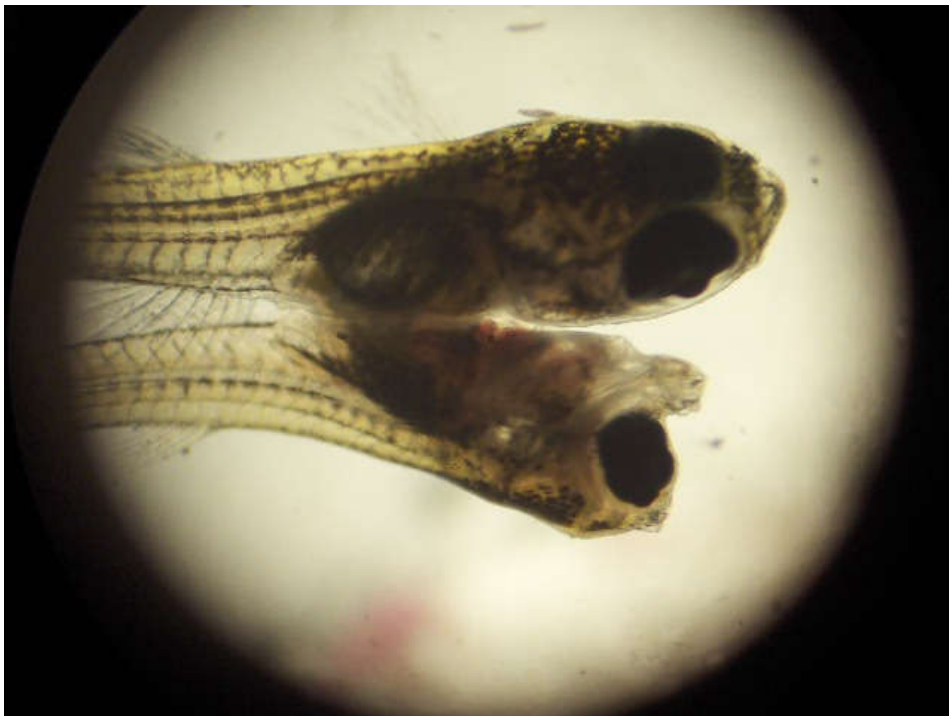
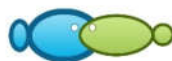


Ioan Valentin Petrescu-Mag

# Organisme model utilizate în cercetările ecotoxicologice



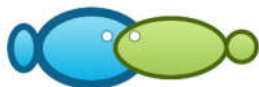
Editura Bioflux, Cluj-Napoca, 2025



**Referenți științifici:**

Șef lucrări dr. Petru Burduhos

Șef lucrări dr. Cristian Iederan

**Editura Bioflux, Cluj-Napoca**

Str. Ceahlău nr 54, Cluj-Napoca, 400488, Județul Cluj, România.

eISBN 978-606-9736-27-2

**Proprietate intelectuală:**

Această lucrare este o carte cu acces liber, distribuită în conformitate cu termenii Licenței Creative Commons Attribution (CC BY), care permite utilizarea, distribuirea și reproducerea în orice mediu, fără limitări, cu condiția respectării următoarelor cerințe: autorul și sursa originală să fie menționați corespunzător.

**Recomandare de citare:**

Petrescu-Mag, I. V. (2025). Organisme model utilizate în cercetările ecotoxicologice. Editura Bioflux, Cluj-Napoca, Romania, 50p. eISBN 978-606-9736-27-2.

**Afilierile autorului:**

- Facultatea de Agricultură, Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară, Calea Mănăștur nr. 3-5, Cluj-Napoca 400372, județul Cluj, România;
- Școala Doctorală de Științe Inginerești, Universitatea din Oradea, Strada Universității nr. 1, Oradea 410087, județul Bihor, România;
- SC Bioflux SRL, Str. Ceahlău nr 54, Cluj-Napoca, 400488, Județul Cluj, România.

## Cuprins

Abstract .....	4
Introducere .....	4
Capitolul I. Scurt istoric al ecotoxicologiei .....	4
Capitolul II. Utilizarea algelor ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie .....	5
Capitolul III. Utilizarea lichenilor ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie .....	9
Capitolul IV. Utilizarea mușchilor de pământ ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie .....	12
Capitolul V. Utilizarea nevertebratelor din sol ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie .....	15
Capitolul VI. Utilizarea nevertebratelor acvatice dulcicole ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie .....	19
Capitolul VII. Utilizarea nevertebratelor acvatice marine ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie .....	26
Capitolul VIII. Utilizarea peștilor din apele continentale de apă dulce ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie .....	30
Capitolul IX. Utilizarea peștilor marini ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie .....	34
Capitolul X. Utilizarea păsărilor ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie .....	36
Capitolul XI. Utilizarea mamiferelor ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie .....	38
Concluzii .....	41
Referințe bibliografice .....	42

## **Abstract**

This scientific synthesis explores the essential role of model organisms in ecotoxicological research, emphasizing their relevance in monitoring and assessing environmental pollutants' impact on ecosystems and human health. The work highlights a broad spectrum of organisms, from algae and lichens to invertebrates and vertebrates, underscoring their applications as bioindicators and tools in environmental engineering. Designed to serve as both a practical guide and a comprehensive resource, this document targets students and environmental science enthusiasts, offering foundational knowledge for academic and professional practices. Furthermore, it provides insights into integrating multidisciplinary approaches to develop sustainable strategies for environmental conservation and public health protection.

**Keywords:** Model organisms, ecotoxicology, bioindicators, environmental monitoring, environmental engineering, sustainability, ecosystem health.

## **Introducere**

Lucrarea de față reprezintă o sinteză științifică dedicată utilizării organismelor model în cercetările ecotoxicologice, având scopul de a furniza un ghid accesibil și bine fundamentat pentru studenți și pasionați începători în domeniul ingineriei mediului. Printr-o abordare structurată și multidisciplinară, aceasta își propune să ofere o înțelegere clară și concisă a modului în care diferite categorii de organisme pot servi drept instrumente pentru monitorizarea și evaluarea impactului poluanților asupra ecosistemelor. Lucrarea este utilă în special pentru cercurile de practică studențească, unde începătorii pot dezvolta competențe și cunoștințe aplicabile atât în cadrul activităților academice, cât și în viitoarele cariere profesionale.

Scopul principal al lucrării este de a sintetiza informații esențiale despre rolul organismelor model în ecotoxicologie, de la alge și licheni la nevertebrate și vertebrate, evidențiind metodele și aplicațiile specifice fiecărei categorii în evaluarea impactului poluării. Totodată, lucrarea subliniază relevanța acestor studii în dezvoltarea unor strategii durabile pentru protejarea mediului și sănătății umane, oferind un fundament solid pentru cercetări viitoare.

## **Capitolul I. Scurt istoric al ecotoxicologiei**

Ecotoxicologia reprezintă o disciplină științifică apărută ca răspuns la intensificarea fenomenelor de poluare din a doua jumătate a secolului al XX-lea, perioadă în care impactul negativ al activităților umane asupra mediului și sănătății a devenit tot mai evident (Petrescu-Mag & Oroian 2015). Această ramură a științelor mediului are ca obiect de studiu interacțiunile dintre poluanți și ecosisteme, fiind centrată pe identificarea, analiza și prevenirea efectelor dăunătoare ale substanțelor toxice asupra organismelor vii și mediului abiotic.

Ecotoxicologia a fost definită pentru prima dată în anul 1961 de către René Truhaut (citată de Petrescu-Mag & Oroian 2015), care a descris-o drept „extensia naturală a toxicologiei asupra efectelor ecologice ale poluanților”. Această definiție pune în lumină legătura strânsă dintre ecologie și toxicologie, combinând analiza efectelor nefaste ale substanțelor chimice asupra organismelor vii cu studiul interacțiunilor din cadrul ecosistemelor. Ulterior, ecotoxicologia a evoluat ca disciplină, fiind definită din perspective variate

de specialiști precum Ramade (1977), Butler (1978), Callow (1993) și Walker (1996), fiecare subliniind aspecte specifice ale relațiilor dintre poluanți și mediu. Walker a oferit o definiție succintă, dar clară: „ecotoxicologia este știința care studiază efectele dăunătoare ale substanțelor chimice asupra ecosistemelor” (autori citați de Petrescu-Mag & Oroian 2015).

Scopul principal al ecotoxicologiei constă în evaluarea impactului poluanților asupra biosferei, cu accent pe prevenirea și diminuarea riscurilor asociate contaminării mediului. Aceasta implică studierea distribuției poluanților în aer, apă și sol, analiza mecanismelor de transformare a acestora în mediu și determinarea efectelor nocive asupra organismelor la nivel individual, populațional și al ecosistemelor. Obiectivele majore ale ecotoxicologiei, conform viziunii lui Forbes (1994) (citată de Petrescu-Mag & Oroian 2015), includ:

- Obținerea de date pentru evaluarea riscului și managementul mediului;
- Respectarea cerințelor legale privind utilizarea și dispersia substanțelor chimice;
- Elaborarea de principii științifice pentru înțelegerea comportamentului poluanților în mediu și impactul acestora asupra vieții.

Pentru realizarea acestor obiective, ecotoxicologia utilizează o abordare multidisciplinară, integrând cunoștințe din chimie, biologie, ecologie, fiziologie, genetică și statistică. Această abordare permite analiza interacțiunilor complexe dintre poluanți și mediu, incluzând studiul efectelor cumulative, sinergice sau antagonice ale substanțelor toxice. De asemenea, ecotoxicologia oferă baza științifică pentru stabilirea valorilor limită și reglementărilor privind poluarea, precum și pentru proiectarea măsurilor de prevenire și remediere a contaminării mediului.

Un aspect esențial în ecotoxicologie este analiza proceselor de bioacumulare, biomagnificare și bioconcentrare, fenomene care determină creșterea concentrațiilor de poluanți în organismele vii pe parcursul lanțului trofic. De exemplu, pesticide precum DDT-ul, datorită persistenței lor în mediu, se acumulează în organismele din nivelurile trofice superioare, provocând efecte grave asupra acestora și perturbând echilibrul ecologic.

Importanța ecotoxicologiei derivă din rolul său fundamental în protejarea ecosistemelor și a sănătății umane în fața amenințărilor generate de substanțele chimice. Studiile din acest domeniu oferă instrumentele necesare pentru prevenirea efectelor ireversibile ale poluării, contribuind astfel la conservarea biosferei și la dezvoltarea unor strategii sustenabile de gestionare a mediului.

## **Capitolul II. Utilizarea algelor ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie**

Algele reprezintă un grup diversificat de organisme fotosintetice, cu o mare relevanță în ecotoxicologie datorită sensibilității lor la schimbările din mediu. Acestea includ organisme unicelulare, cum ar fi diatomeele, precum și forme pluricelulare, cum ar fi algele verzi și roșii. Capacitatea lor de a reflecta condițiile chimice și biologice ale mediului le face bioindicatori valoroși pentru poluanți chimici, metale grele, substanțe organice toxice și schimbări ale parametrilor fizico-chimici, cum ar fi pH-ul și salinitatea (Khalil et al 2021).

## Rolul algelor ca bioindicatori

Algele sunt utilizate în studii de ecotoxicologie din mai multe motive. Ele sunt prezente în aproape toate ecosistemele acvatice și sunt sensibile la o gamă largă de poluanți. Deoarece sunt producători primari, orice perturbare a creșterii lor poate avea consecințe grave pentru lanțul trofic. Capacitatea lor de a acumula poluanți și de a reflecta toxicitatea mediului în timp real le face ideale pentru evaluările ecologice (Reem & El-Seifat 2023).

## Principalele categorii taxonomice de alge utilizate ca bioindicatori

### 1. Algele verzi (Chlorophyta)

Algele verzi sunt un grup taxonomic divers care include specii de importanță ecotoxicologică (Salo & Salovius-Laurén 2022), cum ar fi:

- ***Chlorella vulgaris*** (Figura 1): Această specie este utilizată frecvent în bioeseuri datorită sensibilității sale la metale grele, pesticide și alte poluanți organici (Expósito et al 2021). Creșterea sa rapidă permite obținerea unor rezultate rapide în testele de toxicitate.
- ***Scenedesmus obliquus***: Este utilizată pentru evaluarea toxicității în medii acvatice contaminate (Xu et al 2022), având o capacitate ridicată de a acumula metale grele.

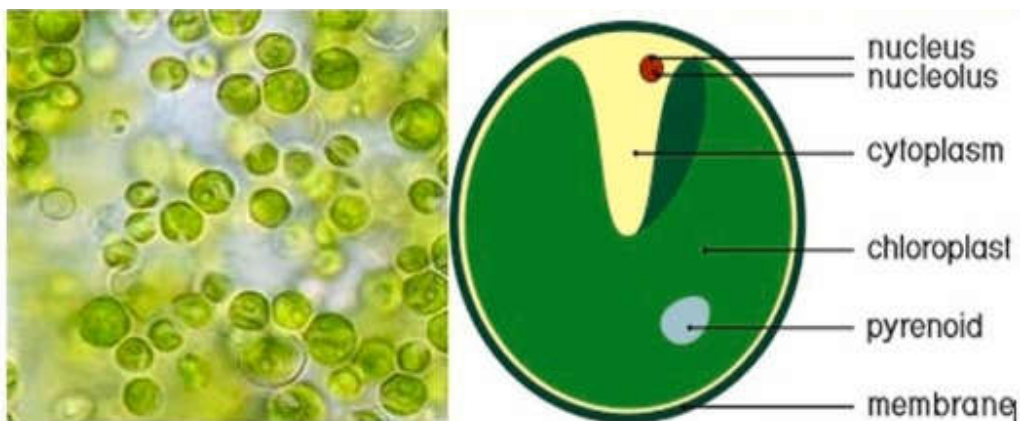


Figura 1. *Chlorella vulgaris* (sursa: Barghchi et al 2023).

### 2. Diatomeele (Bacillariophyta)

Diatomeele sunt organisme unicelulare cu perete celular silicificat, extrem de sensibile la schimbările din mediu, fiind indicatori excelenți ai calității apei (Monoran et al 2008). Specii reprezentative includ:

- ***Navicula spp.*** (Figura 2): Speciile din acest gen sunt utilizate pentru monitorizarea metalelor grele, cum ar fi cadmiul și plumbul, precum și pentru evaluarea stresului determinat de substanțe organice toxice (Ding et al 2019).

- ***Achnanthydium minutissimum***: Este o specie sensibilă la modificări în parametrii chimici ai apei, inclusiv la schimbări de pH și concentrații de nutrienți (Stenger-Kovács et al 2006).

