

La protezione delle piante, la Cenerentola della strategia “One Health”?

Giacomo Lorenzini^{a,*1}, Cristina Nali^{a,1}

^a*Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa, 56124 Pisa, Italia*

Key words: sicurezza alimentare, salubrità degli alimenti, servizi ecosistemici, resistenza agli antimicrobici, Agenda 2030, fitopatologia

RIASSUNTO

La salute delle piante e dei microbiomi è fondamentale per la vita sulla Terra, il benessere umano e la salute del pianeta, eppure la sua importanza è spesso sottovalutata. La salute umana e quella animale dipendono da quella delle piante per la sicurezza alimentare (produzione di cibo nutriente, crescita economica), la salubrità degli alimenti (rischi di contaminazione), i servizi ecosistemici (qualità dell'aria, benefici per la salute mentale) e la mitigazione del problema della resistenza agli antimicrobici (dovuta all'uso di antibiotici in agricoltura). Gli specialisti della salute delle piante sono cruciali per la protezione vegetale, la sicurezza alimentare e il raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile nell'ambito della strategia One Health. Le malattie e i parassiti vegetali possono avere un impatto significativo sulla produzione alimentare, sulla stabilità economica e sulla salute pubblica. Per affrontare queste sfide è necessario integrare la salute delle piante nel quadro di One Health, promuovendo la collaborazione tra fitopatologi, veterinari, esperti di salute umana e scienziati ambientali. Solo lavorando insieme possiamo sviluppare approcci più sostenibili e olistici all'agricoltura e alla salute pubblica.

1. Introduzione

Il concetto di “One Health”, sebbene non sia recente, è diventato cruciale per affrontare le sfide sanitarie moderne. Esso sottolinea l'interconnessione tra salute umana, animale e ambientale, richiedendo collaborazione interdisciplinare. Originato dall'idea di “One Medicine” (1984), focalizzata su salute umana e animale, il concetto di One Health si è evoluto nel 2004 durante un evento che ha evidenziato un approccio più ampio e interdisciplinare alle minacce sanitarie globali, ma ha sorprendentemente escluso la salute delle piante [1, 2]. Il risultato del simposio, noto come “Manhattan Principles”, includeva 12 raccomandazioni per un approccio olistico alla prevenzione di malattie epidemiche e zoonotiche e alla conservazione dell'integrità degli ecosistemi a beneficio di umani, animali domestici e biodiversità [3]. Tuttavia, le piante e la loro salute erano assenti da tali principi, che si concentravano quasi esclusivamente su salute umana e animale. Anche il logo della conferenza (Fig. 1) non conteneva alcun riferimento al mondo vegetale.



Fig. 1. Il logo ufficiale dell'evento “One World, One Health”: si noti la mancanza totale di riferimenti al mondo vegetale.

*Autore per corrispondenza.

E-mail address: giacomo.lorenzini@unipi.it (G. Lorenzini)

¹Equal contribution

Di fronte ai cambiamenti climatici e alla perdita di biodiversità, è emersa la necessità di aggiornare i “Manhattan Principles”. Per questo motivo, il Ministero degli Affari Esteri tedesco e la Wildlife Conservation Society hanno organizzato la conferenza “One Planet, One Health, One Future” (25 ottobre 2019), che ha riunito quasi 200 partecipanti da 47 Paesi. In preparazione alla conferenza, 12 esperti hanno redatto i “Berlin Principles on One Health”, ampliando i Manhattan Principles per includere la salute degli ecosistemi e affrontare temi come la trasmissione di agenti patogeni, il cambiamento climatico e la resistenza antimicrobica [4].

Il concetto di One Health è oggi largamente riconosciuto e ha dato origine a numerose iniziative ed eventi scientifici. Decine di riviste scientifiche trattano questi argomenti. Sebbene formalmente venga riconosciuta la parità tra salute umana, animale e vegetale – come dimostrano vari loghi (Fig. 2) e iniziative – la partecipazione attiva degli specialisti in salute delle piante rimane limitata. Essi sono spesso sottorappresentati in ruoli chiave, come membri di comitati o relatori principali nei principali eventi internazionali. La fitopatologia è scarsamente rappresentata nelle riviste One Health, con poche eccezioni [es. 5, 6].



Fig. 2. Una selezione di loghi finalizzati a promuovere eventi e iniziative riferite alla strategia One Health. Si noti come, graficamente, il ruolo delle piante (e della loro salute) sia di pari visibilità rispetto a uomo e animali.

Le dichiarazioni del G7 e del G20 del 2024 danno priorità alla salute umana e animale nell’ambito One Health, come dimostrato anche da un’analisi delle parole chiave: “piante” viene menzionato solo 12 volte, contro 89 per “resistenza antimicrobica” e 5 per “ecosistemi”. Questo squilibrio, probabilmente dovuto al fatto che i documenti provengono da autorità sanitarie, rafforza la percezione che One Health riguardi principalmente la salute umana [7]. Tuttavia, la definizione fornita dalla One Health Commission include esplicitamente la salute delle piante come componente cruciale di una visione collaborativa, multisettoriale e transdisciplinare alla salute e al benessere. Tale approccio olistico enfatizza l’interconnessione tra persone, animali, piante e ambiente condiviso [8].

Alla luce di questo scenario, lo scopo del presente articolo è mettere in luce i benefici derivanti da una considerazione integrata della salute umana, animale, vegetale e degli ecosistemi, al fine di stabilire definitivamente la salute delle piante come elemento intrinseco della strategia One Health. Basandosi su un’analisi della letteratura specialistica, questo articolo – un “position paper” firmato da due fitopatologi con esperienza in protezione sostenibile delle colture e interazioni tra piante e inquinanti ambientali – esplora il ruolo centrale della salute delle piante nella strategia One Health, con particolare attenzione a temi come la sicurezza e la salubrità alimentare, i metaboliti tossici dei patogeni vegetali, i contaminanti chimici, le zoonosi su alimenti vegetali, i servizi ecosistemici e la resistenza antimicrobica.

2. Il ruolo delle piante nella strategia One Health

Le piante sono essenziali per la vita umana, in quanto forniscono beni primari e contribuiscono al benessere individuale, alla sostenibilità ambientale e alla salute del pianeta [9]. Esse supportano gli ecosistemi, regolano i cicli biogeochimici e mitigano i cambiamenti climatici. Tuttavia, esse sono chiamate ad affrontare numerose sfide ambientali, sia abiotiche che biotiche [10], che possono avere impatti su scala ecosistemica e agricola. La salute delle piante è dunque fondamentale non solo per le piante stesse, ma anche per la salute umana, animale, ambientale e per l'economia globale. La globalizzazione e i cambiamenti climatici peggiorano le interazioni pianta-patogeno: il commercio internazionale facilita la diffusione di parassiti e patogeni, mentre il clima altera la resilienza delle piante [11].

La fitopatologia moderna, disciplina con profonde radici storiche, ha avuto origine in uno dei momenti più oscuri della storia: la Grande Carestia irlandese. Negli anni 1840, l'arrivo di un ceppo virulento di *Phytophthora infestans* devastò i raccolti di patate, provocando una carestia diffusa e una massiccia emigrazione [12]. Questa tragedia evidenziò l'impatto devastante delle malattie delle piante e stimolò l'indagine scientifica sulle loro cause. Pionieri come Berkeley e de Bary riconobbero la natura fungina dell'agente del "blight", una scoperta rivoluzionaria che precedette la teoria dei germi di Pasteur [13]. Questa consapevolezza gettò le basi della patologia vegetale moderna e mise in luce il ruolo cruciale dei microrganismi nello sviluppo delle malattie.

Oggi, la salute delle piante è una questione globale. Le Nazioni Unite hanno proclamato il 2020 Anno Internazionale della Salute delle Piante (Fig. 3) e il 12 maggio di ogni anno come Giornata Internazionale della Salute delle Piante. Queste iniziative mirano ad aumentare la consapevolezza dell'importanza della salute delle piante per affrontare sfide globali, come fame, povertà e degrado ambientale. Comprendendo e gestendo le malattie delle piante, possiamo tutelare la sicurezza alimentare, proteggere gli ecosistemi e contribuire a un futuro sostenibile.



Fig. 3. Il logo ufficiale dell'*International Year of Plant Health* organizzato dalle Nazioni Unite nell'anno 2020.

2.1. Sicurezza alimentare: pietra angolare dello sviluppo sostenibile

Secondo la definizione del World Food Summit del 1996 [14], la sicurezza alimentare esiste quando tutte le persone, in ogni momento, hanno accesso fisico ed economico a cibo sicuro, nutriente e sufficiente a soddisfare i bisogni alimentari per una vita sana. Ciò implica un equilibrio tra disponibilità, accesso, approvvigionamento e utilizzo del cibo.

Il raggiungimento della sicurezza alimentare è essenziale per gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) dell'Agenda 2030, in particolare per l'SDG 1 (Porre fine alla povertà) e l'SDG 2 (Sconfiggere la fame) [15]. Affrontare la povertà significa aumentare il reddito degli agricoltori (attraverso il controllo dei parassiti, il commercio e l'occupazione), mentre eliminare fame e malnutrizione dipende dal miglioramento della disponibilità, accessibilità e accessibilità economica del cibo. La sicurezza

alimentare è collegata anche ad altri SDGs, come la salute e il benessere (SDG 3) e istituzioni solide (SDG 16).

