abiotic (hidric, termic sau edafic) și a fitotoxicității, până la cercetări avansate privind modularea căilor biosintetice ale metaboliților secundari.

Datorită răspunsului său fiziologic rapid și a plasticității metabolice remarcabile, specia servește drept indicator biologic fundamental în monitorizarea rezistenței genotipurilor la variațiile factorilor de mediu și în optimizarea protocoalelor de cultivare controlată, fiind utilizat pentru a descifra mecanismele de ajustare osmotică.

Cercetările demonstrează că specia reacționează prin acumularea de osmoliți (prolină, zaharuri solubile) și prin modificarea raportului Na^+/K^+ .

Studiile indică faptul că busuiocul manifestă o sensibilitate moderată, servind ca model pentru testarea pragului de toxicitate. Majoritatea cercetătorilor utilizează specia pentru a evidenția modul în care stresul osmotik reduce potențialul apei în frunze, forțând planta să își închidă stomatele și să își reducă rata fotosintetică. Un număr semnificativ de lucrări se concentrează pe utilizarea agenților de atenuare (ex. acid salicilic, siliciu) pentru a îmbunătăți rezistența plantei, busuiocul fiind specia-test preferată pentru validarea acestor tratamente.

Pentru a oferi o perspectivă integrată asupra stadiului actual al cunoașterii și pentru a sistematiza informațiile referitoare la complexitatea cercetărilor fiziologice și biochimice efectuate asupra speciei *Ocimum basilicum* L., am elaborat o sinteză tabelară - Tabelul 2.2, care evidențiază principalele direcții de studiu, obiectivele experimentale și rezultatele fundamentale consemnate în literatura de specialitate recentă.

3.1. Materialul biologic și organizarea experimentelor



Figura 3. 1 Plicuri cu semințele celor două soiuri de busuioc luate în lucru și specificațiile

Experimentul care a stat la baza prezentei teze de doctorat a fost proiectat pentru a asigura plantelor de busuioc test stabilitatea condițiilor de creștere, astfel încât variațiile morfo-anatomice, fiziologice și biochimice înregistrate să fie atribuite stresului salin provocat experimental mediului lor de cultivare. Materialul vegetal folosit, schema tratamentelor aplicate și tipurile de analize efectuate pentru evaluarea răspunsului plantelor la diferite concentrații de salinitate sunt prezentate în secțiunile următoare.

3.1.1. Specii test

Materialul biologic utilizat a fost obținut din semințele a două soiuri autohtone de busuioc (*Ocimum basilicum* L.): „Aromat de Buzău” (nr. lot 1BZ2011 - 1BZ01), soi cu frunze verzi și „Serafim” (nr. lot 1BZ3231-1BZ01), soi cu frunze violet, procurate din cadrul *Institutului de Cercetare și Dezvoltare pentru Legumicultură*, Buzău (SCDL Buzău) (Fig. 3.1). Aceste soiuri sunt adaptate la condițiile mediului de cultivare din țara noastră, având o constituție genetică bună, capacitate antioxidantă, eficiență economică ridicată, și rezistență la boli și dăunători specifici (Fig. 3.2) (Stan (Tudora) și colab., 2019; Vinătoru și colab., 2019; Balanescu și colab., 2020).

3.4. Condiții de cultivare

Pentru a obține o imagine comparativă, de ansamblu asupra capacității de aclimatizare a busuiocului, cercetarea a fost structurată pe două direcții experimentale distincte: testarea în condiții de laborator (Experimentul I) și evaluarea în condiții de câmp în solar semideschis (Experimentul II). Această abordare duală a permis nu doar observarea efectelor directe ale stresului osmotic și ionic, ci și modul în care factorii de microclimat influențează răspunsul plantelor cultivate în condiții de stres salin.

Astfel, concluziile desprinse din analiza datelor obținute sunt structurate pe trei paliere majore de interes științific:

1. Reacția individuală a taxonilor la aplicarea stresului salin, evidențiind mecanismele specifice de apărare și compensare;
2. Analiza comparativă între soiuri, pentru a determina gradul de toleranță și strategiile de supraviețuire (vegetative vs. reproductive) ale celor două soiuri;
3. Influența mediului de cultură, subliniind diferențele comportamentale ale plantelor expuse la aceleași concentrații saline, dar în medii experimentale diferite.

3.2.1. Protocol experimental în laborator - Experiment I

Experimentul s-a derulat, astfel:

1. însămânțare în mediu controlat de laborator;
2. aplicarea primului tratament salin;
3. aplicarea celui de-al doilea tratament salin;
4. aplicarea celui de-al treilea tratament salin;
5. finalizarea experimentului (Fig. 3.3).

Experimentul de față a fost realizat în condiții experimentale de laborator: condiții de mediu controlate, în care temperatura de cultivare a fost menținută la aproximativ 22-24° C, iar iluminarea plantelor a fost asigurată de lămpi cu LED timp de 17 ore/zi.

În timpul germinării udarea s-a realizat zilnic cu apă distilată, urmând ca după apariția primelor frunze adevărate, udarea să se realizeze cu apă de robinet

și să fie aplicate cele trei tratamente saline la intervale regulate, de 14 zile (Fig. 3.3).

Pe parcursul experimentului nu au fost utilizate îngrășăminte pentru accelerarea creșterii și dezvoltării plantulelor de busuioc test.

3.2.2. Protocol experimental în solar semideschis - Experiment II:

Experimentul s-a derulat astfel:

1. însămânțare în mediu controlat de laborator;
2. apariția primelor frunze adevărate, plantulele fiind menținute în condiții de laborator pentru o perioadă de 30 de zile (Fig. 3.4). Această etapă a fost esențială pentru uniformizarea materialului biologic, prin consolidarea aparatului vegetativ și dezvoltarea unui sistem radicular robust, capabil să susțină transplantarea, dar și pentru aclimatizarea sa graduală, fiind evitate pierderile cauzate de fluctuațiile de temperatură zi/noapte, care pot apărea în solarii la începutul lunii iunie;
3. transplantare plante în solariu, urmată o perioadă de acomodare de 25 de zile. Această etapă a fost considerată importantă, pentru a permite refacerea sistemului radicular al plantelor test și restabilirea echilibrului lor fiziologic post-transplantare (Fig. 3.5);
4. aplicarea primului tratament salin;
5. aplicarea celui de-al doilea tratament salin;
6. aplicarea celui de-al treilea tratament salin;
7. finalizarea experimentului (Fig. 3.6)

Schema experimentală a cuprins aplicarea a trei tratamente saline succesive, administrate la un interval de câte 14 zile. Această abordare secvențială a fost aleasă pentru a simula un stres salin cronic și pentru a monitoriza dinamica răspunsului adaptativ al plantelor aparținând celor două soiuri de busuioc.

Prin fracționarea tratamentului, s-a urmărit evaluarea capacității plantelor de a-și menține homeostazia internă și de a activa mecanismele de toleranță la nivel celular, evitându-se un colaps fiziologic indus de un șoc osmotic brusc. Totodată, acest interval a permis acumularea graduală a ionilor de sodiu și clor în țesuturi, facilitând analiza impactului salinității asupra parametrilor biometrici și fiziologici în diferite stadii de dezvoltare ale plantelor.

Pe întreaga perioadă de derulare a experimentului nu au fost aplicate tratamente chimice fitosanitare, pentru a evita interferarea acestora cu răspunsul morfo-anatomo-fiziologic al plantelor test la stresul salin.

Condițiile de microclimat asigurat și managementul tehnologic aplicat ambelor experimente au fost adaptate fiecărei etape de creștere și dezvoltare a plantelor, detaliile privind substratul de cultivare, regimul termic și cel de iluminare fiind sintetizate în Tabelul 3.1.

Tabel 3.1 - Parametrii fizici și tehnologici ai mediilor de cultură utilizate în etapele experimentale de cultivare (laborator și solar semideschis)

Parametru de cultivare	Etapa de laborator (germinație și creștere timpurie)	Etapa în teren / Solar semideschis (creștere, dezvoltare și stres salin)
Substrat utilizat	Pământ pentru răsaduri din comerț	Pământ de grădină negru, bogat în humus, obținut din zona Popricani, Iași, având o structură afânată, pentru a permite aerisirea rădăcinilor și o capacitate bună de retenție a apei, menținând în același timp un drenaj eficient
Udare	S-a realizat zilnic, manual, cu apă distilată	S-a realizat cu apă de robinet, o dată la 3-4 zile, în funcție de temperatura zilelor și cu soluție salină odată la 2 săptămâni
Temperatură	Constantă (22-23°C ziua / 18-20°C noaptea)	Cuprinsă între 22-24°C
Lumină	Artificială (tuburi fluorescente / LED), fotoperioadă fixă (17ore lumină (L) / 7 ore întuneric (Î))	Naturală (radiație solară directă, atenuată de folia solarului)
Volum ghiveci	Tăvițe cu alveole pentru răsaduri de 9,07 l, dimensiuni: 40x18x12.6 cm	Cutii de cultivare de 13,5 l, dimensiuni: 30x30x15 cm

3.5. Stabilirea intervalului de concentrație pentru testare

Pentru simularea condițiilor de cultivare în medii saline a fost utilizată clorura de sodiu (NaCl), aceasta fiind principala sare responsabilă de fenomenul de salinizare secundară a solurilor la nivel global (Ma și colab., 2025). Alegerea NaCl ca agent de stres se justifică prin capacitatea acesteia de a induce o dublă constrângere funcțională asupra materialului vegetal: un stres osmotic inițial (prin scăderea potențialului apei la nivelul rizosferei, limitând absorbția apei) și un stres ionic secundar (cauzat de acumularea la niveluri toxice a ionilor de Na^+ și Cl^- în țesuturile plantei) (Petretto și colab., 2019; Faliagka și colab., 2021).

Concentrațiile soluțiilor saline testate au fost exprimate în milimolari (mM). Această unitate de măsură reprezintă standardul experimental în cercetările de fiziologie vegetală, deoarece permite o controlare precisă a echilibrului chimic și fiziologic necesar dezvoltării celulare, asigurând o reproductibilitate ridicată a experimentului (Lim și colab., 1994; Munns și colab., 2010).

În literatura de specialitate consultată concentrațiile saline alese pentru realizarea experiențelor au variat în funcție de genul și specia de plante avută în atenție.

Deoarece salinitatea mediului reprezintă o provocare în practica agricolă, determinând mari pierderi în culturi, este necesară stabilirea și testarea mai multor intervale de concentrații de săruri, pentru a evalua rezistența plantelor cultivate în astfel de condiții.

Pentru a delimita un interval de concentrații, dar și pentru a stabili condițiile de cultivare adecvate pentru plantele de busuioc, au fost sintetizate mai multe informații prezentate de literatura de specialitate, date înscrise în tabelul 3.2. Astfel au fost selectate și stabilite 3 intervale de concentrații de NaCl, rezultând 4 variante experimentale: varianta 1 - **0 NaCl (varianta martor)**, varianta 2- **100 mM NaCl**, varianta 3- **150 mM NaCl** și varianta 4 - **200 mM NaCl**

3.6. Parametrii analizați și metodele de lucru

Salinizarea solului reprezintă unul dintre cei mai severi factori de stres abiotic care afectează agricultura mondială, cu consecințe directe asupra creșterii, dezvoltării și productivității plantelor (da Silva și colab., 2022).

Răspunsul plantelor la stresul salin este însă un proces multidimensional, care se manifestă simultan la nivel celular, tisular și al întregului organism, prin modificări succesive și interconectate (Balasubramaniam și colab., 2023). Evaluarea riguroasă a acestui răspuns impune, prin urmare, o abordare de cercetare integrativă, capabilă să surprindă atât dimensiunea structurală, cât și cea funcțională a adaptării.

În acest context, studiul de față a adoptat o metodologie hibridă, multidisciplinară, pentru a analiza impactul a trei concentrații saline asupra a doi taxoni autohtoni de busuioc „Aromat de Buzău” și „Serafim”. Cercetările astfel realizate includ evaluări morfometrice, analize de anatomie vegetală și microscopie electronică, completate de investigații fiziologice și biochimice.

Această strategie integrată a permis nu doar cuantificarea inhibiției creșterii și a daunelor structurale induse de stresul osmotic și ionic plantelor test, ci și elucidarea modului în care acesta modulează vitalitatea aparatului lor fotosintetic și stimulează metabolismul secundar – aspecte cu relevanță directă pentru calitatea terapeutică a taxonilor avuți în atenție.

Capitolul 4 – Rezultate și discuții¹

Rezultatele obținute în cadrul prezentei teze de doctorat, sunt organizate comparativ pentru cele două soiuri autohtone de busuioc *Ocimum basilicum* L. investigate, soiul verde „Aromat de Buzău” și soiul violet „Serafim”, cultivate în două condiții experimentale distincte: în laborator, în condiții controlate, și în teren, într-un solar semideschis.

Pentru a evalua mecanismele de toleranță ale plantelor, experimentul a fost proiectat utilizând un gradient de stres salin artificial, indus prin aplicarea unor concentrații progresive de clorură de sodiu (NaCl), 100, 150 și 200 mM, rezultatele fiind raportate la o variantă martor.

Analiza datelor a fost structurată gradual, urmărind efectele stresului provocat de salinitate asupra plantelor de busuioc pe trei niveluri de organizare biologică, astfel:

1. *Modificări morfometrice și micromorfometrice*, urmărind impactul salinității asupra creșterii și dezvoltării plantelor de busuioc studiate, reflectat, pe de o parte, în înălțimea tulpinii, numărul de internoduri și lungimea acestora dar și în numărul de ramificații vegetative și reproductive iar pe de altă parte în analiza la nivel microscopic a numărului și suprafeței stomatelor;
2. *Modificări anatomice*, urmărind organizarea structurală și adaptările anatomice ale plantelor de busuioc cultivate în condiții de salinitate, realizate prin analiza microscopică a țesuturilor de la nivelul rădăcinii și al tulpinii, cea din urmă fiind analizată pe trei zone distincte de dezvoltare: tulpina inferioară, mijlocie și superioară;
3. *Modificări fiziologice și biochimice*, evaluând eficiența fotosintetică prin fluorescență și determinarea pigmentilor asimilatori (clorofila *a*, *b* și

¹ O parte din rezultatele cercetării au fost publicate în articolele:

Elena-Iren Olaru (Hâncu), Maria-Magdalena Zamfirache, 2026, Modulations of Stomatal Density, Leaf Physiology, and Biochemical Markers in 'Serafim' Basil Cultivar Induced by Salinity, Studia Universitatis “Vasile Goldiș”, Seria Științele Vieții, ISSN: 1584-2363, Vol. 36, issue 1, pp. 53 – 60

Elena-Iren Olaru (Hâncu), Maria-Magdalena Zamfirache, 2026, Micromorphological, Physiological, and Biochemical Responses of *Ocimum basilicum* L. cv. 'Aromat de Buzău' under Salt Stress, Studia Universitatis “Vasile Goldiș”, Seria Științele Vieții, ISSN: 1584-2363, Vol. 36, issue 3, pp. 149 – 157

carotenoizi), alături de profilul biochimic, reprezentat de conținutul de proteine, compuși fenolici, flavonoide și activitatea sistemului antioxidant reprezentat de analiza DPPH, SOD, POD (Olaru și Zamfirache, 2026a, 2026b).

Această abordare a permis caracterizarea individuală a fiecărui soi dar și identificarea diferențelor de strategie adaptativă dintre soiul verde și cel violet, oferind totodată o perspectivă asupra înțelegerii modului în care variabilitatea mediului de cultivare influențează răspunsul plantei la salinitate, de la condiții controlate de laborator, până la un mediu instabil, cât mai apropiat de culturile agricole.

4.1. Reacții morfometrice în prezența stresului salin

4.1.1. Reacții morfometrice ale plantelor aparținând soiului verde „Aromat de Buzău”

1. Plante cultivate în laborator (Experiment I)

a. Lungimea totală a plantelor

Valorile cele mai ridicate ale acestui parametru morfometric se înregistrează la varianta martor, ceea ce confirmă faptul că absența stresului salin favorizează creșterea plantelor în înălțime. Odată cu creșterea concentrației de NaCl, se observă o tendință de scădere progresivă a lungimii totale, sugerând că stresul salin inhibă elongația tulpinii (Fig. 4.1 - A, Anexa 1, Anexa 5)

b. Numărul de internoduri

Parametrul se menține relativ stabil la concentrații moderate (100 mM), plantele păstrându-și capacitatea de creștere în lungime în fazele incipiente ale stresului salin. La concentrații saline ridicate, se observă însă o ușoară reducere a capacității lor de dezvoltare (Fig. 4.1 – A, Anexa 1).

c. Lungimea internodurilor

Acest parametru morfometric pare cel mai afectat de salinitate, fiind observată o scădere vizibilă a sa odată cu creșterea concentrației de NaCl. Reducerea lungimii internodurilor este un răspuns tipic de adaptare la stres osmotic, prin care planta limitează elongația celulară, pentru conservarea

resurselor biologice proprii în condiții nefavorabile de cultivare (Rahneshan și colab., 2018; Liu și colab., 2024) (Fig. 4.1 – A, Anexa 1).

d. Numărul ramificațiilor vegetative/reproductive

Conform datelor prezentate în Figura 4.2 – A (Anexa 1), se poate observa faptul că numărul ramificațiilor vegetative și reproductive nu scade liniar odată cu creșterea salinității mediului de cultivare ci, dimpotrivă, acesta crește față de varianta control la concentrații de 100 și, respectiv, 150 mM NaCl. O astfel de manifestare este considerată în literatura de specialitate ca fiind un răspuns compensatoriu al plantelor cultivate în condiții de stres moderat, unele specii răspunzând stresului abiotic al mediului prin stimularea ramificării laterale, ca mecanism adaptativ de redistribuire a resurselor de creștere (Vadez și colab., 2012; Yang și Lee, 2023).

În cazul ramificațiilor vegetative valoarea cea mai scăzută se înregistrează la varianta martor, ceea ce indică faptul că, în absența stresului, planta investește mai mult în creșterea apicală decât în ramificarea laterală. Vârful reacțiilor de acest tip se atinge la 100 mM NaCl, sugerând că un stres salin moderat stimulează activarea mugurilor axilari vegetativi. La 200 mM NaCl, valorile înregistrate revin la niveluri scăzute, apropiindu-se de cel al variantei control, semn că stresul sever inhibă și această capacitate compensatorie.

Ramificațiile reproductive urmează un trend crescător mai gradual față de cele vegetative (comparativ cu varianta martor). Faptul că ramificațiile reproductive rămân ridicate chiar și la 200 mM sugerează o strategie de reproducere accelerată în condiții de stres, planta investind în producerea de flori/inflorescențe atunci când supraviețuirea pe termen lung este amenințată, un fenomen cunoscut drept înflorire precoce indusă de stres (Takeno, 2016; Sun și colab., 2024).

Răspunsul neașteptat de creștere a numărului de ramificații la concentrații moderate de NaCl (100-150 mM) poate reflecta o plasticitate fenotipică specifică soiului, prin care modificarea echilibrului hormonal afectat de stres moderat ar putea favoriza temporar dezvoltarea mugurilor axilari, literatura de specialitate descriind, în general, inhibarea ramificărilor laterale ale plantelor la concentrații ridicate de NaCl (Zhao și colab., 2020).

2. Plante cultivate în solar semideschis (Experiment II)

a. Lungimea totală a plantelor

Odată cu creșterea concentrației de NaCl aplicată mediului de cultivare plantele test reacționează printr-o reducere progresivă a înălțimii, evidențiind astfel fenomenul de inhibare a elongației celulare și a biosintezei de auxine indus în structurile proprii sub influența stresului osmotic și ionic (Fig. 4.1 – B, Anexa 2, Anexa 6).

b. Numărul de internoduri

Acest parametru morfometric scade ușor față de varianta control, dar diferențele mai mici înregistrate sugerează că ramificarea axei principale a plantelor test este mai puțin afectată decât elongația în sine. Astfel se poate considera că stresul salin al mediului de cultivare pare să afecteze mai mult creșterea în lungime a plantelor, decât inițierea nodurilor tulpinale (Fig. 4.1 – B, Anexa 2).

c. Lungimea internodurilor

Deși valorile înregistrate sunt, în general mici, reducerea proporțională a lungimii internodurilor este considerabilă, acesta fiind un semn tipic al compactării morfologice a plantelor, cauzat de stres, care devin mai scunde și mai „îndesate” (Fig. 4.1 – B, Anexa 2).

d. Numărul ramificațiilor vegetative/reproductive

În cazul ramificațiilor vegetative, tendința de scădere de la varianta martor la concentrația de 150 mM este firească: stresul salin inhibă ramificarea vegetativă, deoarece resursele metabolice ale plantelor sunt redirectionate spre mecanisme de toleranță (acumulare de osmoliți, gestionarea stresului oxidativ). Însă, la concentrația de 200 mM, se observă o creștere semnificativă a numărului ramificațiilor vegetative, față de plantele martor. O posibilă explicație este aceea că, în condiții de stres sever, slăbește dominanța apicală, iar mugurii axilari (laterali) sunt activați, planta dezvoltând astfel ramuri vegetative laterale, ca strategie de supraviețuire, continuându-și, astfel, dezvoltarea chiar dacă vârful principal este afectat. (Fig. 4.2 – B, Anexa 2).

Stresul salin maxim stimulează în mod neașteptat înmulțirea ramificațiilor reproductive. Numărul acestora scade modest la concentrația de 100 mM, se recuperează parțial la 150 mM, iar la 200 mM crește accelerat, față de plantele martor, ceea ce poate sugera faptul că în condiții de stres salin sever, busuiocul pare să accelereze tranziția reproductivă (Fig. 4.2 – B, Anexa 2).

4.1.2. Reacții morfometrice ale plantelor aparținând soiului violet „Serafim”

3. Plante cultivate în laborator (Experiment I)

a. Lungimea totală a plantelor

Acest parametru morfometric urmează un trend descendent clar progresiv odată cu creșterea concentrației de NaCl din mediul de cultivare al plantelor test. Reducerea sa valorică este graduală la concentrații moderate (100-150 mM), dar devine mai pronunțată la 200 mM, concentrație la care valorile înregistrate scad considerabil față de varianta control. Acest aspect confirmă faptul că stresul salin inhibă elongația generală a tulpinii plantelor într-o manieră dependentă de doză, ca răspuns caracteristic al acestora la stresul osmotic indus de prezența NaCl (Fig. 4.3 – A, Anexa 3, Anexa 5).

b. Numărul de internoduri

Spre deosebire de lungimea totală, numărul de internoduri al plantelor test crește ușor, față de varianta control, la concentrațiile de 100 și 150 mM NaCl, pentru a reveni la valorile martorului abia la 200 mM NaCl. Această realitate sugerează că plantele soiului „Serafim” continuă să formeze noi noduri chiar și în condiții de stres salin moderat, deși tulpina lor, per total, este mai scurtă; cu alte cuvinte, respectivele plante mențin activitatea meristematică nodală ca răspuns compensatoriu la stresul salin al mediului de cultivare, redistribuind creșterea din elongație către segmentarea tulpinilor (Fig. 4.3 – A Anexa 3).

c. Lungimea internodurilor

Acest parametru morfometric scade consistent și progresiv cu fiecare treaptă de salinitate indusă experimental mediului de cultivare, fiind parametrul care reflectă cel mai fidel efectul inhibitor al NaCl. Reducerea valorică înregistrată este vizibilă chiar de la concentrația de 100 mM NaCl și continuă la 200 mM, la care internodurile tulpinale formate devin mai scurte. Acest fapt indică o inhibare preferențială a elongației celulare față de diviziunea celulară, un mecanism tipic de răspuns la stresul osmotic, în care turgescența celulară redusă limitează creșterea prin extensie mai rapid decât oprirea ciclului celular (Feng și colab., 2016; Cuadrado-Pedetti și colab., 2021) (Fig. 4.3 – A, Anexa 3).

d. Numărul ramificațiilor vegetative/reproductive

Conform Figurii 4.4 – A, Anexa 3, este de remarcat faptul că, la soiul „Serafim”, ramificațiile reproductive ale plantelor le depășesc numeric pe cele vegetative în toate condițiile de tratament, inclusiv la varianta martor.

