



Co-funded by
the European Union

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



CURRICULUM



Partnership for innovation on the exchange of best practices and the design of joint collaborative initiatives at European level related to the awareness of the effects of contamination on human health.

Erasmus+ Project – Partnership for Cooperation
Eds. Pinzaru Iulia Andreea, Dehelean Cristina Adriana

INNO-SAFE-LIFE





OBSAH

OBSAH	
OPIS UČEBNÉHO PLÁNU	2
ROZŠÍRENÝ UČEBNÝ PLÁN	6
Kapitola 1. Vplyv kontaminantov pôdy a inovatívne zelené metódy na ich zníženie	6
1.1 Úvod	
1.2 Pôdne patogény ako kontaminanty pôdy	
1.3 Vplyv pesticídov na zdravie pôdy	
1.4 Fytoremediácia ako riešenie kontaminácie pôdy stopovými prvkami	
1.5 Referencie	
Kapitola 2. Antimikrobiálna rezistencia vznikajúca v dôsledku prirodzeného výberu zhoršeného ľudskými faktormi a inovatívne zelené metódy boja proti nej	12
2.1 Úvod	
2.2 Osud antimikrobiálnej rezistencie v životnom prostredí	
2.3 Prenikanie antimikrobiálnych látok do životného prostredia	
2.4 Antimikrobiálne účinky na ľudské zdravie a životné prostredie	
2.5 Spoločný vplyv antimikrobiálnych látok a environmentálnych znečisťujúcich látok	
2.6 Environmentálna špecifickosť antimikrobiálnej rezistencie	
2.7 Vplyv rôznych environmentálnych faktorov na antimikrobiálnu rezistenciu	
2.8 Možné riziko antimikrobiálnej rezistencie pre ľudské zdravie a ekologický systém	
2.9 Techniky na zníženie antibiotickej rezistencie a kontaminácie	
2.10 Referencie	
Kapitola 3. Toxické účinky kontaminantov na ľudské telo a inovatívne zelené metódy na ich zníženie	26
3.1 Úvod	
3.2 Toxické účinky na ľudské telo	
3.3 Cesty expozície	
3.4 Hodnotenie kontaminantov	
3.5 Inovatívne zelené metódy na zníženie toxických účinkov kontaminantov	
3.6 Referencie	
Kapitola 4. Úloha zdravej výživy a schválenej konzumácie bezpečných výživových doplnkov. Inovatívne prístupy a zvyšovanie povedomia	34
4.1 Úvod	
4.2 Základy zdravej výživy	
4.3 Bezpečné výživové doplnky	
4.4 Inovatívne prístupy k vzdelávaniu v oblasti výživy	
4.5 Hodnotenie nutričného povedomia	
4.6 Účinnosť inovatívnych intervenčných programov v oblasti výživy	
4.7 Referencie	



OPIS UČEBNÉHO PLÁNU

Názov projektu: Partnerstvo pre inovácie v oblasti výmeny osvedčených postupov a navrhovania spoločných kolaboratívnych iniciatív na európskej úrovni súvisiacich so zvyšovaním povedomia o účinkoch kontaminácie na ľudské zdravie

Akronym projektu: INNO-SAFE-LIFE

Číslo projektu: 2023-1-RO01-KA220-HED-000164767

Učebné osnovy (približne 30 strán) – prispievajú k budovaniu zdravého prostredia ako základu ľudského zdravia, počnúc ekologickou pôdou, ktorá je zdrojom potravín a oporou ľudského zdravia, až po výrobu a konzumáciu bezpečných a vhodných potravín a výživových doplnkov. Zahŕňajú relevantné údaje týkajúce sa ochrany zdravej pôdy, ktorá má zásadnú úlohu pri výrobe potravín, liekov, doplnkov atď., identifikácie kontaminantov, antimikrobiálnej rezistencie, získavania prírodných produktov a zachovania aktívnych zložiek, ako aj zhodnocovania rastlinných zdrojov.

Pedagógovia zodpovední za teoretické časti:

- Koordinátor (UMFVBT): Iulia Andreea Pinzaru, Cristina Adriana Dehelean, Diana Simona Tchiakpe-Antal, Codruta Marinela Soica
- Partner 1 (UNICAL): Filomena Conforti, Giancarlo Statti, Mary Fucile
- Partner 2 (UNIOS): Vrandečić Karolina, Čosić Jasenka, Baličević Renata, Brigita Popovic
- Partner 3 (SUA): Miroslava Kačániová
- Partner 4 (UMFCDB): Andreea Arsene, Bruno Velescu, Denisa Udeanu
- Partner 5 (FAVISAN): Virginia Faur, Mirabela Faur Timofti, Anca Gidofalvi

Pedagógovia zodpovední za praktické časti:

- Koordinátor (UMFVBT): Oana Andrada Iftode, Daliana Ionela Minda, George Andrei Draghici, Stefania Dinu, Camelia Alexandrina Szuhaneck
- Partner 1 (UNICAL): Filomena Conforti, Giancarlo Statti, Mary Fucile
- Partner 2 (UNIOS): Vrandečić Karolina, Čosić Jasenka, Baličević Renata, Brigita Popovic
- Partner 3 (SUA): Miroslava Kačániová, Natália Čmíková
- Partner 4 (UMFCDB): Andreea Arsene, Bruno Velescu, Denisa Udeanu

Ciele	Tento učebný plán má za cieľ vybaviť účastníkov schopnosťou: Vysvetliť vzájomnú závislosť medzi zdravou pôdou, kvalitou životného prostredia, bezpečnosťou potravín a ľudským zdravím. Identifikovať a hodnotiť pôvod, prenos a účinky environmentálnych znečisťujúcich látok vrátane antimikrobiálnej rezistencie (AMR). Uplatňovať ekologické a inovatívne techniky na prevenciu, obmedzenie alebo odstránenie kontaminácie. Identifikovať, spracovať a optimalizovať využitie rastlinných zdrojov na výrobu bezpečných potravín, liekov a výživových doplnkov. Spájať poznatky z viacerých odborov s cieľom riešiť výzvy v oblasti environmentálneho zdravia udržateľným spôsobom. Viest' iniciatívy zamerané na zvyšovanie povedomia a vzdelávanie rôznych cieľových skupín na miestnej, národnej a európskej úrovni.
Kognitívne zručnosti	Hlboké poznatky o pôdnych ekosystémoch a ich význame pre produkciu potravín a stabilitu životného prostredia.



	Schopnosť analyzovať a interpretovať údaje o kontaminantoch a ich dôsledkoch na zdravie. Porozumenie mechanizmom antimikrobiálnej rezistencie, jej cestám a udržateľným protiopatreniam. Výskumné kompetencie v oblasti získavania, uchovávaní a aplikácie bioaktívnych prírodných produktov. Schopnosť integrovať informácie z oblasti poľnohospodárstva, životného prostredia a verejného zdravia pri rozhodovaní. Znalosť legislatívy EÚ a globálnych štandardov pre ochranu životného prostredia, bezpečnosť potravín a výživové doplnky.
Profesijné zručnosti	Zber a analýza vzoriek pôdy na posúdenie jej zdravotného stavu a úrovne kontaminácie. Vykonávanie laboratórnych testov na identifikáciu znečisťujúcich látok a ukazovateľov antimikrobiálnej rezistencie. Navrhovanie a realizácia ekologických stratégií na prevenciu a sanáciu kontaminácie. Vývoj, testovanie a zabezpečenie bezpečnosti výživových a liečivých produktov rastlinného pôvodu. Tvorba účinných komunikačných materiálov pre verejnosť s cieľom zvyšovať povedomie o rizikách. Uplatňovanie uznávaných štandardov v poľnohospodárskej a výrobní praxi na zabezpečenie bezpečnosti produktov.
Jednotky kompetencií	Zdravie pôdy a prežitie človeka – princípy pôdnej ekológie, prevencia a monitorovanie degradácie. Kontaminanty a kontrola antimikrobiálnej rezistencie – metódy detekcie, hodnotenie rizika a stratégie zmierňovania. Prírodné produkty a bioaktívne zlúčeniny – udržateľné získavanie, spracovanie a techniky uchovávaní. Udržateľné využívanie a spotreba – optimálne formy aplikácie, integrácia na trh a opatrenia na zníženie odpadu.
Prvky inovácií	Spájanie poznatkov z poľnohospodárstva, environmentálnych vied, zdravotnej starostlivosti a priemyslu do jednotného vzdelávacieho prístupu. Zavádzanie nového obsahu o vznikajúcich hrozbách, ako sú mikroplasty a zmeny kontaminácie súvisiace s klímou. Využívanie rastlinných a mikrobiálnych agensov ako prírodných alternatív na sanáciu a prevenciu AMR. Zahrňovanie pokročilých nástrojov, ako je diaľkový prieskum, GIS a digitálne platformy na monitorovanie životného prostredia a zvyšovanie povedomia. Poskytovanie samostatného sprievodcu experimentálnymi metódami na prepojenie teoretických konceptov s praktickou činnosťou. Navrhovanie interaktívnych tréningových formátov vhodných pre akademické aj komunitné prostredie.
Dopad	Okamžité výsledky Zvýšená technická odborná spôsobilosť v oblasti environmentálneho zdravia a kontroly kontaminácie medzi študentmi a odborníkmi. Väčšie porozumenie verejnosti environmentálnym rizikám a udržateľným preventívnym postupom. Strednodobé prínosy Širšie prijatie environmentálne zodpovedných postupov v poľnohospodárstve, výrobe potravín a verejnom zdravotníctve. Silnejšie prepojenie univerzít, priemyslu a tvorcov politik v rámci EÚ.



	Dlhodobé výsledky Zdravšie ekosystémy a komunity s nižšou expozíciou environmentálnym rizikám. Potravinové systémy lepšie pripravené čeliť environmentálnym a zdravotným výzvam. Vytvorenie trvalej európskej siete zameranej na podporu zdravého životného prostredia a bezpečných životných podmienok.
--	---

Hodiny aktivít – učebný plán

Celkový počet hodín 80	Teoretický 40	Praktický 20	Individuálne štúdium 20
Curriculum INNO-SAFE-LIFE			
Technické a vedecké údaje			Obs
Kapitola 1. vplyv kontaminantov pôdy a inovatívne zelené metódy na ich zníženie		10	Technická a vedecká časť pozostáva z 8 hodín x 5 dní. Celkovo 40 hodín.
Kapitola 2. antimikrobiálna rezistencia vznikajúca v dôsledku prirodzeného výberu zhoršeného ľudskými faktormi a inovatívne zelené metódy boja proti nej		10	
Kapitola 3. toxické účinky kontaminantov na ľudské telo a inovatívne zelené metódy na ich zníženie		10	
Kapitola 4. úloha zdravej výživy a schválenej konzumácie bezpečných výživových doplnkov – inovatívne metódy prístupu a zvyšovania povedomia		10	
Praktická časť programu sa bude realizovať v špecializovaných laboratóriách partnerských univerzít. Aktivita sú navrhnuté na základe experimentálnych prístupov, využívajúc moderné techniky a štandardizované protokoly aplikované na: (i) ochranu pôdných zdrojov, ktoré sú životne dôležité pre výrobu potravín, liečivých produktov a výživových doplnkov, a tým prispievajú k potravinovej bezpečnosti, (ii) detekciu a hodnotenie kontaminantov vrátane štúdií o antimikrobiálnej rezistencii, (iii) výrobu prírodných produktov so zameraním na zachovanie integrity a stability aktívnych zlúčenín, a (iv) optimalizáciu využívania rastlinných zdrojov na zabezpečenie bezpečnej a účinnej konzumácie.			Praktická časť pozostáva z 5 hodín x 4 dni. Celkovo 20 hodín.
Metódy hodnotenia			
Študenti budú hodnotení rôznymi metódami, vrátane testov s výberom jednej správnej odpovede a s výberom dvoch správnych odpovedí, úloh s krátkou odpoveďou, štruktúrovaných alebo doplnkových otázok vyžadujúcich riešenie problémov a esejí zameraných na kľúčové tematické oblasti. Hodnotenie na účely certifikácie kompetencií			
Certifikácia kompetencií bude založená na nástrojoch a metódach, ktoré sú v súlade s profesijnými a kognitívnymi štandardmi, pričom sa zohľadnia ukazovatele výkonu aj podmienky aplikácie.			



Co-funded by
the European Union



Hodnotenie bude merať mieru, do akej si študenti rozvinú zručnosti v oblasti ochrany pôdy na poľnohospodárske a liečivé účely, analýzy kontaminantov a antimikrobiálnej rezistencie, zachovania bioaktívnych zložiek v prírodných produktoch a techník zhodnocovania rastlinných zdrojov pre aplikácie v oblasti ľudského zdravia. Študijné a výskumné materiály Program podporuje aktívne zapojenie študentov a začínajúcich výskumníkov do kontinuálneho vzdelávania. Počas projektu a v následných aktivitách sa budú uplatňovať moderné a flexibilné metódy výučby-učenia, pričom sa zohľadnia medzinárodné osvedčené postupy. Programové materiály budú systematicky štruktúrované a dostupné v štyroch jazykoch – angličtine, rumunčine, taliančine a chorvátčine – prispôsobené kontextu každej zúčastnenej krajiny.



ROZŠÍRENÝ UČEBNÝ PLÁN

Kapitola 1. VPLYV KONTAMINANTOV PÔDY A INOVATÍVNE ZELENÉ METÓDY NA ICH ZNÍŽENIE

1.1 Úvod

Zdravá pôda je základom potravinovej bezpečnosti, ľudského zdravia a environmentálnej stability. Slúži nielen ako médium pre rast plodín, ale aj ako dôležitý zdroj surovín pre lieky, výživové doplnky a ďalšie produkty nevyhnutné pre ľudskú pohodu. Pôda funguje ako živý systém, ktorý podporuje komplexné biologické spoločenstvá regulujúce cykly živín, filtrujúce vodu a udržiavajúce ekologickú rovnováhu. Keď je zdravie pôdy narušené – kontamináciou, degradáciou alebo nerovnováhou – tieto funkcie sú oslabené, čo ohrozuje bezpečnosť potravín aj verejné zdravie.

