

Ameliorarea cerealelor pentru reducerea factorilor antinutriționali: provocări și perspective

Breeding cereals to mitigate antinutritional factors: challenges and prospects

Matilda Ciucă¹, Cristina -Mihaela Marinciu¹, Liliana Vasilescu¹,
Eugen Petcu¹, Daniel Cristina¹, Alina-Gabriela Turcu¹,
Elena -Laura Coțescu¹, Daniela Horhocea¹, Iulia Vărzaru²

Abstract

Cereal grains, such as wheat, maize, barley, sorghum and oats are foundational components of animal feed globally, providing essential nutrients such as carbohydrates, proteins, lipids, vitamins, and minerals. In addition, cereal grains have high amounts of dietary fiber and antioxidants which have beneficial effects on human health linked with the utilization of whole grain products. The germ has high content of vitamins B and E, unsaturated fats, high quality protein, carbohydrates, and minerals while the bran mostly consist of insoluble carbohydrates such as cellulose, antioxidants, protein, traces of vitamin B and minerals, and also antinutritional components like phytic acid. In cereal grain endosperm is the major component consisting mainly of starch and protein, and small amount of minerals and vitamins.

Despite their nutritional benefits, cereals often contain various anti-nutritional factors (ANFs) that can impair animal growth, nutrient absorption, and overall health. These ANFs include phytic acid, tannins, non-starch polysaccharides (NSPs), protease inhibitors, and lectins, among others. Overcoming the challenge of ANFs in animal feed is increasingly relevant as the demand for efficient and sustainable animal production rises. Cereal breeding, particularly through advanced biotechnological methods, has emerged as a promising strategy to reduce ANFs while maintaining or enhancing the nutritional quality of feed. However, the development of low-ANF cereal varieties remains challenging due to the complex genetic control of these traits, interactions with environmental conditions, potential trade-offs with yield and grain quality, and the need to maintain plant defense mechanisms. This paper explores these challenges and the future directions for cereal breeding to improve human and animal nutrition.

Cuvinte cheie: cereale, antinutrienți (ANF), acid fitic, inhibitori enzimatici, fitază.

Keywords: cereal, antinutrient (ANF), phytic acid, enzyme inhibitors, phytase.

INTRODUCERE

Cerealele reprezintă una dintre cele mai importante surse de hrană pentru populația globului, furnizând carbohidrați, proteine, fibre alimentare, vitamine și minerale. Printre

¹ INCDA Fundulea. E-mail: daniela_horhocea@yahoo.com

² INCDBNA-IBNA Balotetești

cele mai consumate cereale se numără grâul, porumbul, orezul, orzul, secara și ovăzul. Cu toate acestea, cerealele conțin și o serie de compuși naturali (metaboliți secundari) denumiți antinutrienți, care pot influența negativ digestibilitatea și absorbția anumitor nutrienți.

Prezența acestora nu face ca cerealele să fie nesănătoase, însă cunoașterea efectelor lor și a metodelor de reducere este importantă pentru îmbunătățirea valorii nutritive a alimentelor și nutrețurilor pe bază de cereale.

Antinutrienții sunt substanțe naturale prezente în plante care pot reduce disponibilitatea biologică a unor nutrienți sau pot interfera cu procesele digestive. În plante, acești compuși au rol de protecție împotriva dăunătorilor, microorganismelor și condițiilor nefavorabile de mediu (Ali și colab., 2022; Wuni și colab., 2025). Printre cei mai comuni factori antinutriționali prezenți în cereale sunt menționați următorii: fitații (acidul fitic), inhibitorii de enzime (tripsină și alfa-amilază), lectine, saponine și taninuri.

Clasificarea acestora se realizează adesea pe baza structurii lor chimice și a mecanismului prin care inhibă absorbția nutrienților. În principal, acești factori antinutriționali sunt clasificați în două moduri: ca elemente care reduc aportul de nutrienți atât la oameni, cât și la animale, și compuși care pot fi găsiți în dietele umane sau animale care afectează funcția imunologică și funcția reproductivă (Soetan, K. O., & Oyewole, O. E., 2009; Feizollahi și colab., 2021; Burgos VE și Armada M, 2020). Acestea sunt produse prin diferite căi metabolice care modifică metabolismul nutrițional normal general. Cu toate acestea, se constată o lipsă semnificativă de informații referitoare la modul în care factorii antinutriționali influențează simultan absorbția alimentelor și abordează tulburările umane, deoarece cercetările anterioare s-au axat în principal pe efectele lor adverse asupra nutriției umane și a altor aspecte asociate.

Efectele principale ale antinutrienților sunt:

- reducerea absorbției mineralelor;
- diminuarea digestibilității proteinelor;
- inhibarea activității unor enzime digestive;
- reducerea biodisponibilității anumitor vitamine și oligoelemente.