Această realitate constituie o caracteristică morfometrică distinctivă a acestui soi, comparativ cu soiul „Aromat de Buzău” și sugerează că soiul „Serafim” are o tendință naturală spre înflorire timpurie și ramificare reproductivă abundentă, posibil legată de specificul soiurilor de busuioc violet, adesea selecționate și pentru producția de inflorescențe, datorită pigmentilor antocianici conținuți, care participă activ, printre altele, la protejarea organelor lor vegetative împotriva stresului biotic și abiotic al mediului de cultivare (Morales și Simon, 1996; Phippen, 2000; Prinsi și colab., 2019).

Ramificațiile vegetative, ca parametru morfometric, prezintă o inhibare valorică rapidă și severă odată cu creșterea salinității mediului de viață al plantelor test. Practic, de la valori deja modeste în condițiile variantei control, acestea scad aproape de zero la concentrații ridicate de NaCl. Această prăbușire a ramificării vegetative a plantelor test în condiții de stres salin, reflectă o prioritizare clară a resurselor biologice ale indivizilor vegetali, plantele renunță progresiv la creșterea laterală vegetativă în favoarea supraviețuirii și reproducerii.

Ramificațiile reproductive prezintă rezistență la stres salin moderat și colaps la stres sever: la 100 mM NaCl numărul lor scade ușor față de varianta control, dar la 150 mM NaCl revine la valori comparabile cu cele ale martorului, sugerând o stimulare compensatorie a reproducerii la stres moderat, un comportament similar cu fenomenul de înflorire indus de stres descris de Takeno (2016). Totuși, la concentrația de 200 mM NaCl se produce un colaps aproape complet al ramificării reproductive (valori aproape de zero al numărului de ramificări), semn că la această concentrație stresul ionic și osmotic al mediului depășește capacitatea de adaptare a plantelor la condițiile dure de cultivare create experimental.

4. Plante cultivate în solar semideschis (Experiment II)

a. Lungimea totală a plantelor

Nu evidențiază modificări notabile, remarcabil fiind faptul că la concentrația de 150 mM NaCl, lungimea totală a plantelor test este aproape

identică cu ce a plantelor din varianta control, realitate ce sugerează o recuperare funcțională parțială a acestora sau o toleranță stabilizată la prezența salinității moderate a mediului, în timp ce la concentrația de 200 mM NaCl se poate observa o ușoară scădere a lungimii plantelor, comparativ cu cea a plantelor din varianta control (ușor efect citotoxic indus de salinitatea crescută) (Fig. 4.3 – B, Anexa 4, Anexa 6).

b. Numărul de internoduri

Acest parametru morfometric variază valoric extrem de puțin între variante experimentale, permițându-ne să deducem că stresul salin nu afectează semnificativ inițierea formării nodurilor tulpinale la plantele soiului „Serafim” (Fig. 4.3 – B, Anexa 4).

c. Lungimea internodurilor

Scade modest de la varianta control la variantele cu salinitate variabilă a mediului de cultivare, observându-se, însă, la concentrația de 150 mM NaCl o ușoară creștere față de varianta 100 mM, o dată cu recuperarea lungimii totale, ceea ce poate sugera o acomodare osmotică parțială a plantelor test la concentrații saline moderate ale mediului (Fig. 4.3 – B, Anexa 4).

d. Numărul de ramificații vegetative/reproductive

Acest parametru morfometric indică, în evoluția sa, o inhibare severă a dezvoltării ramificațiilor vegetative. La concentrația de 100 mM NaCl formarea lor este aproape nulă (medie aproape de 0), iar la 150 mM NaCl înregistrează o ușoară creștere, rămânând, totuși mult sub nivelul celui înregistrat la plantele din varianta martor.

Surprinzător, numărul mediu de ramificații vegetative revine la un nivel similar cu cel al grupului de control la concentrația de 200 mM NaCl (Fig. 4.4 – B, Anexa 4). Acest fapt ar putea indica fie o adaptare forțată și o încercare disperată a plantelor de a crește suprafața foliară pentru fotosinteză, fie o perturbare hormonală gravă, cauzată de toxicitatea extremă a sodiului (Ha și colab., 2014; Prerostova și colab., 2017).

În cazul ramificațiilor reproductive se observă o creștere numerică la concentrațiile de 100 mM și 150 mM NaCl, variație direct proporțională cu nivelul de stres salin suportat de plantele test. La concentrația maximă testată (200 mM NaCl), numărul acestor ramificații scade, comparativ cu pragul de 150 mM NaCl, probabil din cauza toxicității ridicate a sării, care începe să

inhibe metabolismul general al plantei, dar rămâne totuși superior variantei control.

4.2. Reacții micromorfometrice în prezența stresului salin

Analiza micromorfologică a stomatelor – numărul acestora (densitatea stomatică) și suprafața lor – reprezintă un instrument esențial pentru înțelegerea modului în care plantele se adaptează sau suferă în condiții de stres salin.

Rezultatele obținute practic confirmă afirmațiile din literatura de specialitate conform cărora suprafața foliară și densitatea stomatică joacă un rol important în menținerea echilibrului hidric al plantelor, iar schimbul de gaze (CO_2 și O_2) este reglat prin deschiderea și densitatea stomatelor, două trăsături care variază intraspecific ca răspuns la condiții de mediu, cum ar fi stresul hidric și salinitatea (Peel și colab., 2017).

Densitatea stomatală și dimensiunea stomatelor sunt invers corelate: se poate spune, astfel, că plantele ce au mai puține stomate pe unitatea de suprafață foliară pierd mai puțină apă prin transpirație, acesta fiind un avantaj esențial când solul este sărat și apa este mai greu de absorbit osmotic (Hasanuzzaman și colab., 2023).

Răspunsul și adaptarea aparatului stomatic, oferit în urma studierii orzului și grâului, demonstrează că menținerea funcționalității stomatice este direct corelată cu nivelul de toleranță la săruri, iar genotipurile tolerante (precum orzul sălbatic) posedă o capacitate superioară de a-și menține constant parametrii stomatici în condiții de stres, asigurând schimburi gazoase mult mai eficiente, comparativ cu soiurile de cultură, care sunt mai sensibile (Liu și colab., 2017; Kiani-Pouya și colab., 2020).

Rozmarinul este foarte bine cunoscut pentru rezistența sa la stresul hidric, inclusiv prin reglarea strictă a deschiderii stomatice pe parcursul zilei, capacitate ce face ca această specie să fie relativ tolerantă la stresul salin (Tounekti și colab., 2011).

În cazul busuiocului, cercetările au arătat faptul că o densitate stomatală mai redusă, contribuie coordonat la îmbunătățirea adaptării busuiocului și a eficienței utilizării apei în condiții de salinitate (Barbieri și colab., 2012).

În lumina celor discutate, subscriem afirmațiilor comunicate de literatura de specialitate, conform cărora analiza micromorfologică a suprafeței foliare

permite nu doar înțelegerea mecanismelor de adaptare, ci și de selecție a genotipurilor tolerante la diferite tipuri de stres, ca instrument esențial în ameliorarea plantelor agricole și aromatice în contextul schimbărilor climatice (Chaplin și colab., 2025; Wang și Chang, 2024).

4.3. Reacții la nivel anatomic ale plantelor aparținând la două soiuri autohtone de *Ocimum basilicum* L. la stresul salin indus experimental

Stresul salin induce un set de modificări anatomice care afectează toate organele plantei, de la rădăcină până la sămânță. Unele modificări (ex. lignificarea, reducerea conductivității hidraulice, modificarea arhitecturii radiculare) reprezintă răspunsuri adaptative menite să limiteze transportul ionilor toxici, în timp ce altele (ex. dezintegrarea celulelor corticale, inhibiția aparatului fotosintetic, reducerea suprafețelor vasculare) sunt consecințe patologice directe ale toxicității ionice și stresului osmotic (Liu și colab., 2024). Înțelegerea acestor mecanisme morfo-anatomice este esențială pentru ameliorarea varietăților de culturi rezistente la salinitate.

Salinitatea influențează sistemul vascular al plantelor prin modificări structurale adaptative și prin perturbarea funcțiilor vitale de transport al apei și a nutrienților, dezvoltarea celulară fiind inhibată prin disfuncționalități în transportul apei în interiorul țesuturilor vasculare (Meftahizadeh și colab., 2025).

Prezența în exces a ionilor de Na^+ și Cl^- în mediul de cultivare, afectează procesul de transport, promovând toxicitate ionică și dezechilibru nutrițional. Salinitatea determină la nivelul rădăcinii o creștere accentuată a grosimii endodermului și a țesutului sclerenchimatic, alături de un număr mai mare de celule parenchimatică în zona corticală și măduvă.

La rădăcină și tulpină, răspunsul caracteristic constă în îngroșarea și lignificarea endodermului și a țesuturilor sclerenchimatice (Dolatabadian și colab., 2011), dezvoltarea barierelor apoplastice prin depunerea de suberină și formarea benzilor Caspary în celulele endodermice și remodelarea sistemului vascular, cu modificări ale diametrului, densității și numărului vaselor de xilem (Doblas, Geldner și Barberon, 2017; Pandit și colab., 2024).

Ca mecanism de adaptare la stresul salin ridicat, la plantele de busuioc, soiul „Genovese” cultivate în condiții de stres salin, s-a observat o **creștere a numărului de vase conducătoare** (vase de xilem) dar și o suberificare prematură la nivelul rădăcinii (Olaru și colab., 2022).

În concluzie, răspunsul plantei la stresul salin reprezintă un echilibru delicat între supraviețuire și dezvoltare. Pe de o parte, degradarea membranelor vasculare din cauza stresului oxidativ perturbă transportul normal al ionilor. Pe de altă parte, reacția de autoapărare a plantei, închiderea stomatelor pentru a nu pierde apă, vine cu dezavantajul blocării fluxului de nutrienți de la rădăcini spre restul organelor. Prin urmare, aceste modificări reflectă un compromis vital: planta sacrifică ritmul optim de hidratare și hrănire pentru a preveni intoxicarea cu salinitate a țesuturilor sensibile (Kumar Sharma, 2023).

4.1. Reacții fiziologice ale plantelor aparținând la două soiuri autohtone de *Ocimum basilicum* L. la stresul salin indus experimental

4.1.1. Fluorescența clorofiliană

Fluorescența clorofiliană este utilizată ca un indicator precis al eficienței fotochimice și al stării de sănătate a sistemului fotosintetic al plantelor sub influența factorilor de stres (Santos și colab., 2020). Analiza fluorescenței clorofilei a devenit o tehnică larg utilizată, rapidă și neinvazivă pentru studiul procesului fotosintetic în condiții de stres, permițând monitorizarea răspunsurilor plantelor la diverși factori de mediu atât în condiții experimentale, cât și de câmp (Maxwell și Johnson, 2000; Swoczyna și colab., 2022). Metoda poate determina cu precizie cantitatea de energie utilizată pentru fotochimie (ΦPSII), disipată sub formă de căldură sau pierdută prin căi neregulate, oferind astfel o imagine completă asupra statusului funcțional al aparatului fotosintetic în raport cu factorii de stres (Moustaka și Moustakas, 2023).

4.1.1.1. Modificări ale fluorescenței clorofiliene la plante aparținând soiului verde „Aromat de Buzău”

1. Plante cultivate în laborator (Experiment I) - Fig. 4.29 – A, Anexa 7

Tratamentul cu 200 mM NaCl a determinat o reducere semnificativă statistic ($p < 0,05$) a eficienței cuantice efective a fotosistemului II (Φ PSII) comparativ cu varianta martor, în timp ce concentrațiile de 100 și 150 mM nu au produs diferențe semnificative. Această scădere indică o afectare a eficienței fotochimice operaționale a Φ PS II în condiții de stres salin sever.

2. Plante cultivate în solar semideschis (Experiment II) - Fig. 4.29 – B, Anexa 8

Spre deosebire de condițiile de laborator, în solarul semideschis toate cele trei concentrații de NaCl au determinat reduceri semnificative statistic ale Φ PSII față de martor, cea mai accentuată scădere fiind înregistrată la 150 mM. Valoarea mai redusă a Φ PSII la plantele martor comparativ cu laboratorul sugerează prezența unui stres de fond indus de condițiile de mediu necontrolate, iar diferențele dintre tratamente indică o sensibilitate mai mare a aparatului fotosintetic la stresul salin în condiții de mediu variabile.

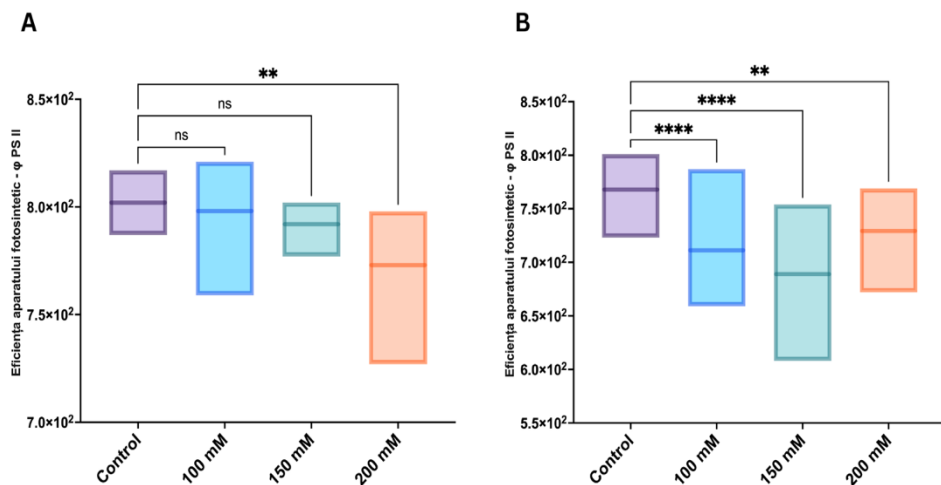


Figura 4. 1 Modificări ale fluorescenței clorofiliene la plante de *Ocimum basilicum* L., soiul verde „Aromat de Buzău”, cultivate în condiții de stres salin indus experimental. A - Experiment I; B - Experiment II (* - diferențe semnificative statistic; ns - diferențe nesignificative statistic)

4.1.1.2. *Modificări ale fluorescenței clorofiliene la plante aparținând soiului violet „Serafim”*

1. Plante cultivate în laborator (Experiment I) - Fig. 4.30 – A, Anexa 7

Analiza fluorescenței clorofiliene a plante de busuioc din soiul „Serafim” relevă faptul că stresul salin afectează eficiența fotosistemului II într-o manieră dependentă atât de concentrația de NaCl aplicată experimental, cât și de condițiile lor de cultivare.

În condiții de laborator, plantele soiului „Serafim” demonstrează o rezistență remarcabilă la stresul salin moderat, cu diferențe semnificative față de varianta control abia la concentrația de 200 mM NaCl. La concentrația de 100 mM se observă o variabilitate crescută a valorilor Φ PSII fără o modificare semnificativă a valorii mediane, fapt ce poate fi interpretat ca o fază de răspuns adaptativ timpuriu, în care plantele activează în mod diferențiat mecanisme de protecție a Φ PSII, posibil inclusiv prin intervenția pigmentilor antocianici, cunoscuți pentru capacitatea lor de a absorbi radiația potențial fotoinhibitorie și de a neutraliza speciile reactive de oxigen (Gould, McKelvie și Markham, 2002; Steyn și colab., 2002).

2. Plante cultivate în solar semideschis (Experiment II) - Fig. 4.30 – B, Anexa 8

În condiții de solar semideschis, efectele inhibitorii ale NaCl aplicate experimental sunt semnificative statistic încă de la varianta cu concentrația de 100 mM NaCl și se intensifică progresiv, atingând o diferență puternic semnificativă la varianta cu concentrația maximă de NaCl (200 mM). Absența oricărei recuperări a Φ PS II la concentrații mai mari ale salinității mediului la plantele soiului „Serafim”, în contrast cu comportamentul plantelor soiului „Aromat de Buzău” cultivate în aceleași condiții (solar semideschis) sugerează că soiul „Serafim” urmează un model de răspuns progresiv-inhibitor la stresul salin, combinat cu factorii de mediu variabili de cultivare (fluctuații termice, intensitate luminoasă necontrolată) prezenți în solar.

Această vulnerabilitate sporită în condiții de solar semideschis poate fi asociată cu o capacitate mai redusă de reglare osmotică rapidă a plantelor sau

cu o sensibilitate mai mare a centrilor lor de reacție la acumularea ionilor de Na^+ și Cl^- la nivelul tilacoidelor (Munns și Tester, 2008).

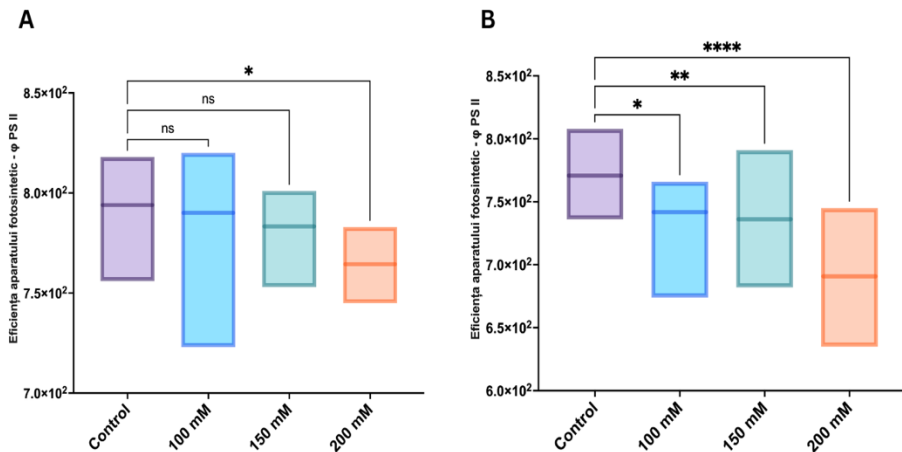


Figura 4. 2 Modificări ale fluorescenței clorofilene la plante de *Ocimum basilicum* L., soiul violet „Serafim”, cultivate în condiții de stres salin indus experimental. A - Experiment I; B - Experiment II (* - diferențe semnificative statistic; ns - diferențe nesemnificative statistic)

Conform literaturii de specialitate, stresul salin afectează creșterea plantelor din punct de vedere fotochimic în funcție de genotip, monitorizarea fluorescenței clorofilene fiind o metodă rapidă și eficientă pentru identificarea soiurilor rezistente (Khaliq, Tita și Zafar, 2017; Santos și colab., 2020).

Dacă în cazul anumitor soiuri de busuioc modificările semnificative ale variabilelor fluorescenței au apărut doar atunci când salinitatea a depășit nivelul de 3,5 dS m⁻¹ (aproximativ 35 - 42 mM NaCl) (Santos și colab., 2020), unele studii indică faptul că busuiocul poate tolera o salinitate moderată, de până la 150 mM NaCl, prag peste care productivitatea sa scade drastic (Khaliq și colab., 2017), fiind evidențiat faptul că soiul de busuioc „Genovese” este superior în gestionarea energiei luminoase în condiții de stres salin, protejându-și structurile vitale ale fotosistemului prin mecanisme genetice și fiziologice (Mancarella și colab., 2016b).

Un alt studiu relatează faptul că stresul cauzat de conductivitatea electrică ridicată (EC) afectează performanța plantelor de busuioc mult mai sever decât deficitul de apă (seceta) și cu toate că ambele tipuri de stres alterează parametrii

fluorescenței clorofilene, salinitatea reprezintă un factor abiotic mult mai restrictiv. Totodată, același studiu concluzionează faptul că plantele tinere au prezentat alterări mult mai pronunțate ale dinamicii transportului de electroni, în timp ce plantele mature au demonstrat o stabilitate structurală superioară și o capacitate mai mare de a menține eficiența fotosintetică (Mirgos și colab., 2026).

4.1.2. Conținutul de pigmenți asimilatori

Fotosinteza este procesul fundamental prin care plantele convertesc energia luminoasă în energie chimică, un mecanism dependent de prezența și buna funcționare a pigmenților asimilatori localizați în membranele tilacoidale ale cloroplastelor. Analiza cantitativă a acestor pigmenți este unul dintre cei mai relevanți biomarkeri pentru evaluarea integrității aparatului fotosintetic și a gradului de toleranță a plantelor la factorii de stres abiotic, precum salinitatea (Munns și Tester, 2008; Taiz și colab., 2015). Sistemul pigmentar al plantelor superioare este alcătuit din două clase majore de compuși: clorofilele (pigmenți tetrapirolici) și pigmenții carotenoizi (pigmenți terpenoizi), fiecare categorie îndeplinind roluri specifice și complementare în captarea luminii și protejarea structurilor celulare (Taiz și colab., 2015).

Clorofilele sunt principalii pigmenți responsabili pentru culoarea verde a plantelor, deoarece absorb lumina în regiunile albastră și roșie ale spectrului, reflectând lungimile de undă verzi, clorofila *a* și *b* fiind cele mai abundente în plantele verzi. Clorofila *a* este prezentă în toate organismele care degajă oxigen prin procesul fotoasimilator, în timp ce clorofila *b* pigmentul specific complexelor antenă LHCII (Light-Harvesting Complex II), servește drept pigment accesoriu, rolul ei principal fiind lărgirea spectrului de absorbție a luminii (în special în regiunile albastră și roșie ale spectrului) și de a transfera energiei de rezonanță către clorofila *a* din centrul de reacție (Taiz și colab., 2015; Kume, Akitsu și Nasahara, 2018; Zhang și colab., 2025; Liu și colab., 2026).

Pigmenții carotenoizi sunt pigmenți accesorii, care includ carotenii și xantofilele și care îndeplinesc o dublă funcție: pe de o parte contribuie la captarea luminii în spectrul vizibil, unde clorofilele sunt mai puțin eficiente, iar pe de altă parte au un rol structural și fotoprotector indispensabil. Acești pigmenți au capacitatea de a preveni fotodistrugerea aparatului fotosintetic prin dispariția excesului de energie luminoasă sub formă de căldură, acționând ca

antioxidanți puternici, neutralizând speciile reactive de oxigen (ROS) generate în condiții de stres osmotic sau ionic sever (Demmig-Adams, 1990; Hashimoto și colab., 2016; Vishnevetsky, 1999; Young, 1991)

4.4.2.1. Modificări ale conținutului de pigmenți asimilatori la plante aparținând soiului verde „Aromat de Buzău”

1. Plante cultivate în laborator (Experiment I) - Figura 4.31 – A, Anexa 9

Analiza complexului de pigmenți asimilatori (clorofilă *a*, clorofilă *b* și pigmenți carotenoizi), al soiului de busuioc „Aromat de Buzău” cultivate în condiții de laborator, a prezentat un comportament diferențiat cantitativ al fiecărui tip de pigment, în raport cu intensitatea stresului salin aplicat:

- Conținutul de clorofilă *a*

Pe întreg intervalul de salinitate testat nivelul de concentrație a acestei fracții clorofiliene s-a menținut relativ stabil, sugerând faptul că aparatul fotosintetic al plantelor aparținând soiului „Aromat de Buzău” prezintă o toleranță intrinsecă la perturbările ionice induse de NaCl. Având în vedere afirmația din literatura de specialitate conform căreia menținerea nivelului de clorofilă *a* în condiții de stres este considerat a fi un indicator al capacității de adaptare a speciei la medii saline (Ashraf și Harris, 2013), rezultatele obținute practic pentru plantele acestui soi de busuioc pe parcursul derulării experimentului sugerează faptul că procesul de fotosinteză primară în plantele test nu este compromis semnificativ de concentrațiile saline aplicate experimental mediului de cultivare.

- Conținutul de clorofilă *b*

Clorofila *b*, joacă la plante un rol esențial în extinderea spectrului de absorbție al luminii și în transferul energiei către centrele de reacție (Taiz și colab., 2015), iar o creștere cantitativă al acestui pigment în celulele fotoasimilatoare poate reflecta strategia organismelor vegetale de a optimiza utilizarea energiei luminoase disponibile în condiții de stres.

