CZU: 631.53.027.32:633.15 **https://doi.org/10.59295/sum1(191)2026_25**

EFECTUL STRESULUI HIPERTERMIC ASUPRA GERMINĂRII, CREȘTERII RĂSADURILOR, CONȚINUTULUI DE ACID ASCORBIC ȘI ACTIVITĂȚII ASCORBAT PEROXIDAZEI LA HIBRIZII DE PORUMB (*Zea mays L.*)

Maria CAUȘ,
Nicolai PLATOVSCHII,
Universitatea de Stat din Moldova

Pantelimon BOROZAN,
Instituţia Publică ,,Centrul Naţional de Cercetare şi Producere a Seminţelor”

Șocul hipertermic (ȘHT) de +50 °C cu durata de 30 min aplicat semințelor hibrizilor de porumb cu toleranță diferită la temperaturi ridicate și frig a cauzat reducerea procentului de germinare la toți hibrizii, cel mai înalt nivel de reducere a germinării și a parametrilor morfologici fiind observat la hibridul P. 427, sensibil la temperaturi ridicate. Dar la hibridul P. 374, rezistent la temperaturi ridicate ȘHT a afectat nesemnificativ creșterea rădăcinilor și lăstarilor, a diminuat semnificativ acumularea biomasei rădăcinilor. Rezultatele obținute arată că un conținut ridicat de acid ascorbic (AcA) endogen este un factor important în toleranța porumbului la ȘHT în timpul fazei juvenile. În plantulele hibridului P. 427 ȘHT a cauzat diminuarea conținutului de AcA atât în rădăcini, cât și în lăstari. Acest fenomen poate fi asociat cu consumul AcA pentru protejarea celulelor de daunele induse de stresul oxidativ la plantulele de porumb.

Cuvinte-cheie: *semințe de porumb, șoc hipertermic, germinare, creșterea răsadurilor, acid ascorbic, ascorbat peroxidaza.*

THE EFFECT OF HYPERTHERMIC STRESS ON GERMINATION, SEEDLING GROWTH, ASCORBIC ACID CONTENT AND ASCORBATE PEROXIDASE ACTIVITY IN MAIZE (*Zea mays L*) HYBRIDS

The hyperthermic shock (HTS) of +50 °C for 30 min applied to the seeds of maize hybrids with different tolerances to high temperatures and cold caused a reduction in the germination percentage in all hybrids, the highest level of reduction in seed germination and morphological parameters being observed in the high temperature sensitive hybrid (P. 427). However, in the high temperature resistant hybrid (P. 374) HTS insignificantly affected the growth of roots and shoots, but significantly decreased the accumulation of root biomass. The results obtained show that a high endogenous ascorbic acid (AcA) content is an important factor in maize tolerance to HTS during the juvenile phase. In P. 427 seedlings, HTS caused a decrease in the AcA content in both roots and shoots. This phenomenon may be associated with the consumption of AcA to protect cells from oxidative stress-induced damage in maize seedlings.

Keywords: *maize seeds, hyperthermic shock, germination, seedling growth, ascorbic acid, ascorbate peroxidase.*

Introducere

Umanitatea secolului XXI se confruntă cu probleme serioase, cauzate de schimbările climatice. Printre numeroasele presiuni legate de climă, creșterea temperaturilor, evenimentele de căldură extremă și valurile de căldură sunt recunoscute în prezent ca principalii factori care contribuie la scăderea productivității culturilor din cauza stresului termic [23]. În Moldova, consecințele crizei climatice globale se manifestă prin tranziția către o climă mai caldă și mai uscată, cu temperaturi ridicate tot mai accentuate. Rezistența plantelor la creșterea temperaturilor a devenit o problemă serioasă pentru agricultura țării [9].

Porumbul (Zea mays L.) este una dintre cele mai importante culturi strategice de cereale în lume, datorită utilizării variate atât ca aliment de bază pentru consumul uman și hrana animalelor, cât și în alte numeroase

domenii ale activității umane [12]. Potrivit unui studiu NASA publicat în revista Nature Food [12] schimbările climatice ar putea afecta producția de porumb, iar randamentele culturilor de porumb se preconizează a scădea cu 24% după 2030.

Evaluarea rezistenței plantelor la temperaturi ridicate este deosebit de importantă în agricultură, deoarece determină utilizarea rațională a soiurilor și hibrizilor de plante, precum și optimizarea metodelor de ameliorare pentru noi genotipuri. Aceasta include și dezvoltarea unor metode și criterii de selecție cu eficiență sporită în identificarea diferențelor genetice pentru îmbunătățirea toleranței la temperaturi ridicate, secetă, exces de umiditate, salinitate și aciditatea solului [21].

Cea mai importantă etapă din ciclul de viață al oricărei plante este germinarea și răsărirea, deoarece numai după răsărire se poate spune că cultura are o probabilitate mare de a ajunge la maturitate și de a obține recolta scontată [5]. Germinarea semințelor este o fază critică în care plantele sunt deosebit de sensibile la stresul mediului înconjurător, în special la stresul termic, datorită activităților metabolice și fiziologice ridicate necesare pentru creșterea inițială [30, 5]. Temperatura joacă un rol crucial în germinarea și răsărirea răsadurilor culturii porumbului. Studierea cerințelor de temperatură în această etapă a ciclului de viață al porumbului demonstrează capacitatea hibrizilor de a exploata eficient condițiile climatice tipice regiunilor în care se cultivă această plantă [8, 30].

