



UNIVERSITATEA
DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE
„VICTOR BABEȘ” DIN TIMIȘOARA



Co-funded by
the European Union

Project no. 2023-1-RO01-KA220-HED-000164767



CURRICULUM



**Parteneriat pentru inovare privind schimbul de bune
practici și elaborarea de inițiative comune de
colaborare la nivel european, legate de conștientizarea
efectelor contaminării asupra sănătății umane**

Proiect Erasmus+ Parteneriate pentru cooperare
Editori: Pinzaru Iulia Andreea, Dehelean Cristina Adriana

INNO-SAFE-LIFE



SPU
Slovenská
poľnohospodárska
univerzita v Nitre





**Co-funded by
the European Union**



Editura „Victor Babeș”

Piața Eftimie Murgu Nr. 2, cam. 316, 300041 Timișoara

Tel./ Fax 0256 495 210

e-mail: evb@umft.ro

www.umft.ro/ro/organizare-evb/

Director general: Prof. univ. dr. Sorin Ursoniu

Colecția: Ghiduri și îndrumătoare de laborator

Coordonator colecție: Prof. univ. dr. Adrian Vlad

Referent științific: Prof. univ. dr. Daliborca Vlad

Indicativ CNCSIS: 324

© 2025 Toate drepturile asupra acestei ediții sunt rezervate.

Reproducerea parțială sau integrală a textului, pe orice suport, fără acordul scris al autorilor este interzisă și se va sancționa conform legilor în vigoare.

ISBN 978-606-786-497-7



CUPRINS

DESCRIERE CURRICULUM	5
CURRICULUM EXTINS	9
Capitolul 1. IMPACTUL CONTAMINANȚILOR DIN SOL ȘI METODELE VERZI INOVATOARE PENTRU REDUCEREA ACESTORA.....	9
1.1 Introducere.....	9
1.2 Patogeni transmiși prin sol ca factori de contaminare a solului.....	9
1.3 Influența pesticidelor asupra sănătății solului	11
1.4 Fitoremedierea ca soluție pentru elementele în urme din sol	12
1.5 Referințe	13
Capitolul 2. REZISTENȚA LA ANTIMICROBIENE REZULTATĂ DIN SELECȚIA NATURALĂ, AGRAVATĂ DE FACTORII UMANI, ȘI METODELE VERZI INOVATOARE DE COMBATERE A ACESTEIA.....	15
2.1 Introducere.....	15
2.2 Soarta rezistenței la antimicrobiene în mediu.....	16
2.3 Pătrunderea antimicrobienelor în mediu.....	17
2.4 Efectele antimicrobienelor asupra sănătății umane și mediului.....	17
2.5 Impactul combinat al antimicrobienelor și poluanților de mediu	18
2.6 Distincția de mediu a rezistenței la antimicrobiene	18
2.7 Influența diferiților factori de mediu asupra rezistenței la antimicrobiene	19
2.8 Posibilul risc al rezistenței la antimicrobiene pentru sănătatea umană și sistemul ecologic	20
2.9 Tehnici de reducere a rezistenței la antibiotice și a contaminării	21
2.10 Referințe	22
Capitolul 3. EFECTELE TOXICE ALE CONTAMINANȚILOR ASUPRA ORGANISMULUI UMAN ȘI METODELE VERZI INOVATOARE DE REDUCERE A ACESTORA.....	31
3.1 Introducere.....	31
3.2 Efectele toxice asupra organismului uman	32
3.3 Căile de expunere	34
3.4 Evaluarea contaminanților.....	35
3.5 Metode verzi inovatoare pentru reducerea efectelor toxice ale contaminanților.....	36
3.6 Referințe	39
Capitolul 4. ROLUL NUTRIȚIEI SĂNĂTOASE ȘI CONSUMUL APROBAT DE SUPLIMENTE ALIMENTARE SIGURE – METODE INOVATOARE DE ABORDARE ȘI EVALUARE A CONȘTIENTIZĂRII	42
4.1 Introducere.....	42



4.2 Fundamentele nutriției sănătoase	43
4.3 Suplimente alimentare: reglementare, siguranță și evaluare științifică.....	44
4.4 Abordări inovatoare în educația nutrițională	46
4.5 Evaluarea nivelului de conștientizare nutrițională	48
4.6 Eficiența intervențiilor nutriționale inovatoare	50
4.7 Referințe	52



DESCRIERE CURRICULUM

Titlul proiectului: Parteneriat pentru inovare privind schimbul de bune practici și elaborarea de inițiative comune de colaborare la nivel european, legate de conștientizarea efectelor contaminării asupra sănătății umane

Acronimul proiectului: INNO-SAFE-LIFE

Nr. proiect: 2023-1-RO01-KA220-HED-000164767

Curriculum (aproximativ 30 pagini) – contribuie la construirea unui mediu sănătos ca bază a sănătății umane, pornind de la solul ecologic, sursa de hrană și sprijin al sănătății umane, până la producerea și consumul de alimente și suplimente alimentare sigure și adecvate. Include date relevante privind protecția solurilor sănătoase, cu rol esențial în producerea alimentelor, medicamentelor, suplimentelor etc., identificarea contaminanților, rezistența antimicrobiană, obținerea de produse naturale și păstrarea principiilor active, precum și valorificarea resurselor vegetale.

Profesori responsabili de partea teoretică:

Coordonator (UMFVBT): Iulia Andreea Pinzaru, Cristina Adriana Dehelean, Diana Simona Tchiakpe-Antal, Codruța Marinela Soica

Partener 1 (UNICAL): Filomena Conforti, Giancarlo Statti, Mary Fucile

Partener 2 (UNIOS): Vrandečić Karolina, Ćosić Jasenka, Baličević Renata, Brigita Popovic

Partener 3 (SUA): Miroslava Kačániová, Natália Čmiková

Partener 4 (UMFCDB): Andreea Arsene, Bruno Velescu, Denisa Udeanu

Partener 5 (FAVISAN): Virginia Faur, Mirabela Faur Timofti, Anca Gidofalvi

Profesori responsabili de partea practică:

Coordonator (UMFVBT): Oana Andrada Iftode, Daliana Ionela Minda, George Andrei Drăghici, Ștefania Dinu, Camelia Alexandrina Szuhanek

Partener 1 (UNICAL): Filomena Conforti, Giancarlo Statti, Mary Fucile

Partener 2 (UNIOS): Vrandečić Karolina, Ćosić Jasenka, Baličević Renata, Brigita Popovic

Partener 3 (SUA): Miroslava Kačániová, Natália Čmiková

Partener 4 (UMFCDB): Andreea Arsene, Bruno Velescu, Denisa Udeanu

Obiective	Acest curriculum își propune să ofere cursanților capacitatea de a: • Explica interdependența dintre solurile sănătoase, calitatea mediului, siguranța alimentară și sănătatea umană. • Detecta și evalua originea, transmiterea și efectele poluanților de mediu, inclusiv rezistența antimicrobiană (AMR). • Aplica tehnici ecologice și inovatoare pentru prevenirea, limitarea sau eliminarea contaminării.
------------------	---



	• Identifica, procesa și optimizează utilizarea resurselor vegetale pentru obținerea de alimente, medicamente și suplimente alimentare sigure. • Combina expertiza din mai multe domenii pentru a aborda provocările legate de sănătatea mediului într-un mod sustenabil. • Conduce inițiative de conștientizare și educare pentru diferite categorii de public la nivel local, național și european.
Abilități cognitive	Cunoștințe aprofundate despre ecosistemele solului și importanța acestora în producția de alimente și stabilitatea mediului. Capacitatea de a analiza și interpreta date privind contaminanții și implicațiile acestora asupra sănătății. Înțelegerea mecanismelor AMR, a căilor de transmitere și a măsurilor sustenabile de combatere. Competențe de cercetare în identificarea, conservarea și aplicarea produselor naturale bioactive. Capacitatea de a integra informații din domeniile agricol, de mediu și al sănătății publice pentru luarea deciziilor. Familiaritate cu legislația UE și standardele internaționale privind protecția mediului, siguranța alimentară și suplimentele alimentare.
Abilități profesionale	Colectarea și analizarea probelor de sol pentru evaluarea stării de sănătate și a nivelului de contaminare. Efectuarea testelor de laborator pentru identificarea poluanților și a indicatorilor AMR. Proiectarea și implementarea de strategii ecologice pentru prevenirea și remediarea contaminării. Dezvoltarea, testarea și asigurarea siguranței produselor nutriționale și medicinale derivate din plante. Crearea de materiale de comunicare eficiente pentru informarea publicului și conștientizarea riscurilor. Aplicarea standardelor recunoscute în practicile agricole și de fabricație pentru a asigura siguranța produselor.
Unități de competență	Sănătatea solului și supraviețuirea umană – principii ale ecologiei solului, prevenirea și monitorizarea degradării. Contaminanți și controlul AMR – metode de detectare, evaluarea riscurilor și strategii de atenuare. Produse naturale și compuși bioactivi – metode sustenabile de obținere, procesare și conservare. Utilizare și consum sustenabil – forme optime de aplicare, integrarea pe piață și măsuri de reducere a deșeurilor.
Elemente de inovare	Îmbinarea cunoștințelor din agricultură, științele mediului, domeniul sănătății și industrie într-o abordare unitară de învățare. Introducerea de conținut nou privind amenințările emergente, precum microplasticele și schimbările de contaminare legate de climă. Utilizarea agenților pe bază de plante și a agenților microbieni ca alternative naturale pentru remediere și prevenirea AMR. Incorporarea unor instrumente avansate precum teledetecția, GIS și platformele digitale pentru monitorizarea mediului și creșterea gradului de conștientizare. Furnizarea unui ghid dedicat metodelor experimentale pentru a conecta conceptele teoretice cu practica aplicată. Proiectarea unor formate de instruire interactive, potrivite atât pentru mediul academic, cât și pentru cel comunitar.



Impact	Rezultate imediate Creșterea expertizei tehnice în domeniul sănătății mediului și controlului contaminării în rândul studenților și profesioniștilor. O mai bună înțelegere de către public a riscurilor de mediu și a practicilor sustenabile de prevenire. Beneficii pe termen mediu Adoptarea pe scară mai largă a practicilor responsabile față de mediu în agricultură, producția de alimente și sănătatea publică. Consolidarea legăturilor dintre universități, industrie și organisme de elaborare a politicilor din cadrul UE. Rezultate pe termen lung Ecosisteme și comunități mai sănătoase, cu expunere redusă la pericolele de mediu. Sisteme alimentare mai bine pregătite pentru a face față provocărilor de mediu și celor legate de sănătate. Crearea unei rețele europene durabile, dedicată promovării mediilor sănătoase și condițiilor de viață sigure.
---------------	---

Ore de activități – curriculum			
Total ore 80	Teoretic 40	Practic 20	Studiu individual 20
Curriculum INNO-SAFE-LIFE			
Date tehnice și științifice	Nr. ore	Obs	
Capitolul 1. Impactul contaminanților din sol și metodele verzi inovatoare pentru reducerea acestora	10	Partea tehnică și științifică constă în 8 ore x 5 zile. În total 40 de ore.	
Capitolul 2. Rezistența antimicrobiană rezultată din selecția naturală, exacerbată de factorii umani, și metodele verzi inovatoare pentru combaterea acesteia	10		
Capitolul 3. Efectele toxice ale contaminanților asupra organismului uman și metodele verzi inovatoare de reducere a acestora	10		
Capitolul 4. Rolul nutriției sănătoase și consumul aprobat de suplimente alimentare sigure – metode inovatoare de abordare și conștientizare	10		
Componenta practică a programului va fi desfășurată în laboratoare specializate din cadrul universităților partenere.		Partea practică constă în 5 ore x 4 zile. În total 20 ore.	
Activitățile sunt concepute în jurul unor abordări experimentale, utilizând tehnici actualizate și protocoale standardizate aplicate pentru:			
(i) protejarea resurselor de sol esențiale pentru producerea alimentelor, a produselor medicinale și a suplimentelor alimentare, contribuind astfel la securitatea alimentară,	5		



(ii) detectarea și evaluarea contaminanților, inclusiv studii privind rezistența antimicrobiană,

5

(iii) obținerea produselor naturale, cu accent pe menținerea integrității și stabilității compușilor activi, și

5

(iv) optimizarea utilizării resurselor vegetale pentru a asigura un consum sigur și eficient.

5

Metode de evaluare

Studentii vor fi evaluați printr-o varietate de metode, inclusiv teste cu răspunsuri multiple și duale, sarcini cu răspunsuri scurte, întrebări structurate sau complementare care necesită rezolvarea de probleme, precum și eseuri ce abordează domeniile-cheie de studiu.

Evaluarea pentru certificarea competențelor

Certificarea competențelor se va baza pe instrumente și metode care respectă standardele profesionale și cognitive, luând în considerare atât indicatorii de performanță, cât și condițiile de aplicare. Evaluarea va măsura gradul în care studenții își dezvoltă abilități în conservarea solului pentru scopuri agricole și medicinale, analiza contaminanților și a rezistenței antimicrobiene, păstrarea compușilor bioactivi din produsele naturale și tehnicile de valorificare a resurselor vegetale pentru aplicații legate de sănătatea umană.

Materiale de studiu și cercetare

Programul promovează implicarea activă a studenților și a cercetătorilor aflați la început de carieră în procesul de învățare continuă. Pe parcursul proiectului și în activitățile ulterioare, vor fi aplicate metode moderne și adaptabile de predare-învățare, care vor integra bune practici internaționale. Materialele programului vor fi structurate sistematic și puse la dispoziție în cinci limbi – engleză, română, italiană, slovacă și croată – adaptate la contextul fiecărei țări participante.



CURRICULUM EXTINS

Capitolul 1. IMPACTUL CONTAMINANȚILOR DIN SOL ȘI METODELE VERZI INOVATOARE PENTRU REDUCEREA ACESTORA

1.1 Introducere

Solurile sănătoase reprezintă fundamentul securității alimentare, al sănătății umane și al stabilității mediului. Ele nu sunt doar suportul pentru creșterea culturilor, ci și o sursă esențială de materii prime pentru medicamente, suplimente alimentare și alte produse indispensabile bunăstării umane. Solul funcționează ca un sistem viu, susținând comunități biologice complexe care reglează ciclurile de nutrienți, filtrează apa și mențin echilibrul ecologic. Atunci când sănătatea solului este compromisă – prin contaminare, degradare sau dezechilibru – aceste funcții sunt perturbate, punând în pericol siguranța alimentară și sănătatea publică.

Acest capitol se concentrează pe trei aspecte esențiale ale protecției solului. Prima parte abordează patogenii transmiși prin sol, care pot persista ani la rând, afectând sănătatea plantelor, reducând producțiile și introducând toxine periculoase în lanțul alimentar. Înțelegerea ciclului lor de viață, a modului de transmitere și a strategiilor de gestionare este crucială pentru menținerea productivității agricole.

A doua parte analizează impactul pesticidelor asupra sănătății solului, subliniind echilibrul delicat dintre controlul organismelor dăunătoare și conservarea biodiversității solului. Deși pesticidele joacă un rol important în protejarea culturilor, utilizarea lor excesivă sau necorespunzătoare poate duce la contaminare persistentă, acumularea de reziduuri toxice și efecte negative de lungă durată asupra mediului. De aceea, utilizarea sustenabilă și practicile eficiente de remediere sunt indispensabile.

Ultima parte explorează fitoremedierea ca soluție inovatoare și ecologică pentru refacerea solurilor contaminate. Valorificând capacitatea naturală a plantelor, algelor și fungilor de a absorbi, transforma sau imobiliza poluanții, fitoremedierea oferă o metodă sustenabilă și cu costuri reduse pentru combaterea contaminării cu elemente în urme, inclusiv metale grele.

Împreună, aceste secțiuni oferă o înțelegere amplă a amenințărilor la adresa sănătății solului și a abordărilor inovatoare pentru protejarea acestuia. Prin integrarea cunoștințelor biologice, a managementului durabil și a tehnologiilor verzi, putem conserva solurile ca bază sigură pentru producția de alimente, resurse medicinale și supraviețuirea umană.

1.2 Patogeni transmiși prin sol ca factori de contaminare a solului

Solul adăpostește cele mai diverse comunități biologice de pe Pământ (Nielsen et al., 2015) și constituie un rezervor pentru numeroși agenți patogeni capabili să provoace boli plantelor. Bolile cauzate de patogenii transmiși prin sol pot duce la pierderi semnificative de producție



pentru multe culturi (Katan, 2017). Acești patogeni includ fungi, oomicete, virusuri, bacterii și nematode. Simptomele tipice ale infecției includ leziuni vizibile, putreziri și ofiliri.

Ofilirea pre-emergență apare atunci când răsadurile tinere se descompun sub suprafața solului înainte de răsărire. Aceasta se manifestă, de obicei, în condiții nefavorabile pentru germinare, cum ar fi temperaturi prea scăzute sau prea ridicate, soluri excesiv de umede, slab drenate sau compacte, precum și în prezența materiei organice necompostate.

Ofilirea post-emergență se produce atunci când tulpinile și rădăcinile răsadurilor sunt atacate la linia solului, ceea ce duce la prăbușirea acestora. Concentrațiile ridicate de sare din sol pot contribui, de asemenea, la apariția acestei probleme.

Putregaiurile radiculare pot afecta plantele și după stadiul de răsad, pe măsură ce fungii invadează țesuturile interne ale rădăcinilor, perturbând aprovizionarea cu apă și nutrienți. Simptomele vizibile deasupra solului includ reducerea vigoarei, îngălbenirea frunzelor, căderea frunzelor, ofilirea vârfului de creștere, uscarea ramurilor și moartea bruscă a plantei. Ofilirile vasculare se caracterizează prin ofilirea plantei și decolorarea sistemului vascular din tulpini, trunchiuri sau ramuri.