Fracția de clorofilă *b* a prezentat la plantele de busuioc din soiul „Aromat de Buzău” cel mai dinamic răspuns la stresul salin. Față de valoarea variantei Control, concentrația sa a crescut la varianta de tratament cu 100 mM NaCl și a atins maximul la varianta de tratament cu 200 mM NaCl, fiind observată o scădere valorică notabilă a acesteia la concentrația intermediară de 150 mM NaCl aplicată plantelor test.

Creșterile înregistrate la 100 mM și 200 mM NaCl pot fi interpretate ca un răspuns adaptativ al plantelor de busuioc, prin care acestea își sporesc capacitatea de captare a luminii în condiții de stres osmotic, compensând potențiala reducere a eficienței fotosintetice.

Scăderea pronunțată a conținutului de clorofilă *b* la varianta 150 mM NaCl este remarcabilă și poate sugera o fază de dezechilibru metabolic al plantelor la această concentrație, posibil asociată cu o perturbare temporară a biosintezei pigmentilor sau cu o degradare accelerată a acestora, mediată, la nivel celular, de specii reactive de oxigen (ROS). Acest comportament non-liniar este întâlnit și în alte studii pe plante de busuioc supuse unor concentrații saline moderate (Tarchoune și colab., 2010) și merită investigat suplimentar prin corelație cu parametrii de stres oxidativ.

- Conținutul de pigmenți carotenoizi:

Această fracție a pigmentilor a prezentat un nivel cantitativ foarte scăzut în toate variantele experimentale, cu valori foarte reduse la concentrațiile de 150 mM și 200 mM NaCl în mediul de cultivare al plantelor test. Această evoluție descendentă indică o sensibilitate ridicată a pigmentilor carotenoizi la stresul salin intens produsă, posibil, prin inhibarea căii de biosinteză a izoprenoizilor componenți sau prin degradarea oxidativă accelerată a acestora.

Carotenoidele îndeplinesc un dublu rol funcțional în plante: participă la captarea energiei luminoase (β -caroten, luteină) și acționează ca antioxidanți, protejând clorofila de fotodegradare (Young, 1991). Diminuarea pronunțată a acestora la variantele 150 și 200 mM NaCl în mediul de cultivare poate compromite capacitatea de fotoprotecție a plantelor și poate amplifica efectele nocive ale stresului oxidativ la concentrații saline ridicate.

2. Plante cultivate în solar semideschis (Experiment II) - Figura 4.31 – B, Anexa 10

- Conținutul de clorofilă *a*:

Valorile acestei fracții clorofiliene se mențin relativ constante și stabile pe parcursul tuturor tratamentelor cu NaCl aplicate. Pe parcursul derulării experimentului nu se observă o degradare semnificativă a acestui pigment nici la concentrația maximă testată (200 mM NaCl), realitate ce sugerează o menținere a integrității centrilor de reacție fotosintetici din cloroplastele plantelor test, independent de condițiile de salinitate ale mediului de vegetație.

- Conținutul de clorofilă *b*:

Spre deosebire de clorofila *a*, clorofila *b* prezintă o dinamică valorică puternic influențată de intensitatea stresului salin. În varianta de control și la varianta experimentală cu concentrația de 100 mM NaCl, valorile sale sunt inferioare cantitativ clorofilei *a*. Totuși, la varianta de tratament 150 mM NaCl se observă o creștere abruptă a conținutului de clorofilă *b*, acesta atingând un nivel comparabil cu cel al clorofilei *a*. La varianta de tratament 200 mM NaCl, deși concentrația sa scade ușor, comparativ cu pragul de 150 mM NaCl, acesta rămâne semnificativ mai ridicat, față de varianta martor.

- Conținutul de pigmenți carotenoizi:

Pigmenții carotenoizi, ca pigmenți accesorii cu rol fotoprotector, se regăsesc, comparativ cu pigmenții clorofilieni, în cantitate mult mai redusă în cloroplaste. Analiza lor cantitativă evidențiază la plantele de busuioc test un declin evident, odată cu creșterea concentrației salinității mediului extern. Dacă în varianta martor și la varianta 100 mM NaCl concentrația lor se menține relativ stabilă, la varianta 150 mM NaCl se înregistrează o reducere drastică a acestora, pentru ca la 200 mM NaCl în mediul de vegetație al plantelor test această fracție de pigmenți să evidențieze o foarte ușoară revenire cantitativă, față de pragul de 150 mM NaCl, nivelul lor valoric rămânând, însă, mult inferior martorului.

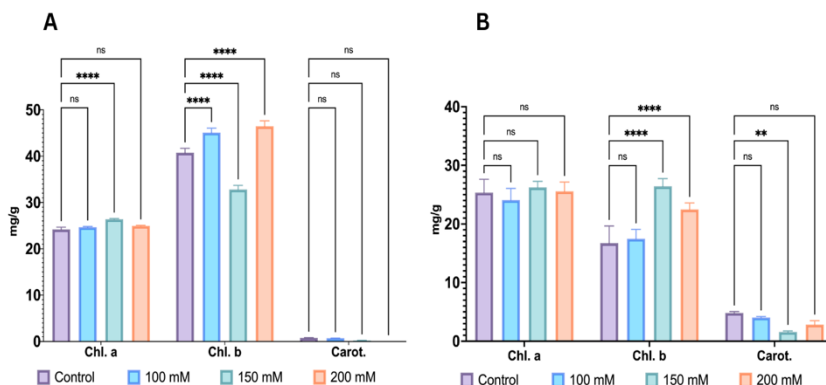


Figura 4. 3 Modificări ale conținutului de pigmenți asimilatori la plante de *Ocimum basilicum* L., soiul verde „Aromat de Buzău”. A - Experiment I; B - Experiment II (* - diferențe semnificative statistic; ns - diferențe nesemnificative statistic)

4.4.2.2. Modificări ale conținutului de pigmenți asimilatori la plante aparținând soiului violet „Serafim”

1. Plante cultivate în laborator (Experiment I) - Fig. 4.32 – A, Anexa 11

Analiza cantitativă a pigmenților asimilatori la soiul cu frunze violet „Serafim” cultivat în laborator în condiții de salinitate indusă experimental prezintă o dinamică specifică de răspuns valoric, față de soiul anterior analizat, cu frunze verzi.

- Conținutul de clorofilă a:

Această fracție clorofiliană prezintă o stabilitate relativă pe parcursul derulării experimentului, deși se observă o ușoară scădere valorică a acesteia la concentrațiile intermediare de săruri testate experimental: la 100 mM și 150 mM NaCl concentrația sa scade ușor, pentru ca la varianta maxim testată, de 200 mM NaCl să înregistreze o revenire, ajungând la valori apropiate de cele ale martorului.

- Conținutul de clorofilă b:

Un aspect important pentru acest experiment este nivelul bazal foarte ridicat al clorofilei *b*, care depășește cantitativ clorofila *a* în toate variantele testate. Sub influența stresului salin, clorofila *b* înregistrează o acumulare accentuată la varianta de tratament 100 mM NaCl și atinge un nivel maxim la 150 mM NaCl, pentru ca la varianta 200 mM NaCl aceasta să înregistreze o reducere cantitativă, deși valoarea sa se menține superioară variantei martor.

Evoluția ascendentă, urmată de un declin la concentrația cea mai ridicată, sugerează că soiul „Serafim” răspunde la stresul salin moderat printr-o stimulare activă a sintezei de clorofilă *b* ca mecanism de compensare a perturbărilor fotosintezei induse de ioni de Na^+ și Cl^- , sugerând faptul că planta încearcă să mențină eficiența captării energiei luminoase prin extinderea sistemului antenă.

Scăderea cantitativă a acestei fracții clorofiliene înregistrată la varianta 200 mM NaCl indică atingerea limitei de toleranță pentru acest mecanism adaptativ, toxicitatea salină începând să degradeze structurile nou formate.

- Concentrația pigmentilor carotenoizi:

Spre deosebire de dinamica valorică a clorofilelor, concentrația pigmentilor carotenoizi evidențiază valori extrem de reduse pe tot parcursul experimentului iar aplicarea tratamentelor cu NaCl induce o scădere și mai

accentuată a acestora, valorile acestor pigmenți tinzând spre zero la variantele experimentale de 150 mM și 200 mM NaCl.

Nivelul neglijabil al pigmenților carotenoizi atrage atenția asupra mecanismelor de fotoprotecție. Deși în mod normal acești pigmenți sunt principalii agenți non-enzimatici de protecție împotriva stresului oxidativ la nivelul cloroplastelor, lipsa lor la soiul de busuioc „Serafim” sugerează că această funcție de fotoprotecție este preluată la aceste plante de alți compuși. Fiind un soi violet, este foarte probabil ca sinteza masivă de pigmenți antocianici (pigmenți vacuolari cu un puternic rol antioxidant și de screening luminos) să suplinească în acest caz deficitul de pigmenți carotenoizi, oferind respectivelor plante protecția necesară împotriva speciilor reactive de oxigen (ROS) generate de stresul salin.

2. Plante cultivate în solar semideschis (Experiment II) - Fig. 4.32 – B, Anexa 12

- Concentrația clorofilei *a*:

La varianta martor, clorofila *a* înregistrează cea mai ridicată valoare, observându-se o scădere moderată a sa odată cu aplicarea stresului salin la varianta 100 mM NaCl, urmată de o ușoară revenire la 150 mM NaCl, în timp ce la concentrația maximă de 200 mM NaCl concentrația de clorofilă *a* suferă un declin semnificativ.

- Concentrația clorofilei *b*:

Spre deosebire de condițiile de laborator, în solar varianta martor prezintă un raport normal, subunitar, între clorofila *b* și clorofila *a*. Însă, sub incidența stresului salin la variantele 100 mM și 150 mM NaCl, clorofila *b* înregistrează o creștere cantitativă vizibilă, ajungând să depășească ușor concentrația de clorofilei *a*. Și în această situație la varianta 200 mM NaCl, clorofila *b* scade cantitativ, înregistrând un nivel valoric similar cu cel din varianta control.

Prin rezultatele obținute confirmăm interpretările din literatura de specialitate (Xu și colab., 2012; Mancarella și colab., 2016b; Zhang și colab., 2025), conform căror creșterea substanțială a concentrației clorofilei *b* la variantele de stres salin moderat - spre crescut (100 mM și 150 mM NaCl) reprezintă o reacție adaptativă clasică: plantele investesc resurse importante în mărirea complexelor de captare a luminii (LHC), pentru a crește eficiența

acestora și a compensa închiderea stomatelor sau efectele osmotice induse de clorura de sodiu.

- Concentrația pigmentilor carotenoizi:

În condiții normale (varianta martor), pigmentii carotenoizi prezintă o concentrație bazală firească pentru o cultură *in vivo*. Aplicarea tratamentului salin, chiar și la concentrația minimă testată de 100 mM NaCl induce un colaps al biosintezei lor, valorile acestora prăbușindu-se și menținându-se la un nivel critic scăzut și pentru variantele de tratament 150 mM și 200 mM NaCl.

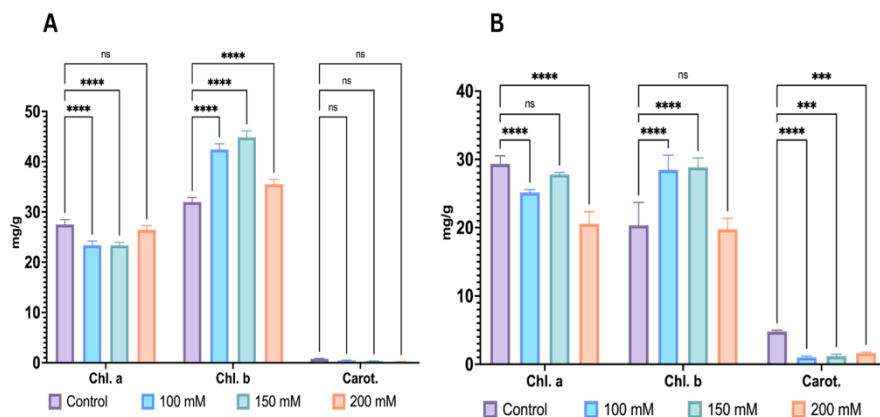


Figura 4. 4 Modificări ale conținutului de pigmenți asimilatori la plante de *Ocimum basilicum* L., soiul violet „Serafim”. A - Experiment I; B - Experiment II (* - diferențe semnificative statistic; ns - diferențe ne semnificative statistic)

Busuiocul este, în general, considerat sensibil moderat la salinitate, răspunsul plantelor fiind, însă, puternic dependent de genotip și de intensitatea/durata tratamentului. Heidari (2012) a arătat faptul că, în două genotipuri (*Ocimum basilicum* L. și *Ocimum minimum* L.) conținutul de pigmenți asimilatori scade semnificativ pe măsură ce crește conductivitatea electrică. (Tarchoune, Degl’Innocenti, și colab., 2012a) au comparat efectul a două săruri (NaCl 50 mM vs. Na₂SO₄) asupra soiului „Genovese” și au arătat că răspunsul fotosintetic este diminuat mai puternic de salinitatea clorurată decât de cea sulfată, sugerând că anionul Cl⁻ are un rol determinant în toxicitatea ionică la nivel foliar.

În lucrarea lor, Barbieri și colab., (2012) au evidențiat existența unei variabilități între soiurile de busuioc cultivate la toleranța de stres salin, comparând soiurile „Napoletano” și „Genovese”. Conform acestor autori, toleranța soiului mai rezistent este atribuită unei densități stomatice mai reduse, unui conținut crescut de ascorbat și unei activități superioare a polifenoloxidazei (PPO) care, împreună, mențin un raport echilibrat WUE (eficiență a utilizării apei) și protejează pigmentii fotosintetici de degradarea oxidativă.

Ca și autorii lucrării precedente, Mancarella și colab., (2016) au analizat modul în care două varietăți de busuioc, „Genovese” și „Napoletano”, reacționează diferit la stresul salin, cercetarea evidențiind faptul că soiul „Genovese” posedă o toleranță superioară, reușind să își mențină eficiența fotosintetică prin acumularea strategică de sodiu în frunze, pentru echilibru osmotic. În contrast, varietatea „Napoletano” a prezentat o sensibilitate ridicată, manifestată prin niveluri mai mari de acid abscizic și o reducere drastică a biomasei. Rezultatele comunicate de acești autori sugerează că gestionarea eficientă a stresului oxidativ și păstrarea hidratării celulare sunt esențiale pentru supraviețuirea culturilor de busuioc în soluri sărate.

4.2. Reacții biochimice ale plantelor aparținând la două soiuri autohtone de *Ocimum basilicum* L. la stresul salin indus experimental

4.2.1. Conținutul de polifenoli totali

Polifenolii reprezintă o grupă vastă de metaboliți secundari ai plantelor, fiind esențiali atât pentru fiziologia acestora, cât și pentru calitatea nutrițională a alimentelor, având un rol crucial în apărarea plantei împotriva stresului oxidativ, a radiațiilor UV, a patogenilor și a stresului abiotic (Heimler, Romani și Ieri, 2017; Sharma și colab., 2019).

Aceștia includ diverse subclase, cele mai frecvent studiate fiind flavonoidele (cum sunt flavanolii, flavonolii și antocianinele) și acizii fenolici (Tounekti și colab., 2013), conținutul acestora fiind influențat de factori genetici, originea geografică, condițiile climatice și practicile agricole (Tounekti și colab., 2013).

4.5.1.1. Conținutul de polifenoli totali la plante aparținând soiului verde „Aromat de Buzău”

1. Plante cultivate în laborator (Experiment I) - Fig. 4.33 – A, Anexa 13

Analiza conținutului de polifenoli totali la soiul de busuioc „Aromat de Buzău”, cultivat în condiții controlate de laborator relevă un răspuns biochimic neliniar, cu variații semnificative în funcție de intensitatea tratamentului salin aplicat.

La concentrația de 100 mM NaCl, se înregistrează o ușoară creștere a conținutului de polifenoli față de martor, sugerând că un nivel moderat de salinitate poate stimula, într-o primă etapă, activarea mecanismelor de apărare antioxidantă ale plantei. Această reacție este similară cu fenomenul cunoscut în literatura de specialitate drept *hormesis* (*hormeză*), răspunsul adaptativ pozitiv al unui organism la un stres de intensitate redusă.

În toxicologie, hormeza este definită ca fiind un răspuns bifazic la un compus toxic (stresor): la doze mici acest compus induce un efect benefic, iar la doze mari produce un efect toxic. La nivel fiziologic, aceasta se traduce printr-un răspuns adaptativ al unui organism la un nivel redus de stres, însoțit de o supracompensare atunci când homeostazia a fost perturbată, un factor-cheie în procesul evolutiv (Vargas-Hernandez și colab., 2017).

La concentrația de 150 mM NaCl, concentrația de polifenoli scade ușor sub nivelul martorului, indicând faptul că la acest prag de salinitate resursele metabolice ale plantelor sunt redirectionate, probabil, spre gestionarea perturbărilor osmotice și ionice, cu o reducere tranzitorie a capacității de sinteză a compușilor fenolici.

Cel mai semnificativ răspuns este înregistrat la varianta 200 mM NaCl, la care concentrația de polifenoli totali crește dramatic, atingând aproximativ 1,35 mg/g, aproape dublul valorii martorului. Această acumulare masivă de compuși fenolici reprezintă o reacție de apărare intensă a plantelor test la stresul salin sever, prin care sunt neutralizate speciile reactive de oxigen (ROS) generate în exces în condiții de stres ionic acut.

2. Plante cultivate în solar semideschis (Experiment II) - Fig. 4.33 – B, Anexa 14

Plantele test de busuioc cultivate în condiții de solar semideschis au înregistrat la varianta martor (control) o concentrație de polifenoli totali de aproximativ 0,60 mg/g, reprezentând valoarea de referință față de care au fost raportate celelalte variante. Variabilitatea biologică observată în condiții de câmp este mai pronunțată comparativ cu cea din laborator. Această dispersie, evidențiată prin intervalele de variație ale datelor, este o consecință directă a influenței factorilor ambientali (lumină, temperatură, umiditate), care sunt mult mai stabili în condițiile monitorizate din spațiile de laborator. La varianta 100 mM NaCl se observă o ușoară scădere a conținutului de polifenoli în plantele test față de varianta martor; reducerea astfel înregistrată, deși nesemnificativă din punct de vedere statistic, poate sugera faptul că stresul salin moderat a influențat, totuși, într-o anumită măsură, biosinteza polifenolilor în condițiile de cultivare a busuiocului în solar.

Concentrația de polifenoli a plantelor test la varianta experimentală 150 mM NaCl este asemănătoare cu cea de la varianta 100 mM NaCl și rămâne sub nivelul martorului, diferența față de acesta fiind și în acest caz nesemnificativă statistic. Absența unui răspuns clar în legătură cu concentrația polifenolilor la o salinitate considerată deja ridicată pentru majoritatea culturilor horticole, semnalată de literatura de specialitate sugerează că, în condițiile solarului semideschis, plantele soiului „Aromat de Buzău” nu își activează în mod semnificativ căile de sinteză a acestor metaboliți la acest prag de stres, posibil datorită interacțiunii cu alți factori de mediu care maschează sau compensează efectul salinității.

La cea mai ridicată concentrație de NaCl testată (200 mM), se înregistrează o ușoară creștere a conținutului de polifenoli în plantele test față de martor, rezultatul sugerând o tendință de răspuns antioxidant a acestora la stresul salin sever indus experimental. Analiza rezultatelor evidențiază o dispersie pronunțată a valorilor, în special în cadrul variantei martor și al celei tratate cu 200 mM NaCl. Această variabilitate biologică ridicată reflectă eterogenitatea condițiilor de mediu specifice cultivării în solar semideschis, unde fluctuațiile naturale ale temperaturii, umidității și intensității luminoase nu pot fi riguros controlate, spre deosebire de mediul izolat din laborator.

Ca urmare a acestei heterogenități a microclimatului și a substratului, răspunsul antioxidant a prezentat oscilații semnificative la nivelul indivizilor testați. Astfel, diferențele observate nu prezintă o relevanță statistică certă, fapt

ce limitează posibilitatea de a interpreta creșterile înregistrate drept un răspuns adaptativ specific al soiului „Aromat de Buzău” la stresul salin.

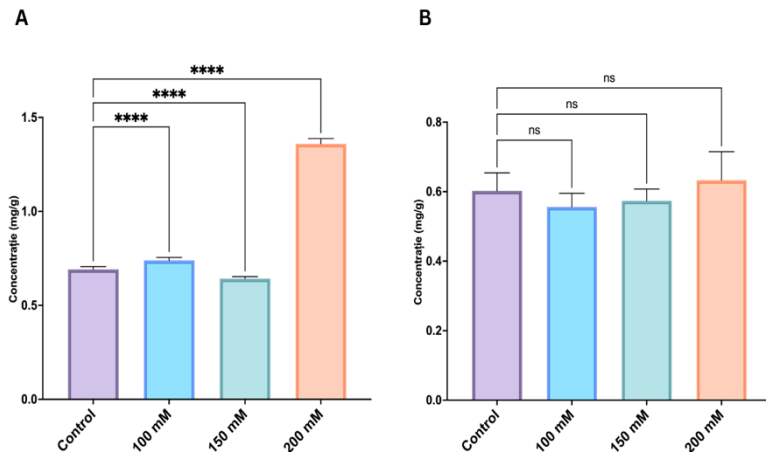


Figura 4. 5 Conținutul de polifenoli totali al plantelor de *Ocimum basilicum* L., soiul verde „Aromat de Buzău”. A - Experiment I; B - Experiment II (* - diferențe semnificative statistic; ns - diferențe ne semnificative statistic)

4.5.1.2. Conținutul de polifenoli totali la plante aparținând soiului violet „Serafim”

1. Plante cultivate în laborator (Experiment I) - Fig. 4.34 – A, Anexa 13

În cadrul acestui experiment, se observă că, față de varianta martor, toate variantele tratate cu NaCl au înregistrat valori semnificativ mai ridicate ale conținutului de polifenoli, diferențele fiind confirmate statistic la cel mai înalt nivel de semnificație.

Cea mai mare acumulare de polifenoli a fost înregistrată la concentrația de 100 mM NaCl, rezultatele prezentând o creștere de aproximativ 42% față de martor.

La concentrațiile superioare de stres salin aplicate experimental, valorile înregistrate rămân net superioare martorului, însă ușor reduse față de vârful atins la 100 mM NaCl, sugerând o tendință de plafonare a biosintezei acestor metaboliți la intensități mai mari ale stresului salin, ceea ce poate indica fie o

limitare a capacității biosintetice a plantelor test în condiții de stres sever, fie activarea unor mecanisme fiziologice suplimentare de compensare.

2. Plante cultivate în solar semideschis (Experiment II) - Fig. 4.34 – B, Anexa 14

Rezultatele obținute în condițiile de cultivare în solar semideschis relevă un comportament al plantelor test de busuioc din soiul „Serafim” opus celui înregistrat în laborator: în loc să stimuleze biosinteza polifenolilor, stresul salin a determinat în solar o reducere semnificativă a conținutului acestora față de varianta martor.

Această tendință sugerează că, în condițiile unui mediu de vegetație mai complex și mai puțin controlat, capacitatea de răspuns adaptativ a plantelor de busuioc din soiului „Serafim” este influențată de interacțiunea simultană, sumată, a mai multor factori de stres (salinitate, variații termice, intensitate luminoasă fluctuantă), factori ambientali ce pot suprasolicita resursele metabolice ale plantelor și le pot limita capacitatea de sintetiza suplimentară de compuși fenolici.

Un aspect deosebit de interesant îl reprezintă comportamentul atipic al variantei de tratament 150 mM NaCl care, fără să difere semnificativ de martor, înregistrează o valoare ușor superioară a conținutului de polifenoli biosintetizați față de variantele 100 mM și 200 mM NaCl sugerând, ca posibilă, existența unui răspuns de adaptare temporară a plantelor test la salinitate moderată sau a unei variabilități biologice crescute a indivizilor de busuioc din această variantă, în condițiile cultivării în solar semideschis.

Valoarea ridicată a conținutului de polifenoli în varianta martor din experimentul II față de martorul din laborator (experimentul I) poate indica faptul că anumite condiții naturale ale solarului semideschis, precum expunerea la radiații UV, variațiile de temperatură și alți factori ambientali stimulează în mod natural biosinteza compușilor fenolici chiar și în absența stresului salin, ceea ce confirmă rolul multiplu al factorilor de mediu în modularea metabolismului secundar la busuioc.

