STUDIA UNIVERSITATIS MOLDAVIAE
Revista științifică a Universtității de Stat din Moldova, 2024, nr. 1(171)

CZU: 632.112:633/635 **https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_22**

ABORDĂRI METODOLOGICE ÎN STUDIUL STRESULUI HIDRIC LA PLANTE

Maria DUCA, Steliana CLAPCO, Ana MUTU, Rodica MARTEA,

Universitatea de Stat din Moldova

Seceta afectează semnificativ creșterea și dezvoltarea plantelor, având un impact negativ asupra productivității culturilor și, respectiv, asupra securității alimentare la nivel mondial. Pentru a prezice răspunsul culturilor agricole la încălzirea globală ulterioară și deficitul de apă și a elabora strategii eficiente de gestionare a riscurilor este nevoie să se înțeleagă, la diverse nivele de organizare, procesele care determină toleranța la mediile nefavorabile. În acest context este important de a folosi modele adecvate de inducere a stresului hidric și de evaluare a reacției de răspuns.

Lucrarea prezintă o descriere succintă a abordărilor metodologice utilizate în studiile stresului hidric la plante (experiențe de câmp, sere, laborator; modele experimentale cu utilizarea diferitor tipuri de substraturi; metode distincte de inducere a deficitului de apă), reflectă particularitățile, avantajele și limitările acestora și pune în evidență importanța combinării și adaptării metodelor de analiză în funcție de specia studiată, de mediu și de obiectivele cercetării.

Cuvinte-cheie: *stres de secetă, stres hidric, toleranță la secetă, plante, tehnici experimentale, polietilenglicol (PEG), regim de irigare.*

METHODOLOGICAL APPROACHES IN THE STUDY OF HYDRIC STRESS IN PLANTS

Drought significantly affects plant growth and development, having a negative impact on the productivity of crops and, respectively, on food security worldwide. To predict the response of agricultural crops to future global warming and water deficit and to develop effective risk management strategies, there is a need to understand, at various levels of organization, the processes that determine tolerance to adverse environments. In this context it is important to use appropriate models of hydric stress induction and response assessment.

The paper presents a brief description of the methodological approaches used in plant drought stress studies (field, greenhouse, laboratory experiments; experimental models using different types of substrates; distinct methods to induce water deficit), reflects their particularities, advantages and limitations and highlights the importance of combining and adapting methods of analysis according to the studied species, the environment and the research objectives.

Keywords: *drought stress, hydric stress, drought tolerance, plants, experimental techniques, polyethylene glycol (PEG), irrigation regime.*

Introducere

Creșterea concentrației gazelor cu efect de seră și a temperaturilor medii la nivel global, determinată de factori antropogeni, conduce la fenomene meteorologice extreme și secete din ce în ce mai severe. Acestea afectează semnificativ productivitatea culturilor agricole și securitatea alimentară la nivel mondial. În vederea diminuării impactului negativ al deficitului de apă asupra producției agricole se implementează diferite strategii, inclusiv crearea și introducerea în cultură a genotipurilor rezistente la secetă, gestionarea câmpurilor de irigare și utilizarea echipamentelor de irigare care economisesc apa [1]. Între timp, rezistența la secetă este o trăsătură complexă controlată de un număr mare de gene, rezultată din interacțiunea dintre diferiți constituenți de bază sau trăsături adaptive, fiecare dintre acestea putând fi supusă unor schimbări genetice și de mediu complexe. Prin urmare, dezvoltarea și evaluarea soiurilor de culturi tolerante la secetă și screening-ul pentru trăsăturile asociate cu rezistența la secetă sunt necesare pentru a diminua riscurile și a asigura o producție alimentară durabilă în scenariile climatice viitoare [2].

Pentru a prezice răspunsul plantelor de cultură la încălzirea globală ulterioară și deficitul de apă este nevoie să se înțeleagă, la diverse nivele de organizare, procesele care determină toleranța plantelor la mediile nefavorabile. Evaluarea reacției de răspuns a plantelor la stresul determinat de secetă reprezintă un

domeniu de cercetare vital, care oferă informații valoroase pentru dezvoltarea și implementarea practicilor agricole sustenabile și conservarea resurselor de apă, contribuie la eficientizarea programelor de ameliorare a plantelor.

Cercetătorii sunt focusați pe explorarea complexității răspunsurilor plantelor la condițiile de deficit de apă și acumularea de date despre adaptările fiziologice, moleculare și metabolice. Obiectivele specifice includ evaluarea performanței fiziologice a plantelor supuse stresului hidric, identificarea genelor și proteinelor implicate în mecanismele de apărare. Metodologiile de studiu a stresului hidric cuprind o varietate de abordări, începând de la experimente de teren, evaluări ale parametrilor morfo-anatomici, cercetări fiziologice, cum ar fi măsurarea ratei de transpirație, conținutului de apă în țesuturi etc., până la metode moderne de laborator, precum analizele genetico-moleculare și proteomice, inclusiv reacția de polimerizare în lanț în timp real, secvențierea ARN-ului.

Progresul în dezvoltarea germoplasmei rezistente la secetă depinde de eficiența metodelor de ameliorare și evaluare a trăsăturilor asociate cu toleranța la secetă, iar fenotiparea implică o definire precisă a mediilor țintă, gestionarea și caracterizarea stresului hidric [3].

Prezenta lucrare reflectă un șir de aspecte metodologice și tehnici utilizate în studiul stresului hidric și pune în evidență diverse modele de simulare a stresului hidric.

Tipul experiențelor de evaluare a toleranței la secetă.

Evaluarea reacției plantelor la stresul hidric poate fi realizată în:

- experiențe de laborator,
- condiții de seră cu regim termic și de irigare controlat, precum și
- condiții naturale de câmp.

Evaluarea reacției plantelor la secetă în condiții de laborator și sere

Ținând cont de faptul că analiza unui număr mare de genotipuri în câmp este dificilă din cauza proprietăților chimice și fizice ale solului și a fluctuațiilor sezoniere, inițial selecția genotipurilor rezistente la secetă se realizează printr-un screening la faza de laborator, urmat de evaluarea performanțelor agro-morfologice în sere sau câmp. Fenotiparea la faza de laborator poate economisi timp, spațiu și resurse și are un rol crucial în selecția genotipurilor pentru includerea în testele de teren care urmează să fie efectuate într-un anumit mediu [4].

