CZU: 577.15:[633.15:631.53.011.2] **https://doi.org/10.59295/sum6(186)2025_30**

INVESTIGAȚII ASUPRA SPECTRULUI IZOENZIMATIC AL AMILAZELOR DIN SEMINȚELE DE PORUMB (ZEA MAYS) PE PARCURSUL GERMINAȚIEI

Alexandra ȚIBICHI, Iurie UNGUREANU, Marian BURDUCEA, Lenuța DÎRVARIU, Dana Andreea ȘERBAN, Cristian-Alin BARBACARIU, Victor SURUGIU,

Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași

Lucrarea investighează dinamica activității izoenzimatice a amilazelor (α și βamilază) în semințele de porumb (*Zea mays*) pe durata germinației (0–120 h). S-au determinat modificările conținutului de proteine solubile, activitatea totală și specifică a celor două tipuri de amilază, și s-au efectuat electroforeze pentru a evidenția izoenzimele prezente. Rezultatele arată că activitatea αamilazei crește treptat, atingând un punct maxim funcțional la ~72 h, iar βamilaza devine dominantă spre finalul perioadei de germinație. Electroforezele au relevat prezența mai multor benzi enzimatică (izoenzime) pentru ambele tipuri de amilază. Aceste date confirmă faptul că mobilizarea rezervelor de amidon este controlată fin la nivel enzimatic, adaptându-se etapelor metabolice ale plantulei în creștere.

Cuvinte-cheie: *Zea mays, germinare, amilază, izoenzime, conținut proteic, electroforeză.*

INVESTIGATIONS ON THE ISOENZYMATIC SPECTRUM OF AMYLASES IN CORN SEEDS (ZEA MAYS) DURING GERMINATION

The present study examines the isoenzymatic activity dynamics of amylases (α- and β-amylase) in maize (*Zea mays*) seeds during germination (0–120 h). We quantified changes in soluble protein content, measured both total and specific enzymatic activity for the two amylase types, and conducted electrophoretic separations to reveal the isoenzyme profiles. The results indicate that α-amylase activity increases gradually, reaching a functional peak around 72 h, while β-amylase becomes more dominant toward the later stages of germination. Electrophoretic profiles revealed multiple enzyme bands (isoenzymes) for both types of amylase. These findings support that starch reserve mobilization is finely regulated at the enzymatic level, adapting to the metabolic demands of the developing seedling.

Key-words: *Zea mays, germination, amylase, isoenzymes, protein content, electrophoresis.*

Introducere

Porumbul (*Zea mays*) este una dintre cele mai cultivate și valoroase plante de cultură din lume, datorită conținutului său nutritiv ridicat, versatilității în utilizare și capacității de adaptare la o gamă largă de condiții de mediu [1, 7, 8, 9]. Importanța sa economică și agricolă este reflectată prin utilizarea extinsă în alimentația umană, în nutriția animalelor și în diverse industrii, inclusiv cea alimentară, farmaceutică și a biocombustibililor [2, 9, 10].

Germinația este una dintre cele mai importante faze din viața unei plante, fiind momentul în care sămânța trece de la repaus la activitate metabolică intensă. Reușita acestui proces influențează în mod direct stabilirea culturii și, mai târziu, randamentul recoltei [7, 11].

În cazul porumbului (*Zea mays*), rezervele principale de nutrienți se găsesc sub formă de amidon în endosperm, iar degradarea acestuia este vitală pentru hrănirea embrionului în primele zile de dezvoltare [1,2,7,10]. Transformarea amidonului în zaharuri simple este realizată de o serie de enzime hidrolitice, dintre care cele mai importante sunt αamilaza și βamilaza [1,6,13]. Rolul lor complementar a fost bine documentat în literatura de specialitate, ambele participând activ la conversia amidonului în maltoză și glucoză [1, 13].

Varietățile moderne de porumb, în special cele cu conținut ridicat de amilopectină (așa-numitul *waxy maize*), au demonstrat un potențial enzimatic crescut în timpul germinației, cu valori ridicate ale activității αamilazice și o vigoare superioară a plantulei [2, 6]. Această trăsătură poate fi esențială în condiții de stres abiotic sau în agricultură intensivă [3, 4].