Tendința dominantă a plantelor raportată în literatura de specialitate este creșterea conținutului de polifenoli totali, ca răspuns la salinitate. În plantele care cresc în condiții dificile, acumularea compușilor fenolici este, adesea, o

trăsătură constantă și reprezintă un mecanism defensiv, sinteza și acumularea polifenolilor fiind stimulate în general ca răspuns la diferite tipuri de stres biotic/abiotic, precum salinitatea (Valifard și colab., 2014; Sharma și colab., 2019).

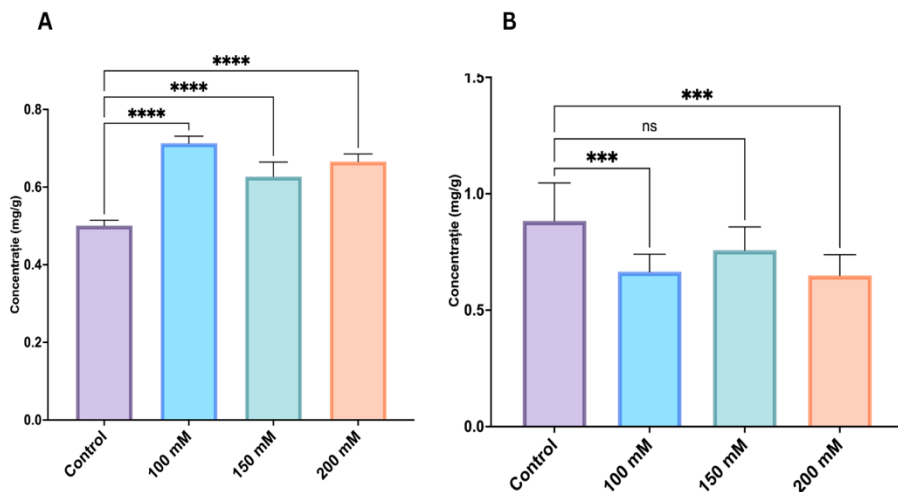


Figura 4. 6 Conținutul de polifenoli al plantelor de *Ocimum basilicum* L., soiul violet „Serafim”. A - Experiment I; B - Experiment II (* - diferențe semnificative statistic; ns - diferențe nesemnificative statistic)

Conform datelor prezentate de literatura de specialitate, tratamentele cu NaCl au inhibat creșterea plantelor de *Melissa officinalis* L., stimulând simultan acumularea de compuși fenolici (polifenoli totali, flavonoli solubili, antociani, acizi fenolici), în special la concentrația de 100 mM NaCl (Hasanuzzaman și Fujita, 2022).

Există însă și excepții, în funcție de specie și de intensitatea stresului suportat de plante, răspunsul ne fiind universal pozitiv. În studiul lor, Caldo, Mannino și Maffei (2025) au observat la plantele de menta faptul că valoarea conținutului total de compuși fenolici a scăzut odată cu creșterea concentrației de NaCl, deși biosinteza unor conjugați flavonoidici specifici a crescut cu 1,5 ori la concentrații ridicate de NaCl, fapt ce sugerează că stresul salin poate redistribui metabolismul fenolic, nu doar să îl amplifice global.

În cazul plantelor de busuioc stresul salin provocat de NaCl a crescut concentrațiile moleculelor bioactive cheie, în special pigmentii carotenoidici,

acizii fenolici și derivații flavonoidici, rezultând o activitate antioxidantă (Barbieri și colab., 2012), iar aplicarea unui stres salin controlat (ușor spre moderat) a devenit o strategie modernă de biofortificare a plantelor aromatice.

Plantele de busuioc limitează absorbția de nutrienți de bază, dar reacționează printr-o hiper-producție de substanțe benefice (polifenoli, flavonoide), crescându-și astfel valoarea adăugată pentru industria alimentară și farmaceutică (Corrado și colab., 2021; Ciriello, Formisano, Soteriou, și colab., 2022). De asemenea, și în cazul busuiocului variabilitatea genetică joacă un rol uriaș, soiurile cu frunze mov, adesea mai bogate în antocianine, având o capacitate superioară de ajustare osmotică, comparativ cu soiurile verzi, mai sensibile (Ciriello și colab., 2023; Meftahizadeh, Shahhoseini și Ghanbari, 2025).

4.2.2. Conținutul de flavonoide

Flavonoidele reprezintă cel mai mare grup de polifenoli din plante. Din punct de vedere structural, acestea includ mai multe subclase: flavonoli, flavone, izoflavone, antocianidine, flavanone, flavanoli și calcone, și sunt recunoscute ca metaboliți secundari majori cu rol central în atenuarea stresului oxidativ (Dias, Pinto și Silva, 2021; Akhtar și colab., 2026).

Flavonoidele sunt cunoscute pentru proprietățile lor antioxidante, de protecție față de radiațiile UV și antibacteriene, jucând astfel un rol important în protecția plantelor față de diferitele tipuri de stres abiotic și biotic și fiind considerate componente centrale ale sistemului de apărare antioxidantă a plantelor. În condiții de stres abiotic, cum ar fi salinitatea indusă de NaCl, plantele se confruntă cu un dezechilibru osmotic și un stres oxidativ sever, cauzat de acumularea speciilor reactive de oxigen (ROS), precum peroxidul de hidrogen sau radicalul anion superoxid (Dias, Pinto și Silva, 2021; Genzel și colab., 2021).

4.5.2.1. Conținutul de flavonoide la plante aparținând soiului verde „Aromat de Buzău”

1. Plante cultivate în laborator (Experiment I) - Fig. 4.35 – A, Anexa 15

Plantele acestui soi manifestă, cultivate în condiții de laborator, un răspuns dinamic și adaptativ al acestui parametru biochimic, în funcție de intensitatea stresului salin. Conținutul de flavonoide nu urmează o tendință simplă de

creștere sau scădere, ci urmează un răspuns neliniar cu un vârf secundar la tratamentul cu 100 mM NaCl, un maxim absolut la 200 mM NaCl, și o scădere valorică la cel cu 150 mM NaCl.

La concentrația de 100 mM NaCl, conținutul de flavonoide crește ușor față de martor. Diferența astfel înregistrată este semnificativă statistic, sugerând că un nivel moderat de salinitate acționează ca un stimul de activare a mecanismelor de apărare ale plantei materializate prin biosinteza acestui tip de metabolit secundar.

La varianta de tratament cu 150 mM NaCl se observă o scădere semnificativă a conținutului de flavonoide în plantele test, valorile înregistrate coborând chiar sub nivelul martorului. Această reducere, înalt semnificativă statistic, indică faptul că stresul ionic de intensitate medie depășește capacitatea de compensare a plantelor, la acest nivel de salinitate resursele lor metabolice fiind probabil redirecționate către menținerea homeostaziei ionice și osmotice, în detrimentul biosintezei compușilor fenolici - compuși metabolici secundari.

La varianta 200 mM NaCl conținutul de flavonoide atinge valoarea cea mai ridicată din întregul experiment, cu o diferență înalt semnificativă față de varianta martor. Acest rezultat, mai mult stres - mai multe flavonoide, poate fi explicat prin activarea unor căi metabolice de urgență: la concentrații ridicate de NaCl stresul oxidativ devine sever, iar plantele își intensifică producția de antioxidanți, inclusiv flavonoide, ca ultimă linie de apărare celulară. Nu poate fi exclusă însă, în acest caz nici o posibilă concentrare a metaboliților de constituție a celulelor vegetale ale plantelor, ca urmare a reducerii masei vegetale totale sub stres extrem.

2. Plante cultivate în solar semideschis (Experiment II) - Fig. 4.35 – B, Anexa 16

Spre deosebire de variantele cultivate în laborator, conținutul de flavonoide obținut la plantele test în condiții de solar semideschis urmează un tipar de biosinteză a flavonoidelor progresiv și ordonat, în care conținutul acestora crește treptat, proporțional cu intensitatea stresului salin suportat.

La concentrația de 100 mM NaCl, conținutul de flavonoide rămâne la valori asemănătoare cu cel din plantele martor, diferența nefiind semnificativă statistic, realitate ce sugerează faptul că un nivel moderat de salinitate ale

mediului nu perturbă și nici nu stimulează în mod semnificativ producția de flavonoide în aceste condiții de cultură.

La concentrația de 150 mM NaCl, se înregistrează o creștere clară a conținutului de flavonoide, diferența față de varianta martor fiind semnificativă statistic. Această concentrație reprezintă, probabil, pragul de la care stresul salin devine suficient de intens pentru a declanșa mecanismele de apărare antioxidantă ale plantelor, inclusiv acumularea sporită de compuși flavonoidici.

La concentrația de 200 mM NaCl, conținutul de flavonoide atinge valoarea maximă, cu o diferență înalt semnificativă față de martor, indicând faptul că stresul salin ridicat constituie un factor puternic de inducție a sintezei de flavonoide.

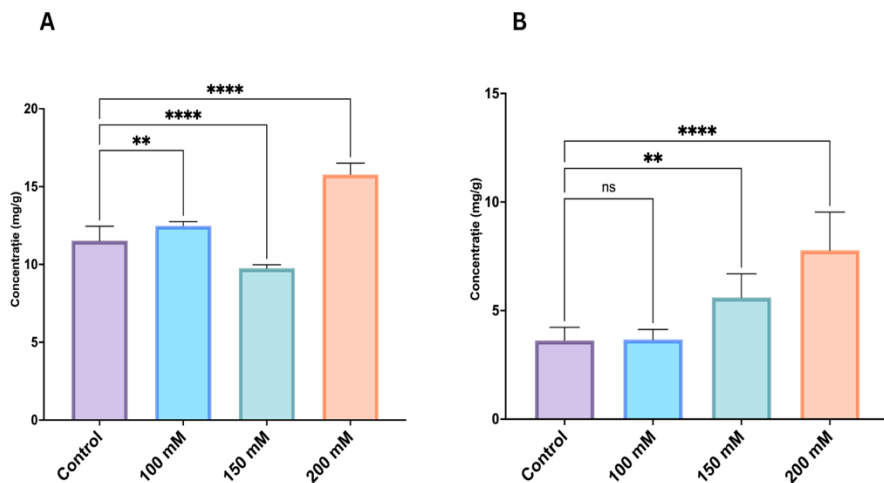


Figura 4. 7 Conținutul de flavonoide la plante de *Ocimum basilicum* L., soiul verde „Aromat de Buzău”. A - Experiment I; B - Experiment II (* - diferențe semnificative statistic; ns - diferențe nesemnificative statistic)

4.5.2.2. Conținutul de flavonoide la plante aparținând soiului violet „Serafim”

1. Plante cultivate în laborator (Experiment I) - Fig. 4.36 – A, Anexa 15

La varianta de tratament cu 100 mM NaCl, conținutul de flavonoide scade față de varianta martor. Deși diferența pare modestă, aceasta este înalt semnificativă statistic, realitate ce indică faptul că un stres salin chiar și moderat determină la acest soi o inhibiție reală a biosintezei de flavonoide. Acest răspuns sugerează că, la concentrația de 100 mM NaCl, resursele energetice ale plantei sunt mobilizate prioritar pentru gestionarea stresului ionic, lăsând mai puțin „spațiu metabolic” pentru producția de compuși secundari.

La concentrația de 150 mM NaCl, conținutul de flavonoide se recuperează și depășește ușor nivelul martorului, diferența față de acesta fiind din nou înalt semnificativă. Această inversare de tendință biosintetică este remarcabilă: la un nivel de stres mai ridicat decât cel anterior, plantele nu doar că revin la parametrii inițiali, ci îi și surclasează. Aceasta sugerează activarea unor mecanisme funcționale compensatorii, pe traseul cărora, odată ce pragul de toleranță este depășit, plantele „răspund” prin intensificarea producției de antioxidanți, inclusiv flavonoide, pentru a contracara efectele dăunătoare ale ionilor de Na^+ și Cl^- .

La varianta 200 mM NaCl, plantele soiului „Serafim” înregistrează cel mai ridicat conținut de flavonoide, cu o creștere de aproximativ 26% față de martor și cu o diferență înalt semnificativă statistic.

Datele obținute indică astfel posibilitatea ca stresul salin să acționeze ca un puternic inductor al sintezei de compuși flavonoidici la acest soi.

2. Plante cultivate în solar semideschis (Experiment II) - Fig. 4.36 – B, Anexa 16

La varianta 100 mM NaCl, conținutul de flavonoide scade ușor față de martor, diferența înregistrată fiind, însă, nesemnificativă statistic, ceea ce înseamnă că această mică variație cantitativă se încadrează în marja de fluctuație naturală a plantelor și nu poate fi atribuită cu certitudine efectului salinității.

La varianta 150 mM NaCl, se observă o creștere aparentă a conținutului de flavonoide față de martor, realitate ce ar putea sugera o stimulare a producției acestor metaboliți secundari.

La varianta 200 mM NaCl, conținutul de flavonoide scade sub nivelul martorului, atingând cea mai mică valoare din experiment. Aceste diferențe rămân însă nesemnificative statistic. Dispersia ridicată a valorilor, evidențiată

grafic, reflectă o variabilitate biologică accentuată între indivizii din cadrul aceleiași variante. Acest fenomen este consecința directă a condițiilor eterogene de creștere din solar, care au indus răspunsuri individuale variate și imprevizibile. Rezultatele acestui set de date indică faptul că stresul salin, indiferent de intensitatea sa, nu a indus modificări semnificative statistice ale conținutului de flavonoide la plantele soiului „Serafim” cultivate în solar semideschis. Cu alte cuvinte, în condițiile complexe ale terenului, acest soi nu a răspuns în mod coerent și reproductibil la tratamentul cu NaCl prin modularea metabolismului flavonoidic.

Această absență a unui răspuns clar poate fi explicată prin mai mulți factori:

- variabilitatea condițiilor de mediu: în solarul semideschis plantele sunt expuse simultan la fluctuații de temperatură, umiditate, intensitate luminoasă și compoziție a solului, factori care pot masca sau interfera cu efectul specific al salinității asupra metabolismului secundar;

- capacitatea tampon a plantelor cultivate în condiții de solar semideschis: plantele soiului „Serafim” pot dispune de mecanisme de toleranță care le permit să mențină un conținut relativ stabil de flavonoide, indiferent de nivelul de salinitate, când beneficiază de variabilitatea naturală a mediului ambiant; această capacitate ar putea fi interpretată, în mod paradoxal, ca un semn de reziliență metabolică a soiului analizat;

- variabilitatea individuală ridicată: plantele au răspuns foarte diferit una față de alta, ceea ce sugerează că factorii de mediu (poziția în solar, accesul la apă, expunerea la lumină) au influențat mai puternic conținutul de flavonoide decât tratamentul salin aplicat.

În condiții de stres salin, concentrația flavonoidelor tinde să crească, acționând ca un mecanism esențial de adaptare și apărare al plantelor (Wang și colab., 2023), deși răspunsul acestora variază în funcție de specie, soi sau intensitatea stresului. Flavonoidele îmbunătățesc rezistența plantelor la stresul salin prin prevenirea proceselor oxidative, menținerea unui potențial redox echilibrat, reglarea osmotică și îmbunătățirea eficienței fotosintezei. Prin urmare, acumularea de flavonoli în plantele supuse salinității favorizează

reziliența acestora atât la nivel molecular, cât și fiziologic (Fini și colab., 2011; Shomali și colab., 2022; Akhtar și colab., 2026).

Datele din literatura de specialitate indică faptul că plantele speciei *Ocimum basilicum* L. răspund în mod consistent la stresul salin prin acumularea de compuși flavonoidici înregistrând, în general, o creștere semnificativă a conținutului acestora față de plantele martor. Cu toate acestea, răspunsul lor este dependent de genotip și de concentrația de NaCl aplicată. În acest context, soiurile cu pigmentație violetă au demonstrat o acumulare mai crescută a flavonoidelor, iar concentrațiile moderate de NaCl s-au dovedit cel mai eficient factor de stimulare a biosintezei acestor metaboliți secundari (Barbieri și colab., 2012; Ciriello și colab., 2023; Meftahizadeh, Shahhoseini și Ghanbari, 2025; Shabani și colab., 2025; Yolcu și Yilmaz, 2025).

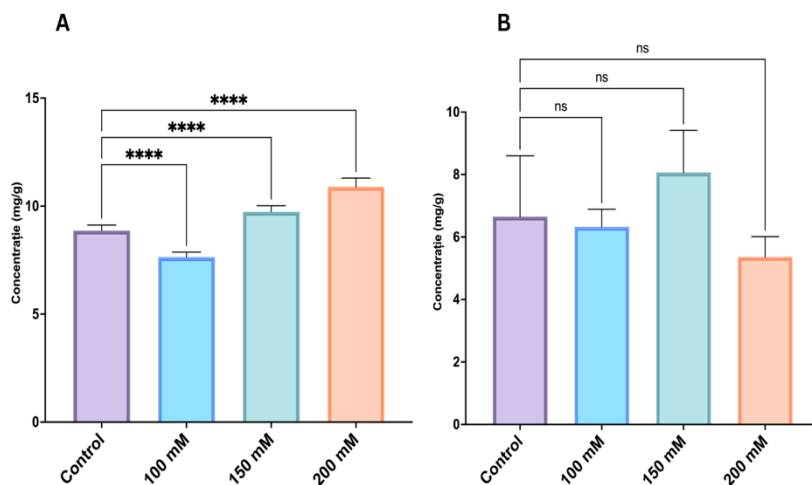


Figura 4. 8 Conținutul de flavonoide la plante de *Ocimum basilicum* L. soiul violet „Serafim”. A - Experiment I; B - Experiment II (* - diferențe semnificative statistic; ns - diferențe nesemnificative statistic)

4.2.3. Activitatea antioxidantă - DPPH

Analiza activității antioxidante determinate prin metoda DPPH este cea mai utilizată metodă spectrofotometrică *in vitro* pentru evaluarea capacității antioxidante sau a activității de captare a radicalilor liberi (radical scavenging

activity) a unui extract vegetal, măsurând cât de capabili sunt metaboliții din plante să neutralizeze un pericol oxidativ (Molyneux, 2003).

4.2.3.1. Activitatea antioxidantă determinată prin metoda DPPH la plante aparținând soiului verde „Aromat de Buzău”

1. Plante cultivate în laborator (Experiment I) - Fig. 4.37 – A, Anexa 17

La variantele tratate cu 100 mM și 150 mM NaCl, activitatea antioxidantă determinată prin metoda DPPH a înregistrat valori ușor mai scăzute, comparativ cu martorul, cu diferențe semnificative statistic, dar cu o amplitudine biologică a scăderilor relativ modestă.

Această tendință sugerează că la concentrații moderate de NaCl plantele de busuioc test nu activează în mod semnificativ mecanismele antioxidante ci, mai degrabă stresul salin de intensitate redusă poate interfera ușor cu capacitatea de neutralizare a radicalilor liberi, fără a declanșa un răspuns de apărare robust.

Tabloul rezultatelor se schimbă dramatic la varianta de tratament cu 200 mM NaCl, la care activitatea antioxidantă a plantelor a crescut spectaculos, atingând o valoare de aproape două ori mai mare față de cea a martorului. Această creștere este însoțită de o semnificație statistică maximă și de o variabilitate redusă între replicare, realitate ce conferă rezultatelor un grad ridicat de reproductibilitate și credibilitate.

Această dinamică poate fi interpretată ca o reacție adaptativă la stres salin sever (200 mM NaCl), plantele activând intens mecanismele lor de apărare antioxidantă, mobilizând compuși fenolici, flavonoide și alte molecule cu rol de neutralizare a speciilor reactive de oxigen (ROS) generate în exces de stresul osmotic și ionic. Practic, plantele răspund agresivității mediului printr-o producție crescută de antioxidanți, această reacție reprezentând o strategie de supraviețuire.

În concluzie, plantele soiului de busuioc „Aromat de Buzău” cultivate în condiții de laborator demonstrează o capacitate remarcabilă de activare a sistemului antioxidant la concentrații ridicate de NaCl, fapt ce sugerează un potențial adaptativ semnificativ al acestora la stresul salin sever.

2. Plante cultivate în solar semideschis (Experiment II) - Fig. 4.37 – B, Anexa 18

Din punct de vedere a evoluției curbei valorilor medii înregistrate, se observă o ușoară scădere a activității antioxidante la variantele tratate cu 100 mM și 150 mM NaCl față de varianta martor, situație urmată de o ușoară revenire a valorilor la varianta de tratament 200 mM NaCl. Această tendință, deși vizibilă grafic, nu atinge pragul de semnificație statistică, ceea ce indică faptul că variațiile observate ar putea fi atribuite în mai mare măsură variabilității naturale a materialului biologic decât efectului direct al tratamentului salin aplicat.

Amplitudinea intervalelor de încredere pentru variantele martor și 200 mM NaCl indică o variabilitate biologică sporită, indusă probabil de natura fluctuantă a condițiilor de creștere din solar. Eterogenitatea microclimatului și a substratului a generat un răspuns antioxidant inconstant la nivelul indivizilor, factor care limitează vizibilitatea efectului specific al salinității asupra proceselor metabolice analizate. Variabilitatea ridicată a activității antioxidante astfel înregistrată în câmp la plantele soiului „Aromat de Buzău” poate reprezenta în sine un indicator al plasticității sale fenotipice, adică a capacității de a se adapta diferit la condițiile locale de vegetație.

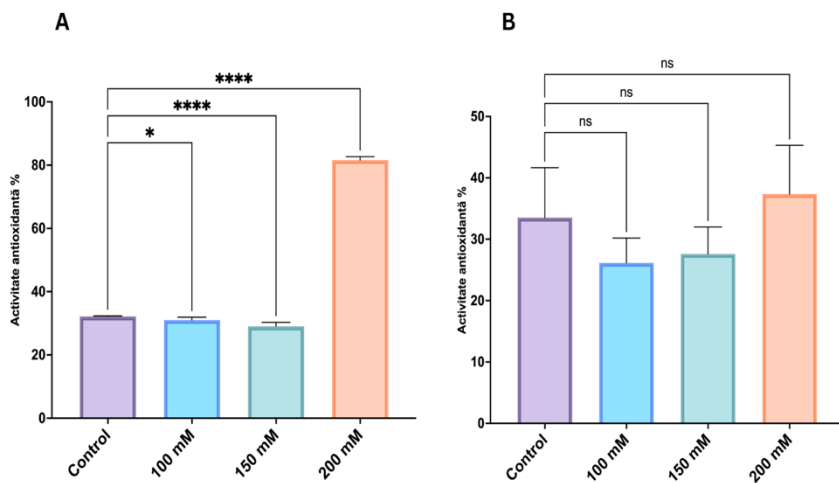


Figura 4. 9 Activitatea antioxidantă determinată prin metoda DPPH la plante de *Ocimum basilicum* L., soiul verde „Aromat de Buzău”. A - Experiment I; B - Experiment II (* - diferențe semnificative statistic; ns - diferențe nesemnificative statistic)

4.5.3.2. Activitatea antioxidantă determinată prin metoda DPPH la plante aparținând soiului violet „Serafim”

1. Plante cultivate în laborator (Experiment I)- Fig. 4.38 – A, Anexa 17

În cadrul acestui experiment se observă o activare puternică și imediată a mecanismelor antioxidante în plantele de busuioc test chiar de la cea mai mică concentrație salină testată, urmată mai apoi de un efect liniar pe întregul interval de concentrații studiat.

Varianta martor netratată prezintă o activitate antioxidantă DPPH scăzută, realitate ce poate semnifica faptul că, în absența oricărui factor de stres, plantele soiului “Serafim” mențin un nivel minim de biosinteză de compuși antioxidanți, suficient pentru funcționarea fiziologică normală, fără a „investi” resurse metabolice suplimentare în apărarea antioxidantă.

La aplicarea tratamentului salin de 100 mM NaCl, activitatea antioxidantă crește brusc, acest salt major indicând faptul că soiul violet „Serafim” este deosebit de sensibil la stresul salin și declanșează rapid mecanisme de apărare antioxidantă chiar și la perturbări osmotice de intensitate moderată.

