

IMPACTUL STRESULUI BIOTIC ȘI ABIOTIC ASUPRA PLANTELOR: O ANALIZĂ BIBLIOGRAFICĂ A ISTORICULUI ȘI DIRECȚIILOR VIITOARE ÎN CONTEXTUL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE

<https://doi.org/10.52673/18570461.24.4-75.08>

CZU: 581.55

Academician **Maria DUCA**

E-mail: mduca2000@yahoo.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5855-5194>

Doctor în biologie **Ina BIVOL**

E-mail: bivolinga@yahoo.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6052-1540>

Centrul Genetica Funcțională, USM

THE IMPACT OF BIOTIC AND ABIOTIC STRESSES ON PLANTS: A LITERATURE REVIEW OF HISTORICAL AND FUTURE DIRECTIONS IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

Summary. This article analyses the impact of biotic and abiotic stresses on plants, particularly on sunflower crops, in the context of climate change. Biotic stress, caused by pests and pathogens, and abiotic stress, caused by extreme weather conditions, are major challenges for agriculture. The analysis was carried out through a systematic review of the literature available on Google Scholar, covering the last 300 years of research. The results suggest that adaptation strategies based on knowledge of these types of stress can improve the resilience of agricultural systems, which is essential to manage current and future climate challenges. This article aims to provide an overview of research on biotic and abiotic stresses on plants throughout history and to highlight the research directions needed to address future challenges in the context of climate change. A historical analysis is important to understand the evolution of knowledge in this field and to identify solutions applied in the past. In addition, future projections are essential to anticipate changes and develop innovative methods to ensure food security and ecosystem conservation in a continuously changing climate.

Keywords: biotic stress, abiotic stress, adaptation, resistance, sunflower, climate change.

Rezumat. Lucrarea analizează impactul stresului biotic și abiotic asupra plantelor, în special asupra culturii floare-soarelui, în contextul schimbărilor climatice. Stresul biotic, generat de dăunători și patogeni, și stresul abiotic, cauzat de condiții meteorologice extreme, reprezintă provocări majore pentru agricultură. Analiza a fost realizată printr-o revizuire sistematizată a literaturii disponibile pe Google Scholar, acoperind ultimii 300 de ani de cercetare. Rezultatele sugerează că strategiile de adaptare bazate pe cunoașterea acestor tipuri de stres pot îmbunătăți reziliența sistemelor agricole, fiind esențiale pentru gestionarea provocărilor climatice actuale și viitoare. Articolul își propune să ofere o privire de ansamblu asupra cercetărilor referitoare la stresul biotic și abiotic asupra plantelor de-a lungul istoriei și să evidențieze direcțiile de cercetare necesare pentru a face față provocărilor viitoare în contextul schimbărilor climatice. O analiză istorică este importantă pentru a înțelege evoluția cunoștințelor în acest domeniu și pentru a identifica soluțiile aplicate în trecut. De asemenea, proiecțiile viitoare sunt esențiale pentru anticiparea schimbărilor și dezvoltarea de metode inovatoare care să asigure securitatea alimentară și conservarea ecosistemelor într-un climat în continuă transformare.

Cuvinte-cheie: stres biotic, stres abiotic, adaptare, rezistență, floarea-soarelui, schimbările climatice.

INTRODUCERE

În contextul schimbărilor climatice, cercetările din domeniul stresului biotic și abiotic au căpătat o importanță deosebită, fiind esențiale pentru înțelegerea modului în care aceste forțe complexe influențează ecosistemele, biodiversitatea și productivitatea agricolă [1-3]. Stresul biotic, generat de organisme vii precum patogenii (ciuperci, bacterii, virusuri) și dă-

unătorii (insecte, nematozi), afectează direct sau indirect procesele fiziologice ale plantelor. În contrast, stresul abiotic rezultă din condiții de mediu nefavorabile, cum ar fi seceta, temperaturile extreme, salinitatea crescută a solului sau poluarea. Schimbările climatice amplifică gravitatea și frecvența acestor tipuri de stres, punând în pericol agricultura și ecosistemele naturale [4; 5]. De-a lungul istoriei, diverse epidemii și

catastrofe cauzate de stres biotic și abiotic au avut un impact semnificativ asupra agriculturii și societății la nivel global. De exemplu, mana cartofului (*Phytophthora infestans*; 1845–1852) a generat pierderi masive ale culturilor de cartof, provocând foametea irlandeză [6]. Filoxera viței-de-vie (*Daktulosphaira vitifoliae*; 1850–1900) a dus la distrugerea podgoriilor din Europa, provocând colapsul industriei viticole [7]. Virusul mozaicului tutunului, identificat la începutul secolului al XX-lea, a fost una dintre primele boli virale recunoscute, afectând grav culturile de tutun și deschizând drumul pentru studierea virusurilor și îmbunătățirea măsurilor de control [8]. În plus, numeroase catastrofe au fost cauzate de stresul abiotic, inclusiv seceta din Sahel, care a avut loc în anii 1600–1700 și 1970–1980 [9; 10]. Seceta severă, combinată cu eroziunea solului, cauzată de agricultura intensivă din Statele Unite (1930–1936), precum și valurile de frig și înghețurile târzii din Europa (1709 și 1740), au distrus recoltele și au provocat foamete severă [11; 12]. Aceste evenimente au pus în evidență vulnerabilitatea culturilor la factorii de stres, generând pierderi economice considerabile, migrații în masă și schimbări sociale profunde. Ca urmare, s-a intensificat dezvoltarea cercetărilor științifice, s-au introdus metode moderne de protecție a plantelor și s-au implementat politici pentru gestionarea riscurilor climatice și agricole.

Încălzirea globală, prin creșterea temperaturilor medii și frecvența tot mai mare a evenimentelor climatice extreme, complică gestionarea stresului biotic și abiotic [3; 13]. Studiile arată că schimbările climatice determină o creștere a temperaturilor medii și o modificare a distribuției precipitațiilor, ceea ce duce la secete și inundații mai frecvente [5; 14; 15]. Modificările de temperatură și de umiditate influențează, de asemenea, structura și fertilitatea solului, provocând dezechilibre de nutrienți și creșterea salinității [16]. Aceste schimbări, inclusiv nivelurile crescute de CO₂ atmosferic [17], afectează negativ sănătatea plantelor și procesele fiziologice, reducând creșterea și productivitatea [18; 19], făcându-le mai vulnerabile la atacurile dăunătorilor și patogenilor [13; 20; 21]. Temperaturile mai ridicate permit extinderea geografică a dăunătorilor și patogenilor, ceea ce duce la infestări și boli mai răspândite și severe [22; 23]. De asemenea, creșterea temperaturilor accelerează ciclurile de viață ale multor dăunători, contribuind la creșterea populațiilor acestora și la daune mai mari asupra culturilor și vegetației naturale [5; 24].

Schimbările climatice exercită un impact semnificativ asupra stresurilor biotice și abiotice, având efecte profunde asupra ecosistemelor și agriculturii. Implementarea practicilor agricole sustenabile este esențială

pentru îmbunătățirea sănătății solului, eficienței utilizării apei și managementului integrat al dăunătorilor [25; 26]. Înțelegerea și gestionarea acestor stresuri sunt cruciale pentru dezvoltarea de strategii adaptative eficiente și practici sustenabile, esențiale pentru menținerea biodiversității și productivității într-un climat în continuă schimbare. Interesul pentru colectarea de cunoștințe și revizuirea informației științifice globale, disponibile în publicațiile științifice privind stresul biotic și abiotic, este esențial pentru a dezvolta strategii competente și sustenabile de adaptare și gestionare a stresului în contextul schimbărilor climatice. Astfel, se pot întreprinde măsuri agroeconomice eficiente, cum ar fi crearea de soiuri noi de culturi, aplicarea practicilor agricole durabile, instruirea fermierilor în gestionarea resurselor de apă în timpul secetelor și inundațiilor, elaborarea îngrășămintelor îmbunătățite și proiecte pentru ameliorarea rezilienței ecosistemelor. Aceste măsuri pot contribui semnificativ la atenuarea impactului schimbărilor climatice și la asigurarea dezvoltării durabile a ecosistemelor și activităților agricole.