Cultura de celule și țesuturi vegetale este un instrument util pentru studierea mecanismelor de toleranță la stres în condiții in vitro. Tehnicile in vitro permit discriminarea rapidă a unui număr mare de genotipuri pentru toleranța la stres. Un alt aspect important de luat în considerare este controlul parametrilor de mediu și nivelul de stres generat și omogenitatea acestuia, precum și replicabilitatea analizelor [5].

Între timp, în cadrul experiențelor realizate în seră, suprafața necesară este mult mai mare decât în cazul testelor de laborator, totodată sunt necesare sisteme de irigare.

Evaluarea reacției plantelor la secetă în condiții de câmp este esențială pentru înțelegerea modului în care acestea răspund la factorii complecși, eterogeni, prezenți în mediile de câmp. Efectuarea experiențelor de teren implică cultivarea plantelor în diverse medii naturale (câmpuri agricole, ecosisteme naturale sau terenuri experimentale) pentru a observa modul în care se dezvoltă și răspund la condițiile locale. Aceste experiențe includ variabile controlate, cum ar fi cantitatea de apă furnizată plantelor sau tipurile de sol utilizate însă și multe componente ale mediului care rămân variabile, reflectând astfel condițiile reale ale terenului.

În scopul evaluării comportamentului plantelor în condiții reale de teren în contextul stresului hidric sunt importante câteva aspecte:

- selectarea arealului de studiu, este important să se selecteze areale cu condiții endogene de mediu, care reflectă variabilele climatice și ale solului, unde urmează a fi cultivată cultura inclusă în studiu, pentru a obține date relevante și reprezentative;
- monitorizarea parametrilor cheie, esențiali pentru evaluarea răspunsului plantelor la stresul hidric. În acest context, este important să fie corect definită trăsătura dorită, deoarece termenul de „răspuns la secetă” are multiple semnificații și poate fi evaluat în baza diferitor însușiri [6]. Pentru a descrie răspunsurile plantelor

la stres în literatura de specialitate sunt utilizați diferiți termeni (ca ex. rezistență, toleranță, reziliență, supraviețuirea ș.a.), fiind necesar ca aceștia să fie formulați foarte clar în funcție de scopul studiului și specificul plantei [7].

De regulă, investigațiile axate pe identificarea toleranței la secetă la culturile de tipul grâului, florii-soarelui, porumbului etc. se concentrează pe evaluarea productivității sau trăsăturilor asociate cu productivitatea și, mai puțin, pe supraviețuirea acestora, întrucât în cazul unei rate înalte de supraviețuire a plantei tolerante la secetă nu este exclus să fie înregistrată o recoltă foarte redusă [8].

Unul dintre obiectivele majore ale cercetării agronomice constă în relevarea unor trăsături asociate cu productivitatea, care sunt ușor de măsurat la faze cât mai timpurii de dezvoltare a plantei, și permit selectarea genotipurilor cu cele mai bune performanțe pentru includerea în evaluările ulterioare și eficientizarea procesului de ameliorare la toleranță la secetă. În afară de evaluarea directă a randamentului printre trăsăturile evaluate în mod obișnuit se enumeră: supraviețuirea plantelor după stresul hidric și rehidratarea ulterioară, conductanța stomatelor, asimilarea carbonului, eficiența utilizării apei, eficiența transpirației, conținutul relativ de apă, conținutul de clorofilă, biomasa înainte de recoltare, greutatea plantei, înălțimea plantei, lungimea rădăcinii și timpul de înflorire [9].

- utilizarea tehnologiilor de monitorizare, tehnologii care pot fi folosite pentru a monitoriza schimbările în timp real ale plantelor și variațiile mediului în care cresc, cum ar fi senzorii, camerele de termoviziune, imagistică satelitară etc. Utilizarea senzorilor și a tehnologiilor de monitorizare poate oferi date precise și detaliate despre parametri precum umiditatea solului, temperatura aerului, lumina solară, absorbția de apă a plantelor și alte condiții în timp real relevante pentru studiul stresului hidric. Utilizarea imaginilor satelitare și a dronelor este esențială pentru a cartografia și monitoriza plantațiile și ecosistemele în diverse regiuni geografice identificând modele și tendințe în comportamentul plantelor la scară largă [10-12];

- analiza și interpretarea rezultatelor experimentale prin implicarea diferitor instrumente de analiză statistică (ex.: analiza regresiei, variației, analiza componentei principale, clusterizare, corelații etc.) reprezintă o etapă crucială în înțelegerea comportamentului plantelor sub diferite condiții de stres hidric sau alte condiții de mediu. În cadrul acestui proces trebuie să se ia în considerație și interacțiunile complexe dintre factorii de mediu, genetica plantelor, tendința și relațiile dintre diferite variabile;

- studiile comparative între diferite areale și condiții climatice care prevede compararea comportamentului plantelor în diferite medii și poate ajuta la înțelegerea modului în care acestea se adaptează și răspund la stresul hidric. Aceste studii pot evidenția variațiile genetice și ecologice în răspunsurile plantelor și pot oferi informații utile pentru gestionarea și conservarea ecosistemelor.

Modele de evaluare a stresului hidric pe diferite tipuri de substraturi

Deși metodele de studiu a stresului cauzat de secetă sunt foarte variate, unii autori [13] le clasifică în funcție de tipul de substrat după cum urmează:

- pe bază de sol (sau amestecuri cu nisip, turbă etc., precum și substraturi inerte, așa ca vermiculitul sau perlita, folosirea cărora permite colectarea cu ușurință și fără deteriorare a rădăcinilor plantelor supuse stresului [14]),
- medii apoase (hidroponică) și
- agarizate.

Mediile pe bază de sol. Avantajul evident al acestei strategii model este asemănarea strânsă a condițiilor experimentale cu seceta reală din natură și agricultură. În acest caz, scăderea potențialului de apă (Ψw) a solului se stabilește prin scăderea treptată sau întreruperea imediată a udării plantelor [15]. Cu toate acestea, dificultatea de a controla Ψw a substratul reprezintă o limitare esențială a acestei abordări. În această configurație experimentală, severitatea stresului cauzat de secetă este determinată de ratele de evaporare a apei de la suprafața solului și de consumul de către plantă, care nu pot fi definite de către cercetători și depind de mai mulți factori [13].

Medii apoase (hidroponică). Hidroponica este un instrument major de modelare științifică, facilitând controlul precis asupra tratamentului și observarea consecventă a efectelor tratamentului.