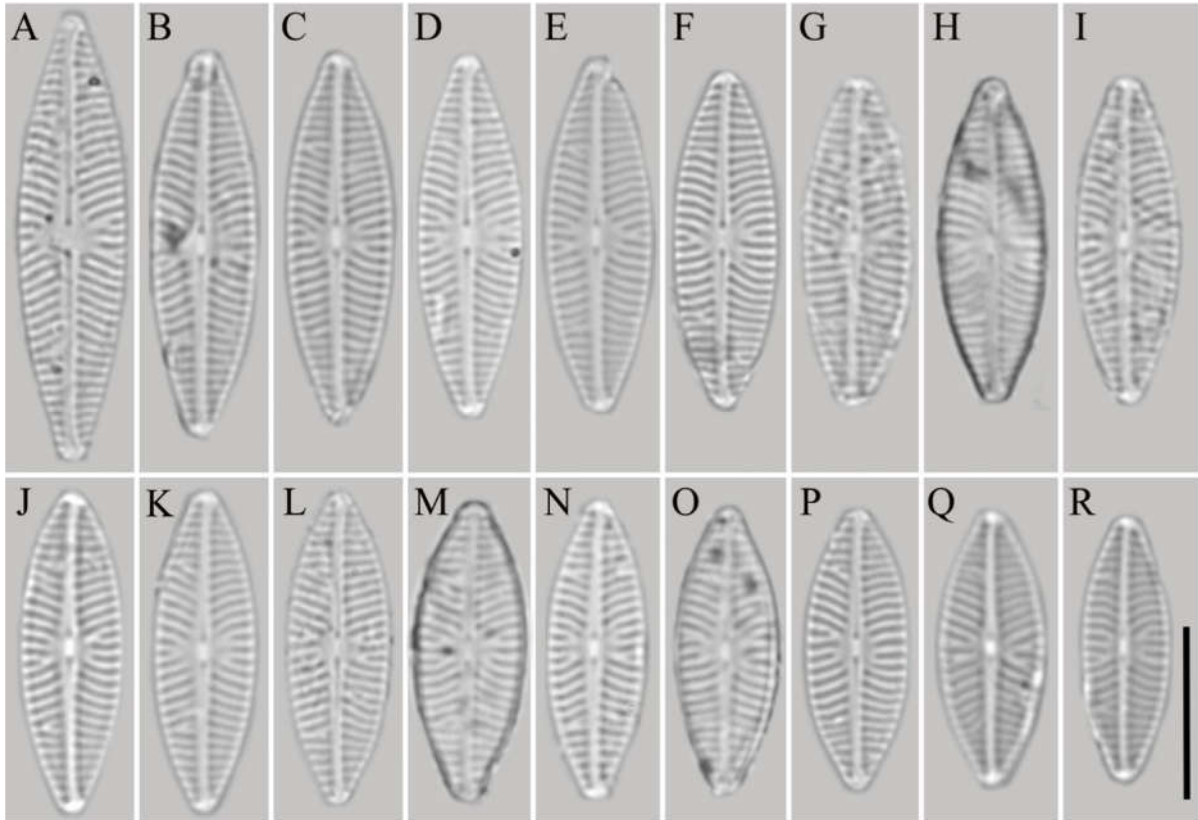


Figura 2. *Navicula spp.*; A-R: variații morfologice (sursa: Cid-Rodríguez et al 2024).

### 3. Algele albastre-verzi (Cyanobacteria)

Deși sunt procariote, cianobacteriile sunt adesea incluse în categoria algelor datorită funcției lor ecologice similar (Monoran et al 2008). Specii de interes includ:

- ***Microcystis aeruginosa***: Aceasta este un bioindicator al eutrofizării și al poluării cu nutrienți. Producătoare de toxine, poate semnala poluarea și riscurile pentru sănătatea publică (Choi et al 2005).
- ***Anabaena spp.***: Este sensibilă la poluanți organici și la metale grele, fiind utilizată în testele de toxicitate pentru ape dulci (Apte et al 1998).

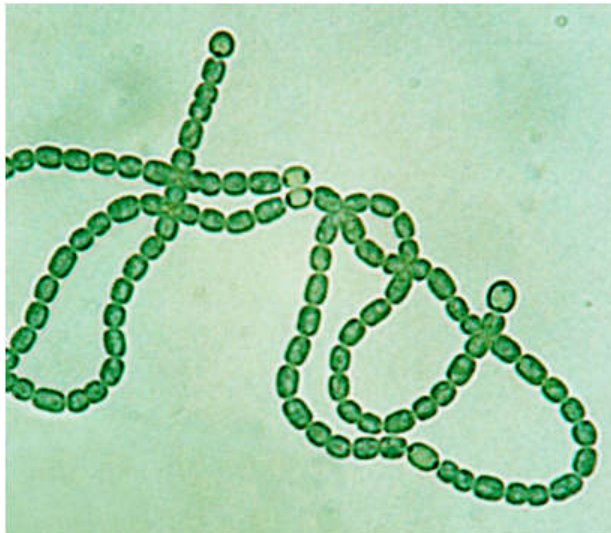


Figura 3. *Anabaena spp.* (sursa: Pernil et al 2015).

#### 4. Algele roșii (Rhodophyta)

Aceste alge sunt mai puțin utilizate ca bioindicatori, dar anumite specii pot reflecta poluarea specifică. De exemplu:

- ***Porphyra spp.***: Utilizată ocazional în studii de bioacumulare a metalelor grele în ecosisteme marine (Pérez et al 2007).
- ***Gracilaria spp.***: Este folosită în special pentru evaluarea toxicității în medii marine (Haglund et al 1996).

#### 5. Algele brune (Phaeophyceae)

Aceste alge predomină în medii marine și sunt utilizate pentru monitorizarea metalelor grele și a altor poluanți.

- ***Fucus vesiculosus***: Este utilizată pe scară largă ca bioindicator al contaminării cu metale grele și poluanți organici persistenti (Obluchinskaya et al 2022).
- ***Sargassum spp.***: Prezintă capacitatea de a acumula metale grele și este utilizată în evaluarea contaminării mediului marin (Natsir et al 2017).

#### Metode utilizate în ecotoxicologie cu alge

Studiile ecotoxicologice care implică algele includ diverse metode, cum ar fi:

- **Teste de creștere**: Monitorizarea ratei de creștere în prezența poluanților.



- **Teste de bioacumulare:** Determinarea concentrațiilor de poluanți acumulate în biomasa algelor.
- **Teste de fotosinteză:** Evaluarea inhibiției fotosintezei prin monitorizarea consumului de CO<sub>2</sub> sau a producției de O<sub>2</sub>.

### **Considerații de încheiere**

Utilizarea algelor ca bioindicatori în ecotoxicologie este esențială pentru evaluarea impactului poluanților asupra ecosistemelor acvatice. Diversitatea taxonomică a acestora permite analiza unei game largi de contaminanți și condiții de mediu. Prin integrarea datelor oferite de diferite grupuri de alge, se pot obține informații valoroase despre starea și dinamica ecosistemelor afectate de poluare.

### **Capitolul III. Utilizarea lichenilor ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie**

Lichenii, organisme simbiotice formate dintr-o asociere mutualistă între o algă sau cianobacterie (fotobiont) și o ciupercă (micobiont) (Petrescu-Mag 2023a), reprezintă un grup taxonomic deosebit de valoros pentru studiile de ecotoxicologie (Gavriloaie & Voicu 2023). Aceștia sunt recunoscuți ca bioindicatori eficienți datorită sensibilității lor la poluanții atmosferici și capacitatea de a acumula și reține diverse substanțe toxice din mediu (Petrescu-Mag & Păpuc 2019b).

#### **Caracteristici generale ale lichenilor ca bioindicatori**

Lichenii sunt caracterizați de absența cuticulei și a sistemului vascular, ceea ce le permite absorbția directă a apei și a substanțelor dizolvate din atmosferă (Petrescu-Mag & Păpuc 2019b). Această proprietate, împreună cu durata lor de viață lungă, face ca lichenii să reflecte fidel variațiile temporale și spațiale ale poluării mediului (Petrescu-Mag et al 2010). În plus, structura lor simplă și adaptabilitatea lor la o gamă largă de condiții climatice împing la utilizarea lor pe scară largă în diverse regiuni geografice (Todoran et al 2010).

#### **Categoriile taxonomice ale lichenilor**

Lichenii sunt clasificați în funcție de caracteristicile morfologice și taxonomice, fiind grupați în trei categorii majore: lichenii crustoși, lichenii folioși și lichenii fruticuloși. Fiecare categorie include specii reprezentative cu aplicații ecotoxicologice specifice.

#### **Lichenii crustoși**

Această categorie cuprinde lichenii care aderă strâns la substrat, formând cruste compacte. Datorită aderenței lor puternice, acești licheni sunt ideali pentru monitorizarea pe termen lung a poluării mediului.

- **Specii reprezentative:**
  - *Graphis scripta* – utilizat pentru detectarea metalelor grele în medii urbane.
  - *Lecanora conizaeoides* – sensibil la dioxidul de sulf, fiind frecvent utilizat în studiile de poluare industrial (Purvis 2010).

### Lichenii folioși

Această grupă include lichenii cu talul sub formă de foițe plate, slab atașați de substrat. Datorită suprafeței lor mari de absorbție, aceștia sunt sensibili la schimbările de compoziție chimică a aerului.

- **Specii reprezentative:**

- *Xanthoria parietina* – tolerantă la concentrații ridicate de azot, utilizată ca bioindicator pentru poluarea cu amoniac.
- *Parmotrema perlatum* – folosit pentru monitorizarea ozonului troposferic.

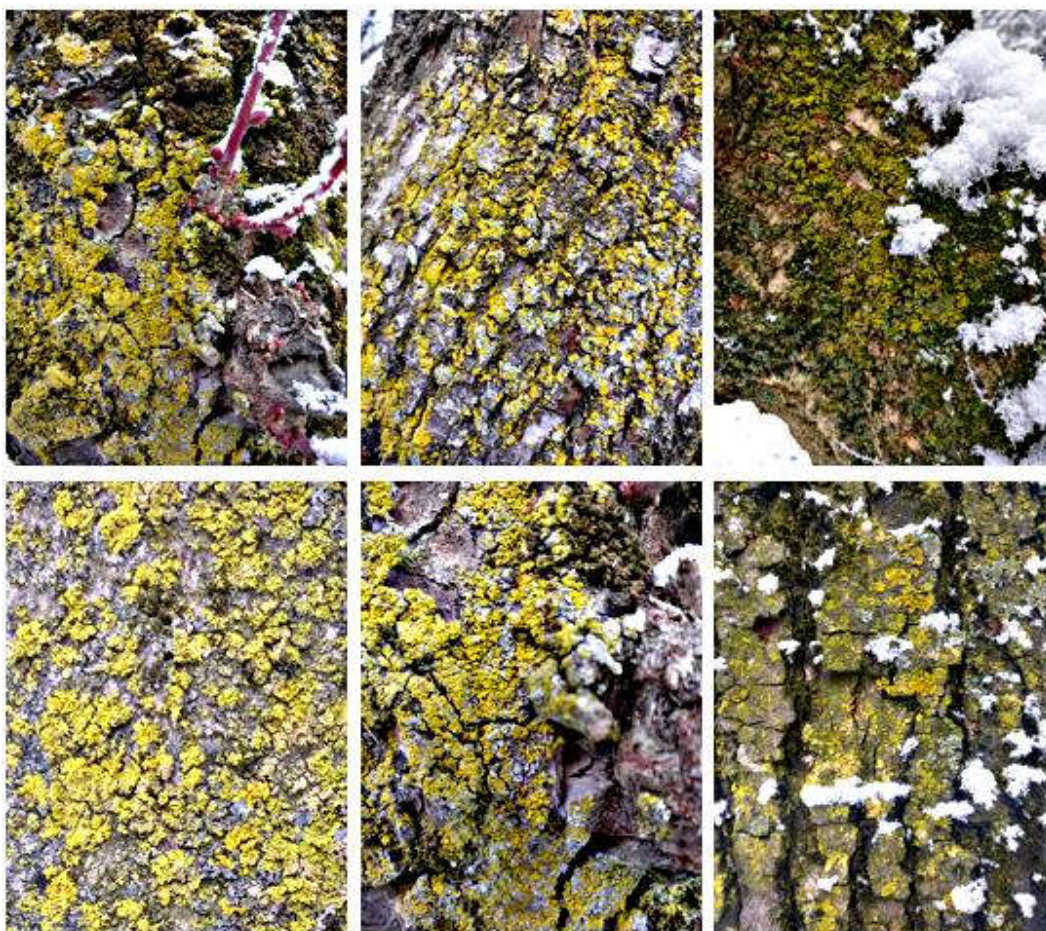


Figura 4. Lichenul galben, sau *Xanthoria parietina* (sursa: Petrescu-Mag & Păpuc 2019b).

### Lichenii fruticuloși

Acești licheni au taluri ramificate, care pot fi erecte sau pendente. Datorită morfologiei lor tridimensionale, sunt extrem de eficienți în acumularea poluanților atmosferici.

- **Specii reprezentative:**

- *Usnea barbata* – utilizată pentru detectarea metalelor grele, inclusiv cadmiu și plumb.
- *Evernia prunastri* – folosită pentru monitorizarea compușilor organici volatili (COV) (Paoli et al 2019) (Figura 5).



Figura 5. *Evernia prunastri* (lichen de prun) (sursa: Saxifraga, Willem van Kruijsbergen; disponibilă la: <http://freenatureimages.eu/>).

### **Aplicabilitatea ecotoxicologică a lichenilor**

Lichenii sunt folosiți într-o varietate de studii ecotoxicologice datorită următoarelor caracteristici:

#### **1. Monitorizarea poluării aerului:**

- Lichenii sunt utilizați pentru a evalua concentrațiile de poluanți atmosferici, cum ar fi dioxidul de sulf, oxizii de azot, ozonul și metalele grele. Speciile sensibile pot indica prezența poluanților chiar și la concentrații scăzute (Mag 2003).

#### **2. Bioacumularea metalelor grele:**

- Datorită capacității lor de a reține metale grele, cum ar fi plumbul, mercurul și cadmiul, lichenii sunt adesea folosiți pentru a evalua impactul activităților industriale și miniere (Mag 2003).

#### **3. Evaluarea stării de sănătate a ecosistemelor:**

- Diversitatea speciilor de licheni dintr-o regiune este un indicator al calității aerului și al stării generale a ecosistemelor forestiere și urbane (Mag 2003).

## Considerații de încheiere

Lichenii reprezintă un instrument indispensabil în ecotoxicologie, datorită sensibilității lor la variațiile de mediu și capacitatea lor de a reflecta nivelurile de poluare pe termen lung. Studiarea diversității taxonomice a lichenilor și utilizarea speciilor reprezentative pentru diferite tipuri de poluanți oferă o perspectivă cuprinzătoare asupra impactului activităților antropice asupra ecosistemelor.

## Capitolul IV. Utilizarea mușchilor de pământ ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie

Mușchii de pământ, aparținând briofitelor, sunt un grup taxonomic unic de plante care joacă un rol esențial în ecologia mediului terestru. Briofitele sunt plante non-vasculare, care includ trei categorii principale: mușchii propriu-ziși (Bryophyta), hepaticile (Marchantiophyta) și antoceotele (Anthocerotophyta). Aceste plante sunt extrem de sensibile la schimbările chimice și fizice din mediu, ceea ce le face excelente bioindicators în studiile de ecotoxicologie (Vásquez et al 2019). Acest capitol explorează utilizarea lor în acest context, punând accent pe categoriile taxonomice și speciile reprezentative din fiecare grup.