Procesele fiziologice și biochimice implicate în germinarea semințelor și răsărirea plantulelor, atât în condiții normale, cât și în condiții de stres, sunt însoțite de formarea speciilor reactive de oxigen (ROS) [26]. S-a demonstrat, că formarea excesivă și necontrolată a ROS sub influența factorilor de stres, inclusiv al temperaturii ridicate în timpul germinării semințelor poate duce la leziuni oxidative și daune celulare, provocând deteriorarea calității semințelor și suprimând procesul de germinare și dezvoltarea răsadurilor în stadiile incipiente [17]. Stresul provocat de temperaturile ridicate, şocul hipertermic (ŞHT), este definit, ca fiind determinat de depăşirea valorii temperaturii pozitive a pragului critic pentru o perioadă limitată de timp, suficientă de a provoca daune creşterii şi dezvoltării plantelor [17]. Acţiunea adversă a ŞHT asupra platelor este specifică în dependenţă atât de parametrii dozei ŞHT (intensitatea temperaturii şi durata de expunere), cât şi de specia plantelor, etapa de dezvoltare [2, 3].

Pentru a neutraliza rapid excesul de ROS în condiții de stres oxidativ și pentru a menține echilibrul și funcționarea eficientă a celulei, plantele pe parcursul evoluției au dezvoltat sisteme de apărare antioxidante complexe atât enzimatice, cât și non-enzimatice [19, 1, 32]. Ambele sisteme antioxidante interacționează pentru a forma un mecanism holistic care controlează concentrația speciilor reactive ale oxigenului din organism.

Acidul ascorbic (AcA) joacă un rol important în procesele fiziologice de creștere și dezvoltare a plantelor, inclusiv diviziunea și diferențierea celulară, precum și în răspunsurile plantelor la stresul abiotic [27, 29]. AcA este unul dintre antioxidanții non-enzimatici universali, având un potențial substanțial nu numai de a elimina SRO, ci și de a modula o serie de funcții fundamentale la plante, atât în condiții de stres, cât și fără stres [6]. Se menționează [29], că AcA, în răspunsul plantelor la stresul abiotic, poate juca rolul unui antioxidant care elimină SRO acumulate, al unui cofactor implicat în metabolismul plantelor, sau al unui regulator care coordonează acțiunea diferitelor căi de semnalizare sub stres abiotic.

După cum s-a menționat mai sus, în plante surplusul SRO poate fi annihilat și de antioxidanți enzimatici. Un sistem major de detoxifiere a SRO ca peroxidul de hidrogen în celulele vegetale este ciclul ascorbat-glutation, în care enzima ascorbat peroxidaza (APX) joacă un rol-cheie în catalizarea conversiei H_2O_2 în apă, utilizând ascorbatul ca donator specific de electroni [17, 11]. APX în plante poate să existe în mai multe izoforme distincte, care pot fi localizate în diferite compartimente celulare, inclusive în citosol, mitocondrii, peroxizomi, apoplast și cloroplaste, pentru a gestiona ROS în condiții de stres [16, 24]. Aceste izoforme, codificate de diferite gene prin modificări post-translaționale [13], oferă mecanisme de apărare antioxidante specifice compartimentului și joacă roluri critice în creșterea toleranței la stres [18].

Acidul ascorbic (AcA), care aparține sistemului neenzimatic, și ascorbat peroxidaza (APX), reprezentant al sistemului enzimatic, formează un complex antioxidant eficient pentru a elimina speciile reactive de oxigen, care se acumulează în condiții de stres [27, 6, 10, 26].

Scopul acestui studiu a fost de a investiga efectul șocului hipertermic asupra germinării semințelor,

creșterii răsadurilor, conținutului de acid ascorbic și activității ascorbat peroxidazei în stadiile incipiente ale ontogenezei la diverși hibrizi de porumb.

Materiale şi metode de cercetare

În studiu au fost examinați trei hibrizi de porumb, cu toleranță diferită la temperaturi extreme, ca Porumbeni (P.) P. 374, rezistent la temperaturi ridicate, P. 427, sensibil la temperaturi ridicate și P. 180, rezistent la frig. Semințele hibrizilor respectivi au fost furnizate de Instituţia Publică „Centrul Naţional de Cercetare și Producere a Seminţelor", Pașcani, Republica Moldova.

Înainte de germinare, semințele hibrizilor de porumb luați în studiu atât a variantelelor martor, cât și experimentale, au fost selectate pentru uniformitate și plasate pentru îmbibare în apă distilată la 5°C timp de 36 de ore. Apoi, semințele variantei experimentale au fost eliberate de apă și expuse acțiunii șocului hipertermic (ȘHT) de +50°C cu durata de 30 min, iar semințele variantei martor, de asemenea eliberate de apă, au fost imersate pe parcursul perioadei respective în apă cu temperatura de +26°C. Ulterior, semințele martor și experimentale au fost aranjate în cutii Petri pe hârtie de filtru, umectată cu apă distilată și plasate într-un termostat la întuneric, la temperatura de +26°C și umiditatea relativă a aerului de 70-80 %, pentru continuarea germinației și creșterii plantulelor. Plantulele cu vârsta de 5 zile au fost colectate și utilizate pentru aprecierea nivelului de restabilire a proceselor de creștere după ȘHT, fiind determinați indicii biometriei, inclusiv lungimea rădăcinii primare, înălțimea epicotilului, biomasa proaspătă a rădăcinilor și părții aeriene a plantulelor. De asemenea, o parte de material vegetal (rădăcini și partea aeriană) s-a utilizat pentru determinarea conținutului de acid ascorbic și al activității ascorbat peroxidazei.

