

DOI: 10.55505/SA.2024.2.03
UDC: 633.15:631.811.9:581.1



ROLUL ZINCULUI ÎN PROCESELE DE CREȘTERE ȘI DEZVOLTARE A PLANTULELOR DE PORUMB EXPUSE ȘECETEI FIZIOLOGICE

Lilia BRÎNZĂ¹, ORCID: 0000-0003-1936-4376,
Olga DANILESCU^{2,3*}, ORCID: 0000-0001-9090-7164,
Ion BULHAC², ORCID: 0000-0002-2437-2875,
Boris NEDBALIUC¹, ORCID: 0000-0002-9116-4515

¹Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă” din Chișinău, Republica Moldova

²Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Republica Moldova

³Universitatea Tehnică a Moldovei, Republica Moldova

*Correspondență: Olga DANILESCU – e-mail: olga.danilescu@chim.utm.md

Abstract. The present work elucidated the effect of the new zinc coordination compound, with the formula $\{[Zn_3(HL)_2(H_2O)_6](SO_4)_2 \cdot 1.5dmf \cdot 2.5H_2O\}_n$ (CCZn) ($H_2L=2,6$ -diacetylpyridine bis(isonicotinoylhydrazone)), on the growth and development processes of seedlings of *Zea mays* L., the hybrid SY Ulises, exposed to physiological drought. The physiological drought was induced by adding the natural polymer polyethylene glycol (PEG₆₀₀₀) to the aqueous solutions. PEG₆₀₀₀ reduced the availability of water in the solutions and caused water stress to the seedlings. The experiments were carried out in laboratory conditions, and the research results showed that the CCZn has a positive effect in the early development of maize seedlings, both under favorable conditions and drought conditions. The significant physiologically beneficial influence of CCZn in the concentration range of 0.0001 – 0.01% was highlighted. In the early stages of seedling development, under moderate drought conditions, CCZn presents characteristics of a biologically active substance with anti-stress properties, evidenced by maintaining the growth and biomass accumulation of *Zea mays* L. plants at a significantly higher level than in the „control plant” variant.

Keywords: *Maize; Physiological drought; Seed treatment, Zinc compounds; Growth.*

Rezumat. În lucrare a fost elucidat efectul compusului coordinativ nou al zincului, cu formula $\{[Zn_3(HL)_2(H_2O)_6](SO_4)_2 \cdot 1.5dmf \cdot 2.5H_2O\}_n$ (CCZn) ($H_2L=2,6$ -diacetilpiridină bis(izonicotinoilhidrazonă)), asupra proceselor de creștere și dezvoltare a plantulelor de *Zea mays* L., hibridul SY Ulises, expuse secetei fiziologice. Seceta fiziologică a fost indusă prin adăugarea în soluțiile apoase a polimerului natural polietilenglicol (PEG6000). PEG6000-ul a redus disponibilitatea apei în soluții și a provocat plantulelor un stres hidric. Experimentele au fost realizate în condiții de laborator, iar rezultatele cercetării au demonstrat că CCZn are un efect pozitiv în fazele incipiente ale dezvoltării plantulelor de porumb, atât în condiții favorabile, cât și în condiții de secetă. S-a evidențiat influența fiziologică semnificativă benefică a CCZn în intervalul de concentrații de 0,0001 – 0,01%. În fazele incipiente ale dezvoltării plantulelor, în condiții de secetă moderată, CCZn prezintă caracteristici de substanță biologic activă cu proprietăți antistres, evidențiate prin menținerea creșterii și acumulării biomasei plantelor de *Zea mays* L. la un nivel semnificativ mai ridicat decât în varianta „plante martor”.

Cuvinte-cheie: *Porumb; Secetă fiziologică; Tratarea semințelor; Compuși ai zincului; Creștere.*

INTRODUCERE

Problemele de mediu sunt actuale, complexe și generează consecințe grave. Ca rezultat al schimbărilor climatice pe Terra, unul dintre factorii meteo nefavorabili și prioritari care apar frecvent în perioadele de vegetație a plantelor este seceta. Reducerea umidității solului cauzată de lipsa severă a precipitațiilor, însoțită de temperaturi și radiații solare ridicate, favorizează o scădere considerabilă a productivității plantelor și, în unele cazuri, pierderea integrală a recoltei.

În Republica Moldova, acest fenomen se extinde în fiecare an pe suprafețe tot mai mari, provocând daune considerabile economiei naționale și având un impact semnificativ asupra sănătății și bunăstării umane. În ultimele două decenii, secetele au devenit mai frecvente și mai intense. Meteorologii prognozează pentru următoarele perioade o creștere a duratei și severității secetelor atmosferice și pedologice. Astfel, oamenii de știință sunt în căutarea unor noi strategii de ameliorare a stării plantelor în condiții de deficit de umiditate a solului. O metodă importantă este utilizarea substanțelor fiziologic active (SFA), care au efecte asupra modificării diferitelor procese metabolice și reglării creșterii și dezvoltării plantelor (Ștefîrță et al., 2023). Printre aceste substanțe se află compușii coordinați biologic activi pe bază de metale, care au rol de micro-/macroelemente. Avantajul utilizării acestor complecși constă în administrarea lor în concentrații foarte mici, fără riscuri de poluare a mediului înconjurător și fără efecte negative asupra calității producției agricole.