Astfel, scopul acestui studiu a fost de a analiza evoluția cercetărilor privind stresul biotic și abiotic la plante, cu un accent special pe cultura florii-soarelui, comparativ cu alte domenii biologice, pe parcursul a peste 300 de ani, structurat în perioade de câte 50 de ani, începând din anul 1700 până în prezent. Am utilizat baze de date care indexează subiectul respectiv pentru a înțelege modul în care plantele reacționează la aceste provocări combinate și pentru a dezvolta strategii eficiente de adaptare.

MATERIALE ȘI METODE

Investigația tendințelor de cercetare a fost realizată utilizând Google Scholar (<https://scholar.google.com>) ca instrument de căutare pentru accesarea conținutului științific actualizat [27]. Materialul pentru analiză a inclus cele mai relevante domenii ale științei biologice, precum fiziologia, genetica și ameliorarea, genetica moleculară, producția și managementul culturilor, calitatea uleiurilor și hranei, toleranța la stres biotic și abiotic pentru plante în general și pentru floarea-soarelui în particular. În plus, s-a studiat informația referitoare la floarea-soarelui, concentrându-se pe diferiți factori biotici (*Orobanche cumana*, *Plasmopara halstedii*, *Verticillium* spp., *Phomopsis* spp., *Phoma* spp., *Sclerotinia* spp., *Oidium* spp., *Fusarium* spp., *Macrophomina* spp., virusuri, *Alternaria* spp., *Pustula* spp., *Puccinia* spp.), abiotici și chimici (seceta, apa excesivă în sol, temperaturi scăzute și excesive, metale toxice, radiații ultraviolete, salinitate ridicată, grindină, fungicide).

REZULTATE ȘI DISCUȚII

În cadrul acestui articol am abordat complexitatea interacțiunilor dintre stresul biotic și abiotic în contextul schimbărilor climatice, având ca scop furnizarea unei baze solide de informații. Secțiunea în cauză analizează nu doar numărul publicațiilor, ci și tendințele emergente în cercetarea stresului biotic și abiotic la plante, oferind o interpretare a rezultatelor obținute. Evoluția cercetărilor în domeniul rezistenței la stresul biotic și abiotic reflectă realizările științei în general, precum și progresul tehnologic, schimbările priorităților științifice și socio-economice [28; 29]. Acestea sunt marcate de realizări semnificative în diferite perioade, care au adus la lumină mecanisme complexe de adaptare și rezistență la stres [30].

Perioade de cercetare a stresului biotic și abiotic la plante.

Cercetările inițiale în domeniul stresului biotic și abiotic au fost caracterizate printr-o abordare empirică, axată pe observațiile directe ale interacțiunilor dintre plante și mediul lor. Botanica, deja bine conturată în timpul lui Carl Linnaeus (1735), a evoluat pentru a include aspecte fiziologice, precum fotosinteza și transpirația, și ecologice, facilitând astfel înțelegerea interacțiunilor plantelor cu mediul și agenții patogeni. În a doua jumătate a secolului al XIX-lea, fitopatologia s-a dezvoltat rapid, concentrându-se pe bolile plantelor cauzate de patogeni, cum ar fi mana cartofului, care a provocat foametea din Irlanda, și filoxera viței-de-vie, care a devastat podgoriile europene. În această perioadă, floarea-soarelui nu era încă larg cultivată, iar cercetările s-au axat pe alte culturi esențiale, precum grâul, cartoful și vița-de-vie. Studiile din această epocă reflectă o înțelegere generală a stresului biotic și abiotic aplicată asupra principalelor culturi ale vremii (Figura 1A).

Datele obținute prin intermediul platformei Google Scholar pentru perioada 1751–1800 arată că cercetările privind producția și managementul culturilor au primit constant o atenție semnificativă, reprezentând 53,4% dintre publicații (Figura 1A). Această perioadă s-a remarcat și prin publicații ample referitoare la calitatea hranei (31,8%), având o contribuție totală de 11,6% în cei 300 de ani analizați (figura 1A). De asemenea, în perioada 1851–1900, s-a dezvoltat fiziologia plantelor (33,3% dintre publicații), abordând problema stresului biotic și abiotic la un nivel înalt (16,7%) (Figura 1A).

Perioada 1900–1950 a fost marcată de o revoluție tehnologică în agricultură, cunoscută sub numele de Revoluția Verde. Cercetările s-au concentrat pe reacțiile fiziologice ale plantelor la secetă, temperaturi extreme și salinitate, contribuind la o mai bună

înțelegere a adaptării și rezilienței plantelor. Eforturile de ameliorare genetică au vizat crearea unor culturi mai rezistente la boli și condiții adverse. Dezvoltarea tehnologiilor avansate, împreună cu introducerea pe scară largă a îngrășămintelor sintetice și a pesticidelor, a schimbat semnificativ abordarea cercetărilor privind stresul biotic și abiotic. Cercetătorii s-au concentrat pe optimizarea condițiilor de creștere a plantelor prin utilizarea acestor substanțe. S-au aprofundat studiile asupra agenților patogeni (ciuperci, bacterii, virusuri) și mecanismelor bolilor, ducând la clasificări riguroase și metode de diagnostic. Printre realizările notabile se numără identificarea primelor virusuri fitopatogene, cum ar fi virusul mozaicului tutunului.

Un accent deosebit s-a pus pe combaterea dăunătorilor și bolilor prin metode chimice. Astfel, numărul publicațiilor care tratează problema aplicării fungicidelor a crescut în perioada 1901–1950 (15,6%) și 2001–2024 (10,5%), contribuția totală nedepășind însă nivelul de 7,6% (Figura 1B). Fără utilizarea pesticidelor, s-ar înregistra o pierdere de 78% a producției de fructe, 54% a producției de legume și 32% a producției de cereale [31]. Utilizarea pe scară largă a pesticidelor și dezvoltarea de soiuri de plante rezistente la patogeni și dăunători au contribuit la creșterea semnificativă a calității și cantității producției agricole.

Începând cu anul 1951, a crescut semnificativ procentul cercetărilor în domeniul fiziologiei plantelor, inclusiv cele axate pe toleranța la stres, ajungând la 20,9% în perioada 2001–2024 (Figura 1A). Datorită descoperirii legilor de moștenire a caracterelor și constituirii geneticii ca domeniu de cercetare, s-au dezvoltat vertiginos studii ample în genetică și ameliorarea plantelor, fiind create soiuri de plante rezistente la secetă și patogeni. Publicațiile axate pe genetică și ameliorarea plantelor au avut fluctuații de-a lungul timpului, variind de la 1,3 la 19,6%, cu contribuție totală de 8,5% (Figura 1A).