De regulă plantele sunt cultivate în tuburi/vase ce conțin soluții de substanțe nutritive, deficitul de apă

fiind creat prin utilizarea diferitor agenți osmolitici, cum ar fi NaCl, manitol, sorbitol sau polietilenglicol (PEG). Stresul hidric aplicat în medii lichide este mai controlat și mai omogen decât în sistemele bazate pe sol. Cu toate acestea, moleculele mici, cum ar fi manitolul, sunt ușor absorbite de rădăcini și pot afecta metabolismul plantelor și răspunsurile la secetă. Soluțiile de NaCl pot fi potrivite, în special, pentru studiile pe termen scurt al stresului. PEG crește vâscozitatea soluției și reduce furnizarea de oxigen către rădăcinile plantelor, fiind necesară oxigenarea suplimentară [16]. Inducerea stresului hidric în medii apoase se utilizează cu succes la floarea-soarelui [17], grâu, porumb [18], trestia de zahăr [19].

Mediile agarizate ce conțin PEG introdus prin difuzie, conform metodei descrise de van der Weele [20], au fost folosite în studiul stresului hidric la plantele de Arabidopsis thaliana [21], la Fragaria [22] etc. Totodată, deficitul de apă poate fi creat prin pregătirea agarului cu concentrație redusă de apă, ca ex. metoda bazată pe utilizarea agarului cu diferite concentrații a fost utilizată pentru a induce unele niveluri de stres la Stevia rebaudiana Bertoni. [23], cartof [24].

Gonzalez și coautorii [25] au relevat răspunsuri transcripționale distincte, în rădăcinile de Arabidopsis supuse stresului hidric prin uscarea substratului (vermiculit) și tratamente cu potențial scăzut de apă pe plăci de agar (și invers). În plus, am testat, de asemenea, o altă metodă prin scăderea potențialului de apă al mediului agarizat.

Avantajele și dezavantajele folosirii diferitor substraturi în experiențele de inducere a stresului hidric sunt generalizate în tabelul 1.

Metode de inducere a deficitului hidric

Deși metodele de studiu a stresului cauzat de secetă sunt foarte variate, o caracteristică comună a majorității acestora este reducerea potențialului de apă (Ψw) în substrat sau mediul de creștere, la nivelul sistemului radicular al plantelor. Metodele individuale au diferite limitări de aplicabilitate și variază, în mod esențial, în funcție de obiectivele cercetărilor și baza tehnico-materială disponibilă.

Inducerea stresului osmotic. Numeroase studii de laborator se bazează pe simularea secetei prin aplicarea stresului osmotic, adică creșterea presiunii osmotice medii în comparație cu cea a țesuturilor plantelor. Evenimente similare apar în sol atunci când conținutul de apă scade (datorită evaporării și absorbției de către plantă) și concentrațiile de substanțe dizolvate cresc, rezultând o componentă osmotică crescută a potențialului Ψw [26], ceea ce corespunde secetei naturale. Această abordare permite ajustarea Ψw și monitorizarea eficientă a nivelului său, cu o precizie ridicată și reproductibilitate a datelor. De obicei, Ψw de 0 până la -0,3 MPa sunt caracteristice pentru plantele bine udate, valorile sub -0,4 MPa corespund unui stres moderat de apă, în timp ce potențialele de -1,5 până la -2,0 MPa reprezintă un stres sever [27].

Tabelul 1. Avantajele și limitările metodelor de inducere a stresului hidric pe diferite tipuri de substrat [13].

Nr.	METODE	EFICIENȚĂ	
		avantaje	limitări
1.	pe bază de sol	Gradul înalt de similaritate cu seceta reală din natură. Posibilitatea controlului regimului de apă prin folosirea unor sisteme automate de irigare.	Dificultatea controlului potențialului apei (Ψw) din sol, severitatea stresului cauzat de secetă fiind determinată de ratele de evaporare a apei de la suprafața solului și de consumul de către plantă, care depind de mai mulți factori. Imposibilitatea analizei răspunsurilor la secetă pe termen lung (acumularea de metaboliți sau proteine osmoprotectoare, modificări ale peretelui celular etc.). Imposibilitatea reproducerii condițiilor de deshidratare severă. Reproductibilitatea și predictibilitatea redusă.

2.	medii apoase	Posibilitatea de a controla și a reduce ușor Ψw mediului de creștere prin expunerea parțială (sau totală, pe diferite perioade de timp) a rădăcinilor la aer sau prin adiționarea la soluțiile nutritive a substanțelor osmolitice.	În cazul expunerii la aer este nevoie de a se ține cont de faptul că gradul de deshidratare depinde în mare măsură de umiditatea aerului.
3.	medii agarizate	Creșterea plantelor pe medii agarizate permite evitarea sau reducerea cazurilor de apariție a stării de hipoxie. Datorită caracterului constant al Ψw, modelul de infuzie cu PEG pe mediul în bază de agar este mai avantajos în comparație cu cele bazate pe sol sau hidroponică.	Procedura laborioasă determinată de dificultatea în folosirea agentului osmotic polietilenglicol (PEG) direct în componența mediului, întrucât acesta afectează solidificarea agarului. Astfel, modificarea Ψw în mediile agarizate se realizează prin difuzarea PEG-ului dintr-o soluție concentrată pe suprafața mediului solidificat, urmată de decantarea soluției de PEG și transferul plantulelor pe mediul care conține osmolitul.

Consecințele stresului osmotic se manifestă prin inhibarea alungirii celulelor, închiderea stomatelor, reducerea activității fotosintetice, perturbări în absorbția apei și ionilor, translocarea substanțelor asimilate și modificări ale diferitelor procese metabolice, variate în funcție de speciile de plante, faza de dezvoltare, precum și durata și severitatea secetei [28].

Elementul cheie al modelelor date de studiu este selectarea unui agent osmotic adecvat, fiind analizate curbele doză-răspuns ale anumitor osmoliți. Pentru a stimula stresul osmotic în celula vegetală pot fi folosite substanțe cu masă moleculară mică și medie sau mare. Osmoliții cu masă moleculară mică pot fi ionici (de exemplu, NaCl, KCl) și neionici (manitol, sorbitol), aceștia exercită efecte secundare negative puternice asupra plantei, penetrând cu ușurință pereții celulari și membranele plasmatice, crescând presiunea osmotică intracelulară și ducând la plasmoliza [29]. Din categoria agenților osmotici cu masă moleculară mare se distinge polietilenglicolul – un polimer natural, solubil în apă, cu masă cuprinsă între 200-15000 Da, pentru inducerea secetei fiind utilizat, în special, PEG-6000.