Din literatura de specialitate se cunoaște că zincul reglează creșterea plantelor, favorizează formarea aminoacidului triptofan și majorează conținutul de auxine și gibbereline (Alloway, 2008; Cakmak, 2008). Prezența acestui microelement joacă un rol primordial și în procesele de dezvoltare a zigotului și embrionului. Influența fiziologică a zincului în creșterea și dezvoltarea plantelor de cultură este strâns legată de contribuția sa în schimbul azotului. Deficitul de zinc conduce de obicei la acumularea de amine și aminoacizi, perturbând în același timp sinteza proteinelor. Zincul îmbunătățește sinteza zaharurilor și amidonului, reglează conținutul de carbohidrați, substanțe proteice, acid ascorbic și clorofilă și sporește biomasa uscată, având, de asemenea, capacitatea de a crește rezistența plantelor la temperaturi extreme.

Zincul este un oligoelement esențial în creșterea și dezvoltarea optimă a plantelor, având o influență sporită asupra proceselor redox din organismul vegetal. Este implicat în sinteza hormonului de creștere (auxinei), în formarea ATP-ului, clorofilei, în diviziunea celulară și formarea mitocondriilor. Zincul joacă, de asemenea, un rol important în nutriția minerală a plantei, accelerează biosinteza proteinelor, crește conținutul de acid ascorbic și acționează ca o componentă a 40 de enzime respiratorii. Acesta sporește masa substanței uscate, crește permeabilitatea membranei celulare, accelerează ritmul de creștere și dezvoltare, îmbunătățește procesele din organele de reproducere (în timpul fertilizării), sporește rezistența plantelor la boli, secetă și la temperaturi sub- și supraoptimale (Alloway, 2008; Chen et al., 2017; Hareb et al., 2022). Acest element nutritiv are un efect pozitiv asupra formării știuleților de porumb, crescând numărul acestora și ajutând planta să lupte cu condițiile de mediu nefavorabile (Burzo et al., 1999; Vazin, 2012).

În plantă, zincul reglează biosinteza vitaminelor, metabolismul proteinelor, carbohidraților și al nutrienților (Alloway, 2008; Cakmak, 2008). Acest element nutritiv influențează semnificativ metabolismul carbohidraților prin efectele sale asupra fotosintezei și transformării zaharurilor (Potarzycki et al., 2009). Zincul favorizează, de asemenea, absorbția cuprului, borului și reduce nivelurile de fier, potasiu, mangan, plumb și cadmiu din sol, reglează metabolismul fosforului. O cantitate insuficientă de zinc este adesea observată pe solurile carbonate neutre și ușor alcaline, iar pe solurile cu un pH acid, aplicarea suplimentară poate fi nepractică.

Insuficiența de zinc în sol este unul dintre cele mai frecvente fenomene întâlnite la plantele agricole. Acest deficit afectează permeabilitatea membranei celulare, reducând rezistența plantelor la boli și determinând scăderea indicatorilor cantitativi de producție, ceea ce poate duce chiar la moartea culturilor. Așadar, aprovizionarea insuficientă cu zinc are un impact semnificativ asupra randamentului culturilor (Brînză et al., 2023). În cazul în care primăvara există o deficiență de zinc, mugurii plantelor fructifere înfloresc slab, creșterea frunzelor tinere încetinește, se afectează rozetele și se formează frunze mici. De asemenea, se produce deformarea frunzelor (asimetria frunzei cu margini ondulate), iar culoarea acestora devine galben-verzuie. Plantele dezvoltă o statură mică, iar creșterea apicală este întârziată. Pot apărea și diverse cloroze ale frunzelor (pe vârfuri se formează pete mici maronii, iar frunzele se ondulează). Cele mai sensibile culturi la carența de zinc sunt: cartoful, hrișca, sfecla, trifoiul, porumbul, orezul și inul.

Corectarea și prevenirea insuficienței de zinc se poate realiza prin utilizarea fertilizanților care conțin zinc aplicat înainte de semănat. Totuși, nutriția excesivă cu zinc poate duce la apariția unor modificări negative, cum ar fi formarea de pete albe de lichid pe partea inferioară a frunzelor, iar suprafața acestora devine neuniformă. În timp, frunzele pot cădea.

Sulfatul de zinc ($ZnSO_4$) este în prezent cel mai utilizat îngrășământ datorită solubilității sale ridicate și a costului redus. Totuși, eficiența acestuia în furnizarea zincului către plante este foarte limitată (Amer et al., 1980; Srivastava et al., 2009; Recena et al., 2021). Această limitare se datorează reacțiilor zincului în sol, care limitează disponibilitatea acestuia pentru plante, precum și unei difuzii restrânse a acestui element nutritiv în anumite tipuri de sol (Zhao et al., 2014; Joy et al., 2015).

Pentru cercetările ulterioare, a fost ales compusul coordinativ al $Zn(II)$ datorită compoziției sale chimice avantajoase, incluzând un conținut ridicat de zinc și azot (Figura 1), o solubilitate crescută în apă și alte proprietăți favorabile. Acest compus prezintă un potențial important în stimularea creșterii și dezvoltării plantulelor de porumb, în special în condiții de umiditate suboptimală.