De asemenea, s-a observat că anumite tratamente pre-germinative, precum expunerea la ultrasunete, pot stimula activitatea α și βamilazelor, ducând la o germinație mai rapidă și mai uniformă [3,4]. În paralel, folosirea de fitohormoni, cum ar fi auxina, s-a dovedit eficientă în accelerarea mobilizării rezervelor glucidice, inclusiv prin intensificarea răspunsului enzimatic [4, 11].

Pe măsură ce germinația avansează, activitatea βamilazei devine din ce în ce mai vizibilă. Deși în trecut accentul era pus mai ales pe αamilază, cercetările recente indică faptul că βamilaza joacă un rol esențial în etapele finale ale procesului, când planta tânără începe să-și asigure tot mai mult nevoile energetice din resurse proprii [6, 13].

Un alt aspect important îl reprezintă prezența izoenzimelor, adică forme moleculare diferite ale aceleiași enzime. Acestea pot fi observate prin metode electroforetice și oferă o imagine detaliată asupra modului în care planta reglează fin activitatea amilazică, în funcție de nevoile sale metabolice din fiecare etapă a germinației [5, 8, 12, 14].

Având în vedere aceste elemente, lucrarea de față urmărește să evidențieze dinamica α și βamilazei în semințele de porumb în cursul germinației, atât din punct de vedere cantitativ (activitate totală și specifică), cât și calitativ (profil izoenzimatic), pentru a înțelege mai bine modul în care planta își mobilizează rezervele în această fază esențială.

Materiale și metode

Experimentul a fost realizat în cadrul Facultății de Biologie, Universitatea "Alexandru Iona Cuza" din Iași. Pentru partea practică au fost utilizate semințe de porumb (*Zea mays*), acestea au fost achiziționate din comerț.

Înainte de a începe experimentul și de a pune semințele la germinat, au fost eliminate semințele ce prezentau defecte vizibile, semințele incomplet dezvoltate, deteriorate de atacurile dăunătorilor sau lipsite de conținut.

Semințele au fost spălate, dezinfectate (prin utilizarea unei soluții de apă oxigenată 3%) spre a elimina șansele de apariție a unor infecții fungice pe parcursul procesului de germinație in vitro, apoi au fost puse la germinat pe mediu steril, în plăci Petri sterilizate și folosind ca suport comprese sterile. Pentru umectarea mediului s-a utilizat apă fiartă și răcită. Germinația a fost considerată încheiată la momentul când plantula s-a format și prezența clorofilei a arătat trecerea la metabolism propriu.

Probele au fost recoltate la momentul de start (proba 0 ore, reprezentând semințe curățate abia puse la germinat) și la fiecare 24 de ore. Probele au fost păstrate la congelator până la momentul prelucrării lor în laborator. Reactivii folosiți la determinări sunt de tip „pentru analiză".

Metoda de **determinare cantitativă a proteinelor solubile** extrase din semințele speciei *Zea mays* este metoda elaborată de Bradford. Această metodă se bazează pe observația că în mediu acid colorantul Coomassie Brilliant Blue G-250 formează cu proteinele un complex având maximul de absorbție la 595 nm [15].

Determinarea cantitativă a activității amilazelor vegetale. Metodele de determinare a activității amilazelor se bazează fie pe dozarea maltozei și glucozei formate din amidon, fie pe estimarea cantității de amidon rămas nescindat, prin folosirea reacției lui cu iodul [16].

Identificarea electroforetică a izoenzimelor amilazelor. Formele moleculare ale amilazelor din celulele animale, vegetale sau microbiene pot fi supuse separării prin electroforeză în gel de poliacrilamidă, în sistem vertical și condiții nedenaturante. Izoenzimele amilazelor astfel separate pot fi evidențiate prin imersarea gelurilor de separare în soluție de amidon, urmată de colorare cu soluție de iod. Locațiile unde sunt prezente izoenzimele amilazelor apar ca benzi deschise pe fondul întunecat al gelului de poliacrilamidă [12,14,18].