L'agricoltura familiare gioca un ruolo centrale nella produzione di cibo, nelle economie rurali e nel benessere sociale. Proteggere la salute delle piante e promuovere il commercio agricolo sono azioni chiave per la sicurezza alimentare e per sostenere i mezzi di sussistenza di miliardi di persone che dipendono dall'agricoltura familiare. Le colture da reddito, destinate al profitto, sono vitali per molte economie, soprattutto nei Paesi in via di sviluppo. Esempi includono cacao, caffè, colture tessili, canna da zucchero, gomma, tè e tabacco. Sebbene redditizie, non sempre contribuiscono direttamente alla sicurezza alimentare. Le colture alimentari – come cereali, legumi, radici e tuberi – sono principalmente destinate al consumo interno [16]. Le banane, ad esempio, rappresentano sia un alimento di base che una coltura da reddito in molte aree a basso reddito [17]. Le malattie e i parassiti delle piante minacciano sia le colture alimentari che quelle da reddito, riducendo le rese, aumentando i costi e facendo salire i prezzi dei generi alimentari.

2.2. Esempi emblematici di malattie catastrofiche delle piante

L'epidemia di *Southern Corn Leaf Blight* del 1970 negli Stati Uniti rappresenta un fenomenale esempio dei pericoli derivanti dalla scarsa diversità genetica nelle colture. Questo evento devastante, causato dal fungo *Cochliobolus heterostrophus* (sin. *Drechslera maydis*), ha messo in evidenza il ruolo cruciale della diversità genetica nella mitigazione delle malattie e nella sicurezza alimentare [18, 19]. L'ampio utilizzo di ibridi di mais con citoplasma maschio-sterile del tipo Texas – una caratteristica che semplificava la produzione di semi – aveva creato una monocoltura estremamente vulnerabile al nuovo ceppo patogeno denominato “razza T”. L'epidemia, favorita anche da condizioni meteorologiche adatte, causò gravi perdite di raccolto e danni economici, sottolineando i rischi delle monocolture e la necessità di diversità genetica in agricoltura [20].

Numerose malattie delle piante hanno il potenziale per devastare le colture e minacciare i mezzi di sussistenza in tutto il mondo [21]. Una delle più preoccupanti è il ceppo *Tropical Race 4* (TR4), un fungo del suolo che provoca l'avvizzimento da *Fusarium* nelle banane [22]. Il TR4, causato da *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, danneggia gravemente le piante di banana, bloccandone i tessuti vascolari. Altamente contagioso, si diffonde tramite suolo, acqua e materiale vegetale contaminati ed è quasi impossibile da eradicare una volta insediato. Il TR4 rappresenta una minaccia grave per la produzione globale di banane, in particolare per la varietà Cavendish, la più coltivata a livello mondiale. Originato in Asia negli anni '70, si è diffuso in Africa e, più recentemente, in America Latina [23]. Ciò è particolarmente allarmante per molti Paesi a basso reddito, dove la banana è un alimento base e una coltura da reddito. La malattia può comportare gravi perdite di raccolto, costi di produzione più elevati e difficoltà economiche per i piccoli coltivatori.

Anche la palma da dattero (*Phoenix dactylifera*), coltura di grande importanza economica, ecologica e culturale per molti paesi nordafricani e mediorientali [24], è minacciata da un'altra forma di avvizzimento da *Fusarium*, causato da *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*. Questa malattia ha distrutto milioni di palme in Marocco e Algeria, colpendo le cultivar di alta qualità e costringendo molti agricoltori ad abbandonare le coltivazioni [25]. Sviluppare cultivar resistenti è un processo complesso ma essenziale per la sopravvivenza del settore.

La ruggine del caffè, causata dal fungo *Hemileia vastatrix*, rappresenta un'altra minaccia significativa alla produzione globale di caffè, soprattutto della specie *Coffea arabica*, provocando gravi danni alle foglie e cali produttivi importanti [26, 27]. La malattia, scoperta per la prima volta a Ceylon (oggi Sri Lanka) nel XIX secolo, si è ormai diffusa nelle principali aree di produzione mondiale, mettendo in pericolo i mezzi di sussistenza di milioni di piccoli produttori. Difficile da controllare e attualmente di fatto incurabile, la ruggine del caffè continua a rappresentare una sfida dai profondi risvolti economici e sociali per molte comunità dipendenti dal caffè [28].

Questi e altri esempi drammatici mostrano la vulnerabilità dei sistemi agricoli fortemente dipendenti da una sola coltura o da poche specie. Quando tali colture vengono decimate da malattie, le

conseguenze possono essere devastanti, soprattutto nelle aree in via di sviluppo, spesso caratterizzate da forte crescita demografica, povertà diffusa e scarse risorse per la ricerca agricola e i servizi di assistenza tecnica. In questi contesti, il fallimento di una coltura chiave può compromettere gravemente la sicurezza alimentare e i mezzi di sussistenza.

2.3. *Salubrità degli alimenti: proteggere la salute pubblica*

La salubrità del cibo è un elemento cruciale per la salute pubblica e comprende l'insieme delle pratiche necessarie alla manipolazione, preparazione e conservazione dei cibi per prevenire malattie trasmesse dagli alimenti. Queste problematiche, causate da contaminanti biologici o chimici pericolosi, possono variare da lievi disturbi gastrointestinali a condizioni potenzialmente letali [29]. La globalizzazione e il cambiamento climatico complicano ulteriormente la sicurezza alimentare a causa delle catene di approvvigionamento sempre più complesse e degli effetti potenziali sulla produzione e distribuzione del cibo. Per questo motivo, è essenziale dare priorità alle misure di sicurezza alimentare in ogni fase della filiera: dalla coltivazione, alla conservazione, fino alla cottura. Le malattie delle piante, oltre a ridurre le rese, compromettono la qualità dei prodotti e il loro valore nutrizionale [30]. La salubrità degli alimenti può inoltre essere compromessa da rischi fisici, biologici e chimici. I rischi fisici includono la presenza di corpi estranei (vetro, metallo, plastica) o materiali naturali come spine di pesce [31]. I rischi biologici comprendono batteri, virus e parassiti, mentre quelli chimici includono residui di agrofarmaci e altre sostanze nocive: entrambi rappresentano una minaccia diretta per la salute umana.

Una protezione efficace delle piante, soprattutto attraverso la difesa integrata (IPM – *Integrated Pest Management*), è essenziale per ridurre l'uso dei pesticidi, mantenere la salute delle colture e garantire la sicurezza degli alimenti.

2.4. *Patogeni delle piante e salute umana/animale*

Sebbene i patogeni vegetali e quelli animali tendano a infettare ospiti distinti, alcuni agenti di malattie delle piante possono, seppur raramente, infettare anche esseri umani e animali [32]. Le differenze fisiologiche tra i due sistemi biologici, così come le difese specifiche dell'organismo umano (come l'acidità gastrica), rendono difficili le infezioni inter-regno. Inoltre, le strategie adattative dei patogeni vegetali sono spesso altamente specializzate, limitandone la capacità di infettare ospiti animali.

Tuttavia, emergono sempre più evidenze secondo cui alcuni patogeni vegetali possono causare malattie anche in esseri umani e animali, suggerendo un potenziale – seppur limitato – rischio di infezioni incrociate. Per esempio, i virus delle piante non sono generalmente considerati patogeni per l'uomo o altri vertebrati, sebbene alcuni di essi possano replicarsi all'interno di insetti vettori [33].

I microrganismi patogeni per le piante che vengono isolati in ambito clinico si riscontrano prevalentemente in pazienti immunocompromessi, in fase post-operatoria, o vittime di traumi, con rare eccezioni. Tra questi si annoverano alcuni ceppi di *Agrobacterium tumefaciens* (ora *Rhizobium radiobacter*) e di *Erwinia*, che sono considerati patogeni opportunisti, privi di specificità per l'ospite umano o animale. Come previsto, nei fitopatogeni clinici non sono stati identificati fattori di virulenza specifici per l'uomo. Un esempio interessante è *Alternaria infectoria*, fungo responsabile del blight dei fiori nel guayule, che è stato associato a un caso clinico di feoifomicosi in un paziente sottoposto a trapianto renale [34].

L'occhio umano, esposto all'ambiente e dotato di una struttura anatomica particolare, è vulnerabile a numerose malattie infettive, tra cui la cheratite fungina. Questa condizione, spesso causata da funghi come *Fusarium*, *Alternaria* e *Aspergillus* – tutti capaci di vivere come saprofiti o parassiti sulle piante [35] – può portare a opacità corneale e persino alla cecità. L'uso crescente delle lenti a contatto rappresenta un ulteriore fattore di rischio per lo sviluppo di cheratiti fungine [35]. Oltre alle infezioni oculari, *Fusarium oxysporum* è stato associato anche a onicomicosi (infezioni delle unghie) e a

infezioni invasive in pazienti immunocompromessi [37]. In individui sani, specie di *Fusarium* possono causare anche sinusiti fungine [38].

2.4. Metaboliti tossici prodotti da patogeni delle piante per l'uomo e gli animali

Anche se i patogeni delle piante raramente infettano direttamente esseri umani e animali, essi possono produrre tossine pericolose note come micotossine. Questi metaboliti fungini, prodotti da specie dei generi *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, possono contaminare colture alimentari come cereali, rappresentando una minaccia significativa per la salute umana e animale. Le micotossine possono causare danni epatici, cancro e disturbi neurologici. Sono in grado di entrare nella catena alimentare sia direttamente attraverso alimenti di origine vegetale contaminati, sia indirettamente, tramite prodotti animali (carne, latte, uova) derivanti da animali nutriti con mangimi contaminati [39].