Táto kapitola sa zameriava na tri kľúčové aspekty ochrany pôdy. Prvý sa venuje pôdnym patogénom, ktoré môžu pretrvávajúť celé roky, ovplyvňovať zdravie rastlín, znižovať úrody a vnášať škodlivé toxíny do potravinového reťazca. Pochopenie ich životných cyklov, spôsobov prenosu a stratégií manažmentu je nevyhnutné na udržanie poľnohospodárskej produktivity.

Druhá časť skúma vplyv pesticídov na zdravie pôdy a poukazuje na krehkú rovnováhu medzi ochranou plodín pred škodlivými organizmami a zachovaním biodiverzity pôdy. Hoci pesticídy zohrávajú úlohu pri ochrane úrody, ich nadmerné alebo nesprávne používanie môže viesť k trvalej kontaminácii pôdy, akumulácii toxických rezíduí a dlhodobému environmentálnemu poškodeniu. Preto je nevyhnutné uplatňovať udržateľné používanie a účinné postupy sanácie.

Posledná časť skúma fytoremediáciu ako inovatívne, environmentálne šetrné riešenie obnovy kontaminovaných pôd. Využitím prirodzenej schopnosti rastlín, rias a húb absorbovať, transformovať alebo imobilizovať znečisťujúce látky ponúka fytoremediácia nízkonákladovú a udržateľnú metódu riešenia kontaminácie stopovými prvkami vrátane ťažkých kovov.

Tieto časti spoločne poskytujú komplexný pohľad na hrozby pre zdravie pôdy a inovatívne prístupy k jej ochrane. Integráciou biologických poznatkov, udržateľného manažmentu a zelených technológií môžeme zachovať pôdu ako spoľahlivý základ pre výrobu potravín, zdroje liečiv a prežitie človeka.

1.2 Pôdne patogény ako kontaminanty pôdy

Pôda obsahuje najrozmanitejšie biologické spoločenstvá na Zemi (Nielsen et al., 2015). Slúži ako rezervoár rôznych patogénov schopných spôsobovať choroby rastlín. Choroby spôsobené pôdnymi patogénmi môžu viesť k výrazným stratám úrody v mnohých plodinách (Katan, 2017). Tieto patogény zahŕňajú huby, oomycéty, vírusy, baktérie a hádžatky. Typickými príznakmi infekcie sú viditeľné lézie, hniloby a vädnutie.

Predvýchodové padanie kľúčnych rastlín nastáva vtedy, keď mladé sadenice zhniú pod povrchom pôdy ešte pred vyklíčením. Zvyčajne k tomu dochádza pri nepriaznivých podmienkach klíčenia, ako sú chladná, horúca alebo nadmerne vlhká pôda, zle odvodnená alebo zhutnená pôda a prítomnosť nerozloženej organickej hmoty.



Povychodové padanie klíčnych rastlín nastáva, keď sú stonky a korene sadeníc napadnuté v úrovni pôdy, čo spôsobí ich zrútenie. K padaniu klíčnych rastlín môže prispieť aj vysoká koncentrácia solí v pôde.

Hniloba koreňov môže postihnúť rastliny aj po fáze sadeníc, keď huby prenikajú do vnútorných tkanív koreňov a narúšajú prísun vody a živín. Príznaky nadzemnej časti zahŕňajú zníženú vitalitu, žltnutie listov, predčasné opadávanie listov, vädnutie od rastového vrcholu, odumieranie výhonkov a náhlu smrť rastlín. Cieвне vädnutie sa vyznačuje vädnutím a sfarbením cievneho systému v stonkách, kmeňoch alebo konároch.

Pôdne patogény prežívajú v pôde aspoň časť svojho životného cyklu. Pôda je heterogénne prostredie, v ktorom je rast mikroorganizmov často obmedzený dostupnosťou organických substrátov. Patogény sú preto silne ovplyvňované abiotickými aj biotickými pôdnymi faktormi, ako aj poľnohospodárskymi praktikami, ako sú zavlažovanie, obrábanie pôdy, aplikácia hnoja a hnojenie. Tieto organizmy zvyčajne prenikajú do rastlín prostredníctvom podzemných štruktúr, ale môžu sa rozšíriť aj do nadzemných častí. K prenosu dochádza prostredníctvom pôdy, kontaminovanej vody, rastlinných zvyškov alebo poľnohospodárskeho náradia (Friberg et al., 2005).

Bežné hubové pôdne patogény zahŕňajú druhy z rodov *Fusarium*, *Rhizoctonia* a *Phytophthora*, ktoré spôsobujú choroby ako hniloba koreňov, padanie klíčnych rastlín a vädnutie rôznych plodín. Tieto patogény sú náročné na kontrolu, pretože môžu pretrvávať v pôde dlhé obdobie, pričom prežívajú vo forme spór, cýst alebo iných odolných štruktúr (Alegbeleye et al., 2018). Mnohé hubové patogény produkujú vysoko odolné dormantné spóry – napríklad chlamydospóry, oospóry, mikroskleróciá alebo skleróciá – ktoré môžu prežiť v pôde viac ako 10 rokov (Jurković et al., 2017).

Keď sú v rizosfére prítomné koreňové exsudáty náchylného hostiteľa alebo iné vhodné zdroje živín, tieto štruktúry klíčia a za priaznivých podmienok infikujú rastliny. Po etablovaní môžu pôdne patogény spôsobovať chronické infekcie, ktoré znižujú zdravie rastlín a produktivitu plodín.

Mykotoxíny – sekundárne metabolity produkované niektorými pôdnymi hubami – môžu byť škodlivé pre ľudí a zvieratá. Kontaminujú potraviny priamo počas pestovania alebo nepriamo prostredníctvom kontaminovaného krmiva pre zvieratá (Juraschek et al., 2022).

Stratégie manažmentu pôdných patogénov zahŕňajú striedanie plodín, sterilizáciu pôdy, odolné odrody rastlín a využívanie biologických kontrolných agensov. Postupy, ktoré zvyšujú pôdnu mikrobiálnu diverzitu a biomasu, môžu podporovať antagonistické interakcie a tým pomáhať regulovať škodlivé organizmy (Samaddar et al., 2021).

1.3 Vplyv pesticídov na zdravie pôdy

Udržateľné používanie pesticídov znamená ich aplikáciu takým spôsobom, aby neohrozovali ľudské zdravie ani prírodné zdroje, ako sú pôda, vzduch, voda a biodiverzita. Škodlivé organizmy v poľnohospodárstve – ako sú patogény, škodcovia a buriny – môžu spôsobovať významné straty úrody. Bez primeraných opatrení na ochranu rastlín môžu celosvetové straty plodín dosiahnuť približne 50 % (Öerke, 2005).

Hlavnou výzvou v poľnohospodárstve je produkcia dostatočného množstva potravín pre rastúcu svetovú populáciu pri súčasnom minimalizovaní vplyvu na životné prostredie a biodiverzitu. Uvedomenie si potenciálnych negatívnych účinkov pesticídov je kľúčovým



prvkom konceptu udržateľného poľnohospodárstva a udržateľnej ochrany rastlín (Barić et al., 2019).

Pesticídy obsahujú účinné látky – chemické zlúčeniny, prvky alebo mikroorganizmy – ktoré pôsobia proti škodlivým organizmom. Po aplikácii tieto látky podliehajú rozkladu a premene pod vplyvom svetla, teploty, vlhkosti a rastlinných enzýmov. Rýchlosť a charakter rozkladu závisia od podmienok prostredia a chemických vlastností.

Rezíduá pesticídov sú zvyčajne malé množstvá účinných látok merané v miligramoch na kilogram rastlinného produktu. Takéto rezíduá môžu byť prítomné v potravinách rastlinného pôvodu (ovocie, zelenina, obilniny), potravinách živočíšneho pôvodu (mäso, mlieko, vajcia), pitnej vode, povrchovej vode, pôde a vnútornom ovzduší, kde sa pesticídy používajú (Baličević & Ravlić, 2014).

Pre každú schválenú účinnú látku sa stanovuje maximálna reziduálna hladina (MRL) s cieľom zabezpečiť bezpečnosť potravín, vody, pôdy alebo ovzdušia. Aby sa predišlo prekročeniu MRL, je nevyhnutné dodržiavať pokyny na etikete prípravku na ochranu rastlín (Mešić et al., 2018).

Veľké množstvá pesticídov sa dostávajú do životného prostredia a pôdy adsorpciou, vymývaním, odparovaním a povrchovým odtokom (Tudi, 2021). Ich perzistencia je ovplyvnená typom pôdy, rozpustnosťou pesticídu, rýchlosťou rozkladu, mikrobiálnou aktivitou pôdy a klimatickými podmienkami. Rezíduá pesticídov môžu spôsobovať strednú degradáciu pôdy, čím sťažujú jej regeneráciu.

Bežnými znečisťujúcimi látkami v pôde sú ťažké kovy, polycyklické aromatické uhľovodíky (PAH) a perzistentné organické polutanty (POP). Zdroje POP zahŕňajú intenzívne používanie minerálnych hnojív a prípravkov na ochranu rastlín, ako aj priemyselné emisie. Tieto zlúčeniny sú perzistentné, toxické, bioakumulatívne a schopné diaľkového atmosférického prenosu. Príklady zahŕňajú polychlórované bifenyly (PCB), organochlórové pesticídy (OCP) a polychlórované dibenzofurány (PCDF) (Sofilić, 2014).

Sanácia pôdy od rezíduí pesticídov môže zahŕňať nízкотеплотnú desorpciu, spaľovanie, bioremediáciu alebo fyto-remediáciu. Výber metódy závisí od typu pesticídu, charakteristík pôdy a klimatických podmienok. Ideálne by mala sanácia úplne rozložiť kontaminanty bez vzniku škodlivých medziproduktov (Đokić et al., 2012). Niektoré metódy však látky len stabilizujú alebo redistribuujú, namiesto ich úplného odstránenia.

Hoci je aplikácia pesticídov prísne regulovaná, neustále vzdelávanie poľnohospodárov je nevyhnutné na podporu udržateľného poľnohospodárstva. To zahŕňa informovanosť o osobných ochranných opatreniach a dodržiavanie pokynov výrobcu týkajúcich sa množstva, prípravy a spôsobov aplikácie.

1.4 Fyto-remediácia ako riešenie kontaminácie pôdy stopovými prvkami

Rastliny si vyvinuli viaceré mechanizmy na tolerovanie vysokých, toxických koncentrácií ťažkých kovov. Pôdu kontaminovanú ťažkými kovmi je možné ošetrovať fyzikálnymi (vymývanie pôdy), chemickými alebo biologickými (bioremediácia) metódami (Singh et al., 2003).

Fyto-remediácia – spolu so stabilizáciou, rizofiláciou, fyto-volatilizáciou a vymývaním pôdy – je biologická metóda, pri ktorej rastliny, riasy a huby znižujú koncentráciu znečisťujúcich látok v pôde, vode alebo ovzduší (Tangahu et al., 2011). Tieto organizmy absorbujú, degradujú



alebo transformujú škodlivé látky, čím pomáhajú obnovovať ekosystémy a zlepšovať kvalitu životného prostredia.

Hlavné mechanizmy fytoremediácie zahŕňajú:

Fytoprolifерácia – rastliny rastú v kontaminovaných oblastiach a absorbujú znečisťujúce látky prostredníctvom koreňov.

Fytorizostáza – rastliny akumulujú znečisťujúce látky vo svojich tkanivách bez výrazného poškodenia, čo umožňuje ich jednoduchšie odstránenie.

Fytodegradácia – enzýmy produkované rastlinami rozkladajú alebo transformujú znečisťujúce látky na menej škodlivé zlúčeniny.

Fytoextrakcia – rastliny absorbujú znečisťujúce látky, ktoré sa následne odstránia pri zbere rastlín.

Fytorizofiltrácia – korene rastlín filtrujú znečisťujúce látky z vody.

Pojem fytoremediácia pochádza z gréckeho „phyto“ (rastlina) a latinského „remedio“ (liečiť alebo obnoviť) a označuje využitie rastlín a ich sprievodných mikroorganizmov na izoláciu, transport, detoxikáciu alebo mineralizáciu znečisťujúcich látok v pôde, čím sa znižuje ich koncentrácia, pohyblivosť alebo toxicita (Prasad, 2003).

Príjem ťažkých kovov rastlinami prebieha prostredníctvom absorpcie koreňmi, transportu z koreňov do nadzemných častí a ich sekvestrácie. Mnohé kovy sú rozpustné a ľahko absorbovateľné, zatiaľ čo iné vyžadujú vylučovanie chelačných látok z koreňov na zvýšenie svojej dostupnosti (Dalvi & Bhalerao, 2013). Absorpcia môže prebiehať prostredníctvom:

Apoplastickej dráhy – pasívna difúzia cez neživé tkanivá.

Symplastickej dráhy – aktívny transport cez živé tkanivá.

Po absorpcii ťažké kovy vytvárajú komplexy s chelátormi v bunkách koreňov a môžu byť imobilizované alebo transportované do nadzemných častí prostredníctvom xylému (Ali et al., 2013; Thakur et al., 2016; Kumar et al., 2022).

Rastliny s mimoriadne vysokým príjmom kovov sa nazývajú hyperakumulátory (Trapp & Legind, 2010). Mnohé druhy dokážu absorbovať kontaminanty ako olovo, kadmium, chróm, arzén a rádionuklidy. Fytoextrakcia je obzvlášť účinná pri odstraňovaní esenciálnych (Fe, Mn, Zn, Cu, Mg, Mo, Ni) aj neesenciálnych (Cd, Cr, Pb, Co, Ag, Se, Hg) kovov (Vamerali et al., 2009).