Patogenii transmiși prin sol pot supraviețui în sol o parte din ciclul lor de viață. Solul este un mediu eterogen, unde dezvoltarea microbiană este adesea limitată de disponibilitatea substraturilor organice. În consecință, acești patogeni sunt influențați de factorii abiotici și biotici ai solului, precum și de practicile agricole (irigare, lucrări ale solului, aplicarea de gunoi de grajd și fertilizare). Ei pătrund în plante prin organele subterane, dar se pot extinde și la părțile aeriene. Transmiterea se face prin sol, apă contaminată, resturi vegetale sau unelte agricole (Friberg et al., 2005).

Fungii patogeni comuni transmiși prin sol aparțin genurilor *Fusarium*, *Rhizoctonia* și *Phytophthora*, provocând boli precum putregaiuri radiculare, ofiliri și putregaiuri de răsad la diverse culturi. Aceștia sunt dificil de combătut, deoarece pot persista în sol perioade îndelungate sub formă de spori, ciste sau alte structuri rezistente (Alegbeleye et al., 2018). Multe specii produc spori de rezistență foarte durabili — chlamidospori, oospori, microsclerotii sau sclerotii — care pot supraviețui în sol peste 10 ani (Jurković et al., 2017).

În prezența exsudaților radiculari ai unei gazde sensibile sau a unei surse adecvate de nutrienți, aceste structuri germinează și infectează planta dacă condițiile sunt favorabile. Odată instalați, patogenii din sol pot provoca infecții cronice, afectând sănătatea plantelor și reducând producțiile.

Micotoxinele — metaboliți secundari produși de anumiți fungi din sol — pot fi nocive pentru oameni și animale. Ele ajung în alimentația umană direct, prin contaminarea culturilor, sau indirect, prin furaje contaminate (Juraschek et al., 2022).

Strategiile de combatere includ rotația culturilor, sterilizarea solului, folosirea soiurilor rezistente și aplicarea agenților de biocontrol. Practicile care stimulează diversitatea microbiană și biomasa din sol pot întări interacțiunile antagonice și pot contribui la reglarea populațiilor de organisme dăunătoare (Samaddar et al., 2021).



1.3 Influența pesticidelor asupra sănătății solului

Utilizarea durabilă a pesticidelor presupune aplicarea acestora fără a pune în pericol sănătatea umană și resursele naturale — solul, aerul, apa și biodiversitatea. Agenții patogeni, dăunătorii și buruienile din agricultură pot cauza pierderi semnificative de recoltă. În lipsa unor măsuri de protecție, pierderile la nivel mondial pot ajunge la aproximativ 50% (Öerke, 2005).

Una dintre marile provocări ale agriculturii este producerea unei cantități suficiente de alimente pentru o populație globală în creștere, cu un impact minim asupra mediului și biodiversității. Cunoașterea efectelor negative potențiale ale pesticidelor este esențială pentru agricultura durabilă și protecția sustenabilă a plantelor (Barić et al., 2019).

Pesticidele conțin substanțe active — compuși chimici, elemente sau microorganisme — care acționează asupra organismelor dăunătoare. După aplicare, acestea se degradează și se transformă sub influența luminii, temperaturii, umidității și enzimelor plantelor. Viteza și tipul de degradare depind de factori de mediu și de compoziția chimică.

Reziduurile de pesticide sunt cantități mici de substanțe active, exprimate în miligrame per kilogram de produs vegetal. Acestea pot fi prezente în alimente de origine vegetală (fructe, legume, cereale), de origine animală (carne, lapte, ouă), în apa potabilă, în apele de suprafață, în sol și în aerul din spațiile unde se manipulează pesticide (Baličević & Ravlić, 2014).

Pentru fiecare substanță activă aprobată se stabilește o limită maximă de reziduuri (LMR) pentru a garanta siguranța alimentelor, apei, solului sau aerului. Respectarea instrucțiunilor de aplicare este esențială pentru a evita depășirea LMR-urilor (Mešić et al., 2018).

Cantități mari de pesticide ajung în mediu și în sol prin adsorbție, levigare, evaporare și scurgere (Tudi, 2021). Persistența acestora depinde de tipul de sol, solubilitatea pesticidului, timpul de degradare, activitatea microbiologică și condițiile climatice. Reziduurile pot provoca degradarea moderată a solului, îngreunând regenerarea acestuia.

Poluanții frecvenți din sol includ metale grele, hidrocarburi aromatice policiclice (HAP) și poluanți organici persistenti (POP). Sursele POP includ utilizarea intensivă a îngrășămintelor minerale și a produselor fitosanitare, precum și emisiile industriale. Aceste substanțe sunt persistente, toxice, bioacumulative și pot fi transportate pe distanțe mari prin atmosferă. Exemple: bifenili policlorurați (PCB), pesticide organoclorurate (OCP) și dibenzofurani policlorurați (PCDF) (Sofilić, 2014).

Remedierea solului contaminat cu pesticide poate implica desorbție la temperatură joasă, incinerare, bioremediere sau fitoremediere. Alegerea metodei depinde de tipul pesticidului, tipul de sol și condițiile climatice. Ideal, aceste proceduri ar trebui să degradeze complet contaminanții fără a produce compuși intermediari nocivi (Đokić et al., 2012).

Deși aplicarea pesticidelor este strict reglementată, educația continuă a fermierilor este esențială pentru promovarea agriculturii durabile, a măsurilor de protecție personală și a respectării instrucțiunilor producătorilor.



1.4 Fitoremedierea ca soluție pentru elementele în urme din sol

Plantele au dezvoltat mecanisme multiple pentru a tolera concentrații mari și toxice de metale grele. Remedierea solurilor contaminate poate fi realizată prin metode fizice (levigarea solului), chimice sau biologice (bioremediere) (Singh et al., 2003).

Fitoremedierea — alături de stabilizare, rizofiltrare, fitovolatilizare și levigarea solului — este o metodă biologică ce folosește plante, alge și fungi pentru a reduce concentrația poluanților din sol, apă sau aer (Tangahu et al., 2011). Aceste organisme absorb, degradează sau transformă substanțele nocive, contribuind la refacerea ecosistemelor și la îmbunătățirea calității mediului.

Mecanismele principale includ:

- Fitoproliferarea – plantele cresc în zone contaminate și absorb poluanții prin rădăcini.
- Fitorizostaza – plantele acumulează poluanți în țesuturi fără a suferi daune majore, facilitând îndepărtarea acestora.
- Fitodegradarea – enzimele produse de plante descompun sau transformă poluanții în compuși mai puțin nocivi.
- Fitoextracția – plantele absorb poluanții, care sunt apoi eliminați prin recoltarea biomasei.
- Fitorizofiltrarea – rădăcinile filtrează poluanții din apă.

Termenul fitoremediere provine din grecescul phyto (plantă) și latinescul remedio (a trata, a reface) și desemnează utilizarea plantelor și microorganismelor asociate pentru izolarea, transportul, detoxifierea sau mineralizarea poluanților din sol, reducând concentrația, mobilitatea sau toxicitatea acestora (Prasad, 2003).

Uptake-ul metalelor grele are loc prin absorbție radiculară, transport rădăcină-lăstar și sechestrare. Multe metale sunt solubile și ușor absorbite, iar altele devin disponibile prin secreția de agenți chelatori de către rădăcini (Dalvi & Bhalerao, 2013). Absorbția se face prin:

- Calea apoplastică – difuzie pasivă prin țesuturi neviabile.
- Calea simplastică – transport activ prin țesuturi vii.

După absorbție, metalele formează complexe cu chelatori în celulele rădăcinilor și pot fi imobilizate sau transportate în părțile aeriene prin xilem (Ali et al., 2013; Thakur et al., 2016; Kumar et al., 2022).

Plantele cu o capacitate excepțională de acumulare sunt denumite hiperacumulatori (Trapp & Legind, 2010). Multe specii pot absorbi plumb, cadmiu, crom, arsen și radionuclizi. Fitoextracția este eficientă pentru eliminarea atât a metalelor esențiale (Fe, Mn, Zn, Cu, Mg, Mo, Ni), cât și a celor fără funcție biologică cunoscută (Cd, Cr, Pb, Co, Ag, Se, Hg) (Vamerali et al., 2009).

Avantajele fitoremedierii includ eficiența, costurile reduse, aplicabilitatea la o gamă largă de poluanți și caracterul ecologic. Este o soluție optimă pentru suprafețe mari cu niveluri scăzute sau moderate de contaminare și nu necesită echipamente costisitoare sau personal specializat.



1.5 Referințe

- Alegbeleye OO, Singleton I, Sant'Ana AS. Sources and contamination routes of microbial pathogens to fresh produce during field cultivation: A review. *Food Microbiol.* 2018;73:177-208. doi:10.1016/j.fm.2018.01.003. PMID: 29526204; PMCID: PMC7127387.
- Ali H, Khan E, Sajad MA. Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. *Chemosphere.* 2013;91(7):869-881. doi:10.1016/j.chemosphere.2013.01.075.
- Baličević R, Ravlić M. *Herbicidi u zaštiti bilja*. Osijek: Poljoprivredni fakultet; 2014.
- Barić K, Bažok R, Pintar A. Potrošnja pesticida u poljoprivredi u Hrvatskoj u razdoblju 2012.-2017. *Glasilo biljne zaštite.* 2019;19(5):537-548.
- Dalvi AA, Bhalerao SA. Response of plants towards heavy metal toxicity: An overview of avoidance, tolerance and uptake mechanism. *Ann Plant Sci.* 2013;2(09):362-368. Available from: <https://www.annalsofplantsciences.com/index.php/aps/article/view/87>
- Đokić M, Bilandžić N, Briški F. Postupci uklanjanja pesticida iz okoliša. *Kem Ind.* 2012;61(7-8):341-348.
- Friberg H, Lagerlöf J, Rämert B. Influence of soil fauna on fungal plant pathogens in agricultural and horticultural systems. *Biocontrol Sci Technol.* 2005;15(7):641-658. doi:10.1080/09583150500086979.
- Juraschek LM, Kappenberg A, Amelung W. Mycotoxins in soil and environment. *Sci Total Environ.* 2022;814:152425. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.152425.
- Jurković D, Ćosić J, Vrandečić K. *Pseudogljive i gljive ratarskih kultura*. Osijek: Poljoprivredni fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera; 2017.
- Katan J. Diseases caused by soilborne pathogens: biology, management and challenges. *J Plant Pathol.* 2017;99(2):305-315. Available from: <http://www.jstor.org/stable/44686775>
- Kumar S, Chhabra V, Author C, Bishnoi U. Translocation mechanism of heavy metal in plant roots: Concepts & conflicts: A review paper. *Pharma Innov J.* 2022;11(7S):2320-2329. Available from: <https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue7S/PartAC/S-11-6-437-902.pdf>
- Mešić A, Juran I, Pajač Živković I. Važnost doze pesticida u dostizanju ciljeva moderne poljoprivrede, osobito zdravstvenu ispravnost hrane. *Glasilo biljne zaštite.* 2018;18(5):428-430.
- Nielsen UN, Wall DH, Six J. Soil biodiversity and the environment. *Annu Rev Environ Resour.* 2015;40:63-90. doi:10.1146/annurev-environ-102014-021257.
- Örke EC. Crop losses to pests. *J Agric Sci.* 2005;144(1):31-43. doi:10.1017/S0021859605005708.
- Peer WA, Baxter IR, Richards EL, Freeman JL, Murphy AS. Phytoremediation and hyperaccumulator plants. In: Tamas MJ, Martinoia E, editors. *Molecular Biology of Metal Homeostasis and Detoxification*. Berlin: Springer; 2005. p. 299-340.



Prasad MNV. Phytoremediation of metal-polluted ecosystems: Hype for commercialization. *Russ J Plant Physiol.* 2003;50(5):686-701. doi:10.1023/A:1025600627085.

Samaddar S, Karp DS, Schmidt R, Devarajan N, McGarvey JA, Pires AFA, et al. Role of soil in the regulation of human and plant pathogens: soils' contributions to people. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2021;376(1834):20200179. doi:10.1098/rstb.2020.0179.

Singh OV, Labana S, Pandey G, Budhiraja R, Jain RK. Phytoremediation: An overview of metallic ion decontamination from soil. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2003;61(5):405-412. doi:10.1007/s00253-003-1244-4.

Sofilić T. Onečišćenje i zaštita tla. Sisak: Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet; 2014.

Tangahu BV, Abdullah SRS, Basri H, Idris M, Anuar N, Mukhlisin M. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *Int J Chem Eng.* 2011;2011:939161. doi:10.1155/2011/939161.

Thakur S, Singh L, Ab Wahid Z, Siddiqui MF, Atnaw SM, Din MF. Plant-driven removal of heavy metals from soil: Uptake, translocation, tolerance mechanism, challenges, and future perspectives. *Environ Monit Assess.* 2016;188(4):206. doi:10.1007/s10661-016-5211-9.

Trapp S, Legind CN. Uptake of organic contaminants from soil into vegetables and fruits. In: Swartjes FA, editor. *Dealing with Contaminated Sites*. Dordrecht: Springer; 2010. p. 369-408. doi:10.1007/978-90-481-9757-6_13.

Tudi M, Ruan HD, Wang L, Lyu J, Sadler R, Connell D, et al. Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(3):1112. doi:10.3390/ijerph18031112.

Vamerali T, Bandiera M, Mosca G. Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land: A review. *Environ Chem Lett.* 2009;8(1):1-17. doi:10.1007/s10311-009-0268-0.

Yan A, Wang Y, Tan SN, Yusof MLM, Ghosh S, Chen Z. Phytoremediation: A promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. *Front Plant Sci.* 2020;11:359. doi:10.3389/fpls.2020.00359.



Capitolul 2. REZISTENȚA LA ANTIMICROBIENE REZULTATĂ DIN SELECȚIA NATURALĂ, AGRAVATĂ DE FACTORII UMANI, ȘI METODELE VERZI INOVATOARE DE COMBATERE A ACESTEIA

2.1 Introducere

Un pas esențial în protejarea sănătății publice și a integrității mediului îl reprezintă analiza sistematică și identificarea precisă a contaminanților, incluzând detectarea și monitorizarea rezistenței la antimicrobiene în diferite ecosisteme.

Rezistența la antimicrobiene și poluarea au devenit probleme majore de sănătate publică și mediu la nivel global. Datorită utilizării pe scară largă a antimicrobienelor în medicină și creșterea animalelor, reziduurile antimicrobiene sunt eliberate constant în mediu, deteriorând ecosistemele și favorizând dezvoltarea și răspândirea rezistenței la antibiotice. Este adesea trecut cu vederea faptul că variabilele de mediu contribuie la poluarea cu antimicrobiene și la dezvoltarea rezistenței. Oamenii poartă un număr mare de gene și bacterii rezistente la antimicrobiene, ceea ce crește riscul ca bacteriile patogene să dezvolte rezistență și sporește probabilitatea contactului uman cu agenți patogeni rezistenți la antimicrobiene. De la descoperirea lor în secolul XX, antimicrobienele au fost utilizate pe scară largă în prevenirea și tratamentul bolilor, precum și în creșterea animalelor, datorită eficienței lor împotriva bacteriilor patogene (Hao et al., 2014; Bacanlı și Basaran, 2019; Hutchings et al., 2019).

Dezvoltarea antimicrobienelor, dintre care peste 100.000 de tone sunt utilizate anual la nivel mondial, a salvat milioane de vieți (Danner et al., 2019). Totuși, aplicarea pe scară largă a antimicrobienelor a dus inevitabil la scurgeri și reziduuri în mediu (Chen et al., 2020). Antimicrobienele sunt eliberate în mediu fie direct, fie prin metabolismul gazdei, în special în aplicații agricole și de acvacultură (Bilal et al., 2019). Deși antimicrobienele au timpi de înjumătățire relativ scurți, de la câteva ore la câteva zile, utilizarea incorectă și eliberarea continuă au dus la prezența lor în apele uzate, subterane și de suprafață (Wei et al., 2011; Gothwal și Shashidhar, 2015; Chen et al., 2019). În plus, reziduuri antimicrobiene au fost detectate în legume, produse lactate, ouă și alte alimente, expunând oamenii la antimicrobiene pe termen lung. Cercetări recente au arătat că reziduurile de antibiotice pot avea efecte nocive asupra organismelor vii (Petersen et al., 2021; Qian et al., 2021). Prin urmare, contaminarea cu antimicrobiene a devenit o problemă internațională (Wang et al., 2021).

Bacteriile rezistente la antimicrobiene (ARB) și genele de rezistență la antimicrobiene (ARGs) sunt generate și transmise în principal de antibiotice (Wang et al., 2020; Shen et al., 2021). Prin transferul orizontal de gene (HGT), microorganismele, în special agenții patogeni clinici, dobândesc ARGs din mediu, reducându-și susceptibilitatea la antibiotice (Guo et al., 2022). Rezistența la antimicrobiene se poate răspândi mai ușor în mediu datorită creșterii rapide și necontrolate a microorganismelor. În ultimul deceniu, ARGs au amplificat riscurile pe care microbiile le prezintă pentru sănătatea umană (Zhang et al., 2022). Se estimează că, la nivel global, 6,22 milioane de decese în 2019 au fost atribuite, direct sau indirect, bolilor cauzate de rezistența la antimicrobiene (Murray et al., 2022). Rezistența la antimicrobiene a devenit deja o amenințare semnificativă la adresa sănătății publice la nivel mondial (Lin et al., 2021). Aceasta deoarece antimicrobienele, ARGs și ARB—considerate frecvent poluanți emergenți ai mediului—sunt dificil de eliminat de către stațiile de epurare a apelor uzate (Zhang et al.,



2018; Cerqueira et al., 2019). ARB, ARGs și antimicrobienele au fost raportate în numeroase medii (Li et al., 2021), inclusiv în atmosferă, ceea ce crește riscul expunerii umane (Wang et al., 2019; Zhao et al., 2022).