Nonostante le normative sulla sicurezza alimentare e le condizioni climatiche favorevoli nei Paesi sviluppati, le micotossine rappresentano ancora un problema persistente che richiede monitoraggio, controllo e gestione continui [40]. Le implicazioni economiche delle micotossine nei mangimi includono una riduzione dell'assunzione alimentare da parte degli animali, rifiuto del cibo, minore efficienza nella conversione alimentare, riduzione dell'aumento di peso, incremento dell'incidenza di malattie (per via dell'immunosoppressione) e compromissione delle capacità riproduttive [41, 42]. La mitigazione dei rischi legati alle micotossine richiede l'applicazione di normative rigorose sulla sicurezza alimentare e un efficace sistema di monitoraggio. Buone pratiche agricole e una corretta conservazione possono ridurre la crescita fungina e la produzione di tossine. Molti Paesi, seguendo le linee guida di FAO, OMS e UE [43], hanno stabilito limiti massimi per la concentrazione di micotossine negli alimenti e nei mangimi.

Gli alcaloidi dell'*ergot*, prodotti dai funghi del genere *Claviceps* (soprattutto *C. purpurea*), contaminano cereali come segale, frumento, triticale e avena. Questi miceti producono strutture di sopravvivenza ("sclerozi"), che contengono elevate concentrazioni di alcaloidi [44, 45]. Il consumo di alimenti o mangimi contaminati può causare gravi problemi di salute negli animali, interferendo con numerosi processi fisiologici. Nell'uomo, l'intossicazione può causare vomito, diarrea, spasmi muscolari e allucinazioni [46]. Storicamente, l'ergotismo ha causato gravi malattie e decessi. Sebbene i limiti legali stringenti abbiano quasi eliminato i casi di ergotismo umano, questa tossina rimane una preoccupazione importante in veterinaria, in particolare per bovini, cavalli, ovini, suini e pollame [48, 49]. Una gestione efficace delle colture e il rispetto delle normative sulla sicurezza alimentare sono essenziali per mitigare il problema.

Il sedano, come molte altri ortaggi, è suscettibile a infezioni fungine, incluso *Sclerotinia sclerotiorum*. In risposta all'attacco, la pianta produce furocumarine, composti che possono causare fitofotodermatite, una reazione cutanea caratterizzata da vesciche dolorose in seguito all'esposizione alla luce solare dopo il contatto con la pianta [50].

2.6. Contaminanti chimici introdotti dalle piante nella catena alimentare

Le piante alimentari, interagendo con aria, acqua e suolo, possono assorbire contaminanti chimici provenienti da emissioni industriali, attività antropiche o fonti naturali, con impatti rilevanti sulla loro composizione e sicurezza (Fig. 4). Esse possono assorbire o adsorbire inquinanti, diventando un anello critico nella catena di trasferimento della contaminazione verso l'uomo. Monitorare e regolamentare i livelli di contaminanti chimici negli alimenti è quindi fondamentale per garantire la sicurezza alimentare. L'adozione di buone pratiche agricole, *standard* di trasformazione e normative appropriate può ridurre significativamente questi rischi.

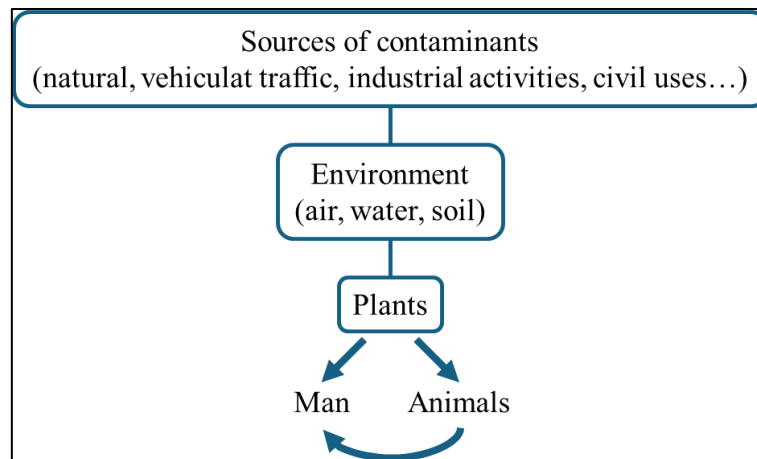


Fig. 4. Percorsi di contaminazione chimica nell'ambito del concetto di *food safety*. Le presenze estranee nel cibo possono essere autorizzate (es. agrofarmaci), oppure no (es. metalli pesanti).

L'assorbimento persistente di contaminanti da parte delle piante commestibili e la loro accumulazione nella catena alimentare rappresentano una minaccia importante per la salute umana e animale, potendo causare problemi che vanno da intossicazioni lievi fino a gravi danni d'organo [51].

I metalli pesanti (MP) – elementi chimici metallici caratterizzati da elevata densità – sono rilasciati principalmente da attività umane come l'estrazione mineraria, l'industria pesante e l'impiego di combustibili fossili o rifiuti. I metalli pesanti si distinguono in essenziali (necessari per funzioni biologiche, es. rame, ferro, manganese, cobalto, zinco) e non essenziali (senza ruolo biologico noto, tossici anche a basse concentrazioni, es. cadmio, piombo, mercurio, cromo, alluminio) [52].

Le piante possono assorbire questi metalli dal suolo tramite le radici o dall'aria tramite le foglie e la deposizione atmosferica, compromettendo le funzioni biochimiche essenziali come l'attività di proteine ed enzimi [53]. I contaminanti metallici più diffusi negli alimenti sono piombo, cadmio, arsenico e cromo. Il *Codex Alimentarius* ha stabilito limiti di legge per questi metalli nei diversi prodotti alimentari [54].

Gli agrofarmaci, sia minerali che organici, sono ampiamente utilizzati in agricoltura per proteggere le colture dagli organismi nocivi. Dopo l'applicazione, questi composti si degradano in parte, ma lasciano residui negli alimenti, in quantità variabili a seconda del tipo di prodotto, della tecnica di applicazione e della coltura trattata. Anche i trattamenti post-raccolta influiscono sui livelli residui, che sono regolamentati per minimizzare l'esposizione dei consumatori [55]. Tuttavia, nei Paesi in via di sviluppo, l'applicazione delle normative è spesso inadeguata. Il monitoraggio 2022 dell'EFSA ha rilevato che il 96,3% dei campioni era conforme ai limiti massimi di residui (MRLs), mentre il 3,7% li superava (il 2,2% risultava non conforme dopo aver considerato l'incertezza analitica) [56].

2.7. Alimenti vegetali contaminati da patogeni zoonotici

Le malattie causate da batteri, virus e parassiti di varia natura e trasmesse dagli alimenti rappresentano una grande preoccupazione per la salute globale. Molti patogeni contaminano alimenti crudi [57], inclusi frutta, verdura e germogli esposti a letame o acqua contaminata. Questi prodotti possono quindi entrare nella catena alimentare. Patogeni umani e animali possono colonizzare le piante e le loro radici. Una conservazione e una lavorazione inadeguate contribuiscono ulteriormente alla contaminazione. I prodotti pronti al consumo sono particolarmente vulnerabili. Nonostante la falsa convinzione che le piante abbiano un ruolo marginale, la produzione fresca è responsabile di numerosi focolai di malattie trasmesse dagli alimenti. Un esempio principale è *Escherichia coli* produttore di tossina Shiga ("*Shiga-Toxin-producing Escherichia coli*", STEC), in particolare il sierotipo O157:H7,

responsabile di migliaia di casi annuali negli Stati Uniti [58]. Un grave focolaio di *E. coli* O157:H7 legato all'ingestione di spinaci preconfezionati ha causato numerosi ricoveri e decessi, risalendo a un'unica azienda agricola contaminata dall'acqua di irrigazione o da cervi [59]. STEC produce tossine Shiga che danneggiano intestino, reni e cervello, causando crampi addominali, diarrea sanguinolenta e lesioni renali, a volte con conseguenti problemi neurologici e cardiaci. Un focolaio del sierotipo O104:H4 nel 2011 in Europa, principalmente in Germania, ha provocato quasi 4.000 infezioni, oltre 900 casi di sindrome emolitico-uremica (HUS) e 54 decessi [60]. Questo focolaio è stato collegato a germogli contaminati provenienti da semi di fieno greco dall'Egitto e importati da un unico produttore biologico in Germania, [61]. La *Salmonella* è una delle principali cause di malattie trasmesse dagli alimenti, tradizionalmente ritenuta diffondersi soprattutto tramite contaminazione crociata [62]. Tuttavia, ricerche recenti hanno dimostrato che alcuni ceppi di *Salmonella* possono colonizzare e moltiplicarsi direttamente sulle piante, rappresentando un rischio significativo per la salute pubblica [63]. *Salmonella* ha evoluto meccanismi per eludere le difese delle piante, permettendole di sopravvivere e replicarsi nei tessuti vegetali. Questa capacità di colonizzare le piante può portare alla contaminazione degli alimenti, anche in assenza di contaminazione crociata [64]. Un esempio notevole di focolaio di *Salmonella* legato a prodotti vegetali contaminati è il focolaio del 2009 di *S. typhimurium* associato al burro di arachidi. Questo episodio ha colpito oltre 600 persone e causato nove decessi. È stata identificata come fonte di contaminazione un'unica struttura gestita da un importante produttore [65]. Il norovirus umano e il virus dell'epatite A sono le principali cause virali di malattie trasmesse dagli alimenti a livello mondiale, spesso trasmessi attraverso frutti di bosco freschi o congelati, come fragole e lamponi. La contaminazione può avvenire tramite contatto con superfici, acqua o mani contaminate. Questi virus sopravvivono al congelamento e ad altre condizioni avverse, mantenendo la loro infettività, e il rischio di infezione è elevato a causa del consumo crudo o minimamente lavorato di molti frutti di bosco [66, 67].