### Briofitele și caracteristicile lor relevante pentru ecotoxicologie

1. **Absența sistemului vascular:** Exact ca în cazul lichenilor, briofitele absorb apa și nutrienții direct prin suprafața lor, ceea ce le expune rapid la contaminanți din mediu.
2. **Rata metabolică scăzută:** Aceasta permite acumularea contaminanților în structura lor pe perioade lungi de timp.
3. **Adaptabilitatea la medii diverse:** Briofitele pot trăi într-o varietate de habitate, de la medii umede până la medii aride, oferind o acoperire largă pentru monitorizarea ecotoxicologică.
4. **Indicatori de poluare atmosferică și de sol:** Ele sunt sensibile la metale grele, la pesticide, la poluanți organici persistenti și schimbări de pH, ceea ce le face ideale pentru detectarea și monitorizarea poluării (Rao 1982).

### Categoriile taxonomice ale briofitelor și speciile reprezentative

#### 1. Mușchii propriu-ziși (Bryophyta)

Această clasă include cele mai cunoscute briofite, cu numeroase specii utilizate în ecotoxicologie datorită sensibilității lor la poluanți chimici.

- **Specii reprezentative:**
  - *Sphagnum spp.* (mușchii de turbă, Figura 6): Excepționali în acumularea metalelor grele precum cadmiul, plumbul și mercurul; frecvent folosiți în studiile de monitorizare a solurilor acide și a zonelor umede.
  - *Hypnum cupressiforme*: Sensibil la poluarea cu metale grele, utilizat pe scară largă pentru evaluarea calității aerului (Capozzi et al 2017).
  - *Pleurozium schreberi*: Utilizat pentru monitorizarea contaminării cu radionuclizi și poluanți industriali.



- *Bryum argenteum*: Adaptabil la medii urbane (Kolli et al 2022), sensibil la poluarea atmosferică, inclusiv oxizi de azot.



Figura 6. Diverse specii de *Sphagnum* (sursa: Zych et al 2023).

## 2. Hepaticele (Marchantiophyta)

Hepaticele sunt un grup taxonomic mai puțin studiat, dar cu potențial ecotoxicologic considerabil datorită suprafeței lor mari de absorbție și a sensibilității ridicate la toxine.

- **Specii reprezentative:**

- *Marchantia polymorpha*: Una dintre cele mai comune hepatices, utilizată pentru detectarea poluării industriale cu metale grele și pesticide.

- *Lunularia cruciata*: Frecventă în habitate antropizate, folosită în studii privind contaminarea cu hidrocarburi policiclice aromatice (PAH).
- *Conocephalum conicum*: Utilizat în monitorizarea poluării solului cu nitrați și fosfați din agricultură.

### 3. Anthocerotophyta

Acest grup include specii mai rare, dar cu trăsături interesante pentru ecotoxicologie, cum ar fi capacitatea lor de a coloniza soluri perturbate.

- **Specii reprezentative:**

- *Anthoceros agrestis*: Sensibil la schimbările de pH și concentrațiile de metale grele, fiind utilizat în studii experimentale de poluare a solului.
- *Phaeoceros carolinianus*: Reprezentativ pentru habitatele umede, sensibil la contaminarea cu nitrați.

### Studiile de ecotoxicologie bazate pe briofite

Briofitele sunt utilizate în diverse tipuri de studii ecotoxicologice:

1. **Monitorizarea poluării atmosferice:** Specii precum *Hypnum cupressiforme* și *Bryum argenteum* sunt folosite pentru a evalua nivelurile de metale grele și gaze toxice din atmosferă (Capozzi et al 2017; Kolli et al 2022). Studiile arată o corelație directă între concentrația poluanților și acumularea lor în briofite.
2. **Evaluarea contaminării solului:** Specii precum *Sphagnum spp.* sunt excelente pentru monitorizarea contaminanților în solurile din zonele industriale.
3. **Poluarea apelor:** Briofitele din habitatele acvatice, precum *Fontinalis antipyretica*, sunt utilizate pentru detectarea metalelor grele și a altor poluanți chimici.

### Avantajele utilizării briofitelor ca bioindicatori

1. **Ubiquitatea lor:** Briofitele se găsesc în aproape toate ecosistemele terestre, ceea ce permite o acoperire largă a monitorizării ecologice.
2. **Senzaționala lor sensibilitate:** Răspund rapid la schimbările chimice și fizice din mediu, ceea ce le face ideale pentru detectarea timpurie a poluării.
3. **Acumularea de poluanți:** Aceste plante pot acumula și reține poluanți în proporții mari, oferind informații detaliate despre contaminarea pe termen lung.

### Concluzii de încheiere

Briofitele reprezintă un instrument valoros în ecotoxicologie datorită sensibilității lor unice și capacității de a reflecta calitatea mediului. Speciile din grupele taxonomice Bryophyta, Marchantiophyta și Anthocerotophyta oferă un spectru larg de opțiuni pentru studiile de monitorizare ecologică. Cercetările viitoare ar trebui să se concentreze pe optimizarea metodelor de utilizare a briofitelor în studiile ecotoxicologice, precum și pe identificarea speciilor mai puțin studiate, dar cu potențial ridicat.

## Capitolul V. Utilizarea nevertebratelor din sol ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie

Nevertebratele din sol joacă un rol esențial în ecotoxicologie, datorită sensibilității lor la schimbările chimice, fizice și biologice ale mediului (Petrescu-Mag & Oroian 2015). Aceste organisme oferă informații valoroase despre starea de sănătate a ecosistemelor terestre, deoarece interacționează direct cu solul și sunt expuse contaminanților prezenți în acesta (Petrescu-Mag & Oroian 2015). Mai jos sunt prezentate principalele categorii taxonomice de nevertebrate terestre utilizate ca bioindicatori, alături de speciile cele mai reprezentative din fiecare grup.

### 1. Annelida (râme)

Râmele sunt considerate bioindicatori cheie în studiile de ecotoxicologie datorită rolului lor fundamental în procesele de formare a solului și a biomasei ridicate. Acestea sunt sensibile la metale grele, pesticide și alte substanțe toxice.

- **Specii reprezentative:**

- *Eisenia fetida* – specie model folosită frecvent în testele de toxicitate datorită ciclului de viață scurt și sensibilității ridicate la poluanți (Irizar et al 2015).
- *Lumbricus terrestris* – importantă pentru studiile asupra mobilității contaminanților în stratul superior al solului (Zhao et al 2022).
- *Aporrectodea caliginosa* – folosită în evaluarea impactului pe termen lung al pesticidelor (Halaimia et al 2021; Petit-dit-Grézériat et al 2024) (Figura 7).



Figura 7. *Aporrectodea caliginosa* (sursa: SERC, Edgewater, Anne Arundel County, MD - 03/18/10. Fotografie executată de Chih-Han Chang, Johns Hopkins University; CC BY 2.0).

## 2. Arthropoda (artropode terestre)

Artropodele constituie un grup extrem de divers, incluzând insecte, acarieni și miriapode, fiecare având un rol ecologic unic. În funcție de sensibilitatea lor la poluanți, aceste organisme sunt utile în detectarea contaminării locale a solului.

- **Insecte și colembolae:**

- *Formica spp.* (furnici) – indicatori ai perturbărilor ecosistemice cauzate de metale grele (Belskaya et al 2019).
- Collembola (clasa colembolae) – sunt animale foarte sensibile la schimbările chimice ale solului; folosite pentru a evalua impactul pesticidelor și al contaminanților organici (Joimel et al 2022).
- *Tenebrio molitor* (viermele de făină) – testat pentru acumularea metalelor grele în lanțul trofic terestru (Cardoso et al 2023).

- **Acarieni:**

- Oribatida (ordin, parte din supraordinul Acariformes) - sunt indicatori ai stării generale a solului; reacționează la modificări ale structurii solului cauzate de contaminanți chimici (Akrami et al 2022).

- **Miriapode:**

- *Julus terrestris* (miriapode diplopode) – utilizate pentru a evalua bioacumularea metalelor grele precum cadmiul și plumbul.

## 3. Mollusca

Melcii terestri reprezintă un alt grup important de bioindicatori, datorită sensibilității lor la poluanți precum metalele grele și acidifierea solului. Cochiliile lor pot reflecta acumularea de metale toxice pe termen lung.

- **Specii reprezentative:**

- *Helix aspersa* (Figura 8) – utilizată frecvent pentru evaluarea contaminării cu metale grele (Beeby & Richmond 2002).
- *Cepaea nemoralis* – folosită în monitorizarea acidificării solului și a nivelului de pesticide sau metale grele (Zawisza-Raszka et al 2010).





Figura 8. *Helix aspersa* (sursa: Dinică et al 2021).

#### 4. Nematoda (nematode)

Nematodele sânt organisme filiforme, minuscule, care trăiesc în sol și au o sensibilitate ridicată la poluanți, mai ales la pesticide și metale grele. Ele sunt utilizate pentru a evalua modificările funcționale ale ecosistemului solului.

- **Specii reprezentative:**

- *Caenorhabditis elegans* – specie model pentru testele de toxicitate moleculară și ecotoxicologie experimentală (Wang 2022) (Figura 9).
- *Heterodera glycines* – sensibilă la contaminarea cu pesticide și substanțe chimice industrial (Sipes & Schmitt 1989).

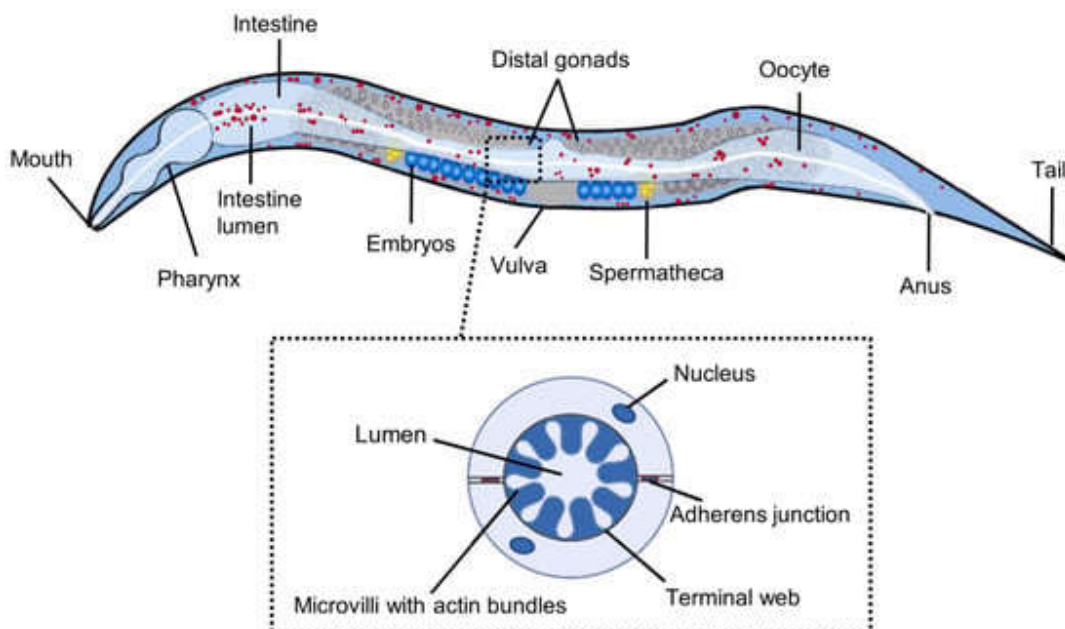


Figura 9. Anatomia speciei *Caenorhabditis elegans*, unul dintre cele mai cunoscute modele pentru cercetarea biologică (Petrescu-Mag & Păpuc 2019a) (sursa figurii: An et al 2023).

## 5. Enchytraeidae

Enchitreidele sunt viermi mici, transparentți, care trăiesc în sol și sunt utilizați în special în testele ecotoxicologice datorită capacității lor de a acumula metale grele.

- **Specii reprezentative:**

- *Enchytraeus albidus* (parte din grupul Annelida) – folosit pentru a evalua impactul contaminării organice și chimice asupra solului (Amorim et al 2008).
- *Enchytraeus crypticus* (Figura 10) – utilizat în teste standardizate de ecotoxicologie pentru pesticide și metale grele (Zhang et al 2024).

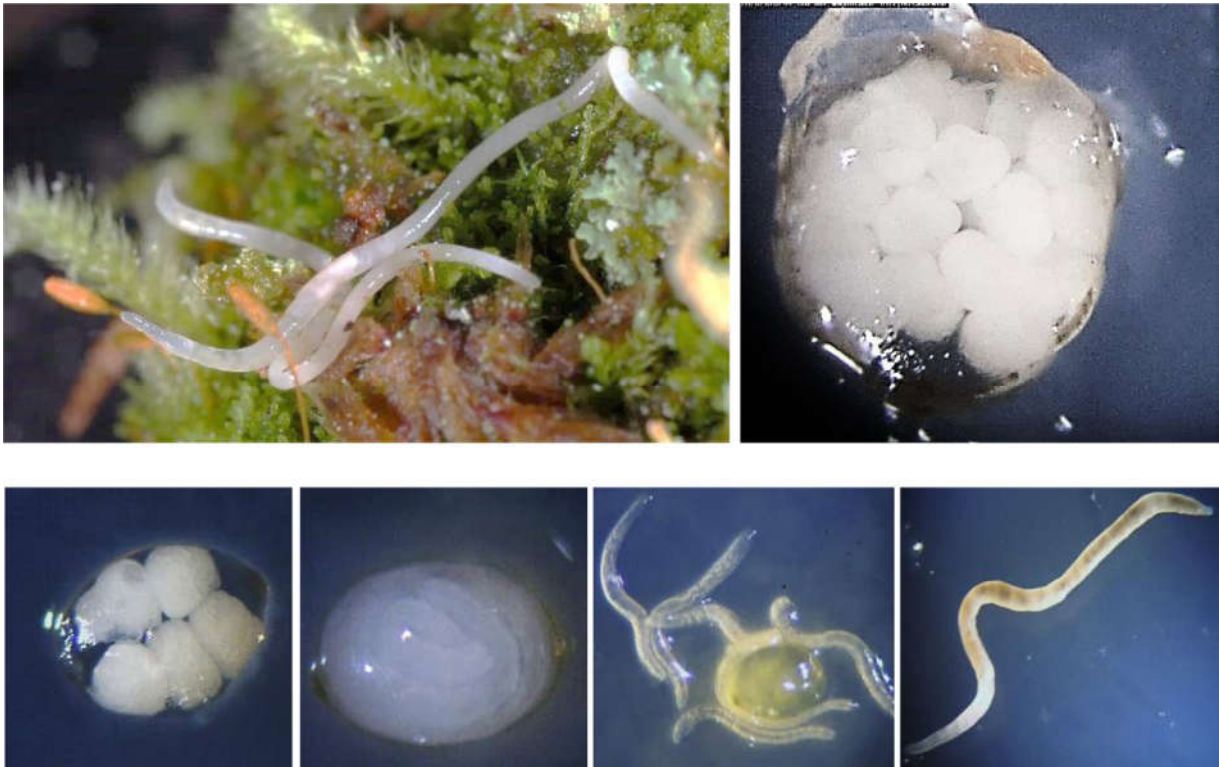


Figura 10. *Enchytraeus crypticus* sunt nevertebrate din sol, aparținând Oligochetelor. Dimensiunea lor variază de la 6 la 9 mm și se reproduc atât sexual, cât și asexuat, purtând coconii cu embrionii în clitellum și eliberându-i atunci când se maturizează; sunt semitransparente, iar coconii și alte organite pot fi vizualizate direct (de exemplu, sub lupă binocular în vasele de cultură). a, O fotografie într-un ansamblu de habitat natural. b, Un cocon cu embrioni. c, Un cocon în stadiul post-ouă (începutul diferențierii). d, Un cocon cu puii. e, Juvenili dintr-un cocon clocit; f, un adult (sursa: Amorim et al 2021).