De remarcat este că, în cadrul acestui experiment, valorile activității antioxidante DPPH înregistrate la variantele de tratament 150 și 200 mM NaCl rămân similare cu cele de la 100 mM, fără diferențe semnificative între cele trei variante tratate. Acest comportament sugerează faptul că odată ce stresul salin depășește un anumit prag (în acest caz, 100 mM NaCl), sistemul antioxidant al plantelor atinge capacitatea maximă de răspuns și nu mai poate fi stimulat suplimentar prin creșterea concentrației de NaCl, plantele răspunzând, deci puternic prin modificarea acestui parametru biochimic încă de la primul nivel de stres salin semnificativ al mediului de cultivare.

2. Plante cultivate în solar semideschis (Experiment II) - Fig. 4.38 – B, Anexa 18

Valorile medii ale activității antioxidante DPPH înregistrate în cadrul acestui experiment prezintă o tendință fluctuantă de evoluție.

Deși grafic se observă o ușoară scădere a acestui parametru biochimic la varianta de tratament 100 mM NaCl, o recuperare la 150 mM și din nou o scădere la 200 mM NaCl, această variație nu urmează un tipar logic dependent de doză și nu este susținută statistic, reflectând mai degrabă variabilitatea

naturală ridicată a materialului biologic în condițiile cultivării în solar semideschis.

Comparând direct valoarea martorului din solar cu cea din laborator, diferența înregistrată este extrem de mare, această discrepanță sugerând faptul că plantele cultivate în solarul semideschis au fost supuse unor factori de stres ambiental suplimentari față de cele din laborator precum variații termice, radiație UV, fluctuații ale umidității, care au stimulat deja, în mod cronic, producția de compuși antioxidanți.

Acest lucru poate fi explicat prin faptul că plantele din solar au pornit dintr-o stare de alertă antioxidantă preexistentă cauzată de condițiile de mediu, realitate ce poate explica de ce aplicarea suplimentară a stresului salin nu a mai produs un răspuns suplimentar măsurabil.

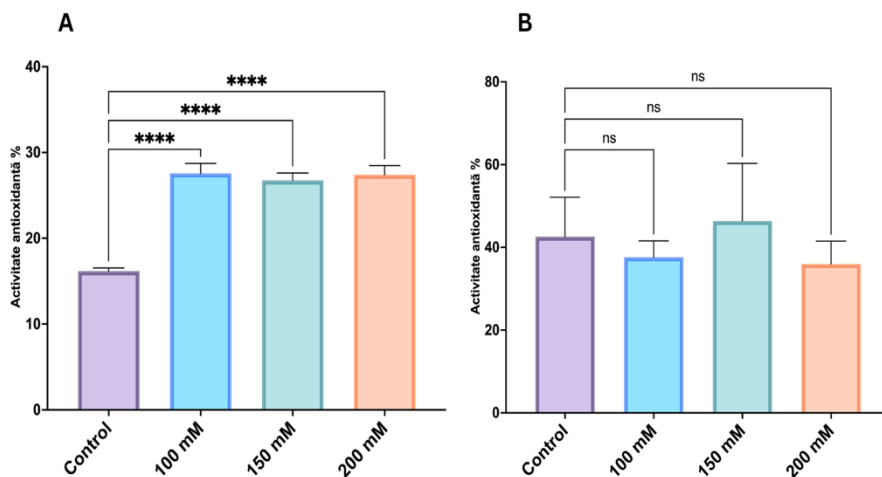


Figura 4. 10 Activitatea antioxidantă determinată prin metoda DPPH la plante de *Ocimum basilicum* L. soiul violet „Serafim”. A - Experiment I; B - Experiment II (* - diferențe semnificative statistic; ns - diferențe nesemnificative statistic)

Conform literaturii de specialitate, activitatea antioxidantă DPPH la *Ocimum basilicum* L. a înregistrat, în condiții de stres salin, o creștere semnificativă față de plantele martor, proporțională cu intensitatea stresului aplicat. Această tendință a fost observată la multiple soiuri și concentrații de NaCl testate, confirmând mobilizarea sistemului antioxidant al plantelor ca

răspuns la stresul oxidativ indus de salinitate (Ciriello și colab., 2023; Kandil și colab., 2023; Shabani și colab., 2025).

Cultivarea plantelor aromatice în condiții de stres salin moderat poate reprezenta o strategie agronomică viabilă pentru îmbunătățirea calității funcționale a produsului recoltat, stresul salin de intensitate redusă acționând ca factor de inducție a biosintezei compușilor antioxidanți, inclusiv polifenoli și flavonoide și favorizând acumularea de zaharuri solubile ca mecanism de ajustare osmotică, fără a compromite iremediabil biomasa vegetală (Rouphael și colab., 2018).

4.2.4. Activitatea superoxid dismutazei (SOD)*

Superoxid dismutaza (SOD) este una dintre cele mai importante enzime antioxidante din plante, ea reprezentând o adevărată „primă linie de apărare” a celulelor vegetale împotriva stresului oxidativ. Aceasta neutralizează radicalii superoxid (molecule foarte reactive și dăunătoare produse în exces în condiții de stres), transformându-i în compuși mai puțin periculoși. Cu cât valoarea acestei enzime este mai mare, cu atât enzima este mai activă. (Fujii și colab., 2022).

Plantele sunt expuse permanent unui spectru larg de factori de mediu nefavorabili precum seceta, temperaturile extreme, acumularea de metale grele, radiații ultraviolete, salinitatea ridicată etc, ce perturbă echilibrul metabolic celular și declanșează un răspuns de complex. Unul dintre cele mai importante și studiate consecințe ale acestor perturbări îl reprezintă acumularea în exces a *speciilor reactive ale oxigenului* (Reactive Oxygen Species - ROS) (Gill și Tuteja, 2010; Srividhya și colab., 2024).

Principalele ROS generate în celulele vegetale includ radicalul superoxid ($O_2^{\bullet-}$), peroxidul de hidrogen (H_2O_2), radicalul hidroxil ($\bullet OH$) și oxigenul singlet (1O_2). Deși în condiții fiziologice normale aceste molecule sunt produse în cantități controlate și îndeplinesc roluri de semnalizare celulară, acumularea lor în exces are efecte devastatoare asupra integrității biomoleculare: oxidarea lipidelor membranare, deteriorarea acizilor nucleici, inactivarea enzimelor și

*Analize suplimentare efectuate exclusiv pe plantele de *Ocimum basilicum* L., cultivate în condiții de laborator

dezorganizarea structurală a proteinelor (Foyer și Noctor, 2005; Gill și Tuteja, 2010). Acest dezechilibru între producția de ROS și capacitatea sistemelor antioxidante de a le neutraliza este definit în literatura de specialitate drept stres oxidativ (Fujii și colab., 2022; Sies, 1991).

4.2.4.1. Activitatea SOD la plante aparținând soiului verde „Aromat de Buzău” cultivate în laborator

Martorul netratat (controlul) prezintă cea mai ridicată activitate SOD, reflectând nivelul bazal al apărării enzimatică în condiții normale de creștere.

În urma aplicării stresului salin, toate cele trei variante de tratament au înregistrat o scădere semnificativă față de martor, indicând o inhibare clară a activității acestei enzime sub influența NaCl.

Scăderea cea mai pronunțată s-a înregistrat la varianta de tratament 100 mM NaCl, urmată de o ușoară recuperare la variantele 150 mM și 200 mM NaCl, ultimele două variante rămânând valoric semnificativ sub nivelul matorului (Fig. 4.39 – A, Anexa 19).

Scăderea activității SOD în condiții de stres salin poate părea paradoxală la prima vedere, fiind de așteptat ca plantele să își intensifice apărarea enzimatică tocmai când se confruntă cu un nivel ridicat de stres oxidativ.

Pentru explicarea acestei situații pot fi prezentate câteva explicații biologice plauzibile discutate de literatura de specialitate, confirmate și de rezultatele practice obținute prin cercetarea de față:

- Inhibarea directă a enzimei de către ionii de sare: concentrațiile ridicate de Na^+ și Cl^- pot perturba structura tridimensională a proteinelor enzimatică, reducând eficiența lor catalitică (Maathuis, Ahmad și Patishtan, 2014; Keteouli și colab., 2019);
- Stresul oxidativ depășește capacitatea enzimatică: în condiții de stres salin sever, producția de specii reactive de oxigen devine atât de intensă încât depășește capacitatea sistemului enzimatic antioxidant, iar acumularea lor în exces afectează integritatea structurală a enzimelor, reducând progresiv eficiența acestora (Hasanuzzaman și colab., 2021; Qamer și colab., 2021);
- Compensarea prin mecanisme non-enzimatică: scăderea activității SOD se corelează direct cu creșterea activității antioxidante non-enzimatică observată în experimentul de determinare a acesteia prin metoda DPPH, în special la

concentrația de 200 mM NaCl, în care plantele par, să comute strategia de apărare de la protecția enzimatică (SOD) la producția crescută de compuși antioxidanți de natură chimică (fenoli, flavonoide etc.).

4.2.4.2. Activitatea SOD la plante aparținând soiului violet „Serafim” cultivate în laborator

Graficul acestui experiment prezintă un tipar de răspuns similar celui observat la plantele soiului „Aromat de Buzău”, confirmând astfel un posibil mecanism comun de răspuns enzimatic la stresul salin în cadrul speciei (Fig. 4.39 – B, Anexa 19).

Varianta martor (control) înregistrează cea mai ridicată activitate SOD, de aproximativ 3,7% inhibiție/g/min, iar la aplicarea tratamentelor saline, activitatea enzimatică SOD scade semnificativ pentru toate cele trei concentrații testate.

Remarcabil este faptul că valorile celor trei variante de tratament sunt foarte apropiate între ele, descriind din nou un efect liniar: odată atins pragul de inhibare enzimatică la 100 mM NaCl, creșterea ulterioară a concentrației salinice nu mai produce modificări semnificative suplimentare ale activității SOD.

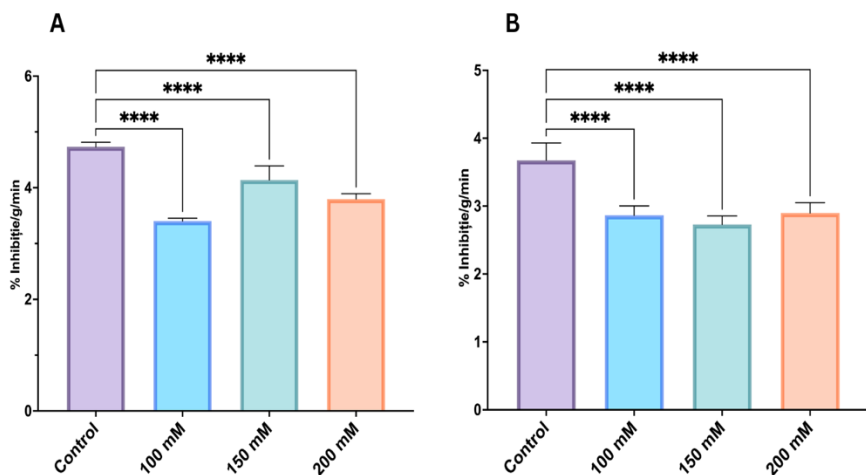


Figura 4. 11 Activitatea superoxid dismutazei (SOD) la plante de *Ocimum basilicum* L., Experiment I. A - soiul verde „Aromat de Buzău”; B - soiul violet „Serafim” (B) (* - diferențe semnificative statistic; ns - diferențe nesemnificative statistic)

Răspunsul SOD la stresul salin este variabil și dependent de specia vegetală, de genotip, de intensitatea și durata stresului, precum și de stadiul de dezvoltare al plantei. În termeni generali, literatura de specialitate documentează trei tipare de răspuns (Gill și Tuteja, 2010; Parida și Das, 2005):

- inducerea activității SOD - cel mai frecvent răspuns observat la speciile tolerante la salinitate, la care creșterea activității SOD reflectă capacitatea lor de a activa mecanisme de apărare eficiente (cu cât activitatea SOD este mai mare, cu atât plantele suportă mai bine salinitatea);
- menținerea activității bazale - observată în condiții de stres moderat sau la genotipuri cu sisteme antioxidante puternice încă de la început, fără a fi nevoie de o stimulare suplimentară;
- scăderea activității SOD - caracteristică speciilor sau genotipurilor sensibile, la care nivelul ridicat de ROS poate inactiva chiar enzimele antioxidante, agravând astfel daunele oxidative produse asupra celulelor.

Studii comparative între genotipuri cu grade opuse de toleranță la salinitate, realizate pe grâu, orez, tomate, orz și alte specii de importanță agricolă au demonstrat că plantele tolerante prezintă, în mod constant, niveluri mai ridicate de activitate SOD față de cele sensibile, în condiții de stres echivalente.

Această corelație enunțată de literatura de specialitate a consolidat utilizarea activității SOD ca indicator biochimic al toleranței la stres în studiile de fiziologie a stresului și de ameliorare a plantelor.

Busuiocul, ca majoritatea plantelor ierboase, manifestă o sensibilitate moderată la salinitatea ridicată a solului. Stresul salin induce la această specie un dezechilibru oxidativ semnificativ, iar activitatea superoxid dismutazei (SOD) reprezintă unul dintre principalii indicatori biochimici ai răspunsului său adaptativ.

Studiind răspunsul antioxidant a două soiuri de busuioc cu sensibilitate diferită la salinitate expuse la doze moderate de NaCl sau Na₂SO₄, cercetătorii au constatat că ambii taxoni au prezentat niveluri mai ridicate ale activității SOD în condiții de salinitate cu NaCl, deși răspunsul a variat în funcție de soi și de durata expunerii la stres (I. Tarchoune și colab., 2013).

Această observație este susținută și de rezultatele unui studiu anterior al aceluiasi grup de cercetare, în care plantele de *Ocimum basilicum* L. (soiul Genovese) au fost supuse timp de 15 și 30 de zile unui tratament cu concentrații

echimolare de Na_2SO_4 (25 mM) și NaCl (50 mM), evidențiind că cele două tipuri de săruri au antrenat mecanisme antioxidante diferite în procesul de neutralizare a peroxidului de hidrogen acumulat (Tarchoune și colab., 2010).

Un alt studiu a demonstrat că, odată cu creșterea concentrației de NaCl , activitatea SOD a crescut semnificativ la plantele de busuioc (Attia și colab., 2011b), în timp ce, în lucrarea lor, Jakovljević și colab. (2017) au observat modele similare de creștere și scădere a activității SOD atât la lăstari, cât și la rădăcini.

Chiar dacă datele din literatura de specialitate sugerează că *Ocimum basilicum* nu este o specie tolerantă la salinitate ridicată, aceasta dispune de un sistem antioxidant funcțional, capabil să răspundă la stresul salin moderat prin creșterea activității SOD și a altor enzime antioxidante.

Sporirea activității SOD poate fi interpretată mai degrabă ca un mecanism de supraviețuire pe termen scurt, și nu ca un semn al unei toleranțe veritabile la salinitate. Cu alte cuvinte, busuiocul reacționează la stresul salin, dar capacitatea sa de a-l depăși are limite clare, iar dincolo de anumite concentrații de NaCl mecanismele acestuia de apărare sunt depășite, creșterea și productivitatea plantelor fiind afectate semnificativ.

4.2.5. Activitatea peroxidazei (POD)*

Dacă SOD neutralizează radicalii superoxid, POD preia și descompune peroxidul de hidrogen (H_2O_2), un compus toxic produs în continuarea reacției SOD.

Peroxidaza (POD) este o enzimă cheie a sistemului antioxidant enzimatic al plantelor, cu rol esențial în neutralizarea peroxidului de hidrogen (H_2O_2) generat în cascada reacțiilor de detoxifiere a speciilor reactive de oxigen (Tarchoune, Sgherri, și colab., 2012a; Hasanuzzaman și colab., 2021), fiind implicată totodată în procese celulare fundamentale precum lignificarea pereților celulari și inducerea răspunsurilor de apărare a plantelor față de agenți patogeni (Zondo și Mafa, 2025).

Activitatea peroxidazei în condiții de stres salin prezintă, în general, o creștere semnificativă, fiind o componentă critică a sistemului de apărare

* Analize suplimentare efectuate exclusiv pe plantele de *Ocimum basilicum* L., cultivate în condiții de laborator

antioxidantă a plantelor, pentru contracararea stresului oxidativ (Wang și colab., 2023).

4.2.5.1. Plante aparținând soiului verde „Aromat de Buzău” cultivate în laborator

În cadrul acestui experiment, varianta martor (control) prezintă o variabilitate biologică acceptabilă în condiții normale.

La varianta de tratament cu 100 mM NaCl, activitatea POD scade, observându-se o reducere semnificativă statistic față de martor, dar de amplitudine relativ moderată.

Cea mai notabilă schimbare apare la varianta de tratament cu 150 mM NaCl, la care activitatea POD scade la o treime față de varianta martor (control). Acest fapt sugerează posibilitatea unei acumulări temporare de H_2O_2 în celule mezofilului plantelor test, care funcționează ca semnal molecular ce activează gene implicate în sinteza de noi enzime antioxidante și de compuși fenolici, explicând astfel și valorile ridicate ale activității antioxidante DPPH observate la varianta de tratament cu 200 mM NaCl.

La varianta 200 mM NaCl, activitatea POD se recuperează aproape complet, revenind la valori asemănătoare variantei martor (control), diferența față de aceasta fiind nesemnificativă statistic (Fig. 4.40 – A, Anexa 20)

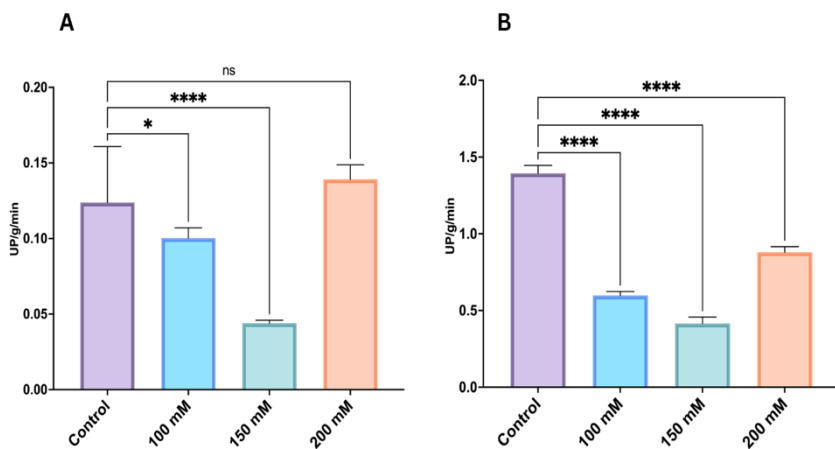


Figura 4. 12 Activitatea peroxidazei (POD) la plante de *Ocimum basilicum* L., Experiment I. A - soiul verde „Aromat de Buzău” (A); B - soiul violet „Serafim” (* - diferențe semnificative statistic; ns - diferențe nesemnificative statistic)

4.2.5.2. *Plante aparținând soiului violet „Serafim” cultivate în laborator -*

La plantele soiului „Serafim”, recuperarea POD la concentrația de 200 mM NaCl este doar parțială, chiar dacă valorile înregistrate cresc față de minimul de la varianta de tratament cu 150 mM NaCl, rezultatele rămânând semnificativ sub nivelul variantei martor (control). Aceasta sugerează că, în cazul soiului „Serafim”, stresul salin sever ar putea să fie incomplet neutralizat prin reinducția activității peroxidazice, spre deosebire de soiul „Aromat de Buzău”, care reușește, oarecum, această restrare (Fig. 4.40 – B, Anexa 20).

În cazul busuiocului, stresul salin a activat POD ca parte a sistemului de apărare non-enzimatic și enzimatic, iar inocularea cu microorganisme benefice (bacterii PGPR și ciuperci micorizante AMF) a amplificat și mai mult activitatea POD, ajutând plantele să reducă conținutul de peroxid de hidrogen (H_2O_2) și malondialdehidă (MDA), protejând astfel celulele mezofilului de daunele oxidative (Yilmaz și colab., 2023; Hassanzadeh și colab., 2026).

Expunerea la o concentrație de 160 mM NaCl a provocat o creștere considerabilă a activității guaiacol peroxidazei, fiind observată o diferență între organe. Rădăcinile au prezentat, în general, o activitate POD mai ridicată decât frunzele, în condiții experimentale de stres salin (Jadczak și colab., 2022).

Activitatea POD este influențată nu doar de intensitatea stresului salin, ci și de natura chimică a sării aplicate, Tarchoune și colab. (2012) observând faptul că, după 30 de zile de tratament la soiul de busuioc „Fine”, sulfatul de sodiu (Na_2SO_4) a indus o creștere a activității peroxidazice cu 33% față de martor, contribuind la menținerea unui nivel stabil al H_2O_2 și limitând daunele oxidative, în timp ce clorura de sodiu (NaCl) a determinat o scădere a activității POD cu 36%, asociată cu o acumulare semnificativă de H_2O_2 în țesuturile vegetale.

Aceste rezultate evidențiază faptul că ionii specifici ai sării, în special Cl^- , pot exercita un efect inhibitor direct asupra sistemului enzimatic antioxidant, independent de efectul osmotic general al salinității.

4.2.6. Conținutul de proteine totale*

Proteinele coordonează toate procesele vitale ale plantelor, având rol structural, catalitic, de transport și de stocare a nutrienților. În condiții de stres salin proteinele devin esențiale pentru supraviețuire, prin activarea transportorilor de ioni, a proteinelor de șoc termic și a enzimelor antioxidante care protejează celulele vegetale (Taiz și colab., 2015; Athar și colab., 2022).

Esențiale pentru dezvoltarea și metabolismul optim al plantelor, proteinele îndeplinesc o gama largă de funcții vitale, acționând simultan ca biocatalizatori ai proceselor metabolice, piloni structurali ai arhitecturii celulare, mediatori ai semnalizării interne și veritabili agenți de protecție a macromoleculelor împotriva degradării induse de diferite tipuri stres (Pessarakli, 1999).

Analiza cantității de proteine (determinarea proteinelor totale sau solubile) este o metodă biochimică fundamentală utilizată pentru evaluarea stării fiziologice și metabolice a plantelor. Aceasta se realizează de regulă prin metode spectrofotometrice (Bradford, Lowry, Biuret) și reflectă capacitatea celulelor vegetale de a sintetiza, menține sau degrada moleculele proteice în funcție de condițiile de mediu (Vershina și colab., 2025).

4.2.6.1. Plante aparținând soiului verde „Aromat de Buzău” cultivate în laborator

Deși variația conținutului de proteine prezintă diferențe semnificative statistic, amplitudinea absolută a valorilor înregistrate este minimă (aproximativ 0,0003 mg/g), indicând o relevanță biologică limitată a acestor fluctuații.

Conținutul de proteine totale la plantele soiului „Aromat de Buzău” răspunde stresului salin printr-o evoluție bifazică: o scădere inițială la concentrații moderate de NaCl (100 mM), urmată de o acumulare progresivă și semnificativă la concentrații ridicate (150-200 mM). Deși variațiile absolute sunt de mică amplitudine, semnificația statistică ridicată și coerența cu celelalte determinări biochimice susțin interpretarea acestor modificări ca parte a unui răspuns adaptativ coordonat, în care plantele soiului „Aromat de Buzău”

* Analize suplimentare efectuate exclusiv pe plantele de *Ocimum basilicum* L., cultivate în condiții de laborator

sintetizează proteine proporțional cu intensitatea stresului salin aplicat (Fig. 4.41 - A).

4.2.6.2. Plante aparținând soiului violet „Serafim” cultivate în laborator

La concentrația de 100 mM NaCl se înregistrează o scădere ușoară, dar semnificativă statistic a acestui parametru biochimic față de martor (control), reflectând o perturbare inițială a metabolismului proteic al plantelor test în condițiile unui stres salin moderat. Această diminuare poate fi pusă pe seama efectului toxic al ionilor de Na^+ și Cl^- asupra aparatului de sinteză proteică, precum și a degradării accelerate a unor proteine structurale sau enzimatică din celulele mezofilului foliar afectate de dezechilibrul ionic celular indus de acești ioni.