3. Servizi ecosistemici e salute delle piante

I servizi ecosistemici sono i benefici che gli esseri umani traggono dalla natura, suddivisi in quattro tipi [68]: di supporto (ciclo dei nutrienti, formazione del suolo, produzione primaria); di regolazione (regolazione del clima, purificazione dell'aria e dell'acqua, controllo delle inondazioni); di approvvigionamento (cibo, acqua, legname, combustibile, piante medicinali); e culturali (ricreazione, estetica, benessere spirituale).

Gli spazi verdi urbani (parchi, giardini, alberi lungo le strade) forniscono numerosi servizi ecosistemici a beneficio della salute umana [69], tra cui il miglioramento della qualità dell'aria (assorbimento degli inquinanti); la regolazione del clima (mitigazione dell'isola di calore urbana); benefici per la salute mentale (riduzione di stress, ansia e depressione); e benefici per la salute fisica (promozione dell'attività fisica, riduzione del rischio di malattie croniche). Proteggere e restaurare gli ecosistemi garantisce questi servizi essenziali per le generazioni future. Con metà della popolazione mondiale ormai concentrata nelle città (e con una proiezione del 70% entro la metà del secolo, con un aumento di 2,5 miliardi di persone soprattutto in Asia e Africa), l'effetto isola di calore urbano si intensificherà, aggravando i pericoli delle ondate di calore legate ai cambiamenti climatici [70-73]. Queste ondate di calore, particolarmente devastanti in Europa (come dimostrato dall'ondata del 2003 [74]), causano migliaia di morti, soprattutto tra anziani, donne e persone svantaggiate e fragili. Il verde urbano, inclusi parchi e alberi, può mitigare questo calore urbano e offrire benefici psicologici, migliorando la salute e il benessere umano [75]. Le foreste urbane giocano inoltre un ruolo cruciale nel contrastare l'inquinamento atmosferico, un grave problema sanitario globale collegato a milioni di morti ogni anno [76, 77]. Le piante rimuovono gli inquinanti gassosi e particolati dall'aria attraverso gli stomi e le cuticole fogliari, rispettivamente [78] (Fig. 5). Questo processo è efficace sia per gli inquinanti esterni, come l'ozono [79], sia per quelli interni, inclusi formaldeide, benzene e xilene [80].

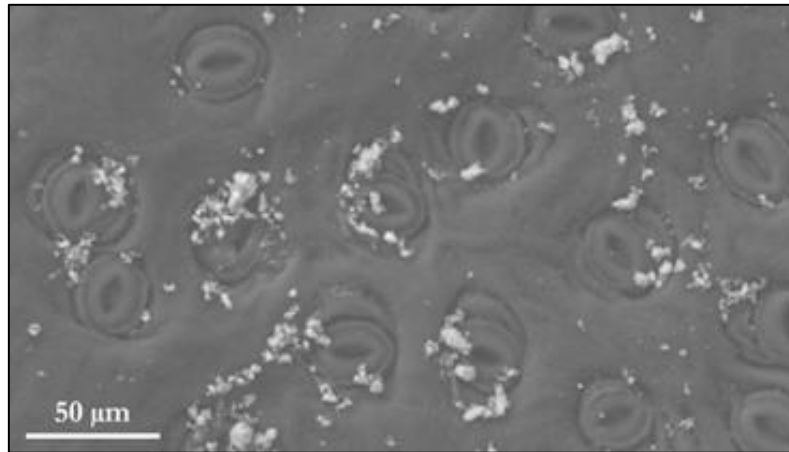


Fig. 5. Foto al SEM della superficie fogliare abassiale di *Pittosporum tobira*, che evidenzia la massiccia presenza di materiale particolato.

Nella regione di Madrid (Spagna) è stato analizzato il ruolo della foresta periurbana di El Pardo (superficie di 16.000 ettari) nella modificazione delle concentrazioni di ozono utilizzando modelli di qualità dell'aria. I risultati mostrano che El Pardo costituisce un recettore efficiente di ozono poiché la rimozione (virtuale, a mezzo modelli digitali) di quest'area verde ha modificato significativamente i parametri dell'ozono, aumentando i livelli sia nell'area modificata sia nelle zone circostanti sottovento [81].

I parassiti e i patogeni invasivi delle piante alterano significativamente i servizi ecosistemici. Il punteruolo asiatico del frassino (*Agrilus planipennis*, comunemente noto come “*Emerald Ash Borer*”, EAB), originario dell'Asia, ha decimato gli alberi di frassino in Nord America, con conseguenze ecologiche come la riduzione della regolazione dell'acqua, erosione del suolo, sequestro del carbonio e alterazione della successione forestale [82, 83]. In ambienti urbani, le infestazioni da EAB possono aggravare l'effetto isola di calore urbana e aumentare il consumo energetico e i problemi di salute legati all'inquinamento atmosferico. La perdita del frassino crea aperture nella copertura arborea, impattando la vegetazione sottostante, il ciclo dei nutrienti e la successione forestale, potenzialmente favorendo specie invasive. L'attacco del punteruolo è stato associato a oltre 6.000 decessi per malattie respiratorie e 15.000 per malattie cardiovascolari in 15 stati degli USA [84].

Il *dieback* da *Phytophthora*, causato dal fungo acquatico invasivo *Phytophthora cinnamomi* [85], rappresenta una grave minaccia per la biodiversità nel sud-ovest dell'Australia [86]. Probabilmente introdotto tramite suolo o materiale vegetale contaminato, infetta e uccide molte specie vegetali, e la sua diffusione è facilitata dalle attività umane [87]. Il *dieback* impedisce alle piante infette di sviluppare nuovi germogli, fiori, frutti e semi, portandole infine alla morte e al collasso dell'ecosistema [88]. Senza cure note, può esaurire la banca dei semi di una specie e causare estinzioni locali, con conseguente riduzione della biodiversità, biomassa, perdita di habitat, scarsità di cibo per animali autoctoni, aumento di specie infestanti e suolo nudo [88]. Definito un “bulldozer biologico” [89], il suo impatto può essere paragonabile a quello di piante invasive altamente disruptive [90].

Xylella fastidiosa, un devastante patogeno batterico delle piante trasmesso principalmente da insetti come la “sputacchina dei prati” (*Philaeus spumarius*), ha causato ingenti danni a livello globale [91]. Storicamente confinata nelle Americhe, è stata rilevata nel sud Italia nel 2013, devastando ulivi e altre piante [92]. Senza cure, l'infezione è di norma fatale [93]. In Italia, sono stati persi quasi 21 milioni di ulivi su 54.000 ettari [94], rappresentando una perdita insostituibile di patrimonio culturale e servizi ecosistemici vitali, in particolare per gli ulivi monumentali del Salento [94]. Questa devastazione ha alterato l'ecologia locale, aumentando temperatura del suolo, erosione ed evaporazione; diminuendo il sequestro di CO₂ e le precipitazioni regionali; aumentando il rischio di

alluvioni e incendi; e influenzando negativamente la produzione di olive, le risorse paesaggistiche, la ricreazione e l'ecoturismo [94].

Sebbene gli ecosistemi forniscano numerosi benefici (servizi ecosistemici), possono anche avere effetti negativi sul benessere umano, noti come "disservizi ecosistemici" [95]. Questi si manifestano come: (1) impatti diretti (ad esempio allergeni del polline, caduta di alberi, fauna pericolosa); (2) diminuzione dei servizi ecosistemici (ad esempio parassiti delle colture che riducono i raccolti); e (3) perdita dei servizi di supporto (ad esempio incendi boschivi che degradano il suolo) [96]. Gli spazi verdi urbani, nonostante i loro benefici, possono ospitare piante allergeniche [97], e gli alberi urbani, pur benefici, possono rappresentare rischi dovuti a rami o alberi cadenti (esacerbati dai cambiamenti climatici), talvolta causando paure ingiustificate e abbattimenti [98]. Sebbene molti composti organici volatili (VOC) che contribuiscono alla formazione dell'ozono (O_3) siano di origine antropica, gli alberi emettono anche VOC biogenici (BVOC), come isoprene e monoterpeni, che possono contribuire alla produzione di O_3 , specialmente durante il picco dell'attività fotochimica e delle emissioni BVOC estive [99-101]. Altri disservizi includono danni alle infrastrutture, rifugio per vettori di patogeni, ombreggiamento eccessivo, aumento del consumo energetico, costi di manutenzione, percezione di bruttezza (per aree non gestite) e problemi potenziali con fauna urbana (pipistrelli, ratti, lupi) [102]. Bilanciare benefici e rischi degli alberi urbani richiede una pianificazione attenta, manutenzione e una comprensione del loro complesso ruolo ecologico. Comprendere sia gli aspetti positivi che negativi degli ecosistemi è fondamentale per una gestione sostenibile e il benessere umano.

4. Antibiotico resistenza: una minaccia crescente

I composti antimicrobici, come gli antibiotici, hanno rivoluzionato la medicina del XX secolo. Tuttavia, il loro uso diffuso e spesso indiscriminato ha portato alla resistenza antimicrobica (AMR), una seria preoccupazione globale per la salute [103]. Sebbene AMR possa verificarsi naturalmente, le attività umane ne accelerano lo sviluppo [104]. L'uso massiccio in medicina, veterinaria e agricoltura crea una pressione selettiva che permette ai ceppi resistenti di prosperare. I microrganismi sviluppano resistenza attraverso meccanismi intrinseci (assenza del sito bersaglio) o acquisiti (mutazioni genetiche/trasferimento genico), che possono alterare il sito bersaglio o aumentare la capacità del microrganismo di degradare/eliminare il composto. L'uso antimicrobico in agricoltura può selezionare involontariamente microrganismi resistenti sia nelle specie bersaglio che nelle altre. Se non controllata, l'AMR potrebbe causare 10 milioni di morti all'anno entro il 2050 [105].