Nivelul antinutrienților în cereale variază în funcție de specie, soi, condițiile de cultivare și metodele de procesare aplicate cerealelor (Salim și colab., 2023).

Acidul Fitic

Acidul fitic (mio-inozitol 1,2,3,4,5,6-hexakisfosfat) reprezintă principala rezervă de fosfor din cereale și leguminoase, care deservește cerințele de biosinteză ale țesuturilor în creștere din timpul germinării. În general, este considerat un factor antinutrițional găsit în cereale, deoarece se poate lega de minerale, proteine și amidon, limitând bio-disponibilitatea acestora, reprezentând între 65% și 85% din conținutul total de fosfor al acestora (Sparvoli, F., & Cominelli, E., 2015; Wuni și colab., 2025). Sărurile de acid fitic sunt în general denumite „fitat(ți)”, reprezentând forma de stocare a acestuia. O cantitate însemnată (90%) din acidul fitic se găsește în stratul de aleuronă sau țărâțe al semințelor monocotiledonate, cum ar fi grâul și orezul, iar 10% se găsește în embrionul cerealelor (Dost & Tokul, 2006; Salim și colab., 2023). Aceste locații distincte ale acidului fitic permit o separare ușoară a acestuia prin procesul de măcinare.

La pH-ul fiziologic, molecula de acid fitic devine puternic încărcată negativ, ceea ce îi conferă o afinitate ridicată pentru cationii bivalenți precum Fe, Ca, Zn și Mg (Singh și colab., 2023). Rezultatul acestei interacțiuni este formarea unor complexe insolubile care nu pot fi absorbite în tractul gastrointestinal, conducând la deficiențe minerale cronice în populațiile care depind masiv de diete bazate pe cereale (Salim și colab., 2023).

Structura chimică a acidului fitic poate fi vizualizată ca un inel de inozitol cu șase grupări fosfat. Procesul de chelatizare urmează o cinetică în care ionii metalici sunt legați de grupările fosfat adiacente. În cazul fierului, bioaccesibilitatea poate scădea drastic, afectând statusul hematologic al consumatorilor. Fitatul nu afectează doar mineralele; el poate forma complexe și cu proteinele, atât în condiții acide, cât și alcaline, reducând solubilitatea acestora și accesul enzimelor proteolitice la legăturile peptidice (Feizollahi și colab., 2021). Pe lângă faptul că este o moleculă chelatoare de minerale, acidul fitic poate acționa ca un antioxidant puternic (de exemplu, reducând peroxidarea lipidică indusă de fier) și poate exprima proprietăți anticancerigene (de exemplu, prin legarea fierului liber, puternicul pro-oxidant, și prin întărirea apoptozei în celulele canceroase).

Din aceste considerente, acidul fitic este considerat că aduce o serie de beneficii pentru sănătate, cum ar fi reducerea riscului anumitor tipuri de cancer, susținerea sănătății inimii și gestionarea calculilor renali (Nath și colab., 2022). În plus, capacitatea acidului fitic de a lega mineralele permite utilizarea sa în anumite aplicații pentru calitate alimentară, cum ar fi stabilizarea culorii verzi a legumelor, prevenirea peroxidării lipidice și reducerea rumenirii enzimatică a fructelor/legumelor.

Aceste proprietăți benefice creează un potențial pentru aplicații cu valoare adăugată în utilizarea acidului fitic în multe domenii noi. Numeroase tehnici de procesare posibile pentru prepararea materiilor prime în industria alimentară pot fi utilizate pentru a reduce concentrația de acid fitic din alimente și a atenua efectele sale antinutriționale.

Inhibitori Enzimatici sau Inhibitori de Proteaze

Reglarea activității proteolitice depinde de inhibitorii de proteaze (IP), care sunt molecule minuscule care împiedică proteazele să își îndeplinească funcțiile (Reig-Otero și colab., 2018). IP interacționează cu substratul lor în două moduri tipice care se găsesc în natură (Ram și colab., 2020). Primul tip de interacțiune se bazează pe reacțiile de captare ireversibile, în care legătura peptidică internă a inhibitorului este scindată prin contactul cu IP, schimbându-i conformația. Deoarece inhibitorii sunt ireversibili și nu își restabilesc niciodată structura anterioară, aceștia sunt uneori cunoscuți sub numele de inhibitori sinucigași. În al doilea rând, interacțiunea inhibitor-substrat este comparabilă cu cea a interacțiunii enzimă-substrat în interacțiunile reversibile de legare strânsă. Versiunea intactă a inhibitorului și variantele sale modificate coexistă în echilibru în cadrul complexului inhibitor de protează.

Complexul inhibitor de protează coexistă în echilibru între forma intactă a inhibitorului și formele modificate ale inhibitorului, permițând inhibitorului să fie disociat de forma sa intactă sau modificată (Ram și colab., 2020).