Evaluarea germinației semințelor s-a efectuat la semințele cu lungimea radiculei de aproximativ 1 mm, care s-a înregistrat zilnic până când nu au mai apărut germeni o perioadă de 3 zile consecutive.

Proprietățile germinative s-au evaluat conform metodei expuse în lucrarea [15].

Conținutul acidului ascorbic s-a determinat spectrofotometric în conformitate cu metoda [33].

Obținerea extractelor proteice, destinate determinării activității ascorbat peroxidazei (APO). Extractele proteice pentru determinarea activității enzimatice au fost obținute prin macerarea rădăcinilor şi lăstarilor variantelor martor și experimentale în soluția tampon de 0,05 M fosfat de sodiu, cu adaos de 1.5% (w/v) polivinilpolipirolidon, 1mM EDTA și 0,5 mM fenilmetilsulfonilflorid, pH 6,8. Raportul dintre masa vegetală și volumul soluției de extracție a fost de 1:2. Proteinele solubile extrase au fost separate prin centrifugare la 4°C, 16 000 g pe parcursul a 15 min. Superatentele obținute au fost folosite pentru determinarea activității ascorbat peroxidazei (APO).

Activitatea ascorbat peroxidazei (APO; EC 1.11.1.11) s-a determinat spectrofotometric la 290 nm cu utilizarea acidului ascorbic și H_2O_2 [20].

Analiza statistică a datelor. Experimentele au fost efectuate în trei repetiţii. În fiecare repetiție s-au folosit 50 de semințe. Fiecare experiment a fost repetat de cel puțin trei ori. Datele au fost prelucrate statistic prin determinarea valorii medii, iar abaterea standard a mediei a fost calculată folosind programul „Statistică 7".

Rezultate obținute și discuții

Printre etapele ciclului de viață a porumbului, germinaţia semințelor și răsărirea sunt considerate cele mai sensibile stadii la acţiunea temperaturilor extreme [30]. Germinația reprezintă un proces fiziologic complex de trecere a seminţelor din starea de repaus, în stare de viaţa activă, prin acumularea apei și creşterea embrionului, datorită utilizării substanţelor de rezervă depozitate în sămânţă. Creșterea răsadului începe odată cu apariția radiculei și se termină atunci când rezervele de energie din endospermul seminței sunt epuizate.

Rezultatele acestui studiu, prezentate în figura 1 arată, că șocul hipertermic (ȘHT), aplicat semințelor îmbibate a avut un efect semnificativ asupra germinării hibrizilor de porumb luați în cercetare, ca P. 374, P. 427 și P. 180. După cum se poate observa din datele prezentate în figura, 1. ȘHT diminuiază germinarea seminţelor la toţi hibrizii de porumb investigați. Evaluarea % de germinare a demonstrat, că valorile acestui indice este de la 86 până la 92 % în variantele martor. ŞHT de 50°C, cu durata de 30 min. aplicat semințelor

înainte de germinare a cauzat diminuarea germinării semințelor cu 27-28% pentru P. 180, rezistent la frig și respectiv pentru P. 374, rezistent la tempreturi ridicate, față de martor. Pe când pentru hibridul P. 427, sensibil la temperaturi ridicate, ȘHT a diminuat germinarea cu 36%, comparativ cu martorul. Impactul negativ al stresului cauzat de temperaturile ridicate asupra fazei inițiale de germinare şi creştere a răsadurilor de porumb a fost demonstrat și în cercetările anterioare [3]. Așadar, șocul hipertermic (ȘHT) de 50 °C cu durata de 30 min. aplicat semințelor hibrizilor de porumb cu diferit nivel de rezistență la temperaturi ridicate și frig înainte de germinare a cauzat reducerea procentului de germinare la toți hibrizii investigați, cu evidențierea celui mai înalt nivel de reducere a germinării la hibridul P. 427, sensibil la temperaturi ridicate.

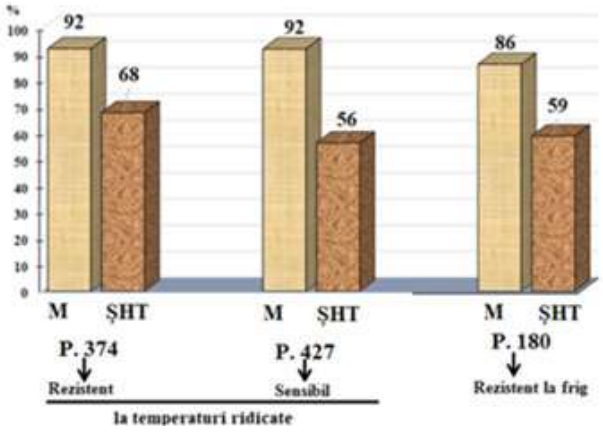


Figura 1. Evaluarea germinării semințelor hibrizilor de porumb cu diferit nivel de toleranță la temperaturi ridicate și frig în dependență de pre-tratarea semințelor înainte de germinare cu șoc hipertermic (ȘHT) de 50°C cu durata de 30 min.

