

ACTIVITATEA RESPIRATORIE ÎN NODOZITĂȚILE UNOR SOIURI DE SOIA (*Glycine max* (L.) Merrill.) PE FONDAL DE DEFICIT HIDRIC

Bîrsan Ana^{1, *}, <https://orcid.org/0000-0003-1696-080X>

Iacubuță Maria², Guțu Costel², <https://orcid.org/0009-0005-2606-6002>

¹Universitatea de Stat din Moldova, ²IP Centrul Național de Cercetare și Producere a Semințelor, sectorul „Selecția”, Republica Moldova

*e-mail: ana.birsan@usm.md

Rezumat. Activitatea respiratorie a nodozităților și parametrii cantitativi de importanță fiziologică a unor soiuri de soia (numărul, biomasa proaspătă și uscată, conținutul de apă) au fost determinați la opt soiuri autohtone de *Glycine max*. S-a stabilit că menținerea activității respiratorii a rizobacteriilor din nodozități în condiții de deshidratare corelează pozitiv cu conținutul mai înalt de apă în celulele nodozităților, în timp ce intensitatea respirației în noduli depinde de activitatea rizobacteriilor și variază semnificativ și distinct la genotipurile cu productivitate și rezistență diferită la stresul hidric.

Cuvinte cheie: soia, nodozități, activitate respiratorie, senzori CO₂ și O₂.

RESPIRATORY ACTIVITY IN NODULS OF SOME SOYBEAN VARIETIES (*Glycine max* (L.) Merrill.) UNDER CONDITIONS OF HYDRIC DEFICIT

Summary. Respiratory activity of the nodules and quantitative parameters of physiological importance of some soybean varieties (number, fresh and dry biomass, water content) were determined in eight indigenous *Glycine max* varieties. It was established that the maintenance of respiratory activity of rhizobacteria in nodules under dehydration conditions positively correlates with higher water content in nodule cells, while the intensity of respiration in nodules depends on the activity of rhizobacteria and varies significantly and distinctly in genotypes with different productivity and resistance to water stress.

Keywords: soybean, noduls, respiratory activity, CO₂ and O₂ sensors.

Introducere

Soia se numără printre primele zece dintre cele mai cultivate culturi agricole, având un rol relevant în securitatea alimentară globală [7]. Interesul sporit față de soia și expansiunea suprafețelor cultivate se datorează nu numai conținutului înalt de proteine și lipide, acesta derivă și din valoarea nutrițională a componentelor din semințe/din masa vegetală, dar și din importanța agronomică și ecologică pe care o are această cultură agricolă în sechestrarea carbonului și azotului [15]. Studii atestă că randamentul soiei poate fi redus semnificativ în cazul expunerii la stres termic, stres hidric sau combinarea ambelor stresuri [19], soia fiind o cultură sensibilă la condițiile de cultivare [11]. Se raportează că deficitul de apă în sol limitează extinderea suprafețelor acestei culturi în centrul și sudul Europei [8]. Totuși, condițiile naturale de sol și climă, regimurile de căldură și lumină preponderent din zonele de centru și de nord ale Republicii Moldovei sunt favorabile pentru cultivarea soiei [10]. Datele statistice arată că în Republica Moldova, producția agricolă de soia atinge 38 mii tone în gospodăriile de toate categoriile, recolta anului 2023 față de anul 2022 caracterizându-se prin majorarea semnificativă a volumului cu 17,4%. Aceasta impune intensificarea eforturilor în identificarea și implementarea unor abordări noi, cu eficiență dovedită pentru îmbunătățirea și majorarea producției de soia.

Se știe că eficiența sistemului simbiotic depinde de o serie de factori interni (genotipul plantei, diversitatea speciilor și activitatea microorganismelor fixatoare de azot etc.) și externi (proprietățile solului, cantitatea de apă, condițiile de temperatură), iar schimbarea caracteristicilor oricăruia dintre acești factori duce la modificări substanțiale în metabolismul azotului, modulând caracteristicile agrocenozelor [16, 18, 20]. Pentru a face față carențelor nutritive și altor efecte adverse determinate de acțiunea directă sau indirectă a factorilor de mediu, leguminoasele formează asociații mutualiste cu rizobacteriile, care prin mecanisme complexe ce implică diverse procese fiziologo-biochimice și genetico-moleculare promovează creșterea plantelor [2, 5, 12]. Din aceste considerente, relația simbiotică dintre plante și bacteriile din sol, ce include genurile *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium*) [14] pe larg este exploatată nu numai pentru a mări productivitatea plantelor, dar și pentru a spori toleranța acestora la secetă, simbioza *Rhizobium* – leguminoase fiind cunoscută ca un sistem important în practicarea agriculturii ecologice durabile [11].