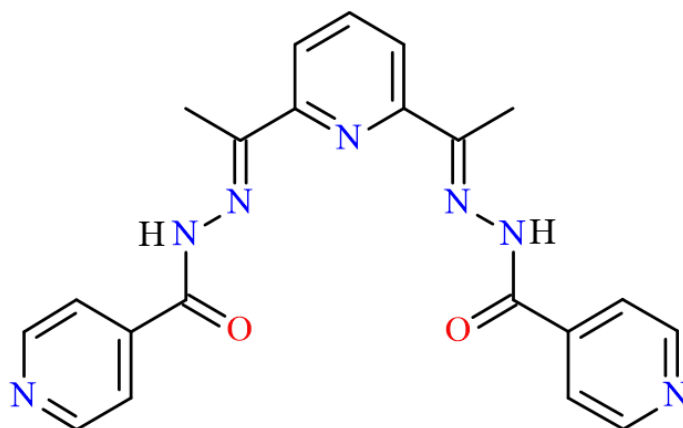


Figura 1. Formula de structură a agentului de coordinare 2,6-diacetilpiridin-bis(izonicotinoilhidrazonă).

Scopul cercetărilor a fost de a studia acțiunea unui compus coordinativ nou al zincului, cu formula chimică $\{[Zn_3(HL)_2(H_2O)_6](SO_4)_2 \cdot 1,5dmf \cdot 2,5H_2O\}_n$ (CCZn) ($H_2L=2,6$ -diacetylpiridin-bis (izonicotinoilhidrazonă) (Mazza et al., 1992), asupra proceselor de creștere și dezvoltare a plantulelor de *Zea mays* L., hibridul Ulises, în condiții de secetă fiziologică. În acest studiu ne-am propus să determinăm dacă CCZn posedă proprietăți de substanță fiziologică activă și să analizăm modul în care acesta afectează procesele de creștere și dezvoltare a plantulelor de *Zea mays* L.

În cadrul cercetărilor recente, s-a demonstrat că CCZn posedă un efect bacteriolic/bacteriostatic pronunțat, în funcție de concentrație, precum și activitate antiproliferativă împotriva celulelor canceroase de sân (MCF-7). În plus, s-a constatat o biocompatibilitate ridicată cu fibroblastele umane (Danilescu et al., 2024).

MATERIALE ȘI METODE

Compusul coordinativ testat, cu formula chimică $\{[Zn_3(HL)_2(H_2O)_6](SO_4)_2 \cdot 1,5dmf \cdot 2,5H_2O\}_n$ (CCZn), a fost sintetizat și analizat în Laboratorul de Chimie Coordinativă al Institutului de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova.

Experiențele de testare au fost montate în cadrul Laboratorului de Genetică, Fiziologie și Biochimie a Plantelor al Institutului de Cercetare, Inovare și Transfer Tehnologic al Universității Pedagogice de Stat „Ion Creangă” din Chișinău. În calitate de obiecte de studiu au servit plantule de *Zea mays* L., hibridul SY Ulises, crescute în experiențe de laborator.

Porumbul SY Ulises este un hibrid semitimpuriu, cu o perioadă de vegetație de 120-130 zile. Acest hibrid se remarcă prin producții bune în condiții de stres termic și hidric. Hibridul SY Ulises a fost omologat în Republica Moldova și inclus în „Catalogul soiurilor de plante pentru anul 2017” (Machidon et al., 2017).

În cadrul experiențelor a fost luat un singur hibrid de porumb, deoarece scopul cercetărilor a constat în elucidarea efectului compusului coordinativ al zincului asupra plantulelor de porumb, precum și de a stabili dacă acest compus posedă proprietăți de substanță fiziologic activă. Datele prezentate în tabele reprezintă media valorilor absolute din cele trei serii de experiențe.

În perioada martie-mai 2023 s-au realizat trei seturi de experiențe. În fiecare serie de experiențe, plantulele au fost cultivate în pahare cu capacitatea de 200 ml, în trei repetiții biologice pentru fiecare variantă. În fiecare pahar s-au dezvoltat câte 10 plantule de porumb. Plantulele au fost crescute în camera de cultivare, în condiții controlate de iluminare, temperatură și umiditate a aerului. Faza de lumină a constituit 14 ore, urmată de o fază de întuneric de 10 ore. Temperatura aerului a constituit 23-25°C, iar umiditatea aerului 65-70%.

Seceta este un fenomen în care apa din sol este insuficientă pentru plante, ceea ce perturbă procesele fiziologice normale ale acestora, precum fotosinteza, creșterea și dezvoltarea. Aceasta poate fi cauzată de lipsa precipitațiilor sau de dificultăți în absorbția apei din sol.

Seceta fiziologică la plante este un tip de stres hidric care nu este cauzat de o lipsă absolută a apei în sol (substrat), ci de incapacitatea plantei de a utiliza apa disponibilă din diverse motive fiziologice sau structurale. Aceasta se poate întâmpla chiar și atunci când substratul conține apă suficientă, dar plantele (plantulele) nu pot să o absoarbă sau să o transporte eficient din cauza unor factori interni sau externi, care afectează funcțiile lor biologice. În experiențele realizate, seceta fiziologică a fost indusă de substanța osmotică – PEG₆₀₀₀.