Inhibitorii de proteaze, în special cei pentru tripsină și chimotripsină, sunt proteine care blochează activitatea enzimelor digestive în sistemul gastrointestinal (Purohit și colab., 2023). Această inhibiție conduce la o digestie incompletă a proteinelor și poate provoca un răspuns fiziologic de hipertrofie pancreatică (Jahn și colab., 2025).

Inhibitorii amilazei sunt proteine care inhibă α -amilaza, enzima responsabilă de descompunerea amidonului în zaharuri. Dar acești inhibitori pentru semințele cerealelor au rol de apărare împotriva insectelor și animalelor erbivore, prin faptul că îngreunează digestia proteinelor de către dăunători, reducând valoarea nutritivă a seminței pentru aceștia.

Patru factori trebuie luați în considerare în legătură cu activitățile inhibitorilor de amilază/tripsină (ATIs) *in vivo* (Geisslitz și colab., 2022):

1. Cantitățile totale de ATI prezente în speciile de cereale și în alimentele pe bază de cereale.

2. Proporțiile diferitelor izoforme de ATI, care diferă prin proprietățile lor biologice (inclusiv alergenicitatea, inhibarea enzimatică și reactivitatea imună).

3. Dacă activitatea lor inhibitorie (împotriva amilazei și proteazelor) este relevantă pentru activitatea lor la om, se poate specula că inhibarea amilazelor poate duce la degradarea incompletă a amidonului, rezultând trecerea fragmentelor de amidon în colon, unde sunt fermentate în gaze, ducând la balonare și disconfort abdominal la persoanele sensibile. În mod similar, capacitatea inhibitorilor de proteaze de a reduce degradarea proteinelor ar putea spori potențialul lor alergen.

4. Alte componente prezente în cereale sau extracte din alimente pe bază de cereale și care pot fi responsabile pentru declanșarea sensibilității non-celiacă.

Lectinele sunt glicoproteine care au capacitatea de a se lega de resturile de carbohidrați de pe suprafața celulelor epiteliale intestinale, perturbând integritatea barierei intestinale și cauzând malabsorbție (Rajagopalan și colab., 2025). Aglutinina din germeni de grâu (WGA) este o lectină specifică care a fost desemnată pe scară largă pentru efectele sale adverse asupra sănătății.

Compușii Fenolici și Taninurile

Taninurile sunt substanțe polifenolice solubile în apă care au capacitatea de a forma complexe insolubile cu proteinele și ioni metalici (Alvarez și colab., 2025). În cereale, taninurile sunt localizate predominant în straturile exterioare (pericarp și tărâțe) și pot inhiba activitatea enzimelor digestive, cum ar fi amilaza, tripsina și lipaza, reducând astfel digestibilitatea carbohidraților și proteinelor (Alvarez și colab., 2025). De asemenea, taninurile pot deteriora mucoasa tractului digestiv și pot interfera cu absorbția unor vitamine esențiale.

Alte Componente Antinutriționale

Saponinele sunt glicozide care pot interacționa cu membranele celulare, având potențial hemolitic, deși în cereale concentrația lor este adesea mai mică decât în leguminoase (Alvarez și colab., 2025). Oxalații sunt săruri ale acidului oxalic care se

leagă de calciu, formând cristale insolubile care pot contribui la formarea calculilor renali.

Astfel, reducerea acestor ANF din alimente și hrana animalelor este esențială pentru sănătatea umană și optimizarea productivității animalelor dar și pentru minimizarea nevoii de aditivi suplimentari pentru furaje (tabelul 1).

Tabelul 1

Factorii antinutriționali în cereale: localizare, mecanisme și consecințe nutriționale
Antinutritional Factors in Cereals: Localization, Mechanisms of Action, and Nutritional Implications

Factor Antinutrițional (ANF)	Localizare Predominantă în Bob	Mecanism de Inhibiție	Consecințe Nutriționale
Acid Fitic	Stratul aleuronic, germen	Chelarea cationilor (Ca, Fe, Zn, Mg)	Deficiențe minerale, anemie
Taninuri	Pericarp, straturi externe	Complexarea proteinelor/enzimelor	Digestibilitate proteică scăzută
Inhibitori de tripsină și amilază	Endosperm, germen	Blocarea sitului activ al enzimei	Malabsorbție proteică, încetinirea digestiei amidonului, activarea răspunsului imun în intestin
Lectine	Germen, tărațe	Legarea de receptori intestinali	Inflamație intestinală
Saponine	Întregul bob	Perturbarea membranelor celulare	Hemoliză, gust amar

Factorii antinutriționali (ANF) pot fi reduși prin procesare:

- *Înmuierea și Efectele Solubilizării*

Înmuierea este adesea primul pas în procesarea cerealelor și facilitează reducerea ANF hidrosolubili, cum ar fi taninurile și o parte din fitatul de sodiu (Popova, A. și Mihaylova, D., 2019). Eficiența procesului depinde de durata înmuierii, temperatură și raportul apă:boabe. Prin eliminarea apei de înmuiere, se pot îndepărta cantități semnificative de compuși fenolici și fitați (Purohit și colab., 2023). Totuși, înmuierea prelungită poate duce și la pierderea unor nutrienți valoroși, precum vitaminele hidrosolubile și unele minerale.