Este binecunoscut faptul că în cazul insuficienței de apă, sistemele biologice își pot schimba metabolismul [13], principalele mecanisme de rezistență implicând strategii de evitare și toleranță la stres, însă, în pofida importanței majore a acestei culturi agricole, mecanismele care guvernează alocarea carbonului și azotului în sistemul simbiotic și mecanismele de toleranță a soiei la secetă sunt în mare măsură necunoscute. În acest context, pentru a optimiza procesul de selecție, de rand cu abordările clasice, este necesară o înțelegere mai profundă a interacțiunilor ce se realizează la nivel metabolic [6], iar accentul ar trebui să se pună pe aplicarea tehnologiilor moderne, neinvazive, utile în investigarea proceselor biologice din organisme în raport cu relațiile de mediu.

Reieșind din cele menționate, scopul prezentei lucrări a constatat în investigarea metabolismului gazos, rezultat din activitatea respiratorie a nodozităților în condiții de deshidratare, la unele soiuri autohtone de soia, cu ajutorul senzorilor.

Materiale și metode

În prezentul studiu au fost incluse opt soiuri autohtone de soia, create de către Institutul de Cercetări pentru Culturile de Câmp „Selecția”. Cercetările s-au efectuat pe terenurile agricole ale Centrului Național de Cercetare și Producere a Semințelor, din or. Bălți, în lunile iunie-iulie, anul 2024. În calitate de martor pentru cercetările efectuate a servit soiul Aura, selectat pentru cultură în baza caracteristicilor de plasticitate, productivitate și alte caracteristici tehnologice, și solicitat în cultură de producătorii de soia din Moldova.

Activitatea respiratorie s-a determinat cu ajutorul Tehnologiilor PASCO pentru măsurarea concentrației de dioxid de carbon și de oxigen (într-un amestec de gaze). Modificările nivelurilor de gaze în nodulii s-au evaluat cu ajutorul senzorilor wireless de CO₂ gaz de model PS-3208, iar profilurile de concentrație a oxigenului au fost determinate, folosind senzorul sensibil de O₂ gaz, de model PS-3217. Senzorii utilizați permit achiziția de date experimentale în regim real și în regim autonom cu stocarea datelor în memoria proprie a senzorului.

Pentru investigații experimentale de emisie CO₂ și O₂, eșantioanele a câte 50 nodozități detașate de la rădăcinile plantelor, spălate și uscate cu hârtie de filtru, au fost plasate în interiorul accesoriului volumetric cu volumul de 1000 ml în care au fost introduși senzorii PASCO, vasul fiind închis etanș. Vasele au fost plasate la întuneric. Temperatura aerului și a solului a fost monitorizată cu ajutorul senzorului wireless de temperatură PS-3201 cu sondă din oțel inoxidabil.

Achiziția, prelucrarea, analiza și interpretarea datelor experimentale au fost realizate cu ajutorul SOFTului SPARKvue. Rata de eșantionare a fost aleasă de 1 Hz pentru diferite soiuri investigate în procesul de respirație cu afișarea grafică a datelor pentru o durată de 10 min.