Era Biologiei Moleculare și Genomicii (1950–2000) a fost marcată de progresele în genetica moleculară, care au facilitat dezvoltarea de soiuri de plante mai rezistente la stresul biotic și abiotic prin manipularea genetică și selecția asistată de markeri moleculari. Revoluția tehnologică din biologia moleculară și genomică a permis identificarea și manipularea genelor implicate în răspunsurile la stresurile biotice și abiotice. Introducerea de gene de rezistență la insecte și viruși prin inginerie genetică a facilitat crearea de culturi mai rezistente la dăunători [32]. Secvențierea completă a genomurilor patogenilor și gazdelor a permis o mai bună înțelegere a mecanismelor de rezistență și susceptibilitate, deschizând calea pentru dezvoltarea de strategii de gestionare mai eficiente [33; 34]. Utilizarea tehnologiilor emergente, cum ar fi CRISPR-Cas9

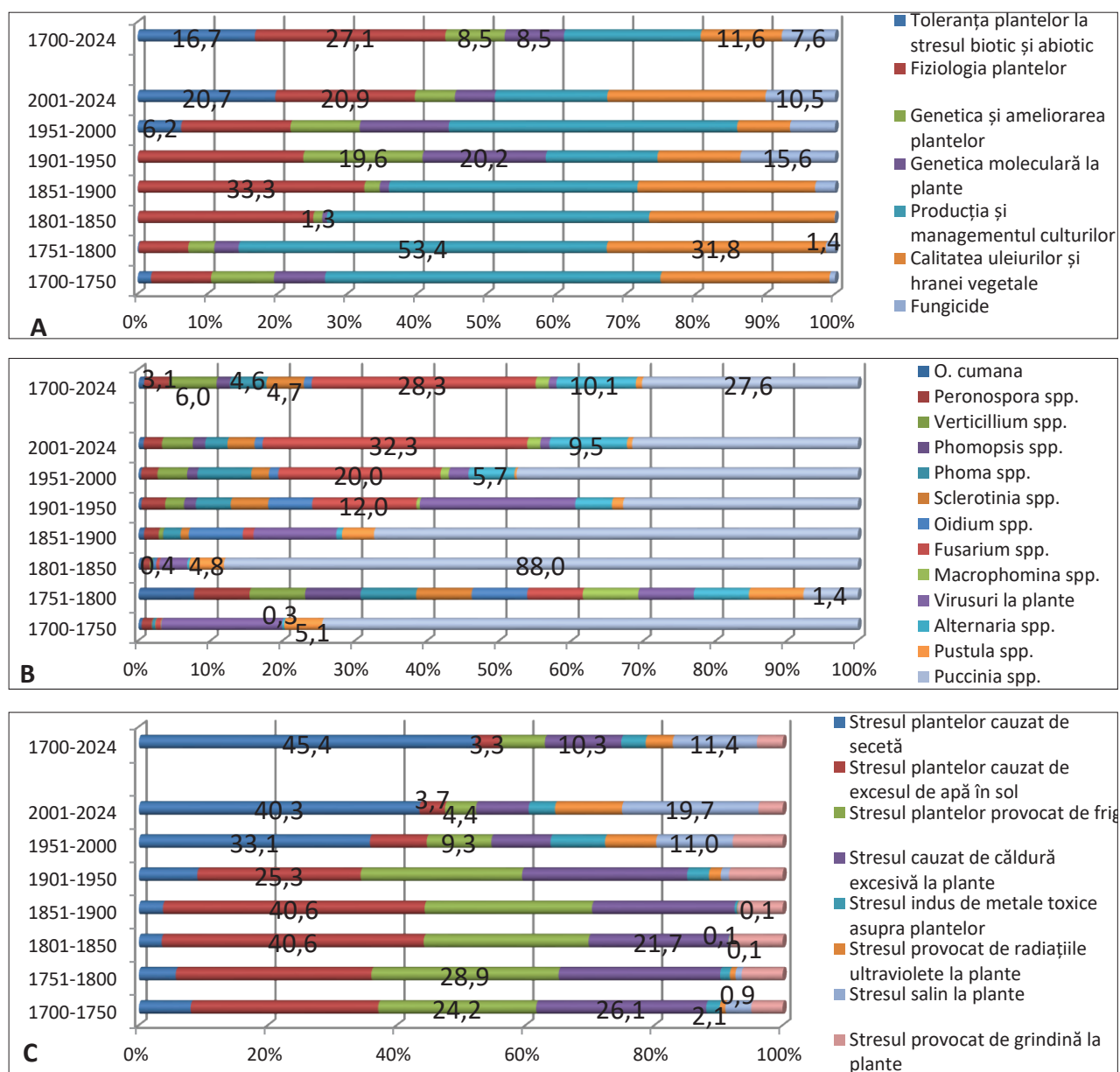


Figura 1. Tendințe în cercetarea biologică a plantelor de-a lungul secolelor (1700–2024).

pentru editarea precisă a genomului plantelor, promite noi posibilități în ameliorarea plantelor prin modificarea genelor implicate în răspunsul la stresuri și crearea de plante transgenice rezistente la mulți dăunători și condiții de mediu nefavorabile [35]. Aceste progrese au fost esențiale pentru gestionarea stresului biotic în agricultură. A apărut, de asemenea, conceptul de producție sustenabilă și management integrat al culturilor [36]. Cercetările în genetica moleculară au fost în ascensiune, cu cel mai mare procentaj (20,2%) în perioada 1901–1950. În total, acest domeniu a reprezentat 8,5% dintre cercetările efectuate în perioada 1700–2024 (Figura 1A).

Perioada actuală (2000–2024) este caracterizată prin utilizarea extensivă a tehnologiilor omics, care oferă noi perspective asupra interacțiunilor complexe

dintre factorii de stres biotici și abiotici [29]. Aplicarea tehnologiilor omics, cum ar fi genomica, transcriptomica, proteomica și metabolomica, permite identificarea markerilor moleculari și dezvoltarea de culturi mai rezistente și adaptabile la stresuri multiple. Cercetările se concentrează pe integrarea și înțelegerea răspunsurilor la stresuri biotice și abiotice la nivel molecular și metabolic [37; 38].

Un accent crescut al cercetărilor se constată în studiile care relevă impactul schimbărilor climatice asupra interacțiunilor plante-patogen [39; 40] și dezvoltarea de strategii de management care să includă utilizarea de culturi tolerante la multiple stresuri, gestionarea eficientă a resurselor naturale, adaptarea la schimbările climatice [41; 42]. Managementul culturilor s-a înnoit cu tehnici precum agricultura de precizie

și utilizarea tehnologiilor de teledetecție (platforme, senzori, algoritmi), formând o agricultură inteligentă (Smart farming - SF) [43; 44].

Creșterea numărului de publicații în perioada 2001–2024 (20,7% publicații) arată un interes crescut în cercetarea rezistenței plantelor la stresul biotic și abiotic, ceea ce poate fi atribuit dezvoltării tehnologiilor moderne și conștientizării impactului schimbărilor climatice (Figura 1A).

Direcții de cercetare a stresului biotic și abiotic la plante. Observațiile empirice au evidențiat interacțiunile dintre plante și patogeni, inclusiv infestările cu insecte și bolile cauzate de fungi, bacterii și viruși, subliniind evoluția acestora în diferite perioade (Figura 1B). Astfel, în intervalele 1700–1750 (5,1%) și 1801–1850 (4,8%), s-au înregistrat lucrări dedicate patogenului *Pustula* spp., care ulterior au arătat o scădere semnificativă. În contrast, publicațiile pe tema *Alternaria* spp. au crescut constant, având o contribuție totală de 10,1%. Problemele cauzate de *Verticillium* spp. (6,0%), *Sclerotinia* spp. (4,7%), *Phoma* spp. (4,6%) și *Peronospora* spp. (3,1%) au fost menționate în mod constant în literatura de specialitate, dar cu o contribuție globală nesemnificativă (figura 1B). În perioada 2001–2024, numărul publicațiilor referitoare la *Phomopsis* spp. și *Macrophomina* spp. au crescut considerabil, atingând 1,5% și 1,6%, fapt ce reflectă o conștientizare sporită a impactului acestor patogeni asupra culturilor, în contrast cu numărul redus de lucrări din perioada 1700–1950, care varia între 0,0% și 1,4% (Figura 1B). Cele mai numeroase publicații din perioada 1700–2024 au fost dedicate patogenului *Fusarium* spp. (28,3%), cu un interes în creștere alarmantă începând cu secolul al XX-lea (12,0% în anii 1901–1950, 20,0% în anii 1951–2000 și 32,3% în anii 2001–2024), evidențiind expansiunea acestui agent patogen (Figura 1B). De asemenea, *Puccinia* spp. a fost identificat ca cel mai distructiv patogen, cu un procent fluctuant de publicații între 1,4% și 88,0%, având o contribuție totală de 27,6% în perioada studiată (Figura 1B). Aceste investigații sunt esențiale pentru înțelegerea modului în care stresul biotic și abiotic afectează sănătatea plantelor și randamentul agricol. Totuși, atenția acordată mecanismelor de toleranță la stresul provocat de acești factori a fost mai redusă, dar a crescut semnificativ de la 6,2% în anii 1950 la 20,7% în perioada 2001–2024 (Figura 1A).