- *Prelucrarea termică*

Analize privind conținutul în acid fitic din făina integrală și tărațele unor cereale (grâu, ovăz, secară și porumb) au evidențiat faptul că cele mai mari și apropiate valori au fost observate la secară și porumb, iar cele mai mici la grâu și ovăz. Prelucrarea termică a acestor două produse, făină și tărațe, la temperatura de 180°C timp de 50 minute a condus la reducerea factorilor antinutriționali și cel mai semnificativ procent de reducere a acidului fitic a fost observat în probele de secară, urmat de probele de ovăz și grâu cu valori apropiate, iar cel mai mic procent de reducere a acidului fitic a fost observat în probele de porumb (Avramiuc M., 2018).

- *Germinarea (Malțificarea)*

Germinarea este considerată una dintre cele mai eficiente metode biologice pentru îmbunătățirea profilului nutrițional al cerealelor. Pe parcursul acestui proces, activitatea enzimelor endogene, în special a fitazei, crește exponențial, conducând la degradarea acidului fitic și eliberarea fosforului și mineralelor legate (Chudasama și colab., 2025).

Studiile arată că germinarea timp de 72 de ore la 28°C poate reduce conținutul de tanin cu 24,47%, acidul fitic cu 16,38% și activitatea lectinelor cu până la 62,50% (Kaur și colab., 2015). Pe lângă reducerea antinutrienților, germinarea crește conținutul de aminoacizi liberi, vitamine (în special din grupul B și C) și biodisponibilitatea zincului (Kaur și colab., 2015a). Modificările conformaționale ale proteinelor în timpul germinării îmbunătățesc proprietățile de hidratare și spumare ale făinurilor rezultate, făcându-le ideale pentru formularea de produse noi (Kaur și colab., 2015a).

- *Fermentarea și Rolul Microorganismelor*

Fermentarea utilizează activitatea metabolică a bacteriilor lactice și a drojdiilor pentru a modifica matricea alimentară. Acest proces nu doar îmbunătățește aroma și textura, dar reduce drastic nivelul de ANF prin producerea de acizi organici (lactic, acetic) care scad pH-ul, optimizând astfel activitatea fitazelor endogene și microbiene (Adebo și colab., 2022). În cazul fermentării aluatului acid ("sourdough"), s-a demonstrat că amestecuri de *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus paracasei* și *Saccharomyces cerevisiae* pot degrada până la 96,6% din acidul fitic (Sawant și colab., 2025). Fermentarea reduce, de asemenea, nivelul de-galactozide (rafinoză, stahioză), care sunt responsabile pentru disconfortul digestiv și flatulență.

- *Extrudarea: Sinergia dintre Presiune și Temperatură*

Extrudarea reprezintă un proces termo-mecanic multifuncțional care implică aplicarea simultană a căldurii, forței de forfecare și presiunii ridicate („HTST - High Temperature Short Time”). Este considerată una dintre cele mai eficiente metode pentru distrugerea inhibitorilor de protează și a lectinelor, deoarece aceste proteine sunt termolabile și se denaturează rapid sub acțiunea căldurii (Kaur și colab., 2015b).

Extrudarea îmbunătățește, de asemenea, digestibilitatea amidonului prin gelatinizare și crește proporția de fibre dietetice solubile, făcând produsele finale mai atractive pentru consumatorii preocupați de sănătate. Cu toate acestea, un exces de produse extrudate în dietă trebuie optimizate, deoarece poate accelera eliberarea glucozei, afectând echilibrul metabolic dacă aceste produse sunt consumate în exces (Zhao și colab., 2024).

- *Intervenții Biotehnologice: Utilizarea Fitazelor Exogene*

Deoarece sistemul digestiv uman și cel al monogastricelor nu posedă activitate fitazică endogenă suficientă, utilizarea fitazelor exogene (enzime care hidrolizează fitatul în inozitol și fosfat anorganic) reprezintă o strategie importantă. O barieră majoră în utilizarea fitazelor este sensibilitatea lor la temperaturile ridicate din timpul granulării furajelor sau coacerii pâinii. Progresele recente în ingineria proteinelor, inclusiv evoluția dirijată și modelarea computațională, au permis dezvoltarea unor fitaze termostabile (Chudasama și colab., 2025). Tehnici precum introducerea punților disulfidice și optimizarea interacțiunilor hidrofobe în miezul enzimei au crescut rezistența acestora la condiții riguroase de procesare (Chudasama și colab., 2025).