Fytoremediácia ponúka viaceré výhody: je účinná, nízkonákladová, použiteľná pre široké spektrum znečisťujúcich látok, environmentálne šetrná a vhodná pre rozsiahle oblasti s nízkou až strednou úrovňou kontaminácie. Vyžaduje minimálne vybavenie, špecializovaný personál alebo vysoký energetický vstup, čo z nej robí atraktívnu alternatívu ku konvenčným metódam sanácie, najmä pre rozsiahle alebo nízko kontaminované lokality.

1.5 Literatúra

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.

Öerke 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.



Kapitola 2. ANTIMIKROBIÁLNA REZISTENCIA VZNIKAJÚCA V DÔSLEDKU PRIRODZENÉHO VÝBERU ZHORŠENÉHO ĽUDSKÝMI FAKTORMI A INOVATÍVNE ZELENÉ METÓDY BOJA PROTI NEJ

2.1 Úvod

Kritickým krokom pri ochrane verejného zdravia a integrity životného prostredia je systematická analýza a presná identifikácia kontaminantov vrátane detekcie a monitorovania antimikrobiálnej rezistencie v rôznych ekosystémoch.

Antimikrobiálna rezistencia a znečistenie sa stali významnými globálnymi zdravotnými a environmentálnymi problémami. V dôsledku rozsiahleho používania antimikrobiálnych látok v medicíne a živočíšnej výrobe sa reziduá antimikrobiálnych látok neustále uvoľňujú do životného prostredia, čím poškodzujú ekosystémy a podporujú vznik a šírenie rezistencie na antibiotiká. Často sa prehliada úloha environmentálnych faktorov pri antimikrobiálnom znečistení a rozvoji rezistencie. Ľudia nesú vysoký počet génov a baktérií rezistentných na antimikrobiálne látky, čo zvyšuje riziko vzniku rezistencie u patogénnych baktérií a pravdepodobnosť kontaktu človeka s patogénmi rezistentnými na tieto látky. Od ich objavenia v 20. storočí sa antimikrobiálne látky vďaka svojej účinnosti proti patogénnym baktériám široko používajú na prevenciu a liečbu chorôb a v chove hospodárskych zvierat (Hao et al., 2014; Bacanlı a Basaran, 2019; Hutchings et al., 2019).

Vývoj antimikrobiálnych látok, ktorých sa na celom svete každoročne použije viac ako 100 000 ton, zachránil milióny životov (Danner et al., 2019). Avšak rozsiahla aplikácia antimikrobiálnych látok nevyhnutne viedla k ich úniku do životného prostredia a k vzniku rezíduí (Chen et al., 2020). Antimikrobiálne látky sa do prostredia uvoľňujú buď priamo, alebo prostredníctvom metabolizmu hostiteľa, najmä pri poľnohospodárskom a akvakultúrnom využití (Bilal et al., 2019). Hoci majú antimikrobiálne látky relatívne krátky polčas rozpadu – často od niekoľkých hodín po niekoľko dní – ich nesprávne používanie a neustále uvoľňovanie vedú k ich prítomnosti v odpadových, podzemných a povrchových vodách (Wei et al., 2011; Gothwal a Shashidhar, 2015; Chen et al., 2019). Reziduá antimikrobiálnych látok boli navyše zistené v zelenine, mliečnych výrobkoch, vajciach a iných potravinách, čím dochádza k dlhodobej expozícii ľudí týmto látkam. Nedávne výskumy ukázali, že reziduá antibiotík môžu mať škodlivé účinky na živé organizmy (Petersen et al., 2021; Qian et al., 2021). V dôsledku toho sa antimikrobiálna kontaminácia stala medzinárodným problémom (Wang et al., 2021).

Baktérie rezistentné na antimikrobiálne látky (ARB) a gény antimikrobiálnej rezistencie (ARG) vznikajú a šíria sa predovšetkým pôsobením antibiotík (Wang et al., 2020; Shen et al., 2021). Prostredníctvom horizontálneho prenosu génov (HGT) získavajú mikroorganizmy, najmä klinické patogény, ARG zo svojho okolia, čím sa znižuje ich citlivosť na antibiotiká (Guo et al., 2022). Antimikrobiálna rezistencia sa môže v prostredí šíriť jednoduchšie v dôsledku rýchleho a nekontrolovaného rastu mikroorganizmov. Za posledné desaťročie ARG zvýšili riziká, ktoré mikroorganizmy predstavujú pre ľudské zdravie (Zhang et al., 2022). Odhaduje sa, že v roku 2019 bolo celosvetovo 6,22 milióna úmrtí priamo alebo nepriamo spôsobených ochoreniami rezistentnými na antimikrobiálne látky (Murray et al., 2022). Antimikrobiálna rezistencia sa už stala významnou hrozbou pre verejné zdravie na celom svete (Lin et al., 2021). Dôvodom je, že antimikrobiálne látky, ARG a ARB – bežne považované za nové environmentálne polutanty – sa ťažko odstraňujú v čističkách odpadových vôd (Zhang et al., 2018; Cerqueira et al., 2019). O výskyte ARB, ARG a antimikrobiálnych látok sa uvádza v mnohých prostrediach (Li et al.,



2021), vrátane atmosféry, čo zvyšuje riziko expozície ľudí (Wang et al., 2019; Zhao et al., 2022).

Žalúdok je hlavný orgán v ľudskom tele pre absorpciu, trávenie a hostenie mikrobiómu. Význam črevného mikrobiómu pre ľudské zdravie sa v poslednom období dostáva do popredia (Jin et al., 2017; Yuan et al., 2019). Choroby, ako sú obezita a chronické ochorenie obličiek, môžu byť spustené narušením črevnej mikrobioty (Gerard, 2016; Nallu et al., 2017). Antimikrobiálne látky a ARG však primárne ovplyvňujú črevné baktérie, čím zvyšujú zdravotné riziká pre ľudí (Duan et al., 2022). V prostrediach s vysokou hustotou mikroorganizmov, ako je črevo, je HGT pravdepodobnejší (McInnes et al., 2020). Konzumácia potravín alebo vody kontaminovanej reziduami antibiotík a ARG je znepokojujúca, pretože znižuje diverzitu črevných baktérií a podporuje kolonizáciu ARB a amplifikáciu ARG, čím sa znižuje odolnosť voči prenikaniu patogénov (Anthony et al., 2021).

Okrem mnohých polutantov spôsobených ľudskou činnosťou interagujú antimikrobiálne látky aj s inými prvkami alebo kontaminantmi v zložitom prírodnom prostredí, čo predstavuje väčšie riziká pre ekosystémy a verejné zdravie (Qin et al., 2022; Wang et al., 2023). Tieto kontaminanty ovplyvňujú vývoj multirezistentných baktérií a obohacovanie a prenos ARG (Xia et al., 2019; Li et al., 2022). Antimikrobiálne látky a ARG môžu v dôsledku týchto nepredvídateľných a premenlivých podmienok spôsobovať vážnejšie škody.

2.2 Osud antimikrobiálnej rezistencie v životnom prostredí

Väčšina antimikrobiálnych zlúčenín sa prirodzene produkuje a má schopnosť buď usmrcovať, alebo inhibovať mikroorganizmy (Kumar et al., 2019). Jedným z najvýznamnejších medicínskych objavov 20. storočia bolo objavenie antibiotík (Hutchings et al., 2019). Od objavenia penicilínu zažilo vyvíjanie antibiotík zlatú éru. Bolo identifikovaných množstvo antimikrobiálnych látok, ktoré sa používajú na prevenciu chorôb a stali sa neoddeliteľnou súčasťou modernej zdravotnej starostlivosti (Laws et al., 2019). V súčasnosti sa používa viac ako 150 antimikrobiálnych látok, ktoré možno na základe ich chemickej štruktúry rozdeliť do skupín, ako sú β -laktámové, makrolidové, chinolónové a aminoglykozidové antimikrobiálne látky (Tasho et al., 2016).

Antimikrobiálne látky pôsobia tak, že inhibujú tvorbu bakteriálnej bunkovej steny, interagujú s bunkovou membránou a menia jej priepustnosť, zasahujú do syntézy proteínov a zabráňujú replikácii a transkripcii nukleových kyselín (Hutchings et al., 2019). Okrem terapeutického využitia sa antimikrobiálne látky široko používajú aj v poľnohospodárstve na kontrolu chorôb a škodcov, ako aj v krmivách pre zvieratá na podporu rastu (Hao et al., 2014; Zhou et al., 2018). Používanie antimikrobiálnych látok na medicínske účely je v Číne a Spojených štátoch v skutočnosti bežnejšie ako v poľnohospodárstve, akvakultúre a živočíšnej výrobe (Zhang et al., 2019).

Antimikrobiálne látky sa vyrábajú vo veľkých množstvách a používajú sa na celom svete na zabezpečenie potrieb zdravotnej starostlivosti a riadenia chorôb. Našťastie, čoraz viac sa zvyšuje povedomie o tom, že nesprávne a nadmerné používanie antibiotík môže poškodzovať životné prostredie aj ľudské zdravie. V dôsledku toho narastá snaha znížiť zbytočné používanie antibiotík a vyvíjať bezpečnejšie alternatívy.

2.3 Prenikanie antimikrobiálnych látok do životného prostredia

Existuje mnoho ciest, ktorými sa antimikrobiálne látky môžu dostať do životného prostredia a ovplyvniť tak ekosystémy aj ľudské zdravie. Hlavnými rezervoármi antimikrobiálnych látok sú



pôda a voda. Sulfonamidy majú nízku biologickú dostupnosť, a preto po ich strávení ošípanými dosahovali ich koncentrácie v moči od 4,54 % do 69,22 % a vo výkaloch od 15,03 % do 26,55 % (Qiu et al., 2016). Podľa súvisiacej štúdie, keď pacienti užívali solimycín perorálne, koncentrácia liečiva v ich moči a stolici bola 14,1 % a 76,5 % (MacLauchlin et al., 2018). Chen et al. (2020) uviedli, že ľudské a živočíšne odpady sa podieľali na uvoľňovaní antimikrobiálnych látok 42,6 % a 57,6 %.

Hovädzí a hydinový hnoj sa v poľnohospodárstve primárne používal ako hnojivo a zvyškové antibiotiká z neho presakovali do pôdy a prostredníctvom povrchového odtoku sa dostávali do povrchových vôd, podzemných vôd a iných vodných ekosystémov (Bombaywala et al., 2021). Naopak, ľudské odpady zvyčajne vstupujú do čistiarní odpadových vôd (ČOV) prostredníctvom domových kanalizačných systémov. ČOV však boli len čiastočne účinné pri odstraňovaní antibiotík (Aydin et al., 2019; Behera et al., 2011).

Povrchové vody boli vystavené upravenej odpadovej vode z ČOV a aktivovaný kal z týchto zariadení sa recykloval ako biologické hnojivo, čo umožnilo vstup antimikrobiálnych látok do pôdy a prirodzeného vodného cyklu (Langbehn et al., 2021). Antimikrobiálne látky sa našli v odpadovej vode, povrchovej vode, pitnej vode, podzemnej vode a pôde (Yao et al., 2021), pričom koncentrácie sa zvyčajne pohybovali v rozmedzí od ng/L po mg/L (Kovalakova et al., 2020).

2.4 Účinky antimikrobiálnych látok na ľudské zdravie a životné prostredie

Vodné prostredia sú bohaté na sinice a červené prílivy či kvitnutia vody sú spôsobené ich nadmerným premnožením. Okrem rezíduí z prostredia sa niekedy na elimináciu kvitnutia siníc používajú aj antimikrobiálne látky. Bolo však zistené, že antimikrobiálne látky môžu stimulovať rast siníc a tvorbu kvetov už pri environmentálnych koncentráciách tak nízkych, ako je 300 ng/L (Xu et al., 2021). Podobne Jiang et al. (2021) zistili, že niektoré druhy siníc produkujú viac mikrocystínu v reakcii na nízke koncentrácie antimikrobiálnych látok.

Prítomnosť antimikrobiálnych látok v prostredí zvyšuje pravdepodobnosť uvoľňovania mikrocystínu a vzniku kvitnutia siníc, čo narúša ekologickú rovnováhu a nepriamo ohrozuje zdravie ľudí a zvierat (Lei et al., 2021; Wan et al., 2021). Fytoplanktón, ako primárny producent v ekosystémoch, je navyše citlivý na niektoré antimikrobiálne látky (Guo et al., 2012). Tieto látky môžu potláčať fotosyntézu a ovplyvňovať rast fytoplanktónu (Wan et al., 2015). Keďže sa v prostredí deteguje viacero antimikrobiálnych látok, výskum sa posunul od hodnotenia účinkov jednotlivých látok k skúmaniu účinkov kombinovanej expozície (Kovalakova et al., 2020).

Hoci sú ryby vo všeobecnosti menej citlivé na antimikrobiálne látky ako riasy, v akvatickom prostredí sú stále významným cieľom (Yang et al., 2020). Zebrička (*Danio rerio*), široko používaný modelový organizmus, sa často využíva v toxikologických štúdiách (Yang et al., 2021). Mnohé nedávne práce skúmali toxicitu antimikrobiálnych látok na zebričky. Ukázalo sa, že makrolidové antibiotiká negatívne ovplyvňujú rast, funkciu pečene a srdca zebričiek (Yan et al., 2019; Zhang et al., 2020). Akútna expozícia antibiotikám môže u zebričiek vyvolať zmeny správania a pokles kognitívnych funkcií. Dlhodobá expozícia oxytetracyklínu môže meniť homeostázu hormónov štítnej žľazy a serotonínu v mozgu zebričiek (Li et al., 2020).

Environmentálne dávky antimikrobiálnych látok môžu tiež spôsobiť poruchy črevného mikrobiómu, poškodiť črevnú bariéru a narušiť fyziologické funkcie rýb (Zhao et al., 2021). Rezíduá antimikrobiálnych látok boli detegované aj v rybách ikrách a antibiotiká preukázateľne ovplyvňujú rast zebričiek počas reprodukcie a znižujú prežívanie potomstva (Qiu et al., 2020).



Okrem toho sa niektoré negatívne účinky antibiotík zaznamenali aj u cicavcov a obojživelníkov (Peltzer et al., 2017; Kwon et al., 2020).