Rezultate și discuții

Pentru a evalua modificările biochimice din timpul germinației semințelor de porumb (*Zea mays*), au fost determinate variațiile în conținutul de proteine solubile și în activitatea enzimelor amilolitice (α-și β-amilaza), precum și profilul izoenzimatic aferent.

1. Determinarea cantităţii de proteine solubile

Conţinutul de proteine solubile a fost estimat utilizând metoda Bradford, pe baza curbei etalon obţinute (Tabelul 1, Figura 1), care a permis stabilirea valorilor extincţiei în funcţie de cantitatea de proteină.

Tabelul 1 - Rezultate obţinute la construirea curbei etalon pentru metoda Bradford de determinare cantitativă a proteinelor

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Cantitate de proteină (µg)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Extincţie	0,21	0,323	0,467	0,565	0,658	0,762	0,81	0,945	1,011	1,099

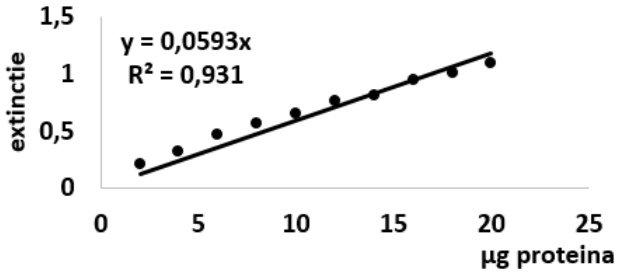


Figura 1. Reprezentarea grafică a curbei etalon pentru determinarea cantităţii de proteine solubile prin metoda Bradford

α-amilaza

Analiza proteinelor solubile extrase în apă distilată (Tabelul 2, Figura 2) a evidenţiat un conţinut ridicat la începutul germinaţiei (0,41 g/100 g material vegetal la 0 h). Ulterior, acest nivel a scăzut semnificativ până la 72 h (0,15 g/100 g), semnalând utilizarea proteinelor de rezervă. După această perioadă, s-a remarcat o creştere aproape la nivelul iniţial (0,40 g la 96 h), sugerând iniţierea procesului de formare a noi proteine, posibil enzimatice sau metabolice, necesare plantulei.

Tabelul 2 - Variaţia cantităţii de proteine solubile în apă distilată extrase din seminţele de porumb (*Zea mays*) supuse germinaţiei

Ore de germinaţie	0 h	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
g prot/100 g mat. veg.	0,41	0,40	0,34	0,15	0,40	0,34

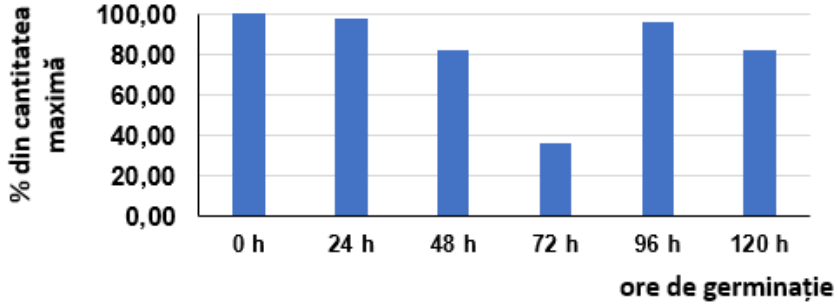


Figura 2. Evoluţia cantităţii de proteine solubile în apă distilată extrase din seminţele de porumb (*Zea mays*) pe parcursul germinaţiei (reprezentare procentuală)

β-amilaza

Pentru extractele tamponate utilizate la izolarea β-amilazei, dinamica proteinelor solubile a fost uşor diferită (Tabelul 3, Figura 3). După o creştere uşoară la 24 h (0,44 g), valorile au scăzut brusc la 48 h (0,16 g), urmate de o recuperare treptată până la 120 h (0,35 g). Această evoluţie sugerează un consum rapid al proteinelor urmat de sinteza de noi enzime în fazele ulterioare.