I batteri possono sviluppare AMR tramite due meccanismi principali: (i) mutazione genetica: mutazioni casuali che conferiscono resistenza alterando il sito bersaglio dell'antibiotico o aumentando la capacità di eliminazione del farmaco; e (ii) trasferimento orizzontale di geni: acquisizione di geni di resistenza da altri batteri tramite vari processi di scambio genetico. Gli antibiotici esercitano una forte pressione selettiva sulle popolazioni batteriche, favorendo la sopravvivenza e la riproduzione dei ceppi resistenti. Nel tempo, questi ceppi possono diventare dominanti, portando alla diffusione generalizzata dell'AMR [106].

Il consumo di alimenti trattati con antibiotici può esporre il microbioma intestinale umano a livelli sub-terapeutici di questi farmaci. Questa condizione può selezionare batteri resistenti, poiché la bassa pressione antibiotica favorisce la crescita di ceppi resistenti [107, 108]. Inoltre, batteri isolati da alimenti di origine vegetale spesso portano geni che conferiscono resistenza a un'ampia gamma di antibiotici usati in medicina umana e veterinaria [109]. Sebbene la quantità esatta di antibiotici usati in agricoltura sia difficile da quantificare a causa della mancanza di monitoraggio globale, si stima che circa 30 Paesi (non l'Italia) ne consentano l'uso nella protezione delle colture. Sebbene la quantità complessiva usata in agricoltura sia relativamente bassa rispetto a medicina umana e veterinaria, contribuisce comunque al problema dell'AMR [110].

Diverse classi di antibiotici usate per trattare malattie umane e animali sono impiegate anche in agricoltura per combattere patogeni batterici. Queste includono aminoglicosidi, tetracicline e chinoloni [108]. L'uso di antibiotici nella protezione di colture è relativamente basso rispetto a quello nell'allevamento e nell'acquacoltura, rappresentando solo lo 0,2-0,5% del consumo totale agricolo di antibiotici negli USA [111], ma contribuisce comunque al problema complessivo della resistenza antimicrobica.

La streptomina, un tempo usata per trattare la tubercolosi, è oggi ampiamente impiegata in orticoltura, principalmente contro il fuoco batterico negli alberi da frutto. Tuttavia, il suo uso agricolo è limitato o vietato in Europa a causa della diffusa resistenza alla streptomina in patogeni umani e vegetali [112, 113]. I meccanismi di resistenza includono alterazione del legame con il ribosoma, riduzione dell'assorbimento e degradazione enzimatica. Oltre agli alberi da frutto, il riso è un'altra coltura importante in cui sono raccomandati antibiotici [114]. Il letame animale può contenere fino al 90% di antibiotici non metabolizzati [115], introducendo residui nel suolo e potenzialmente selezionando batteri resistenti [116]. La rizosfera, ricca di nutrienti, ospita una comunità microbica diversificata, inclusi batteri con alta resistenza agli antibiotici grazie al trasferimento genico orizzontale [117].

I fungicidi azolici, ampiamente usati in agricoltura, veterinaria e medicina umana, agiscono su un enzima coinvolto nella sintesi della membrana cellulare fungina. Il loro uso diffuso in agricoltura ha portato a resistenza in 30 patogeni vegetali in oltre 60 Paesi [118], riducendone l'efficacia. Le strategie di mitigazione includono la rotazione dei fungicidi e la riduzione delle applicazioni, ma la resistenza incrociata è un problema, poiché la resistenza agli azolici agricoli può conferire resistenza anche agli azolici medici [119]. Questo uso agricolo ha contribuito anche alla resistenza agli azolici in funghi patogeni umani come *Aspergillus*, *Fusarium* e *Candida* [120]. *A. fumigatus*, che condivide ambienti con patogeni vegetali, è esposto alla pressione selettiva degli azolici agricoli ed evidenze collegano la resistenza in campo ai livelli residui di azolici [121].

Le malattie trasmesse da vettori rappresentano una minaccia significativa, soprattutto per le popolazioni vulnerabili. Sebbene gli insetticidi siano stati fondamentali per il controllo, la crescente resistenza agli insetticidi ne sta compromettendo l'efficacia [122]. L'uso diffuso di insetticidi agricoli ha contribuito alla resistenza negli insetti vettori di malattie, come le zanzare, ostacolando il controllo di malaria e altre malattie trasmesse da vettori. Strategie alternative e integrate di controllo vettoriale sono essenziali per ridurre la dipendenza dagli insetticidi e il conseguente sviluppo di resistenza [123].

5. Considerazioni conclusive

Proprio come uno sgabello a tre gambe è più stabile quando tutte e tre hanno la stessa lunghezza (Fig. 6), il concetto di One Health è più solido quando la salute umana, animale e ambientale sono ugualmente prioritarie. Purtroppo, la salute ambientale, in particolare quella delle piante, è spesso trascurata.

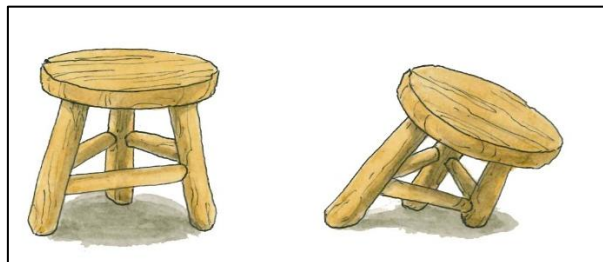


Fig. 6. Questa figura descrive il delicato equilibrio alla base del concetto di One Health, paragonandolo a uno sgabello a tre zampe. Ciascuna di esse (salute umana, animale, vegetale) deve essere sufficientemente robusta per assicurare stabilità all'intera struttura; una zampa debole può compromettere l'intero sistema.

Sebbene l'approccio One Health si concentri tipicamente sulle malattie zoonotiche, integrare la salute delle piante può rafforzare questo quadro. Allineandosi con gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite, possiamo enfatizzare la salute ecologica e bilanciare la necessità di sicurezza alimentare con i limiti planetari. L'approccio One Health sottolinea l'interconnessione tra salute umana, animale e ambientale. Adottando questa prospettiva olistica, possiamo sviluppare strategie di protezione delle piante più inclusive e sostenibili. Le piante sane sono essenziali per la sicurezza alimentare, la salute ambientale e il benessere umano. Le malattie e i parassiti delle colture possono ridurre significativamente le rese, causando carenze alimentari e malnutrizione. Inoltre, le piante non sane possono alterare gli ecosistemi, influenzando la biodiversità e la regolazione climatica. Pratiche efficaci di protezione delle piante sono cruciali per la sicurezza alimentare globale e la sostenibilità ambientale. Considerando le implicazioni più ampie della salute delle piante, possiamo sviluppare sistemi agricoli più sostenibili e resilienti che beneficino sia le persone che il pianeta. La salute delle piante è cruciale per la sicurezza alimentare globale, la sostenibilità ambientale e il benessere umano. Piante sane non solo forniscono cibo e nutrimento, ma contribuiscono anche ai servizi ecosistemici come il sequestro del carbonio e la biodiversità. Tuttavia, la salute delle piante è spesso trascurata nelle discussioni sull'One Health. Pur concentrandosi generalmente sulle malattie zoonotiche, l'interconnessione tra salute di piante, animali e umani è indiscutibile. Adottare una prospettiva One Health può offrire vantaggi significativi ai professionisti delle piante, che sarebbe utile conoscessero appieno questo approccio. Il principale ostacolo rimane la mancanza di coordinamento tra i settori, poiché la salute delle piante coinvolge numerosi attori nell'agricoltura, allevamento, ambiente e salute [124]. Malattie e parassiti delle piante possono incidere significativamente sulla produzione alimentare, stabilità economica e salute pubblica. Per affrontare queste sfide, è necessario integrare la salute delle piante nel quadro One Health. Ciò richiede collaborazione tra scienziati delle piante, veterinari, esperti di salute umana e scienziati ambientali. Integrare la protezione delle piante nel framework One Health è essenziale per rafforzare la resilienza della filiera agroalimentare. Le piante sane sono alla base della sicurezza alimentare, della sicurezza e della stabilità economica, e la loro protezione riduce rischi come la perdita di raccolto, la contaminazione e la resistenza antimicrobica. Per garantire sistemi alimentari sostenibili e resilienti, la salute delle piante deve essere riconosciuta come componente critica della salute pubblica e planetaria, supportata da collaborazione intersettoriale e azioni politiche integrate. I professionisti del settore delle piante dovrebbero tenere presente i benefici di operare nel contesto della strategia One Health e ricordare che la sfida principale è la mancanza di coordinamento intersettoriale, dato che la salute delle piante coinvolge molti stakeholder nei settori dell'agricoltura, allevamento, ambiente e salute. Collaborando, possiamo sviluppare approcci più sostenibili e olistici per l'agricoltura e la salute pubblica.

Ringraziamenti

Gli autori sono grati a Giovanni Benelli, Professore di Entomologia presso l'Università di Pisa, per i preziosi suggerimenti. Si ringrazia inoltre il Dott. Corso Tarantino per aver realizzato a mano l'acquerello della figura 6.