Stomacul este principalul organ din corpul uman responsabil cu absorbția, digestia și găzduirea microbiomului. Importanța microbiomului intestinal pentru sănătatea umană a ieșit recent în evidență (Jin et al., 2017; Yuan et al., 2019). Boli precum obezitatea și boala cronică de rinichi pot fi declanșate de perturbări ale microbiotei intestinale (Gerard, 2016; Nallu et al., 2017). Totuși, antimicrobienele și ARGs afectează în principal bacteriile intestinale, crescând riscurile pentru sănătatea umană (Duan et al., 2022). În medii cu o populație microbiană ridicată, cum este intestinul, HGT este mai probabil să apară (McInnes et al., 2020). Consumul de alimente sau apă contaminate cu reziduuri de antibiotice și ARGs este îngrijorător, deoarece reduce diversitatea bacteriană intestinală și favorizează colonizarea ARB și amplificarea ARGs, scăzând rezistența la pătrunderea agenților patogeni (Anthony et al., 2021).

Pe lângă numeroșii poluanți rezultați din activitatea umană, antimicrobienele interacționează și cu alte elemente sau poluanți din mediul natural complex, generând riscuri mai mari pentru ecosisteme și sănătatea publică (Qin et al., 2022; Wang et al., 2023). Acești contaminanți influențează dezvoltarea bacteriilor multirezistente și îmbogățirea și transmiterea ARGs (Xia et al., 2019; Li et al., 2022). Antimicrobienele și ARGs pot provoca efecte mai grave din cauza acestor circumstanțe imprevizibile și variabile.

2.2 Soarta rezistenței la antimicrobiene în mediu

Majoritatea compușilor antimicrobieni sunt produși în mod natural și au capacitatea fie de a ucide, fie de a inhiba microorganismele (Kumar et al., 2019). Una dintre cele mai semnificative descoperiri medicale ale secolului al XX-lea a fost descoperirea antibioticelor (Hutchings et al., 2019). De la descoperirea penicilinei, dezvoltarea antibioticelor a cunoscut o perioadă de aur. Numeroase antimicrobiene au fost identificate, utilizate pentru prevenirea bolilor și au devenit o componentă vitală a îngrijirii medicale moderne (Laws et al., 2019). În prezent, sunt utilizate peste 150 de antimicrobiene, care pot fi clasificate, în funcție de structura lor chimică, în grupe precum β -lactamine, macrolide, chinolone și aminoglicozide (Tasho et al., 2016).

Antimicrobienele acționează prin inhibarea formării peretelui celular bacterian, prin interacțiunea cu membrana celulară pentru a-i modifica permeabilitatea, prin interferarea cu sinteza proteinelor și prin împiedicarea replicării și transcrierii acizilor nucleici (Hutchings et al., 2019). Pe lângă utilizările lor terapeutice, antimicrobienele au fost folosite pe scară largă în agricultură pentru controlul bolilor și dăunătorilor, precum și în hrana animalelor pentru stimularea creșterii (Hao et al., 2014; Zhou et al., 2018). Utilizarea antimicrobienelor în scopuri medicale este, de fapt, mai frecventă în China și în Statele Unite decât în agricultură, acvacultură și producția zootehnică (Zhang et al., 2019).

Antimicrobienele sunt produse în cantități mari și utilizate la nivel global pentru a răspunde cerințelor îngrijirii medicale și gestionării bolilor. Din fericire, conștientizarea faptului că utilizarea necorespunzătoare și excesivă a antibioticelor poate dăuna atât mediului, cât și sănătății umane este în creștere. Ca urmare, se manifestă tot mai mult un curent de reducere a utilizării inutile a antibioticelor și de dezvoltare a unor alternative mai sigure.



2.3 Pătrunderea antimicrobienele în mediu

Există numeroase căi prin care antimicrobienele pot ajunge în mediu și pot afecta atât ecosistemele, cât și sănătatea umană. Principalele rezervoare de antimicrobiene sunt solul și apa. Sulfonamidele au o biodisponibilitate scăzută; prin urmare, după ce au fost digerate de porci, concentrațiile lor în urină au variat între 4,54% și 69,22%, iar în fecale între 15,03% și 26,55% (Qiu et al., 2016). Conform unui studiu similar, atunci când pacienții au luat solimicină pe cale orală, concentrația medicamentului în urină și fecale a fost de 14,1% și, respectiv, 76,5% (MacLauchlin et al., 2018). Chen et al. (2020) au raportat că deșeurile umane și animale au reprezentat, respectiv, 42,6% și 57,6% din eliberarea de antimicrobiene.

Deșeurile provenite de la bovine și păsări de curte au fost utilizate în principal ca îngrășăminte în agricultură, iar eventualele antibiotice reziduale s-au infiltrat în sol și au ajuns în apele de suprafață, în apele subterane și în alte ecosisteme acvatice prin scurgere (Bombaywala et al., 2021). În schimb, deșeurile umane ajung, de obicei, în stațiile de epurare a apelor uzate (WWTP) prin sistemele de canalizare ale gospodăriilor. Cu toate acestea, WWTP-urile au fost doar parțial eficiente în eliminarea antibioticelor (Aydin et al., 2019; Behera et al., 2011).

Apele de suprafață au fost expuse la apele uzate tratate provenite din WWTP-uri, iar nămolul activat din aceste instalații a fost reciclat ca îngrășământ biologic, permițând antimicrobienele să intre în sol și în ciclurile naturale ale apei (Langbehn et al., 2021). Antimicrobiene au fost detectate în apele uzate, apele de suprafață, apa potabilă, apele subterane și în sol (Yao et al., 2021), cu concentrații care variază de obicei între ng/L și mg/L (Kovalakova et al., 2020).

2.4 Efectele antimicrobienele asupra sănătății umane și mediului

Mediile acvatice sunt bogate în cianobacterii, iar marea roșie și înfloririle algale sunt cauzate de proliferarea excesivă a acestora. În plus față de reziduurile prezente în mediu, antimicrobienele sunt uneori aplicate pentru a eradica înfloririle de cianobacterii. Cu toate acestea, s-a raportat că antimicrobienele pot stimula creșterea cianobacteriilor și formarea înfloririlor la concentrații de mediu de doar 300 ng/L (Xu et al., 2021). În mod similar, Jiang et al. (2021) au descoperit că anumite cianobacterii produc mai multă microcistină ca răspuns la concentrații scăzute de antimicrobiene.

Prezența antimicrobienele în mediu crește probabilitatea eliberării de microcistină și a apariției înfloririlor de cianobacterii, ceea ce perturbă echilibrul ecologic și amenință indirect sănătatea oamenilor și a animalelor (Lei et al., 2021; Wan et al., 2021). În plus, fitoplanctonul, ca producător primar în ecosisteme, este sensibil la anumite antimicrobiene (Guo et al., 2012). Antimicrobienele pot inhiba fotosinteza și pot afecta creșterea fitoplanctonului (Wan et al., 2015). Datorită detectării multiplelor antimicrobiene în mediu, cercetările s-au orientat de la studierea efectelor unui singur compus antimicrobian la investigarea efectelor expunerii combinate la mai multe antimicrobiene (Kovalakova et al., 2020).

Deși peștii sunt, în general, mai puțin sensibili la antimicrobiene decât algele, ei rămân totuși ținte importante în mediul acvatic (Yang et al., 2020). Zebrafish, un organism model utilizat pe scară largă, este folosit frecvent în investigațiile toxicologice (Yang et al., 2021). Numeroase studii recente au evaluat toxicitatea antimicrobienele asupra zebrafish-ului. S-a demonstrat că antibioticele din clasa macrolidelor afectează negativ creșterea, ficatul și funcția cardiacă la zebrafish (Yan et al., 2019; Zhang et al., 2020). Expunerea acută la antibiotice poate provoca modificări comportamentale și declin cognitiv, iar expunerea prelungită la oxitetraciclină poate



altera homeostazia hormonului tiroidian și a serotoninei în creierul zebrafish-ului (Li et al., 2020).

Dozele de antimicrobiene prezente în mediu pot, de asemenea, să conducă la dereglări ale microbiotei intestinale, la afectarea barierei intestinale și la compromiterea funcțiilor fiziologice ale peștilor (Zhao et al., 2021). Reziduuri antimicrobiene au fost detectate în icrele de pește, iar antibioticele s-au dovedit capabile de a afecta creșterea zebrafish-ului în perioada de reproducere și să reducă rata de supraviețuire a descendenților (Qiu et al., 2020). Mai mult, unele efecte negative ale antibioticelor au fost observate și la mamifere și amfibieni (Peltzer et al., 2017; Kwon et al., 2020).

2.5 Impactul combinat al antimicrobienei și poluanților de mediu

Numeroși poluanți, inclusiv pesticide, metale grele, compuși fluorurați și microplastice (MP), au fost generați prin activitatea umană și eliberați în mediu. Microplasticele au atras o atenție semnificativă ca poluanți de mediu recent recunoscuți și sunt frecvent detectate în apă (Dobrijevic et al., 2016). Cercetătorii au descoperit recent că antimicrobienele pot fi absorbite de aceste particule de plastic prin legături de hidrogen, interacțiuni hidrofobe, forțe Van der Waals și interacțiuni electrostatice — în special în cazul particulelor mai mici de 5 micrometri (Guo et al., 2019; Guo și Wang, 2019; Li et al., 2018). Această adsorbție poate amplifica efectele toxice asupra organismelor acvatice.

Azitromicina și claritromicina, la o concentrație de 50 mg/mL MP (tereftalat, acid polilactic, polioximetilen și polistiren), au fost raportate de Gonzalez-Pleiter et al. (2021) ca fiind extrem de inhibitoare pentru creșterea cianobacteriilor și pentru conținutul de clorofilă. Mai mult, s-a constatat că adăugarea a 0,26 mg/L de microplastice din polistiren la amestec a determinat acumularea în scoici a unor cantități mai mari de oxitetraciclină și fluoropirimidină (Wang et al., 2020). În mod similar, adăugarea de microplastice din polistiren cu dimensiunea de 500 nm la o concentrație de 26 mg/L a amplificat semnificativ imunotoxicitatea flufenicolului și tetraciclinei asupra scoicilor (Zhou et al., 2021). Mai important, pot apărea riscuri pentru sănătate dacă concentrațiile de antimicrobiene la om se îmbogățesc suplimentar prin lanțul trofic.

Diferiți ioni metalici au fost identificați în sol și apă, indicând că poluarea cu metale grele este o altă problemă de mediu la nivel global (Liu et al., 2017). Adsorbția antimicrobienei de către microplastice poate fi fie facilitată, fie inhibată de anumiți ioni metalici (Yu et al., 2020). Conform unui studiu recent, interacțiunile dintre metalele grele și antimicrobiene pot influența efectele lor toxice. De exemplu, complexarea $\text{Cu}^{2+}/\text{Cd}^{2+}$ cu clortetraciclină poate provoca toxicitate antagonică asupra cianobacteriilor (You et al., 2022).

2.6 Distincția de mediu a rezistenței la antimicrobiene

Incidența și transmiterea genelor de rezistență la antimicrobiene (ARG) și a bacteriilor rezistente la antimicrobiene (ARB) se află în centrul preocupărilor crescânde de sănătate publică legate de rezistența la antimicrobiene. În natură, selecția microbiană pe termen lung sub stresul mediului duce la formarea ARB și ARG, iar utilizarea incorectă și excesivă a antimicrobienei a agravat această situație (Santos-Lopez et al., 2021).



Primele mecanisme de rezistență bacteriană la antimicrobiene includ exprimarea proteinelor transportoare de eflux sau reducerea permeabilității membranei pentru a împiedica pătrunderea antimicrobienele. Al treilea și al patrulea mecanism implică dezvoltarea de enzime care modifică sau descompun antimicrobienele, modificarea sau protejarea țintelor antimicrobiene pentru a reduce afinitatea acestora și producerea de proteine care pot substitui funcția țintei, dar care nu sunt inhibitate de antimicrobiene (Khan et al., 2018). Fără îndoială, aceasta reprezintă o amenințare serioasă atât pentru mediu, cât și pentru sănătatea umană.

ARB și ARG au fost detectate frecvent în mediile naturale în ultima perioadă, mediile de mediu precum solul și apa oferind gazde stabile pentru schimbul de ARG între ARB. Habitatul principal pentru niveluri ridicate de ARB și ARG include apele uzate spitalicești, apele uzate din acvacultură și stațiile de epurare a apelor uzate (WWTP). Elementele genetice mobile (MGE) pot juca roluri surprinzător de mari în răspândirea rezistenței la antibiotice (Wang et al., 2018). ARG, MGE și ARB din aer au fost adesea trecute cu vederea. Abundența ARG aeropurtate este influențată de factori sezonieri precum temperatura, umiditatea și circulația aerului, iar studiile au raportat că bioaerosolii reprezintă o cale majoră de propagare a ARG în fermele de bovine (Cabello et al., 2016).

Prin transfer vertical de gene și transfer orizontal de gene (HGT), ARB și ARG din aceste habitate au fost continuu îmbogățite, dând naștere la diferite bacterii patogene rezistente la antimicrobiene care, în final, contaminatează fructele, legumele și alte alimente consumate zilnic de oameni (Pintor-Cora et al., 2021). Fără să știe, oamenii sunt înconjurați de ARB și ARG. Remarcabil este faptul că activitățile umane, cum ar fi călătoriile și comerțul internațional cu alimente, au contribuit de asemenea la răspândirea globală a ARG (Hu et al., 2008). Oamenii pot acționa, într-o anumită măsură, ca potențiali purtători de ARG, eliberându-le în mediu și contribuind la diseminarea lor (Zhou et al., 2018).

2.7 Influența diferiților factori de mediu asupra rezistenței la antimicrobiene

Metale grele

Numeroase studii au examinat mecanismele care influențează răspândirea rezistenței la antibiotice, iar acești factori prezintă similitudini cu cei care afectează contaminarea cu antimicrobiene. Se raportează că antimicrobienele reziduale sunt principala cauză prin care bacteriile dobândesc ARG-uri din mediu și își cresc rata de mutație (Gu et al., 2021). Pe lângă antibiotice, metalele grele joacă, de asemenea, un rol esențial în apariția și propagarea rezistenței la antibiotice. Abundența ARG-urilor a fost demonstrată ca având o corelație puternică cu concentrația de metale grele din sursele de apă contaminate (Komijani et al., 2021). Deși nu sunt principalul factor de transfer al ARG-urilor, speciile reactive de oxigen (ROS) se consideră că au un rol (Ren et al., 2021). Un posibil mecanism prin care metalele grele favorizează dezvoltarea ARB este inducerea stresului oxidativ, ceea ce crește nivelurile intracelulare de ROS (Bombaywala et al., 2021).

În plus, cercetările au demonstrat existența unui mecanism de protecție încrucișată la bacterii, unde rezistența microbiană la antimicrobiene este legată de rezistența la metale (Bergholz et al., 2012). În condiții de stres cauzat de metale grele, anumite proteine pot fi exprimate mai frecvent în bacterii, crescând rezistența acestora la agenți antimicrobieni (Zhong et al., 2022). Mai multe gene care codifică rezistența atât la metale, cât și la antibiotice prezintă asocieri genetice cu unele elemente genetice mobile (MGE) (Imran et al., 2019). Prin urmare, metalele grele pot juca un rol crucial în dezvoltarea rezistenței la antibiotice, facilitând dobândirea de



către bacterii a MGE-urilor și ARG-urilor. În plus, metalele grele au efecte pe termen lung în promovarea răspândirii orizontale a ARG-urilor, datorită persistenței lor în mediu și rezistenței la degradare (Buledi et al., 2021).

Microplastice (MPs)

Prezența plasticului în mediu oferă microorganismelor — în special pe MP-uri, care atrag o atenție tot mai mare — un nou tip de nișă biologică (Feng et al., 2021). Suprafața MP-urilor este colonizată de microorganisme, facilitând transferul și schimbul de ARG-uri prin contact strâns între celule. Un studiu recent a raportat că majoritatea bacteriilor rezistente la multiple antibiotice provin de pe MP-uri, rata de detecție a ARG-urilor fiind cu 14,7% mai mare pe MP-uri decât în apă. În același studiu, s-a constatat că ARB-urile erau de 100–5000 de ori mai abundente în probele de MP decât în probele de apă (Zhang et al., 2020).

Elemente suplimentare

Un alt factor care influențează răspândirea rezistenței la antibiotice este reprezentat de hidrocarburile policiclice aromatice (PAH). În solurile contaminate cu PAH, au fost detectate concentrații ridicate de tetraciclină, sulfonamide, aminoglicozide, ampicilină și fluorochinolone — împreună cu ARG-uri. În aceste condiții, MGE-urile și integronii au crescut prevalența transferului orizontal de gene (HGT) (Maurya et al., 2021). Fungicidele, pesticide utilizate frecvent, pot îmbogăți ARG-urile și pot modifica compoziția microbiomului intestinal al nevertebratelor de sol, precum *Enchytraeus crypticus*, pe lângă efectul de distrugere a fungilor (Zhang et al., 2019).

Aceste constatări subliniază rolul esențial al mediului în dezvoltarea superbacteriilor și a altor bacterii multi-rezistente la antimicrobiene, care reprezintă o amenințare gravă pentru sănătatea umană. Contaminanții de mediu, în special, au o influență semnificativă asupra răspândirii rezistenței la antimicrobiene. Unele substanțe utilizate frecvent pentru remedierea solului și tratarea apei influențează, de asemenea, răspândirea rezistenței la antimicrobiene, pe lângă ceilalți poluanți de mediu.

De exemplu, apele uzate și apa potabilă pot fi tratate prin dezinfectare cu clor; totuși, dezinfectarea cu clor eliberează MGE-uri și ARG-uri în mediu după eliminarea ARB-urilor. Aceste materiale genetice pot fi apoi preluate de microorganisme rezistente la clor în mod natural, datorită mutațiilor genetice, promovând astfel răspândirea ARG-urilor (Jin et al., 2020). Deși substanțele de tip acid humic din compușii dizolvați s-au dovedit a induce transmiterea ARG-urilor bacteriene, biocharul (cărbunele vegetal) rămâne o opțiune promițătoare pentru remedierea solului (Liu et al., 2021).