Rezultate și discuții

Rizobiile sunt bacterii diazotrofe capabile să infecteze și să formeze, în caz de compatibilitate, noduli pe rădăcinile plantelor leguminoase gazdă. Formarea nodulilor este o condiție strict necesară asigurării eficienței catabolismului hidraților de carbon derivați din plante, care furnizează energia

necesară reducerii azotului atmosferic [5, 6, 7, 9]. Colonizarea plantelor de către bacteriile simbiote, formarea și menținerea activității eficiente a nodozităților depinde de o serie de factori, dintre care cei mai importanți sunt diversitatea, calitatea și cantitatea bacteriilor în sol, chimismul stabilit între planta-gazdă și bacterii, caracteristicile fizice și chimice ale solului, dar și condițiile climatice, temperatura și umiditatea fiind factori limitatori ce pot afecta formarea și funcționarea nodozităților în interacțiunea mutualistă [8]. S-a atestat că lipsa de carbon organic și de azot în rizosferă favorizează înființarea de populații endofite de rizobii simbiotice în nodulii rădăcinilor plantelor gazdă. Totodată, s-a demonstrat că temperatura ridicată și deficitul hidric sunt cauze majore ale eșecului nodulării, afectând toate etapele de stabilire a simbiozei și limitând creșterea și supraviețuirea rizobiilor în sol [4]. Actualmente, o bună parte a cercetărilor privind asociațiile simbiotice rizobii-leguminoase s-au axat pe procesele de nodulare, relativ mai puțină atenție a fost acordată aspectelor metabolismului acestora în condiții de deficit hidric.

Cercetările noastre tind să elucideze unele aspecte ale metabolismului gazos în condiții de stress abiotic și a fost realizat în a doua decadă a lunii iulie, perioada verii în care cu ajutorul senzorilor de temperatură, am atestat temperaturi extremale ale aerului de 43,4°C și de 37,8°C în stratul superior al solului. În condiții de câmp, s-a constatat că, fără administrarea preliminară a rizobacteriilor, toate plantele colectate randomizat, de pe diferite parcele, aveau formate pe rădăcini un număr mare de nodozități, printre acestea fiind observați atât noduli funcționali, cât și nefuncționali. Soiurile Enigma, Deia, Igorina, Albiflora au dezvoltat nodozități, în special, pe rădăcina principală, iar cultivarele Moldovița, Viorela și Flamura, atât pe rădăcina principală, cât și pe rădăcinile laterale, numărul de nodozități per plantă variind semnificativ în funcție de genotip. Numărul cel mai mic de nodozități/plantă a fost în jur de zece, însă la majoritatea plantelor s-au depistat în medie 20-30, iar unele soiuri au depășit numărul de 50 noduli/plantă. Comparativ cu martorul, un număr mai mare de nodozități s-a atestat la soiul Moldovița. De menționat totuși, că la acest soi, nodozitățile au avut cele mai mici dimensiuni. După indicele cercetat, soiurile Viorela și Albiflora s-au poziționat inferior, însă aproape de valorile soiului martor - Aura, iar cultivarele Flamura, Igorina și Enigma au dezvoltat un număr mai mic de nodozități, acestea fiind de dimensiuni mari. De menționat că, în condițiile climaterice ale verii anului 2024, la etapa de înflorire completă, numărul de nodozități a fost aproximativ de două ori mai mic comparativ cu martorul la soiurile Deia, Enigma și Igorina (Tab. 1).

Tabelul 1

Analiza parametrilor cantitativi de importanță fiziologică a nodozităților unor soiuri de soia

SOI	Număr de nodozități / 10 plante	Biomasa proaspătă (g)		Biomasa uscată (g)		Conținutul de apă (g) / g m.p.	
		50 nodozități	sumară / 10 plante	50 nodozități	sumară / 10 plante	50 nodozități	Total
Aura	214	1,2	2,5	0,3625	0,7686	0,6979	0,6925
Deia	109	1,3	1,8	0,3425	0,4814	0,7365	0,7325
Enigma	114	1,8	2,5	0,6025	0,8148	0,6652	0,6740
Viorela	184	0,7	1,7	0,1779	0,4377	0,7458	0,7425
Moldovița	278	0,8	1,4	0,2040	0,3701	0,7450	0,7356
Igorina	127	1,8	2,7	0,5479	0,8179	0,6956	0,6970
Flamura	143	0,8	1,4	0,1553	0,3116	0,8058	0,7774
Albiflora	189	1,0	2,6	0,3127	0,7572	0,6873	0,7087

Biomasa proaspătă a nodozităților a demonstrat valori mai mari la soiurile Igorina (cu cele mai voluminoase nodozități), urmat de soiul Albiflora, Enigma și Aura. Cele mai mici valori ale acestui parametru s-au atestat la soiurile Flamura și Moldovița. După cantitatea de biomasa uscată a

