**CZU: 681.586:575.21:633.853.52(478)**

# UTILIZAREA TEHNOLOGIILOR AVANSATE ÎN FENOTIPAREA PLANTELOR ȘI STUDIUL UNOR PROCESE METABOLICE LA SOIURILE AUTOHTONE DE SOIA (*Glycine max* (L.) Merrill.)

# THE USE OF ADVANCED TECHNOLOGIES IN PLANT PHENOTYPING AND STUDY OF SOME METABOLIC PROCESSES IN NATIVE SOYBEAN VARIETIES (*Glycine max* (L.) Merrill.)

**Ana BÎRSAN**[1]
[1]Universitatea de Stat din Moldova
ORCID: 0000-0003-1696-080X
email: ana.birsan@usm.md

**Veaceslav SPRINCEAN**[1]
ORCID: 0000-0001-6719-7387
email: veaceslav.sprincean@usm.md

**Mariana SAVVA**[1]
ORCID: 0000-0003-0618-5360
email: marianna.savva@usm.md

**Ion GANEA**[2]
[2]Universitatea Tehnică a Moldovei
ORCID: 0000-0002-9346-2575

**Costel GUȚU**[3]
[3]Centrul Național de Cercetare și Producere a Semințelor
ORCID: 0009-0005-2606-6002

**Maria IACUBUȚĂ**[3]

**Florentin PALADI**[1]
ORCID: 0000-0001-8099-9413
email: florentin.paladi@usm.md

*Summary: Modern agriculture calls for the identification of efficient tools in plant phenotyping and the study of metabolic processes. $CO_2$ sensors have been shown to be effective in the study of the gaseous metabolism of plants, subjected to abiotic stress, at various stages of growth and development, being easier to use compared to classical chemical methods and providing more accurate data. The use of $CO_2$ sensors allowed the establishment of differences in the respiratory activity of rhizobacteria from the nodules of soybean varieties with different resistance to abiotic stress. Multispectral sensors provide data of real help in the phenotyping of agricultural crops, in establishing the physiological state of plants at different stages of development, but also in identifying field problems, demonstrating opportunities for their use in monitoring agricultural fields and improving the quality of agro-ecosystem services. Phenotyping with the help of hyper/multispectral imaging allows obtaining valuable, high precision scientific results with reference to plant health.*
*Key words: soybean, sensors, gaseous metabolism, plant phenotyping.*

**Introducere**

În agricultura modernă de precizie, dispozitive inteligente și semi-inteligente au fost utilizate pe scară largă pentru a monitoriza procesele de creștere și dezvoltare a plantelor, interacțiunea acestora cu mediul înconjurător, oferind informații cheie pentru optimizarea mediului de creștere a culturilor și combaterea stresului biotic și abiotic [1, 2, 6]. Dispozitive portabile fixează anumiți parametri ai culturilor agricole care permit evaluarea stării lor fiziologice și necesitățile plantelor crescute în diverse condiții de cultivare. Bunăoară, senzorii plasați pe diferite părți ale plantelor sau în mediul apropiat acestora extrag informații fiziologice, biofizice sau biochimice în timp real, într-un mod non-invaziv sau minim invaziv pentru a realiza monitorizarea la fața locului a stării de sănătate a culturilor [6, 7, 8].

Actualitatea cercetării derivă din necesitatea interconectării noilor cunoștințe din domeniul fiziologiei plantelor, ca baza științifică a agriculturii, cu tehnologiile avansate, din necesitatea selectării criteriilor de aplicare a acestora pentru a eficientiza creșterea și dezvoltarea plantelor și pentru a asigura obținerea producției agricole durabile. Scopul prezentei lucrări a constat în identificarea instrumentelor eficiente pentru fenotiparea și studiul proceselor metabolice la unele soiuri de soia, supuse stresului abiotic, la diverse etape de creștere și dezvoltare.

**Material și metode**

În studiu au fost incluse două soiuri autohtone de soia: Aura și Deia, create de către *Institutul de Cercetări pentru Culturile de Câmp „Selecția”*. Cercetările s-au efectuat în condiții de laborator și 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 şi alte caracteristici tehnologice și solicitat în cultură de producătorii de soia din Moldova. Fenotiparea plantelor în condiții de câmp s-a realizat cu ajutorul camerei multi-spectrale *Areal Mapping Camera MOPIR Survey 3*, care este disponibilă în 2 lentile și 6 opțiuni de filtru. Cuantificarea emisiei de $CO_2$ s-a efectuat cu ajutorul tehnologiilor *PASCO*. Achiziția, prelucrarea, analiza și interpretarea datelor experimentale au fost realizate cu ajutorul soft-ului *SPARKvue PWA*. 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**

Din punct de vedere climatic, condițiile anului 2024, în faza de înflorire deplină a soiei, au fost foarte severe (tab. 1). Este cunoscut că regimul termic ridicat și cel hidric foarte scăzut, în mod deosebit în perioada când plantele încep să-și formeze organele generative, influențează negativ asupra formării producției de boabe.