2.5 Spoločný vplyv antimikrobiálnych látok a environmentálnych polutantov

Množstvo polutantov, vrátane pesticídov, ťažkých kovov, fluorovaných chemikálií a mikroplastov (MPs), je dôsledkom ľudskej činnosti a dostáva sa do životného prostredia. Mikroplasty si v posledných rokoch získali značnú pozornosť ako novo identifikované environmentálne kontaminanty a často sa detegujú vo vodnom prostredí (Dobrijevic et al., 2016). Nedávne výskumy ukázali, že antimikrobiálne látky sa môžu adsorbovať na povrch plastových častíc prostredníctvom vodíkových väzieb, hydrofóbnych interakcií, van der Waalsových síl a elektrostatických interakcií – najmä na častice menšie ako 5 μm (Guo et al., 2019; Guo & Wang, 2019; Li et al., 2018). Táto adsorpcia môže zvyšovať toxické účinky na vodné organizmy.

Gonzalez-Pleiter et al. (2021) uviedli, že azitromycín a klaritromycín pri koncentrácii 50 mg/mL mikroplastov (tereftalát, polylaktid, polyoxymetylén a polystyrén) významne inhibovali rast siníc a obsah chlorofylu. Ďalej bolo zistené, že pridanie 0,26 mg/L polystyrénových mikroplastov do zmesi spôsobilo vyššiu akumuláciu oxytetracyklínu a fluoropyrimidínu v telách lastúrníkov (Wang et al., 2020). Podobne, pridanie polystyrénových mikroplastov s veľkosťou 500 nm v koncentrácii 26 mg/L významne zvýšilo imunotoxicitu flufenikolu a tetracyklínu u lastúrníkov (Zhou et al., 2021). Takáto akumulácia zvyšuje riziko, že koncentrácie antimikrobiálnych látok v ľudskom tele sa môžu ďalej zvyšovať prostredníctvom potravinového reťazca.

Ťažké kovy sa bežne nachádzajú v pôde aj vo vode, čo potvrdzuje, že ich znečistenie predstavuje ďalší celosvetový environmentálny problém (Liu et al., 2017). Adsorpcia antimikrobiálnych látok na mikroplasty môže byť určitými kovovými iónmi buď podporená, alebo potlačená (Yu et al., 2020). Podľa nedávnej štúdie môžu interakcie medzi ťažkými kovmi a antimikrobiálnymi látkami ovplyvniť ich toxické účinky. Napríklad komplexácia $\text{Cu}^{2+}/\text{Cd}^{2+}$ s chlortetracyklínom môže spôsobiť antagonistickú toxicitu voči siniciam (You et al., 2022).

2.6 Environmentálna osobitosť antimikrobiálnej rezistencie

Výskyt a prenos génov antimikrobiálnej rezistencie (ARGs) a antimikrobiálne rezistentných baktérií (ARBs) stoja v centre narastajúcich obáv v oblasti verejného zdravia. V prírode dlhodobý výber mikroorganizmov pod environmentálnym stresom vedie k vzniku ARBs a ARGs, pričom nesprávne a nadmerné používanie antimikrobiálnych látok túto situáciu ešte zhoršilo (Santos-Lopez et al., 2021).

Prvými mechanizmami bakteriálnej rezistencie voči antimikrobiálnym látkam je expresia transportných proteínov typu eflux alebo zníženie priepustnosti membrány, čím sa zabraňuje vstupu antimikrobiálnej látky. Ďalšie mechanizmy zahŕňajú tvorbu enzýmov, ktoré antimikrobiálne látky chemicky menia alebo rozkladajú, modifikáciu či ochranu cieľových miest tak, aby sa znížila ich afinita k antimikrobiálnej látke, a produkciu proteínov, ktoré môžu nahradiť funkciu cieľového miesta, no nie sú antimikrobiálnou látkou inhibované (Khan et al., 2018). Takýto vývoj nepochybne predstavuje vážnu hrozbu pre životné prostredie aj ľudské zdravie.

V poslednom období sa ARBs a ARGs často detegujú v prírodnom prostredí, pričom pôda a voda poskytujú stabilné prostredie na výmenu ARGs medzi ARBs. Medzi hlavné zdroje vysokých koncentrácií ARBs a ARGs patria odpadové vody z nemocníc, akvakultúr a čistiarní odpadových vôd (WWTPs). Mobilné genetické elementy (MGEs) môžu zohrávať významnú



úlohu v šírení antibiotickej rezistencie (Wang et al., 2018). ARGs, MGEs a ARBs prítomné vo vzduchu sa často prehliadajú. Ich množstvo je ovplyvňované sezónnymi faktormi, ako sú teplota, vlhkosť a cirkulácia vzduchu, a výskumy potvrdili, že bioaerosóly sú významnou cestou šírenia ARGs na farmách hovädzieho dobytku (Cabello et al., 2016).

Vertikálnym a horizontálnym prenosom génov (HGT) sa ARBs a ARGs v týchto prostrediach neustále obohacujú, čo vedie k vzniku rôznych antimikrobiálne rezistentných patogénov, ktoré následne kontaminujú ovocie, zeleninu a ďalšie potraviny bežne konzumované ľuďmi (Pintor-Cora et al., 2021). Ľudia sú tak, často bez povšimnutia, obklopení ARBs a ARGs. Významnú úlohu v ich globálnom šírení zohrávajú aj ľudské aktivity, ako je cestovanie a medzinárodný obchod s potravinami (Hu et al., 2008). Do určitej miery môžu ľudia pôsobiť ako potenciálni nositelia ARGs, uvoľňovať ich do prostredia a prispievať k ich ďalšiemu šíreniu (Zhou et al., 2018).

2.7 Vplyv rôznych environmentálnych faktorov na antimikrobiálnu rezistenciu

Ťažké kovy

Mnohé štúdie skúmali mechanizmy ovplyvňujúce šírenie antibiotickej rezistencie a tieto faktory vykazujú podobnosti s tými, ktoré ovplyvňujú kontamináciu antimikrobiálnymi látkami. Zvyšky antimikrobiálnych látok sú podľa správ hlavným dôvodom, prečo baktérie získavajú environmentálne gény antibiotickej rezistencie (ARG) a zvyšujú mieru bakteriálnych mutácií (Gu et al., 2021). Okrem antibiotík zohrávajú kľúčovú úlohu pri vzniku a šírení antibiotickej rezistencie aj ťažké kovy. Bolo preukázané, že množstvo ARG silne koreluje s koncentráciou ťažkých kovov v kontaminovaných vodných zdrojoch (Komijani et al., 2021). Hoci nie sú hlavnou hnacou silou prenosu ARG, predpokladá sa, že reaktívne formy kyslíka (ROS) zohrávajú určitú úlohu (Ren et al., 2021). Jedným z možných mechanizmov, ktorým ťažké kovy podporujú vývoj antimikrobiálne rezistentných baktérií (ARB), je indukcia oxidačného stresu, ktorý zvyšuje intracelulárne hladiny ROS (Bombaywala et al., 2021). Ďalej bolo preukázané, že u baktérií existuje mechanizmus krížovej ochrany, pri ktorom je mikrobiálna rezistencia voči antimikrobiálnym látkam spojená s rezistenciou voči kovom (Bergholz et al., 2012). Pri pôsobení stresu z ťažkých kovov sa u niektorých baktérií môže zvyšovať expresia určitých proteínov, čím sa zlepšuje ich odolnosť voči antimikrobiálnym látkam (Zhong et al., 2022). Niektoré gény kódujúce rezistenciu voči kovom aj antibiotikám navyše vykazujú genetické väzby s niektorými mobilnými genetickými elementmi (MGE) (Imran et al., 2019). V dôsledku toho môžu ťažké kovy zohrávať zásadnú úlohu vo vývoji antibiotickej rezistencie tým, že uľahčujú baktériám získavanie MGE a ARG. Okrem toho majú ťažké kovy dlhodobý vplyv na podporu horizontálneho šírenia ARG v dôsledku svojej pretrvávajúcej prítomnosti v prostredí a odolnosti voči degradácii (Buledi et al., 2021).

Mikroplasty (MP)

Prítomnosť plastov v prostredí poskytuje mikroorganizmom – najmä na mikroplastoch, ktoré priťahujú čoraz väčšiu pozornosť – nový biologický priestor (Feng et al., 2021). Povrch MP je kolonizovaný mikroorganizmami, čo uľahčuje prenos a výmenu ARG prostredníctvom tesného kontaktu buniek. Nedávna štúdia uviedla, že väčšina baktérií rezistentných voči viacerým antibiotikám pochádza z MP, pričom miera detekcie ARG bola o 14,7 % vyššia na MP ako vo vode. V tej istej štúdii bolo zistené, že ARB boli v MP vzorkách 100–5000-krát hojnejšie ako vo vzorkách vody (Zhang et al., 2020).

Ďalšie faktory



Ďalším faktorom ovplyvňujúcim šírenie antibiotickej rezistencie sú polyaromatické uhľovodíky (PAH). V pôdach kontaminovaných PAH boli zistené vysoké množstvá tetracyklínu, sulfonamidov, aminoglykozidov, ampicilínu a fluorochinolónov – spolu s ARG. Za týchto podmienok mobilné genetické elementy a integróny zvyšovali výskyt horizontálneho prenosu génov (HGT) (Maurya et al., 2021). Fungicídy, ktoré sú bežne používanými pesticídmi, môžu obohacovať ARG a meniť zloženie črevného mikrobiómu pôdnych bezstavovcov, ako je *Enchytraeus crypticus*, okrem toho, že ničia huby (Zhang et al., 2019). Tieto zistenia zdôrazňujú kľúčovú úlohu prostredia pri vzniku superbaktérií a iných baktérií rezistentných voči viacerým antimikrobiálnym látkam, ktoré predstavujú vážnu hrozbu pre ľudské zdravie. Environmentálne kontaminanty majú významný vplyv na šírenie antimikrobiálnej rezistencie. Niektoré zlúčeniny bežne používané na sanáciu pôdy a úpravu vody ovplyvňujú šírenie antimikrobiálnej rezistencie okrem iných environmentálnych polutantov.

Napríklad odpadová a pitná voda sa môže upravovať chlórovou dezinfekciou; avšak chlórová dezinfekcia po usmrtení ARB uvoľňuje MGE a ARG do prostredia. Tieto genetické materiály potom môžu byť prijaté mikroorganizmami, ktoré sú prirodzene rezistentné voči chlóru v dôsledku genetických mutácií, čím sa podporuje šírenie ARG (Jin et al., 2020). Hoci bolo preukázané, že látky podobné humínovým kyselinám v rozpustených zložkách indukujú prenos bakteriálnych ARG, biochar zostáva sľubnou možnosťou na sanáciu pôdy (Liu et al., 2021).

2.8 Možné riziko antimikrobiálnej rezistencie pre ľudské zdravie a ekologický systém

rostredie môže poskytovať patogénom rezistenčné faktory, čím sa znižuje ich citlivosť na účinky antimikrobiálnych látok a následne sa sťažuje prevencia a liečba mikrobiálnych ochorení. Antimikrobiálne rezistentné baktérie (ARB) ovplyvňujú ľudí a životné prostredie priamo viac než gény rezistencie na antimikrobiálne látky (ARG). Antimikrobiálne rezistentné ľudské patogénne baktérie (ARHPB) boli zistené v blízkej pôde a vode a jedna štúdia odhalila, že živočíšne farmy sú významným zdrojom ARB a ARG, ktoré kontaminujú okolité prostredie (Fang et al., 2018). Hoci by to malo slúžiť ako varovný signál, v súčasnosti neexistuje praktický spôsob, ako úplne zabrániť šíreniu antibiotickej rezistencie.

2.9 Techniky na zníženie antibiotickej rezistencie a kontaminácie

Jedným z najdôležitejších krokov pri riešení globálneho problému antimikrobiálnej kontaminácie je degradácia antimikrobiálnych látok v prostredí. Vzhľadom na hrozbu, ktorú antibiotická rezistencia predstavuje pre globálne zdravie, je nevyhnutné porozumieť účinnosti súčasných postupov odstraňovania a vyvíjať nové metódy na elimináciu génov antibiotickej rezistencie (ARGs) a antibioticko-rezistentných baktérií (ARBs). V súčasnosti sú za ich odstránenie zodpovedné najmä čistiare odpadových vôd (WWTPs). Hoci konvenčné čistiare dokážu výrazne znížiť množstvo baktérií, ich schopnosť redukovať ARGs je obmedzená (Hassoun-Kheir et al., 2020).

Pokročilé oxidačné procesy (AOP)

Silné oxidačné činidlá využívané v technológiách AOP, ako sú Fentonova reakcia, fotokatalýza alebo aktivovaný pyruvát, môžu rozkladať nebezpečné látky vo vode (Wang et al., 2020). Antimikrobiálne látky ako organické polutanty vykazujú po AOP výraznú degradáciu a rôzne oxidačné mechanizmy vedú k odlišným rozkladovým dráham (Li et al., 2023). Samotné AOP však nie je vždy dostatočne účinné pri odstraňovaní komplexných znečisťujúcich látok, preto sa kombinuje s membránovými procesmi, fotolýzou alebo biologickými metódami (Leng et al.,



2020). Pri praktickej aplikácii je potrebné zohľadniť prevádzkové a údržbové náklady, toxicitu medziproduktov rozkladu a obmedzenú schopnosť úplne eliminovať ARGs.

Konštruované mokrade (KM)

Vďaka nízkym nákladom a potenciálnej účinnosti pri odstraňovaní organických polutantov sa KM už používajú na čistenie odpadových vôd (Fang et al., 2017). Odstraňovanie ARBs, ARGs a antimikrobiálnych látok prebieha prostredníctvom absorpcie a degradácie rastlinami, mikrobiálnej degradácie a adsorpcie na substrát (Sharma et al., 2016). Účinnosť závisí od druhu rastlín, typu substrátu, teploty a konštrukcie KM (Chen et al., 2016). Aj keď sú menej účinné než AOP, vynikajú udržateľnosťou a nízkymi nákladmi. Intermitentná aerácia zlepšuje kvalitu vody a odstraňovanie kontaminantov.