### Considerații de încheiere

Utilizarea nevertebratelor din sol ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie oferă o abordare holistică în evaluarea impactului poluării asupra ecosistemelor terestre. Alegerea speciilor potrivite pentru studiu depinde de tipul de contaminant și de scopul cercetării. Rămele, artropodele, melcii, nematodele și

enchitreidele reprezintă grupuri taxonomice cheie datorită sensibilității lor și a rolului ecologic major în sol. Diversitatea acestor organisme oferă perspective valoroase asupra proceselor de bioacumulare și toxicitate, ajutând la elaborarea de politici eficiente de protecție a mediului.

## Capitolul VI. Utilizarea nevertebratelor acvatice dulcicole ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie

Nevertebratele acvatice dulcicole reprezintă un grup extrem de diversificat de organisme care joacă un rol esențial în ecologia ecosistemelor de ape dulci. Datorită sensibilității lor variate la poluanți chimici, perturbări fizice și modificări biologice, aceste organisme sunt utilizate frecvent ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie. Acest capitol prezintă importanța principalelor categorii taxonomice de nevertebrate dulcicole și speciile lor reprezentative, subliniind contribuțiile lor în evaluarea calității mediului acvatic.

### Principalele categorii taxonomice

#### 1. Insecte acvatice

Insectele acvatice formează cea mai variată categorie de nevertebrate dulcicole utilizate ca bioindicatori. Ele includ mai multe ordine importante:

- **Ephemeroptera (efemeroptere)**
  - Specii reprezentative: *Ephemera danica*, *Baetis spp* (Figura 11) (cel mai frecvent se utilizează *Baetis rhodani*).
  - Caracteristici: Larvele de efemeroptere sunt extrem de sensibile la concentrațiile crescute de nitrați și fosfați, precum și la oxigenul dizolvat scăzut (Kladarić et al 2021).



Figura 11. *Baetis dihyae*, femelă: (a) corp, vedere ventrală; (b) corp, vedere dorsală (sursa: Dambri et al 2023).

- **Plecoptera (plecoptere)**

- Specii reprezentative: *Perla marginata*, *Nemoura cinerea*
- Caracteristici: Sunt indicatori ai apelor curate și bine oxigenate, fiind sensibile la poluarea organică și chimică (Salkić et al 2014; Akamagwuna et al 2021).

- **Trichoptera (tricoptere)**

- Specii reprezentative: *Hydropsyche angustipennis*, *Rhyacophila dorsalis*
- Caracteristici: Larvele construiesc tuburi protectoare și sunt utile pentru a evalua efectele sedimentării și ale poluării cu metale grele. Specii de plecoptere Hydropsychidae și Polycentropodidae sunt prezentate în Figura 12. Ca și plecopterele, trichopterele sunt bioindicatori ai calității apei (Akamagwuna et al 2021).

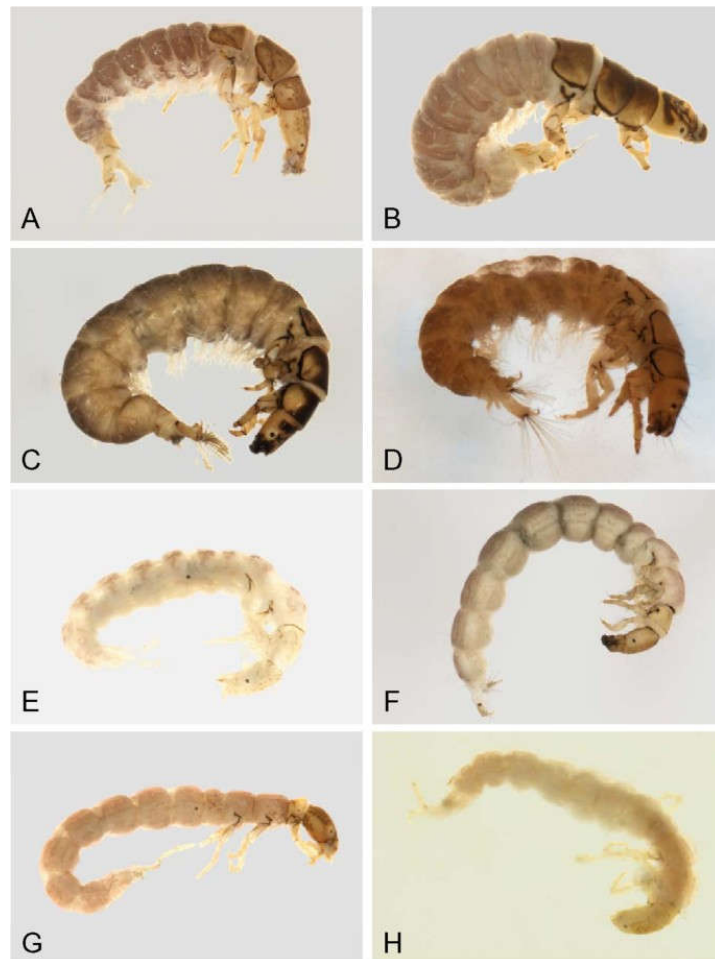


Figura 12. Hydropsychidae, vedere laterală A: *Arctopsyche ladogensis*, B: *Hydropsyche alternans*, C: *Hydropsyche bronta*, D: *Hydropsyche vexa*; Polycentropodidae, vedere laterală E: *Neureclipsis crepuscularis*, F: *Neureclipsis valida* G: *Polycentropus aureoles*, H: *Polycentropus smithae* (sursa: Ruiter et al 2013).

- **Diptera (diptere)**

- Specii reprezentative: *Chironomus spp* (chironomide, Figura 13), *Simulium damnosum* (simulide)
- Caracteristici: Chironomidele sunt utilizate frecvent în studii de ecotoxicologie datorită toleranței lor la diverse tipuri de poluare, inclusiv poluanți organici și metale grele.

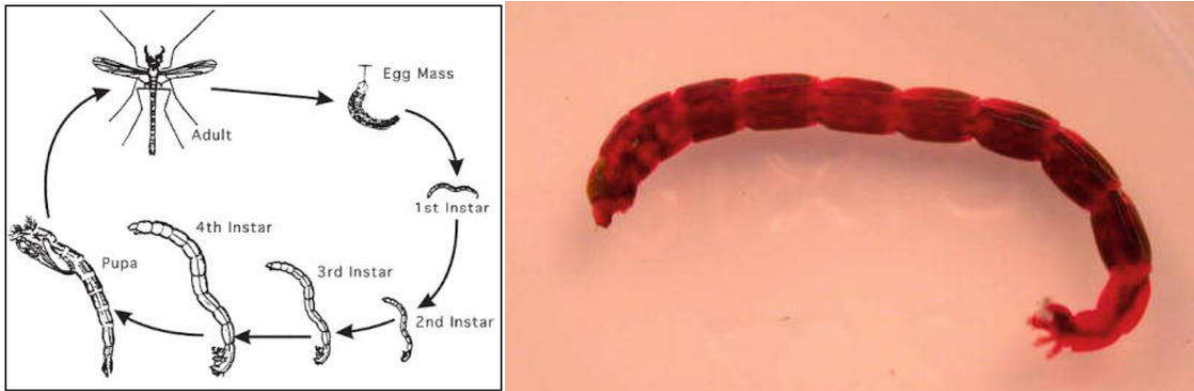


Figura 13. Ciclul de viață la chironomide (stânga), larva de *Chironomus spp.* (dreapta) (sursa: Karima 2021).

## 2. Crustacee dulcicole

Crustaceele sunt o componentă importantă a comunităților acvatice, având un rol cheie în lanțurile trofice.

- **Cladocera (cladocere)**

- Specii reprezentative: *Daphnia magna* (Figura 14), *Daphnia pulex*, *Ceriodaphnia dubia*
- Caracteristici: Aceste specii sunt utilizate extensiv în testele standardizate de toxicitate acută și cronică pentru a evalua efectele poluanților asupra reproducerii și supraviețuirii (Lares et al 2022).



Figura 14. *Daphnia magna* (sursa: Chamorro et al 2022).



- **Copepoda (copepode)**

- Specii reprezentative: *Cyclops abyssorum*, *Eudiaptomus gracilis*
- Caracteristici: Copepodele (Figura 15) sunt sensibile la pesticide și perturbări chimice, fiind adesea folosite în monitorizarea poluării cu hidrocarburi și metale grele (Hansen et al 2024).

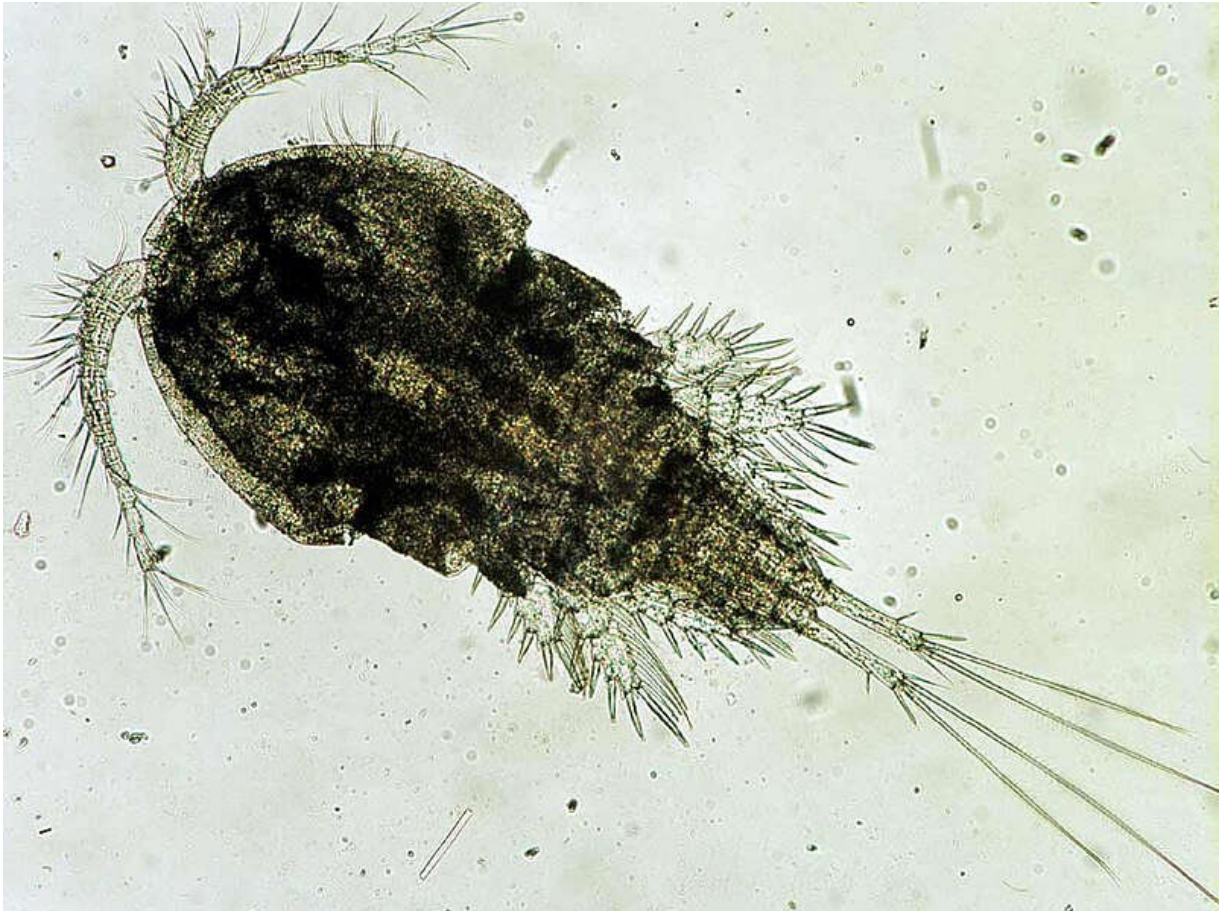


Figura 15. *Cyclops spp.* (sursa: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=550697>).

- **Amphipoda (amfipode)**

- Specii reprezentative: *Gammarus pulex*, *Echinogammarus spp* (Figura 16).
- Caracteristici: Amfipodele sunt bioindicatori excelenți pentru poluarea cu metale grele și substanțe organice toxice, având o sensibilitate ridicată la calitatea apei (Taddei et al 2021).



Figura 16. *Echinogammarus monodi* (♂ 9 mm; ♀ 7 mm) (sursa: Hadjab et al 2021).

### 3. Moluște dulcicole

Moluștele sunt utilizate pe scară largă în ecotoxicologie datorită sensibilității lor la poluanți chimici și bioacumulării metalelor grele.

- **Bivalvia (bivalve)**

- Specii reprezentative: *Unio pictorum* (Figura 17), *Anodonta cygnea*
- Caracteristici: Bivalvele filtrează cantități mari de apă, acumulând poluanți chimici în tesuturile lor, ceea ce le face indicatori excelenți pentru metale grele și pesticide (Canli & Canli 2024).



Figura 17. *Unio pictorum* din Delta Dunării (sursa: Pakhnevich et al 2022).

- **Gastropoda (gastropode)**

- Specii reprezentative: *Lymnaea stagnalis*, *Planorbarius corneus*
- Caracteristici: Gastropodele sunt sensibile la poluanți precum nitrații și fosfații și sunt utilizate pentru evaluarea eutrofizării. De asemenea, sunt utilizate în monitorizarea poluării cu metale grele (Fitria et al 2023).

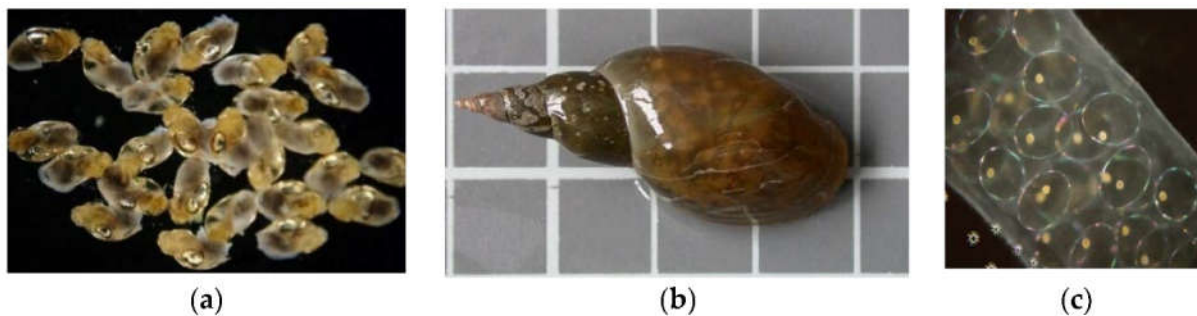


Figura 18. *Lymnaea stagnalis*. (a) Juvenili (lungime de 2–3 mm); (b) adult (lungime de 3–5 cm); (c) un cocon cu embrioni în dezvoltare în ouă (lungimea coconului: 1–4 cm; diametrul oului: aproximativ 1 mm) (sursa: Mazur et al 2016).