Tehnicile de investigare a stresului provocat de secetă sunt diverse, iar evaluarea acestuia poate fi efectuată pe diferite tipuri de substraturi, inclusiv pe cele apoase. Deficitul de apă poate fi indus prin utilizarea unor agenți osmolitici, cum ar fi clorura de sodiu, manitolul, sorbitolul sau PEG-ul. Acești agenți osmotici reduc potențialul apei în substrat, la nivelul rădăcinilor plantelor (Duca et al., 2024).

Pentru inducerea secetei, PEG₆₀₀₀ este utilizat cel mai frecvent, având capacitatea de a crește vâscozitatea soluției și, astfel, de a reduce absorbția apei de către rădăcinile plantelor. Acest polimer natural, cu masă cuprinsă între 200-15000 daltoni, este utilizat

frecvent datorită proprietății sale de a modifica osmotic mediul, fără a fi toxic și fără a fi absorbit de către plante. PEG₆₀₀₀ nu interacționează cu compușii chimici prezenți în soluții, însă poate modifica potențialul osmotic al mediului apos într-un mod controlat, permițând ajustarea nivelurilor de stres prin schimbarea concentrației soluției de polimer. Utilizarea PEG₆₀₀₀ reprezintă o metodă eficientă pentru inducerea stresului hidric controlat în plante, la diferite etape de dezvoltare, inclusiv la etapele inițiale ale ontogenezei (Duca et al, 2024).

În cadrul acestor experiențe s-au rezolvat următoarele sarcini: - identificarea concentrației fiziologic optime a soluției CCZn asupra germinării semințelor și dezvoltării plantulelor la etapele inițiale ale ontogenezei, precum și evaluarea efectului acestui compus asupra creșterii și dezvoltării plantulelor expuse secetei induse de PEG₆₀₀₀.

Pentru testarea efectului complexului CCZn asupra creșterii plantulelor de *Zea mays* L. la etapele inițiale ale ontogenezei, precum și identificarea concentrației optime, au fost montate experiențe de laborator, ce au inclus următoarele variante:

1. Martor, plantule crescute din semințe tratate cu apă;
2. Plantule crescute din semințe tratate cu soluție apoasă de CCZn (0,1%);
3. Plantule crescute din semințe tratate cu soluție apoasă de CCZn (0,01%);
4. Plantule crescute din semințe tratate cu soluție apoasă de CCZn (0,005%);
5. Plantule crescute din semințe tratate cu soluție apoasă de CCZn (0,001%);
6. Plantule crescute din semințe tratate cu soluție apoasă de CCZn (0,0001%).

Pentru evaluarea efectului tratării semințelor cu soluție de CCZn asupra creșterii și dezvoltării plantulelor expuse acțiunii secetei fiziologice la etapele inițiale ale ontogenezei, au fost montate experiențe ce au inclus variantele:

1. Martor optim – plantule crescute pe fond optim din semințe tratate cu apă;
2. Martor secetă – plantule crescute din semințe tratate cu apă și expuse acțiunii secetei fiziologice;
3. ZnSO₄ optim (analog) – plantule crescute pe fond optim, din semințe tratate cu soluție apoasă de ZnSO₄ (0,001%);
4. ZnSO₄ secetă (analog) – plantule crescute din semințe tratate cu soluție apoasă de ZnSO₄ (0,001%) și expuse acțiunii secetei fiziologice;
5. CCZn optim – plantule crescute pe fond optim, din semințe tratate cu soluție apoasă de CCZn (0,001%);
6. CCZn secetă – plantule crescute din semințe tratate cu soluție apoasă de CCZn (0,001%) și expuse acțiunii secetei fiziologice.

Condiții de secetă fiziologică de intensitatea $\Psi=1,5$ MPa au fost create prin adăugarea soluției de PEG₆₀₀₀ cu concentrația de 18%, timp de 48 de ore.

Indici determinați: masa și lungimea coleoptilului, sistemului radicular și plantulelor. Măsurătorile s-au realizat după 10 zile de creștere și dezvoltare a plantulelor de porumb.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Primul obiectiv al studiului a constat în verificarea proprietăților de substanță fiziologic activă a CCZn și identificarea concentrațiilor optime. În experiențe de laborator (Figura 2; Tabelul 1) s-a studiat influența CCZn asupra creșterii și dezvoltării plantulelor de porumb, *Zea mays* L., hibridul Ulises. În vederea determinării diapazonului de concentrație fiziologic efectivă, s-a studiat influența soluțiilor apoase de CCZn cu concentrațiile 0,1; 0,01; 0,005; 0,001 și 0,0001% asupra proceselor vitale ale plantulelor de porumb.



Figura 2. Influența CCZn asupra creșterii plantulelor de porumb.
Experiență de laborator

Tratarea semințelor cu soluții apoase de CCZn intensifică procesele de creștere a plantulelor în mod diferit, în funcție de concentrația soluției utilizată. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 1 și demonstrează un efect fiziologic pozitiv semnificativ al CCZn în intervalul de concentrații 0,0001- 0,01%.