Mikrobiálne palivové články (MPC)

MPC predstavujú perspektívnu zelenú technológiu, ktorá súčasne degraduje polutanty a produkuje elektrickú energiu. Pri čistení odpadových vôd z chovu ošípaných obsahujúcich sulfonamidy dosahovala účinnosť odstránenia sulfametoxazolu 99,46–99,53 %, sulfadiazínu 13,39–66,91 % a sulfametazínu 32,84–67,21 % (Cheng et al., 2020). Kombinácia systémov, ako KM-MPC, odstraňovala ciprofloxacín s účinnosťou nad 90 % a sulfonazín nad 80 % (Xu et al., 2021). Technológia sa uplatňuje aj pri in situ sanácii pôd kontaminovaných antimikrobiálnymi látkami (Song et al., 2022).

Ďalšie technológie

Metódy založené na mikroriasách odstraňujú antimikrobiálne látky adsorpciou, hydrolyzou, akumuláciou a fotodegradáciou (Leng et al., 2020) a dosahujú viac než 90 % účinnosť pri tetracyklíne, amoxicilíne, cefalosporínoch a florfenikole (Song et al., 2022). V prípade veterinárnych antibiotík v hnoji hospodárskych zvierat sa využíva kompostovanie, ktorého účinnosť závisí od chemického typu látky (Ezzariai et al., 2018).

2.10 Literatúra

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.



Kapitola 3. TOXICKÉ ÚČINKY KONTAMINANTOV NA ĽUDSKÉ TELO A INOVATÍVNE ZELENÉ METÓDY NA ICH ZNÍŽENIE

3.1 Úvod

Udržateľná produkcia prírodných produktov, založená na starostlivom výbere rastlinných zdrojov a zachovaní ich účinných látok, ponúka sľubné cesty na zmiernenie toxických účinkov environmentálnych kontaminantov na ľudské telo a predstavuje základný kameň inovatívnych zelených stratégií na znižovanie znečistenia.

Na celom svete sa environmentálne toxické látky a chemické kontaminanty stali vážnou a rastúcou výzvou pre verejné zdravie. Pochádzajú z rôznych ľudských činností — vrátane priemyselnej výroby, intenzívneho poľnohospodárstva, spaľovania fosílnych palív a nedostatočného nakladania s odpadom — a dnes sú prítomné vo vzduchu, pôde, vode a dokonca aj v potravinovom reťazci. Svetová zdravotnícka organizácia (WHO, 2023) uviedla, že v roku 2016 takmer štvrtina všetkých úmrtí a chorobnej záťaže na celom svete súvisela s environmentálnymi faktormi, ktorým bolo možné predísť, ako je chemické znečistenie a nebezpečný odpad.

Dôsledky týchto znečisťujúcich látok na ľudské zdravie siahajú od krátkodobých prejavov, ako sú respiračné ťažkosti a podráždenie pokožky, až po chronické a život ohrozujúce ochorenia. Samotné znečistenie ovzdušia si podľa odhadov každoročne vyžiada viac ako päť miliónov ľudských životov (Augusta University, 2023). Niektoré chemikálie pôsobia ako karcinogény, teratogény alebo mutagény a spôsobujú trvalé biologické poškodenie.

Expozícia nastáva viacerými cestami, vdýchnutím kontaminovaného vzduchu, konzumáciou znečistených potravín a vody alebo kontaktom s pokožkou (Sokan-Adeaga et al., 2023). Po vstrebaní môžu tieto látky poškodzovať životne dôležité orgány, ako sú pľúca, srdce, pečeň, obličky, mozog a reprodukčné orgány, pričom najzraniteľnejšími skupinami sú deti, starší ľudia a tehotné ženy (Balbus et al., 2013).

Problém nie je len medicínsky, ale aj ekonomický. Len otrava olovom sa odhaduje na približne 6 biliónov USD ročne čo predstavuje asi 6,9 % svetového HDP (WHO, 2023). V roku 2019 sa u detí mladších ako päť rokov odhadovala strata 765 miliónov IQ bodov v dôsledku expozície olovu (World Bank, 2023), s trvalými dôsledkami pre ľudský rozvoj a produktivitu.

Očakáva sa, že klimatická zmena situáciu ešte zhorší tým, že zmení vzorce uvoľňovania znečisťujúcich látok, ich distribúciu a zraniteľnosť ľudskej populácie (Balbus et al., 2013). Tieto posuny môžu zmeniť rizikové profily, čo si vyžaduje opätovné prehodnotenie súčasných stratégií hodnotenia a riadenia environmentálnych zdravotných rizík.

Táto kapitola sa zaoberá tým, ako environmentálne kontaminanty ovplyvňujú ľudské telo, a predstavuje inovatívne zelené prístupy zamerané na zníženie ich vplyvu, čím podporuje globálnu víziu smerovania k budúcnosti bez znečistenia (UNEP, 2023).

3.2 Toxické účinky na ľudské telo

Vplyv environmentálnych znečisťujúcich látok na ľudské zdravie je rozsiahly a komplexný, pričom tvorí ústrednú tému environmentálnej toxikológie – disciplíny zameranej na pochopenie toho, ako môžu chemikálie, pôsobiace samostatne alebo v kombinácii, časom poškodzovať živé organizmy (Shetty, 2023). Aj pri nízkych koncentráciách sa mnohé látky môžu navzájom ovplyvňovať spôsobom, ktorý zosilňuje ich toxický potenciál, vďaka čomu je dlhodobá expozícia obzvlášť nebezpečná.



Všeobecné toxikologické účinky

Znečisťujúce látky sa spájajú so širokým spektrom ochorení vrátane rakoviny, ischemickej choroby srdca, chronickej obštrukčnej choroby pľúc (CHOCHP), mozgovej príhody, neurologických a duševných porúch a cukrovky (Shetty, 2023). Niektoré kontaminanty sa selektívne hromadia v určitých orgánoch, pričom vnútorné koncentrácie môžu presiahnuť tie, ktoré sa nachádzajú v okolitom prostredí. Tento proces bioakumulácie môže počas rokov spôsobiť významné a niekedy nezvratné poškodenie orgánov (Alharbi, 2018).

Významné príklady škodlivých látok zahŕňajú:

- DDT – pesticíd historicky používaný proti poľnohospodárskym škodcom, ktorý sa stále aplikuje v niektorých regiónoch Afriky, Ázie a Latinskej Ameriky.
- Furány – zlúčeniny vznikajúce pri tepelnom spracovaní potravín pri vysokých teplotách, určitých chemických procesoch a v niektorých spotrebných výrobkoch, ako sú obalové materiály.
- Dioxíny – toxické vedľajšie produkty priemyselných procesov alebo prírodných udalostí, ako sú lesné požiare a sopečné erupcie.
- Prchavé organické zlúčeniny (VOC) – ľahko sa odparujúce chemikálie nachádzajúce sa v farbách, rozpúšťadlách, palivách, stavebných materiáloch a čistiacich prostriedkoch.
- Aldehydy – napríklad formaldehyd, používaný v výrobkoch z lisovaného dreva, textíliách a kozmetike.
- Prchavé ťažké kovy – napríklad ortuťové pary z priemyselných činností, spaľovania uhlia alebo rozkladu odpadu.
- Chlórované uhľovodíky – prítomné v niektorých rozpúšťadlách a čistiacich prostriedkoch.

V niektorých prípadoch sú látky v pôvodnej forme neškodné, ale stávajú sa toxickými po metabolickej premene v tele. Takto vzniknuté metabolity môžu byť ešte škodlivejšie, niekedy dokonca s karcinogénnymi vlastnosťami.

Vplyv na jednotlivé orgánové systémy

Dýchací systém

Znečisťujúce látky vo vzduchu – ako oxid uhoľnatý, ozón (O_3), oxid dusičitý (NO_2), oxid siričitý (SO_2), pevné častice a ťažké kovy – môžu viesť k akútnym aj chronickým ochoreniam dýchacích ciest vrátane bronchitídy, pneumónie, CHOCHP a astmy (Shetty, 2023). Dlhodobá expozícia môže spôsobiť trvalé štrukturálne poškodenie pľúc, brániť rastu pľúc u detí a zvýšiť riziko rakoviny pľúc (Schraufnagel, 2019).

Kardiovaskulárny systém

Jemné pevné častice ($PM_{2.5}$) a podobné znečisťujúce látky môžu zužovať cievy, oslabovať srdcový sval a podporovať zápalové procesy, ktoré prispievajú k ateroskleróze, hypertenzii a infarktu (Dai, 2024). Odhaduje sa, že znečistenie ovzdušia je celosvetovo zodpovedné za 19 % úmrtí na kardiovaskulárne ochorenia a 21 % úmrtí na mozgovú príhodu (Schraufnagel, 2019).



Nervový systém

Znečisťujúce látky vo vzduchu sú spájané so zníženým kognitívnym výkonom u detí a zvýšeným rizikom demencie a mozgovej príhody u starších dospelých (Dai, 2024). Tieto účinky pravdepodobne súvisia s oxidačným stresom a zápalom v nervovom tkanive, čo môže urýchľovať neurodegeneratívne procesy.

Endokrinný systém

Špecifická skupina kontaminantov známa ako endokrinné disruptory (EDC) môže zasahovať do tvorby hormónov, metabolizmu a väzby na receptory (Kumar, 2020). Expozícia je spájaná s reprodukčnými a vývojovými problémami, zmenami imunitného systému a zvýšeným rizikom hormonálne podmienených druhov rakoviny.

Chronické choroby a poruchy

- Respiračné ochorenia: Dlhodobá expozícia znečisteniu je významným rizikovým faktorom pre CHOCHP a astmu a súvisí so zvýšenou úmrtnosťou na tieto ochorenia.
- Metabolické poruchy: Znečisťujúce látky môžu vyvolať oxidačný stres a zápal, čo vedie k inzulinovej rezistencii a vyššiemu riziku vzniku cukrovky 2. typu (Dai, 2024).
- Neurologické poruchy: Neustála expozícia je spájaná s Alzheimerovou chorobou, demenciou a ďalšími degeneratívnymi ochoreniami mozgu prostredníctvom zápalových a oxidačných mechanizmov.
- Rakovina: Jemné pevné častice (PM_{2.5}) sú uznávané ako karcinogén, prispievajúci k rakovine pľúc, močového mechúra a niektorým detským nádorom (Schraufnagel, 2019).
- Endokrinné poruchy: EDC môžu ovplyvniť načasovanie puberty, znížiť plodnosť, zhoršiť kvalitu spermií a zvýšiť riziko hormonálne podmienených nádorov (Kumar, 2020).

Environmentálne kontaminanty ovplyvňujú ľudské zdravie viacerými cestami, často cielia na viac ako jeden orgánový systém súčasne. Ich vzájomné pôsobenie môže zosilniť škodlivé účinky, čo zdôrazňuje naliehavú potrebu integrovaných politík ochrany zdravia a stratégií na kontrolu znečistenia.

3.3 Cesty expozície

Pochopenie spôsobov, akými sa environmentálne kontaminanty dostávajú do ľudského organizmu, je nevyhnutné na presné posúdenie a zmiernenie súvisiacich zdravotných rizík. Táto časť opisuje hlavné mechanizmy, prostredníctvom ktorých sa toxické látky z prostredia uvoľňujú, transportujú a nakoniec zasahujú ľudské populácie.

Uvoľňovanie a transport v prostredí

Kontaminanty sa môžu do životného prostredia dostať priemyselnými procesmi, poľnohospodárskou činnosťou, likvidáciou odpadu a ďalšími antropogénnymi aktivitami. Po uvoľnení sa môžu pohybovať medzi rôznymi zložkami prostredia:

- Vzduch – Znečisťujúce látky môžu byť priamo emitované do atmosféry alebo sa môžu odparovať z pôdy a vody. Prúdy vzduchu ich môžu prenášať na veľké vzdialenosti (United States Environmental Protection Agency, 2024a).



- Voda – Kontaminanty môžu vstupovať do riek, jazier a oceánov priamym vypúšťaním, povrchovým odtokom alebo presakovaním do podzemných vôd. Vodné útvary slúžia nielen ako transportný systém, ale aj ako zdroj ľudskej expozície (United States Environmental Protection Agency, 2024b).
- Pôda a sediment – Znečisťujúce látky sa môžu usadzovať a akumulovať v pôde atmosférickou depozíciou alebo zavlažovaním kontaminovanou vodou. Pôda môže pôsobiť ako dlhodobý rezervoár, ktorý neskôr uvoľňuje kontaminanty späť do vzduchu alebo vody (Alharbi et al., 2018).

Spôsoby expozície človeka

Ľudia môžu byť vystavení environmentálnym toxínom troma hlavnými cestami:

- Inhalácia – Vdýchnutie kontaminovaného vzduchu obsahujúceho plyny, pary, aerosóly alebo častice. Vnútorne ovzdušie môže byť ovplyvnené prenikaním vonkajších znečisťujúcich látok do budov (United States Environmental Protection Agency, 2024c).
- Ingestia – Požitie kontaminantov prítomných v potravinách, pitnej vode alebo v pôde a prachových časticiach. To zahŕňa aj náhodné požitie pôdy u detí a prenos z rúk do úst (United States Environmental Protection Agency, 2024b; New Hampshire Department of Environmental Services, 2024).
- Dermálny kontakt – Priamy kontakt kože s kontaminovanou pôdou, vodou alebo spotrebiteľskými výrobkami obsahujúcimi nebezpečné chemikálie. Pracovná expozícia je častým zdrojom dermálnej absorpcie (New Hampshire Department of Environmental Services, 2024).