Sărurile solubile în apă, cum ar fi clorura de sodiu (NaCl), folosite inclusiv pentru inducerea stresului salin, provoacă un stres dublu ce include o componentă osmotică și una de stres ionic, care modifică titrul și distribuția ionilor, afectează puterea ionică și declanșează procesul de transport ionic, exercitând, finalmente, un efect drastic asupra plantelor (afectează formarea clorofilei, reduce rata fotosintezei și transpirației). Imediat după expunerea la stres, componenta osmotică este principalul inductor al răspunsurilor la stres, declanșând închiderea stomatelor și inhibarea creșterii. După câteva zile sau săptămâni, ionii de Na^+ absorbiți de plante au efect toxic inhibând activitatea enzimatică și facilitând absorbția altor ioni toxici precum Li^+ și K^+ [30]. În afara de stresul osmotic și ionic mediile saline cauzează stresul oxidativ la plante, ceea ce duce la acumularea speciilor reactive de oxigen în celule și, ulterior, la deteriorarea membranele celulare, afectând funcțiile celulare esențiale. Plantele răspund la stres prin modularea diverselor trăsături morfo-fiziologice, anatomice și biochimice prin reglarea homeostaziei și a compartimentării ionilor, a mecanismelor antioxidante și a biosintezei osmoprotectorilor și a fitohormonilor [31].

Studiul efectului stresului osmotic indus de combinația dintre clorură de sodiu și PEG6000 asupra performanței ecofiziologice a două specii de fistic (Pistacio khinjuk și P. mutica) și la porumb a relevat o influență mai puțin pronunțată, comparativ cu aplicarea separată a agenților osmotici [32].

Sorbitolul și manitolului pot să se implice în metabolismul celular afectând direct rezultatele experimentului. Nivelurile ridicate de stres determinate de manitol și sorbitol declanșează răspunsuri transcripționale majore și efecte fenotipice ușor vizibile și măsurabile, cum ar fi etiolarea, modificarea formei frunzelor, inhibarea germinării, creșterii rădăcinilor și sunt, prin urmare, utilizate în majoritatea studiilor de stres [33].

Din această cauză, utilizarea osmoliților polimerici inerți biologic este preferabilă și avantajoasă. Prin urmare, în prezent, modelele de stres cauzat de secetă se bazează, preponderent, pe polietilenglicol (PEG) – un osmolit cu greutate moleculară mare, care nu penetrează peretele celular.

Polietilenglicolul este adăugat la mediul de cultură, substrat sau soluția de creștere a plantelor pentru a induce un potențial osmotic negativ, imitând condițiile de deficit de apă. PEG-ul nu reacţionează cu substanţele chimice sau compuşii biologici, nu pot fi absorbite de plante, nu este toxic, nu provoacă leziuni celulare sau fiziologice directe. Substanța dată poate modifica potențialul osmotic al mediului nutritiv într-un mod relativ controlat, diferite nivele de stres fiind ușor modelate prin varierea concentrației soluției de polimer. Totodată, acesta are proprietăți puternice de absorbție a apei și poate deshidrata celulele plantelor simulând stresul cauzat de secetă [34-36].

Utilizarea PEG-6000 este o metodă eficientă de inducere a stresului hidric controlat în plante, la diferite faze de dezvoltare (germinarea semințelor, faza de plantulă), în experiențe ce implică diferite tipuri de substrat – apă, soluții/medii nutritive, sol, nisip ș.a., fiind aplicată cu succes pentru a evalua răspunsurile fiziologice și moleculare la diferite specii de plante. Studii recente în domeniu au fost raportate cu referire la floarea-soarelui [37, 38], grâu [39, 40], orz [41], lucernă [42], cartof [43], tomate [44] etc.

Experimentele realizate în medii apoase pe bază de PEG permit configurarea experimentelor de recuperare (rehidratare) prin transferul plantelor stresate în soluție nutritivă fără PEG sau prin schimbul soluției [45]. Pe de altă, la aplicarea metodologiei date condițiile de mediu pot fi foarte diferite de condițiile reale din câmp. În plus, este practic imposibil de a evalua randamentul culturilor, experiențele în sere sau câmp rămânând a fi actuale. În aceste cazuri deficitul de apă se induce, în special, prin modificarea regimului de irigare.

Modificarea regimului de irigare (în câmp și sere)

Deficitul de apă este adesea indus printr-o irigare deficitară – întreruperea acesteia sau reducerea până la un anumit procent din capacitatea de apă a solului câmpului, cât și prin reducerea ratei de evapotranspirație [34].

Întreruperea irigării este cea mai simplă și ușor de aplicat metodă de evaluare a toleranței la stresul hidric. Metoda dată a fost aplicată, în experiențe realizate în seră, la plantele de plop în scopul investigării răspunsurilor fiziologice și transcriptomice [46]. La diverse soiuri de măslin din bazinul mediteraneean au fost evaluați un șir de indici ca conținutul de clorofilă, suprafața foliară a frunzelor, rata de asimilare, transpirația, conductanța stomatelor, eficiența fotosintetică, cinetica reacțiilor fotochimice etc., precum și indicatori ai stresului oxidativ, secetă moderată, fiind indusă prin întreruperea irigării după 14 zile, iar cea severă, prin absență totală a irigațiilor după 28-42 de zile [47].

Drept limitări de aplicare a metodei se remarcă dificultatea de a controla nivelul stresului, o multitudine de condiții variind în funcție de faza de dezvoltare a plantei, condițiile de creștere, materialul vegetal etc. În dependență de acestea variază și răspunsul plantelor, fapt ce creează impedimente la discriminarea germoplasmei după criteriul de toleranță la secetă [48]. Ca exemplu, întreruperea irigării la grâu, la faza de înflorire a condus la reducerea numărului de boabe și respectiv, a recoltei cerealelor, în timp ce impunerea stresului hidric în stadiul de formare (alungire) a paiului a determinat o reducere mai mare a înălțimii plantei [49].

De asemenea, la aplicarea metodei cercetătorii ar trebuie să ia în considerare faptul că oprirea completă a irigării cauzează uscarea rapidă și ar putea împiedica adaptarea plantei la noile condiții. Totodată, rata de evapotranspirație a unei culturi poate varia spațial și temporal, astfel încât o perioadă lungă de timp fără irigare nu implică neapărat un nivel mare de stres pentru cultură [50].

Udare la diferite niveluri de capacitate de câmp pentru apă. Capacitatea de câmp pentru apă (CC), se referă la conținutul de apă al solului sau al substratului plantei după ce a fost saturat cu apă și ulterior drenat până când scurgerea apei nu mai este semnificativă. Spre deosebire de metoda de întrerupere a alimentării cu apă, această abordare asigură că un anumit nivel de apă este disponibil pentru plantă. Capacitatea de câmp pentru apa utilizată pentru inducerea stresului hidric la plante variază în funcție de obiectivul și obiectul de studiu. Astfel, pentru a induce un stres sever la Solanacee, valorile CC variază de la 10 la 35%, în timp ce la stresul moderat acestea variază de la 40 la 75%. Totodată, nivelul de stres depinde și de durata expunerii [34].