ȘHT a afectat ulterior și comportamentul morfologic al plantulelor hibrizilor de porumb investigaţi (figura 2). În variantele experimentale, cu aplicarea ȘHT valorile lungimii rădăcinilor seminale (radiculelor) și înălțimii lăstarilor (părţilor aeriene) la plantulele P. 427 și P. 180 au fost semnificativ mai mici, comparativ cu valorile acestor indici la plantulele variantelor martor. Figura 2 arată că, ȘHT a afectat nesemnificativ creșterea rădăcinii seminale (radiculelor) și înălțimea răsadului (lăstarilor) la hibridul P. 374, care este atestat ca fiind rezistent la temperaturi ridicate.

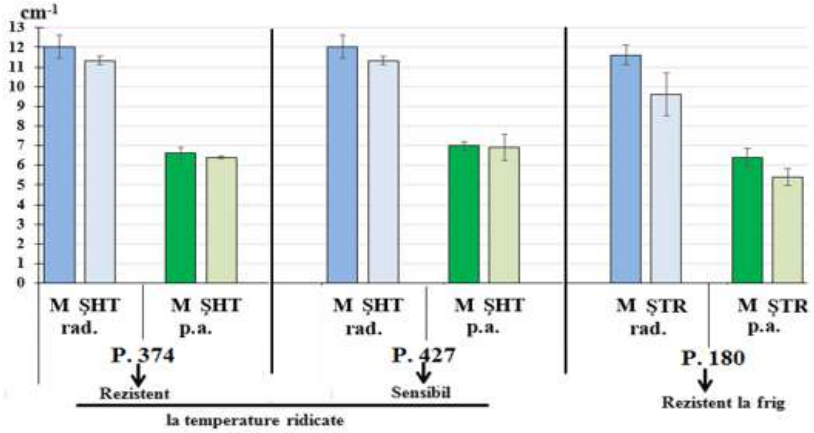


Figura 2. Influența șocului hipertermic (ȘHT) de 50°C cu durata de 30 min asupra creșterii radiculei (rad.) și părții aeriene (p. a.) plantulelor diferitor hibrizi de porumb cu diferit nivel de toleranță la temperaturi ridicate și frig.

ȘHT a afectat, de asemenea, și acumularea biomasei proaspete a răsadurilor (figura 3), inclusiv biomasa rădăcinilor și a lăstarilor (partea aeriană). Din datele prezentate în figura 3 observăm că ȘHT utilizat la pretratarea semințelor înainte de germinare a cauzat reducerea semnificativă a biomasei proaspete a plantulelor la toți hibrizii luați în studiu. La răsadurile tuturor hibrizilor în variantele experimentale, cu aplicarea ȘHT, a fost evidențiată reducerea semnificativă a biomasei plantulelor. Rezultatele obținute demonstrează, că cel

mai mare efect asupra parametrilor morfologici a fost observat la hibridul P. 427, sensibil la temperaturi ridicate și la hibridul P. 180, rezistent la frig. Lungimea rădăcinii seminale, înălțimea răsadului și biomasa proaspătă acumulată reprezintă indici importanți despre răspunsul plantelor la stresul cauzat de temperatura ridicată de +50°C, cu durata de 30 min. aplicată semințelor înainte de germinare. Rezultatele obținute sunt în concordanță cu datele literaturii de specialitate [31], care demonstrează că expunerea răsadurile de porumb acțiunii stresului provocat de secetă, temperaturi ridicate și o combinație a ambelor, a cauzat reducerea semnificativă cu 24,83%, 30,45% și, respectiv, 41,33% a rădăcinilor primare ale plantelor de porumb.

După cum s-a menționat mai sus, creșterea și dezvoltarea plantelor în condiții normale sunt însoțite de formare a speciilor reactive ale oxigenului (ROS), care au diverse funcții de reglare în metabolismul plantelor [26].

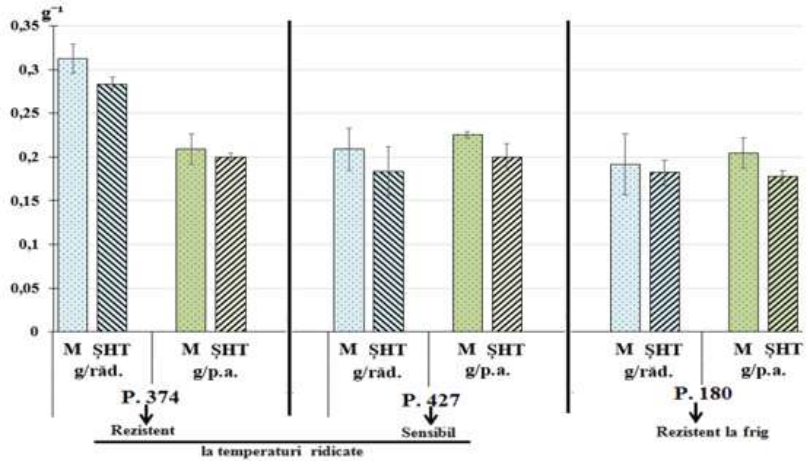


Figura 3. Acumularea biomasei proaspete a rădăcinilor (răd.) și părții aeriene (p.a.) la plantulele diferitor hibrizi de porumb, crescute din semințe pre-tratate cu șoc hipertermic (ȘHT) de 50°C cu durata de 30 min.