Fitazele microbiene, derivate din *Aspergillus niger* sau *Bacillus subtilis*, sunt utilizate pe scară largă pentru a crește biodisponibilitatea fosforului și a mineralelor. Suplimentarea cu

fitază poate crește absorbția fierului de la 0,6-23% la 5,5-42% în dietele bazate pe cereale (Vashishth și colab., 2017). Mai mult, utilizarea acestor enzime are un impact ecologic pozitiv, reducând excreția de fosfor în dejecțiile animale și prevenind astfel poluarea apelor prin eutrofizare (Vashishth și colab., 2017).

- Ameliorarea cerealelor prin programe specifice de reducere parțială a factorilor antinutriționali și creșterea concentrației în fitaze.

Provocări în ameliorarea cerealelor pentru reducerea factorilor antinutriționali

1. Complexitatea genetică a factorilor antinutriționali

Mulți ANF sunt trăsături complexe controlate de mai multe gene, iar factorii de mediu influențează, de asemenea, expresia lor. De exemplu, acumularea de acid fitic implică mai multe căi metabolice, ceea ce face dificilă identificarea și direcționarea unor gene specifice pentru modificare. Taninurile și inhibitorii de protează sunt metaboliți secundari, a căror biosinteză este reglată de o rețea de gene care răspund la diverse stresuri (Duraismwamy și colab., 2023). Astfel, selectarea trăsăturilor legate de reducerea ANF necesită adesea instrumente genomice sofisticate și cercetări semnificative asupra bazei genetice a acestor factori.

2. Compromisuri între calitatea nutrițională și mecanismele de apărare a plantelor

Mulți ANF joacă un rol protector la plante, apărând împotriva dăunătorilor, agenților patogeni și factorilor de stres din mediu. Taninurile, de exemplu, contribuie la apărarea plantei împotriva erbivorismului și a invaziei microbiene. Reducerea acestor compuși poate face culturile de cereale mai susceptibile la boli sau dăunători, necesitând aporturi suplimentare sub formă de pesticide sau erbicide (Feizollahi și colab, 2021). Atingerea unui echilibru optim între nivelurile reduse de ANF și menținerea rezistenței plantelor este o provocare importantă pentru amelioratori.

3. Variabilitate genetică limitată în soiurile comerciale de cereale

Majoritatea soiurilor moderne de cereale au fost dezvoltate prin metode de ameliorare selectivă, adesea pentru producții ridicate și rezistență la boli specifice. Acest lucru a dus la o diversitate genetică redusă în soiurile comerciale, limitând rezerva genetică disponibilă pentru trăsăturile legate de ANF. Rudele sălbatice ale cerealelor și soiurilor locale reprezintă surse valoroase, putând prezenta trăsături dorite, cum ar fi niveluri mai scăzute de ANF specifice, au fost identificate ca surse potențiale de material genetic. Cu toate acestea, introducerea acestor trăsături în linii comerciale cu randament ridicat prin ameliorare convențională necesită mult timp și este dificilă din cauza incompatibilităților genetice și a trăsăturilor nedorite legate de producție sau adaptabilitate mai scăzute (Shewry P.R. și Hey, S.J., 2015; Burgos, V. E., & Armada, M., 2020).

4. Dificultăți în măsurarea și screening-ul nivelurilor de ANF

Măsurarea precisă a ANF din boabele de cereale este esențială pentru programele de ameliorare, dar rămâne o metodă care necesită multă muncă și este costisitoare. Metodele analitice, cum ar fi cromatografia lichidă de înaltă performanță („High-performance liquid chromatography- HPLC”) și spectrofotometria, deși precise, nu sunt fezabile pentru screening-ul la scară largă al liniilor de ameliorare. Prin urmare, amelioratorii se confruntă cu limitări în evaluarea eficientă a unui număr mare de probe pentru conținutul de ANF, încetinind procesul de ameliorare (Purohit și colab., 2023).

5. Acceptarea publică și obstacolele în reglementare

Tehnicile moderne, precum ingineria genetică și editarea genomului, oferă perspective semnificative pentru reducerea nivelurilor de ANF în cereale. De exemplu, CRISPR-Cas9 a fost utilizat pentru a modifica genele implicate în biosinteza acidului fitic, reducând conținutul de acid fitic, menținând în același timp producția (Ahmad, M., 2023; Soni, R.K. și Mod, G., 2024). Cu toate acestea, scepticismul publicului și cerințele stricte de reglementare pentru noile tehnici genomice (NGT) complică dezvoltarea și comercializarea unor astfel de culturi. Preocupările consumatorilor cu privire la siguranța și impactul asupra mediului al culturilor modificate genetic pot descuraja eforturile de ameliorare, limitând utilizarea acestor tehnologii în reducerea ANF.