Faktory ovplyvňujúce expozíciu

Rozsah a závažnosť expozície závisia od viacerých faktorov:

- Trvanie – Krátkodobá (akútna) verzus dlhodobá (chronická) expozícia má rozdielne zdravotné dôsledky.
- Intenzita – Vyššie koncentrácie kontaminantov zvyšujú potenciálne riziko.
- Frekvencia – Opakovaná expozícia môže zosilniť zdravotné účinky.
- Individuálna citlivosť – Tehotné ženy, deti, starší ľudia a imunokompromitované osoby sú zraniteľnejšie (New Hampshire Department of Environmental Services, 2024).

Bioakumulácia a biomagnifikácia

Perzistentné organické polutanty a ťažké kovy sa môžu v priebehu času hromadiť v tkanivách organizmu prostredníctvom bioakumulácie. Pri prechode potravinovým reťazcom sa ich koncentrácia môže zvyšovať na vyšších trofických úrovniach – tento proces sa nazýva biomagnifikácia (United States Environmental Protection Agency, 2024b).

Hodnotenie expozície

Posudzovanie expozície človeka zahŕňa:

- Identifikáciu zdrojov kontaminácie



- Sledovanie transportu a osudu kontaminantov v prostredí
- Určenie bodov a ciest expozície
- Definovanie ohrozených populácií

Tieto hodnotenia umožňujú klasifikáciu ciest expozície ako kompletne, potenciálne alebo eliminované a poskytujú základ pre účinné stratégie riadenia rizika (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2024).

3.4 Hodnotenie kontaminantov

Zmena klímy, znečistenie životného prostredia, strata biodiverzity a neudržateľné využívanie prírodných zdrojov spoločne predstavujú významné riziká pre zdravie ľudí, zvierat a ekosystémov. Tieto hrozby zahŕňajú infekčné aj neinfekčné choroby, antimikrobiálnu rezistenciu a nedostatok vody. Zaisťovanie zdravého prostredia pre všetkých si vyžaduje účinnejšie monitorovanie, vykazovanie, prevenciu a nápravu znečistenia ovzdušia, vody, pôdy a komodít (European Commission, 2021).

Rozsah problému so znečistením možno výrazne znížiť prostredníctvom silných vládnych opatrení, modernej infraštruktúry a aplikácie súčasných technológií. Dosiahnutie cieľa čistého životného prostredia však naráža na viaceré prekážky, vrátane nedostatočnej angažovanosti verejnosti v iniciatívach na kontrolu znečistenia a nedostatkov v systémoch ekologického manažmentu.

Efektívne riešenie problému znečistenia si vyžaduje využívanie najnovších technologických riešení a cielený výskum mechanizmov, ktorými sa kontaminanty akumulujú v životnom prostredí.

Kontaminácia potravín zostáva kritickým problémom, pretože zvýšené koncentrácie chemických látok v požívatinách predstavujú vážne zdravotné riziko. Kontaminanty v potravinách môžu pochádzať z prirodzeného prostredia alebo byť zavedené ľudskou činnosťou. Navyše, ku kontaminácii môže dôjsť v rôznych bodoch potravinového reťazca – počas výroby, spracovania, balenia, prepravy a skladovania (Rather et al., 2017).

Výzvy v oblasti bezpečnosti potravín možno rozdeliť do štyroch hlavných kategórií:

- Mikrobiologická bezpečnosť
- Chemická bezpečnosť
- Osobná hygiena
- Hygiena prostredia

S globalizáciou obchodu s potravinami sa potraviny stali významnou cestou prenosu patogénnych mikroorganizmov spôsobujúcich alimentárne ochorenia, pričom k ich vstupu môže dôjsť v rôznych fázach hodnotového reťazca. Sledovanie a identifikácia týchto patogénov – najmä baktérií – späť k ich zdrojom predstavuje pre výrobcov, spracovateľov, distribútorov aj spotrebiteľov pretrvávajúcu výzvu.

Bezpečnosť potravín a výživa sú úzko prepojené. Nezdravé potraviny môžu spustiť začarovaný kruh chorôb a podvýživy, ktorý neúmerne zasahuje dojčatá, malé deti, staršie osoby a jedincov s oslabeným zdravím. Keďže potravinové dodávateľské reťazce dnes presahujú hranice krajín a regiónov, zaisťovanie bezpečnosti potravín v 21. storočí si bude vyžadovať úzku spoluprácu vlád, výrobcov, dodávateľov, distribútorov a spotrebiteľov (Fung et al., 2018).



V posledných rokoch bolo vyvinutých viacero analytických metód na detekciu kontaminantov v rôznych matriciach. Keďže kontaminanty sa často vyskytujú vo veľmi nízkych koncentráciách, je nevyhnutná veľmi nízka detekčná hranica a dôležitou súčasťou analýzy potravín je príprava vzoriek na zníženie matricačných efektov. Táto príprava môže zahŕňať viacero krokov – ako filtráciu, úpravu pH, extrakciu, čistenie a obohatenie – aby sa zabezpečila detekcia analytov na vhodnej koncentrácii.

Dnes je k dispozícii široká škála techník prípravy vzoriek, vrátane superkritickej fluidnej extrakcie, extrakcie na tuhej fáze, mikroextrakcie na tuhej fáze, mikrovlnami asistovanej extrakcie, kvapalinovo-kvapalinovej extrakcie, mikroextrakcie do kvapalnej fázy, extrakcie pod tlakom a adsorpčnej extrakcie pomocou miešacej tyčinky (Guo et al., 2019).

3.5 Inovatívne zelené metódy na zníženie toxických účinkov kontaminantov

Zelená chémia, známa aj ako udržateľná chémia, je moderný prístup v chemických vedách, ktorý sa od 90. rokov 20. storočia výrazne rozvinul. Definuje sa ako „používanie chemických techník a metodík, ktoré znižujú alebo odstraňujú používanie alebo tvorbu surovín, produktov, vedľajších produktov, rozpúšťadiel a činidiel, ktoré sú nebezpečné pre ľudské zdravie alebo životné prostredie“ (United States Environmental Protection Agency). Jadrom tejto filozofie je udržateľnosť, ktorá je zhrnutá v dvanástich základných princípoch:

- Prevencia – Predchádzať tvorbe odpadu namiesto jeho spracovania alebo likvidácie po vzniku.
- Atómová ekonomika – Navrhovať syntetické metódy tak, aby sa čo najviac východiskových surovín zapojilo do konečného produktu.
- Menej nebezpečná syntéza – Používať procesy, ktoré využívajú a produkujú látky s minimálnou toxicitou.
- Navrhovanie bezpečnejších chemikálií – Zachovať chemickú funkčnosť pri minimalizovaní toxicity.
- Bezpečnejšie rozpúšťadlá a pomocné látky – Vyhýbať sa pomocným látkam (napr. rozpúšťadlami), alebo ich v prípade potreby nahradiť neškodnými.
- Energetická efektívnosť – Minimalizovať energetické nároky; reakcie vykonávať pri izbovej teplote a tlaku, ak je to možné.
- Obnoviteľné suroviny – Používať obnoviteľné namiesto vyčerpatelných surovín, ak je to technicky a ekonomicky možné.
- Znižovanie derivátov – Vyhýbať sa zbytočným derivačným krokom, ktoré vyžadujú ďalšie činidlá a vytvárajú odpad.
- Katalýza – Používať katalytické činidlá, ktoré sú účinnejšie než stechiometrické.
- Navrhovanie pre rozklad – Zabezpečiť, aby sa produkty na konci životného cyklu rozložili na neškodné látky.
- Analýza v reálnom čase – Vyvíjať monitorovacie techniky na detekciu a prevenciu nebezpečných látok počas spracovania.
- Vnútna bezpečnosť chémie – Vyberať látky a formy procesov, ktoré znižujú riziko nehôd, ako sú výbuchy alebo úniky.

Udržateľné alternatívy ku konvenčnému odstraňovaniu znečisťujúcich látok

Rastúca prítomnosť znečisťujúcich látok vrátane ťažkých kovov, organických zlúčenín, farmaceutík a novovznikajúcich kontaminantov predstavuje významné environmentálne a zdravotné riziká. Tradičné metódy odstraňovania, ako sú chemická precipitácia, iónová výmena a membránová filtrácia, často čelia obmedzeniam, ako sú vysoké náklady, veľká spotreba energie a tvorba sekundárnych znečisťujúcich látok.



Novší výskum poukazuje na potenciál nekonvenčných adsorbentov ako udržateľnejších alternatív. Materiály ako nanocelulóza, chitózanové nanokompozity a kovovo-organické rámce (MOF) preukázali vyšší výkon z hľadiska adsorpčnej kapacity, selektivity a znovupoužiteľnosti, čo ich robí atraktívnymi pre environmentálne aplikácie (Akhtar et al., 2024).

Riešenia zelenej chémie

1. Bezpečnejšie rozpúšťadlá a reakčné podmienky

Nahrádzanie nebezpečných rozpúšťadiel bezpečnejšími alternatívami je hlavnou inováciou zelenej chémie. Napríklad nátery na vodnej báze nahradili nátery na báze rozpúšťadiel, čím sa eliminovali toxické výpary a znížilo znečistenie ovzdušia bez zníženia výkonu. Vedenie chemických reakcií pri izbovej teplote a tlaku navyše znižuje spotrebu energie a minimalizuje riziká.

2. Obnoviteľné suroviny

Zelená chémia uprednostňuje suroviny z obnoviteľných zdrojov, ako sú poľnohospodárske vedľajšie produkty, pred fosílnymi palivami alebo ťaženými materiálmi. Tým sa znižuje dopad na životné prostredie, šetria sa neobnoviteľné zdroje a často vznikajú biologicky odbúrateľnejšie produkty.

3. Katalýza a atómová ekonomika

Katalyzátory umožňujú, aby reakcie prebiehali efektívne s minimom odpadu, často nahrádzajú nadbytočne používané stechiometrické činidlá. Navrhovanie reakcií s vysokou atómovou ekonomikou zároveň zabezpečuje, že väčšina vstupných materiálov sa premení na konečný produkt.

4. Navrhovanie pre rozklad

Produkty sa čoraz častejšie navrhujú tak, aby sa po použití rozložili na neškodné látky, čím sa znižuje ich pretrvávanie v životnom prostredí a náklady na nakladanie s nebezpečným odpadom.

Biologická remediácia ťažkých kovov

Rýchla industrializácia zintenzívnila kontamináciu pôd ťažkými kovmi na celom svete, čo predstavuje vážne ekologické a zdravotné hrozby. Odstraňovanie a neutralizácia týchto kontaminantov je dnes globálnou prioritou. Bioremediácia – využívanie mikroorganizmov, ako sú baktérie, mikroriasy, kvasinky a huby – získava pozornosť ako ekologická a nákladovo efektívna alternatíva, najmä účinná pri nízkych koncentráciách kovov (Maqsood et al., 2022). Často sa používajú integrované metódy kombinujúce fyzikálno-chemické a biologické procesy na dosiahnutie optimálnych výsledkov počas celého cyklu odstraňovania ťažkých kovov. Tieto prístupy obnovujú kontaminované prostredia na zdravšie a život podporujúce systémy pri minimalizovaní vedľajších environmentálnych účinkov.

Zelená toxikológia

Zelená toxikológia spája princípy zelenej chémie s toxikológiou, aby sa zabezpečila chemická bezpečnosť už od najskorších štádií návrhu produktu (Maertens et al., 2024). Využíva moderné testovacie stratégie bez použitia zvierat, vrátane in silico počítačových modelov, predikcií pomocou umelej inteligencie a testov na ľudských bunkách, čo umožňuje rýchlejšie a nákladovo efektívnejšie hodnotenie rizík v porovnaní s tradičným testovaním na zvieratách.



Kľúčové prvky zelenej toxikológie zahŕňajú:

- Používanie alternatívnych, validovaných testovacích metód.
- Zahŕnutie bezpečnostných hľadísk už v raných fázach návrhu chemikálií.
- Hodnotenie dopadov počas celého životného cyklu v dodávateľských reťazcoch.
- Uprednostňovanie prevencie pred remediáciou.

Prínosy zelenej chémie a toxikológie

- Zdravie ľudí
- Čistejší vzduch a voda vďaka zníženiu emisií nebezpečných látok.
- Zlepšená bezpečnosť na pracoviskách v chemickom priemysle.
- Bezpečnejšie spotrebné produkty a potraviny.
- Životné prostredie
- Zníženie emisií skleníkových plynov, tvorby smogu a úbytku ozónovej vrstvy.
- Minimalizácia ekologických narušení spôsobených chemickým znečistením.
- Menšia potreba likvidácie nebezpečného odpadu.
- Ekonomika
- Vyššie výťažky reakcií a nižšie náklady na suroviny.
- Nižšie náklady na likvidáciu odpadu.
- Vyššia efektívnosť prevádzok a úspora energie.
- Konkurenčná výhoda prostredníctvom eko-štítkov produktov.

Výzvy a budúce smerovanie

Hoci zelená chémia a toxikológia prinášajú jasné prínosy, ich zavádzanie naráža na prekážky, ako sú validácia nových metód, regulačné uznanie a inštitucionálny odpor voči zmenám.

Budúce priority by mali zahŕňať:

- Rozširovanie portfólia validovaných alternatívnych testovacích metód.
- Zavádzanie konceptov zelenej chémie do vzdelávania a priemyselnej praxe.
- Vytváranie politických stimulov pre udržateľné inovácie.
- Posilňovanie spolupráce medzi chemikmi, toxikológmi a environmentálnymi vedcami.

Inovatívne zelené metódy predstavujú transformačnú cestu na zníženie toxických účinkov kontaminantov na ľudské zdravie aj životné prostredie. Integráciou princípov zelenej chémie, využívaním stratégií biologickej remediácie a aplikáciou rámcov zelenej toxikológie môžeme navrhovať a zavádzať bezpečnejšie a udržateľnejšie chemické procesy. Tento prístup podporuje dlhodobú víziu čistejšej, zdravšej a odolnejšej planéty.