La 10 zile după germinare, parametrii morfologici ai plantulelor provenite din semințe tratate cu soluții de CCZn la concentrațiile de 0,01%, 0,005%, 0,001% și 0,0001% au depășit valorile martorului cu: 7,83; 18,48; 26,48; 12,67% după creșterea liniară și cu 7,30; 25,81; 33,45; 18,17% după acumularea biomasei. Însă soluția de CCZn cu concentrația 0,1%, având efect de inhibare, a produs un impact negativ asupra proceselor de creștere și dezvoltare a plantulelor de porumb.

Tabelul 1. Influența concentrației CCZn asupra creșterii și dezvoltării plantulelor de porumb la etapele inițiale ale ontogenezei

Variante	Concentrația, %	Lungimea, cm						Biomasa, g					
		sistemului radicular		coleoptilului		plantulei		sistemului radicular		coleoptilului		plantulei	
		M ± m	Δ, %	M ± m	Δ, %	M ± m	Δ, %	M ± m	Δ, %	M ± m	Δ, %	M ± m	Δ, %
Martor, H ₂ O		13,69 ± 0,19		9,04 ± 0,09		22,73 ± 0,14		0,321 ± 0,007		0,268 ± 0,002		0,589 ± 0,015	
CCZn	0,1	6,20 ± 0,14	-54,71	6,84 ± 0,10	-24,34	13,04 ± 0,12	-42,63	0,249 ± 0,004	-22,43	0,219 ± 0,003	-18,28	0,468 ± 0,012	-20,54
	0,01	14,11 ± 0,22	3,07	10,41 ± 0,19	15,15	24,51 ± 0,20	7,83	0,352 ± 0,005	9,66	0,280 ± 0,005	4,48	0,632 ± 0,011	7,30
	0,005	16,29 ± 0,09	18,99	10,64 ± 0,17	17,70	26,93 ± 0,13	18,48	0,420 ± 0,008	30,84	0,321 ± 0,004	19,78	0,741 ± 0,018	25,81
	0,001	18,02 ± 0,13	31,63	10,73 ± 0,08	18,69	28,75 ± 0,11	26,48	0,443 ± 0,006	38,01	0,343 ± 0,002	27,99	0,786 ± 0,015	33,45
	0,0001	16,08 ± 0,15	17,46	9,53 ± 0,13	5,42	25,61 ± 0,14	12,67	0,402 ± 0,008	25,23	0,294 ± 0,003	9,70	0,696 ± 0,009	18,17

Rezultatele investigațiilor realizate confirmă că CCZn posedă proprietăți de substanță fiziologic activă și are o influență benefică semnificativă asupra creșterii și dezvoltării plantulelor de *Zea mays* L. în etapele inițiale ale ontogenezei.

Un alt obiectiv al cercetării a constat în evaluarea efectului CCZn asupra creșterii și dezvoltării plantulelor de porumb în condiții de secetă. În acest scop, au fost montate experiențe ce au inclus variante expuse secetei. În condiții optime, după 10 zile de la germinarea semințelor, s-au înregistrat deosebiri ale parametrilor morfologici ai plantulelor de porumb (Tabelul 2; Figura 3).

În urma analizei rezultatelor obținute s-a constatat că, în condiții optime, plantulele obținute din semințe tratate cu $ZnSO_4$ și, îndeosebi, cele tratate cu compusul coordinativ al zincului, se deosebesc prin valori mai mari ale parametrilor morfologici, comparativ cu plantulele din semințe netratate crescute în aceleași condiții. Astfel, plantulele din semințe tratate cu soluții de $ZnSO_4$ și CCZn au avut sistemul radicular cu 3,19 și respectiv 6,56 cm mai lung față de plantulele martor. Lungimea coleoptilului la plantulele din semințe tratate cu $ZnSO_4$ și CCZn au depășit martorul cu 12,17-21,99%.

Tabelul 2. Efectul tratării semințelor cu soluții de $ZnSO_4$ și CCZn cu concentrația 0,001% asupra creșterii și dezvoltării plantulelor de porumb expuse acțiunii secetei fiziologice la etapele inițiale ale ontogenezei

Variante	Umiditatea	Lungimea, cm						Biomasa, g					
		sistemului radicular		coleoptilului		plantulei		sistemului radicular		coleoptilului		plantulei	
		M ± m	Δ, % M*	M ± m	Δ, % M*	M ± m	Δ, % M*	M ± m	Δ, % M*	M ± m	Δ, % M*	M ± m	Δ, % M*
Martor, H ₂ O	optim	17,33 ± 0,22		15,28 ± 0,16		32,61 ± 0,19		0,479 ± 0,003		0,413 ± 0,009		0,892 ± 0,006	
	secetă	13,09 ± 0,19	-24,47	11,82 ± 0,07	-22,64	24,91 ± 0,13	-23,61	0,351 ± 0,004	-26,72	0,318 ± 0,002	-23,00	0,669 ± 0,003	-25,00
ZnSO ₄ , 0,001%	optim	20,52 ± 0,33	18,41	17,14 ± 0,21	12,17	37,66 ± 0,27	15,49	0,572 ± 0,009	19,42	0,443 ± 0,011	7,26	1,015 ± 0,010	13,79
	secetă	15,20 ± 0,28	-12,29	14,69 ± 0,18	-3,86	29,89 ± 0,23	-8,34	0,434 ± 0,007	-9,39	0,351 ± 0,005	-15,01	0,785 ± 0,006	-12,00
CCZn, 0,001%	optim	23,89 ± 0,15	37,85	18,64 ± 0,37	21,99	42,53 ± 0,26	30,42	0,622 ± 0,008	29,85	0,504 ± 0,014	22,03	1,126 ± 0,011	26,23
	secetă	18,84 ± 0,31	8,71	16,82 ± 0,17	10,08	35,66 ± 0,24	9,35	0,554 ± 0,013	15,66	0,443 ± 0,011	7,26	0,997 ± 0,012	11,77