50 de nodozități, raportată la gram de masă proaspătă, două soiuri au depășit mărtoșul, soiul Enigma cu 10%, Albiflora - cu 3%, Igorina a arătat valori egale cu mărtoșul, iar biomasa uscată a fost mai mică față de mărtoș la soiurile: Deia (cu 24%), Moldovița și Viorela (17%), Flamura (37%). Conținutul de apă în nodozități a constituit circa 70-78%. Conținut sporit de apă s-a atestat la soiurile Flamura (78%), Viorela și Moldovița (74%), Deia (73%). Soiurile Igorina și Albiflora au avut un conținut de apă de circa 70 -71%, aproximativ egal cu soiul mărtoș Aura (69%), iar soiul Enigma s-a caracterizat prin cantitate redusă de apă în nodozități (67%).

Respirația nodulilor este deosebit de importantă pentru activitatea eficientă a sistemului simbiotic, atât prin energia pusă în libertate din oxidarea substanțelor organice, cât și prin producții intermediari și finali care se formează în rezultatul acestui proces fiziologic. În sistemul simbiotic, planta furnizează carbohidrați bacteriilor, care sunt folosiți ca sursă de energie proprie și pentru a stimula procesul de fixare a N_2 , în timp ce nodulii asigură plantele cu producții reduși ai azotului [14]. Reducerea enzimatică a azotului molecular este realizată de către bacterioizii activ funcționali. Se știe că, în condiții de secetă, aprovizionarea cu carbon din atmosferă și cu azot din sol este limitată, astfel procesele anabolice și procesele catabolice, responsabile de furnizarea de energie pentru realizarea funcțiilor vitale sunt constrânse. Deoarece majoritatea rizobiilor au temperatura optimă de creștere la 25–30°C, temperatura prea ridicată și prea scăzută în mediul rizosferei limitează formarea, activitatea, creșterea nodulilor leguminoaselor și competitivitatea rizobiilor, inhibând considerabil procesul simbiotic [8], în majoritatea cazurilor, microsimbiontul fiind cel mai afectat. Totuși, în condiții de stres, leguminoasele controlează și restricționează reacțiile de fixare a N_2 pentru a evita epuizarea rezervelor de carbohidrați sintetizați [3, 4].

Pentru a caracteriza activitatea respiratorie a soiurilor autohtone de soia în condiții de deshidratare, de la fiecare cultivar, un număr de 50 nodozități au fost spălate cu apă din robinet, uscate cu hârtie de filtru, masa proaspătă fiind determinată prin cântărire.

Nodozitățile au fost introduse în balonul pentru colectarea gazelor, care a fost imediat închis etanș. Modificarea nivelului de dioxid de carbon s-a determinat cu ajutorul senzorului de CO_2 , timp de 10 min, îndată după prepararea probelor, peste 1 oră, peste 8 ore și peste 30 ore, nodozitățile fiind supuse deshidratării la temperatura de 32°C. După cum era și de așteptat, intensitatea respirației în nodozități a fost mai mare în primele ore.

Cea mai intensă emisie de CO_2 s-a observat peste 1 oră, la majoritatea

genotipurilor luate în studiu intensitatea respirației fiind superioară mărtoșului (Fig.1). Peste 8 ore activitatea respiratorie a nodulilor redă un tablou similar primei ore, atestându-se valori nesemnificativ mai mici (*date ne reprezentate în articol*). Cel mai înalt nivel de dioxid de carbon produs s-a atestat la soiul Enigma, urmat de Deia, Igorina și Flamura, care au depășit mărtoșul de mai mult de 2 ori, iar cele mai mici valori și inferioare mărtoșului s-au atestat la soiul Moldovița.

În timp, activitatea respiratorie a rizobacteriilor scade. Astfel, după expunerea nodozităților la deshidratare, peste 30 de ore, la majoritatea genotipurilor emisiile de dioxid de carbon s-au redus drastic (de aproximativ 2 ori), valorile fiind totuși, superioare mărtoșului (Tab. 2).