6. Adaptarea la diverse condiții de mediu

Variabilitatea condițiilor de mediu adaugă un alt nivel de complexitate, deoarece expresia ANF poate fluctua în funcție de condițiile de mediu. Factorii de stres abiotic, precum seceta, temperaturile extreme sau deficitul de nutrienți, pot determina modificări ale metabolismului plantelor și pot stimula sinteza unor ANFs implicați în mecanismele de apărare împotriva factorilor de stres. În consecință, cerealele create pentru a avea ANF reduse în condiții controlate pot prezenta niveluri crescute de ANF ca răspuns la stresul pe câmp, afectând imprevizibil calitatea nutrețurilor (Saurabh și colab, 2021; Wuni și colab., 2025). Prin urmare, amelioratorii trebuie să dezvolte soiuri care pot menține niveluri scăzute de ANF în diverse condiții de mediu, ceea ce poate necesita teste ample în mai multe locații.

Strategii actuale și direcții viitoare

1. Selecție asistată de markeri (MAS) și selecție genomică (GS)

MAS și GS au îmbunătățit eficiența ameliorării prin facilitarea selecției trăsăturilor legate de ANF pe baza markerilor genetici. Aceste tehnici îi ajută pe amelioratori să se concentreze pe alele favorabile, în special pentru trăsăturile cu ereditabilitate scăzută sau moștenire complexă. Cu toate acestea, în ciuda potențialului, aceste metode necesită informații genetice extinse și depind de genomuri de referință bine analizate atât prin genomică cât și metabolomică, care nu sunt întotdeauna disponibile pentru toate culturile de cereale (Duraiswamy și colab., 2023).

2. Abordări biotehnologice

Editarea genetică, cum ar fi CRISPR-Cas9, este promițătoare pentru reducerea ANF prin vizarea directă a genelor implicate în căile de biosinteză a ANF. În plus, ARN de interferență (ARNi) poate silenția/reduce la tăcere genele responsabile de acumularea ANF, reducând eficient nivelurile acestora în plantă (Ahmad, M., 2023; Soni, R.K. și Mod, G., 2024). În ciuda promisiunii, adoptarea depinde în mare măsură de depășirea rezistenței publicului și a obstacolelor de reglementare.

3. Exploatarea diversității genetice de la rudele sălbatice

Programele de pre-ameliorare care utilizează rude sălbatice ale cerealelor explorează introgresia trăsăturilor cu ANF natural scăzut în linii comerciale. De exemplu, unele soiuri de orz sălbatic prezintă niveluri reduse de inhibitori de proteaze și polizaharidele neamidonoase (NSP), oferind oportunități de transfer al acestor trăsături în soiurile cultivate. Această abordare poate crește diversitatea genetică și rezistența la factorii de stres din mediu (Shewry & Hey, 2015; Dempewolf et al., 2017).

4. Ameliorarea pentru îmbunătățirea digestibilității și optimizări nutriționale

Pe lângă reducerea ANF, amelioratorii explorează, de asemenea, abordări pentru a îmbunătăți digestibilitatea nutrienților din cereale, fie prin creșterea producției de fitază endogenă, fie prin optimizarea profilului de aminoacizi al proteinelor din cereale. Astfel de îmbunătățiri pot compensa parțial impactul ANF, făcând alimentele și furajele mai eficiente (Shewry & Hey, 2015).

CONCLUZII

Antinutrienții reprezintă componente naturale ale cerealelor și influențează biodisponibilitatea unor nutrienți esențiali în alimentația umană cât și în nutriția animală.

Dintre aceștia, acidul fitic este considerat unul dintre cei mai importanți compuși datorită capacității sale de a reduce absorbția mineralelor. Alte categorii importante includ taninurile, inhibitorii enzimatici, lectinele, oxalații și saponinele.

Metodele tradiționale și moderne de procesare, precum înmuierea, germinarea, fermentarea, tratamentele termice, extrudarea, completarea cu enzime microbiene (fitaze) și ameliorarea plantelor permit reducerea semnificativă a conținutului de antinutrienți și îmbunătățirea valorii nutritive a cerealelor. Aplicarea acestor metode contribuie la obținerea unor produse alimentare mai sănătoase și mai bine adaptate nevoilor nutriționale ale oamenilor.