Bibliografia

1. S.N. Garcia, B.I. Osburn, M.T. Jay-Russell, One Health for food safety, food security, and sustainable food production, *Front. Sustain. Food Syst.* 4 (2020), <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00001>
2. P. Doherty, 1st International One Health Congress abstracts, *EcoHealth* 7 (2011) S8-S170, doi <https://link.springer.com/article/10.1007/s10393-010-0376-0>
3. http://www.oneworldonehealth.org/sept2004/owoh_sept04.html (accessed February 11, 2025).
4. K. Gruetzmacher, W.B. Karesh, J.H. Amuasi, A. Arshad, A. Farlow, S. Gabrysch, J. Jetzkowitz, S. Lieberman, C. Palmer, A.S. Winkler, C. Walzer, The Berlin principles on one health – Bridging

- global health and conservation, *Sci. Total Environ.* 764 (2021) 142919, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142919>
5. D.M. Rizzo, M. Lichtveld, J.A.K. Mazet, E. Togami, S.A. Mille, Plant health and its effects on food safety and security in a one health framework: four case studies, *One Health Outlook*, 3 (2021), 6, [10.1186/s42522-021-00038-7](https://doi.org/10.1186/s42522-021-00038-7)
 6. M.L. Gullino, M. Pasquali, M. Pugliese, I. Capua, Positioning plant health within the evolving human-animal-environmental health programs, *One Health* 19 (2024), 100931, <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2024.100931>
 7. Danielsen S., Schafner U., Zinsstag J. 2025. Worlds apart: Plant health and One Health and a path to convergence. *CABI/One Health* 4:1, 0013).
 8. One Health Commission. What is One Health? https://www.onehealthcommission.org/en/why_one_health/what_is_one_health/#:~:text=One%20Health%20is%20the%20collaborative,%2C%20plants%2C%20and%20our%20environment (accessed December 17, 2024).
 9. C. Cumo, *Plants and People. Origin and Development of Human-Plant Science Relationships*, 2015, CRC Press, Boca Raton, <https://doi.org/10.1201/b19281>.
 10. A. Bosco de Oliveira, editor, *Abiotic and Biotic Stress in Plants* [Internet]. IntechOpen (2019), available from <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77845>.
 11. S.V. Hulse, J. Antonovics, M.E. Hood, E.L. Bruns, Host-pathogen coevolution promotes the evolution of general, broad-spectrum resistance and reduces foreign pathogen spillover risk. *Evol. Lett.* 7(6) (2023) 467-477, <https://doi.org/10.1093/evlett/grad051>.
 12. D.M. Braa, The Great Potato Famine and the transformation of Irish peasant society, *Science & Society* 61 (1997) 193-215.
 13. K.-B. Scholtthof, One foot in the furrow: linkages between agriculture, plant pathology, and public health, *Annu. Rev. Public Health* 24 (2003) 153-174, doi: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.publhealth.24.090302.155542>
 14. <https://www.fao.org/4/w3548e/w3548e00.htm> (accessed October 17, 2024).
 15. <https://sdgs.un.org/goals> (accessed January 17, 2025).
 16. J. Govereh, T.S. Jayne, Cash cropping and food crop productivity: synergies or trade-offs? *Agricultural Economics* 28 (2003) 39-50, <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2003.tb00133.x>.
 17. M.M. Alemu, Banana as a cash crop and its food security and socioeconomic contribution: the case of Southern Ethiopia, *Arba Minch, J. Environ. Prot.* 8 (2017) 319-329, <https://doi.org/10.4236/jep.2017.83024>.
 18. R.P. Oliver, editor, *Agrios' Plant Pathology*, 6th ed. (2024), Academic Press, 873 pp.
 19. P. Singh, D.M. Mukunya, A.B.K. Musyimi, *Helminthosporium maydis* on maize, *FAO Plant Prot. Bull.* 27 (4) (1979) 134.
 20. A.J. Ullstrup, The impacts of the Southern Corn Leaf Blight epidemics of 1970-1971, *Annu. Rev. Phytopathol.* 10 (1972) 37-50.
 21. R.N. Strange, P. R. Scott, Plant Disease: A threat to global food security. *Annu. Rev. Phytopathol.* 43 (2005) 3.1-3.34, <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.113004.133839>.
 22. G.H.J. Kema, A. Drenth, M. Dita, K. Jansen, S. Vellema, J.J. Stoorvogel, Editorial: Fusarium Wilt of banana, a recurring threat to global banana production. *Front. Plant Sci.* 11 (2021) 628888, <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.628888>.
 23. G. Martínez, B.O. Olivares, J.C. Rey, J. Rojas, J. Cardenas, C. Muentes, C. Dawson, The advance of Fusarium Wilt Tropical Race 4 in Musaceae of Latin America and the Caribbean: current situation, *Pathogens*, 12 (2023) 277, <https://doi.org/10.3390/pathogens12020277>.
 24. A. El Hadrami, J. M. Al-Khayri, Socioeconomic and traditional importance of date palm, *Emir. J. Food Agric.* 24 (2012) 371-385, <https://www.researchgate.net/publication/266288912>.
 25. C. El Modafar, Mechanisms of date palm resistance to Bayoud disease: Current state of knowledge and research prospect, *Physiol. Mol. Plant Pathology* 74 (2010) 287-294, <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2010.06.008>.

26. E. Schieber, Economic impact of coffee rust in Latin America, *Annu. Rev. Phytopath.* 10 (1972) 491-510.
27. J.M. Waller, Coffee rust in Latin America, *PANS - Pest Articles & News Summaries*, 18 (1972) 402-408, <https://doi.org/10.1080/09670877209412699>.
28. A. Koutouleas, D B. Collinge, E. Boa, The coffee leaf rust pandemic: An ever-present danger to coffee production, *Plant Pathology* 73 (2024) 522-534, <https://doi.org/10.1111/ppa.13846>.
29. <https://www.who.int/health-topics/food-safety> (accessed October 17, 2024).
30. A.M. AlSadi, Impact of plant diseases on human health, *Int. J. Nutr., Pharmacol., Neurol. Dis.* 7(2) (2017) 21-22, https://www.researchgate.net/publication/316516039_Impact_of_Plant_Diseases_on_Human_Health.
31. H. Onyeaka, D.D. Jalata, S.A. Mekonnen, Mitigating physical hazards in food processing: Risk assessment and preventive strategies, *Food Sci Nutr.* 11 (2023) 7515-7522, <https://doi.org/10.1002/fsn3.3727>.
32. J.-S. Kim, S.-J. Yoon, Y.-J. Park, S.-Y. Kim, C.-M. Ryu, Crossing the kingdom border: Human diseases caused by plant pathogens, *Environ. Microbiol.* 22 (2020) 2485-2495, <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15028>
33. F. Balique, H. Lecoq, D. Raoult, P. Colson, Can plant viruses cross the kingdom border and be pathogenic to humans?, *Viruses* 7 (2015) 2074-2098, <https://www.mdpi.com/1999-4915/7/4/2074>.
34. T. Halaby, H. Boots, A. Vermeulen, A. van der Ven, H. Beguin, H. van Hooff, J. Jacobs, Phaeohyphomycosis caused by *Alternaria infectoria* in a renal transplant recipient, *J. Clin. Microbiol.* 39 (2001) 1952-1955, <https://journals.asm.org/doi/10.1128/jcm.39.5.1952-1955.2001>.
35. N. Papri, P. Sathi, S. Surbhi, D. Sampa, Defence response in plants and animals against a common fungal pathogen, *Fusarium oxysporum*, *Curr. Res. Microb. Sci.* 3 (2022) 100135, <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2022.100135>.
36. P. Reginatto, G. de Jesus Agostinotto, R. do Nascimento Fuentefria, D. Ruschel Marinho, M. Dal Pizzol, A. Meneghello Fuentefria, Eye fungal infections: a mini review, *Arch. Microb.* 205 (2023) 236, <https://doi.org/10.1007/s00203-023-03536-6>.
37. M. Nucci, E. Anaissie, Cutaneous infection by *Fusarium* species in healthy and immunocompromised hosts: implications for diagnosis and management, *Clin. Inf. Dis.* 35 (2002) 909-920, <https://doi.org/10.1086/342328>.
38. G.M. Wickern, *Fusarium* allergic fungal sinusitis, *J. Allergy Clin. Immunol.* 92 (1993) 624-625, [https://doi.org/10.1016/0091-6749\(93\)90087-V](https://doi.org/10.1016/0091-6749(93)90087-V).
39. M. Eskola, G. Kos, C.T. Elliott, J. Hajslova, S. Mayar, R. Krska, Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins, *Critical Rev. Food Sci. Nutr.* 60 (2020) 2773-2789, <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1658570>.
40. S. Marin, A.J. Ramos, G. Cano-Sancho, V. Sanchis, Mycotoxins, occurrence, toxicology, and exposure assessment, *Food Chem. Toxicol.* 60 (2013) 218-37, <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.07.047>.
41. M.M. Zaki, S.A. El-Midany, H.M. Shaheen, L. Rizzi, Mycotoxins in animals, occurrence, effects, prevention and management, *J. Toxicol. Environ. Health Sci.* 4 (2012) 13-28, <https://doi.org/10.5897/JTEHS11.072>.
42. M.E. Bezerra da Rocha, F. da Chagas Oliveira Freire, F. Erlan Feitosa Maia, M.I. Florindo Guedes, D. Rondina, Mycotoxins and their effects on human and animal health, *Food Control* 36 (2014) 159-65, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.08.021>.
43. <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/mycotoxins> (accessed February 17, 2025).
44. C.L. Schardl, D.G. Panaccione, P. Tudzynski, Ergot alkaloids – Biology and molecular biology. In G.A. Cordell (Ed.), *The alkaloids: Chem. & Biol.* 63 (2006) 45-86, Academic Press.
45. J.L. Klotz, Activities and effects of ergot alkaloids on livestock physiology and production. *Toxins* 7 (2015) 2801-2821, <https://doi.org/10.3390/toxins7082801>.