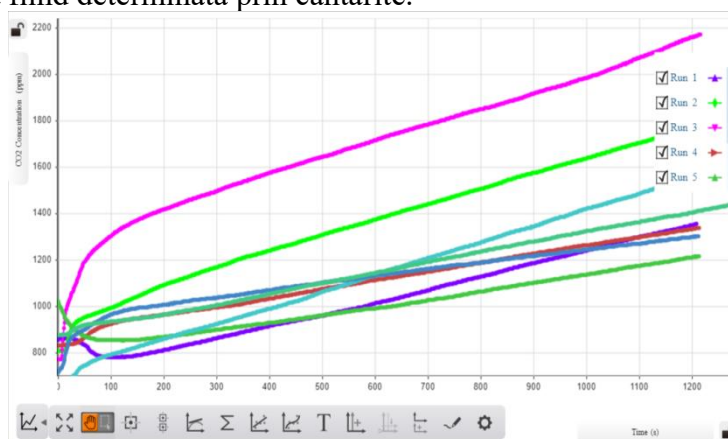


Figura 1. Evaluarea emisiei de dioxid de carbon cu ajutorul senzorilor de CO_2

Tabelul 2

Activitatea respiratorie a nodozităților unor soiuri de soia supuse deshidratării

SOI	Cantitatea de CO ₂ emisă (ppm)					
	timp de 10 minute		după 1 ore		după 30 ore	
	I	II	I	II	I	II
Aura	220	183,3	234,0	195,0	102,0	85,0
Deia	486	373,8	564,0	433,8	218,0	167,6
Enigma	318	176,6	946,0	525,5	264,0	146,6
Viorela	228	325,7	286,0	408,5	206,0	294,2
Moldovița	188	235,0	142,0	177,5	206,0	257,5
Igorina	402	223,3	490,0	272,2	182,0	101,1
Flamura	138	172,5	420,0	525,0	174,0	217,5
Albiflora	116	116,0	250,0	250,0	158,0	158,0

I - Cantitatea de CO₂ emisă timp de 10 minute raportată la numărul de nodozități

II - Cantitatea de CO₂ emisă timp de 10 minute raportată la gram de masă proaspătă

În condiții de deshidratare severă, același număr de nodozități (cincizeci) au produs cantități diferite de dioxid de carbon, cele mai înalte valori atestându-se la soiurile Enigma (cu aproximativ 2,5 ori mai mari în comparație cu martorul), Deia, Viorela și Moldovița (circa 2 ori). Efluxul de CO₂ raportat la gram de masă proaspătă arată însă, că cea mai intensă activitate respiratorie se realizează în nodulii soiurilor Viorela, Moldovița și Flamura, cantitatea emisă de CO₂ fiind de aproximativ 3 ori mai mare comparativ cu martorul. De menționat că, soiul Moldovița își menține activitatea respiratorie înaltă timp de 30 ore, efluxul de gaze fiind în creștere. Aceasta denotă faptul că în condiții de deshidratare, activitatea respiratorie a rizobacteriilor din nodozitățile acestor soiuri rămâne mai înaltă comparativ cu celelalte soiuri. Totodată, s-a observat că, deși soiul Enigma a relatat o activitate respiratorie foarte înaltă în prima oră, efluxul de CO₂ s-a redus de circa 5 ori peste 30 ore.

De menționat faptul că aprecierea concentrației de dioxid de carbon după 30 de ore (timp de 20 min), a demonstrat plafonarea emisiei de CO₂ la soiurile Moldovița și Viorela. Acest fenomen, probabil, este legat de epuizarea mai rapidă a rezervelor nutritive, biomasa nodozităților la aceste genotipuri fiind mai mică, conținutul existent de apă în nodozități fiind mai mare, dar și de eliminarea mai rapidă a apei din celule, nodozitățile acestor soiuri fiind la sfârșitul experimentului zbârcite și aproape uscate (Tab.1). Astfel, activitatea respiratorie a nodozităților este în strânsă dependență de conținutul de apă din nodozități. La etapa de înflorire completă, în condiții de deshidratare, activitatea respiratorie a rizobacteriilor din nodozități se menține mai înaltă la soiurile ce au o cantitate mai mare de apă în celule.