#### 4. Anelide acvatice

Anelidele, în special oligochetele, sunt utilizate în evaluarea poluării sedimentelor.

- **Oligochaeta (oligochete)**

- Specii reprezentative: *Tubifex tubifex* (Figura 19), *Lumbriculus variegatus*



- Caracteristici: Aceste specii sunt extrem de tolerante la condiții de poluare organică severă și sunt utilizate în studii privind toxicitatea sedimentelor.



Figura 19. *Tubifex tubifex* (sursa: Méndez-Fernández et al 2023).

- **Hirudinea (hirudinee sau lipitori)**

- Specii reprezentative: *Erpobdella octoculata*, *Glossiphonia complanata*
- Caracteristici: Hirudineele sunt mai puțin utilizate în ecotoxicologie, dar pot indica poluarea organică severă și deficitul de oxigen.

## 5. Cnidari dulcicoli

Deși mai puțin cunoscute, hidrozoarele dulcicole pot fi folosite în evaluările ecologice.

- **Hydrozoa (hidrozoare)**

- Specii reprezentative: *Craspedacusta sowerbyi*
- Caracteristici: Hidrozoarele sunt indicatori ai apelor cu niveluri moderate de poluare și temperaturi ridicate.

## Rolul lor în ecotoxicologie

Bioindicatorii furnizează informații critice despre starea ecosistemelor acvatice. Studiile de ecotoxicologie folosesc nevertebratele dulcicole pentru:

1. **Evaluarea poluării chimice**

- Determinarea concentrațiilor toxice ale metalelor grele, pesticidelor și poluanților organici persistenti.
2. **Monitorizarea schimbărilor în structura comunităților**
    - Identificarea modificărilor în diversitatea taxonomică și abundența speciilor.
  3. **Bioacumularea și transferul trofic**
    - Studierea modului în care poluanții sunt acumulați și transferați prin lanțul trofic.
  4. **Testare standardizată**
    - Utilizarea speciilor precum *Daphnia magna* și *Chironomus riparius* în testele de toxicitate acută și cronică.

### **Considerații de încheiere**

Nevertebratele acvatice dulcicole reprezintă bioindicatori esențiali în studiile de ecotoxicologie datorită sensibilității lor ridicate și a diversității lor ecologice. Prin integrarea acestor organisme în monitorizarea ecologică, se pot identifica și gestiona mai eficient sursele de poluare, contribuind la protecția și restaurarea ecosistemelor de ape dulci.

## **Capitolul VII. Utilizarea nevertebratelor acvatice marine ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie**

Nevertebratele acvatice marine joacă un rol fundamental în evaluarea stării de sănătate a ecosistemelor marine. Datorită sensibilității lor la schimbările de mediu, acestea sunt utilizate pe scară largă ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie (Leidonald et al 2024). Această categorie de organisme oferă informații valoroase despre prezența poluanților, efectele acestora asupra biodiversității și modificările în structura trofică. În acest capitol, vom analiza cele mai reprezentative grupuri taxonomice de nevertebrate marine utilizate ca bioindicatori, punând accent pe speciile specifice din fiecare grup.

### **Grupe taxonomice relevante și specii reprezentative**

#### **1. Moluște**

Moluștele sunt printre cei mai utilizați bioindicatori în ecotoxicologie, datorită abilității lor de a bioacumula poluanți în tesuturi.

- **Bivalve:**
  - *Mytilus spp* (midiile): Utilizate pentru monitorizarea metalelor grele, microplasticului (von Hellfeld et al 2022; Figura 20) și hidrocarburilor aromatice policiclice (PAH) (Baumard et al 1999).
  - *Pinctada radiata* (stridia perlată): Indicator al contaminării cu metale și pesticide.



Figura 20. Acumularea de microplastic în țesutul scoicilor din genul *Mytilus* (sursa: von Hellfeld et al 2022).

- **Gasteropode:**

- *Littorina littorea* (melcul de mare): Sensibil la contaminarea cu tributilstanu (TBT) și alți compuși organici (Bauer et al 1997) (Figura 21).
- *Haliotis spp.* (abalone): Se folosesc în monitorizarea poluării organice și a anomaliilor cauzate de poluanții disruptori endocrine (Liu et al 2011).



Figure 21. *Littorina littorea* (sursa: Amy Benson, U.S. Geological Survey - <https://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.asp?speciesID=1009>).

## 2. Crustacee

Crustaceele sunt folosite în special pentru a evalua efectele metalelor grele și pesticidelor.

- **Amfipode:**

- *Gammarus spp.*: Este un indicator al toxicității acute cauzate de metale grele.
- *Corophium volutator*: Este sensibil la hidrocarburi și pesticide.

- **Decapode:**

- *Carcinus maenas* (crabul verde): Este folosit în evaluarea efectelor metalelor grele și a contaminării cu produse petroliere.
- *Penaeus monodon* (crevetele tigru): Indicator pentru poluarea cu nitrați și amoniac (Figura 22).

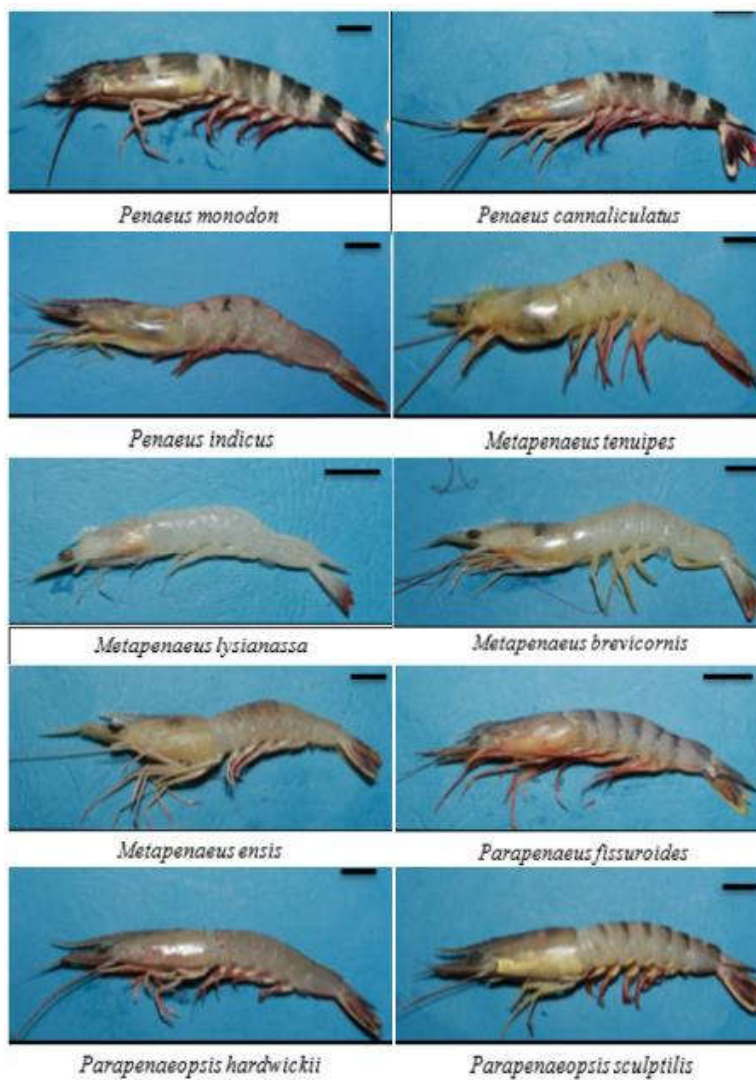


Figura 22. Specii de Peneidae (sursa: Wulandari et al 2019).

### 3. Cnidari

Cnidarii sunt sensibili la modificările de temperatură și la prezența poluanților organici persistenti (POP).

- **Corali:**
  - *Acropora spp.*: Indicator al acidificării oceanelor și contaminării chimice.
  - *Porites spp.*: Sensibil la metale grele și sedimente.
- **Meduze:**
  - *Aurelia aurita*: Utilizează pentru a evalua efectele poluării cu nutrienți și schimbărilor în salinitate.

### 4. Echinoderme

Echinodermele sunt folosite datorită sensibilității lor la contaminanți precum metalele grele și poluanții organici.

- **Arici de mare:**
  - *Paracentrotus lividus*: Indicator al toxicității acute cauzate de metale grele (El Idrissi et al 2023).
  - *Strongylocentrotus droebachiensis*: Utilizat în testele de fertilitate pentru a evalua toxicitatea apei (Siikavuopio 2009).
- **Holoturii:**
  - *Holothuria atra*: Monitorizează contaminarea sedimentelor cu metale grele.

### 5. Anelide

Anelidele polichete sunt bioindicatori excelenți pentru contaminarea sedimentelor marine.

- **Specii reprezentative:**
  - *Hediste diversicolor*: Sensibil la metale grele și compuși organici.
  - *Capitella capitata*: Indicator al poluării organice și al condițiilor hipoxice (Ogino & Toyohara 2019).

### 6. Spongieri

Spongierii au capacitatea de a filtra volume mari de apă, ceea ce le permite să acumuleze și să detecteze poluanți în concentrații scăzute.

- **Specii reprezentative:**
  - *Spongia officinalis*: Monitorizează contaminarea cu metale grele și hidrocarburi (Berthet et al 2005).
  - *Ircinia fasciculata*: Indicator pentru poluanții organici persistenti.

## 7. Tunicate

Tunicatele sunt utilizate pentru a evalua contaminarea cu metale grele și poluanți organici.

- **Specii reprezentative:**

- *Ciona intestinalis*: Bioindicator pentru poluarea cu metale grele (Eliso 2021) (Figura 23).
- *Styela clava*: Utilizat pentru monitorizarea hidrocarburilor.

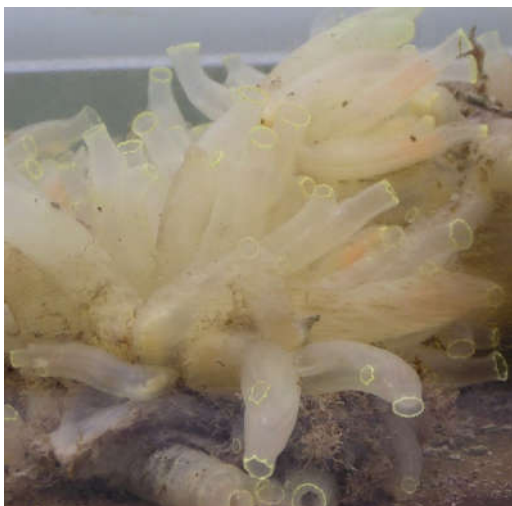


Figura 23. *Ciona intestinalis* (sursa: By perezoso, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1771320>).

### Considerații de încheiere

Folosirea nevertebratelor marine ca bioindicatori reprezintă o metodă robustă pentru monitorizarea și gestionarea poluării marine. Diversitatea lor taxonomică și sensibilitatea specifică la diferiți contaminanți le fac indispensabile în studiile de ecotoxicologie. Alegerea unui anumit grup taxonomic sau a unei specii depinde de tipul de poluant investigat, locația geografică și caracteristicile ecologice ale mediului marin. Aplicarea acestor cunoștințe poate contribui semnificativ la protejarea ecosistemelor marine și la promovarea unui management durabil al resurselor marine.

### Capitolul VIII. Utilizarea peștilor din apele continentale de apă dulce ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie

Peștii din apele continentale de apă dulce au devenit un instrument esențial în ecotoxicologie datorită sensibilității lor la diferite tipuri de poluanți și modificări ale mediului acvatic (Petrescu-Mag & Gradinaru 2018). Aceștia sunt utilizați pentru a evalua impactul substanțelor chimice, a schimbărilor fizice și biologice asupra ecosistemelor acvatice (Mag et al 2006). Peștii sunt buni bioindicatori datorită rolului lor important în lanțurile trofice și a capacității de a acumula substanțe toxice în organism (Mag & Petrescu 2006; Petrescu-Mag et al 2013).

Deși există o mulțime de specii utilizate în studiile de ecotoxicologie pe teren, pentru partea experimentală de laborator se preferă speciile de dimensiuni mici, care se pot reproduce ușor și care pot fi întreținute în laborator fără prea mari dificultăți. După tipul și scopul cercetării, distingem la pești: studii de embriotoxicitate (care sunt standardizate) și studii asupra altor stadii ontogenetice.

### Studiile de embriotoxicitate

Conform ghidurilor OCDE (Alămorean et al 2015), cele trei specii de pești de talie mică utilizate în mod obișnuit în testele standardizate de embriotoxicitate sunt:

Zebrafish (*Danio rerio*)

Este cea mai frecvent utilizată specie datorită ciclului său de viață rapid, fertilizării externe și transparenței embrionilor, ceea ce facilitează observarea dezvoltării (Figura 24).

Medaka (*Oryzias latipes*)

Această specie este apreciată pentru robustetea sa, fertilizarea externă, dimensiunea redusă și ciclul reproductiv scurt. Este utilizată și în testele de reproducere.

Fathead minnow (*Pimephales promelas*)

Este o specie nativă din America de Nord, utilizată în testele de toxicitate acută și cronică. Este inclusă în mai multe protocoale OCDE, inclusiv pentru evaluarea efectelor asupra dezvoltării și reproducerii.