Însă în condiții de stres, are loc producerea unor cantități excesive de ROS, inclusiv și al H_2O_2, un fenomen comun la plantele stresate [17]. Controlul conţinutului şi metabolizarea rapidă a excesului de SRO, inclusiv a peroxidului de hidrogen (H_2O_2) este efectuat de un şir de compuși non enzimatici și enzime constitutive, inclusiv de ascorbat peroxidaze (APO) [6, 22].

Un rol important în controlul conţinutului excesului de SRO este efectuat de acidul ascorbic (AcA), care prezintă unul dintre antioxidanții non-enzimatici universali, având un potențial substanțial nu numai de a elimina SRO, ci și de a modula o serie de funcții fundamentale la plante, atât în condiții de stres, cât și fără stres [28, 6, 22].

În prezenta lucrare, s-a studiat acumularea AcA în procesul de creştere a plantulelor de porumb crescute din seminţe pre - tratate cu ŞHT. Din figura 3 se poate observa, ca ŞHT a modificat conținutul de AcA în rădăcini şi în partea aeriană a plantulelor de porumb. ŞHT a condus la majorarea conţinutului de AcA în rădăcinile hibridului P. 374, rezistent la temperaturi ridicate și P. 180, rezistent la frig, și la diminuarea acestuia în partea aeriană (în lăstari). Totodată, se observă că în rădăcinile plantulelor P. 374 conținutul AcA este la cel mai mic nivel, comparativ cu ceilalți hibrizi. În plantulele hibridului P. 427, sensibil la temperaturi ridicate, ŞHT a cauzat diminuarea conținutului de AcA atât în rădăcini (cu ≈7%), cât și în partea aeriană (lăstari, cu ≈ 4%). Din rezultatele prezentate în figura 2 se poate observa, de asemenea, că în rădăcinile plantulelor hibridului P. 374 conținutul de acid ascorbic este la cel mai mic nivel (aproximativ de 2 ori mai mic) atât în varianta martor (M), cât și în varianta experimentală (ŞHT), comparativ cu ceilalți hibrizi. Acest fenoment se poate datora acțiunii multifuncționale a AcA [6, 22], consumat în procesele de germinare, creștere și dezvoltare timpurie ale rădăcinilor plantulelor de porumb. Această presupunere este în concordanță cu datele prezentate în figurile 3, 4 și 5, care demonstrează cele mai mari valori ai indicilor morfologici pentru rădăcinile hibridului P. 374, rezistent la temperaturi ridicate. Rezultatele obținute evidențiază faptul că un conținut ridicat de acid ascorbic endogen este un factor important în toleranța porumbului la stresul șocului hipertermic (ŞHT) în timpul fazei juvenile. La hibridul P. 374, rezistent la

temperaturi ridicate și P. 180, rezistent la frig, ȘHT a indus majorarea conținutului de AcA în rădăcini, și a diminuat conținutul acestuia în partea aeriană (în lăstari), ceea ce demonstrează că în rădăcini AcA contracarează mai eficient efectele ȘHT prin îmbunătățirea proceselor morfologice atât în variantele martor (M), cât și experimentale (ȘHT). La plantulele hibridului P. 427, sensibil la temperaturi ridicate, ȘHT a cauzat diminuarea conținutului de AcA atât în rădăcini, cât și în partea aeriană (în lăstari). Acest fenomen poate fi asociat cu consumul AcA pentru protejarea celulelor de daunele stresului oxidativ la plantule [27]. Rezultatele investigațiilor cu utilizarea AcA exogen pentru tratarea semințelor a mutanților de Arabidosis au scos în evidență implicarea AcA în proliferarea celulară și interacțiunea dintre AcA și H_2O_2 asupra polarității celulare în meristemului apical radicular și, potențial, în meristemul apical al lăstarului [14]. Iar cercetările efectuate la nivel genetic pentru elucidarea rolului acidului ascorbic în toleranţa răsadurilor de porumb dulce cultivate în condiții de stres termic diferit (+10, +25 și +40°C) au constatat că, impunerea stresului termic a modificat conținutul de AcA, în principal, prin modularea expresiei genei ZmDHAR, a cărui enzimă codificată - dehidroascorbat reductază (DHAR) este esențială în calea de reciclare a AcA [28].

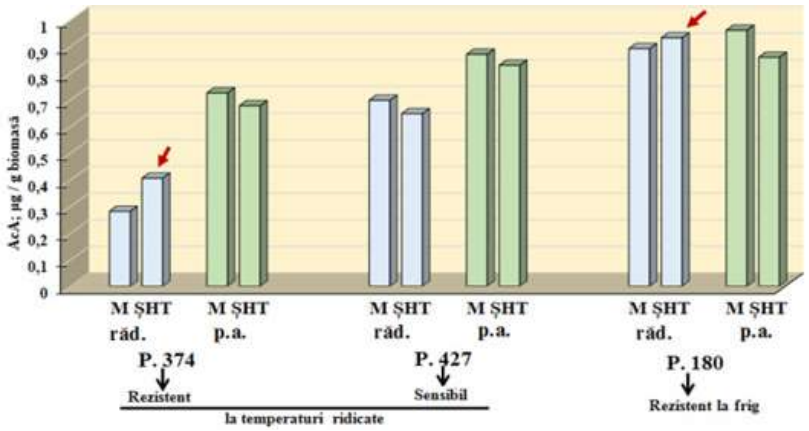


Figura 4. Influența șocului hipertermic (ȘHT) de 50°C cu durata de 30 min asupra conținutului de acid ascorbic (AcA) din rădăcini (răd.) și partea aeriană (p.a.) la plantulele diferitor hibrizi de porumb, cu diferit nivel de toleranță la temperaturi ridicate și frig.