Rizobiile sunt organisme aerobe, având nevoie de oxigen pentru asigurarea metabolismului energetic propriu. Pe de altă parte, proteinele implicate în fixarea azotului molecular sunt sensibile la prezența oxigenului [12, 17, 18]. Se știe că, prin controlul strâns al aportului de oxigen și furnizarea de carbohidrați, ca surse de energie și donatori de electroni pentru fixarea N₂, leguminoasele promovează secreția de amoniac, necesar pentru sinteza proteinelor, aceasta fiind o caracteristică definitorie a simbiozelor rizobii-leguminoase [2, 13].

Pornind de la această idee, trei genotipuri de *Glycine max*: Aura, Deia și Enigma au fost luate în studiu pentru analiza schimbului gazos și determinarea coeficientului respirator (Q_r) la etapa de inițiere a formării păstailor. Coeficientul respirator ($Q_r = \text{CO}_2 / \text{O}_2$) depinde de natura chimică a substratului respirator, respectiv de gradul de oxidare a substratului. În experimentul dat,

cuantificarea nivelelor de gaze s-a efectuat în accesorii de sticlă, în care au fost introduși senzorii de CO₂ și de O₂, vasele fiind etanșate ermetic. S-a observat că, la etapa inițială a experimentului, nodozitățile tuturor soiurilor au produs o cantitate mică de CO₂. Nodozitățile soiului Deia au avut o permeabilitate scăzută față de oxigen, iar cea mai mare capacitate de consum a O₂ a fost caracteristică soiului Aura. Totuși, soiul Enigma demonstrează un metabolism gazos mai echilibrat.

Tabelul 3

Activitatea respiratorie a nodozităților unor soiuri de soia cu toleranță diferită la secetă supuse deshidratării (ppm/g m.p.)

SOI	Inițială (peste 10 min)			Peste 8 ore		
	Cantitatea de O ₂ consumat	Cantitatea de CO ₂ produs	Qr	Cantitatea de O ₂ consumat	Cantitatea de CO ₂ produs	Qr
Aura	1730	120	0,069	5116	1093	0,213
Deia	0	115	-	3320	875	0,263
Enigma	818	103	0,126	499	310	0,622

Menționăm că și peste 8 ore de expunere a nodozităților la deshidratare, schimbul gazos a fost mai intens în nodulii soiului Aura, urmat de soiul Deia și soiul Enigma. Soiul Aura a consumat cu 54% și corespunzător de 10 ori mai mult oxigen comparativ cu soiul Deia și Enigma și a emis mai mult cu 20% dioxid de carbon comparativ cu soiul Deia, emisiile de CO₂ fiind de 3 ori mai sporite la acest soi, decât la cultivarul Enigma. Similar etapei inițiale, coeficientul respirator a fost mai înalt în nodozitățile soiului Enigma.

Concluzii

Mentținerea activității respiratorii a rizobacteriilor din nodozități în condiții de deshidratare interferează pozitiv cu conținutul mai înalt de apă în celule, în timp ce intensitatea respirației în noduli depinde de activitatea rizobacteriilor.

Senzorii de CO₂ și O₂ reprezintă instrumente eficiente în cuantificarea nivelului de gaze și evaluarea intensității metabolismului gazos, nu numai în nodozități, dar și în alte organe ale plantelor.

Pentru elucidarea rolului nodozităților în rezistența leguminoaselor la secetă este necesară corelarea parametrilor cercetați cu parametrii de productivitate a soiurilor.

Referințe bibliografice

1. Chien, V.H., Dung, T.L., Abdelrahman, M. et al. Comparative transcriptome analysis of respiration-related genes in nodules of phosphate-deficient soybean (*Glycine max* cv. Williams 82). In: *Plant Stress*. Vol. 11. 2024, 100368.
2. Contador, C.A., Lo, S.K., Chan, S.H.J., Lam, H.M. Metabolic analyses of nitrogen fixation in the soybean microsymbiont *sinorhizobium fredii* using constraint-based modeling. *mSystems*. 2020. 18;5(1):e00516-19. doi: 10.1128/mSystems.00516-19. PMID: 32071157; PMCID: PMC7029217.
3. Gálvez, S., Hirsch, A.M., Wycoff, K.L. et al. Oxygen regulation of a nodule-located carbonic anhydrase in alfalfa. *Plant Physiol.* 2000. 124(3):1059-68. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667064X24000228>.
4. Hungria, M., Vargas, M.A.T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. Vol. 65, Issues 2–3, 2000. pp. 151-164.
5. Keyser, H., Li, F. Potential for increasing biological nitrogen fixation in soybean. In: *Plant and Soil*. 1992. pp 119-135.