Cu toate că abordările date se aplică cu succes la un șir de culturi importante, precum grâul [51], floarea-soarelui [52], ele prezintă un șir de dezavantaje și anume lipsa, în multe zone, a instalațiilor de irigare, deficiența în control, întrucât nivelul apei din sol și condițiile de mediu pot varia foarte mult, metoda fiind considerată instabilă și cu un grad redus de replicabilitate.

Evapotranspirația culturilor în condiții deficitare de apă reprezintă un studiu complex ce oferă informații atât cu referire al reacția plantelor, cât și o bază teoretică pentru dezvoltarea programelor regionale de irigare adecvate și reducerea pierderilor din cauza secetei agricole. Evapotranspirația (ET) este combinația dintre pierderea de apă prin evaporarea de la suprafața solului și transpirația culturilor. Acest concept include diferite definiții: evapotranspirația de referință (ET0), care este un parametru legat de puterea de evaporare a unui anumit mediu atmosferic, cu o suprafață de referință și fără restricții de apă, în timp ce evapotranspirația culturii (ETc) se referă la evapotranspirația unei anumite culturi, în condiții optime, într-un mediu atmosferic specific [34, 53].

Astfel, reducerea irigației la doar 20% din ETc la tomate, în condiții de câmp, a dus la reduceri semnificative ale suprafeței foliare și ratei de fotosinteză [54]. La aplicarea unor niveluri mai puțin restrictive, prin irigarea plantelor de tomate la 75% și 50% din ETc până la atingerea stadiului de început de coacere a fructelor, au descoperit că plantele irigate cu 75% ETc nu au fost foarte afectate, deși s-au observat reduceri semnificative de randament la plantele irigate cu 50% ETc [55]. Estimarea evapotranspirației porumbului în condiții de secetă a relevat faptul că un ușor deficit de apă în timpul etapei incipiente a creșterii vegetative poate stimula mecanismul homeostatic al porumbului și crește toleranța la stresul de secetă în perioadele ulterioare de creștere, pe când continuarea stresului la faza de alungire a culturii a determinat reducerea semnificativă a evapotranspirației, seceta exercitând o influență mai mare asupra etapelor mijlocii și ulterioare ale creșterii vegetative și reproductive [56].

Determinarea cerințelor ET ale unei culturi aflate sub stres hidric este complexă, iar utilizarea unui procent din ETc duce adesea la irigare excesivă sau insuficientă, în funcție de dacă ET0 este ridicat sau scăzut. Prin urmare, deși este o metodă practică în condiții de câmp, procentul utilizat într-un mediu poate avea un efect diferit asupra culturii atunci când este evaluat într-un alt mediu [34].

Limitarea aportului de apă în studiile realizate în ghivece

Limitarea aportului de apă în studiile realizate în ghivece se realizează în diverse moduri, printre care uscarea pasivă prin reținerea irigației [57], reducerea presiunii apei în interiorul tuburilor microporoase [58] sau atașarea unei pompe de vid la ghivece [59], reducerea cantității de apă disponibilă pentru plante prin evaporare controlată, fie prin absorbția apei cu ajutorul unor materiale absorbante. Metodele enunțate prezintă un șir de dezavantaje, precum rate rapide de uscare care nu imită în mod adecvat deficitele naturale de apă din sol, necesitatea implicării unor aparate și logistică complexă. Una dintre cele mai frecvent utilizate metode este uscarea la aer și cântărirea regulată a vaselor individuale, adăugând cantități precise de apă pentru a echilibra pierderile de apă din transpirație și pentru a stabili conținutul țintă de apă din sol. Această abordare simulează cu succes stresul de secetă și poate fi realizată manual, este o sarcină laborioasă și consumatoare de timp, în special pentru experimente mari ce includ un lot mare de plante [34, 60].

O metodă descrisă de Snow și Tingey [61] prevede utilizarea unor coloane solide cu permeabilitate scăzută la apă pentru a separa zona rădăcinii de o pânză freatică. Ulterior au fost propuse un șir de modificări ale sistemului Snow and Tingey, o modificare simplă și ieftină constând în folosirea blocurilor de spumă florală comercială ca mijloc pentru stabilirea deficitului de apă din sol al plantelor în ghivece [62]. O modificare recentă a metodei sistemului dat se bazează pe irigarea capilară, utilizată pentru a controla conținutul de apă din sol al plantelor în ghivece, care sunt plasate deasupra unei coloane testată prin măsurarea răspunsurilor fiziologice a unui subset de 11 specii de arbori/arbuști prezintă o multitudine de avantaje, precum – mai puțină întreținere și manipulare manuală în comparație cu alte metode cu deficit de apă, astfel încât poate fi utilizată pentru perioade lungi de timp și este relativ ieftin de implementat. Totodată, este posibil să se stabilească și să se mențină cu ușurință deficitele de apă din sol de diferite intensități și durate, precum și să se încorporeze factori de stres care interacționează [60].

Concluzii

Analiza literaturii de specialitate a pus în evidență importanța elaborării unui design experimental adecvat de inducere a stresului hidric, în funcție de obiectivele studiului și problema științifică de interes. Indiferent de metoda aleasă, este important să se monitorizeze cu atenție stresul indus pentru a evita deteriorarea ireversibilă a plantelor și pentru a interpreta corect rezultatele experimentului. De asemenea, trebuie să se ia în considerare că diferite specii de plante pot răspunde diferit la aceste modele de stres hidric. În acest context, diverse metode pot fi aplicate individual sau în combinație, pot fi propuse multiple modificări ale configurațiilor experimentale ale modelului de secetă, care permit monitorizarea diferitelor aspecte ale stărilor funcționale ale plantelor.

Aplicarea metodologiilor eficiente permit acumularea de date ce asigură înțelegerea mai profundă a modului în care plantele interacționează cu mediul înconjurător și cum pot fi gestionate pentru a face față stresului hidric și altor provocări climatice în context real. Aceste informații pot fi valoroase pentru dezvoltarea de practici agricole durabile și reziliente la schimbările climatice.