Studiile inițiale erau concentrate pe investigarea influenței factorilor biotici asupra creșterii și dezvoltării plantelor, analizând în mod special efectele temperaturii, precipitațiilor, condițiilor de sol, salinității și temperaturilor extreme asupra fiziologiei plantelor (Figura 1C). Astfel, cele mai multe lucrări științifice

din perioada 1700–2024 (circa 27,1%) au fost publicate în domeniul fiziologiei plantelor (Figura 1A). Aceste studii au subliniat importanța adaptării la variabilitatea climatică pentru menținerea sănătății și productivității culturilor. Publicațiile care tratează conținutul apei disponibile din sol au remarcat o pondere majoră a stresului provocat de excesul de apă în perioadele timpurii de studiu, variind de la 25,3 până la 40,6%, cu valori mai scăzute (3,7%) în ultimii ani (2001–2024), contribuția totală de publicații ajungând până la 3,3% (Figura 1C). Cele mai interesante observații au fost relevante la analiza cercetărilor privind deficitul de apă provocat de secete. Ponderea acestora a fost mai mare în anii 1951–2000 (33,1%) și 2001–2024 (40,3%), cu contribuția totală ajungând la 45,4% (figura 1C). În perioadele 1700–1750 (24,2%) și 1751–1800 (28,9%), publicațiile axate pe analiza rezistenței la stresul provocat de temperaturi joase au fost predominante (figura 1C). Totuși, volumul acestor publicații a scăzut semnificativ în timp, ajungând la 9,3% în perioada 1951–2000 și la doar 4,4% în perioada 2001–2024, ceea ce sugerează o schimbare a interesului cercetătorilor către alte tipuri de stres sau o evoluție a metodologiilor de studiu. Stresul de temperaturi înalte la plante a avut, de asemenea, un volum relativ stabil de publicații în anii 1700–1950, variind de la 21,7 până la 26,1%, cu o contribuție totală de 10,3% (Figura 1C). Stresul cauzat de metalele toxice (0,1 până la 2,1%) și radiațiile ultraviolete (0,1 până la 0,9%) a fost destul de puțin reflectat în publicațiile din perioada inițială de studiu și a atras atenția cercetătorilor abia în secolul al XX-lea (Figura 1C). Publicațiile referitoare la stresul ridicat la salinitate au avut o tendință de creștere vizibilă, în special în perioada 1851–2024 (de la 0,1 până la 19,7%), cu contribuția totală a publicațiilor de circa 11,4% (Figura 1C).

Astfel, evoluția cercetărilor în domeniul stresului biotic și abiotic reflectă o tranziție de la observații empirice și abordări de combatere directă a dăunătorilor la o abordare integrată și avansată tehnologic. În prezent, cercetările se concentrează pe înțelegerea și manipularea răspunsurilor complexe ale plantelor la multiple stresuri, având ca scop dezvoltarea de strategii eficiente de adaptare și mitigare în fața schimbărilor climatice rapide. Această tranziție subliniază necesitatea unei abordări holistice și interdisciplinare pentru a asigura sustenabilitatea ecosistemelor și a agriculturii în viitor.

Analiza tendințelor în cercetarea stresului biotic (1.810.700 de publicații) și abiotic (546.200 de publicații) din ultimii 300 de ani arată că, deși interesul pentru stresul abiotic a fost constant, cercetările recente (anii 2001–2024) s-au concentrat mai cu seamă pe stresul biotic (1.575.000 de publicații), în special în contextul patogenilor emergenți (Figurile 1B și 1C).

Aspecte privind evoluția cercetărilor la floarea-soarelui. Floarea-soarelui (*Helianthus annuus* L.) este una dintre culturile de semințe oleaginoase de importanță globală, cunoscută nu doar pentru producția de ulei de înaltă calitate, ci și pentru rolul său în bioenergie și industria alimentară. Cu toate acestea, productivitatea și calitatea florii-soarelui sunt adesea amenințate de stresurile biotice și abiotice, care duc la pierderi considerabile de recoltă și pot afecta atât economia, cât și mediul. În ceea ce privește stresul biotic la floarea-soarelui, concluzionăm că bolile cauzate de diferite ciuperci reprezintă cea mai gravă problemă. *Orobanche cumana* (lupoaia), o angiospermă parazită care afectează grav culturile de floarea-soarelui prin extragerea nutrienților esențiali, se află pe locul doi, urmată de virusi și bacterii, care ocupă locurile trei și patru [45]. Stresul biotic provoacă boli și daune fizice plantelor, reduce astfel randamentul și calitatea semințelor de floarea-soarelui. Infecțiile fungice, cum ar fi *Plasmopara halstedii* (mana) și *Sclerotinia sclerotiorum* (putregaiul alb), cauzează pierderi de recoltă de până la 50% în condiții de atac inițial și pierderi de peste 50% în condiții de atac avansat [46]. Aceste boli fungice afectează frunzele, tulpinile și rădăcinile plantelor, compromițând capacitatea lor de a produce semințe sănătoase. La nivel mondial, pierderile în producția de floarea-soarelui, la mijlocul anilor 1990, cauzate de boli, au fost estimate la 642 de milioane de dolari; cele cauzate de buruieni la 489 de milioane de dolari, iar cele cauzate de insecte la 229 milioane de dolari [47].

Stresul abiotic este provocat de factori de mediu nefavorabili, cum ar fi seceta, temperaturile extreme, salinitatea solului, radiațiile UV etc. Acești factori afectează negativ creșterea și dezvoltarea plantelor de floarea-soarelui. Lipsa apei este unul dintre cei mai critici factori abiotici care afectează producția de floarea-soarelui. Seceta reduce randamentul cu până la 40-50%, afectând fotosinteza și metabolismul plantelor [48]. Temperaturile foarte ridicate sau foarte scăzute provoacă stres termic, afectând procesele fiziologice ale plantelor și ducând la scăderea producției [49]. Impactul combinat al stresului biotic și abiotic asupra producției de floarea-soarelui are consecințe economice și ecologice semnificative. Pierderile de recoltă în urma stresului biotic și abiotic pot duce la scăderea veniturilor fermierilor și la creșterea costurilor de producție. Utilizarea fungicidelor și insecticidelor pentru combaterea patogenilor și dăunătorilor crește costurile operaționale [49]. Aplicarea excesivă a pesticidelor și îngrășămintelor pentru a combate stresul biotic și abiotic are drept consecință poluarea solului și a apei, afectând biodiversitatea și sănătatea

ecosistemelor [50]. Prin urmare, gestionarea eficientă a stresului biotic și abiotic este esențială pentru menținerea unei producții sustenabile de floarea-soarelui și pentru protejarea mediului înconjurător. Aceste provocări au determinat o dezvoltare semnificativă a cercetărilor pentru înțelegerea și gestionarea factorilor de stres, având în vedere și schimbările climatice, care amplifică riscurile asociate.

Abordarea analitică a evoluției cercetării florii-soarelui prin prisma publicațiilor în domeniile fiziologiei, geneticii, ameliorării, geneticii moleculare, producției și managementului culturilor, precum și calității uleiului și hranei relevă o dezvoltare ascendentă considerabilă de-a lungul celor trei decenii de la introducerea sa (1860–1870) în cultura agricolă (Figura 2A). În perioada timpurie a secolelor XVIII–XIX, primele observații au fost legate de producția și managementul florii-soarelui (1700–1750: 31,0%; 1751–1800: 41,2%; 1801–1850: 40,6%; 1851–1900: 35,9%), probleme care rămân actuale și în prezent (2001–2024: 29,0%), contribuția totală a acestor publicații fiind de 26,7% (Figura 2A). Cel mai mare număr de publicații (40,2%) în domeniul fiziologiei florii-soarelui se constată în perioada 1901–1950 și rămâne un subiect de interes de-a lungul timpului (2001–2024: 21,1%) (figura 2A).