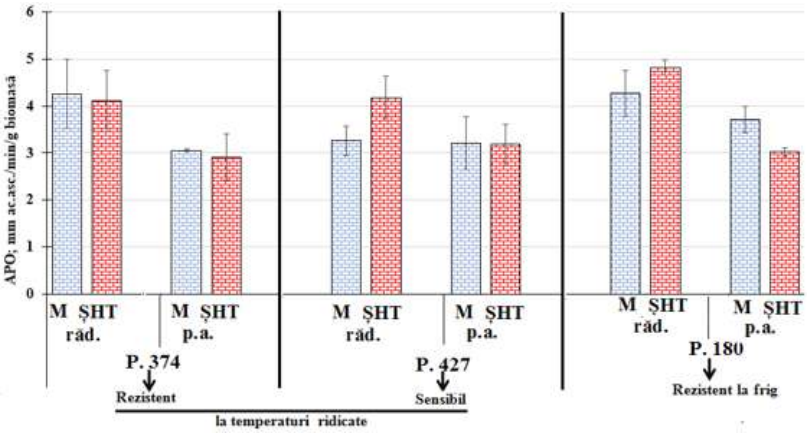


Figura 5. Influența șocului hipertermic (ȘHT) de 50°C cu durata de 30 min asupra activității ascorbatperoxidazei (APO) din rădăcini (răd.) și partea aeriană (p.a.) a plantulelor diferitor hibrizi de porumb, cu diferit nivel de toleranță la temperaturi ridicate și frig.

Ascorbat peroxidaza (APX) este o enzimă antioxidantă crucială depistată în plante, care protejează celulele de daunele oxidative prin reducerea peroxidului de hidrogen în apă, folosind ascorbatul (vitamina C) ca donor de electroni [16, 24]. Această reacție enzimatică este esențială pentru menținerea echilibrului redox celular, în special în condiții de stres.

Din datele prezentate în figura 5 se vede că efectele ȘHT au fost observate și în activitatea APO, enzimă cu numeroase funcții în procesele de creștere și dezvoltare a plantelor [28, 22]. Activitatea APO în rădăcini,

atât în varianta martor (M), cât și în varianta cu șoc hipertermic (ȘHT) este la un nivel mai înalt, decât în partea aeriană (în lăstari) la plantulele hibridului P.374, rezistent la temperaturi ridicate și P. 180, rezistent la frig. De asemenea, ȘHT induce semnificativ majorarea activității APO în rădăcinile plantelor P. 427, sensibil la temperaturi ridicate și P. 180, rezistent la frig, sau nu modifică activitatea acesteia la plantulele P. 374. Cercetatorii [7], în experiențele cu studierea efectului secetei induse asupra activităților enzimelor antioxidante la porumb în timpul germinării, au demonstrat că activitatea APO a crescut de 4-5 ori, comparativ cu martorul. Studii recente [25] cu utilizarea a patru genotipuri de porumb, care se deosebeau prin sensibilitatea lor la temperaturi ridicate au arătat că expunerea plantelor la stres termic în stadiul mătăsării porumbului s-a majorat concentrația H_2O_2 la toate genotipurile studiate, dar genotipurile tolerante au avut un conținut mai mic de H_2O_2. Activitatea APX și a altor enzime antioxidante a diminuat sub stres termic în grupul genotipurilor sensibile. Analiza literaturii de specialitate demonstrează [4] că expresia genelor care codifică APX este modulată diferențiat de mai multe stresuri abiotice la diferite specii de plante. Toate izoformele APX joacă roluri importante și directe ca elemente de protecție împotriva condițiilor de mediu adverse. Diversele efecte ale inhibării sau eliminării diferitelor gene APX asupra creșterii, fiziologiei și metabolismului antioxidant al plantelor indică faptul că APX poate regla și căile de semnalizare redox implicate în dezvoltarea plantelor [4].

Concluzie

Cercetările au demonstrat că, pre-tratarea semințelor de porumb cu temperatura ridicată de +50°C cu durata de 30 min. cauzează diminuarea germinării semințelor și creșterea plantulelor de porumb, însă diferiți hibrizi reacționează la nivel diferit, în funcție de specificul genetic. Hibridul P.374, atestat ca hibrid rezistent la temperaturi ridicate, s-a remarcat prin rezistență înaltă și cu un sistem antioxidant bine reglat, în timp ce hibridul P.427, sensibil la temperaturi înalte, a manifestat rezistență redusă, determinată de diminuarea conținutului acidului ascorbic și activarea ascorbat peroxidazei. Interacțiunea dintre conținutul acidului ascorbic și al activității ascorbat peroxidazei s-a dovedit a fi esențială pentru protecția plantulelor la acțiunea temperaturilii ridicate.