3.6 References

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, Sakkiath 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>

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>



**Co-funded by
the European Union**



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>



Kapitola 4. ÚLOHA ZDRAVEJ VÝŽIVY A SCHVÁLENÁ KONZUMÁCIA BEZPEČNÝCH VÝŽIVOVÝCH DOPLNKOV – INOVATÍVNE PRÍSTUPY A HODNOTENIE POVEDOMIA

4.1 Úvod

Výživa zohráva kľúčovú úlohu pri udržiavaní zdravia a prevencii chorôb. Maximalizácia potenciálu rastlinných zdrojov – výberom druhov bohatých na bioaktívne zlúčeniny a vývojom optimálnych foriem na podávanie a konzumáciu – ponúka udržateľnú cestu k zlepšeniu ľudskej výživy a prevencii chorôb. Využívanie týchto prírodných zdrojov spôsobom, ktorý zachováva ich účinné zložky a zároveň zabezpečuje ich biologickú dostupnosť, môže dopĺňať moderné stravovacie stratégie a prispieť k dlhodobému zdraviu.

Výživa zostáva základným pilierom ľudského zdravia, ovplyvňuje rast, imunitnú funkciu, kognitívny výkon a prevenciu infekčných aj chronických ochorení. Napriek tomu globálna záťaž podvýživy zostáva naliehavým problémom – jeden z deviatich ľudí trpí hladom a jeden z troch je klasifikovaný ako s nadváhou alebo obézny (Global Nutrition Report, 2020). Tento „dvojitý breh“ podvýživy – keď podvýživa existuje súčasne s nadváhou a obezitou – sa dnes pozoruje v mnohých regiónoch sveta.

Vyvážená strava je nevyhnutná na udržanie optimálnej fyziologickej funkcie. Kľúčové živiny, ako sú vitamíny, minerálne látky, vláknina, esenciálne mastné kyseliny a aminokyseliny, sú nenahradiateľné pre zdravie a dobrú pohodu. Moderné stravovacie návyky, často dominované spracovanými potravinami, však mnohým ľuďom sťažujú dosiahnutie odporúčaného príjmu týchto látok len z potravy. Tento nedostatok viedol k rastúcemu používaniu výživových doplnkov.

Výživové doplnky – dostupné vo forme tabliet, kapsúl, práškov alebo tekutín – môžu poskytovať koncentrované zdroje živín, pochádzajúce buď z prírodných zdrojov, alebo synteticky vyrobené. Globálny trh s výživovými doplnkami bol v roku 2021 ocenený približne na 151,9 miliardy USD, pričom len v USA je dostupných viac než 50 000 produktov. Hoci doplnky môžu pomôcť odstrániť konkrétne nutričné nedostatky, nemali by sa považovať za náhradu vyváženej stravy založenej na celistvých potravinách. Celistvé potraviny ponúkajú synergickú kombináciu živín, fytochemikálií a vlákniny, ktorú nemožno replikovať izolovanými látkami.

Bezpečnosť a regulácia výživových doplnkov sa v jednotlivých krajinách líši. V Spojených štátoch amerických dohliada Úrad pre kontrolu potravín a liečiv (FDA) na označovanie a bezpečnosť, no na rozdiel od farmaceutických výrobkov nevyžaduje predbežné schválenie pred uvedením na trh. Tento regulačný nedostatok vyvoláva obavy o kvalitu, účinnosť a možnú falšovanosť niektorých doplnkov.

Riešenie globálnych výživových problémov si vyžaduje viacerozmerný prístup: zlepšiť dostupnosť cenovo prijateľných, na živiny bohatých potravín, znížiť nerovnosti v stravovaní súvisiace so zdravím a zabezpečiť informovanosť spotrebiteľov o bezpečnom a efektívnom používaní doplnkov. Ekonomické náklady podvýživy sú ohromujúce – odhadujú sa na 3,5 bilióna USD ročne v dôsledku podvýživy a ďalšie 2 bilióny USD súvisia s nadváhou a obezitou (World Bank, 2023).

Táto kapitola sa zaoberá zásadnou úlohou zdravej výživy a zodpovednej konzumácie bezpečných výživových doplnkov. Zároveň predstaví inovatívne stratégie na zvyšovanie povedomia a vzdelávania, ktoré spájajú modernú vedu o výžive s udržateľným využívaním zdrojov s cieľom podporiť optimálne zdravotné výsledky na celosvetovej úrovni.



4.2 Základy zdravej výživy

Optimálne zhodnotenie rastlinných zdrojov – prostredníctvom starostlivého výberu, zachovania bioaktívnych zlúčenín a využívania účinných foriem podávania a konzumácie – vytvára základ stravovacieho vzorca podporujúceho dlhodobé zdravie (WHO, 2023).

Esenciálne živiny a ich úlohy

Zdravá strava poskytuje šesť základných skupín živín – bielkoviny, sacharidy, tuky, vitamíny, minerálne látky a vodu – pričom každá má špecifické fyziologické funkcie, ako je oprava tkanív, dodávanie energie, tvorba bunkových štruktúr a regulácia metabolizmu (Delight Medical & Wellness Center, n.d.). Voda je nevyhnutná na udržiavanie telesnej teploty a umožňuje kľúčové biochemické reakcie (Delight Medical & Wellness Center, n.d.).

Princípy vyváženej stravy

Vyváženosť v stravovaní zdôrazňuje pestrosť a kvalitu pri zodpovedajúcom prispôsobení energetického príjmu potrebám organizmu:

- Strava s prevahou rastlinných potravín – ovocia, zeleniny, strukovín, orechov a celozrnných výrobkov – zvyšuje príjem vlákniny a mikronutrientov (Heart and Stroke Foundation of Canada, n.d.; WHO, 2023).
- Celozrnné produkty (napr. ovos, hnedá ryža, celozrnné pečivo) sa uprednostňujú pred rafinovanými obilninami, čím sa zvyšuje obsah vlákniny a mikronutrientov (Heart and Stroke Foundation of Canada, n.d.).
- Rôznorodé zdroje bielkovín, s preferenciou rastlinných bielkovín a so zahrnutím rýb a chudého mäsa, pomáhajú pokryť potrebu aminokyselín a podporujú kardiometabolické zdravie (Heart and Stroke Foundation of Canada, n.d.).
- Minimalizácia vysoko spracovaných potravín znižuje nadbytočný príjem sodíka, pridaných cukrov a trans-mastných kyselín (Heart and Stroke Foundation of Canada, n.d.; WHO, 2023).
- Kontrola veľkosti porcií pomáha zosúladiť kalorický príjem s energetickým výdajom (Delight Medical & Wellness Center, n.d.).

Hustota živín

Výber potravín s vysokým obsahom živín na jednotku energie – ako sú zelenina, ovocie, strukoviny, orechy, semená, vajcia, biely jogurt a tučné ryby – zlepšuje celkovú kvalitu stravy; niektoré z týchto potravín sú energeticky husté, ale pri rozumných porciách zostávajú nutrične prospešné (Healthline, 2024; Harvard T.H. Chan School of Public Health, n.d.).

Odporúčania založené na vedeckých dôkazoch

- ≥ 400 g ovocia a zeleniny denne (približne päť porcií) (WHO, 2023).
- Voľné cukry < 10 % z celkového energetického príjmu (WHO, 2023).
- Kvalita tukov je dôležitejšia než ich množstvo: obmedziť nasýtené a trans-mastné kyseliny, uprednostniť nenasýtené (WHO, 2023; Cena a Calder, 2020).
- Praktická pomôcka: celozrnné výrobky by mali tvoriť štvrtinu taniera pri jedle (Heart and Stroke Foundation of Canada, n.d.).
- Rôznorodé zdroje bielkovín s dôrazom na rastlinné varianty (Heart and Stroke Foundation of Canada, n.d.).



Vplyv na zdravie

Dodržiavanie týchto zásad je spojené s nižším rizikom kardiovaskulárnych ochorení, cukrovky 2. typu a niektorých druhov rakoviny, ako aj s nižšou celkovou úmrtnosťou (Harvard T.H. Chan School of Public Health, n.d.; Cena a Calder, 2020; World Cancer Research Fund, 2024). Strava založená na týchto odporúčaníach zároveň zlepšuje ukazovatele, ako sú krvný tlak, hladiny lipidov a zápalové markery (Cena a Calder, 2020).

Výzvy a budúce perspektívy

Pretrvávajúce bariéry – cena a dostupnosť zdravých potravín, marketing vysoko spracovaných výrobkov a nízka výživová gramotnosť – brzdia uplatňovanie zásad zdravej výživy. Pokrok si vyžaduje zlepšenie cenovej a fyzickej dostupnosti výživných potravín, prispôsobenie odporúčaní kultúrnym a individuálnym podmienkam a využitie digitálnych nástrojov na personalizované poradenstvo a podporu zmeny správania (Harvard T.H. Chan School of Public Health, n.d.; WHO, 2023).

Zhrnutie: Strava s vysokou hustotou živín, minimálne spracovaná a zameraná na rastlinné potraviny – pri dodržiavaní vedecky podložených cieľov pre tuky, cukry a jednotlivé potravinové skupiny – predstavuje praktický základ prevencie ochorení a celoživotného zdravia (WHO, 2023; Cena a Calder, 2020).

4.3 Výživové doplnky: regulácia, bezpečnosť a vedecké hodnotenie

Výživové doplnky, označované aj ako doplnky stravy, sú produkty určené na doplnenie stravy a poskytovanie živín, ktoré nemusia byť v dostatočnom množstve prijímané bežnou potravou. Celosvetový trh s výživovými doplnkami mal v roku 2021 hodnotu približne 151,9 miliardy USD, čo odráža ich široké využitie (NIH, 2013). Napriek ich popularite bezpečnosť a účinnosť týchto produktov zostávajú predmetom prebiehajúceho vedeckého skúmania a regulačného dohľadu.

Regulačný rámec

V Spojených štátoch sú výživové doplnky regulované podľa zákona Dietary Supplement Health and Education Act (DSHEA) z roku 1994, ktorý ich definuje ako produkty obsahujúce jednu alebo viac výživových zložiek, ako sú vitamíny, minerály, byliny, aminokyseliny, enzýmy alebo metabolity (ODS, 1994).

Na rozdiel od liečiv nevyžadujú výživové doplnky pred uvedením na trh schválenie Úradom pre kontrolu potravín a liečiv (FDA). Výrobcovia sú zodpovední za zabezpečenie bezpečnosti svojich produktov pred ich uvedením na trh (FDA, 2023). FDA môže konať a stiahnuť nebezpečné výrobky až po ich uvedení na trh (NIH, 2013).

Bezpečnostné aspekty

Hoci sa mnohé výživové doplnky považujú pri správnom používaní za bezpečné, existujú potenciálne riziká:

- Kontrola kvality – Výrobcovia musia dodržiavať aktuálne správne výrobné postupy (cGMP), aby bola zabezpečená identita, čistota a sila produktu, aj keď kontaminácia a nesprávne označenie môžu stále nastať (FDA, 2023).
- Interakcie – Niektoré doplnky môžu reagovať s predpisovanými liekmi a viesť k nežiaducim účinkom (NIH, 2013).



- Nadmerné užívanie – Nadmerný príjem niektorých živín môže spôsobiť toxicitu; napríklad vysoká konzumácia vitamínu E bola spojená so zvýšeným rizikom rakoviny prostaty u mužov (NIH, 2013).
- Nedostatok dôkazov – Mnohé doplnky majú obmedzené alebo nejednoznačné klinické údaje o deklarovaných zdravotných prínosoch (Harvard Health Publishing, 2023).

Vedecké hodnotenie

Výskum sa zameriava na potenciálne preventívne a terapeutické účinky výživových doplnkov, najmä na mikronutrienty, bioaktívne rastlinné zlúčeniny, probiotiká a prebiotiká, polynenasýtené mastné kyseliny (najmä omega-3 EPA a DHA), fytosteroly, polyfenoly a vlákninu (CorCon International, 2023). Doplnky podložené dôkazmi – teda tie, ktoré sú podporené prísnyimi klinickými štúdiami – poskytujú spoľahlivejšie informácie o bezpečnosti a účinnosti (CorCon International, 2023).

Regulačné opatrenia na zabezpečenie bezpečnosti Regulačné orgány zaviedli opatrenia na zvýšenie bezpečnosti doplnkov:

- Podávanie hlásení o nežiaducich udalostiach – Výrobcovia musia hlásiť závažné nežiaduce účinky FDA (FDA, 2023).
- Oznamovanie nových výživových zložiek – Nové zložky musia byť FDA nahlásené minimálne 75 dní pred uvedením na trh spolu s údajmi o bezpečnosti (FDA, 2023).
- Požiadavky na označovanie – Označenie musí obsahovať zoznam všetkých zložiek a bezpečnostné upozornenia (FDA, 2023).
- Obmedzenia zdravotných tvrdení – Na obale sú povolené iba určité zdravotné tvrdenia (FDA, 2023).

Výživové doplnky môžu pomôcť pri riešení nedostatku živín a podporiť zdravie, ak sa používajú správne. Nemali by však nahrádzať vyváženú stravu a mali by sa vyberať opatrne, aby sa predišlo rizikám pre zdravie. Konzultácia s odborníkom na zdravotnú starostlivosť je nevyhnutná, najmä u osôb s chronickými ochoreniami alebo užívajúcich lieky. Pokračujúci výskum a prísny regulačný dohľad zostávajú kľúčové pre zaistenie bezpečnosti produktov a ochrany spotrebiteľa.

4.4 Inovatívne prístupy k výživovému vzdelávaniu

Riešenie globálnych problémov podvýživy a nezdravých stravovacích návykov si vyžaduje tvorivé a pútavé stratégie výživového vzdelávania. Tradičné prednáškové modely často nedokážu vyvolať trvalú zmenu správania, preto je potrebné zavádzať prístupy, ktoré sú interaktívnejšie, participatívne a prispôsobené rôznorodým skupinám obyvateľstva. V posledných rokoch si viacero inovatívnych metód získalo pozornosť pre svoju schopnosť zlepšovať zapamätanie poznatkov a podporovať zdravšie stravovacie voľby.