2.8 Posibilul risc al rezistenței la antimicrobiene pentru sănătatea umană și sistemul ecologic

Mediul poate furniza agenților patogeni factori de rezistență, făcându-i mai puțin susceptibili la efectele antimicrobiene și, în consecință, îngreunând prevenirea și tratarea bolilor microbiene. Bacteriile rezistente la antimicrobiene (ARB) afectează oamenii și mediul mai direct decât genele de rezistență la antimicrobiene (ARG). Bacteriile patogene umane



rezistente la antimicrobiene (ARHPB) au fost detectate în solul și apa din apropiere, iar un studiu a arătat că fermele de animale reprezintă o sursă semnificativă de ARB și ARG, care contaminează mediul înconjurător (Fang et al., 2018). Deși acest lucru ar trebui să constituie un semnal de avertizare, în prezent nu există o metodă practică prin care răspândirea rezistenței la antibiotice să poată fi prevenită complet.

2.9 Tehnici de reducere a rezistenței la antibiotice și a contaminării

Unul dintre pașii esențiali în abordarea problemei globale a contaminării cu antimicrobiene este degradarea acestora în mediu. În același timp, având în vedere amenințarea pe care rezistența la antimicrobiene o reprezintă pentru sănătatea globală, este esențial să se înțeleagă eficiența metodelor actuale de eliminare și să se dezvolte tratamente inovatoare pentru ARG-uri și ARB-uri. În prezent, stațiile de epurare a apelor uzate (WWTP) sunt responsabile în principal pentru îndepărtarea antimicrobienelor, ARB-urilor și ARG-urilor. Totuși, deși WWTP-urile convenționale pot reduce semnificativ încărcătura bacteriană, capacitatea lor de a diminua ARG-urile este limitată (Hassoun-Kheir et al., 2020).

Procese de oxidare avansată (AOP)

Oxidantii puternici, cum ar fi cei utilizați în tehnologiile AOP, precum Fenton, fotocataliza și piruvatul activat, pot descompune substanțele periculoase din apă (Wang et al., 2020). Antimicrobienele, în calitate de poluanți organici, au demonstrat degradări semnificative în urma tratamentului AOP. Mecanismele de oxidare diferite duc la căi distincte de descompunere a antimicrobienelor (Li et al., 2023). Cu toate acestea, îndepărtarea poluanților complexi numai prin AOP nu este foarte eficientă. Prin urmare, pentru o eliminare mai bună, AOP poate fi combinată cu alte tehnici, precum tratarea cu membrane, fotoliza și metode biologice (Leng et al., 2020).

Deși tehnologiile AOP sunt eficiente în eliminarea poluanților, există dezavantaje notabile. Aplicarea practică trebuie să țină cont de costurile de operare și întreținere. Un singur proces AOP nu poate elimina complet ARG-urile și nici nu poate mineraliza total antimicrobienele; prin urmare, este esențială înțelegerea toxicității produselor intermediare formate în timpul degradării. De asemenea, îmbunătățirea capacității AOP de a elimina ARG-urile este crucială pentru combaterea rezistenței la antibiotice. În prezent, AOP este utilizată mai ales pentru tratarea apelor uzate și rar pentru eliminarea genelor rezistente și a antimicrobienelor din sol și din dejecțiile animale (Phoon et al., 2020).

Zone umede construite (CW)

Datorită costului redus și eficienței potențiale în eliminarea contaminanților organici, zonele umede construite (CW) au fost deja aplicate în tratarea apelor uzate (Fang et al., 2017). Studii anterioare au arătat că CW poate elimina ARB-urile, ARG-urile și antimicrobienele prin mecanisme precum absorbția și degradarea de către macroplante, degradarea microbiană și adsorbția pe substrat (Sharma et al., 2016). Totuși, tipul de plante, tipul de substrat, temperatura ambientală și designul CW influențează eficiența de îndepărtare (Chen et al., 2016).



Deși CW nu sunt la fel de eficiente ca AOP în eliminarea poluanților, sustenabilitatea lor și costurile reduse de construcție și întreținere le fac o tehnologie ecologică excelentă. Aerarea intermitentă s-a dovedit utilă în îmbunătățirea îndepărtării contaminanților și a calității apei. Având în vedere potențialul lor de eliminare, CW ar putea fi utilizate ca tratament secundar pentru apele uzate municipale după procesarea WWTP. Cercetările viitoare ar trebui să se concentreze pe interacțiunile dintre CW și alte tehnologii de tratare, precum și pe persistența și degradarea poluanților în sistemele CW (Chen et al., 2016).

Celule microbiene de combustie (MFC)

O altă formă promițătoare de biotehnologie verde, MFC-urile oferă atât beneficii de mediu, cât și economice, descompunând poluanții în timp ce generează energie electrică. În tratarea apelor uzate provenite de la porcine, care conțin sulfamide, eficiențele de îndepărtare pentru sulfametoxazol, sulfadiazină și sulfametazină au fost raportate la 99,46–99,53%, 13,39–66,91% și, respectiv, 32,84–67,21% (Cheng et al., 2020). Într-un studiu recent, Long et al. (2021) au dezvoltat sisteme MFC-Fenton și MFC cu catod de aer, care au degradat cu succes tetraciclina.

Un sistem combinat, CW-MFC, a fost dezvoltat pentru tratarea apelor uzate, obținând o eliminare a ciprofloxacinii de peste 90% și a sulfadiazinei de peste 80%, reducând semnificativ emisiile de metan (Xu et al., 2021). Îmbunătățiri suplimentare, precum utilizarea de noi materiale umplutură din fier-carbon, au sporit aderența microbiană și au crescut eficiența micro-electrolizei, ducând la o eliminare mai mare a ciprofloxacinii comparativ cu sistemele CW-MFC convenționale (Dai et al., 2022). Notabil, MFC-urile au fost utilizate și pentru remedierea *in situ* a solurilor contaminate cu antimicrobiene, reducând riscul de eliberare a ARG-urilor și nivelurile de reziduuri antimicrobiene din sol (Song et al., 2022).

Alte tehnologii

Tratamentul cu microalge a fost studiat pe larg pentru remedierea apelor uzate. Acest proces îndepărtează antimicrobienele din apă în principal prin adsorbție, hidroliză, acumulare și fotodegradare indirectă (Leng et al., 2020). Este adesea combinat cu bacterii, lumină UV sau nămol activat pentru a îmbunătăți rata de îndepărtare a antimicrobienelor. Metodele bazate pe microalge au demonstrat o eficiență de eliminare de peste 90% pentru tetraciclină, amoxicilină, cefalosporine și florfenicol (Song et al., 2022).

Majoritatea acestor tehnologii se concentrează pe eliminarea antimicrobienelor din apele reziduale. Totuși, antimicrobienele veterinare din gunoiul de grajd pot fi tratate și prin compostare, o tehnică de remediere biologică. Eficiența compostării depinde de tipul de compus antimicrobian (Ezzariai et al., 2018).

2.10 Referințe

Anthony WE, Burnham C-AD, Dantas G, Kwon JH. The gut microbiome as a reservoir for antimicrobial resistance. J Infect Dis. 2021;223(Suppl 3):S209–S213.



Aydin S, Aydin ME, Ulvi A, Kilic H. Antibiotics in hospital effluents: Occurrence, contribution to urban wastewater, removal in a wastewater treatment plant, and environmental risk assessment. *Environ Sci Pollut Res.* 2019;26:544–58.

Bacanli M, Basaran N. Importance of antibiotic residues in animal food. *Food Chem Toxicol.* 2019;125:462–6.

Behera SK, Kim HW, Oh JE, Park HS. Occurrence and removal of antibiotics, hormones and several other pharmaceuticals in wastewater treatment plants of the largest industrial city of Korea. *Sci Total Environ.* 2011;409:4351–60.

Bergholz TM, Bowen B, Wiedmann M, Boor KJ. *Listeria monocytogenes* shows temperature-dependent and -independent responses to salt stress, including responses that induce cross-protection against other stresses. *Appl Environ Microbiol.* 2012;78:2602–12.

Bilal M, Ashraf SS, Barceló D, Iqbal HMN. Biocatalytic degradation/redefining “removal” fate of pharmaceutically active compounds and antibiotics in the aquatic environment. *Sci Total Environ.* 2019;691:1190–1211.

Bombaywala S, Mandpe A, Paliya S, Kumar S. Antibiotic resistance in the environment: A critical insight on its occurrence, fate, and eco-toxicity. *Environ Sci Pollut Res.* 2021;28:24889–916.

Bombaywala S, Purohit HJ, Dafale NA. Mobility of antibiotic resistance and its co-occurrence with metal resistance in pathogens under oxidative stress. *J Environ Manage.* 2021;297:113315.

Buledi JA, Amin S, Haider SI, Bhanger MI, Solangi AR. A review on detection of heavy metals from aqueous media using nanomaterial-based sensors. *Environ Sci Pollut Res.* 2021;28:58994–902.

Cabello FC, Godfrey HP, Buschmann AH, Dölz HJ. Aquaculture as yet another environmental gateway to the development and globalisation of antimicrobial resistance. *Lancet Infect Dis.* 2016;16:e127–33.

Cerqueira F, Matamoros V, Bayona J, Pina B. Antibiotic resistance genes distribution in microbiomes from the soil-plant-fruit continuum in commercial *Lycopersicon esculentum* fields under different agricultural practices. *Sci Total Environ.* 2019;652:660–70.

Chen J, Ying GG, Deng WJ. Antibiotic residues in food: Extraction, analysis, and human health concerns. *J Agric Food Chem.* 2019;67:7569–86.

Chen J, Ying GG, Wei XD, Liu YS, Liu SS, Hu LX, et al. Removal of antibiotics and antibiotic resistance genes from domestic sewage by constructed wetlands: Effect of flow configuration and plant species. *Sci Total Environ.* 2016;571:974–82.

Chen S, Wang J, Feng H, Shen D, He S, Xu Y. Quantitative study on the fate of antibiotic emissions in China. *Environ Geochem Health.* 2020;42:3471–9.

Cheng D, Ngo HH, Guo W, Lee D, Nghiem DL, Zhang J, et al. Performance of microbial fuel cell for treating swine wastewater containing sulfonamide antibiotics. *Bioresour Technol.* 2020;311:123588.



- Dai M, Wu Y, Wang J, Lv Z, Li F, Zhang Y, et al. Constructed wetland-microbial fuel cells enhanced with iron carbon fillers for ciprofloxacin wastewater treatment and power generation. *Chemosphere*. 2022;305:135377.
- Danner MC, Robertson A, Behrends V, Reiss J. Antibiotic pollution in surface fresh waters: Occurrence and effects. *Sci Total Environ*. 2019;664:793–804.
- Dobrijevic D, Abraham AL, Jamet A, Maguin E, van de Guchte M. Functional comparison of bacteria from the human gut and closely related non-gut bacteria reveals the importance of conjugation and a paucity of motility and chemotaxis functions in the gut environment. *PLoS One*. 2016;11:e0159030.
- Duan H, Yu L, Tian F, Zhai Q, Fan L, Chen W. Antibiotic-induced gut dysbiosis and barrier disruption and the potential protective strategies. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2022;62:1427–52.
- Ezzariai A, Hafidi M, Khadra A, Aemig Q, El Fels L, Barret M, et al. Human and veterinary antibiotics during composting of sludge or manure: Global perspectives on persistence, degradation, and resistance genes. *J Hazard Mater*. 2018;359:465–81.
- Fang H, Han L, Zhang H, Long Z, Cai L, Yu Y. Dissemination of antibiotic resistance genes and human pathogenic bacteria from a pig feedlot to the surrounding stream and agricultural soils. *J Hazard Mater*. 2018;357:53–62.
- Fang H, Zhang Q, Nie X, Chen B, Xiao Y, Zhou Q, et al. Occurrence and elimination of antibiotic resistance genes in a long-term operation integrated surface flow constructed wetland. *Chemosphere*. 2017;173:99–106.
- Feng G, Huang H, Chen Y. Effects of emerging pollutants on the occurrence and transfer of antibiotic resistance genes: A review. *J Hazard Mater*. 2021;420:126602.
- Gerard P. Gut microbiota and obesity. *Cell Mol Life Sci*. 2016;73:147–62.
- Gonzalez-Pleiter M, Pedrouzo-Rodríguez A, Verdú I, Leganés F, Marco E, Rosal R, et al. Microplastics as vectors of the antibiotics azithromycin and clarithromycin: Effects towards freshwater microalgae. *Chemosphere*. 2021;268:128824.
- Gothwal R, Shashidhar T. Antibiotic pollution in the environment: A review. *Clean Soil Air Water*. 2015;43:479–89.
- Gu X, Zhai H, Cheng S. Fate of antibiotics and antibiotic resistance genes in home water purification systems. *Water Res*. 2021;190:116762.
- Guo A, Zhou Q, Bao Y, Qian F, Zhou X. Prochloraz alone or in combination with nano-CuO promotes the conjugative transfer of antibiotic resistance genes between *Escherichia coli* in pure water. *J Hazard Mater*. 2022;424:127761.
- Guo RX, Chen JQ. Phytoplankton toxicity of the antibiotic chlortetracycline and its UV light degradation products. *Chemosphere*. 2012;87:1254–9.
- Guo X, Chen C, Wang J. Sorption of sulfamethoxazole onto six types of microplastics. *Chemosphere*. 2019;228:300–8.
- Guo X, Wang J. Sorption of antibiotics onto aged microplastics in freshwater and seawater. *Mar Pollut Bull*. 2019;149:110511.



Hao H, Cheng G, Iqbal Z, Ai X, Hussain HI, Huang L, et al. Benefits and risks of antimicrobial use in food-producing animals. *Front Microbiol.* 2014;5:288.

Hassoun-Kheir N, Stabholz Y, Kreft JU, de la Cruz R, Romalde JL, Nesme J, et al. Comparison of antibiotic-resistant bacteria and antibiotic resistance genes abundance in hospital and community wastewater: A systematic review. *Sci Total Environ.* 2020;743:140804.

Hu J, Shi J, Chang H, Li D, Yang M, Kamagata Y. Phenotyping and genotyping of antibiotic-resistant *Escherichia coli* isolated from a natural river basin. *Environ Sci Technol.* 2008;42:3415–20.

Hutchings MI, Truman AW, Wilkinson B. Antibiotics: Past, present and future. *Curr Opin Microbiol.* 2019;51:72–80.

Imran M, Das KR, Naik MM. Co-selection of multi-antibiotic resistance in bacterial pathogens in metal and microplastic contaminated environments: An emerging health threat. *Chemosphere.* 2019;215:846–57.

Jiang Y, Liu Y, Zhang J. Mechanisms for the stimulatory effects of a five-component mixture of antibiotics in *Microcystis aeruginosa* at transcriptomic and proteomic levels. *J Hazard Mater.* 2021;406:124722.

Jin M, Liu L, Wang DN, Yang D, Liu WL, Yin J, et al. Chlorine disinfection promotes the exchange of antibiotic resistance genes across bacterial genera by natural transformation. *ISME J.* 2020;14:1847–56.

Jin Y, Wu S, Zeng Z, Fu Z. Effects of environmental pollutants on gut microbiota. *Environ Pollut.* 2017;222:1–9.

Khan A, Miller WR, Arias CA. Mechanisms of antimicrobial resistance among hospital-associated pathogens. *Expert Rev Anti Infect Ther.* 2018;16:269–87.

Komijani M, Shamabadi NS, Shahin K, Eghbalpour F, Tahsili MR, Bahram M. Heavy metal pollution promotes antibiotic resistance potential in the aquatic environment. *Environ Pollut.* 2021;274:116569.

Kovalakova P, Cizmas L, McDonald TJ, Marsalek B, Feng M, Sharma VK. Occurrence and toxicity of antibiotics in the aquatic environment: A review. *Chemosphere.* 2020;251:126351.

Kumar M, Jaiswal S, Sodhi KK, Shree P, Singh DK, Agrawal PK, et al. Antibiotics bioremediation: Perspectives on its ecotoxicity and resistance. *Environ Int.* 2019;124:448–61.

Kwon HJ, Mohammed AE, Eltom KH, Albrahim JS, Alburae NA. Evaluation of antibiotic-induced behavioral changes in mice. *Physiol Behav.* 2020;223:113015.

Langbehn RK, Michels C, Soares HM. Antibiotics in wastewater: From its occurrence to the biological removal by environmentally conscious technologies. *Environ Pollut.* 2021;275:116603.

Laws M, Shaaban A, Rahman KM. Antibiotic resistance breakers: Current approaches and future directions. *FEMS Microbiol Rev.* 2019;43:490–516.

Lei H, Song Y, Dong M, Chen G, Cao Z, Wu F, et al. Metabolomics safety assessments of microcystin exposure via drinking water in rats. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2021;212:111989.



- Leng L, Wei L, Xiong Q, Xu S, Li W, Lv S, et al. Use of microalgae-based technology for the removal of antibiotics from wastewater: A review. *Chemosphere*. 2020;238:124680.
- Li J, Dong T, Keerthisinghe TP, Chen H, Li M, Chu W, et al. Long-term oxytetracycline exposure potentially alters brain thyroid hormone and serotonin homeostasis in zebrafish. *J Hazard Mater*. 2020;399:123061.
- Li J, Zhang K, Zhang H. Adsorption of antibiotics on microplastics. *Environ Pollut*. 2018;237:460–7.
- Li N, Chen J, Liu C, Yang J, Zhu C, Li H. Cu and Zn exert a greater influence on antibiotic resistance and its transfer than doxycycline in agricultural soils. *J Hazard Mater*. 2022;423:127042.
- Li S, Zhang C, Li F, Hua T, Zhou Q, Ho SH. Technologies towards antibiotic resistance genes (ARGs) removal from aquatic environment: A critical review. *J Hazard Mater*. 2021;411:125148.
- Li S, Wu Y, Zheng H, Li H, Zheng Y, Nan J, et al. Antibiotics degradation by advanced oxidation process (AOPs): Recent advances in ecotoxicity and antibiotic-resistance genes induction of degradation products. *Chemosphere*. 2023;311:136977.
- Lin Z, Yuan T, Zhou L, Cheng S, Qu X, Lu P, et al. Impact factors of the accumulation, migration and spread of antibiotic resistance in the environment. *Environ Geochem Health*. 2021;43:1741–58.
- Liu J, Wang P, Wang C, Qian J, Hou J. Heavy metal pollution status and ecological risks of sediments under the influence of water transfers in Taihu Lake, China. *Environ Sci Pollut Res*. 2017;24:2653–66.
- Liu X, Wang D, Tang J, Liu F, Wang L. Effect of dissolved biochar on the transfer of antibiotic resistance genes between bacteria. *Environ Pollut*. 2021;288:117718.
- Long S, Zhao L, Chen J, Kim J, Huang CH, Pavlostathis SG. Tetracycline inhibition and transformation in microbial fuel cell systems: Performance, transformation intermediates, and microbial community structure. *Bioresour Technol*. 2021;322:124534.
- Lv M, Zhang D, Niu X, Ma J, Lin Z, Fu M. Insights into the fate of antibiotics in constructed wetland systems: Removal performance and mechanisms. *J Environ Manage*. 2022;321:116028.
- MacLauchlin C, Schneider SE, Keedy K, Fernandes P, Jamieson BD. Metabolism, excretion, and mass balance of solithromycin in humans. *Antimicrob Agents Chemother*. 2018;62:e01474–17.
- Maurya AP, Rajkumari J, Pandey P. Enrichment of antibiotic resistance genes (ARGs) in polyaromatic hydrocarbon-contaminated soils: A major challenge for environmental health. *Environ Sci Pollut Res*. 2021;28:12178–89.
- McInnes RS, McCallum GE, Lamberte LE, van Schaik W. Horizontal transfer of antibiotic resistance genes in the human gut microbiome. *Curr Opin Microbiol*. 2020;53:35–43.