Evaluarea comportamentului plantelor în condiții reale de teren reprezintă o componentă esențială a cercetării agricole și a practicilor agricole sustenabile, contribuind la selectarea și introducerea în cultură a genotipurilor tolerante, îmbunătățirea utilizării resurselor limitate de apă. În timp ce experiențele controlate în condiții de laborator sau în sere pot fi mult mai utile pentru a înțelege mecanismele moleculare și fiziologice implicate în răspunsul plantelor la stresul hidric, sunt mult mai ușor și rapid de realizat, implică mai puține resurse și spațiu. Cel mai des aplicate la diverse specii de plante sunt modelele de stres indus cu PEG.

Referinţe:

1. MORISON, J. I. L., BAKER, N. R., MULLINEAUX, P. M., DAVIES, W. J. *Improving water use in crop production. In: Philos. Trans. R. Soc B.: Biol. Sci.* 2008, nr. 363(1491), p. 639–658. ISSN 0962-8436.
2. GAMBETTA, G. A., HERRERA, J. C., DAYER, S., FENG, Q., HOCHBERG, U., CASTELLARIN, S. D. *The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance.* In: *J. Exp. Bot.* 2020, nr. 71(16), p. 4658–4676. ISSN 1460-2431.
3. MONNEVEUX, P., JING, R., MISRA, S. C. *Phenotyping for drought adaptation in wheat using physiological traits.* In: *Front. Physiol*. 2012. DOI: 10.3389/fphys.2012.00429. ISSN 1664-042X.
4. MOSHELION, M., ALTMAN, A. *Current challenges and future perspectives of plant and agricultural biotechnology.* In: *Trends in Biotechnology*, 2015, nr. 33, p. 337–342. ISSN 0167-7799.
5. ANITHAKUMARI, A. M., DOLSTRA, O., VOSMAN, B. et al. *In vitro screening and QTL analysis for drought tolerance in diploid potato*. In: *Euphytica*, 2011, nr. 181, p. 357–369. ISSN 1573-5060.
6. PASSIOURA J. *Phenotyping for drought tolerance in grain crops: when is it useful to breeders?* In: *Functional Plant Biology,* 2012, nr. 39, p. 851–859. ISSN 1445-4408.
7. KHAYATNEZHAD, M., ZAEIFIZADEH, M., GHOLAMIN, R. *Investigation and Selection Index for Drought Stress.* In: *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2010, nr. 4(10), p. 4815-4822. ISSN 1991-8178.
8. GHANEM, M. E., MARROU, H., SINCLAIR, T. R. *Physiological phenotyping of plants for crop improvement.* In: *Trends in Plant Science*, 2015, nr. 20, p. 139–144. ISSN 1360-1385.
9. NEGIN, B., MOSHELION, M. *The advantages of functional phenotyping in pre-field screening for drought-tolerant crops.* In: *Funct Plant Biol.* 2016, nr. 44(1), p. 107-118. ISSN 1445-4408.
10. RAJAK, P., GANGULY, A., ADHIKARY, S., A BHATTACHARYA, S. *Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges*. In: *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023, vol. 14, 100776. ISSN 2666-1543.
11. QUEMADA, C., PÉREZ-ESCUDERO, J. M., GONZALO, R. et al. *Remote Sensing for Plant Water Content Monitoring: A Review.* In: *Remote Sens.* 2021, 13, 2088. https://doi.org/10.3390/rs13112088. ISSN 2072-4292.
12. DUFFY, J. P., ANDERSON, K., FAWCETT, D. et al. *Drones provide spatial and volumetric data to deliver new insights into microclimate modelling*. In: *Landscape Ecol*. 2021, nr. 36, p. 685–702. ISSN 1572-9761.
13. OSMOLOVSKAYA, N., SHUMILINA, J., KIM, A. et al. *Methodology of Drought Stress Research: Experimental Setup and Physiological Characterization.* In: *The International Journal of Molecular Sciences,* 2018. nr. 17;19(12):4089. DOI: 10.3390/ijms19124089. ISSN 1422-0067.

14. SEMINARIO, A., SONG, L., ZULET, A. et al. *Drought stress causes a reduction in the biosynthesis of ascorbic acid in soybean plants.* In: *Front in plant science*, 2017, nr. 15, 8:1042. ISSN 1664-462X.
15. TODAKA, D., ZHAO, Y., YOSHIDA, T. et al. *Temporal and spatial changes in gene expression, metabolite accumulation and phytohormone content in rice seedlings grown under drought stress conditions*. In: *The Plant Journal,* 2017, nr. 90, p. 61–78. ISSN 0960-7412.
16. SHAVRUKOV, YU., GENC, Y., HAYES, J. *The Use of Hydroponics in Abiotic Stress Tolerance Research, Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches, InTech*, 2012, p. 39-66. ISBN: 978-953-51-0386-8.
17. VASSILEVSKA-IVANOVA, R., SHTEREVA, L., KRAPTCHEV, B., KARCEVA, T. Response of sunflower (Helianthus annuus L) genotypes to PEG-mediated water stress. In: *Open Life Sciences*, 2014, vol. 9, no. 12, p. 1206-1214. ISSN 2391-5412.
18. TODOROVA, D., KATEROVA, Z., SHOPOVA, E. et al. *The Physiological Responses of Wheat and Maize Seedlings Grown under Water Deficit Are Modulated by Pre-Application of Auxin-Type Plant Growth Regulators*. In: *Plants,* 2022, 11, 3251. ISSN 2223-7747.
19. ARNEL J. O. R., CASAS, D. E., GANDIA, J. L. et al., *Polyethylene glycol-induced drought stress screening of selected Philippine high-yielding sugarcane varieties.* In: *Journal of Agriculture and Food Research,* 2023, Nr. 14, 100676, ISSN 2666-1543.
20. VAN DER WEELE, C. M., SPOLLEN, W. G., SHARP, R. E., BASKIN, T. I. *Growth of Arabidopsis thaliana seedlings under water deficit studied by control of water potential in nutrient-agar media.* In: *Journal of Experimental Botany,* 2000, vol. 51, nr. 350, p. 1555-1562. ISSN: 0022-0957.
21. QUACH, T. N., TRAN, L.-S. P., VALLIYODAN, B. et al. *Functional Analysis of Water Stress-Responsive Soybean GmNAC003 and GmNAC004 Transcription Factors in Lateral Root Development in Arabidopsis*. In: *PLoS ONE*, 2014, vol. 9, nr. 1: e84886. ISSN: 1932-6203.
22. CLAPA, D., HÂRȚA, M., *Effects of PEG 6000 stress on strawberry (Fragaria × Ananassa Duch.) In vitro propagation*. In: *Scientific Papers. Series B, Horticulture*, 2021, Vol. LXV, No. 1. ISSN 2285-5661.
23. LAHIJANIAN, S., ESKANDARI, M., AKHBARFAR, Gh. et al. *Morphological, physiological and antioxidant response of Stevia rebaudiana under in vitro agar induced drought stress.* In: *Journal of Agriculture and Food Research,* 2023, Vol. 11, 100495. ISSN 2666-1543.
24. GOPAL, J., IWAMA, K. & JITSUYAMA, Y. *Effect of water stress mediated through agar on in vitro growth of potato. In: In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant,* 2008, nr. 44, p. 221–228. ISSN 1475-2689.
25. GONZALEZ, S., SWIFT, J., YAARAN, A. et al. *Arabidopsis transcriptome responses to low water potential using high throughput plate assays.* In: *bioRxiv* 2022. https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2022.11.25.517922v3
26. HELLAL, F. A., EL-SHABRAWI, H. M., ABD EL-HADY, M. et. al., *Influence of PEG induced drought stress on molecular and biochemical constituents and seedling growth of Egyptian barley cultivars.* In: *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology,* 2018, nr. 16, p. 203–212. ISSN: 2090-5920.
27. HASWELL, E. S., VERSLUES, P. E. *The ongoing search for the molecular basis of plant osmosensing.* In: *The Journal of General Physiology,* 2015, nr. 145, p. 389–394. ISSN 1540-7748.
28. WANG, W., VINOCUR, B., ALTMAN, A. *Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance*. In: *Planta*, 2003, nr. 218, p. 1–14. ISSN: 0032-0935.
29. PANT, N. C., AGARRWAL, R., AGRAWAL, S. *Mannitol-induced drought stress on calli of Trigonellafoenum-graecum L. Var. RMt-303*. In: T*he Indian Journal of Experimental Biology*, 2014, nr. 52(11), p. 1128-1137. ISSN: 0019-5189.
30. DARKO, E., VÉGH, B., KHALIL, R. et al. *Metabolic responses of wheat seedlings to osmotic stress induced by various osmolytes under iso-osmotic conditions*. In: *PLoS One*, 2019, nr. 14(12):e0226151. ISSN 1932-6203.
31. ALHARBI, K., AL-OSAIMI, A. A., ALGHAMDI, B. A. S*odium Chloride (NaCl)-Induced Physiological Alteration and Oxidative Stress Generation in Pisum sativum (L.): A Toxicity Assessment*. In: *ACS Omega,* 2022, Nr. 7(24), p. 20819-20832. ISSN 2470-1343.