Tabelul 3 - Variaţia cantităţii de proteine solubile în soluţie tampon pentru extragerea β-amilazei obţinute din seminţele de porumb (*Zea mays*) supuse germinaţiei

Ore de germinaţie	0 h	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
g prot/100 g mat. veg.	0,41	0,44	0,16	0,28	0,25	0,35

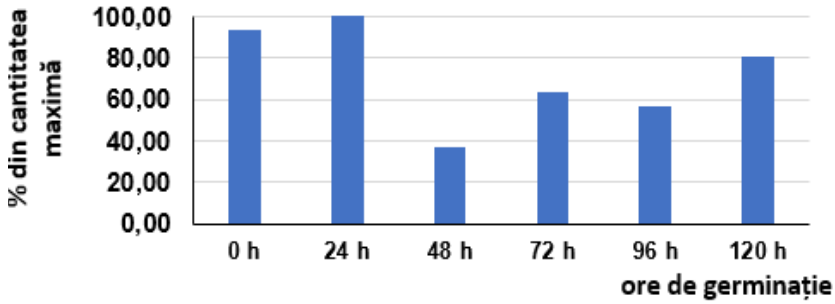
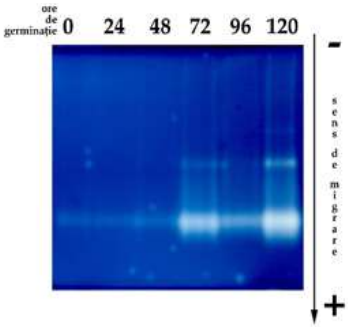


Figura 3. Evoluția cantității de proteine solubile în soluție tampon pentru extragerea β-amilazei obținute din semințele de porumb (*Zea mays*) pe parcursul germinației (reprezentare procentuală)



2. Spectrul izoenzimatic al α-amilazei

Pentru a evidenția varietatea moleculară a α-amilazei, au fost realizată o electroforeză în gel de poliacrilamidă în condiții native. Rezultatul, prezentat în Figura 4, arată prezența mai multor benzi enzimatice, ceea ce sugerează existența unor izoenzime distincte ale α-amilazei. Intensificarea acestor benzi în probele recoltate între 72 și 120 de ore indică o expresie crescută a formelor active ale enzimei, în paralel cu nevoia plantulei de a mobiliza rezervele de amidon într-un mod mai eficient. Această diversitate enzimatică reflectă un control precis al procesului de degradare a amidonului în funcție de stadiul germinativ.

Fig. 4 - Electroforegrama reprezentând fracțiile izoenzimatice ale α-amilazei separate prin electroforeză în gel de poliacrilamidă în condiții native provenind din semințele de porumb (Zea mays) colectate pe parcursul germinației

3. Activitatea α-amilazei

Activitatea α-amilazei a fost evaluată prin determinarea maltozei, pe baza unei curbe etalon construite cu valori cunoscute ale absorbției la 540 nm. Aceasta este redată în Tabelul 4 și Figura 5 și a permis cuantificarea indirectă a activității enzimatice.

Tabelul 4 - Rezultate obținute la construirea curbei etalon pentru metoda de determinare cantitativă a maltozei

Maltoza (mg)	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
Extincție	0,055	0,16	0,278	0,398	0,5015	0,6125	0,7325	0,835	0,9405

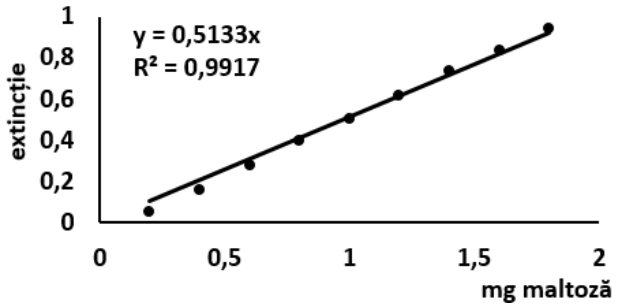


Figura 5. Reprezentarea grafică a curbei etalon pentru determinarea cantitativă a maltozei