Bibliografie:

1. ALAM, P., FAIZAN, M., ARIF, Y. et al. Reactive oxygen species: Balancing agents in plants. In: *Front. Plant Sci.* 2025. 16:1713590. Doi: 10.3389/fpls.2025.1713590.
2. CAUȘ, M., DASCALIUC, A. Influența biostimulatorului Reglalg asupra reacției plantulor de castravete (Cucumis sativus L.) la șocul termic. În: *Buletinul AȘM. Științele vieții.* 2019. nr. 2(338), p. 85-95. https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/87221.
3. CAUȘ, M., DASCALIUC, A., BOROZAN, P. Identification of changes in the metabolic processes of germination and growth of maize seedlings under the influence of heat stress and the use of Reglalg. In: *Annals of the University of Craiova, Biology, Horticulture, Food products processing technology, Environmental engineering.* 2022. vol. 27, nr. 63, p. 119-124. Doi:10.52846/bihpt. v27i63.20.
4. CAVERZAN, A., PASSAIA, G., BARCELLOS ROSA, S. Plant responses to stresses: Role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection. In: *Gen. Mol. Biol*. 2012. vol. 35(4 Suppl): p. 1011–1019. Doi: 10.1590/s1415-47572012000600016
5. CHEN, C., LI, D., YAN, Y. et al. Facilitating maize seed germination under heat stress via exogenous melatonin. In: *Int. J. Mol. Sci.* 2025. vol. 26, 1608. Doi:10.3390/Ijms26041608.
6. CONKLIN, P., FOYER, C.H., HANCOCK, R.D. et al. Ascorbic acid metabolism and functions. In: J. Exp. Bot. 2024. vol. 75(9), p. 2599–2603. Doi:10.1093/Jxb/Erae143.
7. DANI, A.R.H. & SISWOYO, T. A. Impact of drought stress during germination on antioxidant capacities and antioxidant enzymes activities of madura local maize (Zea mays) seeds. In: *Agricultural Sci.* 2019. 10, 1506-1516. Doi:10.4236/as.2019.1011111.
8. DAVID, I. Cercetări privind cerințele termice pentru răsărire la unii hibrizi de porumb. In: Lucrări științifice, seria *Agronomie*, UȘAMV, Iași, 2008. vol. 51(3), p. 19-24. https://www.uaiasi.ro/revagrois/PDF/2008_3_19.pdf.

9. DIACIUC, N., MELECA, A., CRIUCICOV, O. Cultura de armurariu, adaptată la noile provocări a factorilor climatici. În: *Probleme ştiinţifice în domeniul culturilor de câmp – realizări şi perspective*. Mat. Conf. ştiinţ. pract. cu part. intern., dedicată a 80 ani de la fondarea ICCC „Selecţia”, Bălţi 13-14 iunie, 2024. p. 247-252. ISBN 978-9975-180-84-9.
10. DJALOVIC, I., KUNDU, S., BAHUGUNA, R. N. et al. Maize and heat stress: Physiological, genetic, and molecular insights. In: *Plant Genome*. 2024. 17, 20378. Doi: 10.1002/tpg2.20378.Doi: 10.3389/fpls.2023.1110622.
11. FOYER, C.H., KUNERT. K. The ascorbate–glutathione cycle coming of age. In: J. Exp. Bot. 2024. vol. 75, p. 2682–2699. Doi: 10.1093/jxb/erae023. https://www.incda-fundulea.ro/anale/75/75.23.pdf.
12. JÄGERMEYR, J., MÜLLER, C., RUANE, A.C. et al. Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. In: *Nature Food.* 2021. vol. 2, p. 873–885. Doi:10.1038/S43016-021-00400-Y.
13. KAUR, S., PRAKASH, P., BAK, D.-H. et al. Regulation of Dual Activity of Ascorbate Peroxidase 1 From Arabidopsis thaliana by Conformational Changes and Posttranslational Modifications. In: *Front. Plant Sci.* 2021. vol.12 : 12:678111. Doi: 10.3389/fpls.2021.678111.
14. KKA N., ROOKES J., CAHILL D. The influence of ascorbic acid on root growth and the root apical meristem in Arabidopsis thaliana. In: Plant Phys. Bioch. 2018. vol. 129, p. 323-330. Doi: 10.1016/j.plaphy.2018.05.031.
15. KŁOSIŃSKA U., KOZIK E.U., NOWICKI M., WEHNER T.C. Low temperature seed germination of cucumber: genetic basis of the tolerance trait. In: J. *Hort. Research*. 2013. vol. 21(2), p.125-130. Doi:10.2478/johr-2013-0031.
16. LI, S. Novel insight into functions of ascorbate peroxidase in higher plants: More than a simple antioxidant enzyme. In: *Redox Biol*. 2023. 64:102789. Doi: 10.1016/j.redox.2023.102789.
17. LI, W., NIU, Y., ZHENG, Y. & WANG, Z. Advances in the understanding of reactive oxygen species-dependent regulation on seed dormancy, germination, and deterioration in crops. In: *Front. Plant Sci.* 2022. 13:826809. Doi: 10.3389/fpls.2022.826809.
18. LONG, S., YUAN, B., HE, M. et al. Identification of ascorbate peroxidase family genes reveals expression of TkAPX250a confers heat stress tolerance in Taraxacum kok-saghyz. In: *Gene.* 2026. vol. 980, 149918. Doi: 10.1016/J.Gene.2025.149918.
19. MISHRA, N., JIANG, C., CHEN, L. et al. Achieving abiotic stress tolerance in plants through antioxidative defense mechanisms. In: *Front. Plant Sci*. 2023. 14, 1110622.
20. NAKANO, Y. & ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. In: *Plant Cell Physiology.* 1981. vol. 22, p. 867-880. https://academic.oup.com/pcp/article-abstract/22/5/867/1835201.
21. PETCU, E., ŢERBEA, L. C. Cercetări în domeniul fiziologiei plantelor de câmp la Fundulea. În: *An I.N.C.D.A. Fundulea.* 2007. vol. 75, p.431-458.
22. RAO, M. M., DUAN, M., ZHOU, C. et al. Antioxidant defense system in plants: Reactive oxygen species production, signaling, and scavenging during abiotic stress-induced oxidative damage. In: *Horticulture.* 2025. 11(5), 477; Doi: 10.3390/horticulturae11050477.
23. RENARD, D., MAHAUT, L, NOACK, F. Crop diversity buffers the impact of droughts and high temperatures on food production. In: *Environmental Research Letters*. 2023. 18: 045002. Doi: 10.1088/1748-9326/acc2d6.
24. RODRÍGUEZ-RUIZ, M., HOUMANI, H., MUÑOZ-VARGAS, M.A. et al. Detection of ascorbate peroxidase (APX) activity in plant tissues: Using non-denaturing PAGE and spectrophotometric assay. In: *Methods Mol. Biol.* 2024. 2798: p. 223-234. Doi:10.1007/978-1-0716-3826-2_16.
25. TIWARI, Y.K., YADAV, S. K. Effect of high-temperature stress on ascorbate–glutathione cycle in maize. In: *Agricul.Resear.* 2019. 9(2). Doi:10.1007/s40003-019-00421-x.
26. WANG, P.T., LIU, W.C., HAN, C. et al. Reactive oxygen species: Multidimensional regulators of plant adaptation to abiotic stress and development. In: *J. Integr. Plant Biol.* 2024. vol. 66, p. 330–367. Doi:10.1111/jipb.13601.
27. WU, S.Y., HOU, L.L., ZHU, J. et al. Ascorbic acid-mediated reactive oxygen species homeostasis modulates the switch from tapetal cell division to cell differentiation in Arabidopsis. In: *Plant Cell.* 2023. vol. 35, p. 1474–1495. Doi:10.1093/plcell/koad037.