32. RANJBARFORDOEI, A., SAMSON, R., LEMEUR, R. et al. *Effects of Osmotic Drought Stress Induced by a Combination of NaCl and Polyethylene Glycol on Leaf Water Status, Photosynthetic Gas Exchange, and Water Use Efficiency of Pistacia khinjuk and P. mutica*. In: *Photosynthetica,* 2002, Nr. 40, p. 165–169. ISSN: 1573-9058.
33. CLAEYS, H., VAN LANDEGHEM, S., DUBOIS, M. et al. *What is stress dose-response effects in commonly used in vitro stress*. In: *Plant Phys*. 2014, Nr. 165, p. 519-527. ISSN 1532-2548.
34. FLORES-SAAVEDRA, M., PLAZAS, M., VILANOVA, S., PROHENS, J., GRAMAZIO, P. *Induction of water stress in major Solanum crops: A review on methodologies and their application for identifying drought tolerant materials.* In: *Sci Horticulturae*, 2023, vol. 318, nr. 112105. ISSN: 0304-4238.
35. QI, Y., MA, L., GHANI, M. I. et al. *Effects of Drought Stress Induced by Hypertonic Polyethylene Glycol (PEG-6000) on Passiflora edulis Sims Physiological Properties.* In: *Plants,* 2023, Nr. 12, 2296. ISSN 2223-7747.
36. SIAGA, E., MAHARIJAYA, A., RAHAYU, M. S. *Plant Growth of Eggplant (Solanum melongena L.) In Vitro in Drought Stress Polyethylene Glycol (PEG)*. In: *BIOVALENTIA Biol. Res. J.* 2016, nr. 2, p. 10–17. ISSN 2477-1392.
37. LEI, C., BAGAVATHIANNAN, M., WANG, H. et al. *Osmopriming with Polyethylene Glycol (PEG) for Abiotic Stress Tolerance in Germinating Crop Seeds: A Review.* In: *Agronomy,* 2021, nr. 11, 2194. ISSN 2073-4395.
38. PORT, A., CLAPCO, S., DUCA, M., BURCOVSCHI, I., JOIŢA-PĂCUREANU, M. *Accumulation of dehydrin transcripts correlates with tolerance to drought stress in sunflower.* In: *Romanian Agricultural Research,* 2023, nr. 40, p. 51-63. ISSN: 1222-4227.
39. ULLAH, S., ADEEL, M., ZAIN, M., RIZWAN, M., IRSHAD, M. K., JILANI, G., HAMEED, A., KHAN, A., ARSHAD, M., RAZA, A., BALUCH, M. A., RUI, Y. *Physiological and biochemical response of wheat (Triticum aestivum) to TiO_2 nanoparticles in phosphorous amended soil: A full life cycle study.* In: *Journal of Env. Management*, 2020, vol. 263, nr. 110365. ISSN: 0301-4797.
40. SAȘCO, E. *Screening of wheat genotypes response under drought controlled conditions*. In: *Advanced Biotechnologies – Achievements and Prospects Scientific International Symposium* (VIth Edition), 3-4 october, 2022, Chisinau. Chișinău: Editura USM, 2022, p. 223-225. ISBN 978-9975-159-81-4.
41. PETCU, E., VASILESC, L., PETCU, E., GRĂDIL, M., *Efectul secetei asupra unor caractere fiziologice implicate în realizarea producţiei la orzul de toamnă*. În: *AN. I.N.C.D.A. FUNDULEA*, 2020, vol. LXXXVI-II, p. 179-186. ISSN 2067–7758.
42. ZHANG, C., SHI, S. P*hysiological and Proteomic Responses of Contrasting Alfalfa (Medicago sativa L.) Varieties to PEG-Induced Osmotic Stress*. In: *Frontiers in Plant Science*, 2018, vol. 9, nr. 242. ISSN: 1664-462X.
43. LIU, Z., COULTER, J. A., LI, Y., ZHANG, X., MENG, J., ZHANG, J., LIU, Y. *Genome-wide identification and analysis of the Q-type C2H2 gene family in potato (Solanum tuberosum L.).* In: *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, vol. 153, p. 327-340. ISSN: 0141-8130.
44. SALTANOVICI, T., ANTOCI, L. *Evidenţierea genotipurilor de tomate rezistente la stresul hidric prin analiza grăuncioarelor de polen.* In: *Genetica, fiziologia şi ameliorarea plantelor:* conferinţă ştiinţifică internaţională , Ed. 6, 23-24 octombrie 2017, Chişinău. Chișinău: „Print-Caro” SRL, 2017, Ediția 6, pp. 68-71. ISBN 978-9975-56-463.
45. VERSLUES, P. E., AGARWAL, M., KATIYAR-AGARWAL, S. et al. *Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status*. In: *Plant J.* 2006, Nr. 45, p. 523–539. ISSN 2394-0530.
46. YANG, M., WANG, L., WANG, X., LI, Y., HUANG, H. *Transcriptomic Response to Drought Stress in Populus davidiana Dode.* In: *Forests*, 2023, vol. 14, nr. 1465. ISSN: 1999-4907.
47. RICO, E. I., DE LA FUENTE, G. C. M., MORILLAS, A. O., FERNÁNDEZ OCAÑA, A. M. *Physiological and biochemical study of the drought tolerance of 14 main olive cultivars in the Mediterranean basin*. In: *Photosynthesis Research,* 2024, vol. 159, p. 1-16. ISSN: 1573-5079.
48. PARKASH, V., SINGH, S. *A Review on Potential Plant-Based Water Stress Indicators for Vegetable Crops.* In: *Sustainability*, 2020, nr. 12, 3945. ISSN 2071-1050.