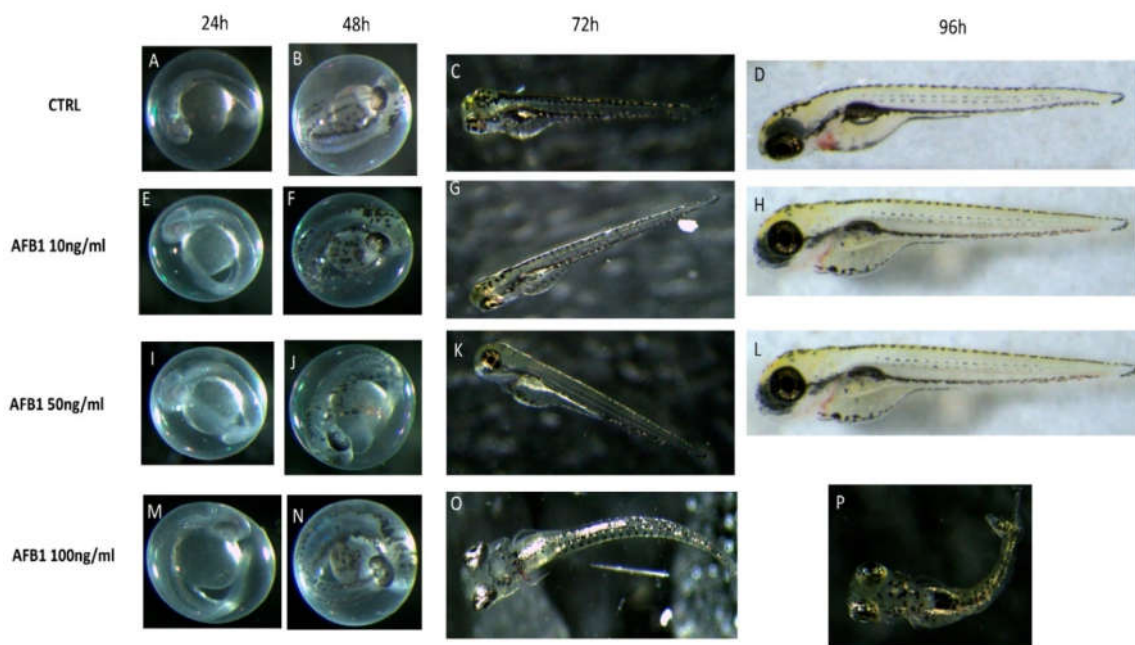


Figura 24. Zebrafish *Danio rerio*. Anomaliile morfologice la peștii zebură cauzate de expunerea la aflatoxina B1 (AFB1). Micrografii optice (A–P) care evidențiază malformații fizice în comparație cu grupul de control după incubarea cu AFB1 timp de 96 de ore post-fertilizare (hpf). Nu s-au observat malformații la doze mici de AFB1 după 24 hpf (E,I), 48 hpf (F,J), 72 hpf (G,K) și 96 hpf (H,L), și nici la doze mari de AFB1 după 24 hpf (M) și 48 hpf (N). Malformațiile au fost observate la doze mari de AFB1 după 72 hpf (O) și 96 hpf (P). (A–D) reprezintă dezvoltarea normală a embrionilor de pește zebură. Imaginile au fost capturate dintr-o perspectivă laterală utilizând un microscop disecting (mărire 25x). Scala, 500 μm (sursa: Di Paola et al 2021).

## **Rolul speciilor de Poeciliidae în studierea și detectarea unor disruptori endocrini**

Speciile din familia Poeciliidae, care includ guppy (*Poecilia reticulata*) și molly (*Poecilia latipinna*), joacă un rol esențial în cercetările ecotoxicologice privind disruptorii endocrini (EDC). Aceste organisme sunt utilizate frecvent datorită caracteristicilor biologice și ecologice care facilitează detectarea și evaluarea efectelor substanțelor chimice asupra sistemelor endocrine (Petrescu-Mag 2008).

### **Caracteristicile speciilor de Poeciliidae relevante pentru studii ecotoxicologice**

#### **1. Dimensiunea redusă și ciclul de viață scurt:**

- Aceste specii sunt ușor de crescut în laborator, necesitând spații reduse și resurse limitate.
- Reproducerea rapidă permite observarea efectelor substanțelor chimice asupra mai multor generații într-un timp scurt (Petrescu-Mag 2007ab).

#### **2. Modul de reproducere vivipar:**

- Speciile de Poeciliidae nasc pui vii, ceea ce oferă o oportunitate unică de a studia efectele EDC asupra dezvoltării embrionare în mediul intern al femelei (Oroian & Kovacs 2022).

#### **3. Prezența caracteristicilor sexuale secundare vizibile:**

- Masculii prezintă caracteristici fenotipice evidente (colorit intens, dimensiunea gonopodului), care sunt reglate de hormonii sexuali (Petrescu-Mag 2023b). Aceste trăsături pot fi utilizate pentru detectarea perturbărilor hormonale cauzate de EDC (Țălu et al 2012).

### **Utilizarea speciilor de Poeciliidae în detectarea disruptorilor endocrini**

Disruptorii endocrini sunt substanțe chimice care interferează cu funcționarea normală a sistemului endocrin, afectând reproducerea, dezvoltarea și comportamentul organismelor acvatice (Petrescu-Mag 2024). Speciile de Poeciliidae sunt utilizate pentru detectarea acestor efecte în diverse moduri.

#### **1. Evaluarea efectelor asupra reproducerii:**

- Testele de laborator implică expunerea peștilor la substanțe chimice suspectate de a fi EDC, cum ar fi bisfenolul A, estrogenii sintetici (etinilestradiol), sau pesticide (Petrescu-Mag 2007ab).
- Se monitorizează parametrii precum fertilitatea, numărul de pui născuți și raportul dintre sexe într-o populație expusă (Georgescu et al 2005).

#### **2. Analiza modificărilor fenotipice:**

- La masculii expuși la estrogeni sau la substanțe cu efecte estrogenice, caracteristicile sexuale secundare pot fi diminuate sau feminizate, iar producția de proteine precum vitelogenina (marker al expunerii la EDC) poate crește semnificativ (Georgescu et al 2005).

#### **3. Studiile de teren:**



- Populațiile de Poeciliidae din habitate contaminate sunt monitorizate pentru a identifica schimbări în structura populației sau anomalii reproductive. Astfel, ele servesc ca bioindicatori sensibili ai contaminării cu EDC.

#### **Avantaje și limitări**

##### **Avantaje:**

- Poeciliidae sunt specii robuste, adaptabile la diverse condiții de mediu și capabile să tolereze contaminanți la niveluri variate.
- Pot fi utilizate pentru teste de laborator și de teren, oferind o imagine cuprinzătoare asupra impactului EDC.

##### **Limitări:**

- Rezultatele obținute la Poeciliidae pot să nu fie direct extrapolabile la alte specii de pești sau la ecosisteme întregi.
- Necesitatea unor studii suplimentare pentru a valida sensibilitatea lor în raport cu diverse clase de EDC.



Figura 25. *Poecilia reticulata* (fotografie executată de Roșca Mircea).

## Rolul peștilor în studiile de ecotoxicologie

Peștii din apele dulci sunt sensibili la o gamă largă de poluanți, inclusiv metale grele, pesticide, substanțe chimice organice, medicamente și hormoni. Acest lucru face ca aceștia să fie utilizați pentru evaluarea efectelor acestor substanțe asupra sănătății ecologice a apelor dulci. Testele ecotoxicologice folosind pești pot fi acute sau cronice.

- **Testele acute** pentru a evalua efectele imediate ale poluanților asupra supraviețuirii și comportamentului peștilor.
- **Testele cronice** pentru a observa efectele pe termen lung asupra creșterii, reproducerii și comportamentului peștilor.

## Considerații de încheiere

Peștii din apele continentale de apă dulce sunt esențiali pentru studiile de ecotoxicologie, oferind o măsură fiabilă a calității apei și a impactului substanțelor toxice asupra ecosistemelor acvatice. Diversele specii dulcicole sunt utilizate frecvent datorită sensibilității lor la contaminare, iar prin utilizarea acestora se pot obține informații valoroase pentru protecția mediului acvatic și gestionarea resurselor de apă dulce.

## Capitolul IX. Utilizarea peștilor marini ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie

Peștii marini sunt considerați bioindicatori importanți în studiile de ecotoxicologie datorită poziției lor în lanțul trofic și a capacității lor de a acumula substanțe toxice în corpul lor. Aceste caracteristici le permit să ofere informații valoroase despre contaminarea ecosistemelor marine, precum și despre riscurile pentru alte specii, inclusiv pentru oameni, care consumă produse marine. Acest capitol prezintă principalele grupuri de pești marini utilizate în ecotoxicologie, subliniind criteriile de selecție, avantajele lor și aplicațiile practice.

### Grupurile cele mai reprezentative de pești marini utilizate ca bioindicatori în ecotoxicologie

#### 1. Peștii pelagici

Peștii pelagici, cum ar fi heringii (*Clupea harengus*), macroul (*Scomber scombrus*) și sardinele (*Sardina pilchardus*), sunt adesea utilizați ca bioindicatori (Romanić et al 2021) datorită următoarelor caracteristici:

- **Distribuție largă:** Aceste specii ocupă zone pelagice extinse, oferind date reprezentative pentru regiuni geografice mari.
- **Sensibilitate la poluanți:** Sunt afectate de contaminanți precum hidrocarburile aromatice policiclice (PAH), metalele grele și pesticide.
- **Ușurința recoltării:** Formează bancuri dense, ceea ce facilitează colectarea probelor pentru analize chimice și biologice.

#### Aplicații ecotoxicologice

- Monitorizarea contaminării apei de suprafață.

- Evaluarea bioacumulării și efectelor subletale asupra biomarkerilor, cum ar fi enzimele antioxidante și daunele produse la nivelul ADN-ului.

## 2. Peștii bentici

Speciile bentice, cum ar fi cambula (*Platichthys flesus*), bibanul de mare (*Dicentrarchus labrax*) și calcanul (*Scophthalmus maximus*), sunt esențiale în ecotoxicologie (Borja et al 2011) din următoarele motive:

- **Interacțiunea directă cu sedimentul:** Fiind organisme care trăiesc pe fundul mării, sunt expuse la poluanți legați de particulele sedimentare.
- **Reprezentativitate ecologică:** Reprezintă lanțuri trofice inferioare și medii, oferind perspective asupra contaminării sedimentelor.
- **Parametri fiziologici relevanți:** Biomarkerii precum bioacumularea metalelor grele și stresul oxidativ sunt ușor de evaluat.

### Aplicații ecotoxicologice

- Studierea contaminării sedimentelor și evaluarea riscurilor asociate cu poluanții organici persistenti (POP).
- Monitorizarea habitatelor critice, precum zonele de reproducere și hrănire.

## 3. Peștii de recif

Peștii de recif, inclusiv speciile de pești-clovn (*Amphiprion spp.*), gruperi (*Epinephelus spp.*) și pești-papagal (*Scarus spp.*), joacă un rol esențial în evaluarea sănătății ecosistemelor de recif de corali:

- **Indicatori ai biodiversității:** Scăderea diversității lor reflectă perturbări ale habitatului.
- **Expunere la poluarea locală:** Sunt afectate de creșterea nivelurilor de nutrienți, pesticide și microplastice.
- **Rol ecologic:** Mențin echilibrul ecosistemelor de recif, ceea ce le face sensibili la schimbările antropice.

### Aplicații ecotoxicologice

- Evaluarea impactului activităților turistice și de pescuit excesiv.
- Monitorizarea contaminării chimice și a efectelor asupra funcțiilor ecologice ale recifurilor.

## 4. Peștii migratori

Speciile migratoare, precum tonul (*Thunnus spp.*), somonul atlantic (*Salmo salar*) și anghila (*Anguilla anguilla*), oferă informații valoroase datorită expunerii lor la diverse medii marine și de apă dulce:

- **Expunere multiplă:** Migrația lor implică trecerea prin zone cu diferite niveluri de poluare (Montevecchi et al 2012).
- **Acumulare de poluanți:** Sunt sensibili la contaminanți pe termen lung, precum metilmercurul și PCB-urile (bifenili policlorurați).

### Aplicații ecotoxicologice

- Studierea transferului trofic al contaminanților.
- Monitorizarea impactului schimbărilor climatice asupra comportamentului migrator.

### 5. Peștii de adâncime

Specii precum peștele lanterna (*Myctophidae*) și grenadierul (*Coryphaenoides spp.*) sunt indicatori valoroși ai contaminării adâncimilor marine:

- **Habitat izolate:** Trăiesc în medii unde poluarea ajunge prin depuneri lente de particule (Borghi & Porte 2002).
- **Durata lungă de viață:** Permit monitorizarea contaminării cronice.
- **Bioamplificare:** Prezintă tendințe de acumulare a contaminanților pe parcursul lanțului trofic.

### Aplicații ecotoxicologice

- Evaluarea contaminării în ecosistemele abisale (Borghi & Porte 2002).
- Studierea transferului poluanților la adâncimi mari și efectele acestora asupra biodiversității.

### Considerații de încheiere

Peștii marini reprezintă instrumente indispensabile în ecotoxicologie datorită capacitatea lor de a reflecta starea mediului marin. Fiecare grup de pești oferă perspective unice asupra contaminării și impactului acesteia asupra ecosistemelor. Alegerea speciilor adecvate ca bioindicatori trebuie să fie ghidată de obiectivele specifice ale studiului, tipul de poluanți investigați și caracteristicile ecosistemului analizat. Prin utilizarea lor, se pot dezvolta strategii eficiente pentru protecția mediului marin și conservarea biodiversității.

## Capitolul X. Utilizarea păsărilor ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie

Păsările reprezintă unul dintre cele mai importante grupuri de organisme utilizate ca bioindicatori în ecotoxicologie. Datorită poziției lor în lanțurile trofice, mobilității, sensibilității la contaminanți și ușurinței de observare și monitorizare, acestea oferă informații valoroase despre starea ecosistemelor. Păsările sunt clasificate în mai multe grupe relevante pentru ecotoxicologie, fiecare având caracteristici distincte care le fac utile în anumite tipuri de studii.

### 1. Păsări acvatice

Păsările acvatice, cum ar fi pescărușii (*Larus spp.*), rațele (*Anas spp.*) și cormoranii (*Phalacrocorax spp.*), sunt frecvent utilizate ca bioindicatori în studiile de contaminare a apelor dulci, marine și costiere.

#### Caracteristici relevante:

- **Expunere la contaminanți acvatici:** Aceste specii se hrănesc direct din ecosistemele acvatice, fiind sensibile la metale grele, hidrocarburi și poluanți organici persistenti (POP).

- **Mobilitate:** Se deplasează pe distanțe mari, permițând monitorizarea contaminării la scară regională.
- **Monitorizare facilă:** Coloniile mari și vizibile permit colectarea ușoară a datelor.

#### Aplicații ecotoxicologice:

- Studierea bioacumulării și biomagnificării poluanților.
- Evaluarea efectelor asupra reproducerii, cum ar fi subțierea cojilor de ou cauzată de DDT (de Solla et al 2023).

## 2. Păsări de pradă

Păsările de pradă, precum uliile (*Accipiter spp.*), vulturii (*Aquila spp.*) și bufnițele (*Strix spp.*), sunt indicatori excelenți ai contaminării la nivel trofic superior.

#### Caracteristici relevante:

- **Rol trofic:** Fiind carnivore, acumulează concentrații ridicate de poluanți prin biomagnificare (Ma et al 2021).
- **Sensibilitate la contaminanți:** Substanțele chimice precum metilmercurul și pesticidele organoclorurate afectează grav funcțiile lor fiziologice (Xing et al 2024).
- **Longevitate:** Durata lungă de viață le face utile pentru studiile pe termen lung.

#### Aplicații ecotoxicologice:

- Monitorizarea impactului pesticidelor asupra ecosistemelor terestre.
- Evaluarea riscurilor pentru biodiversitate asociate cu metale grele.

## 3. Păsări migratoare

Speciile migratoare, precum berzele (*Ciconia spp.*), rândunicile (*Hirundo rustica*) și gâțele (*Anser spp.*), oferă informații despre contaminarea mediilor de-a lungul rutelor de migrație (Xing et al 2024).