Cercetările privind genetica și ameliorarea s-au intensificat în perioada 1951–2000 (19,8%), având drept scop îmbunătățirea randamentului florii-soarelui (Figura 2A). Recolta și cantitatea de ulei în semințe au fost constante în vizorul cercetătorilor, cu o contribuție totală a publicațiilor de 15,8%, cele mai numeroase publicații (23,5%) revenind primelor decenii de ameliorare, când publicațiile pe tema conținutului de ulei, esențial pentru evaluarea calității semințelor de floarea-soarelui au crescut de la 6,9 până la 24,8% (Figura 2A). În ultimii ani (2001–2024), cercetările continuă să se concentreze pe calitatea uleiului și a produselor din floarea-soarelui (15,5%) (Figura 2A).

Cu explozia tehnologiilor moderne, cum ar fi secvențierea ADN-ului, metilarea ADN mediată de ARN, agroinfiltrarea, mutageneza situs cu nucleaze Zinc finger, cisgeneza sau intrageneza, CRISPR-Cas9 (clustered regularly interspaced short palindromic repeats-CRISPR associated protein 9) și altele, s-a realizat o înțelegere mai profundă a genomului și s-au propus primele modele de editare genetică pentru rezistențele diferite la stresurile biotice și abiotice la floarea-soarelui [51–53]. Recent, L.M. Mabuza și colab. din Africa de Sud [51] au evidențiat importanța haploidiei dublate în reproducerea florii-soarelui, sugerând că aceste tehnici pot accelera dezvoltarea hibridilor rezistenți la stresuri biotice și abiotice,

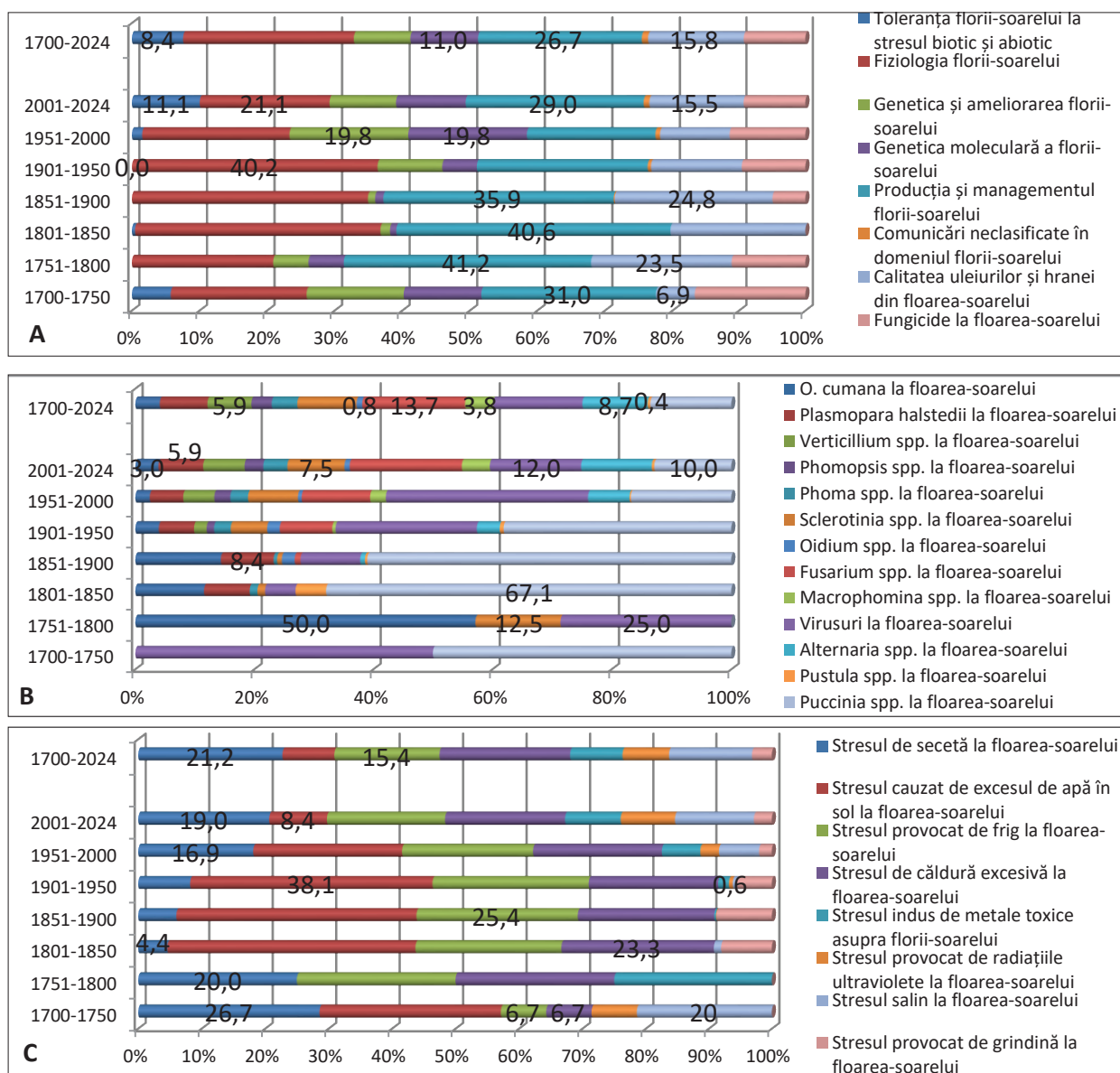


Figura 2. Evoluția publicațiilor în studiul biologic al florei-soarelui: analiza pe o perioadă de 300 de ani.

oferind astfel soluții inovatoare pentru provocările agricole actuale. Rezultatele obținute de Badouin și colab. [52] au demonstrat că analiza genomului florei-soarelui oferă informații valoroase despre metabolismul uleiului și adaptările evolutive, ceea ce poate ajuta la identificarea genelor asociate cu rezistența la stres. Cercetările au vizat identificarea genelor cheie implicate în metabolismul uleiului și sinteza de substanțe nutritive, cu scopul de a îmbunătăți calitatea uleiului și a hranei produse din floarea-soarelui. N. Yönet și K.A. Yilancioglu [53] au propus un model CRISPR/Cas9 pentru floarea-soarelui, care ar putea facilita dezvoltarea de soiuri rezistente la stresuri biotice și abiotice, reprezentând o direcție promițătoare în cercetarea genetică. S-au aplicat tehnici de inginerie genetică pentru a îmbunătăți rezistența la boli, toleranța la stresul abiotic și la calitatea semințelor

[54]. Publicațiile în domeniul geneticii moleculare la floarea-soarelui au crescut constant după anul 1950 (19,8%), având o contribuție totală de aproximativ 11,0% (Figura 2A). Aceste rezultate sunt în concordanță cu analizele anterioare care sugerează o creștere a interesului pentru ameliorarea genetică a plantelor în fața stresului biotic (Figurile 1A, 2A).