- Murray CJL, Ikuta KS, Sharara F, Swetschinski L, Robles Aguilar G, Gray A, et al. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: A systematic analysis. *Lancet*. 2022;399:629–55.
- Nallu A, Sharma S, Ramezani A, Muralidharan J, Raj D. Gut microbiome in chronic kidney disease: Challenges and opportunities. *Transl Res*. 2017;179:24–37.
- Peltzer PM, Lajmanovich RC, Attademo AM, Junges CM, Teglia CM, Martinuzzi C, et al. Ecotoxicity of veterinary enrofloxacin and ciprofloxacin antibiotics on anuran amphibian larvae. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2017;51:114–23.
- Petersen BD, Pereira TCB, Altenhofen S, Nabinger DD, Ferreira PMA, Bogo MR, et al. Antibiotic drugs alter zebrafish behavior. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol*. 2021;242:108936.
- Phoon BL, Ong CC, Mohamed Saheed MS, Show PL, Chang JS, Ling TC, et al. Conventional and emerging technologies for removal of antibiotics from wastewater. *J Hazard Mater*. 2020;400:122961.
- Pintor-Cora A, Alvaro-Llorente L, Otero A, Rodriguez-Calleja JM, Santos JA. Extended-spectrum beta-lactamase-producing Enterobacteriaceae in fresh produce. *Foods*. 2021;10:2609.
- Qian M, Wang J, Ji X, Yang H, Tang B, Zhang H, et al. Sub-chronic exposure to antibiotics doxycycline, oxytetracycline or florfenicol impacts gut barrier and induces gut microbiota dysbiosis in adult zebrafish (*Danio rerio*). *Ecotoxicol Environ Saf*. 2021;221:112464.
- Qin Z, Wang W, Weng Y, Bao Z, Yang G, Jin Y. Bromuconazole exposure induces cardiotoxicity and lipid transport disorder in larval zebrafish. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol*. 2022;262:109451.
- Qiu J, Zhao T, Liu Q, He J, He D, Wu G, et al. Residual veterinary antibiotics in pig excreta after oral administration of sulfonamides. *Environ Geochem Health*. 2016;38:549–56.
- Qiu W, Fang M, Magnuson JT, Greer JB, Chen Q, Zheng Y, et al. Maternal exposure to environmental antibiotic mixture during gravid period predicts gastrointestinal effects in zebrafish offspring. *J Hazard Mater*. 2020;399:123009.
- Ren CY, Wu EL, Hartmann EM, Zhao HP. Biological mitigation of antibiotic resistance gene dissemination by antioxidant-producing microorganisms in activated sludge systems. *Environ Sci Technol*. 2021;55:15831–42.
- Santos-Lopez A, Marshall CW, Haas AL, Turner C, Rasero J, Cooper VS. The roles of history, chance, and natural selection in the evolution of antibiotic resistance. *eLife*. 2021;10:e70676.
- Sharma VK, Johnson N, Cizmas L, McDonald TJ, Kim H. A review of the influence of treatment strategies on antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes. *Chemosphere*. 2016;150:702–14.
- Shen Y, Ryser ET, Li H, Zhang W. Bacterial community assembly and antibiotic resistance genes in the lettuce-soil system upon antibiotic exposure. *Sci Total Environ*. 2021;778:146255.



- Song HL, Zhang C, Lu YX, Li H, Shao Y, Yang YL. Enhanced removal of antibiotics and antibiotic resistance genes in a soil microbial fuel cell via in situ remediation of agricultural soils with multiple antibiotics. *Sci Total Environ.* 2022;829:154406.
- Song L, Wang C, Jiang G, Ma J, Li Y, Chen H, et al. Bioaerosol is an important transmission route of antibiotic resistance genes in pig farms. *Environ Int.* 2021;154:106559.
- Tasho RP, Cho JY. Veterinary antibiotics in animal waste, its distribution in soil and uptake by plants: A review. *Sci Total Environ.* 2016;563–564:366–76.
- Wan J, Guo P, Peng X, Wen K. Effect of erythromycin exposure on the growth, antioxidant system and photosynthesis of *Microcystis flos-aquae*. *J Hazard Mater.* 2015;283:778–86.
- Wan L, Wu Y, Zhang B, Yang W, Ding H, Zhang W. Effects of moxifloxacin and gatifloxacin stress on growth, photosynthesis, antioxidant responses, and microcystin release in *Microcystis aeruginosa*. *J Hazard Mater.* 2021;409:124518.
- Wang F, Gao J, Zhai W, Cui J, Liu D, Zhou Z, et al. Effects of antibiotic norfloxacin on the degradation and enantioselectivity of herbicides in aquatic environment. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2021;208:111717.
- Wang J, Zhuan R. Degradation of antibiotics by advanced oxidation processes: An overview. *Sci Total Environ.* 2020;701:135023.
- Wang Q, Wang P, Yang Q. Occurrence and diversity of antibiotic resistance in untreated hospital wastewater. *Sci Total Environ.* 2018;621:990–9.
- Wang S, Xue N, Li W, Zhang D, Pan X, Luo Y. Selectively enrichment of antibiotics and ARGs by microplastics in river, estuary and marine waters. *Sci Total Environ.* 2020;708:134594.
- Wang X, Hu L, Jin C, Qian M, Jin Y. Effects of maternal exposure to procymidone on hepatic metabolism in the offspring of mice. *Environ Toxicol.* 2023;38(4):833–43.
- Wang Y, Lu J, Engelstädter J, Zhang S, Ding P, Mao L, et al. Non-antibiotic pharmaceuticals enhance the transmission of exogenous antibiotic resistance genes through bacterial transformation. *ISME J.* 2020;14:2179–96.
- Wang Y, Wang C, Song L. Distribution of antibiotic resistance genes and bacteria from six atmospheric environments: Exposure risk to human. *Sci Total Environ.* 2019;694:133750.
- Wei R, Ge F, Huang S, Chen M, Wang R. Occurrence of veterinary antibiotics in animal wastewater and surface water around farms in Jiangsu Province, China. *Chemosphere.* 2011;82:1408–14.
- Xia J, Sun H, Zhang XX, Zhang T, Ren H, Ye L. Aromatic compounds lead to increased abundance of antibiotic resistance genes in wastewater treatment bioreactors. *Water Res.* 2019;166:115073.
- Xu H, Song HL, Singh RP, Yang YL, Xu JY, Yang XL. Simultaneous reduction of antibiotics leakage and methane emission from constructed wetland by integrating microbial fuel cell. *Bioresour Technol.* 2021;320:124285.
- Xu S, Jiang Y, Liu Y, Zhang J. Antibiotic-accelerated cyanobacterial growth and aquatic community succession towards the formation of cyanobacterial bloom in eutrophic lake water. *Environ Pollut.* 2021;290:118057.



- Yan Z, Huang X, Xie Y, Song M, Zhu K, Ding S. Macrolides induce severe cardiotoxicity and developmental toxicity in zebrafish embryos. *Sci Total Environ*. 2019;649:1414–21.
- Yang C, Song G, Lim W. A review of the toxicity in fish exposed to antibiotics. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol*. 2020;237:108840.
- Yang G, Wang Y, Li J, Wang D, Bao Z, Wang Q, et al. Health risks of chlorothalonil, carbendazim, prochloraz, their binary and ternary mixtures on embryonic and larval zebrafish based on metabolomics analysis. *J Hazard Mater*. 2021;404:124240.
- Yao S, Ye J, Yang Q, Hu Y, Zhang T, Jiang L, et al. Occurrence and removal of antibiotics, antibiotic resistance genes, and bacterial communities in hospital wastewater. *Environ Sci Pollut Res*. 2021;28:57321–33.
- You X, Li H, Pan B, You M, Sun W. Interactions between antibiotics and heavy metals determine their combined toxicity to *Synechocystis* sp. *J Hazard Mater*. 2022;424:127707.
- Yu F, Li Y, Huang G, Yang C, Chen C, Zhou T, et al. Adsorption behavior of the antibiotic levofloxacin on microplastics in the presence of different heavy metals in an aqueous solution. *Chemosphere*. 2020;260:127650.
- Yuan X, Pan Z, Jin C, Ni Y, Fu Z, Jin Y. Gut microbiota: An underestimated and unintended recipient for pesticide-induced toxicity. *Chemosphere*. 2019;227:425–34.
- Zhang MQ, Chen B, Zhang JP, Chen N, Liu CZ, Hu CQ. Liver toxicity of macrolide antibiotics in zebrafish. *Toxicology*. 2020;441:152501.
- Zhang QQ, Tian GM, Jin RC. The occurrence, maintenance, and proliferation of antibiotic resistance genes (ARGs) in the environment: Influencing factors, mechanisms, and elimination strategies. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2018;102:8261–74.
- Zhang Q, Zhu D, Ding J, Zheng F, Zhou S, Lu T, et al. The fungicide azoxystrobin perturbs the gut microbiota community and enriches antibiotic resistance genes in *Enchytraeus crypticus*. *Environ Int*. 2019;131:104965.
- Zhang Y, Lu J, Wu J, Wang J, Luo Y. Potential risks of microplastics combined with superbugs: Enrichment of antibiotic resistant bacteria on the surface of microplastics in mariculture system. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2020;187:109852.
- Zhang Z, Zhang Q, Wang T, Xu N, Lu T, Hong W, et al. Assessment of global health risk of antibiotic resistance genes. *Nat Commun*. 2022;13:1553.
- Zhao C, Li C, Wang X, Cao Z, Gao C, Su S, et al. Monitoring and evaluation of antibiotic resistance genes in three rivers in northeast China. *Environ Sci Pollut Res*. 2022;29:44148–61.
- Zhao XL, Li P, Zhang SQ, He SW, Xing SY, Cao ZH, et al. Effects of environmental norfloxacin concentrations on the intestinal health and function of juvenile common carp and potential risk to humans. *Environ Pollut*. 2021;287:117612.
- Zhong C, Zhou Y, Fu J, Qi X, Wang Z, Li J, et al. Cadmium stress efficiently enhanced meropenem degradation by the meropenem- and cadmium-resistant strain *Pseudomonas putida* R51. *J Hazard Mater*. 2022;429:128354.



Zhou L, Limbu SM, Shen M, Zhai W, Qiao F, He A, et al. Environmental concentrations of antibiotics impair zebrafish gut health. *Environ Pollut.* 2018;235:245–54.

Zhou W, Tang Y, Du X, Han Y, Shi W, Sun S, et al. Fine polystyrene microplastics render immune responses more vulnerable to two veterinary antibiotics in a bivalve species. *Mar Pollut Bull.* 2021;164:111995.

Zhou ZC, Feng WQ, Han Y, Zheng J, Chen T, Wei YY, et al. Prevalence and transmission of antibiotic resistance and microbiota between humans and water environments. *Environ Int.* 2018;121:1155–61.



Capitolul 3. EFECTELE TOXICE ALE CONTAMINANȚILOR ASUPRA ORGANISMULUI UMAN ȘI METODELE VERZI INOVATOARE DE REDUCERE A ACESTORA

3.1 Introducere

Producția sustenabilă de produse naturale, prin selectarea atentă a resurselor vegetale și păstrarea principiilor lor active, oferă căi promițătoare de atenuare a efectelor toxice ale contaminanților de mediu asupra organismului uman, reprezentând o piatră de temelie a strategiilor verzi inovatoare pentru reducerea poluării.

La nivel global, toxinele de mediu și contaminanții chimici au devenit o problemă gravă și în creștere pentru sănătatea publică. Aceștia provin dintr-o gamă largă de activități umane — inclusiv producția industrială, agricultura intensivă, arderea combustibililor fosili și gestionarea deficitară a deșeurilor — și sunt acum prezenți în aer, sol, apă și chiar în lanțul alimentar. Organizația Mondială a Sănătății (OMS, 2023) a raportat că, în 2016, aproape un sfert din totalul deceselor și al poverii bolilor la nivel mondial au fost asociate cu factori de mediu ce puteau fi preveniți, precum poluarea chimică și deșeurile periculoase.

Consecințele acestor poluanți asupra sănătății umane variază de la efecte pe termen scurt, cum ar fi dificultăți respiratorii și iritații cutanate, până la afecțiuni cronice și risc de deces. Doar poluarea aerului este responsabilă, se crede, de peste cinci milioane de decese anual (Augusta University, 2023). Anumiți compuși chimici pot acționa ca agenți cancerigeni, teratogeni sau mutageni, provocând daune biologice permanente.

Expunerea se realizează prin mai multe căi — inhalarea aerului contaminat, consumul de alimente și apă poluate sau contactul cu pielea (Sokan-Adeaga et al., 2023). Odată absorbite, aceste substanțe pot afecta organe vitale precum plămânii, inima, ficatul, rinichii, creierul și organele reproducătoare; copiii, vârstnicii și femeile însărcinate fiind categoriile cele mai vulnerabile (Balbus et al., 2013).

Problema nu este doar de natură medicală, ci și economică. Se estimează că doar intoxicația cu plumb costă economia globală aproximativ 6 trilioane USD anual — adică aproximativ 6,9% din PIB-ul mondial (OMS, 2023). În 2019, se estimează că, la nivel mondial, copiii sub cinci ani au pierdut colectiv 765 de milioane de puncte IQ din cauza expunerii la plumb (Banca Mondială, 2023), cu consecințe de durată asupra dezvoltării și productivității umane.

Schimbările climatice sunt de așteptat să agraveze situația prin modificarea tiparelor de eliberare a poluanților, a distribuției acestora și a vulnerabilității umane (Balbus et al., 2013). Aceste schimbări ar putea altera profilurile de risc, făcând esențială reevaluarea strategiilor actuale de evaluare și gestionare a pericolelor pentru sănătatea mediului.

Acest capitol examinează modul în care contaminanții de mediu afectează organismul uman și prezintă abordări verzi inovatoare menite să reducă impactul acestora, sprijinind viziunea globală de a avansa către un viitor fără poluare (UNEP, 2023).



3.2 Efectele toxice asupra organismului uman

Influența poluanților de mediu asupra sănătății umane este vastă și complexă, constituind centrul de interes al toxicologiei de mediu — o disciplină dedicată înțelegerii modului în care substanțele chimice, fie acționând singure, fie în combinație, pot afecta organismele vii în timp (Shetty, 2023). Chiar și la concentrații reduse, multe substanțe pot interacționa în moduri care le amplifică potențialul toxic, ceea ce face ca expunerea pe termen lung să fie deosebit de periculoasă.

Impact toxicologic general

Poluanții au fost asociați cu o gamă largă de afecțiuni, inclusiv cancer, boală cardiacă ischemică, boală pulmonară obstructivă cronică (BPOC), accident vascular cerebral, tulburări neurologice și psihice și diabet (Shetty, 2023). Unii contaminanți se acumulează selectiv în anumite organe, atingând concentrații interne mai mari decât cele din mediul înconjurător. Acest proces de bioacumulare poate provoca, de-a lungul anilor, leziuni semnificative și uneori ireversibile ale organelor (Alharbi, 2018).

Exemple notabile de substanțe nocive includ:

- DDT – pesticid utilizat istoric împotriva dăunătorilor agricoli și încă aplicat în unele regiuni din Africa, Asia și America Latină.
- Furani – compuși rezultați din gătitul la temperaturi înalte, anumite procese chimice și unele produse de consum, cum ar fi materialele de ambalare.
- Dioxine – produse toxice secundare ale proceselor industriale sau ale unor evenimente naturale, precum incendiile de pădure și erupțiile vulcanice.
- Compuși organici volatili (COV) – substanțe chimice ușor volatile prezente în vopsele, solvenți, carburanți, materiale de construcții și produse de curățenie.
- Aldehyde – de exemplu formaldehida, utilizată în produse din lemn presat, textile și cosmetice.
- Metale grele volatile – cum ar fi vaporii de mercur proveniți din activități industriale, arderea cărbunelui sau descompunerea deșeurilor.
- Hidrocarburi clorurate – prezente în unii solvenți și în produse de curățare.

În anumite cazuri, substanțele sunt inofensive în forma lor inițială, dar devin toxice după transformarea metabolică în organism. Acești metaboliți rezultați pot fi și mai dăunători, uneori având proprietăți cancerigene.

Impactul asupra sistemelor și organelor

Sistemul respirator

Poluanții atmosferici — cum ar fi monoxidul de carbon, ozonul (O_3), dioxidul de azot (NO_2), dioxidul de sulf (SO_2), particulele în suspensie și metalele grele — pot provoca afecțiuni respiratorii acute și cronice, inclusiv bronșită, pneumonie, BPOC și astm (Shetty, 2023). Expunerea prelungită poate provoca leziuni structurale permanente ale plămânilor, poate



încetini dezvoltarea pulmonară la copii și crește riscul de cancer pulmonar (Schraufnagel, 2019).