În același timp sa nu uităm de faptul că acești compuși se prezintă cu „două fețe” una care ne arată efecte negative și una cu efecte benefice pentru reglarea mai multor procese fiziologice și metabolice. Deși mulți dintre compușii potențial dăunători din plante au fost izolați și explorați, s-a acordat mai puțină importanță impactului pozitiv în comparație cu efectele lor antinutritive. În acest sens, merită explorarea compușilor naturali pe bază de plante pentru a aborda problema rezistenței la medicamente întâlnită în gestionarea și tratarea diferitelor boli. Credem că relatarea actuală a provocărilor, strategiilor și a direcțiilor de cercetare în ceea ce privește rolul și cantitatea compușilor antinutriționali din cereale va oferi o platformă solidă pentru promovarea investigațiilor și explorării viitoare, în vederea elaborării unor strategii adecvate de încorporare și utilizare a acestora ca instrumente terapeutice pentru alimentația umană.

MULȚUMIRI

Sursa de finanțare: Acest studiu a fost finanțat de Ministerul Agriculturii și Dezvoltării Rurale prin proiectul ADER 8.2.2. “Cercetări cu privire la screeningul compoziției chimice a unor materii prime furajere din România în vederea inițierii unei baze de date cu impact la nivel național” (2023-2026).

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

- ADEBO, J.A., NJOBEH, P.B., GBASHI, S., OYEDEJI, A.B., OGUNDELE, O.M., OYEYINKA, S.A. AND ADEBO, O.A., 2022 – *Fermentation of cereals and legumes: Impact on nutritional constituents and nutrient bioavailability*. *Fermentation*, 8(2), p.63.
- AHMAD, M., 2023 – *Plant breeding advancements with “CRISPR-Cas” genome editing technologies will assist future food security*. *Frontiers in plant science*, 14, p.1133036.
- ALI, A., DEVARAJAN, S., MANICKAVASAGAN, A. AND ATA, A., 2022 – *Antinutritional factors and biological constraints in the utilization of plant protein foods*. In *Plant protein foods* (pp. 407-438). Cham: Springer International Publishing.
- ALVAREZ, A., RODRÍGUEZ, A., CHAPARRO, S., BORRÁS, L.M., RACHE, L.Y., BRIJALDO, M.H. AND MARTÍNEZ, J.J., 2025 – *Solid-state fermentation as a biotechnological tool to reduce antinutrients and increase nutritional content in legumes and cereals for animal feed*. *Fermentation*, 11(7), p.359.
- AVRAMIUC, MARCEL, 2018 – *Study on phytic acid content in some Romanian cereal seeds*. *Journal of Experimental and Molecular Biology*, 19(2), 43-46.
- BURGOS, V. E., & ARMADA, M., 2020 – *Implications of processing on the levels of antinutritional factors in cereal grains*. *CABI Reviews*. (2019), 1-20.
- CHUDASAMA, M., CHANDRA, PRADHAN, R., KHAN, A., & RAY, R.C., 2025 – *Engineering phytase for improved thermostability and catalytic efficiency: Impacts on nutrient bioavailability*. *Applied Food Biotechnology*, 12(1), 1–11(e14). <https://doi.org/10.22037/afb.v12i1.48493>.
- DEMPEWOLF, H., BAUTE, G., ANDERSON, J., KILIAN, B., SMITH, C. AND GUARINO, L., 2017 – *Past and future use of wild relatives in crop breeding*. *Crop science*, 57(3), pp.1070-1082.
- DOST, K., & TOKUL, O., 2006 – *Determination of phytic acid in wheat and wheat products by reverse phase high performance liquid chromatography*. *Analytica Chimica Acta*, 558(1-2), 22-27.
- DURASWAMY, A., SNEHA A, N.M., JEBAKANI K, S., SELVARAJ, S., PRAMITHA J, L., SELVARAJ, R., PETCHIAMMAL K, I., KATHER SHERIFF, S., THINAKARAN, J., RATHINAMOORTHY, S. AND KUMAR P, R., 2023 – *Genetic manipulation of anti-nutritional factors in major crops for a sustainable diet in future*. *Frontiers in plant science*, 13, p.1070398.
- FEIZOLLAHI, E., MIRMAHDI, R. S., ZOGHI, A., ZIJLSTRA, R. T., ROOPESH, M. S., & VASANTHAN, T., 2010 – *Review of the beneficial and anti-nutritional qualities of phytic acid, and procedures for removing it from food products*. *Food Research International*, 143, 110284.
- GEISLITZ, S., WEEGELS, P., SHEWRY, P., ZEVALLOS, V., MASCI, S., SORRELLS, M., GREGORINI, A., COLOMBA, M., JONKERS, D., HUANG, X. AND DE GIORGIO, R., 2022 – *Wheat amylase/trypsin inhibitors (ATIs): occurrence, function and health aspects*. *European Journal of Nutrition*, 61(6), pp.2873-2880.
- JAHN, N., GEISLITZ, S., KONRADL, U., FLEISSNER, K., & SCHERF, K. A., 2025 – *Amylase/trypsin-inhibitor content and inhibitory activity of German common wheat landraces and modern varieties do not differ*. *npj Science of Food*, 9(1), 24.
- KAUR, S., DAR, B.N., PATHANIA, S. AND SHARMA, S., 2015a – *Reduction of antinutritional factors in cereal brans for product development*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(3), pp.215-224.
- KAUR, S., SHARMA, S., SINGH, B. AND DAR, B.N., 2015b – *Effect of extrusion variables (temperature, moisture) on the antinutrient components of cereal brans*. *Journal of food science and technology*, 52(3), pp.1670-1676.
- NATH, H., SAMTIYA, M., & DHEWA, T., 2022 – *Beneficial attributes and adverse effects of major plant-based foods anti-nutrients on health: A review*. *Human Nutrition & Metabolism*, 28, 200147.
- POPOVA, A. AND MIHAYLOVA, D., 2019 – *Antinutrients in plant-based foods: A review*. *The Open Biotechnology journal* [online].
- PUROHIT, P., RAWAT, H., VERMA, N., MISHRA, S., NAUTIYAL, A., BHATT, S., BISHT, N., AGGARWAL, K., BORA, A., KUMAR, H. AND RAWAL, P., 2023 – *Analytical approach to assess anti-nutritional factors of grains and oilseeds: A comprehensive review*. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, p.100877.