28. XIANG, N., HU, J., WEN, T. et al. Effects of temperature stress on the accumulation of ascorbic acid and folates in sweet corn (Zea mays L.) seedlings. In: J. *Sci. Food and Agric*. 2020. vol.100, (4), p.1694-1701. Doi:10.1002/jsfa.10184.
29. XIAO, M., LI Z., ZHU, L., WANG, J. et al. The multiple roles of ascorbate in the abiotic stress response of plants: Antioxidant, cofactor, and regulator. In: *Front. Plant Sci*. 2021. 12:598173. DoI: 10.3389/fpls.2021.598173.
30. XUE, X., DU, S., JIAO, F. et al. The regulatory network behind maize seed germination: Effects of temperature, water, phytohormones and nutrients. In: *The Crop J.* 2021. p. 718–724. http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/.
31. YANG, X., ZHU, H., WEI J. et al. Primary root response to combined drought and heat stress is regulated via salicylic acid metabolism in maize. In: *BMC Plant Biology*. 2022. 22:417. Doi:10.1186/s12870-022-03805-4.
32. ZHENG, C., CHEN, J.-P., WANG, X.-W., Li, P. Reactive oxygen species in plants: Metabolism, signaling, and oxidative modifications. In: *Antioxidants.* 2025. 14, 617. Doi:10.3390/Antiox14060617.
33. Сибгатуллина Г. В., Хаертдинова Л. Р., Гумерова Е. А. и др. *Методы определения редокс-статуса культивируемых клеток растений.* Казань: Казанский Федеральный университет, 2011. 61 с. https://k.twirpx.link/file/1363679.

N. B.: *Cercetările au fost realizate în cadrul subprogramului 011101 „Abordări genetice și biotehnologice de management al agroecosistemelor în condițiile schimbărilor climatice”, finanțat de către Ministerul Educației și Cercetării al RM.*

Date despre autori:
Maria CAUȘ, doctor în științe biologice, cercetător științific coordonator, Laboratorul Biochimia Plantelor, Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0001-7914-3482
E-mail: mcaus2021@yahoo.com

Nicolai PLATOVSCHII, doctor în științe biologice, cercetător științific, Laboratorul Biochimia Plantelor, Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0001- 6747-8226
E-mail: nik.plat@hotmail.com

Pantelimon BOROZAN, doctor în științe agricole, director adjunct pe probleme științifice, Instituția Publică „Centrul Național de Cercetare și Producere a Semințelor”, Pașcani, Republica Moldova.
ORCID: 0000-0002-4142-2918
E-mail: pantelimon.borozan@yahoo.com

Prezentat: 01.03.2026
Recenzat: 12.03.2026
Acceptat spre publicare: 20.05.2026