Sistemul cardiovascular

Particulele fine ($PM_{2.5}$) și poluanți similari pot provoca îngustarea vaselor de sânge, slăbirea mușchiului cardiac și declanșarea proceselor inflamatorii care contribuie la ateroscleroză, hipertensiune și infarct miocardic (Dai, 2024). La nivel global, poluarea aerului este responsabilă pentru aproximativ 19% din decesele cardiovasculare și 21% din decesele prin accident vascular cerebral (Schraufnagel, 2019).

Sistemul nervos

Poluanții atmosferici sunt asociați cu scăderea performanței cognitive la copii și cu un risc crescut de demență și accident vascular cerebral la vârstnici (Dai, 2024). Se crede că aceste efecte se datorează stresului oxidativ și inflamației la nivelul țesutului neural, care pot accelera procesele neurodegenerative.

Sistemul endocrin

Un grup specific de contaminanți, cunoscuți sub numele de perturbatori endocrini (EDC), poate interfera cu sinteza hormonilor, metabolismul și legarea acestora de receptori (Kumar, 2020). Expunerea a fost asociată cu probleme de reproducere și dezvoltare, modificări ale sistemului imunitar și un risc crescut de cancere sensibile la hormoni.

Boli și afecțiuni cronice

- Boli respiratorii: expunerea pe termen lung la poluare este un factor de risc major pentru BPOC și astm și este asociată cu o mortalitate crescută din aceste cauze.
- Tulburări metabolice: poluanții pot induce stres oxidativ și inflamație, ducând la rezistență la insulină și la o probabilitate crescută de diabet zaharat de tip 2 (Dai, 2024).
- Tulburări neurologice: expunerea continuă este legată de boala Alzheimer, demență și alte afecțiuni degenerative ale creierului, prin mecanisme inflamatorii și oxidative.
- Cancer: particulele fine ($PM_{2.5}$) sunt recunoscute ca agenți cancerigeni, contribuind la cancer pulmonar, vezical și la anumite tipuri de cancer pediatric (Schraufnagel, 2019).
- Perturbarea endocrină: EDC-urile pot modifica momentul pubertății, pot afecta fertilitatea, pot reduce calitatea spermei și crește riscul de cancere sensibile la hormoni (Kumar, 2020).

În concluzie, contaminanții de mediu afectează sănătatea umană prin multiple mecanisme, adesea vizând simultan mai multe sisteme și organe. Interacțiunea dintre diferiți poluanți poate amplifica efectele lor nocive, subliniind necesitatea urgentă a unor politici integrate de sănătate a mediului și a unor strategii eficiente de control al poluării.



3.3 Căile de expunere

Înțelegerea modului în care contaminanții de mediu pătrund în organismul uman este esențială pentru evaluarea corectă și reducerea riscurilor pentru sănătate asociate acestora. Această secțiune prezintă principalele mecanisme prin care toxinele de mediu sunt eliberate, transportate și ajung în cele din urmă la populațiile umane.

Eliberarea și transportul în mediu

Contaminanții pot fi introduși în mediu prin procese industriale, activități agricole, eliminarea deșeurilor și alte acțiuni antropice. Odată eliberați, aceștia se pot deplasa prin diferite compartimente ale mediului:

- Aer – poluanții pot fi emiși direct în atmosferă sau se pot volatiliza din sol și apă. Curenții de aer pot transporta aceste substanțe pe distanțe mari (United States Environmental Protection Agency, 2024a).
- Apă – contaminanții pot ajunge în râuri, lacuri și oceane prin deversare directă, scurgeri de suprafață sau infiltrare în pânza freatică. Corpurile de apă nu doar că funcționează ca sisteme de transport, dar reprezintă și puncte de expunere umană (United States Environmental Protection Agency, 2024b).
- Sol și sedimente – poluanții se pot depune și acumula în sol prin depunere atmosferică sau irigare cu apă contaminată. Solul poate acționa ca un rezervor pe termen lung, eliberând ulterior contaminanți în aer sau apă (Alharbi et al., 2018).

Căi de expunere umană

Oamenii pot fi expuși la toxinele de mediu prin trei rute principale:

- Inhalare – inhalarea aerului contaminat care conține gaze, vapori, aerosoli sau particule în suspensie. Aerul din interiorul clădirilor poate fi, de asemenea, afectat atunci când poluanții din exterior pătrund în spațiile închise (United States Environmental Protection Agency, 2024c).
- Ingestie – înghițirea contaminanților prezenți în alimente, apă potabilă, sol sau particule de praf. Aceasta include ingestia accidentală de sol la copii și transferul reziduurilor prin contact mână-gură (United States Environmental Protection Agency, 2024b; New Hampshire Department of Environmental Services, 2024).
- Contact dermic – contactul direct al pielii cu sol contaminat, apă sau produse de consum ce conțin substanțe chimice periculoase. Expunerea profesională este o cauză frecventă a absorbției dermice (New Hampshire Department of Environmental Services, 2024).

Factori care influențează expunerea

Amplarea și gravitatea expunerii depind de mai mulți factori:

- Durata – expunerea pe termen scurt (acută) vs. termen lung (cronică) afectează diferit sănătatea.
- Intensitatea – concentrații mai mari de contaminanți cresc riscul potențial.



- Frecvența – expunerea repetată poate amplifica efectele asupra sănătății.
- Susceptibilitatea individuală – anumite grupuri, inclusiv femeile însărcinate, copiii, vârstnicii și persoanele imunocompromise, sunt mai vulnerabile (New Hampshire Department of Environmental Services, 2024).

Bioacumularea și biomagnificarea

Poluanții organici persistenți și metalele grele se pot acumula în timp în țesuturile organismului prin bioacumulare. Când acești contaminanți trec de-a lungul lanțului trofic, se pot concentra mai mult la nivelurile trofice superioare — proces cunoscut sub denumirea de biomagnificare (United States Environmental Protection Agency, 2024b).

Evaluarea expunerii

Evaluarea expunerii umane implică:

- Identificarea surselor de contaminare
- Urmărirea transportului și a soartei contaminanților în mediu
- Determinarea punctelor și căilor de expunere
- Definirea populațiilor expuse riscului

Aceste evaluări permit clasificarea căilor de expunere ca fiind complete, potențiale sau eliminate, oferind baza pentru strategii eficiente de gestionare a riscului (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2024).

3.4 Evaluarea contaminanților

Schimbările climatice, poluarea mediului, pierderea biodiversității și utilizarea nesustenabilă a resurselor naturale reprezintă împreună riscuri semnificative pentru sănătatea umană, animală și a ecosistemelor. Aceste amenințări includ boli infecțioase și neinfecțioase, rezistența antimicrobiană și lipsa de apă. Asigurarea unei planete sănătoase pentru toți necesită monitorizarea, raportarea, prevenirea și remedierea mai eficientă a poluării care afectează aerul, apa, solul și bunurile de consum (Comisia Europeană, 2021).

Amploarea problemei poluării poate fi redusă considerabil prin acțiuni guvernamentale ferme, infrastructură avansată și aplicarea tehnologiilor moderne. Totuși, atingerea obiectivului unui mediu curat este îngreunată de mai multe provocări, inclusiv implicarea insuficientă a publicului în inițiativele de control al poluării și deficiențe în sistemele de management ecologic.

Combaterea eficientă a poluării necesită utilizarea celor mai recente soluții tehnologice și cercetări direcționate pentru a înțelege mai bine mecanismele prin care contaminanții se acumulează în mediu.

Contaminarea alimentelor rămâne o preocupare majoră, deoarece concentrațiile ridicate de substanțe chimice din produsele comestibile reprezintă pericole grave pentru sănătate. Contaminanții din alimente pot apărea în mod natural în mediu sau pot fi introduși prin activități



umane. În plus, contaminarea poate surveni în mai multe puncte ale lanțului alimentar – în timpul producției, procesării, ambalării, transportului și depozitării (Rather et al., 2017).

Provocările privind siguranța alimentară pot fi grupate în patru categorii principale:

- Siguranța microbiologică
- Siguranța chimică
- Igiena personală
- Igiena mediului

Odată cu globalizarea comerțului cu alimente, acestea au devenit o cale majoră de expunere a oamenilor la microorganisme patogene responsabile de bolile transmise prin alimente, care pot pătrunde în diferite etape ale lanțului valoric. Urmărirea și detectarea acestor agenți patogeni – în special bacteriile – până la sursele lor rămâne o provocare atât pentru producători, cât și pentru procesatori, distribuitori și consumatori.

Siguranța alimentară și nutriția sunt strâns interconectate. Alimentele nesigure pot declanșa un cerc vicios al bolilor și malnutriției, afectând în mod disproporționat sugarii, copiii mici, vârstnicii și persoanele cu sănătatea compromisă. Deoarece lanțurile de aprovizionare cu alimente traversează acum multiple granițe naționale și regionale, asigurarea siguranței alimentare în secolul XXI va necesita o colaborare strânsă între guverne, producători, furnizori, distribuitori și consumatori (Fung et al., 2018).

În ultimii ani, au fost dezvoltate diverse metode analitice pentru detectarea contaminanților în diferite matrici. Deoarece contaminanții sunt adesea prezenți la concentrații extrem de scăzute, este necesar un prag de detecție foarte mic, iar pregătirea probelor devine esențială pentru reducerea efectelor matricei în analiza alimentelor. Pregătirea probelor poate implica mai multe etape – cum ar fi filtrarea, ajustarea pH-ului, extracția, purificarea și îmbogățirea – pentru a asigura detectarea analiților la niveluri de concentrație adecvate.

O gamă largă de tehnici de pregătire a probelor este disponibilă în prezent, incluzând extracția cu fluide supercritice, extracția în fază solidă, microextracția în fază solidă, extracția asistată cu microunde, extracția lichid-lichid, microextracția în fază lichidă, extracția lichidă sub presiune și extracția adsorbativă cu bară magnetică (Guo et al., 2019).

3.5 Metode verzi inovatoare pentru reducerea efectelor toxice ale contaminanților

Chimia verde, cunoscută și sub denumirea de chimie durabilă, este o abordare modernă în științele chimice, care a evoluat semnificativ din anii 1990. Ea este definită ca „utilizarea tehnicilor și metodologiilor chimice care reduc sau elimină utilizarea ori generarea de materii prime, produse, produse secundare, solvenți și reactivi periculoși pentru sănătatea umană sau pentru mediu” (United States Environmental Protection Agency). În esență, această filozofie este bazată pe sustenabilitate și este sintetizată în douăsprezece principii fundamentale:

- Prevenire – evitarea generării deșeurilor, mai degrabă decât tratarea sau eliminarea lor după apariție.
- Economie de atomi – proiectarea metodelor de sinteză pentru a încorpora cât mai mult din materiile prime inițiale în produsul final.



- Sinteze mai puțin periculoase – utilizarea proceselor care folosesc și generează substanțe cu toxicitate minimă.
- Proiectarea de substanțe chimice mai sigure – păstrarea funcționalității chimice minimizând în același timp toxicitatea.
- Solvenți și auxiliari mai siguri – evitarea substanțelor auxiliare (de exemplu, solvenți) atunci când este posibil sau utilizarea lor în forme nepericuloase atunci când este necesar.
- Eficiență energetică – minimizarea consumului de energie; desfășurarea reacțiilor la temperatură și presiune ambientală atunci când este posibil.
- Materii prime regenerabile – utilizarea materiilor prime regenerabile în locul celor epuizabile, atunci când este fezabil din punct de vedere tehnic și economic.
- Reducerea derivaților – evitarea etapelor inutile de derivatizare care necesită reactivi suplimentari și generează deșeuri.
- Cataliză – utilizarea reactivilor catalitici, care sunt mai eficienți decât cei stoechiometrici.
- Proiectare pentru degradare – asigurarea faptului că produsele se descompun în substanțe inofensive la sfârșitul ciclului lor de viață.
- Analiză în timp real – dezvoltarea tehnicilor de monitorizare pentru detectarea și prevenirea substanțelor periculoase în timpul procesării.
- Chimie inherent mai sigură – alegerea substanțelor și formelor de proces care reduc riscul de accidente, precum exploziile sau emisiile.

Alternative durabile la metodele convenționale de îndepărtare a poluanților

Creșterea prezenței poluanților — inclusiv metale grele, compuși organici, produse farmaceutice și contaminanți emergenți — prezintă riscuri semnificative pentru mediu și sănătatea publică. Metodele tradiționale de îndepărtare, precum precipitarea chimică, schimbul ionic și filtrarea cu membrane, au adesea limitări, inclusiv costuri ridicate, cerințe energetice mari și generarea de poluanți secundari.

Cercetările recente evidențiază potențialul adsorbanților neconvenționali ca alternative mai durabile. Materiale precum nanoceluloza, nanocompozitele pe bază de chitosan și structurile metal-organice (MOF) au demonstrat performanțe superioare în ceea ce privește capacitatea de adsorbție, selectivitatea și reutilizarea, ceea ce le face atractive pentru aplicații de mediu (Akhtar et al., 2024).

Soluții din chimia verde

- Solvenți și condiții de reacție mai sigure. Înlocuirea solvenților periculoși cu alternative mai sigure reprezintă o inovație majoră în chimia verde. De exemplu, vopselele pe bază de apă au înlocuit vopselele pe bază de solvenți, eliminând vaporii toxici și reducând poluarea aerului fără a compromite performanța. Desfășurarea reacțiilor chimice la temperatură și presiune ambientală reduce suplimentar consumul de energie și minimizează riscurile.



- Materii prime regenerabile. Chimia verde prioritizează materiile prime provenite din resurse regenerabile, cum ar fi produsele secundare agricole, în locul combustibililor fosili sau materialelor extrase. Acest lucru reduce impactul asupra mediului, conservă resursele neregenerabile și, adesea, conduce la produse mai biodegradabile.
- Cataliză și economie de atomi. Catalizatorii permit desfășurarea eficientă a reacțiilor cu generare minimă de deșeuri, înlocuind adesea reactivii stoechiometrici folosiți în exces. În același timp, proiectarea reacțiilor cu economie ridicată de atomi asigură încorporarea majorității materialelor de intrare în produsul final.
- Proiectarea pentru degradare. Produsele sunt din ce în ce mai mult concepute pentru a se degrada în substanțe inofensive după utilizare, reducând persistența lor în mediu și costurile de gestionare a deșeurilor periculoase.

Remedierea biologică a metalelor grele

Industrializarea rapidă a intensificat contaminarea cu metale grele a solurilor la nivel global, prezentând amenințări ecologice și de sănătate grave. Îndepărtarea și neutralizarea acestor contaminanți reprezintă acum o prioritate globală. Bioremedierea — utilizarea microorganismelor precum bacterii, microalge, drojdii și ciuperci — atrage tot mai multă atenție ca alternativă ecologică și rentabilă, fiind deosebit de eficientă la concentrații scăzute de metale (Maqsood et al., 2022).

Adesea, metodele integrate care combină procese fizico-chimice și biologice sunt utilizate pentru a obține rezultate optime în întreg ciclul de tratare a metalelor grele. Aceste abordări readuc mediile contaminate la condiții mai sănătoase și susținătoare de viață, minimizând efectele secundare asupra mediului.

Toxicologia verde

Toxicologia verde îmbină principiile chimiei verzi cu toxicologia pentru a asigura siguranța chimică încă din primele etape ale proiectării produsului (Maertens et al., 2024). Ea utilizează strategii moderne de testare fără animale, inclusiv modele computaționale *in silico*, predicții bazate pe inteligență artificială și teste pe culturi celulare umane, permițând evaluări mai rapide și mai rentabile ale riscului comparativ cu testarea tradițională pe animale.

Elementele-cheie ale toxicologiei verzi includ:

- Aplicarea metodelor alternative și validate de testare.
- Integrarea considerentelor de siguranță încă din faza de proiectare chimică.
- Evaluarea impactului pe întreg ciclul de viață de-a lungul lanțurilor de aprovizionare.
- Prioritizarea prevenirii în detrimentul remedierii.

Beneficiile chimiei și toxicologiei verzi

Pentru sănătatea umană

- Aer și apă mai curate prin reducerea emisiilor periculoase.



- Îmbunătățirea siguranței la locul de muncă în industriile chimice.
- Produse de consum și alimente mai sigure.

Pentru mediu

- Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, a formării de smog și a distrugerii stratului de ozon.
- Minimarea perturbărilor ecologice cauzate de poluarea chimică.
- Diminuarea necesității eliminării deșeurilor periculoase.

Pentru economie

- Randamente mai mari ale reacțiilor și costuri mai mici pentru materiile prime.
- Reducerea cheltuielilor pentru eliminarea deșeurilor.
- Creșterea eficienței instalațiilor și economii de energie.
- Avantaj competitiv prin etichetarea ecologică a produselor.

Provocări și direcții viitoare

Deși chimia și toxicologia verde oferă beneficii clare, adoptarea lor se confruntă cu obstacole precum validarea noilor metode, acceptarea la nivel de reglementare și rezistența instituțională la schimbare. Prioritățile viitoare ar trebui să includă:

- Extinderea portofoliului de metode alternative validate de testare.
- Integrarea conceptelor de chimie verde în educație și în practica industrială.
- Crearea de stimulente politice pentru inovația durabilă.
- Consolidarea colaborării dintre chimiști, toxicologi și oamenii de știință din domeniul mediului.

Metodele verzi inovatoare reprezintă o cale transformatoare pentru reducerea efectelor toxice ale contaminanților asupra sănătății umane și a mediului. Prin integrarea principiilor chimiei verzi, adoptarea strategiilor de remediere biologică și aplicarea cadrului toxicologiei verzi, putem proiecta și implementa procese chimice mai sigure și mai durabile. Această abordare sprijină o viziune pe termen lung pentru o planetă mai curată, mai sănătoasă și mai rezilientă.

3.6 Referințe

Akhtar N, Khan A, Shah AA, Malik A, Al-Ghamdi AA, Alshahrani MY, et al. Nanocellulose, chitosan-based nanocomposites, and MOFs for environmental remediation: Recent advances and future prospects. J Hazard Mater. 2024;456:132769. doi:10.1016/j.jhazmat.2023.132769.