Notă: M* - Martor optim

Aceeași legitate a fost înregistrată și în cazul acumulării biomasei plantulelor, ca urmare a intensificării creșterii și dezvoltării sistemului radicular și coleoptilului. În condiții optime de aprovizionare cu apă s-a constatat o majorare a biomasei plantulelor tratate cu SFA și a constituit 13,79-26,23% comparativ cu martorul. Conform rezultatelor obținute, majorare semnificativă s-a înregistrat în varianta cu utilizarea soluțiilor apoase de CCZn.

Influența benefică a CCZn asupra creșterii și dezvoltării porumbului, în fazele timpurii de dezvoltare, s-a evaluat după gradul de modificare (% față de martor) a parame-

trilor morfologici ai plantulelor crescute în condiții de secetă fiziologică, comparativ cu cele crescute în condiții optime. La etapele inițiale ale ontogenezei, în a 10-ea zi după germinare, seceta fiziologică a condiționat o inhibare semnificativă a creșterii liniare a sistemului radicular și a coleoptilului plantulelor netratate (Tabelul 2; Figura 3). Efectul negativ asupra lungimii sistemului radicular și coleoptilului plantulelor netratate a constituit 22,64% și 23,61% comparativ cu valoarea acestui indice la plantulele martor, crescute în condiții optime. Un impact negativ similar, al stresului hidric, s-a constatat în analiza valorilor absolute ale biomasei sistemului radicular și coleoptilului plantulelor de porumb netratate, comparativ cu cele din varianta martor „optimă”.

Diferențe semnificative au fost înregistrate în variantele cu aplicarea substanțelor fiziologic active. La plantulele crescute din semințe tratate cu soluție de CCZn s-a constatat o tendință de majorare pronunțată a creșterii plantulelor comparativ cu cele tratate cu $ZnSO_4$, atât în condiții optime, cât și de stres hidric. Astfel, în condiții optime biomasa și lungimea plantulelor tratate cu $ZnSO_4$ constituia 13,79 și respectiv 15,49%, comparativ cu plantulele din varianta martor „optimă”. La cele tratate cu CCZn acești indici erau de 26,23% și 29,85% corespunzător.

De asemenea, insuficiența umidității a condiționat o diminuare semnificativă a proceselor de acumulare a masei plantulelor în toate variantele experimentale, în mod special la plantulele martor din semințe netratate. Masa plantulelor din varianta martor, supuse secetei, s-a redus cu 25,00% comparativ cu cea a plantulelor martor crescute în condiții optime. În același timp, masa plantulelor din semințe tratate cu soluții de $ZnSO_4$ și CCZn, supuse secetei, a fost mai mare decât cea a plantulelor din semințe netratate crescute în aceleași condiții, fiind de 1,17 ori și respectiv 1,49 ori.