46. J.L. Klotz, Activities and effects of ergot alkaloids on livestock physiology and production, *Toxins* 7 (2015) 2801-2821, <https://doi.org/10.3390/toxins7082801>.
47. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1399&from=EN> (accessed December 17, 2024).
48. J.W. Bennett, M. Klich, Mycotoxins, *Clin. Microbiol. Rev.* 16 (2003) 497-516, <https://doi.org/10.1128/CMR.16.3.497-516.2003>.
49. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0915>.
50. D.J. Birmingham, M.M. Key, G.E. Tublich, Phototoxic bullae among celery harvesters, *Arch. Dermatol.* 83 (1961) 73-87
51. I.A. Rather, W.Y. Koh, W.K. Paek, J. Lim, The sources of chemical contaminants in food and their health implications, *Front. Pharmacol.* 8 (2017) 830, <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00830>.
52. M. Shahid, C. Dumat, S. Khalid, E. Schreck, T. Xiong, N.K. Niazi, Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake, *J. Hazard Mater.* 325 (2017) 36-58, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.11.063>.
53. G. Venkatesh Iyengar, P.P. Nair, Global outlook on nutrition and the environment: meeting the challenges of the next millennium, *Sci. Total Environ.* 249 (2000) 331-346, [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00529-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00529-X).
54. N. Guerrieri, S. Mazzini, G. Borgonovo, Food plants and environmental contamination: An update, *Toxics*, 12 (2024) 365, <https://doi.org/10.3390/toxics12050365>.
55. L. Nasreddine, D. Parent-Massin, Food contamination by metals and pesticides in the European Union. Should we worry?, *Toxicol. Lett.* 127 (2002) 29-41, [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(01\)00480-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(01)00480-5).
56. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/8753> (accessed December 17, 2024).
57. <https://www.cdc.gov/food-safety/media/pdfs/cdc-and-food-safety.pdf> (accessed February 14, 2025).
58. J.M. Rangel, P.H. Sparling, C. Crowe, P.M. Griffin, D.L. Swerdlow, Epidemiology of *Escherichia coli* O157:H7 outbreaks, United States, 1982-2002, *Emerg. Infect. Dis.* 11 (2005) 603-609, <https://doi.org/10.3201/eid1104.040739>.
59. M. Cooley, D. Carychao, L. Crawford-Miksza, M.T. Jay, C. Myers, C. Rose, C. Keys, J. Farrar, R.E. Mandrell, Incidence and tracking of *Escherichia coli* O157:H7 in a major produce production region in California, *PLoS One* 2(11) (2007) e1159, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001159>.
60. C. Frank, D. Werber, J.P. Cramer, M. Askar, M. Faber, M.; M. an der Heiden, H. Bernhard, A. Fruth, R. Prager, A. Spode, *et al.*, Epidemic profile of shiga-toxin-producing *Escherichia coli* O104:H4 outbreak in Germany, *N. Engl. J. Med.*, 365 (2011) 1771-1780, <https://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMoa1106483>.
61. European Food Safety Authority, Tracing seeds, in particular fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) seeds, in relation to the Shiga toxin-producing *E. coli* STEC O104:H4 outbreaks in Germany and France, European Food Safety Authority (2011), available at <http://www.efsa.europa.eu/en/supporting/doc/176e.pdf> (accessed February 17, 2025).
62. M.T. Brandl, C.E. Cox, M. Teplitski, *Salmonella* interactions with plants and their associated microbiota, *Phytopath.* 103 (2013) 316-325, <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-12-0295-RVW>.
63. M. Teplitski, M. de Moraes, Of mice and men... and plants: comparative genomics of the dual lifestyles of enteric pathogens, *Trends Microbiol.* 26 (2018) 748-754 <https://doi.org/10.1016/j.tim.2018.02.008>.
64. A.A. Zarkani, A. Schikora, Mechanisms adopted by *Salmonella* to colonize plant hosts, *Food Microbiol.* 99 (2021) 103833, <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103833>.
65. E. Goss Irlbeck, J. Fry Jennings, C. Meyers, C. Gibson, T. Chambers, A case study of the crisis communications used in the 2009 *Salmonella* outbreak in peanut products, *J. Appl. Commun.* 97 (2013) 4, <https://doi.org/10.4148/1051-0834.1125>.
66. N. Nasheri, A. Vester, N. Petronella, Foodborne viral outbreaks associated with frozen produce, *Epidemiol. & Infect.* 147 (2019) e291 1-8, <https://doi.org/10.1017/S0950268819001791>.

67. G. Purparia, G. Macaluso, S. Di Bella, F. Gucciardi, F. Mira, P. Di Marco, A. Lastra, E. Petersen, G. La Rosa, A. Guercio, Molecular characterization of human enteric viruses in food, water samples, and surface swabs in Sicily, *Int. J. Infect. Dis.* 80 (2019) 66-72, <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2018.12.011>.
68. A. La Notte, D. D'Amato, H. Mäkinen, M.L. Paracchini, C. Liqueste, B. Egoh, D. Geneletti, N.D. Crossman, Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework, *Ecol. Indic.* 74 (2017) 392-402, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.030>
69. A. Russo, G.T. Cirella, Urban ecosystem services: advancements in urban green development, *Land* 12 (2023) 522, <https://doi.org/10.3390/land12030522>.
70. J.W. Dover, *Green infrastructure: incorporating plants and enhancing biodiversity in buildings and urban environments* (2015), Routledge, Abingdon.
71. <https://www.un.org/uk/desa/68-world-population-projected-live-urban-areas-2050-says-un> (accessed October 22, 2024).
72. A. Hsu, G. Sheriff, G.T. Chakraborty, D. Manya, Disproportionate exposure to urban heat island intensity across major US cities, *Nat. Commun.* 12, (2021) 2721, <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22799-5>.
73. G. Falchetta, E. Cian, I.S. Wing, D. Carr, Global projections of heat exposure of older adults. *Nat. Commun.* 15 (2024) 3678, <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47197-5>).
74. J.-M. Robine; S.L.K. Cheung, S. Le Roy, H. Van Oyen, C. Griffiths, J.-P. Michel, F. R. Herrmann, Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003, *Comptes Rendus Biologies* 331 (2008) 171-178, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631069107003770>
75. R.W. Buechley, J. Van Bruggen, L.E. Truppi, Heat island = death Island?, *Environ. Res.* 5 (1972) 85-92, [https://doi.org/10.1016/0013-9351\(72\)90022-9](https://doi.org/10.1016/0013-9351(72)90022-9).
76. D.E. Bowler, L. Buyung-Ali, T.M. Knight, A.S. Pullin, Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence, *Landsc. Urban Plan.* 97 (2010) 147-155, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>.
77. <https://www.who.int/news/item/25-03-2014-7-million-premature-deaths-annually-linked-to-air-pollution> (accessed October 22, 2024).
78. G. Lorenzini, C. Grassi, C. Nali, A. Petiti, S. Loppi, L. Tognotti, Leaves of *Pittosporum tobira* as indicators of airborne trace elements and PM₁₀ distribution in Central Italy, *Atmosph. Environ.* 40 (2006) 4025-4036, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.032>.
79. R. Vingarzan, A review of surface ozone background levels and trends, *Atmosph. Environ.*, 38 (2004) 3431-3442, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.03.030>.
80. H. Yang, J. Lee, G. Haiping, K.-H. Kim, P. Wanxi, N. Bhardwaj J.-M. Oh, R.J.C. Brown, Plant-based remediation of air pollution: A review, *J. Environ. Manag.* 301 (2022) 113860, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113860>.
81. R. Alonso, M.G. Vivanco, I. González-Fernández, V. Bermejo, I. Palomino, J.L. Garrido, S. Elvira, P. Salvador, B. Artiñano, Modelling the influence of peri-urban trees in the air quality of Madrid region (Spain), *Environ. Pollut.* 159 (2011) 2138-2147, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.12.005>.
82. A.J.F. Martin, Potential impacts of the invasive *Agrilus planipennis* on various demographics in Winnipeg, Canada, *Trees, Forests & People* 9 (2022) 100307, <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100307>
83. K.C. Costilow, K.S. Knight, C.E. Flower, Disturbance severity and canopy position control the radial growth response of maple trees (*Acer* spp.) in forests of northwest Ohio impacted by Emerald Ash Borer (*Agrilus planipennis*), *Ann. For. Sci.* 74 (2017) 10, <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0602-1>.
84. R. Schrader, Y. Baker, L. Baranchikov, K.S. Dumouchel Knight, D.G. McCullough, M.J. Orlova-Bienkowskaja, S. Pasquali, G. Gilioli, How does the Emerald Ash Borer (*Agrilus planipennis*)