Alharbi OML, Basheer AA, Khattab RA, Ali I. Health and environmental effects of persistent organic pollutants. J Mol Liq. 2018;263:442-53. doi:10.1016/j.molliq.2018.05.029.



Balbus JM, Boxall AB, Fenske RA, McKone TE, Zeise L. Implications of global climate change for the assessment and management of human health risks of chemicals in the natural environment. *Environ Toxicol Chem.* 2013;32(1):62-78. doi:10.1002/etc.2046.

Dai W, Xu W, Zhou J, Zhang Y, Wang Q, Liu X, et al. Individual and joint exposure to air pollutants and patterns of multiple chronic conditions. *Sci Rep.* 2024;14:22733. doi:10.1038/s41598-024-73485-7.

European Environment Agency. How air pollution affects our health [Internet]. 2023. Available from: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution/eow-it-affects-our-health>

Fung F, Wang HS, Menon S. Food safety in the 21st century. *Biomed J.* 2018;41(2):88-95. doi:10.1016/j.bj.2018.03.003.

Guo W, Pan B, Sakkiyah S, Yavas G, Ge W, Zou W, et al. Recent advances in sample preparation techniques for analysis of food contaminants. *Trends Food Sci Technol.* 2019;85:68-82. doi:10.1016/j.tifs.2019.01.003.

Kumar M, Sarma DK, Shubham S, Kumawat M, Verma V, Prakash A, et al. Environmental endocrine-disrupting chemical exposure: Role in non-communicable diseases. *Front Public Health.* 2020;8:553850. doi:10.3389/fpubh.2020.553850.

Maertens A, Luechtefeld T, Knight J, Hartung T. Alternative methods go green! Green toxicology as a sustainable approach for assessing chemical safety and designing safer chemicals. *ALTEX.* 2024;41(1):3-19. doi:10.14573/altex.2312291.

Maqsood M, Basit A, Naz S, Javed MT, Zubair M, Rizwan M, et al. Microbial bioremediation of heavy metals: Current status and future prospects. *Chemosphere.* 2022;291(Pt 1):132979. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.132979.

Rather IA, Koh WY, Paek WK, Lim J. The sources of chemical contaminants in food and their health implications. *Front Pharmacol.* 2017;8:830. doi:10.3389/fphar.2017.00830.

Schraufnagel DE, Balmes JR, Cowl CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K, et al. Air pollution and noncommunicable diseases: A review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air pollution and organ systems. *Chest.* 2019;155(2):417-26. doi:10.1016/j.chest.2018.10.041.

Shetty SS, D D, S H, Sonkusare S, Naik PB, Kumari NS, et al. Environmental pollutants and their effects on human health. *Heliyon.* 2023;9(9):e19496. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e19496.

United States Environmental Protection Agency. Basics of green chemistry [Internet]. Washington, DC: EPA; 2023. Available from: <https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry>

United States Environmental Protection Agency. Benefits of green chemistry [Internet]. Washington, DC: EPA; 2023. Available from: <https://www.epa.gov/greenchemistry/benefits-green-chemistry>

United States Environmental Protection Agency. Exposure assessment tools by exposure route: Inhalation [Internet]. Washington, DC: EPA; 2023. Available from: <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-routes-inhalation>



**Co-funded by
the European Union**



United States Environmental Protection Agency. Exposure assessment tools by exposure route: Ingestion [Internet]. Washington, DC: EPA; 2023. Available from: <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-routes-ingestion>

World Health Organization. Climate change, pollution and health – Impact of chemicals, waste and pollution on human health [Internet]. Geneva: WHO; 2023 Dec. Available from: <https://www.who.int/publications>

World Health Organization. The impact of lead exposure on human health and the economy [Internet]. Geneva: WHO; 2023. Available from: <https://blogs.worldbank.org/en/climatechange/chemical-pollution-next-global-crisis>



Capitolul 4. ROLUL NUTRIȚIEI SĂNĂTOASE ȘI CONSUMUL APROBAT DE SUPLIMENTE ALIMENTARE SIGURE – METODE INOVATOARE DE ABORDARE ȘI EVALUARE A CONȘTIENTIZĂRII

4.1 Introducere

Nutriția joacă un rol esențial în menținerea sănătății și prevenirea bolilor. Maximizarea potențialului resurselor vegetale — prin selectarea speciilor bogate în compuși bioactivi și dezvoltarea unor forme optime pentru administrare și consum — oferă o cale durabilă de îmbunătățire a nutriției umane și de prevenire a bolilor. Valorificarea acestor resurse naturale într-un mod care să păstreze principiile active și să asigure biodisponibilitatea lor poate completa strategiile alimentare moderne și contribui la sănătatea pe termen lung.

Nutriția rămâne o piatră de temelie a sănătății umane, influențând creșterea, funcția imunitară, performanța cognitivă și prevenirea atât a bolilor infecțioase, cât și a celor cronice. Totuși, povara globală a malnutriției continuă să fie o provocare majoră, cu una din nouă persoane confruntându-se cu foamea și una din trei fiind clasificată ca supraponderală sau obeză (Global Nutrition Report, 2020). Această „dublă povară” a malnutriției — în care subnutriția coexistă cu excesul ponderal și obezitatea — este observată acum în multe regiuni ale lumii.

O dietă echilibrată este esențială pentru menținerea funcțiilor fiziologice optime. Nutrienți esențiali precum vitaminele, mineralele, fibrele alimentare, acizii grași esențiali și aminoacizii sunt indispensabili pentru sănătate și bunăstare. Cu toate acestea, tiparele alimentare moderne, adesea dominate de alimente procesate, fac dificil pentru multe persoane să își asigure aportul necesar doar prin alimentație. Acest deficit a condus la utilizarea tot mai frecventă a suplimentelor alimentare.

Suplimentele alimentare — disponibile sub formă de comprimate, capsule, pulberi sau lichide — pot furniza surse concentrate de nutrienți, fie obținuți din surse naturale, fie produși sintetic. Piața globală a suplimentelor alimentare a fost evaluată la aproximativ 151,9 miliarde USD în 2021, cu peste 50.000 de produse disponibile doar în Statele Unite. Deși suplimentele pot ajuta la corectarea unor deficiențe nutriționale specifice, acestea nu trebuie considerate un substitut pentru o dietă echilibrată bazată pe alimente integrale. Alimentele integrale oferă o combinație sinergică de nutrienți, fitochimicale și fibre alimentare, care nu poate fi reprodusă de compuși izolați.

Siguranța și reglementarea suplimentelor alimentare diferă la nivel global. În Statele Unite, Food and Drug Administration (FDA) supraveghează etichetarea și siguranța, dar nu solicită aprobare înainte de comercializare, spre deosebire de produsele farmaceutice. Această lacună legislativă ridică îngrijorări privind calitatea, eficacitatea și potențiala falsificare a unor suplimente.

Abordarea provocărilor globale de nutriție necesită o strategie multifactorială: îmbunătățirea accesului la alimente nutritive și accesibile, reducerea inegalităților în sănătatea legată de alimentație și asigurarea informării consumatorilor cu privire la utilizarea sigură și eficientă a suplimentelor. Costurile economice ale malnutriției sunt uriașe — estimate la 3,5 trilioane USD anual din cauza subnutriției și încă 2 trilioane USD asociate cu supraponderabilitatea și obezitatea (World Bank, 2023).



Acest capitol explorează rolul esențial al nutriției sănătoase și al consumului responsabil de suplimente alimentare sigure. De asemenea, va evidenția strategii inovatoare pentru conștientizare și educație, integrând știința nutriției moderne cu utilizarea durabilă a resurselor pentru a promova rezultate optime în sănătatea populațiilor din întreaga lume.

4.2 Fundamentele nutriției sănătoase

Valorificarea optimă a resurselor vegetale — prin selecția atentă, păstrarea compușilor bioactivi și utilizarea unor forme eficiente de administrare și consum — fundamentează un model alimentar care susține sănătatea pe termen lung (OMS, 2023).

Nutrienți esențiali și rolurile lor

O dietă sănătoasă furnizează cele șase grupe fundamentale de nutrienți — proteine, carbohidrați, grăsimi, vitamine, minerale și apă — fiecare având funcții fiziologice distincte, cum ar fi repararea țesuturilor, furnizarea de energie, structura celulară și reglarea metabolică (Delight Medical & Wellness Center, n.d.). Apa stă la baza termoreglării și permite desfășurarea reacțiilor biochimice esențiale (Delight Medical & Wellness Center, n.d.).

Principiile unei diete echilibrate

Echilibrul alimentar pune accent pe varietate și calitate, potrivit aportul energetic cu necesarul:

- Alimentația axată pe produse vegetale — fructe, legume, leguminoase, nuci și cereale integrale — crește aportul de fibre și micronutrienți (Heart and Stroke Foundation of Canada, n.d.; OMS, 2023).
- Cerealele integrale (de ex. ovăz, orez brun, pâine integrală) sunt preferate în locul cerealelor rafinate pentru a crește aportul de fibre și micronutrienți (Heart and Stroke Foundation of Canada, n.d.).
- Sursele variate de proteine, cu prioritate pentru proteinele vegetale și incluzând pește și opțiuni slabe de origine animală, ajută la acoperirea necesarului de aminoacizi și susțin sănătatea cardiometabolică (Heart and Stroke Foundation of Canada, n.d.).
- Reducerea alimentelor foarte procesate scade aportul excesiv de sodiu, zaharuri adăugate și grăsimi trans (Heart and Stroke Foundation of Canada, n.d.; OMS, 2023).
- Conștientizarea porțiilor ajută la alinierea caloriilor consumate cu cele cheltuite (Delight Medical & Wellness Center, n.d.).

Densitatea nutrițională

Alegerea alimentelor care oferă un conținut ridicat de nutrienți per calorie — cum ar fi legumele, fructele, leguminoasele, nucile, semințele, ouăle, iaurtul simplu și peștele gras — îmbunătățește calitatea generală a dietei; unele dintre aceste alimente sunt dense energetic, dar rămân benefice nutrițional în porții moderate (Healthline, 2024; Harvard T.H. Chan School of Public Health, n.d.).



Ghiduri alimentare bazate pe dovezi

Recomandările de consens includ:

- ≥ 400 g/zi de fructe și legume (aproximativ cinci porții) (OMS, 2023).
- Zahăr liber $< 10\%$ din aportul total de energie (OMS, 2023).
- Calitatea grăsimilor este mai importantă decât cantitatea: limitarea grăsimilor saturate și trans; favorizarea grăsimilor nesaturate (OMS, 2023; Cena și Calder, 2020).
- Cerealele integrale să reprezinte un sfert din farfurie ca reper practic pentru mese (Heart and Stroke Foundation of Canada, n.d.).
- Diversificarea surselor de proteine cu accent pe opțiunile de origine vegetală (Heart and Stroke Foundation of Canada, n.d.).

Impactul asupra sănătății

Respectarea acestor principii este asociată cu un risc mai scăzut de boli cardiovasculare, diabet de tip 2 și anumite tipuri de cancer, precum și cu o reducere a mortalității generale (Harvard T.H. Chan School of Public Health, n.d.; Cena și Calder, 2020; World Cancer Research Fund, 2024). Dietele modelate pe baza acestor recomandări îmbunătățesc, de asemenea, indicatori intermediari precum tensiunea arterială, profilul lipidic și inflamația (Cena și Calder, 2020).

Provocări și perspective de viitor

Bariere persistente — costul și accesul la alimente sănătoase, marketingul alimentelor ultraprocesate și nivelul redus de educație nutrițională — îngreunează adoptarea unei diete echilibrate. Progresul va necesita îmbunătățirea accesibilității și disponibilității alimentelor sănătoase, adaptarea recomandărilor la contexte culturale și individuale și utilizarea instrumentelor digitale pentru îndrumare personalizată și sprijin în schimbarea comportamentului (Harvard T.H. Chan School of Public Health, n.d.; OMS, 2023).

În concluzie, un model alimentar cu densitate nutrițională ridicată, minim procesat, bazat pe plante — ghidat de obiective clare, bazate pe dovezi, pentru grăsimi, zaharuri și grupuri alimentare — oferă o fundație pragmatică pentru prevenirea bolilor și menținerea sănătății pe tot parcursul vieții (OMS, 2023; Cena și Calder, 2020).

4.3 Suplimente alimentare: reglementare, siguranță și evaluare științifică

Suplimentele alimentare, numite și suplimente dietetice, sunt produse concepute pentru a completa dieta și pentru a furniza nutrienți care s-ar putea să nu fie consumați în cantități suficiente din alimentația obișnuită. Piața globală a suplimentelor alimentare a fost evaluată la aproximativ 151,9 miliarde USD în 2021, reflectând utilizarea lor pe scară largă (NIH, 2013). În ciuda popularității lor, siguranța și eficacitatea acestor produse rămân subiecte de investigație științifică continuă și de supraveghere din partea autorităților de reglementare.



Cadrul de reglementare

În Statele Unite, suplimentele alimentare sunt reglementate în conformitate cu Dietary Supplement Health and Education Act (DSHEA) din 1994, care le definește ca produse ce conțin unul sau mai multe ingrediente alimentare, cum ar fi vitamine, minerale, plante medicinale, aminoacizi, enzime sau metaboliți (ODS, 1994).

Spre deosebire de medicamentele farmaceutice, suplimentele alimentare nu necesită aprobare prealabilă de la U.S. Food and Drug Administration (FDA) înainte de a fi puse pe piață. Producătorii sunt responsabili de asigurarea siguranței produselor lor înainte de comercializare (FDA, 2023). FDA poate acționa pentru a retrage de pe piață produsele nesigure doar după ce acestea au fost puse în vânzare (NIH, 2013).

Considerații privind siguranța

Deși multe suplimente alimentare sunt considerate sigure atunci când sunt utilizate corect, există riscuri potențiale:

- Controlul calității – producătorii trebuie să respecte Good Manufacturing Practices (cGMP) pentru a garanta identitatea, puritatea și concentrația produsului, însă contaminarea și etichetarea incorectă pot apărea în continuare (FDA, 2023).
- Interacțiuni – anumite suplimente pot interacționa cu medicamentele eliberate pe bază de prescripție, ceea ce poate duce la efecte nocive (NIH, 2013).
- Supradozaj – consumul excesiv al unor nutrienți poate provoca toxicitate; de exemplu, un aport ridicat de vitamina E a fost asociat cu un risc crescut de cancer de prostată la bărbați (NIH, 2013).
- Lipsa dovezilor – multe suplimente au date clinice limitate sau neconcludente care să susțină beneficiile pentru sănătate menționate (Harvard Health Publishing, 2023).

Evaluare științifică

Cercetările au explorat rolul preventiv și terapeutic al suplimentelor alimentare, concentrându-se pe micronutrienți, compuși bioactivi din plante, probiotice și prebiotice, acizi grași polinesaturați (în special omega-3 EPA și DHA), fitosteroli, polifenoli și fibre alimentare (CorCon International, 2023).

Suplimentele bazate pe dovezi științifice — susținute de studii clinice riguroase — oferă informații mai fiabile privind siguranța și eficacitatea lor (CorCon International, 2023).

Măsuri de reglementare pentru siguranță

Autoritățile de reglementare au implementat măsuri pentru îmbunătățirea siguranței suplimentelor:

- Raportarea evenimentelor adverse – producătorii trebuie să raporteze FDA evenimentele adverse grave (FDA, 2023).



- Notificarea ingredientelor alimentare noi – ingredientele noi trebuie raportate FDA cu cel puțin 75 de zile înainte de comercializare, furnizând date privind siguranța (FDA, 2023).
- Cerințe de etichetare – etichetele trebuie să listeze toate ingredientele și să includă avertismente privind siguranța (FDA, 2023).
- Restricții privind afirmațiile de sănătate – doar anumite afirmații de sănătate sunt permise pe etichetele produselor (FDA, 2023).

Suplimentele alimentare pot contribui la corectarea deficiențelor nutriționale și la susținerea sănătății atunci când sunt utilizate corect. Totuși, acestea nu trebuie să înlocuiască o dietă echilibrată și trebuie alese cu atenție pentru a evita riscurile de siguranță. Consultarea unui profesionist din domeniul sănătății este esențială, mai ales pentru persoanele cu afecțiuni cronice sau care iau medicamente. Cercetarea continuă și supravegherea strictă din partea autorităților rămân cruciale pentru garantarea siguranței produselor și protecția consumatorilor.

4.4 Abordări inovatoare în educația nutrițională

Abordarea provocărilor globale legate de malnutriție și obiceiuri alimentare nesănătoase necesită strategii creative și captivante de educație nutrițională. Modelele tradiționale, bazate pe prelegeri, eșuează adesea în a inspira schimbări comportamentale durabile, fiind astfel necesară adoptarea unor metode mai interactive, participative și adaptate unui public divers. În ultimii ani, mai multe metode inovatoare au atras atenția datorită capacității lor de a îmbunătăți retenția informațiilor și de a încuraja alegeri alimentare mai sănătoase.

Gamificarea și instrumentele interactive

Gamificarea — integrarea elementelor de joc în activitățile educaționale — a demonstrat un potențial deosebit în educația nutrițională, în special pentru copii și tineri (Gkintoni, 2024). Prin transformarea procesului de învățare într-o experiență plăcută și competitivă, gamificarea crește implicarea și consolidează comportamentele pozitive. Exemple includ:

- Provocări interactive și quiz-uri despre obiceiuri alimentare sănătoase
- Simulări care demonstrează rezultatele diferitelor alegeri alimentare
- Jocuri de citire a etichetelor alimentare și bingo cu tematică nutrițională
- Activități de tip joc de rol ce reproduc scenarii nutriționale din viața reală

Aceste formate interactive pot transforma educația nutrițională dintr-o experiență pasivă într-un proces activ și memorabil, care sprijină dezvoltarea unor obiceiuri alimentare sănătoase pe termen lung (Gkintoni, 2024).