Gamifikácia a interaktívne nástroje

Gamifikácia – integrácia herných prvkov do vzdelávacích aktivít – preukázala osobitný prínos vo výživovom vzdelávaní, najmä u detí a mladých dospelých (Gkintoni, 2024). Spôsobuje, že učenie sa stáva zábavným a súťaživým, čím zvyšuje zapojenie účastníkov a posilňuje pozitívne návyky. Príklady zahŕňajú:



- Interaktívne výzvy a kvízy o zdravých stravovacích návykoch
- Simulácie ukazujúce dôsledky rôznych stravovacích rozhodnutí
- Hry na čítanie potravinových etikiet a nutričné bingo
- Rolové hry napodobňujúce reálne výživové situácie

Tieto formáty dokážu premeniť výživové vzdelávanie z pasívneho prijímania informácií na aktívny a zapamätateľný proces, ktorý podporuje dlhodobé zdravé stravovacie návyky (Gkintoni, 2024).

Praktické a zážitkové vzdelávanie

Vzdelávanie založené na skúsenosti má podľa výskumov väčší vplyv na zlepšenie stravovacích návykov v porovnaní s tradičnou výučbou v triede (Jung et al., 2015). Praktické aktivity poskytujú účastníkom možnosť priamo sa zapojiť do tém o jedle a výžive. Medzi takéto metódy patria:

- Akčné učenie a interaktívne hry
- Dielne založené na senzorickom prístupe SAPERE
- Kulinárske ukážky a workshopy zručností
- Ochutnávky jedál na zvýšenie oboznámenia sa so zdravými potravinami

Výskumy ukazujú, že deti vystavené týmto programom častejšie skúšajú nové potraviny, najmä ovocie a zeleninu, a prijímajú zdravšie stravovacie vzorce (Jung et al., 2015).

Komunitne orientované prístupy

Komunitné výživové vzdelávanie sa zameriava na posilnenie schopností a aktívnu účasť, pričom integruje miestne poznatky a kultúrne praktiky do stratégií zlepšovania stravy (FAO, 2024). Bežné praktiky zahŕňajú:

- Školenie komunitných lídrov na sprostredkovanie výživových posolstiev
- Zakotvenie tradičných miestnych potravín do zdravotnej propagácie
- Riešenie sociálnych a ekonomických bariér ovplyvňujúcich výber potravín

Takéto iniciatívy zvyšujú miestnu kapacitu, zlepšujú relevantnosť programov a prispievajú k trvalým zmenám v stravovaní celej komunity.

Technológiami podporené vzdelávanie

Digitálne nástroje a online platformy rozšírili dosah a flexibilitu výživového vzdelávania. Medzi inovatívne riešenia patria:

- Mobilné aplikácie s virtuálnymi výživovými výzvami
- Online rebríčky na sledovanie individuálneho alebo skupinového pokroku
- Interaktívne e-learningové moduly pre zdravotníckych pracovníkov (BMJ, 2020)

Technologické riešenia sú obzvlášť účinné pri oslovovaní mladších, na technológie orientovaných publik a môžu poskytovať personalizovanú, okamžitú spätnú väzbu na podporu zmien stravovania.

Inovatívne vzdelávacie nástroje



Boli vyvinuté špecializované pomôcky, ktoré robia výživové vzdelávanie zábavným aj účinným:

- Nutricartes® – interaktívna kartová hra vyučujúca základné princípy zdravého stravovania
- Metóda SAPERE – senzoricky zamerané workshopy pomáhajúce deťom objavovať a akceptovať širšie spektrum potravín (Jung et al., 2015)

Oba prístupy preukázali úspech pri zlepšovaní vedomostí o výžive a podpore zdravších stravovacích volieb.

Moderné výživové vzdelávanie sa posúva k stratégiám, ktoré aktívne zapájajú účastníkov prostredníctvom hier, participácie, komunitného zapojenia a technológií. V kombinácii môžu tieto inovatívne prístupy vytvárať komplexné programy schopné ovplyvňovať individuálne správanie aj širšie verejnozdravotné výsledky.

4.5 Hodnotenie výživového povedomia

Hodnotenie výživového povedomia je nevyhnutné na meranie účinnosti vzdelávacích iniciatív v oblasti výživy a identifikovanie oblastí na zlepšenie v rámci verejnozdravotných intervencií. Táto časť opisuje overené aj novovznikajúce nástroje používané na hodnotenie vedomostí o výžive, od validovaných dotazníkov až po technológiami podporené inovácie.

Štandardizované dotazníky

Všeobecný dotazník vedomostí o výžive (GNKQ) GNKQ, vyvinutý Parmenterovou a Wardleovou (1999), je široko používaný nástroj na hodnotenie vedomostí v štyroch oblastiach: odporúčania pre stravovanie, obsah živín v potravinách a potravinových skupinách, zdravý výber potravín a súvislosti medzi stravou, chorobami a telesnou hmotnosťou. Tento dotazník bol validovaný a prispôbený rôznym kultúrnym kontextom. Revidovaná verzia (GNKQ-R) bola vytvorená Kliemannovou et al. (2016) na zosúladenie s aktualizovanými výživovými odporúčaniami a na zlepšenie použiteľnosti v rôznych populáciách.

Test vedomostí o výžive (NKT)

NKT, vyvinutý Ferenom et al. (2011), hodnotí vedomosti v oblastiach ako príjem energie a metabolizmus, zloženie živín, sladidlá a ústne zdravie, znalosti o potravinách a výživová terminológia. Bol použitý v rôznych populáciách, vrátane zdravotníckych pracovníkov a študentov, na meranie východiskových znalostí a účinku tréningových programov.

Analýza teórie odpovede na položku (IRT)

IRT poskytuje precíznejší prístup k hodnoteniu vedomostí o výžive prostredníctvom výberu otázok s vysokou rozlišovacou schopnosťou, analýzy náročnosti otázok a generovania presných skóre, ktoré možno korelovať s výsledkami v oblasti stravovacích návykov. Matsumoto et al. (2017) použili IRT na návrh validovanej škály hodnotiacej znalosti v oblasti shokuiku (vzdelávanie o potravinách a výžive) medzi japonskými žiakmi základných škôl, čo prinieslo presnejšie hodnotenia v porovnaní s tradičnými metódami skórovania.

Komplexné prieskumy

Usmernenia FAO na hodnotenie vedomostí, postojov a praktík v oblasti výživy (KAP) Organizácia pre výživu a poľnohospodárstvo (FAO, 2014) vyvinula štandardizované usmernenia na realizáciu KAP prieskumov, ktoré merajú nielen vedomosti, ale aj postoje a správanie spojené s výživou. Tieto usmernenia poskytujú robustný rámec na navrhovanie, realizáciu a analýzu hodnotení, čím sa zabezpečuje porovnateľnosť medzi regiónmi a programami.



Biomarkery a príjem potravy

Na overenie hodnotenia výživového povedomia vedci často porovnávajú skóre vedomostí s objektívnymi zdravotnými a stravovacími ukazovateľmi. Biomarkery môžu zahŕňať hladiny vitamínov a minerálov v sére, antropometrické miery, ako sú BMI a obvod pásu, a biochemické markery, napríklad lipidový a glukózový profil. Príjem potravy sa často meria 24-hodinovým spätným záznamom, dotazníkmi frekvencie konzumácie potravín (FFQ) a stravovacími denníkmi. Spronk et al. (2014) zistili, že vyššia úroveň vedomostí o výžive bola spojená s vyššou konzumáciou ovocia a zeleniny a nižším príjmom tukov u dospelých Austrálčanov.

Inovatívne prístupy

Moderné metódy rozširujú spôsoby hodnotenia výživového povedomia:

Technológiami podporené hodnotenia

Mobilné aplikácie, ako napríklad Nutricise (Hsu et al., 2018), ponúkajú interaktívne kvízy a tipy na zdravé stravovanie, zatiaľ čo webové platformy poskytujú hodnotenie v reálnom čase a personalizovanú spätnú väzbu.

Gamifikované hodnotiace nástroje

Kvízy využívajúce body, rebríčky a odznaky môžu zvýšiť zapojenie, pričom scenárové úlohy vyžadujúce virtuálny výber potravín posilňujú praktické zručnosti.

Simulácie vo virtuálnej realite

Pohlciujúce prostredia supermarketu alebo kuchyne umožňujú hodnotiť praktické uplatnenie vedomostí o výžive. Mack et al. (2020) preukázali, že gamifikované mobilné aplikácie môžu zlepšiť stravovacie návyky aj uchovanie vedomostí u mladých dospelých.

Faktory ovplyvňujúce výživové povedomie

Výskum ukazuje, že výživové vedomosti sú formované viacerými faktormi, vrátane sociodemografických premenných, ako sú vek, pohlavie, príjem a povolanie; úroveň vzdelania; predchádzajúca expozícia programom výživového vzdelávania; a kultúrne a environmentálne vplyvy. Štúdie Spronka et al. (2014) a Hendriea et al. (2008) zdôrazňujú význam týchto faktorov pri určovaní východiskového povedomia a úspešnosti výživových intervencií.

Hodnotenie výživového povedomia si vyžaduje viacmetódový prístup, ktorý kombinuje validované dotazníky, ako GNKQ a NKT, s modernými inováciami vrátane gamifikácie, mobilných technológií a validácie prostredníctvom biomarkerov. Takáto integrovaná stratégia poskytuje odborníkom vo verejnom zdravotníctve komplexnejšie pochopenie výživovej gramotnosti, čo im umožňuje navrhovať ciele intervencie, ktoré môžu pozitívne ovplyvniť stravovacie správanie a zdravotné výsledky.

4.6 Účinnosť inovatívnych výživových intervencií

Účinnosť inovatívnych výživových intervencií bola rozsiahlo skúmaná, pričom výskumy sa zamerali na rôzne stratégie zlepšovania výživových vedomostí, správania a zdravotných výsledkov v rôznych populáciách. Zistenia poukazujú na sľubné prínosy v niektorých kontextoch, zároveň však odhaľujú oblasti, kde je potrebný ďalší výskum.

Technologicky podporované intervencie



Digitálne a gamifikované stratégie preukázali značný potenciál pri zlepšovaní výživového vzdelávania a podpore zdravého správania. Napríklad Han et al. uviedli, že zdravotne edukačné stolové hry priniesli výrazné zlepšenie výživových vedomostí (Cohenovo $d = 0,82$) a stredne veľké zlepšenie zdravého správania (Cohenovo $d = 0,38$). Ich výskum tiež zistil, že digitálne hry ako *Fit Food Fun* a *ETIOBE Mates* viedli k krátkodobému zvýšeniu výživových vedomostí u detí, zatiaľ čo stolová hra *Kaledo* si udržala zlepšené vedomosti aj 6 a 18 mesiacov po intervencii (Han et al., 2020).

Napriek tomu zostáva celkový účinok programov podporených technológiami na skutočné potravinové voľby nejasný. Scoping review a meta-analýza Chewa et al. (2023) ukázala, že hoci interaktívne technologické intervencie podporili ciele týkajúce sa redukcie hmotnosti, nepreukázali konzistentné zlepšenie voľby potravín.

Cielené intervencie pre špecifické populácie

Tehotné ženy a intervencie v ranom veku

Projekt *Nutrition Now* sa zameriava na tehotné ženy a rodičov dojčiat vo veku 0–2 roky, pričom využíva technológie na implementáciu dôkazmi podložených výživových intervencií. Ako uviedli Benajiba et al. (2022), takéto cielené prístupy môžu priniesť významné prínosy; napríklad v Gambii rozdeľovanie lokálne vyrábaných nutričných sušienok počas tehotenstva znížilo výskyt nízkej pôrodnej hmotnosti o 39 % a zvýšilo priemernú pôrodnú hmotnosť o 136 g.

Adolescenti

Mancone et al. (2024) hodnotili viacúrovňový program potravinovej gramotnosti pre adolescentov, ktorý kombinoval workshopy, interaktívne aktivity a digitálne nástroje. Tento program významne zvýšil potravinovú gramotnosť, znížil emočné jedenie a zlepšil sebakontrolu v stravovacích návykoch.

Dospelí s chronickými ochoreniami

Systematický prehľad a meta-analýza Barnetta et al. (2023) skúmali diétne intervencie poskytované prostredníctvom digitálnych zdravotníckych platforiem u dospelých s diétou súvisiacimi chronickými chorobami. Zistenia preukázali mierne, ale významné zlepšenia v dodržiavaní stredomorskej stravy, spotrebe ovocia a zeleniny, redukcii príjmu sodíka, obvode pásu, telesnej hmotnosti a hladine glykovaného hemoglobínu (HbA1c).

Komunikačné stratégie zmeny sociálneho správania vo výžive (NSBCC)

Stratégie NSBCC sa ukázali ako účinné pri zlepšovaní postupov kŕmenia dojčiat a malých detí. Meta-analýza Mahumuda et al. (2022) preukázala významný nárast miery výlučného dojčenia (pomerný koeficient = 1,73; $p < 0,001$) a pozitívne účinky na kľúčové ukazovatele rastu detí vrátane výšky k veku, hmotnosti k výške a hmotnosti k veku (z-skóre).

Kombinované intervencie pohybu a výživy

U starších dospelých, ktorí sú krehkí alebo v predfrailty štádiu, môžu byť kombinované pohybové a výživové intervencie veľmi prospešné. Han et al. (2020) uviedli významné zníženie skóre krehkosti (SMD = 0,25) a zlepšenie výsledkov krátko fyzického výkonového testu (MD = 0,48), čo naznačuje lepší funkčný zdravotný stav.

Inovatívne výživové intervencie – najmä tie, ktoré využívajú technológie – majú potenciál zlepšovať výživové vedomosti, podporovať zdravé správanie a zlepšovať zdravotné výsledky. Ich účinnosť sa však líši v závislosti od cieľovej populácie, dizajnu programu a sledovaných



cieľov. Na vyhodnotenie dlhodobých účinkov, optimalizáciu implementačných stratégií a riešenie rozdielov medzi jednotlivými prostrediami je potrebný ďalší výskum.

4.7 Literatúra

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/>