Direcții de cercetare a stresului biotic și abiotic la floarea-soarelui. Un subiect aparte constituie cercetarea rezistenței florei-soarelui la stresurile biotice și abiotice (8,4%), cea mai mare atenție fiind observată în perioada 2001–2024, cu 11,1% din totalul cercetărilor dedicate acestui subiect (figura 2A). În etapele timpurii de studiu (1751–1800, 1801–1850 și 1851–1900), imediat după introducerea florei-soarelui în cultură, aceasta a început să fie atacată de nu-

meroși patogeni, care au devenit subiectul studiilor (*O.cumana* – 50,0%, viruși – 25,0%, *Sclerotinia* spp. – 12,5%, *Puccinia* spp. – 67,1%, *P. halstedii* (mana) – 8,4% publicații etc.) (Figura 2B). Odată cu dezvoltarea geneticii și identificarea factorilor ereditari ai rezistenței în germoplasma florii-soarelui de cultură [55] și în flora spontană [56; 57], au fost creați hibrizi rezistenți la stresurile biotice. Astfel, în ultima perioadă (2001–2024), problema patogenilor și numărul publicațiilor în domeniu au fost în descreștere (virusuri – 12,0%, *Puccinia* spp. – 10,0%, *Sclerotinia* spp. – 7,5%, *P. halstedii* (mana) – 5,9%, *O. cumana* – 3,0% etc.) (Figura 2B).

Alți factori biotici, cum ar fi *Fusarium* spp. (contribuția publicațiilor în total – 13,7%), *Alternaria* spp. (8,7%), *Verticillium* spp. (5,9%) și *Macrophomina* spp. (3,8%), au fost studiați mai puțin și au arătat tendințe variabile, dar, în general, au avut un impact crescut în ultimii ani (figura 2B). Publicațiile referitoare la *Oidium* spp. și *Pustula* spp. în cazul florii-soarelui au avut contribuții totale foarte mici, de 0,8% și, respectiv, 0,4% (Figura 2B).

Cei mai importanți factori abiotici care influențează creșterea și dezvoltarea florii-soarelui, așa cum sunt reflectați în publicații, au fost seceta, frigul și salinitatea ridicată. În anii 1700–1750 și 1751–1800, problema stresului cauzat de secetă a fost menționată în 26,7% și 20,0% dintre publicații, respectiv, cu o scădere ulterioară a interesului (până la 4,4%), pentru ca mai apoi să reîntre în actualitate (1951–2000: 16,9%), în special în contextul schimbărilor climatice (2001–2024: 19,0%) (Figura 2C). Contribuția totală a publicațiilor pentru această problemă a atins cel mai mare nivel (21,2%) în comparație cu alți factori abiotici analizați (Figura 2C). Stresul de frig la floarea-soarelui a fost studiat constant pe parcursul a 300 de ani, variind de la 6,7% până la 25,4%, cu o contribuție totală de 15,4% (figura 2C). O situație similară a fost constatată și pentru rezistența la temperaturi înalte, care a variat între 6,7% și 23,3% din publicații (Figura 2C). O problemă importantă o reprezintă rezistența la salinitate, care a variat în diferite perioade de la 0,6% până la 20%, precum și rezistența la excesul de apă în sol la floarea-soarelui, care a variat între 8,4% și 38,1% dintre lucrări (Figura 2C).

În prezent și în perspectivele pentru viitor, se preconizează o accentuare a cercetării în direcția îmbunătățirii florii-soarelui din toate punctele de vedere [49]. Utilizarea unor tehnologii, precum metodele de optimizare a genelor cheie, tehnologia de senzori pentru monitorizarea factorilor de mediu la nivel individual și metodele avansate de analiză a datelor genetice, vor juca un rol crucial în dezvoltarea soiurilor de floa-

rea-soarelui mai productive, rezistente și cu un conținut nutritiv îmbunătățit, pentru a răspunde cerințelor pieței alimentare moderne. Având în vedere tendințele observate, este esențial ca viitoarele cercetări să se concentreze pe dezvoltarea de hibrizi rezistenți la stresul biotic, precum și pe studierea interacțiunilor complexe dintre factorii biotici și abiotici.

Analiza publicațiilor privind stresul biotic și abiotic la plante a relevat o creștere semnificativă a interesului în perioada 2001–2024, cu un accent deosebit pe rezistența florii-soarelui la patogeni. În contrast, cercetările recente au arătat o creștere a interesului pentru dăunători și patogeni emergenți, cum ar fi *Fusarium* spp. (32,3%) și *Alternaria* spp. (9,5%), care au fost studiate mai puțin în trecut, cu o pondere de 0,4–20% pentru *Fusarium* spp. și 0,3–5,7% pentru *Alternaria* spp. (Figura 1B). Această schimbare reflectă o adaptare a comunității științifice la noile provocări generate de schimbările climatice, care permit extinderea geografică, modificarea evoluției și intensificarea severității patogenilor [40]. Studiile anterioare au subliniat că temperaturile mai ridicate pot accelera ciclurile de viață ale dăunătorilor, contribuind astfel la o infestare mai severă a culturilor [39]. Legătura este susținută de datele obținute din analiza respectivă, care indică o creștere a prevalenței acestor patogeni în condiții climatice variabile. De asemenea, studiul nostru a evidențiat evoluția cercetărilor asupra stresului biotic și abiotic la floarea-soarelui pe parcursul a 300 de ani (de la 0% până la 11,1%), subliniind o tendință de scădere a publicațiilor dedicate patogenilor tradiționali, cum ar fi *O. cumana* și *Puccinia* spp., în perioada 2001–2024 (de la 50% la 3% și de la 67,1% la 10%) (Figura 2C). Această observație este în concordanță cu tendințele identificate în literatura de specialitate, care sugerează că progresele în genetică și ameliorarea plantelor au condus la dezvoltarea unor hibrizi mai rezistenți, reducând astfel impactul acestor patogeni asupra culturilor [23; 41; 55]. Comparativ cu perioadele anterioare, unde stresul abiotic era predominant, cercetările recente indică o diversificare a subiectelor, cu un accent pe interacțiunile biotice. Aceste observații sunt susținute de literatura de specialitate care subliniază importanța geneticii în dezvoltarea de hibrizi rezistenți.

De asemenea, utilizarea tehnologiilor omics, cum ar fi genomica și proteomica, a fost recunoscută ca o abordare promițătoare pentru înțelegerea interacțiunilor complexe dintre plante și stresurile biotice și abiotice [29; 54]. Această metodologie a fost adoptată și în studiul nostru, unde am identificat markerii moleculari care pot contribui la dezvoltarea unor culturi mai rezistente. Comparativ cu cercetările anteri-

oare, care se concentrau pe aspecte mai tradiționale ale ameliorării plantelor, abordarea noastră reflectă o tranziție către metode mai avansate și integrate.

În concluzie, viitoarele studii ar trebui să se concentreze pe integrarea abordărilor multidisciplinare pentru a analiza complexitatea stresului biotic și abiotic. Totodată, rezultatele obținute în studiul nostru nu doar confirmă tendințele observate în literatura de specialitate, ci și subliniază necesitatea de a adapta strategiile de management agricol la noile realități climatice și biologice.

CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI PENTRU CERCETĂRI VIITOARE

Studiul realizat subliniază necesitatea aprofundării cercetărilor privind interacțiunile complexe dintre stresul biotic și abiotic, având în vedere impactul lor cumulativ asupra agriculturii și ecosistemelor. Este esențială dezvoltarea de strategii științifice eficiente, bazate pe biotehnologii moderne, pentru a obține hibrizi rezistenți la dăunători și condiții climatice extreme, precum și pentru implementarea unor practici agricole durabile.

Crearea unor culturi rezistente la secetă, temperaturi extreme sau boli va reprezenta o soluție primordială pentru viitor. Integrarea genomicii și fenomicii cu gestionarea bazelor de date genetice va accelera accesarea și valorificarea germoplasmelor din băncile de gene, contribuind la dezvoltarea unor soiuri mai bine adaptate la schimbările climatice. Cercetările viitoare ar trebui să se axeze pe identificarea, testarea și implementarea acestor soiuri, precum și pe înțelegerea interacțiunilor specifice dintre dăunători și factorii de mediu.

Pentru aplicarea eficientă a acestor soluții, este necesar să se dezvolte parteneriate între cercetători și agricultori, asigurând transferul rapid al rezultatelor din laboratoare către teren. Tehnologiile moderne, cum ar fi senzorii pentru monitorizarea condițiilor de mediu și analiza datelor în timp real, vor ajuta fermierii să ia decizii rapide și informate pentru a optimiza producția și a îmbunătăți reziliența culturilor.