- affect ecosystem services and biodiversity components in invaded areas? Bull. OEPP/EPPO Bull. 51 (2021) 216-228, <https://doi.org/10.1111/epp.12734>.
85. S. Lowe, M. Browne, M., S. Boudjelas, M. De Poorter, 100 of the world's worst invasive alien species - a selection from the global invasive species database, Invasive Species Specialist Group (ISSG), Auckland, New Zealand (2000) 12 pp., electronic version available at: www.issg.org/booklet.pdf.
86. <https://www.dceew.gov.au/sites/default/files/documents/tap-phytophthora-cinnamomi-2018-background.pdf> (accessed October 22, 2024).
87. A. Hardham, L.M. Blackman, Pathogen profile update: *Phytophthora cinnamomi*, Mol. Pl. Path. 19 (2018) 260-285, <https://doi.org/10.1111/mpp.12568>.
88. R.T. Wills, The ecological impact of *Phytophthora cinnamomi* in the Stirling Range National Park, Western Australia, Austral. Ecol. 18 (2006) 145-159, <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00439.x>.
89. https://forestphytophthoras.org/sites/default/files/educational_materials/dieback_report.pdf (accessed October 22, 2024).
90. D.M. Richardson, P. Pysek, M. Rejmanek, M.G. Barbour, F.D. Panetta, C.J. West, Naturalization and invasion of alien plants: Concepts and definitions, Divers. Distrib., 6 (2000) 93-107, <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>.
91. C. Bragard, K. Dehnen-Schmutz, F. Di Serio, P. Gonthier, M.A. Jacques, *et al.*, Update of the Scientific Opinion on the risks to plant health posed by *Xylella fastidiosa* in the EU territory, EFSA Journal 17 (2019) e05665, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5665>.
92. <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/190515-0> (accessed February 17, 2025).
93. C. Sabelli, Deadly olive tree pathogen came by road and rail, Nature Italy (2023), <https://doi.org/10.1038/d43978-023-00118-4>.
94. B.M. Ali, W. van der Werf, A. Oude Lansink, Assessment of the environmental impacts of *Xylella fastidiosa* subsp. *pauca* in Puglia, Crop Protection 142 (2021) 105519, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105519>.
95. J. Blanco, N. Dendoncker, C. Barnaud, C. Sirami, Ecosystem disservices matter: Towards their systematic integration within ecosystem service research and policy, Ecosystem Services 36 (2019) 100913, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100913>.
96. C. M. Shackleton, S. Ruwanza, G. K. Sinasson Sanni, S. Bennett, P. De Lacy, R. Modipa, N. Mtati, M. Sachikonye, and G. Thondhlana, Unpacking Pandora's box: understanding and categorising ecosystem disservices for environmental management and human wellbeing, Ecosystems 19 (2016) 587-600, <https://doi.org/10.1007/s10021-015-9952-z>.
97. P. Cariñanos, F. Grilo, P. Pinho, M. Casares-Porcel, C. Branquinho, N. Acil, M.B. Andreucci, A. Anjos, P.M. Bianco, *et al.*, Estimation of the allergenic potential of urban trees and urban parks: towards the healthy design of urban green spaces of the future, Int. J. Environ. Res. Public Health 16 (2019) 1357, <https://doi.org/10.3390/ijerph16081357>.
98. T.L. Way, Z.J. Balogh, The epidemiology of injuries related to falling trees and tree branches, ANZ J. Surg. 92 (2022) 477-480, <https://doi.org/10.1111/ans.17481>.
99. I. Manisalidis, E. Stavropoulou, A. Stavropoulos, E. Bezirtzoglou, Environmental and health impacts of air pollution: a review, Front. Public Health 8 (2020) 14, <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>.
100. N. Dudareva, A. Klempien, J.K. Muhlemann, I. Kaplan, Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds, New Phytol. 198 (2013) 16-32, <https://doi.org/10.1111/nph.12145>.
101. R. Atkinson, Atmospheric chemistry of VOCs and NOx, Atmosph. Environ. 34 (2000) 2063-2101, [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00460-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00460-4).
102. J. Lyytimäki, M. Sipilä, Hopping on a one leg - The challenge of ecosystem disservices for urban green management, Urban Forestry & Urban Greening 8 (2009) 309-315, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.09.003>.

103. <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1945/fleming/lecture/> (accessed February 10, 2025).
104. A. Salam, Y. Al-Amin, M.T. Salam, J.S. Pawar, N. Akhter, A.A. Rabaan, M.A.A. Alqumber, Antimicrobial resistance: a growing serious threat for global public health, *Healthcare* 11 (2023) 1946, <https://doi.org/10.3390/healthcare11131946>.
105. G. Scarafile, Antibiotic resistance: current issues and future strategies, *Rev. Health Care* 7 (2016) 16, <http://dx.doi.org/10.7175/rhc.v7i1.1226>.
106. A. Santos-Lopez, C.W. Marshall, A.L. Haas, C. Turner, J. Rasero, V.S. Cooper, The roles of history, chance, and natural selection in the evolution of antibiotic resistance, *eLife* 10 (2021) 70676, <https://doi.org/10.7554/eLife.70676>.
107. J. Subirats, A. Domingues, E. Topp, Does dietary consumption of antibiotics by humans promote antibiotic resistance in the gut microbiome?, *J. Food Prot.* 82 (2019) 1636-1642 <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-158>.
108. S.A. Miller, J.P. Ferreira, J.T. LeJeune, Antimicrobial use and resistance in plant agriculture: a One Health perspective, *Agriculture* 12 (2022) 289, <https://doi.org/10.3390/agriculture12020289>.
109. M. Verhaegen, T. Bergot, E. Liebana, G. Stancanelli, F. Streissl, M.-P. Mingeot-Leclercq, J. Mahillon, C. Bragard, On the use of antibiotics to control plant pathogenic bacteria: a genetic and genomic perspective, *Front. Microbiol.* 14 (2023) 1221478, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1221478>.
110. P.S. McManus, V.O. Stockwell, G.W. Sundin, A.L. Jones, Antibiotic use in plant agriculture, *Annu. Rev. Phytopathol.* 40 (2002) 443-465, <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.120301.093927>.
111. P.S. McManus, Does a drop in the bucket make a splash? Assessing the impact of antibiotic use on plants, *Curr. Opin. Microbiol.* 19 (2014) 76-82, <https://doi.org/10.1016/j.mib.2014.05.013>
112. J. Davies, G. Wright, Bacterial resistance to aminoglycoside antibiotics, *Trends Microbiol.* 5 (1997) 234-240, [https://doi.org/10.1016/S0966-842X\(97\)01033-0](https://doi.org/10.1016/S0966-842X(97)01033-0).
113. P.S. McManus, A.L. Jones, Epidemiology and genetic analysis of streptomycin-resistant *Erwinia amylovora* from Michigan and evaluation of oxytetracycline for control, *Phytopathology* 84 (1994) 627-633, https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1994Abstracts/Phyto_84_627.htm.
114. P. Taylor, R. Reeder, Antibiotic use on crops in low and middle-income countries based on recommendations made by agricultural advisors, *CABI Agric Biosci.* 1 (2020) 1, <https://doi.org/10.1186/s43170-020-00001-y>.
115. FAO, Antimicrobial resistance, <http://www.fao.org/antimicrobial-resistance> (accessed October 25, 2024).
116. S.A. Miller, J.P. Ferreira, J.T. LeJeune, Antimicrobial use and resistance in plant agriculture: a One Health perspective, *Agriculture* 12 (2022) 289, <https://doi.org/10.3390/agriculture12020289>.
117. G. Berg, L. Eberl, A. Hartmann, The rhizosphere as a reservoir for opportunistic human pathogenic bacteria, *Environ. Microbiol.* 7 (2005) 1673-1685, <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2005.00891.x>.
118. Fungicide Resistance Action Committee, www.frac.info (accessed February 2, 2025).
119. E. Snelders, S.M.T Camps, A. Karawajczyk, G. Schaftenaar, G.H. Kema, H.A. Van Der Lee, C.H. Klaassen, W.J.K. Melchers, P.E. Verweij, Triazole fungicides can induce cross-resistance to medical triazoles in *Aspergillus fumigatus*, *PLoS One* 7 (2012) e31801, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031801>.
120. A.D. Ribes e Ribes, P. Spolti, E.M. Del Ponte, K.Z. Donato, H. Schrekker, A.M. Fuentefria, Is the emergence of fungal resistance to medical triazoles related to their use in the agroecosystems? A mini review, *Braz. J. Microbiol.* 47 (2016) 793-799, <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.06.006>
- D. Cao, F. Wang, S. Yu, S. Dong, R. Wu, N. Cui, J. Ren, T. Xu, S. Wang, M. Wang, H. Fang, Prevalence of Azole-Resistant *Aspergillus fumigatus* is highly associated with azole fungicide

- residues in the fields, *Environ. Sci. Technol.* 55 (2021), 3041-3049, <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03958>.
122. A.W.M. Yadouleton, A. Asidi, R.F. Djouaka, J. Braïma, C.D. Agossou, M.C. Akogbeto, Development of vegetable farming: a cause of the emergence of insecticide resistance in populations of *Anopheles gambiae* in urban areas of Benin, *Malar. J.* 8 (2009) 103, <http://www.malariajournal.com/content/8/1/103>.
123. M.L. Quiñones, D.E. Norris, J.E. Conn, M. Moreno, T.R. Burkot, H. Bugoro, J.B. Keven, R. Cooper, G. Yan, A. Rosas, M. Palomino, M.J. Donnelly, H.D. Mawejje, A. Eapen, J. Montgomery, M.B. Coulibaly, J.C. Beier, A. Kumar, Insecticide resistance in areas under investigation by the international centers of excellence for malaria research: a challenge for malaria control and elimination, *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 93(Suppl 3) (2015) 69-78, <https://doi.org/10.4269/ajtmh.14-0844>
124. J.I. Alawneh, M.M. Hassan, J. Camac, L. ransom, J. Planck, S.C. Porchun, M. Reid, R. Chay, Plant biosecurity and One Health: government and industry roles as risk creators and mitigators, *One Health Outlook* 7 (2025), 27, 7:27, <https://doi.org/10.1186/s42522-025-00150-y>.