#### Caracteristici relevante:

- **Expunere multiplă:** Migrația le expune la contaminanți din habitate diverse, inclusiv zone umede, terenuri agricole și medii urbane.
- **Indicatori ai schimbărilor globale:** Sunt sensibile la schimbări de mediu cauzate de poluare și schimbări climatice.
- **Observabilitate:** Modelele de migrație și abundența pot fi monitorizate relativ ușor.

#### Aplicații ecotoxicologice:

- Investigarea efectelor substanțelor toxice asupra comportamentului migrator (Xia et al 2021).
- Monitorizarea transferului de poluanți în diverse ecosisteme.

## 4. Păsări terestre

Speciile terestre, cum ar fi vrăbiile (*Passer spp.*), mierlele (*Turdus merula*) și pitulicile (*Phylloscopus spp.*), sunt utile pentru monitorizarea contaminării solului și a vegetației (Ding et al 2022).

**Caracteristici relevante:**

- **Expunere locală:** Se hrănesc cu semințe, insecte sau alte resurse asociate direct cu solul contaminat.
- **Indicatori ai agriculturii:** Sunt afectate de utilizarea pesticidelor și erbicidelor.
- **Rezidențialitate:** Fiind sedentare, reflectă condițiile locale (Ding et al 2022).

**Aplicații ecotoxicologice:**

- Monitorizarea impactului practicilor agricole intensive.
- Evaluarea contaminării cu metale grele în zonele industriale.

## 5. Păsări marine

Păsările marine, precum albatrosul (*Diomedea spp.*), furtunarii (*Hydrobates spp.*) și pinguinii (*Spheniscidae*), sunt folosite în mod special pentru studiile de poluare oceanică (Krug et al 2021).

**Caracteristici relevante:**

- **Hrănire din mediul marin:** Consumul de pește, moluște și alte organisme marine le expune la poluanți precum plasticul, hidrocarburile și metalele grele (Krug et al 2021).
- **Bioamplificare:** Prezintă acumulări ridicate de substanțe toxice, cum ar fi PCB-urile și dioxinele.
- **Reproducere sensibilă:** Modificările în succesul reproductiv sunt indicatori ai perturbărilor de mediu (Li et al 2022).

**Aplicații ecotoxicologice:**

- Monitorizarea contaminării cu microplastice și efectele asupra lanțului trofic marin.
- Studiarea efectelor schimbărilor climatice asupra distribuției și populațiilor de păsări marine (Li et al 2022).

**Considerații de încheiere**

Păsările sunt bioindicatori esențiali în ecotoxicologie datorită diversității lor ecologice și capacității de a reflecta starea mediului în care trăiesc. Fiecare grup de păsări oferă informații unice despre poluare, iar monitorizarea lor contribuie semnificativ la înțelegerea impactului contaminanților asupra ecosistemelor și la dezvoltarea de strategii eficiente pentru protecția biodiversității.

## Capitolul XI. Utilizarea mamiferelor ca bioindicatori în studiile de ecotoxicologie

Mamiferele sunt organisme valoroase pentru studiile ecotoxicologice datorită poziției lor trofice, diversității ecologice și sensibilității lor la contaminanți. Datorită dimensiunilor corporale mai mari și ciclurilor de viață lungi, mamiferele pot acumula poluanți în timp, oferind informații despre contaminarea

pe termen lung și despre efectele ecologice la nivel de ecosistem. Acest capitol analizează cele mai importante grupe de mamifere utilizate ca bioindicatori în ecotoxicologie, subliniind caracteristicile lor relevante și aplicațiile specifice.

### 1. Mamiferele acvatice

Mamiferele marine și dulcicole, cum ar fi delfinii (*Delphinus delphis*), balenele (*Balaenoptera spp.*), vidrele (*Lutra lutra*) și focile (*Phocidae*), sunt adesea folosite pentru a monitoriza poluarea în ecosistemele acvatice (Reckendorf et al 2023).

#### Caracteristici relevante:

- **Expunere directă la poluanți acvatici:** Fiind situate în vârful lanțului trofic, acumulează concentrații ridicate de substanțe toxice, precum PCB-uri (bifenili policlorurați), dioxine și metilmercur (Khairy et al 2021; Megson et al 2022).
- **Mobilitate ridicată:** Permit monitorizarea contaminării pe scară largă (Khairy et al 2021; Megson et al 2022).
- **Indicatori ai sănătății ecosistemelor:** Starea lor de sănătate reflectă impactul contaminanților asupra ecosistemului marin sau dulcecol (Khairy et al 2021; Megson et al 2022).

#### Aplicații ecotoxicologice:

- Monitorizarea bioacumulării și biomagnificării poluanților organici persistenți (POP).
- Studiarea efectelor contaminanților asupra reproducerii, imunității și comportamentului.

### 2. Mamiferele terestre carnivore

Carnivorele terestre, precum vulpile (*Vulpes vulpes*), lupii (*Canis lupus*) și răpitoarele mici (ex. jderii, *Martes spp.*), sunt indicatori excelenți ai contaminării la nivel trofic superior și al habitatelor terestre.

#### Caracteristici relevante:

- **Rol trofic superior:** Carnivorele sunt sensibile la biomagnificarea poluanților, cum ar fi metalele grele și pesticidele.
- **Habitate diverse:** Ocupă o varietate de habitate, de la păduri la zone agricole.
- **Expunere indirectă:** Se hrănesc cu prăzi care pot conține poluanți bioacumulați.

#### Aplicații ecotoxicologice:

- Evaluarea contaminării solului și a vegetației prin intermediul lanțului trofic.
- Monitorizarea efectelor asupra comportamentului și succesului reproductiv.

### 3. Rozătoarele

Rozătoarele, cum ar fi șobolanii (*Rattus spp.*), soarecii (*Mus spp.*) și hamsterii (*Cricetus cricetus*), sunt utilizate frecvent în studiile ecotoxicologice datorită ciclului lor de viață scurt și abilității de a reflecta condițiile locale de mediu.

**Caracteristici relevante:**

- **Reproducere rapidă:** Permit studii pe mai multe generații în perioade scurte de timp.
- **Distribuție extinsă:** Sunt prezente în aproape toate ecosistemele, inclusiv în cele puternic antropizate.
- **Expunere locală:** Reflectă condițiile de contaminare la nivel local.

**Aplicații ecotoxicologice:**

- Testarea toxicității solului și apei contaminate.
- Studiarea mutațiilor genetice și a biomarkerilor de stres oxidativ.
- Contribuția la înțelegerea efectelor asupra sănătății umane. Cercetarea efectuată pe micromamifere ajută la identificarea posibilelor riscuri și efecte ale contaminanților asupra populațiilor umane.

**4. Mamiferele erbivore mari**

Speciile de erbivore mari, precum cerbii (*Cervus elaphus*), elanul (*Alces alces*) și bizonii (*Bison bison*), sunt utilizate pentru evaluarea contaminării la nivelul solului și vegetației.

**Caracteristici relevante:**

- **Consumul de vegetație:** Permit monitorizarea contaminării cu metale grele, pesticide și radionuclizi prin biomasa vegetală.
- **Rol ecologic cheie:** Sunt specii care influențează structura ecosistemelor, iar starea lor de sănătate poate reflecta impactul general al contaminanților.
- **Rezidențialitate:** Trăiesc în zone relativ bine delimitate, oferind date specifice pentru regiuni.

**Aplicații ecotoxicologice:**

- Evaluarea contaminării zonelor forestiere și montane.
- Studiarea transferului de contaminanți prin vegetație în lanțuri trofice terestre.

**5. Liliicii**

Liliicii (*Chiroptera*), singurele mamifere zburătoare, sunt bioindicatori valoroși pentru poluarea atmosferică și a ecosistemelor terestre.

**Caracteristici relevante:**

- **Dieta insectivoră:** Reflectă contaminarea cu pesticide și metale grele prin acumularea lor în insecte.
- **Mobilitate ridicată:** Permit evaluarea contaminării pe suprafețe mari.
- **Specii sensibile:** Sunt afectate rapid de perturbările de mediu, precum poluarea cu pesticide.

**Aplicații ecotoxicologice:**



- Monitorizarea contaminării atmosferice și a zonelor agricole.
- Evaluarea efectelor poluării asupra succesului reproductiv și diversității populațiilor.

### **Considerații de încheiere**

Mamiferele joacă un rol esențial în ecotoxicologie datorită diversității lor ecologice și a sensibilității lor la contaminanți. Fiecare grup de mamifere oferă perspective unice asupra impactului poluării asupra ecosistemelor, permițând monitorizarea bioacumulării, biomagnificării și efectelor asupra sănătății ecosistemelor și a biodiversității. Alegerea speciilor adecvate depinde de obiectivele studiului și de tipurile de contaminanți investigați.

### **Concluzii**

Lucrarea de față demonstrează importanța fundamentală a organismelor model în cercetările ecotoxicologice, evidențiind rolul acestora în monitorizarea și evaluarea impactului poluării asupra ecosistemelor și sănătății umane. Diversitatea organismelor studiate, de la microorganisme și alge la vertebrate, permite o înțelegere detaliată a efectelor poluanților asupra mediului, oferind în același timp instrumente practice pentru prevenirea și gestionarea poluării.

Analiza diversificată a organismelor model subliniază relevanța acestora nu doar în ecotoxicologie, ci și în crearea unor strategii de protecție a biodiversității și dezvoltare sustenabilă. Lucrarea pune în lumină aplicabilitatea acestor studii în multiple contexte, incluzând monitorizarea aerului, apei și solului, precum și analiza impactului factorilor antropici asupra ecosistemelor.

Contribuția acestei lucrări constă în capacitatea sa de a sintetiza cunoștințe complexe într-un mod accesibil, oferind o resursă utilă pentru studenți, cercetători și practicieni din domeniul ingineriei mediului. Prin consolidarea unor fundamente teoretice și practice, această lucrare își atinge scopul de a ghida generațiile viitoare în explorarea și utilizarea organismelor model pentru a răspunde provocărilor de mediu contemporane.

## Referințe bibliografice

- Akamagwuna, F. C., Ntloko, P., Edegbene, A. O., & Odume, O. N. (2021). Are Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera traits reliable indicators of semi-urban pollution in the Tsitsa River, Eastern Cape Province of South Africa?. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-15.
- Akrami, M. A., Ardestani, M. M., Verweij, R. A., & Van Gestel, C. A. (2022). Toxicity and bioaccumulation of copper in the oribatid mite *Oppia nitens* (Acari: Oribatida). *Applied Soil Ecology*, 179, 104601.
- Alămorean, Ș., Albu, C., Cioban, R., Miclăuș, M., Suci, V., Oroian, C. F., Petrescu-Mag, I. V., 2015 Initiating standardization in fish embryo toxicity assays. *ProEnvironment* 8(24):616-620.
- Amorim, M.J.B., Gansemans, Y., Gomes, S.I.L. et al. (2021). Annelid genomes: *Enchytraeus crypticus*, a soil model for the innate (and primed) immune system. *Lab Anim* 50, 285–294 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41684-021-00831-x>
- Amorim, M. J., Novais, S., Römbke, J., & Soares, A. M. (2008). *Enchytraeus albidus* (Enchytraeidae): a test organism in a standardised avoidance test? Effects of different chemical substances. *Environment International*, 34(3), 363-371.
- An, L., Fu, X., Chen, J., & Ma, J. (2023). Application of *Caenorhabditis elegans* in Lipid Metabolism Research. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(2), 1173. <https://doi.org/10.3390/ijms24021173>
- Apte, S. K., Fernandes, T., Badran, H., & Ballal, A. (1998). Expression and possible role of stress-responsive proteins in *Anabaena*. *Journal of Biosciences*, 23, 399-406.
- Barghchi, H., Dehnavi, Z., Nattagh-Eshtivani, E., Alwaily, E. R., Almulla, A. F., Kareem, A. K., ... & Pahlavani, N. (2023). The effects of *Chlorella vulgaris* on cardiovascular risk factors: a comprehensive review on putative molecular mechanisms. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 162, 114624.
- Bauer, B., Fioroni, P., Schulte-Oehlmann, U., Oehlmann, J., & Kalbfus, W. (1997). The use of *Littorina littorea* for tributyltin (TBT) effect monitoring—results from the German TBT survey 1994/1995 and laboratory experiments. *Environmental Pollution*, 96(3), 299-309.
- Baumard, P., Budzinski, H., Garrigues, P., Narbonne, J. F., Burgeot, T., Michel, X., & Bellocq, J. (1999). Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) burden of mussels (*Mytilus sp.*) in different marine environments in relation with sediment PAH contamination, and bioavailability. *Marine Environmental Research*, 47(5), 415-439.
- Beeby, A., & Richmond, L. (2002). Evaluating *Helix aspersa* as a sentinel for mapping metal pollution. *Ecological Indicators*, 1(4), 261-270.
- Belskaya, E., Gilev, A., Trubina, M., & Belskii, E. (2019). Diversity of ants (Hymenoptera, Formicidae) along a heavy metal pollution gradient: evidence of a hump-shaped effect. *Ecological Indicators*, 106, 105447.

- Berthet, B., Mouneyrac, C., Pérez, T., & Amiard-Triquet, C. (2005). Metallothionein concentration in sponges (*Spongia officinalis*) as a biomarker of metal contamination. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 141(3), 306-313.
- Borghi, V., & Porte, C. (2002). Organotin pollution in deep-sea fish from the northwestern Mediterranean. *Environmental Science & Technology*, 36(20), 4224-4228.
- Borja, Á., Belzunce, M. J., Garmendia, J. M., Rodríguez, J. G., Solaun, O., & Zorita, I. (2011). Impact of pollutants on coastal and benthic marine communities. *Ecological Impacts of Toxic Chemicals*. Sánchez-Bayo, F., van den Brink, P.J., Mann, R.M. (Eds.). Bentham Science Publishers Ltd, 165-186.
- Canli, E.G., Canli, M. (2024). Evaluation of enzymatic and non-enzymatic biomarkers of sublethal cadmium toxicity in the freshwater mussel (*Unio tigridis*). *Ecotoxicology*, <https://doi.org/10.1007/s10646-024-02844-x>
- Capozzi, F., Di Palma, A., Adamo, P., Spagnuolo, V., & Giordano, S. (2017). Monitoring chronic and acute PAH atmospheric pollution using transplants of the moss *Hypnum cupressiforme* and *Robinia pseudacacia* leaves. *Atmospheric Environment*, 150, 45-54.
- Cardoso, D. N., Silva, A. R. R., Morgado, R. G., Mostafaie, A., Pereira, A., Pinto, J., ... & Loureiro, S. (2023). Improving product safety for edible insects: Toxicokinetics of Hg in *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*. *ACS Food Science & Technology*, 3(4), 790-798.
- Chamorro, S., Hernández, L., Saéz, K., Gómez, G., & Vidal, G. (2022). Effects of black liquor shocks on the stability of activated sludge treatment of kraft pulp mill effluent: Morphological alteration in *Daphnia magna* and mutagenicity and genotoxicity response in *Salmonella typhimurium*. *Sustainability*, 14(7), 3869.
- Choi, H. J., Kim, B. H., Kim, J. D., & Han, M. S. (2005). *Streptomyces neyagawaensis* as a control for the hazardous biomass of *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) in eutrophic freshwaters. *Biological Control*, 33(3), 335-343.
- Cid-Rodríguez, M., Cantonati, M., Angeli, N., Bilous, O., Al-Harbi, M., Lange-Bertalot, H., Levkov, Z., Piana, L., Spitale, D., & Saber, A. A. (2024). The diatom genus *Navicula* in spring ecosystems with the description of *Navicula aquaesuavis* sp. nov. *Water*, 16(19), 2751. <https://doi.org/10.3390/w16192751>
- Dambri, B. M., Godunko, R. J., & Benhadji, N. (2023). Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) of Aurès Mountains (Algeria): A new species of the *Baetis alpinus* species group, with Notes on *Baetis* Laech, 1815 Biogeography within Maghreb. *Insects*, 14(11), 899. <https://doi.org/10.3390/insects14110899>
- de Solla, S. R., King, L. E., & Gilroy, È. A. (2023). Environmental exposure to non-steroidal anti-inflammatory drugs and potential contribution to eggshell thinning in birds. *Environment International*, 171, 107638.
- Di Paola, D., Iaria, C., Capparucci, F., Cordaro, M., Crupi, R., Siracusa, R., D'Amico, R., Fusco, R., Impellizzeri, D., Cuzzocrea, S., Spanò, N., Gugliandolo, E., & Peritore, A. F. (2021). Aflatoxin B1 toxicity in