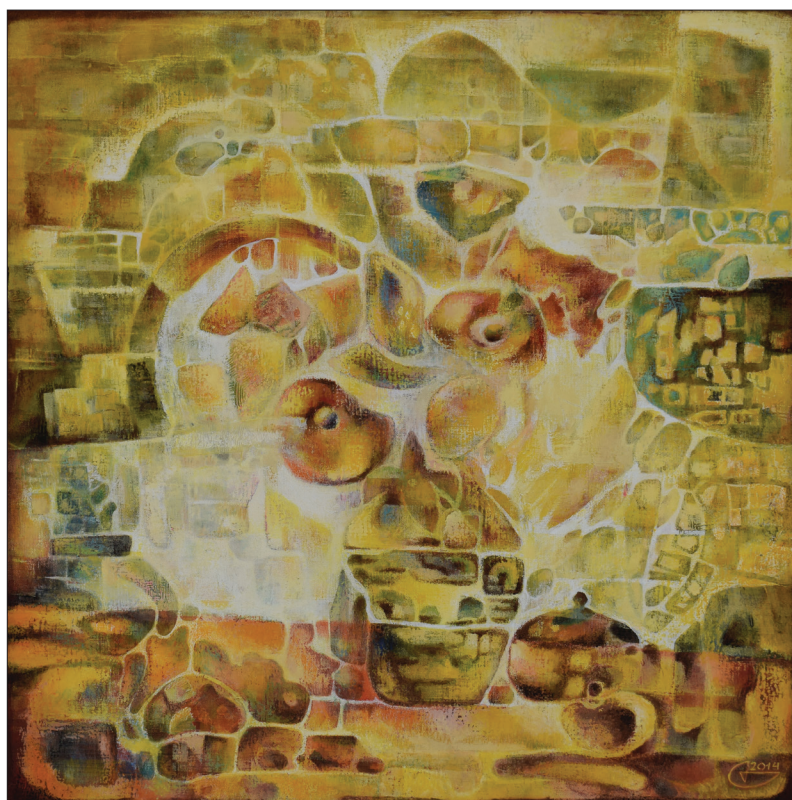
De asemenea, formularea și implementarea unor politici publice coerente care să sprijine aceste inițiative sunt cruciale pentru asigurarea securității alimentare și protejarea biodiversității. Direcțiile propuse nu doar că vor permite adaptarea la schimbările climatice, ci vor contribui la crearea unui sistem agricol sustenabil, capabil să protejeze mediul și să asigure resurse pentru generațiile viitoare. Prin aceste măsuri, se va putea asigura o agricultură rezilientă și sustenabilă, capabilă să facă față provocărilor viitoare.

BIBLIOGRAFIE

1. Delian, E. Fiziologia stresului biotic la plante. București: Cartea Universitară, 2006. 334 p.
2. Pereira, A. Plant abiotic stress challenges from the changing environment. In: *Front. Plant Sci.*, 2016, vol. 7: 1123, <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01123>
3. IPPC Secretariat. Scientific review of the impact of climate change on plant pests – a global challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry and ecosystems. Rome: FAO on behalf of the IPPC Secretariat, 2021, 88 p., <https://doi.org/10.4060/cb4769en>
4. Duca, M., Clapco, S., Port, A. ș.a. Cultura florii-soare-lui în contextul schimbărilor climatice. Monografie. Chișinău: CEP USM, 2023. 148 p.
5. Ali, H., Hou, Y., Tahir, M.B., eds. Climate change and insect biodiversity. Challenges and implications. Boca Raton: CRC Press, 2024. 265 p., <https://doi.org/10.1201/9781003382089>
6. Gráda, C.O. Ireland's great famine: an overview. UCD Centre for Economic Research Working Paper series No. WP04/25. Dublin: University College Dublin, Centre for Economic Research, 2004. 28 p., [online] <https://hdl.handle.net/10197/475> (consultat: 29.10.2024).
7. Granett, J., Walker, M.A., Kocsis, L., Omer, A.D. Biology and management of grape phylloxera. In: *Annu. Rev. Entomol.*, 2001, 46(1), 387-412, <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.46.1.387>
8. Sreedhar, U., Venkateswarlu, V., Jayasekharan, B.S., Dam, S.K. Tobacco: bacterial and viral diseases. In: Khan, M.R., Haque, Z., Ahamad, F., eds. *Diseases of nationally important field crops*. New Delhi: Today & Tomorrow's Printers and Publishers, 2021, part 2, chapter 33, 551-568.
9. Iliffe, J. Africans: the history of a continent. New York: Cambridge University Press, 1995. 325 p.
10. Bazza, M., Kay, M., Knutso, C. Drought characteristics and management in North Africa and the Near East. *FAO water reports* 45. Rome: FAO, 2018. 268 p.
11. Worster, D. Dust bowl: the Southern Plains in the 1930s. New York: Oxford University Press, 2004. 304 p.
12. Fagan, B.M. The Little Ice Age: how climate made history 1300-1850. New York: Basic Books, 2001. 272 p.
13. Pautasso, M., Döring, T.F., Garbelotto, M., et al. Impacts of climate change on plant diseases-opinions and trends. In: *Eur. J. Plant Pathol.*, 2012, 133(1), 295-313, <https://doi.org/10.1007/s10658-012-9936-1>
14. Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M., Lo, K. Global surface temperature change. In: *Rev. Geophys.*, 2010, 48(4): RG4004, <https://doi.org/10.1029/2010RG000345>
15. NOAA National centers for environmental information. Assessing the global climate in 2021, 2022, [online] <https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-202112> (consultat: 27.06.2024).
16. Hamidov, A., Helming, K., Bellocchi, G., et al. Impacts of climate change adaptation options on soil functions: A review of European case-studies. In: *Land Degrad. Dev.*, 2018, 29(8), 2378-2389, <https://doi.org/10.1002/ldr.3006>