La concentrația de 150 mM NaCl, conținutul proteic revine practic la nivelul variantei martor, diferența față de acesta fiind nesemnificativă statistic. Această recuperare rapidă indică o restabilire a echilibrului metabolic celular la concentrații intermediare de sare, fără o stimulare suplimentară a sintezei proteice (Fig. 4.41 - B).

La concentrația de 200 mM NaCl se produce o creștere abruptă și înalt semnificativă a conținutului proteic, atingând maximul întregii serii experimentale. Această acumulare proteică la stres salin sever este interpretată ca o inducție activă a sintezei de proteine de apărare, proteine osmoprotectoare, proteine de stres sau enzime antioxidante nou sintetizate, reprezentând o componentă esențială a răspunsului adaptativ al plantelor la condiții extreme de salinitate (Pessarakli, 1999; Wang și colab., 2023).

În concluzie, soiul „Serafim” demonstrează o capacitate clară de reglare a metabolismului proteic în funcție de intensitatea stresului salin, cu o inducție proteică semnificativă rezervată exclusiv concentrației celei mai ridicate de NaCl testate, ceea ce sugerează un prag de activare relativ ridicat a mecanismelor de sinteză proteică adaptativă la acest soi.

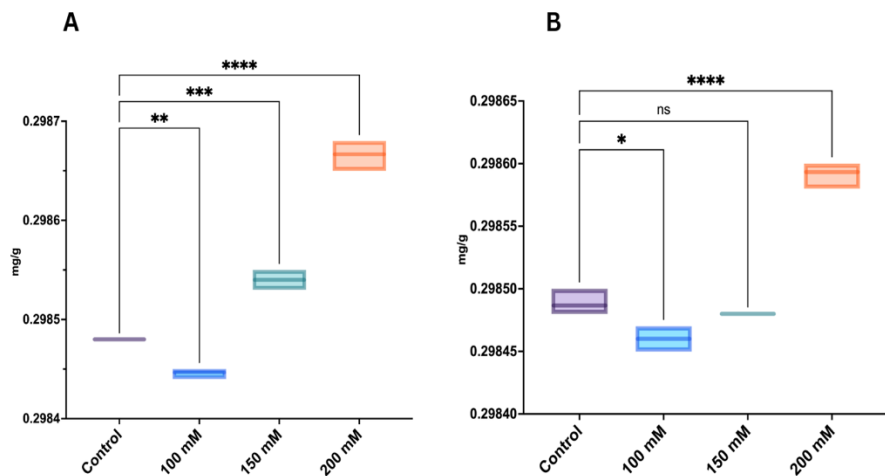


Figura 4. 13 Cantitatea de proteine totale ale plantelor de *Ocimum basilicum* L., Experiment I. A - soiul verde „Aromat de Buzău”, B - soiul violet „Serafim” (* - diferențe semnificative statistic; ns - diferențe nesemnificative statistic)

Stresul salin produce efecte duale și complexe asupra conținutului proteic al plantelor: salinitatea promovează sinteza unor proteine specifice de stres, determinând fie creșterea, fie scăderea nivelului proteinelor totale și solubile, în funcție de organul vegetal studiat, și stimulează activitatea multor enzime (Joseph și Jini, 2010; Pessarakli, 1999).

Acumularea diferitelor tipuri de proteine solubile a evoluat ca strategie vitală, cu rol central de reglare în creșterea și dezvoltarea plantelor supuse stresului salin. Printre proteinele responsabile identificate în plantele cultivate în condiții de stres salin se numără proteinele de șoc termic, proteinele legate de patogeni, kinazele proteice, ascorbat peroxidaza, osmotina și ornitina, decarboxilaza, care conferă plantelor capacitatea de a rezista stresului salin (Aghaei și Komatsu, 2013; Athar și colab., 2022).

Studiile recente evidențiază faptul că busuiocul manifestă o reacție biochimică variabilă la stresul salin, dependentă de varietatea cultivată. Conform literaturii de specialitate studiate, salinitatea induce, pe de o parte, o creștere a concentrației de proteine solubile în frunzele plantelor supuse acestui tip de stres abiotic, comparativ cu plantele crescute în condiții normale (Silva

și colab., 2019), iar pe de altă parte stresul salin exercită un impact negativ asupra profilului nutrițional al unor soiuri de busuioc roșu, prin reducerea progresivă a conținutului lor de proteine. (Cruz și colab., 2020).

Scăderea conținutului de proteine poate fi rezultatul unei activități proteolitice, proces prin care plantele încearcă să elibereze aminoacizi liberi precum prolina, pentru a-și menține echilibrul osmotic în medii sărate (Khaliq și colab., 2014).

Deși majoritatea surselor consultate confirmă tendința de scădere a conținutului proteic în condiții de salinitate crescută a mediului, există cercetări pe răsaduri de busuioc care indică faptul că, în anumite stadii timpurii de dezvoltare, plantele pot prezenta o acumulare de proteine ca răspuns metabolic de apărare, deși acest comportament este adesea însoțit de o inhibare generală a creșterii (Einali și Karamzahi, 2024).

Considerații finale

Prezenta teză de doctorat a investigat răspunsul morfostructural și funcțional la două soiuri autohtone de busuioc (*Ocimum basilicum* L.), soiul verde „Aromat de Buzău” și soiul violet, „Serafim”, la stresul salin indus experimental prin tratament cu soluții de clorură de sodiu (NaCl) în concentrații cuprinse între 0 și 200 mM, în două condiții experimentale distincte de cultivare: mediu controlat de laborator și solar semideschis. Ansamblul datelor colectate și analizate permite formularea unor concluzii generale ce sintetizează principalele direcții de răspuns identificate la cei doi taxoni avuți în atenție la stresul salin ambiental indus experimental:

1. Stresul salin ca factor limitant universal al creșterii și dezvoltării plantelor de busuioc. Indiferent de soi și de condițiile experimentale, creșterea progresivă a concentrației de NaCl a determinat o inhibare sistematică a elongației celulare, o reducere a dimensiunilor organelor vegetative și o perturbare semnificativă a răspunsului funcțional la ambii taxoni autohtoni de busuioc avuți în atenție. Efectele au urmat, în general, un model doză-răspuns, cu valori moderate la 100 mM NaCl și consecințe severe la 200 mM NaCl. Natura și amplitudinea acestor efecte au variat considerabil între soiuri, în funcție de condițiile de cultivare asigurate celor doi taxoni, confirmând ideea unanim acceptată de literatura de specialitate potrivit căreia rezistența la salinitate a plantelor are un caracter complex, determinat de interacțiunea dintre genotip și mediu.

2. Plasticitatea morfologică stomatală, ca mecanism de reglare a homeostaziei hidrice. Ambele soiuri au apelat la reglarea aparatului stomatal ca instrument de adaptare la condițiile de stres, combinând modificări ale densității stomatale cu ajustări ale suprafeței individuale a acestora. Strategiile astfel urmate au diferit evident: soiul „Aromat de Buzău” a prezentat un răspuns bifazic, cu stomate mai mari la stres moderat urmat de reducerea suprafeței la stres sever, în timp ce soiul „Serafim” a aplicat o strategie mai liniară și mai conservatoare de reducere progresivă a suprafeței stomatale. Pragul de 150 mM NaCl a reprezentat, pentru soiul „Aromat de Buzău”, punctul de adaptare

stomatală optimă, asigurând echilibrul dintre limitarea pierderilor hidrice și menținerea schimburilor gazoase necesare realizării procesului de fotosinteză.

3. Degradarea progresivă și ireversibilă a sistemului radicular sub stres salin prelungit. La nivel anatomic, ambele soiuri au prezentat o deteriorare progresivă a rădăcinii, marcată de reducerea vaselor conducătoare de lemn secundar în favoarea țesutului de susținere (libriform), obturarea elementelor vasculare și instalarea precoce a senescentei radiculare. Aceste modificări afectează ireversibil capacitatea de absorbție hidrică și minerală a plantelor, declanșând un efect de cascadă, care compromite funcționalitatea întregului aparat vegetativ. Soiul „Aromat de Buzău” a demonstrat o reziliență anatomică superioară la concentrații moderate de NaCl, prin mecanismul de exfoliere a straturilor de suber, în timp ce soiul „Serafim” a prezentat o senescență radiculară severă și accelerată, cu compromiterea integrității vasculare chiar de la primul prag de stres salin testat.

4. Strategii adaptative diferențiate între soiuri. Cele două soiuri studiate au manifestat strategii de răspuns distincte la stresul salin indus experimental la toate nivelurile de organizare și funcționare biologică analizate. Soiul verde „Aromat de Buzău” s-a caracterizat printr-un răspuns adaptativ gradual și bifazic, cu o reziliență morfologică superioară la concentrații moderate de NaCl, căi de protecție anatomică bazate pe exfolierea multiplă a stratului de suber și o capacitate antioxidantă non-enzimatică activată cu precădere la praguri ridicate de stres salin. În schimb, soiul violet „Serafim” a adoptat o strategie orientată preponderent spre reproducere accelerată, în detrimentul creșterii vegetative, cu un răspuns antioxidant precoce și robust, activat deja de la concentrația de 100 mM NaCl, răspuns posibil facilitat de fondul bogat în pigmenți antocianici celulari preexistent, specific soiurilor violete. Aceste diferențe reflectă plasticități fenotipice distincte și sugerează căi fiziologice și biochimice de adaptare diferite, strategii ce conferă celor două soiuri profiluri de toleranță complementare.

5. Aparatul fotosintetic ca prima linie vulnerabilă în fața salinității. Analiza eficienței fotosistemului II și a nivelului de biosinteză și acumulare a pigmentilor asimilatori a relevat faptul că aparatul fotosintetic al plantelor reprezintă unul dintre principalele ținte ale stresului salin la ambele soiuri de

busuioc. Degradarea pigmentilor carotenoizi, aproape completă în condiții de stres salin sever la ambele soiuri semnaleză o capacitate de fotoprotecție insuficientă, cu consecințe directe asupra stabilității fotosistemului II. Mecanismul compensator principal identificat în această situație a fost creșterea cantitativă a fracției clorofiliene *b*, care extinde capacitatea de absorbție luminoasă a cloroplastelor la lungimi de undă diferite, susținând parțial procesul de fotosinteză, în ciuda perturbațiilor osmotice induse de stresul salin. La soiul „Serafim”, pigmentii antocianici vacuolari specifici pot prelua parțial rolul fotoprotector al pigmentilor carotenoizi, reprezentând un avantaj structural față de soiul „Aromat de Buzău”, care rămâne mai expus stresului oxidativ asociat unei fotoprotecții deficitare.

6. Convergența și divergența răspunsurilor biochimice antioxidante. La nivel biochimic, ambele soiuri au confirmat un mecanism comun speciei *Ocimum basilicum* L.: comutarea progresivă de la apărarea enzimatică (SOD și POD), redusă în condiții de stres salin crescut, către apărarea non-enzimatică, bazată pe acumularea de polifenoli, flavonoide și proteine de protecție, această tranziție de tip *hormeză* reprezentând un răspuns adaptativ fundamental al busuiocului la salinitate. Diferențele dintre soiuri rezidă în viteza și intensitatea acestei comutări: soiul „Serafim” activează apărarea fenolică mai rapid și la concentrații mai mici de NaCl, în timp ce soiul „Aromat de Buzău” răspunde mai lent, dar cu o intensitate mai mare la stres sever, iar capacitatea sa enzimatică de compensare (recuperarea POD la 200 mM NaCl) este superioară. Sinteza proteică adaptativă, maximă la 200 mM NaCl la ambele soiuri, confirmă implicarea proteinelor de stres ca ultim nivel de protecție celulară a plantelor de busuioc test la stresul abiotc salin indus experimental.

7. Rolul determinant al condițiilor de mediu în modularea răspunsului la salinitate. Unul dintre cele mai importante rezultate ale cercetării a constat în evidențierea diferențelor majore de comportament a plantelor de busuioc în funcție de mediul de cultivare, controlat din laborator și semicontrolat din solarul semideschis: ambele soiuri au demonstrat o toleranță mai redusă la salinitate în condiții de mediu mai mult sau mai puțin variabil, în care stresul salin s-a suprapus cu fluctuațiile ambientale de temperatură, umiditate și radiație solară generând un stres combinat, cu efecte sinergice mult mai severe decât

salinitatea aplicată izolat. Acest stres ambiental cronic a determinat epuizarea prematură a resurselor metabolice ale plantelor, limitând capacitatea de activare a mecanismelor de apărare specifice față de salinitate. Ca urmare, pragul critic de toleranță fotosintetică s-a redus pentru soiul „Aromat de Buzău” de la 200 mM NaCl în condiții de cultivare în laborator la 150 mM NaCl la variantele cultivate în solarul semideschis, iar pentru soiul „Serafim” de la 150 mM NaCl în condiții de cultivare în laborator la 100 mM NaCl la variantele cultivate în solarul semideschis, subliniind fragilitatea funcțională suplimentară indusă celor două soiuri autohtone de busuioc de condițiile de vegetație semicontrolată avute la dispoziție.

8. Implicații pentru selecția soiurilor și managementul culturilor de busuioc în condiții de salinitate a mediului de cultivare.

Din perspectivă aplicativă, rezultatele cercetării sugerează că niciunul dintre soiurile studiate nu prezintă o superioritate absolută în toleranța la stresul salin, fiecare dintre ele evidențiind avantaje și vulnerabilități diferite, în funcție de condițiile de cultură și de pragul de salinitate al solului. Soiul verde „Aromat de Buzău” se dovedește mai stabil morfologic și mai rezistent în condiții de stres salin moderat, cu un răspuns antioxidant tardiv dar intens, fiind potrivit pentru culturi în zone cu salinitate fluctuantă. Soiul violet „Serafim” demonstrează o alertă antioxidantă constitutivă superioară și o adaptare rapidă la praguri mici de salinitate, însă prezintă o fragilitate mai accentuată a sistemului radicular și o vulnerabilitate fotosintetică mai mare în condiții de mediu variabil de cultivare. Aceste caracteristici plasează cele două soiuri de *Ocimum* ca genotipuri complementare, cu potențial distinct pentru ameliorarea genetică a toleranței la salinitate.

X

X X

Prin corelarea setului complex de date obținute, care integrează răspunsurile morfo-anatomice, fiziologice și biochimice ale plantelor, se concluzionează că soiul verde „Aromat de Buzău” prezintă o toleranță superioară la stresul salin, comparativ cu soiul violet „Serafim”. Această capacitate de adaptare este susținută de mecanisme structurale de atenuare a șocului osmotic la nivel radicular (precum inelele de suber), de menținerea unui

echilibru optim între creșterea vegetativă și cea reproductivă la stres moderat, precum și de conservarea eficienței fotosintetice la praguri de salinitate mai ridicate.

În contrast, soiul violet „Serafim” demonstrează o sensibilitate accentuată, în special la nivel radicular și al funcției fotosintetice la stresul salin. Totuși, sub presiunea factorilor de stres din condițiile de cultivare în solar semideschis, acest genotip compensează vulnerabilitățile structurale printr-o strategie distinctă de supraviețuire: finalizarea accelerată a ciclului de viață (reproducere timpurie) și declanșarea rapidă a unui mecanism de apărare antioxidant non-enzimatic, facilitat de fondul său bogat în pigmenți antocianici.

În ansamblu, rezultatele obținute subliniază rolul important al mediului de cultivare în modelarea răspunsului ecofiziologic și a profilului biochimic a celor două soiuri autohtone de busuioc (*Ocimum basilicum* L.). Dinamica soiului violet „Serafim”, care reacționează diferit la stresul salin în funcție de gradul de complexitate a mediului, demonstrează că extrapolarea toleranței de la condiții controlate (de laborator) la sistemele de tip solar semideschis sau câmp deschis nu este liniară.

Totodată, prezenta cercetare contribuie la cunoașterea căilor biologice de instalare a toleranței la stresul salin al mediului de cultivare la soiuri autohtone ale speciei *Ocimum basilicum* L., furnizând date morfologice, fiziologice și biochimice integrate, care pot constitui baza unor strategii viitoare de selecție a soiurilor rezistente, de optimizare a managementului irigațiilor și de valorificare superioară a potențialului biochimic al busuiocului cultivat în condiții de stres salin.

Compararea integrativă (morfo-anatomo funcțională) a două soiuri de busuioc autohton cu profiluri pigmentare și biochimice diferite - verde și violet - deschide perspective largi de cercetare pentru aprofundarea rolului pigmenților antocianici, ca sisteme multifuncționale de protecție ale plantelor aromatice, medicinale și ornamentale la stresul abiotic salin al mediului de cultivare.

Ca urmare, considerăm că se impun în cercetările viitoare abordări agronomice atent adaptate fiecărui genotip în parte, cu implicații directe atât pentru eficientizarea practicii agricole, cât și pentru valorificarea optimă a acestor taxoni ca sursă de compuși cu potențial bioactiv.

Diseminarea rezultatelor obținute

Participări la conferințe:

Olaru Elena-Iren, Olaru Ștefan Mihăiță, Zamfirache Maria-Magdalena, Ivănescu Lăcrămioara Carmen, 2022. **Micromorphological and anatomical changes induced by saline stress in *Ocimum basilicum* L. (var. Genovese), in experimental growth conditions.** Conferința Internațională: *Life sciences in the dialogue of generations: connections between universities, academia and business community*, perioada 29-30 septembrie 2022, Chișinău, Rep. Moldova,

Olaru Elena-Iren, Zamfirache Maria Magdalena, 2022. **THE EFFECTS OF SALINE STRESS INDUCED IN EXPERIMENTAL CULTIVATION CONDITIONS ON SOME VARIETIES OF BASIL.** Sesiunea Științifică a Facultății de Biologie - Tendințe în Biologie: de la molecule la sisteme complexe, perioada 27-28 octombrie 2022, Iași, <https://www.jemb.bio.uaic.ro/index.php/jemb/issue/view/16/13>

Publicații:

Elena-Iren Olaru (Hâncu), Maria-Magdalena Zamfirache, 2026, **Micromorphological, Physiological, and Biochemical Responses of *Ocimum basilicum* L. cv. 'Aromat de Buzău' under Salt Stress**, *Studia Universitatis "Vasile Goldiș"*, Seria Științele Vieții, ISSN: 1584-2363, Vol. 36, issue 3, pp. 149 – 157

Elena-Iren Olaru (Hâncu), Maria-Magdalena Zamfirache, 2026, **Modulations of Stomatal Density, Leaf Physiology, and Biochemical Markers in 'Serafim' Basil Cultivar Induced by Salinity**, *Studia Universitatis "Vasile Goldiș"*, Seria Științele Vieții, ISSN: 1584-2363, Vol. 36, issue 1, pp. 53 – 60

Bibliografie selectivă

- Agencia Națională pentru Aarii Naturale Protejate (ANANP) (2024) *Rezervații și Monumente ale Naturii*. disponibil la <https://ananp.gov.ro/wp-content/uploads/Rezervatii-si-Monumente-ale-Naturii.pdf>.
- Aghaei, K. și Komatsu, S. (2013a) „Crop and medicinal plants proteomics in response to salt stress”, *Frontiers in Plant Science* 4. disponibil la <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2013.00008/abstract> (accesat la 13 martie 2022).
- Aghaei, K. și Komatsu, S. (2013b) „Crop and medicinal plants proteomics in response to salt stress”.
- Ahmed, A. F., Attia, F. A. K., Liu, Z., Li, C., Wei, J. și Kang, W. (2019a) „Antioxidant activity and total phenolic content of essential oils and extracts of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants”, *Food Science and Human Wellness* 8(3) , pp. 299-305.
- Ahmed, A. F., Attia, F. A. K., Liu, Z., Li, C., Wei, J. și Kang, W. (2019b) „Antioxidant activity and total phenolic content of essential oils and extracts of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants”, *Food Science and Human Wellness* 8(3) , pp. 299-305.
- Akbari, G. A., Soltani, E., Binesh, S. și Amini, F. (2018) „Cold tolerance, productivity and phytochemical diversity in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) accessions”, *Industrial Crops and Products* 124 , pp. 677-684.
- Akhtar, M. T., Noor, M., Lin, X., Lu, Z. și Jin, B. (2026) „Flavonoids in Plant Salt Stress Responses: Biosynthesis, Regulation, Functions, and Signaling Networks”, *Plants* 15(1) , p. 171.
- Al Hinai, M. S., Ullah, A., Al-Rajhi, R. S. și Farooq, M. (2022) „Proline accumulation, ion homeostasis and antioxidant defence system alleviate salt stress and protect carbon assimilation in bread wheat genotypes of Omani origin”, *Environ. Exp. Bot.* 193 , p. 104687.
- Ashraf, M. și Harris, P. J. C. (2013) „Photosynthesis under stressful environments: An overview”, *Photosynthetica* 51(2) , pp. 163-190.
- Athar, H.-R., Zulfiqar, F., Moosa, A., Ashraf, M., Zafar, Z. U., Zhang, L., Ahmed, N., Kalaji, H. M., Nafees, M., Hossain, M. A., Islam, M. S., El Sabagh, A. și Siddique, K. H. M. (2022) „Salt stress proteins in plants: An overview”, *Frontiers in Plant Science* 13 , p. 999058.
- Attia, H., Karray, N., Ellili, A., Msilini, N. și Lachaâl, M. (2009) „Sodium transport in basil”, *Acta Physiologiae Plantarum* 31(5) , pp. 1045-1051.
- Attia, H., Ouhibi, C., Ellili, A., Msilini, N., Bouzaïen, G., Karray, N. și Lachaâl, M. (2011a) „Analysis of salinity effects on basil leaf surface area, photosynthetic activity, and growth”, *Acta Physiologiae Plantarum* 33(3) , pp. 823-833.
- Attia, H., Ouhibi, C., Ellili, A., Msilini, N., Bouzaïen, G., Karray, N. și Lachaâl, M. (2011b) „Analysis of salinity effects on basil leaf surface area, photosynthetic activity, and growth”, *Acta Physiologiae Plantarum* 33(3) , pp. 823-833.
- Azizah, N. S., Irawan, B., Kusmoro, J., Safriansyah, W., Farabi, K., Oktavia, D., Doni, F. și Miranti, M. (2023) „Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.)—A Review of Its Botany, Phytochemistry, Pharmacological Activities, and Biotechnological Development”, *Plants* 12(24) , p. 4148.