Învățarea practică și experiențială

Învățarea bazată pe experiență a demonstrat îmbunătățiri mai mari ale comportamentului alimentar comparativ cu instruirea tradițională în clasă (Jung et al., 2015). Activitățile practice oferă participanților ocazia de a interacționa direct cu conceptele legate de alimentație și nutriție. Astfel de metode includ:

- Activități de tip action learning și jocuri interactive
- Ateliere senzoriale inspirate de metoda SAPERE
- Demonstrații culinare și sesiuni de dezvoltare a abilităților
- Degustări de alimente pentru creșterea expunerii la opțiuni sănătoase

Cercetările arată că copiii expuși la aceste programe practice sunt mai dispuși să încerce alimente noi, în special fructe și legume, și să adopte tipare alimentare mai sănătoase (Jung et al., 2015).

Abordări bazate pe comunitate

Educația nutrițională condusă de comunitate se concentrează pe împuternicire și participare, integrând cunoștințele locale și practicile culturale în strategiile de îmbunătățire a alimentației (FAO, 2024). Practici comune includ:

- Instruirea liderilor comunitari pentru a transmite mesaje nutriționale
- Integrarea tradițiilor alimentare locale în promovarea sănătății
- Abordarea barierelor sociale și economice care influențează alegerile alimentare

Astfel de inițiative dezvoltă capacitatea locală, sporesc relevanța programelor și contribuie la îmbunătățiri sustenabile în nutriția întregii comunități.

Învățarea îmbunătățită prin tehnologie

Instrumentele digitale și platformele online au extins accesul și adaptabilitatea educației nutriționale. Inovațiile includ:

- Aplicații mobile cu provocări nutriționale virtuale
- Clasamente online pentru monitorizarea progresului personal sau de grup
- Module interactive de e-learning concepute pentru profesioniști din domeniul sănătății (BMJ, 2020)

Soluțiile bazate pe tehnologie sunt deosebit de eficiente pentru implicarea publicului tânăr și familiarizat cu mediul digital, oferind în același timp feedback personalizat și în timp real pentru susținerea schimbărilor alimentare.

Instrumente educaționale inovatoare

Au fost dezvoltate resurse specializate pentru a face învățarea despre nutriție atât plăcută, cât și eficientă:



- Nutricartes®: un joc de cărți interactiv care predă principiile de bază ale alimentației sănătoase
- Metoda SAPERE: ateliere axate pe simțuri, care ajută copiii să exploreze și să accepte o varietate mai largă de alimente (Jung et al., 2015)

Ambele abordări au demonstrat succes în îmbunătățirea cunoștințelor nutriționale și în încurajarea unor alegeri alimentare mai sănătoase.

În concluzie, educația nutrițională modernă evoluează către strategii care implică activ participanții prin joc, participare, implicare comunitară și tehnologie. Combinate, aceste abordări inovatoare pot crea programe cuprinzătoare, capabile să influențeze atât comportamentele individuale, cât și rezultatele de sănătate publică la scară largă.

4.5 Evaluarea nivelului de conștientizare nutrițională

Evaluarea conștientizării nutriționale este esențială pentru măsurarea eficienței inițiativelor de educație nutrițională și pentru identificarea domeniilor ce necesită îmbunătățiri în cadrul intervențiilor de sănătate publică. Această secțiune prezintă instrumente consacrate și emergente utilizate pentru evaluarea cunoștințelor nutriționale, de la chestionare validate până la inovații bazate pe tehnologie.

Chestionare standardizate

Chestionarul de Cunoștințe Generale de Nutriție (GNKQ)

GNKQ, dezvoltat de Parmenter și Wardle (1999), este un instrument larg utilizat pentru evaluarea cunoștințelor în patru domenii: recomandări dietetice, conținutul nutritiv al alimentelor și grupelor alimentare, alegeri alimentare sănătoase și legăturile dintre dietă, boli și greutatea corporală. Acest chestionar a fost validat și adaptat pentru diferite contexte culturale. O versiune revizuită (GNKQ-R) a fost creată de Kliemann et al. (2016) pentru a se alinia cu ghidurile dietetice actualizate și pentru a îmbunătăți aplicabilitatea în diverse populații.

Testul de Cunoștințe Nutriționale (NKT)

NKT, dezvoltat de Feren et al. (2011), evaluează cunoștințele în domenii precum aportul energetic și metabolismul, compoziția nutritivă, îndulcitorii și sănătatea orală, cunoștințele despre alimente și terminologia nutrițională. A fost aplicat în populații diverse, inclusiv la profesioniști din domeniul sănătății și studenți, pentru a măsura nivelul inițial de cunoștințe și impactul programelor de instruire.

Analiza bazată pe teoria răspunsului la itemi (IRT)

Teoria răspunsului la itemi oferă o abordare rafinată pentru evaluarea cunoștințelor nutriționale, selectând întrebări cu putere mare de discriminare, analizând dificultatea itemilor și generând scoruri precise care pot fi corelate cu rezultatele comportamentale alimentare. Matsumoto et al. (2017) au folosit IRT pentru a concepe o scală validată de evaluare a



cunoștințelor shokuiku (educație alimentară și nutrițională) la copiii din școala primară japoneză, obținând evaluări mai precise comparativ cu metodele tradiționale de punctare.

Chestionare complexe

Ghidurile FAO pentru evaluarea cunoștințelor, atitudinilor și practicilor legate de nutriție (KAP)

Organizația pentru Alimentație și Agricultură (FAO, 2014) a dezvoltat ghiduri standardizate pentru realizarea anchetelor KAP, menite să măsoare nu doar cunoștințele, ci și atitudinile și comportamentele legate de nutriție. Aceste ghiduri oferă un cadru solid pentru proiectarea, implementarea și analiza evaluărilor, asigurând comparabilitatea între regiuni și programe.

Biomarkeri și aport alimentar

Pentru validarea evaluărilor nivelului de conștientizare nutrițională, cercetătorii compară adesea scorurile de cunoștințe cu indicatori obiectivi de sănătate și dietă. Biomarkerii pot include nivelurile serice de vitamine și minerale, măsurători antropometrice precum IMC și circumferința taliei, precum și markeri biochimici precum profilurile lipidice și glicemice. Aportul alimentar este evaluat frecvent folosind reamintiri de 24 de ore, chestionare de frecvență alimentară (FFQ) și jurnale alimentare. Spronk et al. (2014) au constatat că un nivel mai ridicat de cunoștințe nutriționale a fost asociat cu un consum mai mare de fructe și legume și cu un aport mai scăzut de grăsimi la adulții australieni.

Abordări inovatoare

Evaluări îmbunătățite prin tehnologie

Aplicațiile mobile, precum Nutricise (Hsu et al., 2018), oferă quiz-uri interactive și sfaturi pentru alimentație sănătoasă, în timp ce platformele web oferă punctaje în timp real și feedback personalizat.

Instrumente de evaluare gamificate

Testele sub formă de joc, care includ puncte, clasamente și insigne, pot crește implicarea, iar provocările bazate pe scenarii, ce necesită alegeri alimentare virtuale, consolidează abilitățile practice.

Simulări în realitate virtuală

Mediile imersive de tip supermarket sau bucătărie evaluează aplicarea în viața reală a cunoștințelor nutriționale. Mack et al. (2020) au demonstrat că aplicațiile mobile gamificate pot îmbunătăți atât obiceiurile alimentare, cât și retenția cunoștințelor la tinerii adulți.



Factori care influențează conștientizarea nutrițională

Cercetările arată că nivelul de cunoștințe nutriționale este influențat de mai mulți factori, inclusiv variabile sociodemografice precum vârsta, sexul, venitul și ocupația; nivelul de educație; expunerea anterioară la programe de educație nutrițională; precum și factori culturali și de mediu. Studiile realizate de Spronk et al. (2014) și Hendrie et al. (2008) subliniază importanța acestor factori în determinarea nivelului inițial de conștientizare și a succesului intervențiilor nutriționale.

În concluzie, evaluarea nivelului de conștientizare nutrițională necesită o abordare multimodală, care să combine chestionare validate precum GNKQ și NKT cu inovații moderne, inclusiv gamificare, tehnologie mobilă și validarea prin biomarkeri. Această strategie integrată oferă profesioniștilor din domeniul sănătății publice o înțelegere mai completă a alfabetizării nutriționale, permițându-le să conceapă intervenții direcționate capabile să influențeze pozitiv comportamentul alimentar și rezultatele în materie de sănătate.

4.6 Eficiența intervențiilor nutriționale inovatoare

Eficiența intervențiilor nutriționale inovatoare a fost studiată pe scară largă, cercetările explorând strategii diverse menite să îmbunătățească cunoștințele nutriționale, comportamentele alimentare și rezultatele de sănătate în diferite populații. Rezultatele indică beneficii promițătoare în anumite contexte, dar evidențiază și domenii în care este nevoie de cercetări suplimentare.

Intervenții îmbunătățite prin tehnologie

Strategiile digitale și gamificate au demonstrat un potențial considerabil în creșterea eficienței educației nutriționale și în promovarea comportamentelor sănătoase. De exemplu, Han și colaboratorii au raportat că jocurile de societate cu tematică de promovare a sănătății au determinat o îmbunătățire semnificativă a cunoștințelor nutriționale (Cohen's $d = 0,82$) și o îmbunătățire moderată a comportamentelor sănătoase (Cohen's $d = 0,38$). Cercetările lor au arătat, de asemenea, că jocurile digitale precum Fit Food Fun și ETIOBE Mates au generat creșteri pe termen scurt ale cunoștințelor legate de nutriție la copii, în timp ce jocul de societate Kaledo a menținut îmbunătățirea cunoștințelor nutriționale chiar și la 6 și 18 luni după intervenție (Han et al., 2020).

Totuși, efectul general al programelor asistate de tehnologie asupra alegerilor alimentare reale rămâne incert. O analiză de tip scoping review și o meta-analiză realizate de Chew și colaboratorii (2023) au constatat că, deși intervențiile interactive bazate pe tehnologie au sprijinit obiectivele de pierdere în greutate, acestea nu au îmbunătățit constant alegerile alimentare.

Intervenții țintite pentru populații specifice

Femei gravide și intervenții în primii ani de viață

Proiectul Nutrition Now se concentrează pe femeile gravide și părinții copiilor cu vârsta între 0–2 ani, utilizând tehnologia pentru a implementa intervenții nutriționale timpurii bazate pe



dovezi. După cum subliniază Benajiba și colaboratorii (2022), astfel de abordări ținute pot aduce beneficii semnificative; de exemplu, în Gambia, distribuirea de biscuiți nutriționali produși local în timpul sarcinii a redus prevalența greutății mici la naștere cu 39% și a crescut greutatea medie la naștere cu 136 g.

Adolescenți

Mancone și colaboratorii (2024) au evaluat un program multifuncțional de alfabetizare alimentară pentru adolescenți, care a combinat ateliere, activități interactive și instrumente digitale. Această intervenție a îmbunătățit semnificativ nivelul de alfabetizare nutrițională, a redus alimentația emoțională și a îmbunătățit autoreglarea comportamentelor alimentare.

Adulți cu afecțiuni cronice

O analiză sistematică și meta-analiză realizată de Barnett și colaboratorii (2023) a examinat intervențiile dietetice livrate prin platforme digitale de sănătate la adulți cu boli cronice legate de alimentație. Rezultatele au arătat îmbunătățiri modeste, dar semnificative, în ceea ce privește aderența la dieta mediteraneană, consumul de fructe și legume, reducerea aportului de sodiu, circumferința taliei, greutatea corporală și nivelurile hemoglobinei A1c.

Comunicarea pentru schimbarea comportamentului social în nutriție (NSBCC)

Strategiile NSBCC s-au dovedit eficiente în îmbunătățirea practicilor de hrănire a sugarilor și copiilor mici. O meta-analiză realizată de Mahumud și colaboratorii (2022) a arătat o creștere semnificativă a ratei alăptării exclusive (raportul șanselor = 1,73, $p < 0,001$) și efecte pozitive asupra indicatorilor-cheie de creștere a copiilor, inclusiv scorurile z pentru înălțime-vârstă, greutate-înălțime și greutate-vârstă.

Intervenții combinate de exercițiu fizic și nutriție

Pentru adulții în vârstă fragili sau pre-fragili, intervențiile combinate de exercițiu și nutriție pot fi extrem de benefice. Han și colaboratorii (2020) au raportat reduceri semnificative ale scorurilor de fragilitate (SMD = 0,25) și îmbunătățiri ale scorurilor în Short Physical Performance Battery (MD = 0,48), indicând o sănătate funcțională mai bună.

În ansamblu, intervențiile nutriționale inovatoare – în special cele care utilizează tehnologia – oferă perspective promițătoare pentru îmbunătățirea cunoștințelor nutriționale, promovarea comportamentelor sănătoase și ameliorarea stării de sănătate. Cu toate acestea, eficiența lor variază în funcție de populația-țintă, designul programului și rezultatele urmărite. Sunt necesare cercetări suplimentare pentru a evalua impactul pe termen lung, pentru a rafina strategiile de implementare și pentru a aborda variațiile de rezultate între diferite contexte.



4.7 Referințe

- Barnett A, Wright C, Stone C, Ho NY, Adhyaru P, Kostjasyn S, et al. Effectiveness of dietary interventions delivered by digital health to adults with chronic conditions: Systematic review and meta-analysis. *J Hum Nutr Diet*. 2023 Jun;36(3):632-656. doi:10.1111/jhn.13125.
- Benajiba N, Dodge E, Khaled MB, Chavarria EA, Sammartino CJ, Aboul-Enein BH. Technology-based nutrition interventions using the Mediterranean diet: a systematic review. *Nutr Rev*. 2022 May 9;80(6):1419-1433. doi:10.1093/nutrit/nuab076.
- Cena H, Calder PC. Defining a healthy diet: Evidence for the role of contemporary dietary patterns in health and disease. *Nutrients*. 2020 Jan 27;12(2):334. doi:10.3390/nu12020334.
- Chew HSJ, Rajasegaran NN, Chng S. Effectiveness of interactive technology-assisted interventions on promoting healthy food choices: a scoping review and meta-analysis. *Br J Nutr*. 2023 Apr 28;130(7):1250-1259. doi:10.1017/S0007114523000488.
- FAO. Guidelines for assessing nutrition-related knowledge, attitudes and practices. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2014.
- Feren A, Torheim LE, Lillegaard IT. Development of a nutrition knowledge questionnaire for obese adults. *Public Health Nutr*. 2011 Aug;14(8):1433-40. doi:10.1017/S1368980010003109.
- Gkintoni E, Vantaraki F, Skoulidi C, Anastassopoulos P, Vantarakis A. Promoting physical and mental health among children and adolescents via gamification—a conceptual systematic review. *Behav Sci (Basel)*. 2024 Jan 29;14(2):102. doi:10.3390/bs14020102.
- Han CY, Miller M, Yaxley A, Baldwin S, Sharma Y, Visvanathan R, et al. Effectiveness of combined exercise and nutrition interventions in prefrail or frail older hospitalised patients: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2020;10(8):e040146. doi:10.1136/bmjopen-2020-040146.
- Harvard Health Publishing. Dietary supplements: sorting out the science. Harvard Medical School; 2023. Available from: <https://www.health.harvard.edu/heart-health/dietary-supplements-sorting-out-the-science>
- Hendrie GA, Coveney J, Cox D. Exploring nutrition knowledge and the demographic variation in knowledge levels in an Australian community sample. *Public Health Nutr*. 2008 Dec;11(12):1365-71. doi:10.1017/S1368980008003042.
- Hsu WC, Lee IH, Chien WY, Hsu YP, Hsieh YP, Chien YL. Mobile app-based nutrition management in patients with type 2 diabetes: A randomized controlled trial. *JMIR mHealth uHealth*. 2018;6(3):e64. doi:10.2196/mhealth.9511.
- Jung LH, Choi JH, Bang HM, Shin JH, Heo YR. A comparison of two differential methods for nutrition education in elementary school: lecture- and experience-based learning program. *Nutr Res Pract*. 2015 Feb;9(1):87-91. doi:10.4162/nrp.2015.9.1.87.
- Kliemann N, Wardle J, Johnson F, Croker H. Reliability and validity of a revised version of the General Nutrition Knowledge Questionnaire. *Eur J Clin Nutr*. 2016 Oct;70(10):1174-80. doi:10.1038/ejcn.2016.87.



Mack I, Bayer C, Schäffeler N, Reiband N, Heiss S, Wabitsch M, et al. Promoting health literacy in students with a gamified app: A pilot study. *Nutrients*. 2020 Oct;12(10):3247. doi:10.3390/nu12103247.

Mahumud RA, Uprety S, Wali N, Renzaho AMN, Chitekwe S. The effectiveness of interventions on nutrition social behaviour change communication in improving child nutritional status within the first 1000 days: Evidence from a systematic review and meta-analysis. *Matern Child Nutr*. 2022 Jan;18(1):e13286. doi:10.1111/mcn.13286.

Mancone S, Corrado S, Tosti B, Spica G, Di Siena F, Misiti F, et al. Enhancing nutritional knowledge and self-regulation among adolescents: efficacy of a multifaceted food literacy intervention. *Front Psychol*. 2024 Sep 13;15:1405414. doi:10.3389/fpsyg.2024.1405414.

Matsumoto M, Yoshiike N, Kaneda F, Kunii D, Yoshita K. Development of a new food guide in Japan: The Japanese food guide Spinning Top. *Nutr Rev*. 2017 Aug;75(8):600-13. doi:10.1093/nutrit/nux028.

Parmenter K, Wardle J. Development of a general nutrition knowledge questionnaire for adults. *Eur J Clin Nutr*. 1999 Apr;53(4):298-308. doi:10.1038/sj.ejcn.1600726.

Spronk I, Kullen C, Burdon C, O'Connor H. Relationship between nutrition knowledge and dietary intake. *Br J Nutr*. 2014 May;111(10):1713-26. doi:10.1017/S0007114514000087.

World Cancer Research Fund. What is a balanced diet? 2023. Available from: <https://www.wcrf.org/about-us/news-and-blogs/what-is-a-balanced-diet/>

ISBN 978-606-786-497-7



SPU
Slovenská
poľnohospodárska
univerzita v Nitre