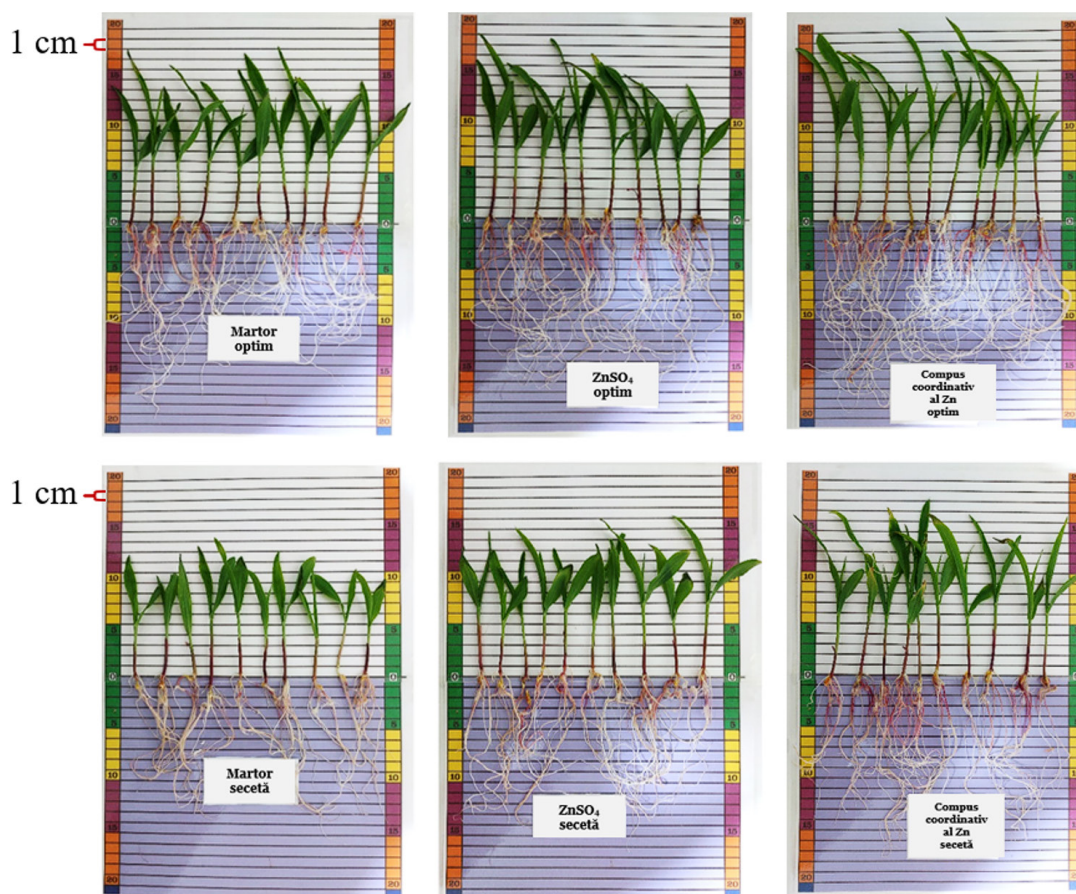


Figura 3. Aspectul morfologic al plantulelor de porumb din semințe tratate cu $ZnSO_4$ și CCZn, crescute în condiții optime și de secetă fiziologică

Analizând soluțiile fiziologic active (SFA) incluse în studiu, rezultatele investigațiilor au demonstrat un efect pozitiv mai pronunțat în cazul tratării semințelor cu soluția de CCZn cu concentrația de 0,001%, comparativ cu utilizarea pentru tratare a soluției de ZnSO₄ cu concentrație similară.

Productivitatea primară a plantulelor provenite din semințe tratate cu soluția de CCZn depășește semnificativ nu doar valorile înregistrate pentru plantulele martor, ci și pe cele ale plantulelor din semințe tratate cu soluția de ZnSO₄, atât în condiții optime, cât și în condiții de secetă fiziologică.

CONCLUZII

Asigurarea plantulelor cu zinc prin tratarea semințelor înainte de semănat cu soluție de CCZn contribuie la adaptarea acestora la stresul hidric și la menținerea performanței lor de creștere și dezvoltare.

La etapele inițiale ale ontogenezei, compusul coordinativ al zincului (CCZn) are un impact pozitiv asupra creșterii și dezvoltării plantulelor de porumb în diapazonul de concentrații 0,01-0,0001%. Efect benefic maxim se obține în rezultatul tratării semințelor cu soluție de CCZn cu concentrația 0,001%. Compusul coordinativ al zincului posedă proprietăți de substanță biologic activă, manifestate prin menținerea la un nivel semnificativ mai înalt al creșterii și acumulării biomasei plantulelor în condiții de insuficiență de umiditate în sol.

În fazele incipiente ale dezvoltării plantulelor de *Zea mays* L., în condiții de secetă moderată, CCZn prezintă caracteristici de substanță biologic activă cu proprietăți antistres, evidențiate prin menținerea creșterii și acumulării biomasei plantulelor de porumb la un nivel semnificativ mai ridicat decât în cazul plantelor martor.

Rezultatele obținute ar putea avea aplicații practice importante atât în dezvoltarea strategiilor de îmbunătățire a producției agricole, în asigurarea securității alimentare în contextul schimbărilor climatice și al creșterii populației globale, cât și în atenuarea efectelor negative ale stresului hidric asupra plantelor de porumb. De asemenea, aceste rezultate ar putea contribui la perfecționarea tehnologiilor agricole utilizate în cultivarea porumbului, facilitând obținerea unor recolte mai rezistente și mai eficiente.

Rezultatele incluse în acest studiu au fost realizate în cadrul subprogramului de cercetare cu titlul „Sinteza și studiul materialelor noi în baza combinațiilor complexe cu liganzi polifuncționali și cu proprietăți utile în medicină, biologie și tehnică” (cod: 010602).

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

1. ALLOWAY, B. J. (2008). *Zinc in Soils and Crop Nutrition*. International Zinc Association. Brussels; Belgium, 139 p. Disponibil: <https://www.topsoils.co.nz/wp-content/uploads/2014/09/Zinc-in-Soils-and-Crop-Nutrition-Brian-J.-Alloway.pdf>
2. AMER, F.; A. I. REZK and H. M. KHALID. (1980). Fertilizer efficiency in flooded calcareous soils. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 44, pp. 1025-1030. Disponibil: <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050031x>
3. BRÎNZĂ, L.; O. DANILESCU; I. BULHAC și V. GUȚU (2023). The influence of the coordination compound of zinc on the growth and development of maize plants under moisture deficit conditions. In: *Modern Trends in the Agricultural Higher Education: International Scientific Symposium dedicated to the 90th anniversary of the founding of higher agricultural education in the Republic of Moldova*, 5-6 octombrie 2023, Chișinău. Book of abstracts. Chișinău: Tehnica-UTM, p. 7. ISBN 978-9975-64-360-3. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/7_35.pdf
4. BURZO, I.; S. TOMA; C. CRĂCIUN; V. VOICAN; A. DOBRESCU et al. (1999). *Fiziologia plantelor de cultură*. Vol. 1: Procesele fiziologice din plantele de cultură. Chișinău: Întreprinderea Editorial-Poligrafică Știința, 460 p. ISBN 9975-67-141-1.