*Tabelul 1 Condițiile climatice stabilite în faza înfloririi depline la cultura soiei (2024, Bălți)*

| **Factorii climatici** | **Luna, decada** | | | **Abaterile ±, față de multianuală pe luni și decade** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Iunie III decadă** | **Iulie I decadă** | **Iulie II decadă** | **Iunie III decadă** | **Iulie I decadă** | **Iulie II decadă** |
| **Temperatura medie a aerului $C^0$** | 23,8 | 23,8 | 28,4 | +3,8 | +3,4 | +7,8 |
| **Multianuala** | 20,0 | 20,4 | 21,1 | | | |
| **Depunerile atmosferice, mm** | 2,0 | 17,2 | 6,0 | -19,0 | -2,8 | -14,0 |
| **Multianuala** | 21,0 | 20,0 | 20,0 | | | |

În cadrul cercetărilor noastre, spre deosebire de datele furnizate de stațiile hidro-meteo, datele obținute cu ajutorul senzorilor de temperatură pe câmpul experimental, au demonstrat că la adâncimea de 5-10 cm în stratul superior al solului se atestă temperaturi de 41,9$^0$C (foto.1), iar temperaturile aerului depășesc 43,4$^0$C, la sfârșitul lunii iulie (Foto 2).



**Foto 1. Monitorizarea temperaturii solului cu ajutorul senzorului wireless PS-3201 cu sondă din oțel inoxidabil**



**Foto 2. Aspectul câmpului experimental în condiții de stres termic**

Temperaturile supraoptimale în zona rizosferei plantelor, combinate cu nivelul redus de apă, au creat condiții nefavorabile pentru derularea proceselor metabolice din plante. Acestea s-au resimțit și la nivelul sistemului simbiotic plante-nodozități. Astfel, spre deosebire de alți ani, plantele au format nodozități de dimensiuni mai mici. S-a observat că soiul Aura dezvoltă nodozități atât pe rădăcina principală, cât și pe cea laterală, iar soiul Deia - în special, pe rădăcina principală.



**Foto 3. Nodozități formate pe rădăcina principală, soiul Deia**

Pentru determinarea activității respiratorii în nodozitățile soiurilor de soia cu diversă rezistență la stresul termic, s-a analizat dinamica producerii de dioxid de carbon de către rizobacteriile din nodozitățile detașate de la rădăcini, activitatea nodozităților detașate reflectând activitatea normală a acestora. De asemenea, la această etapă, în condiții de câmp și de laborator, a fost determinat și nivelul emisiei de dioxid de carbon a frunzelor etajului superior al plantelor de soia (frunza V), expuse ziua în condiții de câmp la temperaturi de peste 40$^0$C (Tab. 2). Datele tabelului 2 arată că, la etapa de finalizare a înfloritului, nodozitățile soiului Deia au avut o activitate respiratorie de circa 2 ori mai mare comparativ cu soiul Aura, menținând valori superioare a nivelului de dioxid de carbon și în condiții de deshidratare (peste 30 ore, la temperatura de 32$^0$C).

*Tabelul 2 Dinamica emisiei $CO_2$ de către nodozitățile rădăcinilor și frunzele etajului superior al plantelor unor soiuri de soia la etapa de înflorire deplină*

| Soi | **Cantitatea de $CO_2$** (ppm) /g masă proaspătă | | | | | | **Masa proaspătă (g) a** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Nodozitățile rădăcinilor** | | | | | **Frunze** | **50 de nodozități** | **frunzei a V** |
| | 10 min | 20 min | 1 ore | 6 ore | 30 ore | 10 min | Inițială | Inițială |
| **Aura** | 183 | 410 | 195 | 193 | 125 | 1411 | 1,2 | 1,2 |
| **Deia** | 373 | 974 | 433 | 340 | 226 | 286 | 1,3 | 1,7 |