- Balanescu, F., Mihaila, M. D. I., Cârâc, G., Furdui, B., Vinătoru, C., Avramescu, S. M., Lisa, E. L., Cudalbeanu, M. și Dinica, R. M. (2020) „Flavonoid Profiles of Two New Approved Romanian *Ocimum* Hybrids”, *Molecules* 25(19) , p. 4573.
- Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmaceli, N. și Zhang, H. (2023) „Plants’ Response Mechanisms to Salinity Stress”, *Plants* 12(12) , p. 2253.
- Bantis, F., Ouzounis, T. și Radoglou, K. (2016) „Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum* , but variably affects transplant success”, *Scientia Horticulturae* 198 , pp. 277-283.
- Barbieri, G., Vallone, S., Orsini, F., Paradiso, R., De Pascale, S., Negre-Zakharov, F. și Maggio, A. (2012) „Stomatal density and metabolic determinants mediate salt stress adaptation and water use efficiency in basil (*Ocimum basilicum* L.)”, *Journal of Plant Physiology* 169(17) , pp. 1737-1746.
- Bekhradi, F., Delshad, M., Marín, A., Luna, M. C., Garrido, Y., Kashi, A., Babalar, M. și Gil, M. I. (2015) „Effects of salt stress on physiological and postharvest quality characteristics of different Iranian genotypes of basil”, *Horticulture Environment and Biotechnology* 56(6) , pp. 777-785.
- Bilal, A., Jahan, N., Ahmed, A., Bilal, S. N., Habib, S. și Hajra, S. (2012) „Phytochemical and pharmacological studies on *Ocimum basilicum* Linn-A review”, *International Journal of Current Research and Review* 4(23).
- Biswas, S., Koul, M. și Bhatnagar, A. K. (2011) „Effect of Salt, Drought and Metal Stress on Essential Oil Yield and Quality in Plants”, *Natural Product Communications* 6(10) , p. 1934578X1100601.
- Boyer, J. S. (1982) „Plant Productivity and Environment”, *Science* 218(4571) , p. 443 LP - 448.
- Butcher, K., Wick, A. F., DeSutter, T., Chatterjee, A. și Harmon, J. (2016) „Soil Salinity: A Threat to Global Food Security”, *Agronomy Journal* 108(6) , pp. 2189-2200.
- Caldo, F., Mannino, G. și Maffei, M. E. (2025) „Salt Stress Re-Routes Terpenoid and Flavonoid Metabolism in Peppermint (*MENTHA* × *PIPERITA* L.)”, *Physiologia Plantarum* 177(6) , p. e70694.
- Caliskan, O., Kurt, D., Temizel, K. E. și Odabas, M. S. (2017) „Effect of salt stress and irrigation water on growth and development of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.)”, *Open Agriculture* 2(1) , pp. 589-594.
- Cárdenas-Pérez, S., Piernik, A., Chanona-Pérez, J. J., Grigore, M. N. și Perea-Flores, M. J. (2021) „An overview of the emerging trends of the *Salicornia* L. genus as a sustainable crop”, *Environmental and Experimental Botany* 191 , p. 104606.
- Ch, M., Naz, S., Sharif, A., Akram, M. și Saeed, M. (2015) „Biological and Pharmacological Properties of the Sweet Basil (*Ocimum basilicum*)”, *British Journal of Pharmaceutical Research* 7(5) , pp. 330-339.
- Chaplin, E., Merchant, A. și Salter, W. (2025) „Smarter stomata: emergent technologies unlocking yield potential in a changing climate”, *AoB PLANTS* 17(5) , p. plaf048.
- Ciriello, M., Cirillo, V., Formisano, L., De Pascale, S., Romano, R., Fusco, G. M., Nicastro, R., Carillo, P., Kyriacou, M. C., Soteriou, G. A. și Roupheal, Y. (2023) „Salt-Induced Stress Impacts the Phytochemical Composition and Aromatic Profile of Three Types of Basil in a Genotype-Dependent Mode”, *Plants* 12(11) , p. 2167.
- Ciriello, M., Formisano, L., El-Nakhel, C., Kyriacou, M. C., Soteriou, G. A., Pizzolongo, F., Romano, R., De Pascale, S. și Roupheal, Y. (2021) „Genotype and Successive Harvests Interaction Affects Phenolic Acids and Aroma Profile of Genovese Basil for Pesto Sauce Production”, *Foods* 10(2) , p. 278.
- Ciriello, M., Formisano, L., Soteriou, G. A., Kyratzis, A., De Pascale, S., Kyriacou, M. C. și Roupheal, Y. (2022) „Differential Response to NaCl Osmotic Stress in Sequentially

- Harvested Hydroponic Red and Green Basil and the Role of Calcium”, *Frontiers in Plant Science* 13 , p. 799213.
- Corrado, G., Vitaglione, P., Chiaiese, P. și Rouphael, Y. (2021) „Unraveling the Modulation of Controlled Salinity Stress on Morphometric Traits, Mineral Profile, and Bioactive Metabolome Equilibrium in Hydroponic Basil”, *Horticulturae* 7(9) , p. 273.
- Cruz, L. R. O., Polyzos, N., Fernandes, A., Petropoulos, S. A., Gioia, F. D., Dias, M. I., Pinela, J., Kostić, M., Soković, M., Ferreira, I. C. F. R. și Barros, L. (2020) „Effect of Saline Conditions on Chemical Profile and the Bioactive Properties of Three Red-Colored Basil Cultivars”, *Agronomy* 10(11) , p. 1824.
- Cuadrado-Pedetti, M. B., Rauschert, I., Sainz, M. M., Amorim-Silva, V., Botella, M. A., Borsani, O. și Sotelo-Silveira, M. (2021) „The Arabidopsis TETRATRICPEPTIDE THIOREDOXIN-LIKE 1 Gene Is Involved in Anisotropic Root Growth during Osmotic Stress Adaptation”, *Genes* 12(2) , p. 236.
- Daliakopoulos, I. N., Tsanis, I. K., Koutroulis, A., Kourgialas, N. N., Varouchakis, A. E., Karatzas, G. P. și Ritsema, C. J. (2016) „The threat of soil salinity: A European scale review”, *Science of The Total Environment* 573 , pp. 727-739.
- De Masi, L., Siviero, P., Esposito, C., Castaldo, D., Siano, F. și Laratta, B. (2006) „Assessment of agronomic, chemical and genetic variability in common basil (*Ocimum basilicum* L.)”, *European Food Research and Technology* 223(2) , pp. 273-281.
- Demmig-Adams, B. (1990) „Carotenoids and photoprotection in plants: A role for the xanthophyll zeaxanthin”, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics* 1020(1) , pp. 1-24.
- Dharsono, H. D. A., Putri, S. A., Kurnia, D., Dudi, D. și Satari, M. H. (2022) „Ocimum Species: A Review on Chemical Constituents and Antibacterial Activity”, *Molecules* 27(19) , p. 6350.
- Dias, M. C., Pinto, D. C. G. A. și Silva, A. M. S. (2021) „Plant Flavonoids: Chemical Characteristics and Biological Activity”, *Molecules* 26(17) , p. 5377.
- Doblas, V. G., Geldner, N. și Barberon, M. (2017) „The endodermis, a tightly controlled barrier for nutrients”, *Current Opinion in Plant Biology* 39 , pp. 136-143.
- Dolatabadian, A., Modarres Sanavy, S. A. M. și Ghanati, F. (2011) „Effect of Salinity on Growth, Xylem Structure and Anatomical Characteristics of Soybean”, *Notulae Scientiae Biologicae* 3(1) , pp. 41-45.
- Doniță, N., Popescu, A., Paucă-Comănescu, M., Mihăilescu, S. și Biriș, I. A. (2005) *Habitatele din România*. București: Editura Tehnică Silvică.
- Doula, M. K. și Sarris, A. (2016) „Chapter 4 - Soil Environment”, în S. G. Pouloupoulos și V. J. Inglezakis (ed.) *Environment and Development*. Amsterdam: Elsevier, pp. 213-286.
- Dumitriu, M. și Manea, A. (2011) *MONITORINGUL STĂRII DE CALITATE A SOLURILOR DIN ROMÂNIA*. Craiova: INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU PEDOLOGIE AGROCHIMIE ȘI PROTECȚIA MEDIULUI.
- Einali, A. și Karamzahi, R. (2024) „Trehalose-induced metabolic responses in basil (*Ocimum basilicum*) seedlings under salt treatment”, *Acta botanica Croatica* 83(2) , pp. 153-164.
- Evelin, H., Devi, T. S., Gupta, S. și Kapoor, R. (2019) „Mitigation of Salinity Stress in Plants by Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis: Current Understanding and New Challenges”, *Frontiers in Plant Science* 10 , p. 470.
- Faliagka, S., Elvanidi, A., Spanoudaki, S., Kunze, A., Max, J. F. J. și Katsoulas, N. (2021) „Effect of NaCl or Macronutrient-Imposed Salinity on Basil Crop Yield and Water Use Efficiency”, *Horticulturae* 7(9) , p. 296.
- FAO (2022) *Global status of salt-affected soils*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. disponibil la <https://www.fao.org/3/cb7265en/cb7265en.pdf>.

- Feng, W., Lindner, H., Robbins, N. E. și Dinney, J. R. (2016) „Growing Out of Stress: The Role of Cell- and Organ-Scale Growth Control in Plant Water-Stress Responses”, *The Plant Cell* 28(8), pp. 1769-1782.
- Fini, A., Brunetti, C., Di Ferdinando, M., Ferrini, F. și Tattini, M. (2011) „Stress-induced flavonoid biosynthesis and the antioxidant machinery of plants”, *Plant Signaling & Behavior* 6(5), pp. 709-711.
- Florea, N., Munteanu, I., Rusu, C., Dumitru, M., Ianoș, Gh., Răducu, D., Rogobete, Gh. și Țărău, D. (2012) *Sistemul Român de Taxonomie a Solurilor (SRTS-2012)*. Craiova: Editura Sitech.
- Flowers, T. J. (2004) „Improving crop salt tolerance”, *Journal of Experimental Botany* 55(396), pp. 307-319.
- Foyer, C. H. și Noctor, G. (2005) „Redox Homeostasis and Antioxidant Signaling: A Metabolic Interface between Stress Perception and Physiological Responses”, *The Plant Cell* 17(7), pp. 1866-1875.
- Fujii, J., Homma, T. și Osaki, T. (2022) „Superoxide Radicals in the Execution of Cell Death”, *Antioxidants* 11(3), p. 501.
- Gapińska, M., Skłodowska, M. și Gabara, B. (2007) „Effect of short- and long-term salinity on the activities of antioxidative enzymes and lipid peroxidation in tomato roots”, *Acta Physiologiae Plantarum* 30(1), pp. 11-18.
- Genzel, F., Dicke, M. D., Junker-Frohn, L. V., Neuwohner, A., Thiele, B., Putz, A., Usadel, B., Wormit, A. și Wiese-Klinkenberg, A. (2021) „Impact of Moderate Cold and Salt Stress on the Accumulation of Antioxidant Flavonoids in the Leaves of Two Capsicum Cultivars”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 69(23), pp. 6431-6443.
- Gill, S. S. și Tuteja, N. (2010) „Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants”, *Plant Physiology and Biochemistry* 48(12), pp. 909-930.
- Gould, K. S., McKelvie, J. și Markham, K. R. (2002) „Do anthocyanins function as antioxidants in leaves? Imaging of H₂ O₂ in red and green leaves after mechanical injury”, *Plant, Cell & Environment* 25(10), pp. 1261-1269.
- Grasu, C., Miclaus, C., Brânzilă, M. și Bobos, I. (2002) *The Eastern Carpathian foreland basin system during Sarmatian (in Romanian) / Sarmațianul din sistemul bazinelor de foreland ale Carpaților Orientali*.
- Grigore, M.-N. (2008a) *INTRODUCERE IN HALOFITOLOGIE Elemente de anatomie integrativă*. Iasi: Pim.
- Grigore, M.-N. (2008b) „Halofitotaxonomia - Lista plantelor de sărătură din România”, Iași: Pim, p. 137.
- Grigore, M.-N. (2021) „Definition and Classification of Halophytes as an Ecological Group of Plants”, în M.-N. Grigore (ed.) *Handbook of Halophytes*. Cham: Springer International Publishing, pp. 3-50.
- Grigore, M.-N. și Cojocariu, A. (2021) „Fighting with Salt-Affected Areas: A History of Biosaline Agriculture in Romania (1900–1989)”, în M.-N. Grigore (ed.) *Handbook of Halophytes*. Cham: Springer International Publishing, pp. 95-140.
- Grigore, M.-N., Ivanescu, L. și Toma, C. (2014) *Halophytes: An Integrative Anatomical Study*. Cham: Springer International Publishing. disponibil la <https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-05729-3> (accesat la 2 mai 2026).
- Grigore, M.-N. și Toma, C. (2010) *Halofitele. Aspecte de anatomie ecologică*. Iasi: Editura Universității „Alexandru Ioan Cuza”.
- Ha, C. V., Leyva-González, M. A., Osakabe, Y., Tran, U. T., Nishiyama, R., Watanabe, Y., Tanaka, M., Seki, M., Yamaguchi, S., Dong, N. V., Yamaguchi-Shinozaki, K.,

- Shinozaki, K., Herrera-Estrella, L. și Tran, L.-S. P. (2014) „Positive regulatory role of strigolactone in plant responses to drought and salt stress”, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(2) , pp. 851-856.
- Hasanuzzaman, M. și Fujita, M. (2022) „Plant Responses and Tolerance to Salt Stress: Physiological and Molecular Interventions”, *International Journal of Molecular Sciences* 23(9) , p. 4810.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K. și Fujita, M. (2013) „Plant Response to Salt Stress and Role of Exogenous Protectants to Mitigate Salt-Induced Damages”,
- Hasanuzzaman, M., Raihan, Md. R. H., Masud, A. A. C., Rahman, K., Nowroz, F., Rahman, M., Nahar, K. și Fujita, M. (2021) „Regulation of Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Salinity”, *International Journal of Molecular Sciences* 22(17) , p. 9326.
- Hasanuzzaman, Md., Zhou, M. și Shabala, S. (2023) „How Does Stomatal Density and Residual Transpiration Contribute to Osmotic Stress Tolerance?”, *Plants* 12(3) , p. 494.
- Hashimoto, H., Uragami, C. și Cogdell, R. J. (2016) „Carotenoids and Photosynthesis”, în C. Stange (ed.) *Carotenoids in Nature*. Cham: Springer International Publishing, pp. 111-139.
- Hassanzadeh, Z., Bolandnazar, S., Salteh, S. A. și Sarikhani, M. R. (2026) „Plant growth-promoting microorganisms enhance biochemical traits, essential oil composition, and antioxidant defense in basil under salt stress”, *Scientific Reports*. disponibil la <https://www.nature.com/articles/s41598-026-43264-7> (accesat la 20 mai 2026).
- Heidari, M. (2012) „Effects of salinity stress on growth, chlorophyll content and osmotic components of two basil (*Ocimum basilicum* L.) genotypes”, *AFRICAN JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY* 11(2). disponibil la <http://www.academicjournals.org/AJb/abstracts/abs2012/5Jan/Heidari.htm> (accesat la 13 martie 2022).
- Heimler, D., Romani, A. și Ieri, F. (2017) „Plant polyphenol content, soil fertilization and agricultural management: a review”, *European Food Research and Technology* 243(7) , pp. 1107-1115.
- Ionesi, L., Ionesi, B., Vladimir, R., Alexandru, L. și Ionesi, V. (2005) *Sarmațianul mediu și superior de pe Platforma Moldovenească*.
- Ivanova, T., Bosseva, Y., Chervenkov, M. și Dimitrova, D. (2023) „Sweet Basil between the Soul and the Table—Transformation of Traditional Knowledge on *Ocimum basilicum* L. in Bulgaria”, *Plants* 12(15) , p. 2771.
- Jadczak, D., Bojko, K., Kaymakanova, M. și Berova, M. (2022) „Salinity-Induced Changes in the Antioxidant Status of Common Basil Plants (*Ocimum basilicum* L.) Grown under Controlled Conditions”, *Horticulturae* 8(9) , p. 775.
- Jakovljević, D. Z., Topuzović, M. D., Stanković, M. S. și Bojović, B. M. (2017) „Changes in antioxidant enzyme activity in response to salinity-induced oxidative stress during early growth of sweet basil”, *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 58(3) , pp. 240-246.
- Joseph, B. și Jini, D. (2010) „Proteomic Analysis of Salinity Stress-responsive Proteins in Plants”, *Asian Journal of Plant Sciences* 9(6) , pp. 307-313.
- Kamelnia, E., Mohebbati, R., Kamelnia, R., ElSeedi, H. și Boskabady, M. H. (2023) „Anti-inflammatory immunomodulatory and anti-oxidant effects of *Ocimum basilicum* L. and its main constituents: A review”, *Iranian Journal of Basic Medical Sciences* 26(6). disponibil la <https://doi.org/10.22038/ijbms.2023.67466.14783> (accesat la 27 martie 2026).

- Kandil, A. S., Mohamed, M. A., El-Beltagi, H. S. și Gaballa, H. S. (2023) „The correlation of in vitro antioxidant potentials with the various biochemical responses of salinized basil leaves”, *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 51(2) , p. 13110.
- Ketehouli, T., Idrice Carther, K. F., Noman, M., Wang, F.-W., Li, X.-W. și Li, H.-Y. (2019) „Adaptation of Plants to Salt Stress: Characterization of Na⁺ and K⁺ Transporters and Role of CBL Gene Family in Regulating Salt Stress Response”, *Agronomy* 9(11) , p. 687.
- Khaliq, R., Tita, O. și Zafar, Z. U. (2017) „POSSIBLE ASSESSMENT OF SALT TOLERANCE IN OCIMUM BASILICUM BY CHLOROPHYLL FLUORESCENCE”, 17(3).
- Khaliq, S., Zafar, Z. U., Athar, H. ur R. și Khaliq, R. (2014) „Physiological and biochemical basis of salt tolerance in Ocimum basilicum L.”, *Journal of Medicinal Plants Studies* 2(1). disponibil la https://www.plantsjournal.com/vol2Issue1/Issue_jan_2014/html/11.html.
- Kiani-Pouya, A., Rasouli, F., Rabbi, B., Falakboland, Z., Yong, M., Chen, Z.-H., Zhou, M. și Shabala, S. (2020) „Stomatal traits as a determinant of superior salinity tolerance in wild barley”, *Journal of Plant Physiology* 245 , p. 153108.
- Kopittke, P. M., Harper, S. M., Asio, L. G., Asio, V. B., Batalon, J. T., Batuigas, A. M. T., Gonzaga, A. B., Gonzaga, N. R., De Guzman, M. T. L., Lumanao, D. M., McKenna, B. A., Soyon, G. B., Vergara, J. R. M. și Sanchez, P. B. (2025) „Soil degradation: An integrated model of the causes and drivers”, *International Soil and Water Conservation Research* 13(4) , pp. 744-755.
- Kordi, S., Saidi, M. și Ghanbari, F. (2013) „Induction of Drought Tolerance in Sweet Basil (Ocimum basilicum L) by Salicylic Acid”, *International Journal of Agricultural and Food Research* 2(2). disponibil la <https://www.sciencetarget.com/Journal/index.php/IJAfr/article/view/149> (accesat la 13 martie 2022).
- Kumar Sharma, M. (2023) „Plants Stress: Salt Stress and Mechanisms of Stress Tolerance”, *Current Agriculture Research Journal* 11(2) , pp. 380-400.
- Kume, A., Akitsu, T. și Nasahara, K. N. (2018) „Why is chlorophyll b only used in light-harvesting systems?”, *Journal of Plant Research* 131(6) , pp. 961-972.
- Läuchli, A. și Epstein, E. (1970) „Transport of Potassium and Rubidium in Plant Roots”, *Plant Physiology* 45(5) , pp. 639-641.
- Läuchli, A. și Grattan, S. R. (2011) „Plant responses to saline and sodic conditions”, *Agricultural Salinity Assessment and Management: Second Edition* (Mittler 2006) , pp. 169-205.
- Lim, J. M., Kim, J. H., Okuda, K. și Niwa, K. (1994) „The importance of NaCl concentration in a chemically defined medium for the development of bovine oocytes matured and fertilized in vitro”, *Theriogenology* 42(3) , pp. 421-432.
- Liu, C., Jiang, X. și Yuan, Z. (2024) „Plant Responses and Adaptations to Salt Stress: A Review”, *Horticulturae* 10(11) , p. 1221.
- Liu, X., Elzenga, J. T. M., Venema, J. H. și Tiedge, K. J. (2024) „Thriving in a salty future: morpho-anatomical, physiological and molecular adaptations to salt stress in alfalfa (*Medicago sativa* L.) and other crops”, *Annals of Botany* 134(7) , pp. 1113-1130.
- Liu, X., Fan, Y., Mak, M., Babla, M., Holford, P., Wang, F., Chen, G., Scott, G., Wang, G., Shabala, S., Zhou, M. și Chen, Z.-H. (2017) „QTLs for stomatal and photosynthetic traits related to salinity tolerance in barley”, *BMC Genomics* 18(1) , p. 9.
- Liu, X., Li, Z., Shen, Liangliang, Shen, Lili, Wu, B., Li, X., Yang, Y., Gao, S., Han, G., Kuang, T., Liu, C., Shen, J.-R. și Wang, W. (2026) „Cryo-EM structural analyses of chlorophyll b-enriched PSI-LHC and PSII-LHC supercomplexes of the siphonous green alga *Bryopsis corticulans*”, *Plant Communications* 7(5) , p. 101738.

- Ma, X., Zeng, X., Huang, Y., Liu, S. H., Yin, J. și Yang, G.-F. (2025) „Visualizing plant salt stress with a NaCl-responsive fluorescent probe”, *Nature Protocols* 20(4) , pp. 902-933.
- Maathuis, F. J. M., Ahmad, I. și Patishtan, J. (2014) „Regulation of Na⁺ fluxes in plants”, *Frontiers in Plant Science* 5. disponibil la <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2014.00467/abstract> (accesat la 28 mai 2026).
- Makri, O. și Kintzios, S. (2008) „Ocimum sp. (Basil): Botany, Cultivation, Pharmaceutical Properties, and Biotechnology”, *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants* 13(3) , pp. 123-150.
- Mancarella, S., Orsini, F., Van Oosten, M. J., Sanoubar, R., Stanghellini, C., Kondo, S., Gianquinto, G. și Maggio, A. (2016) „Leaf sodium accumulation facilitates salt stress adaptation and preserves photosystem functionality in salt stressed Ocimum basilicum”, *Environmental and Experimental Botany* 130 , pp. 162-173.
- Mandhania, S., Madan, S. și Sawhney, V. (2006) „Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings”, *Biologia plantarum* 50(2) , pp. 227-231.
- Manniche, L. (1993) *An ancient Egyptian herbal*. 2. print. Austin: Univ. of Texas Press.
- Marotti, M., Piccaglia, R. și Giovanelli, E. (1996) „Differences in Essential Oil Composition of Basil (*Ocimum basilicum* L.) Italian Cultivars Related to Morphological Characteristics”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44(12) , pp. 3926-3929.
- Maxwell, K. și Johnson, G. N. (2000) „Chlorophyll fluorescence—a practical guide”, *Journal of Experimental Botany* 51(345) , pp. 659-668.
- Măianu, A. (1964) *Salinizarea secundară a solului*. București: Academia Republicii Populare Române.
- Meftahizadeh, M., Shahhoseini, R. și Ghanbari, F. (2025) „Biochemical, physiological and phenotypic variation in Ocimum Basilicum L. cultivars under salt stress conditions”, *BMC Plant Biology* 25(1) , p. 1190.
- Miraj, S. și Kiani, S. (2016) „Study of pharmacological effect of Ocimum basilicum: A review”, *Der Pharmacia Lettre* , p. 5.
- Mirgos, M., Dąbrowski, P., Kalaji, H. M., Wróbel, J., Gajc-Wolska, J., Pawluśkiewicz, B., Kunka, M. și Kowalczyk, K. (2026) „Photosynthetic responses of hydroponically grown basil (*Ocimum basilicum* L.) to drought and high-EC stress”, *PeerJ* 14 , p. e20728.
- Mittova, V., Tal, M., Volokita, M. și Guy, M. (2002) „Salt stress induces up-regulation of an efficient chloroplast antioxidant system in the salt-tolerant wild tomato species *Lycopersicon pennellii* but not in the cultivated species”, *Physiologia Plantarum* 115(3) , pp. 393-400.
- Molyneux, P. (2003) „The use of the stable radical Diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity”, *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 26.
- Morales, M. R. și Simon, J. E. (1996) „New Basil Selections with Compact Inflorescences for the Ornamental Market”, în J. Janick (ed.) *Progress in new crops*. Arlington, VA: ASHS Press, pp. 543-546.
- Moustaka, J. și Moustakas, M. (2023) „Early-Stage Detection of Biotic and Abiotic Stress on Plants by Chlorophyll Fluorescence Imaging Analysis”, *Biosensors* 13(8) , p. 796.
- Muchate, N. S., Nikalje, G. C., Rajurkar, N. S., Suprasanna, P. și Nikam, T. D. (2016) „Plant Salt Stress: Adaptive Responses, Tolerance Mechanism and Bioengineering for Salt Tolerance”, *The Botanical Review* 82(4) , pp. 371-406.
- Munns, R. (1993) „Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses”, *Plant, Cell & Environment* 16(1) , pp. 15-24.