5. ÇAKMAK, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, vol. 302, pp. 1-17.
6. CHEN, Q.; X. ZHANG; Y. LIU; J. WEI; W. SHEN et al. (2017). Hemin-mediated alleviation of zinc, lead and chromium toxicity is associated with elevated photosynthesis, antioxidative capacity; suppressed metal uptake and oxidative stress in rice seedlings. *Plant Growth Regulation*, vol. 81, pp. 253-264.
7. DANILESCU, O.; P. BOUROSH; I. BULHAC; S. SHOVA; V. KRAVTSOV et al. (2024). Laminated dihydrazone Zn(II) coordination polymer with prospects for sensory and multifunctional biomedical applications. *Polyhedron*, vol. 258. ISSN 0277-5387. Disponibil: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0277538724002158>
8. DUCA, M.; CLAPCO, S.; MUTU, A.; MARTEA, R. (2024). Abordări metodologice în studiul stresului hidric la plante. *STUDIA UNIVERSITATIS MOLDAVIAE*. Revista științifică a Universității de Stat din Moldova, nr. 1(171), pp. 178-189.
9. AL JABRI H.; M. H. SALEEM; M. RIZWAN; I. HUSSAIN; K. USMAN et al. (2022). Zinc Oxide Nanoparticles and Their Biosynthesis: Overview. *Life*, vol. 12 (4), p. 594. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/life12040594>
10. JOY, E. J.; A. J. STEIN; S. D. YOUNG; E. L. ANDER; M. J. WATTS et al. (2015). Zinc-enriched fertilizers as a potential public health intervention in Africa. *Plant and Soil*, vol. 389, pp. 1-24. Disponibil: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-015-2430-8>
11. MACHIDON, M.; G. PLOȘNIȚĂ; A. TROFIM; L. MIHALAHI; R. TABACARI și al. (2017). *Catalogul soiurilor de plante pentru anul 2017*. Ediție oficială. Chișinău, 132 p. Disponibil: https://cstsp.md/uploads/files/Catalogul_Soiurilor_de%20Plante_2017.pdf
12. MAZZA, P.; F. ZANI; M. ORCESI; C. PELIZZI; G. PELIZZI et al. (1992). Synthesis, structure, antimicrobial, and genotoxic activities of organotin compounds with 2,6-diacetylpyridine nicotinoyl- and isonicotinoylhydrazones. *Journal of Inorganic Biochemistry*, vol. 48, pp. 251-270.
13. POTARZYCKI, J. and GRZEBISZ, W. (2009). Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. *Plant soil and environment*, vol. 55 (12), pp. 519-527. ISSN 1805-9368. Disponibil: <https://www.agriculturejournals.cz/pdfs/pse/2009/12/03.pdf>
14. RECENA, R.; A. M. GARCÍA-LÓPEZ and A. DELGADO (2021). Zinc Uptake by Plants as Affected by Fertilization with Zn Sulfate, Phosphorus Availability, and Soil Properties. *Agronomie*, vol. 11 (2), p. 390.
15. SRIVASTAVA, P. C.; A. P. SINGH; S. KUMAR; V. RAMACHANDRAN, M. SHRIVASTAVA et al. (2009). Comparative study of a Zn-enriched post-methanation bio-sludge and Zn sulfate as Zn sources for a rice-wheat crop rotation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 85, pp. 195-202.
16. ȘTEFÎRȚĂ, A.; I. BULHAC; L. BRÎNZĂ; E. COROPCEANU; N. ALUCHI et al. (2023). Efectul unor compuși coordinațivi asupra creșterii și productivității plantelor de cultură. In: *Instruire prin cercetare pentru o societate prosperă: Conferința științifico-practică internațională*, Ed. 10, Chișinău, 18-19 martie 2023. Chișinău: Tipografia Universității de Stat din Tiraspol, vol. 1, pp. 262-268. ISBN 978-9975-46-716-2. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/262-268_10.pdf
17. VAZIN, F. (2012). Effect of zinc sulfate on characteristics of corn in drought stress. *Cercetări Agronomice în Moldova*, vol. 45, nr. 3 (151), pp. 15-24. ISSN 0379-5837. Disponibil: <https://jurnalalse.com/wp-content/uploads/CA3-12-02.pdf>
18. ZHAO, A. Q.; X. H. TIAN; Y. X. CAO; X. C. LU and T. LIU (2014). Comparison of soil and foliar zinc application for enhancing grain zinc content of wheat when grown on potentially zinc-deficient calcareous soils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 94, pp. 2016-2022.

Conflict of interests

The authors declare that they have no conflict of interests.

Authors' contributions

This work was carried out in collaboration among all authors. All authors read and approved the final manuscript.

Paper history

Received 28.08.2024; Accepted 24.10.2024

Copyright: © 2024 by the author(s). This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).