Rezultatele au arătat o creștere generală a activității α-amilazei pe parcursul germinației. De la o valoare inițială de 16,00 µM maltoză/minut/g la 0 h, activitatea a scăzut ușor la 24 h (9,95) cu o intensificare clară după 48 h (35,29) și a atins un maxim de 46,93 la 120 h. Aceste variații sunt prezentate în Tabelul 5 și ilustrate în Figura 6, confirmând rolul central al α-amilazei în mobilizarea amidonului spre finalul germinației, când cererea energetică a plantulei este maximă.

Tabelul 5 - Variaţia activităţii α-amilazei extrase din seminţele de porumb (*Zea mays*) supuse germinaţiei

Ore de germinaţie	0 h	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
µM maltoză/g mat. veg./minut	16,00	9,95	15,75	35,29	24,31	46,93

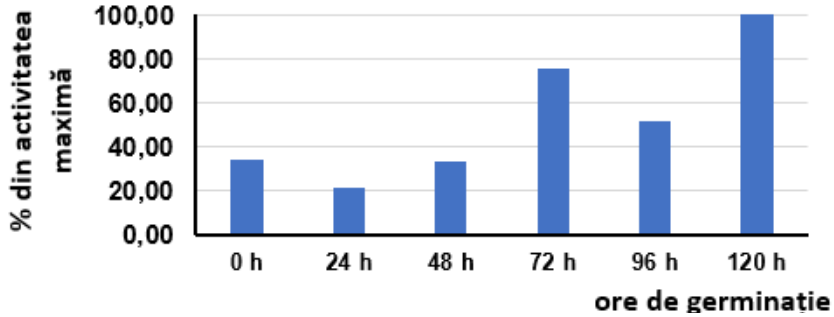


Figura 6. Evoluţia activităţii α-amilazei extrase din seminţele de porumb (Zea mays) pe parcursul germinaţiei (reprezentare procentuală)

Când se raportează activitatea enzimei la cantitatea de proteină (activitatea specifică), se observă un vârf pronunţat la 72 h (23,80 µM/mg/min), ceea ce indică nu doar prezenţa în cantitatea mare a enzimei, ci şi o eficienţă crescută în utilizarea substratului. Această valoare scade la 96 h (6,13), urmată de o revenire parţială la 120 h (13,87). Datele sunt redate în Tabelul 6 şi în Figura 6 (graficul dedicat activităţii specifice). Acest profil sugerează că, în jurul a 72 de ore, planta atinge un punct critic în care α-amilaza este atât abundentă, cât şi funcţională optim datorită activării cofactorilor enzimatici sau sintezei de noi forme izoenzimatice.

Tabelul 6 - Variaţia activităţii specifice a α-amilazei extrase din seminţele de porumb (*Zea mays*) supuse germinaţiei

Ore de germinaţie	0 h	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
µM maltoză/mg proteina/minut	3,88	2,48	4,67	23,80	6,13	13,87

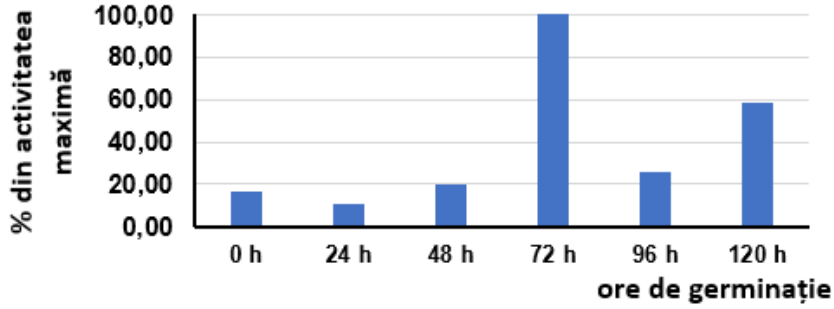
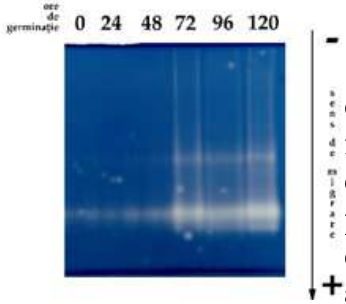