- Munns, R. (2002) „Comparative physiology of salt and water stress: Comparative physiology of salt and water stress”, *Plant, Cell & Environment* 25(2) , pp. 239-250.
- Munns, Rana și Tester, M. (2008) „Mechanisms of Salinity Tolerance”.
- Munns, R. și Tester, M. (2008) „Mechanisms of salinity tolerance”, *Annu. Rev. Plant Biol.* 59 , pp. 651-681.
- Munns, R., Wallace, P. A., Teakle, N. L. și Colmer, T. D. (2010) „Measuring Soluble Ion Concentrations (Na⁺, K⁺, Cl⁻) in Salt-Treated Plants”, în R. Sunkar (ed.) *Plant Stress Tolerance*. Totowa, NJ: Humana Press, pp. 371-382.
- Olaru, E.-I., Olaru, Ș. M., Zamfirache, M.-M. și Ivănescu, L. C. (2022) „Micromorphological and anatomical changes induced by saline stress in *Ocimum basilicum* L. (var. Genovese), in experimental growth conditions”, în *Life sciences in the dialogue of generations: connections between universities, academia and business community*. Chișinău, Republica Moldova,.
- Olaru, E.-I. și Zamfirache, M.-M. (2026a) „MODULATIONS OF STOMATAL DENSITY, LEAF PHYSIOLOGY, AND BIOCHEMICAL MARKERS IN «SERAFIM» BASIL CULTIVAR INDUCED BY SALINITY”, *Studia Universitatis Vasile Goldis, Seria Stiintele Vietii (Life Sciences Series)* 36(1) , pp. 53-60.
- Olaru, E.-I. și Zamfirache, M.-M. (2026b) „MICROMORPHOLOGICAL, PHYSIOLOGICAL, AND BIOCHEMICAL RESPONSES OF OCIMUM BASILICUM L. CV.”, *Studia Universitatis Vasile Goldis, Seria Stiintele Vietii (Life Sciences Series)* 36(3) , pp. 149-157.
- Onofrei, V., Teliban, G.-C., Clinciu-Radu, R.-A., Teliban, I.-V., Galea, F.-M. și Robu, T. (2015) „*Ocimum basilicum* L.: presence, influence and evolution in human concerns ever”, *Lucrări Științifice USAMV - Iași Seria Agronomie* 58 (1) , pp. 161-166.
- Ontel, I., Cheval, S., Irimescu, A., Boldeanu, G., Amihaesei, V.-A., Mihailescu, D., Nertan, A., Angearu, C.-V. și Craciunescu, V. (2023) „Assessing the Recent Trends of Land Degradation and Desertification in Romania Using Remote Sensing Indicators”, *Remote Sensing* 15(19) , p. 4842.
- Pandit, K., Chandni, Kaur, Simrandeep, Kumar, M., Bhardwaj, R. și Kaur, Satwinderjeet (2024) „Chapter Six - Salinity stress: Impact on plant growth”, în A. Sharma, M. Kumar și P. Sharma (ed.) *Environmental Challenges in Attaining Food Security*. Elsevier, pp. 145-160.
- Papadimitropoulos, M. E. și Klapa, M. I. (2015) „Investigating the Effect of Elevated CO₂ in the Growth Environment of Salt-Stressed Plants Using Integrated Omic Analyses”, în R. Mahalingam (ed.) *Combined Stresses in Plants*.
- Parida, A. K. și Das, A. B. (2005) „Salt tolerance and salinity effects on plants: a review”, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60(3) , pp. 324-349.
- Pârvu, C. (2000) *Universul plantelor: Mică enciclopedie*. Ediția a III-a. Editura Enciclopedică, București.
- Peel, J. R., Mandujano Sanchez, M. C., Lopez Portillo, J. și Golubov, J. (2017) „Stomatal density, leaf area and plant size variation of *Rhizophora mangle* (Malpighiales: Rhizophoraceae) along a salinity gradient in the Mexican Caribbean”, *Revista de Biología Tropical* 65(2). disponibil la <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/24372> (accesat la 5 mai 2026).
- Pessarakli, M. (ed.) (1999) *Handbook of plant and crop stress*. 2nd ed., rev.expanded. New York: M. Dekker.
- Petretto, G. L., Urgeghe, P. P., Massa, D. și Melito, S. (2019) „Effect of salinity (NaCl) on plant growth, nutrient content, and glucosinolate hydrolysis products trends in rocket genotypes”, *Plant Physiol. Biochem.* 141 , pp. 30-39.

- Phippen, W. B. (2000) „Anthocyanin inheritance and instability in purple basil (*Ocimum basilicum* L.)”, *Journal of Heredity* 91(4) , pp. 289-296.
- Prăvălie, R., Necula, N., Borrelli, P., Panagos, P., Lugato, E., Ballabio, C., Hassani, A., Koppa, A., Patriche, C., Țișcovschi, A., Bandoc, G. și Roșca, B. (2026) „A pan-European spatial inventory of agricultural land degradation”, *International Soil and Water Conservation Research* , p. 100613.
- Prăvălie, R., Necula, N., Borrelli, P., Țișcovschi, A. și Săvulescu, I. (2025) „A complex spatial inventory of land degradation and desertification in Romania”, *Ecological Indicators* 176 , p. 113671.
- Prăvălie, R., Patriche, C., Săvulescu, I., Sîrodoev, I., Bandoc, G. și Sfică, L. (2020) „Spatial assessment of land sensitivity to degradation across Romania. A quantitative approach based on the modified MEDALUS methodology”, *CATENA* 187 , p. 104407.
- Prerostova, S., Dobrev, P. I., Gaudinova, A., Hosek, P., Soudek, P., Knirsch, V. și Vankova, R. (2017) „Hormonal dynamics during salt stress responses of salt-sensitive *Arabidopsis thaliana* and salt-tolerant *Thellungiella salsuginea*”, *Plant Science* 264 , pp. 188-198.
- Prinsi, B., Morgutti, S., Negrini, N., Faoro, F. și Espen, L. (2019) „Insight into Composition of Bioactive Phenolic Compounds in Leaves and Flowers of Green and Purple Basil”, *Plants* 9(1) , p. 22.
- Purushothaman, B., Srinivasan, R. P., Suganthi, P., Ranganathan, B., Gimbin, J. și Shanmugam, K. (2018) „A Comprehensive Review on *Ocimum basilicum*”, *Journal of Natural Remedies* 18(3) , pp. 71-85.
- PWO (2026) *Ocimum basilicum* L. Plants of the World Online. Kew Royal Botanic Gardens. disponibil la <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:452874-1> (accesat la 2 aprilie 2026).
- Qadir, M., Schubert, S., Ghafoor, A. și Murtaza, G. (2001) „Amelioration strategies for sodic soils: a review”, *Land Degradation & Development* 12(4) , pp. 357-386.
- Qamer, Z., Chaudhary, M. T., Du, X., Hinze, L. și Azhar, M. T. (2021) „Review of oxidative stress and antioxidative defense mechanisms in *Gossypium hirsutum* L. in response to extreme abiotic conditions”, *Journal of Cotton Research* 4(1) , p. 9.
- Rahman, A., Haque, Md. A., Shynu, P., Islam, M. M. și Ghosh, S. (2025) „A systematic literature review of *Ocimum basilicum* – A functional ingredient for gut health and industrial food applications”, *Applied Food Research* 5(2) , p. 101147.
- Rahneshan, Z., Nasibi, F. și Moghadam, A. A. (2018) „Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks”, *Journal of Plant Interactions* 13(1) , pp. 73-82.
- Rengasamy, P. (2010) „Soil processes affecting crop production in salt-affected soils”, *Functional Plant Biology* 37(7) , p. 613.
- Rewers, M. și Jedrzejczyk, I. (2016) „Genetic characterization of *Ocimum* genus using flow cytometry and inter-simple sequence repeat markers”, *Industrial Crops and Products* 91 , pp. 142-151.
- Riaz, U., Iqbal, S., Sohail, M. I., Samreen, T., Ashraf, M., Akmal, F., Siddiqui, A., Ahmad, I., Naveed, M., Khan, N. I. și Akhter, R. M. (2021) „A Comprehensive Review on Emerging Importance and Economical Potential of Medicinal and Aromatic Plants (MAPs) in Current Scenario”, *Pakistan Journal of Agricultural Research* 34(2). disponibil la <http://researcherslinks.com/current-issues/A-Comprehensive-Review-on-Emerging-Importance-Scenario/24/8/3810/html> (accesat la 31 iulie 2022).
- Rouphael, Y., Kyriacou, M. C., Petropoulos, S. A., De Pascale, S. și Colla, G. (2018) „Improving vegetable quality in controlled environments”, *Scientia Horticulturae* 234 , pp. 275-289.

- Rusu, T., Bogdan, I., Ioana Moraru, P. și Ioan Pop, A. (2025) „Soil Use and Management in Romania”, în Î. Kahramanoğlu, M. Helvacı și O. Panfilova (ed.) *Agricultural Sciences*. IntechOpen.
- Said-Al Ahl, H. A. H și Omer, E. A. (2011) „Medicinal and aromatic plants production under salt stress. A review.pdf”, *Herba Polonica*.
- Said-Al Ahl, H A H și Omer, E. A. (2011) „Medicinal and aromatic plants production under salt stress. A review”, *Herba Polonica* 57(1) , pp. 72-87.
- Salles Trevisan, M. T., Vasconcelos Silva, M. G., Pfundstein, B., Spiegelhalter, B. și Owen, R. W. (2006) „Characterization of the Volatile Pattern and Antioxidant Capacity of Essential Oils from Different Species of the Genus *Ocimum*”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(12) , pp. 4378-4382.
- Santos, S. T. D., Oliveira, F. D. A. D., Oliveira, G. B. S., Sá, F. V. D. S., Costa, J. P. B. D. M. și Fernandes, P. D. (2020) „Photochemical efficiency of basil cultivars fertigated with salinized nutrient solutions”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 24(5) , pp. 319-324.
- Seckin, B., Sekmen, A. H. și Türkan, İ. (2009) „An Enhancing Effect of Exogenous Mannitol on the Antioxidant Enzyme Activities in Roots of Wheat Under Salt Stress”, *Journal of Plant Growth Regulation* 28(1) , pp. 12-20.
- Secu, C. (2020) *Pedogeografie*. Iași: Editura Universității „Alexandru Ioan Cuza” din Iași. disponibil la <https://www.editura.uaic.ro/produse/editura/ultimele-aparitii/pedogeografie-1789/1>.
- Sestili, P., Ismail, T., Calcabrini, C., Guescini, M., Catanzaro, E., Turrini, E., Layla, A., Akhtar, S. și Fimognari, C. (2018) „The potential effects of *Ocimum basilicum* on health: a review of pharmacological and toxicological studies”, *Expert Opinion on Drug Metabolism & Toxicology* 14(7) , pp. 679-692.
- Shabani, E., Ghanbari, F., Azizi, A., Helalipour, E. și Caser, M. (2025) „Nanoextract of *Zataria multiflora* Boiss. Enhances Salt Stress Tolerance in Hydroponically Grown *Ocimum basilicum* L. var. Genovese”, *Horticulturae* 11(8) , p. 970.
- Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M. și Zheng, B. (2019) „Response of Phenylpropanoid Pathway and the Role of Polyphenols in Plants under Abiotic Stress”, *Molecules* 24(13) , p. 2452.
- Shomali, A., Das, S., Arif, N., Sarraf, M., Zahra, N., Yadav, V., Aliniaiefard, S., Chauhan, D. K. și Hasanuzzaman, M. (2022) „Diverse Physiological Roles of Flavonoids in Plant Environmental Stress Responses and Tolerance”, *Plants* 11(22) , p. 3158.
- Shrivastava, P. și Kumar, R. (2015) „Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation”, *Saudi Journal of Biological Sciences* 22(2) , pp. 123-131.
- Sies, H. (1991) „Oxidative stress: From basic research to clinical application”, *The American Journal of Medicine* 91(3) , pp. S31-S38.
- Silva, H. H. B., Azevedo Neto, A. D. D., Menezes, R. V., Silva, P. C. C. și Gheyi, H. R. (2019) „Use of hydrogen peroxide in acclimation of basil (*Ocimum basilicum* L.) to salt stress”, *TURKISH JOURNAL OF BOTANY* 43(2) , pp. 208-217.
- da Silva, T. I., de Queiroz Lopes, M. de F., Nóbrega, J. S., Figueiredo, F. R. A., da Silva, R. T. și Dias, T. J. (2022) „Basil (*Ocimum basilicum*) growth under saline stress and salicylic acid”, *Indian Journal of Traditional Knowledge (IJTK)* 21(2) , pp. 443-449.
- Simon, J., Morales, M., Vieira, R. și Hao, Z. (1999) „Basil: A Source of Aroma Compounds and a Popular Culinary and Ornamental Herb”, *Perspectives on new crops and new uses* 16.
- Simoons, F. J. (1998) *Plants of life, plants of death*. Madison, Wis: University of Wisconsin Press.

- Singh, A. (2022) „Soil salinity: A global threat to sustainable development”, *Soil Use and Management* 38(1), pp. 39-67.
- Singh, P. și Chandran, P. (2012) *Soil Genesis & Classification*. Koros.
- Skaria, B. P. (2007) *Aromatic plants*. New India Publishing.
- Śliwa, K., Śliwa, P., Piątkowski, M., Gałązka, N. și Kolniak-Ostek, J. (2025) „Basil extracts obtained by green chemistry methods for cosmetic applications”, *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification* 216, p. 110415.
- Srividhya, S., Swarna, R., Jinu, J., Dheeraj, C. și Talwar, H. S. (2024) „Salinity Stress in Pearl Millet: From Physiological to Molecular Responses”, în V. A. Tonapi, N. Thirunavukkarasu, S. Gupta, P. I. Gangashetty și O. Yadav (ed.) *Pearl Millet in the 21st Century*. Singapore: Springer Nature Singapore, pp. 361-394.
- Stan, C. O., Pîrnău, R. G., Roșca, B. și Sirbu-Radasanu, D. S. (2022) „Risk of Salinization in the Agricultural Soils of Semi-Arid Regions: A Case Study from Moldavian Plain (NE Romania)”, *Sustainability* 14(24), p. 17056.
- Stan (Tudora), C., Burnichi, F., Muscalu, A., Vintilă, M. și Israel-Roming, F. (2019) „Cultivation and extraction of volatile oils obtained from new varieties of basil (*ocimum basilicum* L., fam. Lamiaceae)”, *LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE SERIA HORTICULTURĂ, USAMV* 62(1).
- Steyn, W. J., Wand, S. J. E., Holcroft, D. M. și Jacobs, G. (2002) „Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection”, *New Phytologist* 155(3), pp. 349-361.
- Stoica, D. L., Valeriu, C., Sirbu, C., Pîrnău, R. și Roșca, B. (2012) „GIS and RS soil-vegetation correlations for continental salt- lands habitats in NE Romania”,.
- Sun, F., Wang, Y., Liu, G., Fang, D., Sun, M., Bao, Z. și Ma, F. (2024) „Salt stress induces SFT expression to promote early flowering and inhibits floral organ development by disturbing cell cycle in tomato”, *Vegetable Research* 4(1), pp. 0-0.
- Surugiu, E., Fudulu, I. D. și Voicu, V. (2025) „ANALYSIS OF EROSION, SALINIZATION, AND SOIL DEGRADATION PROCESSES IN SOUTHEASTERN ROMANIA: A PEDOLOGICAL PERSPECTIVE ON VULNERABILITY”, *Annals of the University of Craiova - Agriculture, Montanology, Cadastre Series* 55(1).
- Swoczyna, T., Kalaji, H. M., Bussotti, F., Mojski, J. și Pollastrini, M. (2022) „Environmental stress - what can we learn from chlorophyll a fluorescence analysis in woody plants? A review”, *Frontiers in Plant Science* 13, p. 1048582.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M. și Murphy, A. (2015) „Plant Physiology and Development, Sixth Edition”.
- Takeno, K. (2016) „Stress-induced flowering: the third category of flowering response”, *Journal of Experimental Botany* 67(17), pp. 4925-4934.
- Tarchoun, I., Degl'Innocenti, E., Kaddour, R., Guidi, L., Lachaâl, M., Navari-Izzo, F. și Ouerghi, Z. (2012a) „Effects of NaCl or Na₂SO₄ salinity on plant growth, ion content and photosynthetic activity in *Ocimum basilicum* L.”, *Acta Physiologiae Plantarum* 34(2), pp. 607-615.
- Tarchoun, I., Degl'Innocenti, E., Kaddour, R., Guidi, L., Lachaâl, M., Navari-Izzo, F. și Ouerghi, Z. (2012b) „Effects of NaCl or Na₂SO₄ salinity on plant growth, ion content and photosynthetic activity in *Ocimum basilicum* L.”, *Acta Physiologiae Plantarum* 34(2), pp. 607-615.
- Tarchoun, I., Sgherri, C., Baâtour, O., Izzo, R., Lachaâl, M., Navari-Izzo, F. și Ouerghi, Z. (2013) „Effects of oxidative stress caused by NaCl or Na₂SO₄ excess on lipoic acid and tocopherols in Genovese and Fine basil (*Ocimum basilicum*): Basil response to NaCl or Na₂SO₄ salinity”, *Annals of Applied Biology* 163(1), pp. 23-32.

- Tarchoune, I., Sgherri, C., Izzo, R., Lachaal, M., Ouerghi, Z. și Navari-Izzo, F. (2010) „Antioxidative responses of *Ocimum basilicum* to sodium chloride or sodium sulphate salinization”, *Plant Physiology and Biochemistry* 48(9) , pp. 772-777.
- Tarchoune, I., Sgherri, C., Izzo, R., Lachaal, M., Navari-Izzo, F. și Ouerghi, Z. (2012a) „Changes in the antioxidative systems of *Ocimum basilicum* L. (cv. Fine) under different sodium salts”, *Acta Physiologiae Plantarum* 34(5) , pp. 1873-1881.
- Tarchoune, I., Sgherri, C., Izzo, R., Lachaal, M., Navari-Izzo, F. și Ouerghi, Z. (2012b) „Changes in the antioxidative systems of *Ocimum basilicum* L. (cv. Fine) under different sodium salts”, *Acta Physiologiae Plantarum* 34(5) , pp. 1873-1881.
- Temelie, M. (2008) *Enciclopedia plantelor medicinale cultivate din România*. Rovimed Publishers.
- Tolay, I. (2021) „The impact of different Zinc (Zn) levels on growth and nutrient uptake of Basil (*Ocimum basilicum* L.) grown under salinity stress”, *PLOS ONE* 16(2) , p. e0246493.
- Tounekti, T., Joubert, E., Hernández, I. și Munné-Bosch, S. (2013) „Improving the Polyphenol Content of Tea”, *Critical Reviews in Plant Sciences* 32(3) , pp. 192-215.
- Tounekti, T., Vadel, A. M., Oñate, M., Khemira, H. și Munné-Bosch, S. (2011) „Salt-induced oxidative stress in rosemary plants: Damage or protection?”, *Environmental and Experimental Botany* 71(2) , pp. 298-305.
- Trifan, D., Ghiorghe, A. I., Lungu, E., George, D. și Mihăilă, V. (2024) „METHODS OF REMEDIATION OF SALINE SOILS IN LONG-TERM EXPERIENCES AND THROUGH RICE CULTIVATION AT ARDS BRAILA”, *Scientific Papers. Series A. Agronomy* LXVII(2).
- Troeh, F. R. și Thompson, L. M. (1993) *Soils and Soil Fertility*. New York, NY.
- Urziceanu, M., Akyniyazova, A., Sirbu, I.-M. și Anastasiu, P. (2024) „SPECIES OF THE ARTEMISIA GENUS IN THE HERBARIUM OF THE BOTANIC GARDEN “D. BRANDZA”, UNIVERSITY OF BUCHAREST”, *Acta Horti Botanici Bucurestiensis* 50(1/2024) , pp. 103-124.
- Vadez, V., Rashmi, M., Sindhu, K., Muralidharan, M., Pushpavalli, R., Turner, N. C., Krishnamurthy, L., Gaur, P. M. și Colmer, T. D. (2012) „Large number of flowers and tertiary branches, and higher reproductive success increase yields under salt stress in chickpea”, *European Journal of Agronomy* 41 , pp. 42-51.
- Valifard, M., Mohsenzadeh, S., Kholdebarin, B. și Rowshan, V. (2014) „Effects of salt stress on volatile compounds, total phenolic content and antioxidant activities of *Salvia mirzayanii*”, *South African Journal of Botany* 93 , pp. 92-97.
- Vargas-Hernandez, M., Macias-Bobadilla, I., Guevara-Gonzalez, R. G., Romero-Gomez, S. D. J., Rico-Garcia, E., Ocampo-Velazquez, R. V., Alvarez-Arquieta, L. D. L. și Torres-Pacheco, I. (2017) „Plant Hormesis Management with Biostimulants of Biotic Origin in Agriculture”, *Frontiers in Plant Science* 8 , p. 1762.
- Vershinina, Y. S., Mitin, I. V., Garmay, A. V., Sugakov, G. K. și Veselova, I. A. (2025) „Simple and Robust Approach for Determination of Total Protein Content in Plant Samples”, *Foods* 14(3) , p. 358.
- Vishnevetsky, M. (1999) „Carotenoid sequestration in plants: the role of carotenoid-associated proteins”, *Trends in Plant Science* 4(6) , pp. 232-235.
- Vînătoru, C., Mușat, B., Bratu, C. și Peticilă, A. (2019) „RESULTS AND PERSPECTIVES IN OCIMUM BASILICUM (BASIL) BREEDING AT VEGETABLE RESEARCH AND DEVELOPMENT STATION BUZĂU”, *Scientific Papers. Series B, Horticulture* Vol. LXIII(2).
- Volpe, V., Nascimento, D. S., Insausti, M. și Grünhut, M. (2018) „Octyl p-methoxycinnamate loaded microemulsion based on *Ocimum basilicum* essential oil. Characterization and

- analytical studies for potential cosmetic applications”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 546 , pp. 285-292.
- Wang, L. și Chang, C. (2024) „Stomatal improvement for crop stress resistance”, *Journal of Experimental Botany* 75(7) , pp. 1823-1833.
- Wang, X., Yin, J., Wang, J. și Li, J. (2023) „Integrative analysis of transcriptome and metabolome revealed the mechanisms by which flavonoids and phytohormones regulated the adaptation of alfalfa roots to NaCl stress”, *Frontiers in Plant Science* 14 , p. 1117868.
- Xu, Y.-H., Liu, R., Yan, L., Liu, Z.-Q., Jiang, S.-C., Shen, Y.-Y., Wang, X.-F. și Zhang, D.-P. (2012) „Light-harvesting chlorophyll a/b-binding proteins are required for stomatal response to abscisic acid in Arabidopsis”, *Journal of Experimental Botany* 63(3) , pp. 1095-1106.
- Yan, K., Shao, H., Shao, C., Chen, P., Zhao, S., Brestic, M. și Chen, X. (2013) „Physiological adaptive mechanisms of plants grown in saline soil and implications for sustainable saline agriculture in coastal zone”, *Acta Physiologiae Plantarum* 35(10) , pp. 2867-2878.
- Yang, S. și Lee, H. (2023) „Salinity-Triggered Responses in Plant Apical Meristems for Developmental Plasticity”, *International Journal of Molecular Sciences* 24(7) , p. 6647.
- Yilmaz, A., Yildirim, E., Yilmaz, H., Soydemir, H. E., Güler, E., Ciftci, V. și Yaman, M. (2023) „Use of Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Boosting Antioxidant Enzyme Metabolism and Mitigating Saline Stress in Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.)”, *Sustainability* 15(7) , p. 5982.
- Yolcu, M. S. și Yilmaz, A. (2025) „Biostimulant-driven enhancement of bioactive compounds in salt-stressed sweet basil (*Ocimum basilicum* L.)”, *South African Journal of Botany* 178 , pp. 318-329.
- Young, A. J. (1991) „The photoprotective role of carotenoids in higher plants”, *Physiologia Plantarum* 83(4) , pp. 702-708.
- Zhang, H., Wang, Y., Song, X., Yang, Y., Li, Y., Zhu, Z., Hou, J., Wang, W., Wu, J., Chen, G., Tang, X., Yuan, L. și Wang, C. (2025) „BcLhcb2.1, a Light-harvesting chlorophyll a/b-binding protein from Wucai, plays a positive regulatory role in the response to Abiotic Stress”, *Scientia Horticulturae* 339 , p. 113759.
- Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J.-K. și Shabala, S. (2020) „Mechanisms of Plant Responses and Adaptation to Soil Salinity”, *The Innovation* 1(1) , p. 100017.
- Zondo, S. N. N. și Mafa, M. S. (2025) „Peroxidase and β -1,3-glucanase synergistic functions strengthen plant cell wall and protect wheat against *Diuraphis noxia* infestation”, *Planta* 262(2) , p. 41.