Prin urmare, se poate presupune că procesele de fixare a azotului la plantele soiului Deia decurg mai activ, nodozitățile acestui soi continuând să-și mențină catabolismul mai intens și în condiții de deshidratare severă. La nivelul etajului superior, frunzele soiului Aura au produs o cantitate mai mare de $CO_2$ (Tab. 2), dând dovadă de activitate respiratorie mai înaltă. Deoarece fenotipurile plantelor joacă un rol important în rezistența plantelor și având în vedere că creșterea și dezvoltarea plantelor și răspunsurile acestora la stimuli externi sunt foarte subtile, pentru a înțelege mai bine procesele ce stau la baza creșterii și dezvoltării acestora și mecanismele de interacțiune cu mediul înconjurător, este necesară monitorizarea pe termen lung a fenotipurilor culturilor [6]. Imagistica optică este o metodă de monitorizare care utilizează senzori optici pentru a observa și analiza fenotipurile culturilor [3]. Unii cercetători au combinat imagistica cu fluorescența clorofilei și tehnologia imagistică multi-spectrală pentru a distinge particularitățile răspunsului la stres al culturilor (secetă, carența de nutrienți, patogeni), prin monitorizarea informațiilor fiziologice ale plantelor [3, 6]. Actualmente, diferiți parametri fiziologici și morfologici sunt achiziționați de diverși senzori, cum ar fi camere RGB, Lidar și camere multi- și hiperspectrale, pentru a servi drept suport decizional în managementul plantelor în timp real și a construi scenarii de viitor [4, 5]. Din aceste considerente, în scopul fenotipării plantelor și creării unei baze de date, camera multispectrală Survey 3 a fost utilizată pentru captarea imaginilor de reflectanță a luminii pe parcelele experimentale (foto 4, 5). Prelucrarea ulterioară a imaginilor cu softuri specializate va oferi amelioratorilor oportunități de evidențiere a particularităților genotipurilor în baza caracteristicilor spectrelor de reflectanță și identificarea caracteristicilor relevante pentru crearea de soiuri rezistente.



**Foto 4. Plante sănătoase**



**Foto 5. Plante afectate de temperaturi înalte și deficit hidric**

Specificăm că senzorii camerei multispectrale MAPIR pot fi atașați la drone și aceasta le permite agricultorilor să efectueze diverse activități agricole și să gestioneze eficient culturile, solul, fertilizarea, irigarea etc.

**Concluzii**

Tehnologiile avansate alături de metodele și procedeele tradiționale de colectare a datelor prin observație și analiză directă pe teren, sunt de un real ajutor, în special, pentru rezolvarea problemelor ce țin de monitorizarea plantelor și a terenurilor agricole pe întreaga perioadă de vegetație.

Senzorii multispectrali s-au arătat a fi eficienți în fenotiparea unor culturi agricole, în stabilirea stării fiziologice a plantelor la diferite faze de dezvoltare, dar și în identificarea unor probleme ale câmpului, demonstrând oportunități de utilizare a acestora în monitorizarea câmpurilor agricole și îmbunătățirea calității serviciilor agroecosistemice.

Fenotiparea cu ajutorul imagisticii hiper/multispectrale permite obținerea unor rezultate științifice valoroase, de precizie înaltă cu referire la sănătatea plantelor.

**Bibliografie:**

1. DOBRESCU, A., SCORZA, L. C. T., TSAFTARIS, S. A., MCCORMICK, A. J. A "Do-It-Yourself" phenotyping system: measuring growth and morphology throughout the diel cycle in rosette shaped plants. Plant Methods 13, 95, 2017. doi: 10.1186/s13007-017-0247-6

2. JOSÉ A. PADILLA-MEDINA, LUIS M. CONTRER AS-MEDINA, MIGUEL U. GAVILÁN, IISUS R. MILLAN-ALMARAZ, JUAN E. ALVARO Sensors in Precision Agriculture for the Monitoring of Plant Development and Improvement of Food Production //HindawiJournal of SensorsVolume 2019, Article ID 7138720, 2 pageshttps://doi.org/10.1155/2019/7138720

3. LI, Z., GUO, R., LI, M., CHEN, Y., LI, G. A review of computer vision technologies for plant phenotyping. Comput. Electron. Agric. 176, 105672, 2020. 10.1016/j.compag.2020.105672

4. LU, B. DAO, P.D.LIU, J., HE, Y., SHANG, J. Recent Advances of Hyperspectral Imaging Technology and Applications in Agriculture. Remote Sens. 2020, 12, 2659. https://doi.org/10.3390/rs12162659.

5. RIVERA, G., PORRAS, R., FLORENCIA, R., SÁNCHEZ-SOLÍS, J. P. LiDAR applications in precision agriculture for cultivating crops: a review of recent advances. Comput. Electron. Agric. 207, 107737, 2023. 10.1016/j.compag.2023.107737.

6. YAN,.B., ZHANG, F., WANG, M., ZHANG, Y., SANLING FU. Flexible wearable sensors for crop monitoring: a review //Front. Plant Sci.2024Sec. Sustainable and Intelligent Phytoprotection. Volume 15, 2024. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1406074

7. YIN, H., CAO, Y., MARELLI, B., ZENG, X., MASON, A. J., CAO, C. Soil sensors and plant wearables for smart and precision agriculture. Adv. Mater. 33, 2007764, 2021. doi: 10.1002/adma.202007764

8. ZHAO, F., HE, J., LI, X., BAI, Y., YING , Y., PING, J. Smart plant-wearable biosensor for in-situ pesticide analysis //Biosensors and Bioelectronics. Volume 170, 15 December 2020, 112636.