Figura 7. Evoluţia activităţii specifice a α-amilazei extrase din seminţele de porumb (Zea mays) pe parcursul germinaţiei (reprezentare procentuală)



4. Spectru izoenzimatic al β-amilazei

Separarea electroforetică a β-amilazei a evidenţiat prezenţa a mai multor izoenzime, fiecare cu un posibil rol specific în descompunerea amidonului. Electroforegrama obţinută şi prezentată în Figura 7, arată benzi de intensitate variabilă, cu o accentuare clară între 72 şi 120 de ore. Această creştere indică activarea progresivă a diferitelor forme enzimatice în funcţie de stadiul germinativ, ceea ce indică ideea unei reglări diferenţiate a procesului de mobilizare a rezervelor amidonice.

Fig. 8 - Electroforegrama reprezentând fracţiile izoenzimatice ale β-amilazei separate prin electroforeză în gel de poliacrilamidă în condiţii native provenind din seminţele de porumb (Zea mays) colectate pe parcursul germinaţiei

5. Rezultate β -amilaza

Activitatea β-amilazei, măsurată prin determinarea cantității de maltoză eliberată, a urmat un profil evolutiv diferit față de α-amilază. După o activitate moderată în primele 48 de ore (11,24 µM la 0 h și 8,68 µM la 48 h), valorile au crescut brusc la 72 h (39,50 µM) și au atins un maxim de 69,46 µM maltoză/ minut/g la 120 h. Aceste rezultate sunt prezentate în Tabelul 7 și ilustrate în Figura 8. Această creștere accentuată sugerează că β-amilaza devine predominantă în a doua jumătate a perioadei de germinare, când necesarul energetic este crescut, iar mobilizarea completă a amidonului devine esențială pentru susținerea creșterii plantulei.

Tabelul 7 - Variația activității β-amilazei extrase din semințele de porumb (*Zea mays*) supuse germinației

Ore de germinație	0 h	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
µM maltoză/g mat veg/minut	11,24	11,39	8,68	39,50	25,23	69,46

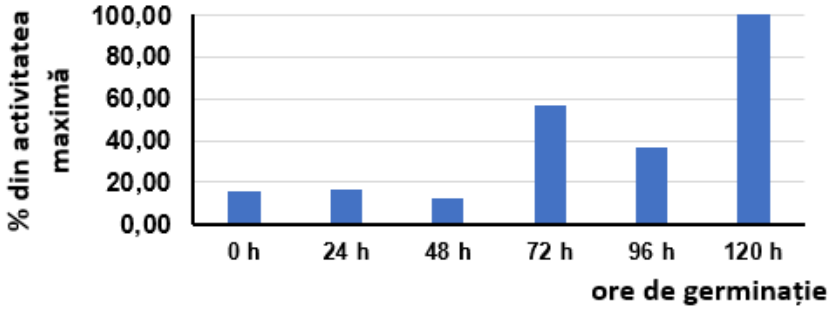


Figura 9. Evoluția activității β-amilazei extrase din semințele de porumb (Zea mays) pe parcursul germinației (reprezentare procentuală)

Activitatea specifică a β-amilazei, exprimată ca µM maltoză/mg proteina/minut, susține aceeași tendință. După o activitate scăzută la început (2,75 µM/mg/min la 0 h), valorile cresc treptat, atingând 14,20 la 72 h și culminând 19,63 µM/mg/min la 120 h (Tabelul 8, Figura 9). Creșterea activității specifice confirmă faptul că, în ultimele etape ale germinației, β-amilaza acționează nu doar în cantitate mare, ci și o eficiență crescută. Această eficiență enzimatică ridicată reflectă adaptarea plantei la cerințele metabolice ale fazei de tranziție către autotrofie.