49. GUPTA, N., GUPTA, S., KUMAR A. *Effect of water stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield of wheat cultivars at different stages.* In: *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2001. Nr. 186, p. 55-62. ISSN: 0931-2250.
50. CHRISTOU, A., DALIAS, P., NEOCLEOUS, D. *Spatial and temporal variations in evapotranspiration and net water requirements of typical Mediterranean crops on the island of Cyprus.* In: *J Agric Sci,* 2017, nr. 155(8), p. 1311-1323. ISSN 1916-9760.
51. GHARIB, H. S., MELEHA M. E. *The Mutual Effect of Withholding Irrigation at Some Growth Stages and Potassium Fertilizer on Yield and Water Productivity of Wheat.* In: *J. Plant Production*, 2016, vol. 7(12), p. 1303 -1313, ISSN. 1735-8043.
52. ZHEN, Z. J. H., YI, L., YU, H. et al. *Drought resistance identification and drought resistance index screening of sunflower germplasm resources at seedling stage*. In: *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2021, 39:228238. ISSN 1000-7601.
53. PEREIRA, L. S., ALLEN, R. G., SMITH, M., RAES, D., *Crop evapotranspiration estimation with FAO56: past and future.* In: *Agric. Water Manag.*, 2015, Nr. 147, p. 4-20. ISSN: 1873-2283.
54. GALMÉS, J., OCHOGAVÍA, M., GAGO, J. et al. *Leaf responses to drought stress in Mediterranean accessions of Solanum lycopersicum: anatomical adaptations in relation to gas exchange parameters.* In: *Plant Cell Environ.,* 2013, nr. 36(5), pp. 920-935. ISSN 1365-3040.
55. TAKÁCS, S., PÉK, Z., CSÁNYI, D. et al. *Influence of Water Stress Levels on the Yield and Lycopene Content of Tomato*. In: *Water (Basel)*, 2020, nr. 12(8), p. 2165, ISSN 2073-4441.
56. YUAN, H., CUI, Y., NING, S. et al. *Estimation of maize evapotraspiration under drought stress - A case study of Huaibei Plain. PLoS One,* 2019, Nr. 14(11):e0223756. ISSN 1932-6203.
57. POORTER, H., FIORANI, F., STITT, M. et al. *The art of growing plants for experimental purposes: a practical guide for the plant biologist.* In: *Funct. Plant Biol.* 2012, Nr. 39(11), p. 821–838. ISSN 1445-4408.
58. STEINBERG, S. L., HENNINGER, D. L. *Response of the water status of soybean to changes in soil water potentials controlled by the water pressure in microporous tubes*. In: *Plant Cell Environ.* 1997, Nr. 20(12), p. 1506–1516. ISSN 1365-3040.
59. BUNCE, J. A., NASYROV, M. *A new method of applying a controlled soil water stress, and its effect on the growth of cotton and soybean seedlings at ambient and elevated carbon dioxide*. In: *Environ. Exp. Bot.* 2012, Nr. 77, p. 165–169. ISSN: 0098-8472.
60. MARCHIN, R. M., OSSOLA, A., LEISHMAN, M. R. *A Simple Method for Simulating Drought Effects on Plants.* In: *Frontiers in Plant Science,* 2020, Nr. 10. DOI=10.3389/fpls.2019.01715. ISSN=1664-462X.
61. SNOW, M. D., TINGEY, D. T. *Evaluation of a system for the imposition of plant water stress.* In: *Plant Physiol,* 1985, Nr. 77(3), p. 602–607. ISSN 1532-2548.
62. FERNÁNDEZ, R. J., REYNOLDS, J. F. P*otential growth and drought tolerance of eight desert grasses: lack of a trade-off?* In: *Oecologia,* 2000, Nr. 123(1), p. 90–98. ISSN 0029-8549.

Notă: *Studiul a fost realizat în cadrul Subprogramului „011101 Abordări genetice și biotehnologice de management al agroecosistemelor în condițiile schimbărilor climatice”, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova.*

Date despre autori:
Maria DUCA, academician, doctor habilitat în științe biologice, profesor universitar; cercetător științific principal, Centrul de Cercetări Științifice Genetică Funcțională, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0002-5855-5194
E-mail: mduca2000@yahoo.com

Steliana CLAPCO, doctor în științe biologice, conferențiar cercetător; șef Centrul de Cercetări Științifice Genetică Funcțională, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova.
ORCID: 0000-0001-7147-2740
E-mail: steliana.clapco@usm.md

Ana MUTU, doctor în științe biologice, cercetător științific superior, Centrul de Cercetări Științifice Genetică Funcțională, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0001-8603-142X
E-mail: ana.mutu@usm.md

Rodica MARTEA, doctor în științe biologice; cercetător științific superior, Centrul de Cercetări Științifice Genetică Funcțională, Universitatea de Stat din Moldova
ORCID: 0000-0002-1244-7147
E-mail: rodica.martea@gmail.com

Prezentat la 24.03.2024