- RAJAGOPALAN, V. R., SWAMINATHAN, M., DORAISWAMY, U., KARTHIKEYAN, S., MANICKAM, S., & RAVEENDRAN, M., 2025 – *Unveiling the antinutritional factors in millets: A comprehensive review*. ACS Food Science & Technology, 5(6), 2046-2063.
- RAM, S., NARWAL, S., GUPTA, O.P., PANDEY, V. AND SINGH, G.P., 2020 – *Anti-nutritional factors and bioavailability: Approaches, challenges, and opportunities*. Wheat and barley grain biofortification, pp.101-128.
- REIG-OTERO, Y., MAÑES, J. AND MANYES, L., 2018 – *Amylase–trypsin inhibitors in wheat and other cereals as potential activators of the effects of nonceliac gluten sensitivity*. Journal of Medicinal Food, 21(3), pp.207-214.
- SALIM, R., NEHVI, I. B., MIR, R. A., TYAGI, A., ALI, S., & BHAT, O. M., 2023 – *A review on anti-nutritional factors: Unraveling the natural gateways to human health* Frontiers in Nutrition, 10, 1215873.
- SAURABH, V., URHE, S.B., UPADHYAY, A. AND SHANKAR, S., 2021 – *Antinutritional factors in cereals*. In *Handbook of cereals, pulses, roots, and tubers* (pp. 173-192). CRC Press.
- SAWANT, S.S., PARK, H.Y., SIM, E.Y., KIM, H.S. AND CHOI, H.S., 2025 – *Microbial fermentation in food: impact on functional properties and nutritional enhancement—a review of recent developments* Fermentation, 11(1), p.15.
- SHEWRY, P.R. AND HEY, S.J., 2015 – *The contribution of wheat to human diet and health*. Food and energy security, 4(3), pp.178-202.
- SINGH, P., PANDEY, V.K., SULTAN, Z., SINGH, R. AND DAR, A.H., 2023 – *Classification, benefits, and applications of various anti-nutritional factors present in edible crops*. Journal of Agriculture and Food Research, 14, p.100902.
- SOETAN, K. O., & OYEWOLE, O. E., 2009 – *The need for adequate processing to reduce the anti-nutritional factors in plants used as human foods and animal feeds: A review*. African Journal of food science, 3(9), 223-232.
- SONI, R.K. AND MOD, G., 2024 – *Innovative genetic approaches to minimize anti-nutritional compounds in staple crops for future food security: Agricultural and Biological Research*. Volume 40, Issue 4, p.1198-1205 (online).
- SPARVOLI, F., & COMINELLI, E., 2015 – *Seed biofortification and phytic acid reduction: a conflict of interest for the plant?*. Plants, 4(4), 728-755.
- VASHISHTH, A., RAM, S. AND BENIWAL, V., 2017 – *Cereal phytases and their importance in improvement of micronutrients bioavailability*. 3 Biotech, 7(1), p.42.
- WUNI, A., ALEMAWOR, F., MILLS-ROBERTSON, F. C., BOATENG, E. F., & OWUSU-KWARTENG, J., 2025 – *Impact of traditional food processing techniques on mineral bioaccessibility in Ghanaian fermented millet-based Koko and Zoomkoom*. Foods, 14(12), 2126.
- ZHAO, Y., DANG, X., DU, H., WANG, D., ZHANG, J., LIU, R., GE, Z., SUN, Z. AND ZHONG, Q., 2024 – *Understanding the impact of extrusion treatment on cereals: Insights from alterations in starch physicochemical properties and in vitro digestion kinetics* Animals, 14(21), p.3144.