6. Khan, A., Khan, V., Pandey, K., et al. Thermo-Priming Mediated Cellular Networks for Abiotic Stress Management in Plants. In: *Front Plant Sci.* 2022;13:866409. doi: 10.3389/fpls.2022.866409.
7. Ku, Y-S., Au-Yeung, W-K., Yung, Y-L., et al. Drought Stress and Tolerance in Soybean. In: J. Board (Ed.), *A Comprehensive Survey of International Soybean Research* InTech. Chapter 10. pp. 209-237.
8. Li, R., Chen, H., Yang, Z., Yuan, S., Zhou, X. Research status of soybean symbiosis nitrogen fixation. *Oil Crop Science*. Vol 5, Issue 1, March 2020, Pages 6-10.
9. Lindström, K., Mousavi, S.A. Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia First published: 2019 <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13517>.
10. Manual al bunelor practici de cultivare a soiei în Republica Moldova. Ediția a II-a (revăzută și completată) Chișinău. 2020. 53 p.
11. Ochieno, D.M., Karoney, E.M., Muge, E.K. et al. Rhizobium-Linked Nutritional and Phytochemical Changes Under Multitrophic Functional Contexts in Sustainable Food Systems *Front. Sustain. Food Syst.*, 11 January 2021 Sec. Crop Biology and Sustainability Volume 4 – 2020.
12. Rutten, P.J., Steel, H., Hood, G.A. et al. Multiple sensors provide spatiotemporal oxygen regulation of gene expression in a Rhizobium-legume symbiosis. In: *PLoS Genet.* 2021 Feb 4;17(2):e1009099.
13. Schulte, C.C.M., Borah, K., Wheatley, R.M. et al. Metabolic control of nitrogen fixation in rhizobium-legume symbioses. In: *Sci Adv.* 2021. 7(31):eabh2433.
14. Schwember, A. R., Schulze, J., Del Pozo, A., Cabeza, R. A. Regulation of Symbiotic Nitrogen Fixation in Legume Root Nodules. In: *Plants.* 2019.. 8(9): 333. doi: 10.3390/plants8090333.
15. Sulieman, S., Ha, C.V., L, D.T. et al. Comparative transcriptome analysis of respiration-related genes in nodules of phosphate-deficient soybean (*Glycine max* cv. Williams 82). In: *Plant stress.* 2024.11. 100368.
16. Takashi, S., Yoshihiro, K., Noritoshi F. et al. Effect of soil physical properties on soybean nodulation and N₂ fixation at the early growth stage in heavy soil field in Hachirougata Polder, Japan. In: *Soil Science and Plant Nutrition.* 2003. 49:5, 695-702, DOI: 10.1080/00380768.2003.10410327.
17. Takuji, O., Kikuo, K. Characteristics of nitrate respiration of isolated soybean bacteroids. In: *Soil Science and Plant Nutrition.* 1987. 33:1, 69-78, DOI: 10.1080/00380768.1987.10557553.
18. Testen, A.L., Rotondo, F., Mills, M.P., Horvat, M.M., Miller, S.A. Evaluation of agricultural byproducts and cover crops as anaerobic soil disinfestation carbon sources for managing a soilborne disease complex in high tunnel tomatoes. In: *Frontiers in Sustainable Food Systems.* 5. 2021. Article 645197.
19. Vogel, J., Liu, W., Olhoft, P. et al. Soybean yield formation physiology – a foundation for precision breeding based improvement. In: *Front. Plant Sci.* 2021.
20. Zhong, Y., Tian, J., Li, X., Liao, H. Cooperative interactions between nitrogen fixation and phosphorus nutrition in legumes. In: *New Phytologists.* 2023, vol. 237, Issue 3, pp. 734-745.