17. NASA Earth Observatory. Global warming, 2010, [online] <https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming/page1.php> (consultat: 27.06.2024).
18. Oliveira, M., Fernandes-Silva, A., eds. Abiotic stress in plants – adaptations to climate change. London: IntechOpen, 2023. 284 p.
19. Pradhan, J., Singh, H., Jaiswal, A., et al. Challenges in the green world: abiotic stress and plants. New Delhi: Elite Publishing House, 2023. 187 p.
20. Tanaka, K., Mudgil, Y., Tunc-Ozdemir, M. Editorial: abiotic stress and plant immunity – a challenge in climate change. In: *Front. Plant Sci.*, 2023, 14:1197435, <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1197435>
21. Xiao, Y., Wang, M., Song, Y. Abiotic and biotic stress cascades in the era of climate change pose a challenge to genetic improvements in plants. In: *Forests*, 2022, 13(5):780, <https://doi.org/10.3390/f13050780>
22. Nawaz, M., Sun, J., Shabbir, S., et al. A review of plants strategies to resist biotic and abiotic environmental stressors. In: *Sci. Total Environ.*, 2023, 900: 165832, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165832>
23. Gonzalez-Guzmán, M., Cellini, F., Fotopoulos, V., et al. New approaches to improve crop tolerance to biotic and abiotic stresses. In: *Physiol. Plant.*, 2022, 174(1): e13547, <https://doi.org/10.1111/ppl.13547>
24. Gitz, V., Meybeck, A., Lipper, L., et al. Climate change and food security: risks and responses. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Report. Rome: FAO, 2016. 110 p.
25. Das, S., Ray, M.K., Panday, D., Mishra, P.K. Role of biotechnology in creating sustainable agriculture. In: *PLOS Sustain. Transform.*, 2023, 2(7): e0000069, <https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000069>
26. Muhie, S.H. Novel approaches and practices to sustainable agriculture. In: *J. Agric. Food Res.*, 2022, vol. 10: 100446, <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100446>
27. Google Scholar, [online] <https://scholar.google.com> (consultat: 27.03.2024).
28. Qin, F., Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. Achievements and challenges in understanding plant abiotic stress responses and tolerance. In: *Plant Cell Physiol.*, 2011, 52(9), 1569-1582, <https://doi.org/10.1093/pcp/pcr106>
29. Kaur, B., Sandhu, K.S., Kamal, R., et al. Omics for the improvement of abiotic, biotic, and agronomic traits in major cereal crops: applications, challenges, and prospects. In: *Plants*, 2021, 10(10): 1989, <https://doi.org/10.3390/plants10101989>
30. Ahmad, B., Raina, A., Khan, S. Impact of biotic and abiotic stresses on plants, and their responses. In: Wani, S.H., eds. *Disease resistance in crop plants*. Switzerland: Springer, 2019, 1-19.
31. Zhang, W., Jiang, F., Ou, J. Global pesticide consumption and pollution: with China as a focus. In: *Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci.*, 2011, 1(2), 125-144, [online] [http://www.iaees.org/publications/journals/piaees/articles/2011-1\(2\)/Global-pesticide-consumption-pollution.pdf](http://www.iaees.org/publications/journals/piaees/articles/2011-1(2)/Global-pesticide-consumption-pollution.pdf) (consultat: 29.10.2024).
32. Anderson, J.A., Ellsworth, P.C., Faria, J.C., et al. Genetically engineered crops: importance of diversified integrated pest management for agricultural sustainability. In: *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 2019, 7: 24, <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00024>
33. Nizamani, M.M., Zhang, Q., Muhae-Ud-Din, G., Wang, Y. High-throughput sequencing in plant disease management: a comprehensive review of benefits, challenges, and future perspectives. In: *Phytopathol. Res.*, 2023, 5: 44, <https://doi.org/10.1186/s42483-023-00199-5>
34. Panwar, V., Bakkeren, G. Editorial: Plant genomics and pathogenomics: from technology to application in improving crop disease resistance. In: *Front. Plant Sci.*, 2024, 15: 1349113, <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1349113>
35. Tyagi, S., Kumar, R., Kumar, V., et al. Engineering disease resistant plants through CRISPR-Cas9 technology. In: *GM Crops Food*, 2020, 12(1), 125-144, <https://doi.org/10.1080/21645698.2020.1831729>
36. Wang, Y., Zafar, N., Ali, Q., et al. CRISPR/Cas genome editing technologies for plant improvement against biotic and abiotic stresses: advances, limitations, and future perspectives. In: *Cells*, 2022, 11(23): 3928, <https://doi.org/10.3390/cells11233928>
37. Rejeb, I.B., Pastor, V., Mauch-Mani, B. Plant responses to simultaneous biotic and abiotic stress: molecular mechanisms. In: *Plants*, 2014, 3(4), 458-475, <https://doi.org/10.3390/plants3040458>
38. Shiade, S.R.Gh., Zand-Silakhoor, A., Fathi, A., et al. Plant metabolites and signaling pathways in response to biotic and abiotic stresses: exploring bio stimulant applications. In: *Plant Stress*, 2024, vol. 12: 100454, <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100454>
39. Raza, M.M., Bebbler, D.P. Climate change and plant pathogens. In: *Curr. Opin. Microbiol.*, 2022, vol. 70: 102233, <https://doi.org/10.1016/j.mib.2022.102233>
40. Garrett, K.A., Dendy, S.P., Frank, E.E., et al. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. In: *Annu. Rev. Phytopathol.*, 2006, 44 (1), 489-509, <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143420>
41. Benitez-Alfonso, Y., Soanes, B.K., Zimba, S., et al. Enhancing climate change resilience in agricultural crops. In: *Curr. Biol.*, 2023, 33(23): PR1246-R1261, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.10.028>
42. Grigorieva, E., Livenets, A., Stelmakh, E. Adaptation of agriculture to climate change: a scoping review. In: *Climate*, 2023, 11(10): 202, <https://doi.org/10.3390/cli11100202>
43. Abiri, R., Rizan, N., Balasundram, S.K., et al. Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity. In: *Heliyon*, 2023, 9(12): e22601, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22601>
44. Inoue, Y. Satellite- and drone-based remote sensing of crops and soils for smart farming – a review. In: *Soil Sci. Plant Nutr.*, 2020, 66(6), 798-810, <https://doi.org/10.1080/0380768.2020.1738899>
45. Škorić, D. Sunflower breeding. In: Škorić, D., Seiler, G.J., Liu, Z., et al., eds. *Sunflower genetics and breeding*. Novi Sad: SASA, 2012, 165-354.

46. Debaeke, P., Mestries, E., Desanlis, M., Seassau, C. Effects of crop management on the incidence and severity of fungal diseases in sunflowers. In: Arribas, J.I., eds. Sunflowers: growth and development, environmental influences and pests/diseases. Castanet-Tolosan: Nova Science Publishers, 2014, chapter 9, 201-226.
 47. Seiler, G.J., Qi, L.L., Marek, L.F. Utilization of sunflower crop wild relatives for cultivated sunflower improvement. In: Crop Sci., 2017, 57(3), 1083-1101, <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.10.0856>
 48. Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., et al. Drought stress in sunflower: physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. In: Agric. Water Manag., 2018, 201, 152-166, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.028>
 49. Shanker, A., Shanker, C. Abiotic and biotic stress in plants – recent advances and future perspectives. Croatia: IntechOpen, 2016. 768 p.
 50. Daraban, G.M., Hlihor, R.-M., Suteu, D. Pesticides vs. biopesticides: from pest management to toxicity and impacts on the environment and human health. In: Toxics, 2023, 11(12): 983, <https://doi.org/10.3390/toxics11120983>
 51. Mabuza, L.M., Mchunu, N.P., Crampton, B.G., Swanvelder, D.Z.H. Accelerated breeding for *Helianthus annuus* (sunflower) through doubled haploidy: an insight on past and future prospects in the era of genome editing. In: Plants, 2023, 12(3): 485, <https://doi.org/10.3390/plants12030485>
 52. Badouin, H., Gouzy, J., Grassa, C.J., et al. The sunflower genome provides insights into oil metabolism, flowering and asterid evolution. In: Nature, 2017, 546(7656), 148-152, <https://doi.org/10.1038/nature22380>
 53. Yönet, N., Yilancioglu, K.A. CRISPR/Cas9 model of sunflower (*Helianthus annuus* L.) resistance for biotic and abiotic stresses. In: New Biotechnol., 2018, 44: S84, <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2018.05.922>
 54. Mola, T. Role of genetic engineering in sunflower (*Helianthus annuus* L.) improvement and current status of sunflower research in Ethiopian: an overview. In: Int. J. Recent Res. Life Sci., 2022, 9(1), 16-33, [online] <https://www.paperpublications.org/upload/book/Role%20of%20Genetic-16022022-6.pdf> (consultat: 10.06.2024).
 55. Cvejić, S., Radanović, A., Dedić, B., et al. Genetic and genomic tools in sunflower breeding for broomrape resistance. In: Genes, 2020, 11(2): 152, <https://doi.org/10.3390/genes11020152>
 56. Cantamutto, M., Poverene, M. Genetically modified sunflower release: opportunities and risks. In: Field Crops Res., 2007, 101(2), 133-144, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.11.007>
 57. Breton, C., Serieys, H., Bervillé, A. Gene transfer from wild *Helianthus* to sunflower: topicalities and limits. In: OCL, 2010, 17(2), 104-114, <https://doi.org/10.1051/ocl.2010.0296>
- NOTĂ.** Lucrarea a fost realizată în cadrul subprogramului 011101 *Abordări genetice și biotehnologice de management al agroecosistemelor în condițiile schimbărilor climatice*, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova.



Vasile Grama. *Duminica Mare*, 2014, ulei, pânză, 80 × 80 cm.