Tabelul 8 - Variația activității specifice a β -amilazei extrase din semințele de porumb (*Zea mays*) supuse germinației

Ore de germinație	0 h	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
µM maltoză/mg proteina min	2,75	2,60	5,34	14,20	10,15	19,63

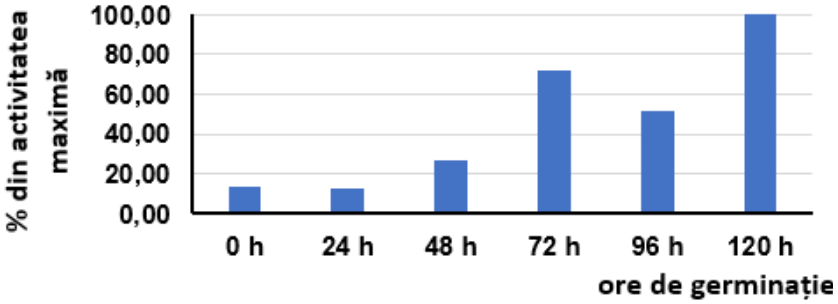


Figura 10. Evoluția activității specifice a β-amilazei extrase din semințele de porumb (Zea mays) pe parcursul germinației (reprezentare procentuală)

Concluzii

Pe parcursul desfășurării experimentelor de laborator, s-au evidențiat o serie de aspecte relevante pri-

vind dinamica procesului de germinație la semințele de porumb (*Zea mays*) și rolul enzimelor implicate în acest proces. Germinația a avut o durată de cinci zile și s-a considerat încheiată în momentul apariției și dezvoltării plantulei. Analiza activității enzimelor amilolitice a arătat o creștere progresivă a activității izoenzimelor α- și β-amilază pe măsură ce germinația a avansat, cu o intensificare semnificativă în ultimele etape. Această tendință a fost susținută și de datele obținute prin tehnica electroforezei, care au evidențiat o activitate enzimatică mai accentuată în a doua parte a perioadei analizate.

Profilul proteinelor solubile a indicat o concentrație crescută în primele faze ale germinației, urmată de o scădere până la 72 de ore și o creștere ușoară până la 120 de ore, comportament observat atât în cazul α-amilazei, cât și al β-amilazei. Activitatea enzimatică, analizată în funcție de momentul recoltării probelor, a fost redusă în primele trei zile, înregistrând o creștere semnificativă la 72 de ore, o ușoară scădere la 96 de ore și o nouă creștere la finalul perioadei de analiză.

Bibliografie:

1. LOPES, J.C., et al. Importance of amylases for physiological quality in maize seeds. *Journal of Seed Science*. 2017, vol. 39, nr. 2, p.123-130. ISSN 2317-1537.
2. TALUKDER, M.R., et al. High amylopectin in waxy maize synergistically affects seed germination and seedling vigour over traditional maize genotypes. *Planta*. 2024. Disponibil: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38773055
3. GONG, X., ZHANG, Q., YANG, L. Ultrasonic treatment can improve maize seed germination and abiotic stress resistance. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024, vol. 99, 106673. Disponibil: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39112960
4. CHEN, J., et al. Effect of seed priming with auxin on ROS detoxification and carbohydrate metabolism and their relationship with germination and early seedling establishment in salt-stressed maize. *BMC Plant Biology*. 2024, vol. 24, nr. 147. Disponibil: https://bmcplantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-024-05413-w
5. LIU, S., et al. Effect of modification by β-amylase and α-glucosidase on the structural and physicochemical properties of maize starch. *Foods.* 2024, vol. 13, nr. 23, p.3763. ISSN 2304-8158. Disponibil: https://www.mdpi.com/2304-8158/13/23/3763
6. RASHWAN, A.K., et al. Eco-friendly approaches in enzymatic starch modification: Recent trends and future prospects. *Environmental Chemistry Letters*. 2024. Disponibil: https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-024-01753-z
7. ALBERTS, B., JOHNSON, A., LEWIS, J., RAFF, M., ROBERTS, K., WALTER, P. *Molecular Biology of the Cell*. 4th ed., Garland Science, 2002.
8. ARTENIE, V., UNGUREANU, E., NEGURĂ, A. *Metode de investigare a metabolismului glucidic și lipidic – manual de lucrări practice*. Iași: Ed. PIM, 2008. 182 p. ISBN 978-973-716-895-5.
9. Australian Government Office of the Gene Technology Regulator. The Biology of Zea mays L. ssp mays (maize or corn), Version 1, 2008.BODEA, C. *Tratat de biochimie vegetală*. Partea I. Fitochimie. Vol. I. Ed. Academiei RPR, 1964.
10. CHEN, K., ARORA, R. Dynamics of the antioxidant system during seed osmopriming, post-priming germination, and seedling establishment in Spinach (Spinacia oleracea). *Plant Science*. 2011, 180(2), p. 212-220.
11. DOBROTĂ, C. *Fiziologia plantelor*. Vol.2. Cluj-Napoca: Editura RISOPRINT, 2013.
12. KASAR, S. S., MAHESHWARI, V. L., PAWAR, P. K. Bioactive α-amylase inhibitors: Sources, mechanism of action, biochemical characterization, and applications. În: *Natural Products as Enzyme Inhibitors: An Industrial Perspective*. 2022, p.59-104.
13. MANCHENKO, G. P. *Handbook of detection of enzymes on electrophoretic gels*. 2nd Ed., CRC Press LLC, 2003.
14. STOSCHECK, C.M. *Quantitation of Protein. Methods in Enzymology*. 1990, vol.182, p.50.
15. VASHISTH, A., NAGARAJAN, S. Characterization of water distribution and activities of enzymes during germination in magnetically-exposed maize (Zea mays L) seeds. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics.* 2010, 47(5), p.311.

16. VIOREL, I. *Fitotehnie*. 2010, p.53-67.
17. WESTERMEIER, R. *Electrophoresis in Practice: A Guide to Methods and Applications of DNA and Protein Separations*. 5th Ed., Wiley-VCH, 2016.

Date despre autori:

***Alexandra ȚIBICHI*,** student doctorand, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza" din Iași, Stațiunea de Cercetare Dezvoltare pentru Acvacultură și Ecologie Acvatică Iași.
ORCID: 0009-0008-8610-9985
E-mail: alexandra.tibichi@uaic.ro

Iurie UNGUREANU, doctor chimist, Profesor de chimie, biologie și fizică, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza" din Iași; Liceul Teoretic „M. Gorki" din Bălți.
ORCID: 0000-0003-4183-7029
E-mail: iurieungureanu67@gmail.com

Marian BURDUCEA, doctor biolog, Stațiunea de Cercetare Dezvoltare pentru Acvacultură și Ecologie Acvatică Iași, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza" din Iași.
ORCID: 0000-0002-6142-438X
E-mail: marian.burducea@uaic.ro

Lenuța DÎRVARIU, biolog, Stațiunea de Cercetare Dezvoltare pentru Acvacultură și Ecologie Acvatică Iași, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza" din Iași.
ORCID: 0000-0003-1094-6345
E-mail: lenuta.dirvariu@uaic.ro

Dana Andreea ȘERBAN, inginer zootehnist, Stațiunea de Cercetare Dezvoltare pentru Acvacultură și Ecologie Acvatică Iași.
ORCID: 0000-0003-4750-7100
E-mail: dana.serban@uaic.ro

Cristian-Alin BARBACARIU, inginer doctor, Stațiunea de Cercetare Dezvoltare pentru Acvacultură și Ecologie Acvatică Iași, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza" din Iași.
ORCID: 0000-0002-7784-3001
E-mail: cristian-alin.barbacariu@uaic.ro

***Victor SURUGIU*,** conf. univ. dr. habil., Universitatea „Alexandru Ioan Cuza" din Iași.
ORCID: 0000-0003-4933-7678
E-mail: vsurugiu@uaic.ro

Prezentat: 01.10.2025