- Zebrafish larva (*Danio rerio*): Protective role of *Hericium erinaceus*. *Toxins*, 13(10), 710. <https://doi.org/10.3390/toxins13100710>
- Ding, T., Lin, K., Yang, B., Yang, M., & Li, J. (2019). Toxic effects and metabolic fate of carbamazepine in diatom *Navicula sp.* as influenced by humic acid and nitrogen species. *Journal of Hazardous Materials*, 378, 120763.
- Ding, J., Yang, W., Wang, S., Zhang, H., & Zhang, Y. (2022). Does environmental metal pollution affect bird morphometry? A case study on the tree sparrow *Passer montanus*. *Chemosphere*, 295, 133947.
- Dinică, R. M., Sandu, C., Dediu Botezatu, A. V., Cazanevscaia Busuioc, A., Balanescu, F., Ionica Mihaila, M. D., Dumitru, C. N., Furdui, B., & Iancu, A. V. (2021). Allantoin from valuable Romanian animal and plant sources with promising anti-inflammatory activity as a nutricosmetic ingredient. *Sustainability*, 13(18), 10170. <https://doi.org/10.3390/su131810170>
- El Idrissi, O., Ternengo, S., Monnier, B., Lepoint, G., Aiello, A., Bastien, R., ... & Gobert, S. (2023). Assessment of trace element contamination and effects on *Paracentrotus lividus* using several approaches: Pollution indices, accumulation factors and biochemical tools. *Science of the Total Environment*, 869, 161686.
- Eliso, M. C. (2021). *Ciona robusta* (formerly *Ciona intestinalis* type A) as model system for ecotoxicological studies. Teză de doctorat, Università degli Studi di Siena, disponibilă la <https://hdl.handle.net/20.500.14242/175090>
- Expósito, N., Carafa, R., Kumar, V., Sierra, J., Schuhmacher, M., & Papiol, G. G. (2021). Performance of *Chlorella vulgaris* exposed to heavy metal mixtures: linking measured endpoints and mechanisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1037.
- Fitria, Y., Fitriani, M., Nugroho, R. Y., & Putri, W. A. E. (2023). Gastropods as bioindicators of heavy metal pollution in the Banyuasin estuary shrimp pond area, South Sumatra, Indonesia. *Acta Ecologica Sinica*, 43(6), 1129-1137.
- Gavriloaie, C., Voicu, D., (2023) Lichens: excellent bioindicators for air quality monitoring. *AES Bioflux*, 15(1), 28-31.
- Georgescu, B., Georgescu C., Coșier, V., Mierliță, D., Mag, I. V., (2005) Pesticides with endocrine disrupting activities: description and screening strategies. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca – Animal Science and Biotechnology*, 61, 184-187.
- Hadjab, R., Ayati, K., & Piscart, C. (2021). A new species of freshwater amphipods *Echinogammarus* (Amphipoda, Gammaridae) from Algeria. *Taxonomy*, 1(1), 36-47. <https://doi.org/10.3390/taxonomy1010005>
- Haglund, K., Björklund, M., Gunnare, S., Sandberg, A., Olander, U., & Pedersén, M. (1996). New method for toxicity assessment in marine and brackish environments using the macroalga *Gracilaria tenuistipitata* (Gracilariales, Rhodophyta). In *Fifteenth International Seaweed Symposium: Proceedings of the Fifteenth International Seaweed Symposium held in Valdivia, Chile, in January 1995* (pp. 317-325). Springer Netherlands.

- Halaimia, S., Tine, S., Tine-Djebbar, F., & Soltani, N. (2021). Potential side-effects of a fertilizer on growth, biochemical composition and biomarker responses of the grey worm (*Aporrectodea caliginosa* Savigny, 1826). *Applied Ecology and Environmental Research*, 19(2), 1247-1266.
- Hansen, B. H., Tarrant, A. M., Lenz, P. H., Roncalli, V., Almeda, R., Broch, O. J., ... & Tollefsen, K. E. (2024). Effects of petrogenic pollutants on North Atlantic and Arctic *Calanus* copepods: From molecular mechanisms to population impacts. *Aquatic Toxicology*, 267, 106825.
- Irizar, A., Rodríguez, M. P., Izquierdo, A., Cancio, I., Marigómez, I., & Soto, M. (2015). Effects of soil organic matter content on cadmium toxicity in *Eisenia fetida*: implications for the use of biomarkers and standard toxicity tests. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 68, 181-192.
- Joimel, S., Chassain, J., Artru, M., & Faburé, J. (2022). Collembola are among the most pesticide-sensitive soil fauna groups: A meta-analysis. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41(10), 2333-2341.
- Karima, Z. (2021). Chironomidae: biology, ecology and systematics. *The Wonders of Diptera—Characteristics, Diversity, and Significance for the World's Ecosystems*. DOI: 10.5772/intechopen.95577
- Khairy, M., Brault, E., Dickhut, R., Harding, K. C., Harkonen, T., Karlsson, O., ... & Lohmann, R. (2021). Bioaccumulation of PCBs, OCPs and PBDEs in marine mammals from West Antarctica. *Frontiers in Marine Science*, 8, 768715.
- Khalil, S., Mahnashi, M. H., Hussain, M., Zafar, N., Khan, F. S., Afzal, U., ... & Irfan, M. (2021). Exploration and determination of algal role as Bioindicator to evaluate water quality—Probing fresh water algae. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(10), 5728-5737.
- Kladarić, L., Ćuk, R., Dukić, I., Popijač, A., & Marinović Ruždjak, A. (2021). Can Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT) assemblage reflect nitrogen and phosphorus load in the riverine ecosystem?. *Natura Croatica: Periodicum Musei Historiae Naturalis Croatici*, 30(1), 217-230.
- Kolli, S. K., Namuduri, S., Devi, R. U., Indukuri, V. S., Satyanarayanan, M., & Ziauddin, A. (2022). Biomonitoring of atmospheric heavy metal deposition by using moss species *Bryum argenteum*. In *Advances in Behavioral Based Safety: Proceedings of HSFEA 2020* (pp. 241-253). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Krug, D. M., Frith, R., Wong, S. N., Ronconi, R. A., Wilhelm, S. I., O'Driscoll, N. J., & Mallory, M. L. (2021). Marine pollution in fledged Leach's storm-petrels (*Hydrobates leucorhous*) from Baccalieu Island, Newfoundland and Labrador, Canada. *Marine Pollution Bulletin*, 162, 111842.
- Lares, B. A., Vignatti, A. M., Echaniz, S. A., & Gutiérrez, M. F. (2022). Effects of glyphosate on cladocera: A synthetic review. *Aquatic Toxicology*, 249, 106232.
- Leidonald, R., Muhtadi, A., Rahmadya, A. (2024). Spatial distribution of macroinvertebrates and stream health status of the Alas-Singkil watershed. *AAEL Bioflux*, 17(2), 701-709.
- Li, X., Liu, Y., & Zhu, Y. (2022, April). The effects of climate change on birds and approaches to response. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1011, No. 1, p. 012054). IOP Publishing.

- Liu, Y., Tam, N. F., Guan, Y., Yasojima, M., Zhou, J., & Gao, B. (2011). Acute toxicity of nonylphenols and bisphenol A to the embryonic development of the abalone *Haliotis diversicolor* supertexta. *Ecotoxicology*, 20, 1233-1245.
- Ma, Y., Zheng, W., An, Y., Chen, L., Xu, Q., & Jiang, A. (2021). Mercury contamination in terrestrial predatory birds from Northeast China: Implications for species and feather type selection for biomonitoring. *Ecological Indicators*, 130, 108108.
- Mag, I. V., 2003 Analiza poluării cu metale grele a municipiului Cluj-Napoca, folosind ca biomonitori lichenii. Lucrare de licență. Conducător științific: șef-lucrări dr. Florin Crișan. Facultatea de Biologie și Geologie. Universitatea Babeș Bolyai, Cluj-Napoca.
- Mag, I. V., Petrescu, R. M., 2006 Peștii ca bioindicatori ai poluării apei. *Environment & Progress* 8:215-218.
- Mag, I. V., Petrescu, R. M., Falka, I., 2006 Long term treatment with estradiol valerate acts as endocrine disruptor in adult guppy females (*Poecilia reticulata* Peters, 1859). *Scientific Papers Animal Sciences and Biotechnologies* 39(1):83-88.
- Mazur, R., Shubiao, W., Szoszkiewicz, K., Bedla, D., & Nowak, A. (2016). A *Lymnaea stagnalis* embryo test for toxicity bioindication of acidification and ammonia pollution in water. *Water*, 8(7), 295. <https://doi.org/10.3390/w8070295>
- Megson, D., Brown, T., Jones, G. R., Robson, M., Johnson, G. W., Tiktak, G. P., ... & Reiner, E. J. (2022). Polychlorinated biphenyl (PCB) concentrations and profiles in marine mammals from the North Atlantic Ocean. *Chemosphere*, 288, 132639.
- Méndez-Fernández, L., Martínez-Madrid, M., & Rodriguez, P. (2013). Toxicity and critical body residues of Cd, Cu and Cr in the aquatic oligochaete *Tubifex tubifex* (Müller) based on lethal and sublethal effects. *Ecotoxicology*, 22, 1445-1460.
- Monoran, O., Momeu, L., & Péterfi, L. Ş. (2008). Summer algal communities of wetlands situated near Florești village, Cluj County. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 1(2), 123-136.
- Montevecchi, W., Fifield, D., Burke, C., Garthe, S., Hedd, A., Rail, J. F., & Robertson, G. (2012). Tracking long-distance migration to assess marine pollution impact. *Biology Letters*, 8(2), 218-221.
- Natsir, S., Rosyida, E., & Yala, Z. R. (2017). Toxicity of liquid extract of seaweed *Sargassum* sp. on the growth of microalgae *Skeletonema costatum*. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 10(2), 247-253.
- Obluchinskaya, E. D., Pozharitskaya, O. N., Zakharov, D. V., Flisyuk, E. V., Terninko, I. I., Generalova, Y. E., ... & Shikov, A. N. (2022). The Biochemical composition and antioxidant properties of *Fucus vesiculosus* from the Arctic region. *Marine Drugs*, 20(3), 193.
- Ogino, T., & Toyohara, H. (2019). Identification of possible hypoxia sensor for behavioral responses in a marine annelid, *Capitella teleta*. *Biology Open*, 8(3), bio037630.
- Oroian, I., & Kovacs, E. (2022). Lecithotrophic species and matrotrophic species among poeciliid fishes. *Poeciliid Research*, 12(1), 34-38.

- Pakhnevich, A., Nikolayev, D., Lychagina, T., Balasoiu, M., & Ibram, O. (2022). Global Crystallographic Texture of freshwater bivalve mollusks of the Unionidae family from Eastern Europe studied by neutron diffraction. *Life*, 12(5), 730. <https://doi.org/10.3390/life12050730>
- Paoli, L., Fačkovcová, Z., Guttová, A., Maccelli, C., Kresáňová, K., & Loppi, S. (2019). Evernia goes to school: Bioaccumulation of heavy metals and photosynthetic performance in lichen transplants exposed indoors and outdoors in public and private environments. *Plants*, 8(5), 125.
- Pérez, A. A., Farías, S. S., Strobl, A. M., Pérez, L. B., López, C. M., Piñeiro, A., ... & Fajardo, M. A. (2007). Levels of essential and toxic elements in *Porphyra columbina* and *Ulva sp.* from San Jorge Gulf, Patagonia Argentina. *Science of the total environment*, 376(1-3), 51-59.
- Pernil, R., Picossi, S., Herrero, A., Flores, E., & Mariscal, V. (2015). Amino acid transporters and release of hydrophobic amino acids in the heterocyst-forming cyanobacterium *Anabaena sp.* Strain PCC 7120. *Life*, 5(2), 1282-1300. <https://doi.org/10.3390/life5021282>
- Petit-dit-Grézériat, L., Vallayer, M., Rault, M., & Pelosi, C. (2024). *Aporrectodea caliginosa* life history traits are improved by positive earthworm interaction and organic matter addition. *European Journal of Soil Biology*, 122, 103654.
- Petrescu-Mag, I. V., (2007a) Ecologia peștilor din familia Poeciliidae și importanța cercetării lor. In: Petrescu-Mag I. V. (ed.) *Ecologie aplicată*, AcademicPres, Cluj-Napoca, p.303-319.
- Petrescu-Mag, I. V. (2007b). Manipularea sexelor în guppycultură. Editura AcademicPres, Cluj-Napoca, 253p.
- Petrescu-Mag, I. V., (2008) [Biophysiological characterization of *Poecilia reticulata* and its particularities]. *ABAH Bioflux, Pilot (b)*, 1-56. [In Romanian]
- Petrescu-Mag, I. V., (2023a) *Trebouxia* - a key player in the formation of many different lichen species. *AES Bioflux*, 15(1), 47-49.
- Petrescu-Mag I. V., (2023b) Guppy, *Poecilia reticulata* Peters, 1859, a model species for behavioral ecology. *Poec Res* 13(1):19-21.
- Petrescu-Mag I. V., 2024 Silent victims of pollution: *Cnesterodon decemmaculatus* (Jenyns, 1842) exposes reproductive risks of endocrine disruptors in urban-industrial areas. *Poec Res* 14(1):1-2.
- Petrescu-Mag, I. V., Grădinaru, A.C. (2018). *Ecotoxicologie: Lucrari practice*. Editura Bioflux, Cluj-Napoca, 123p.
- Petrescu-Mag, I. V., Oroian, I. G., (2015). *Elemente de Ecotoxicologie. Manual Didactic. Curs pentru studenții de la specializarea Ingineria și Protecția Mediului*. Editura Bioflux, Cluj-Napoca, Romania, 112p.
- Petrescu-Mag, I. V., Papuc, T., (2019a). Extending the life span of animals and humans, only a matter of time. *ELBA Bioflux*, 11(1), 24-26.
- Petrescu-Mag, I. V., Păpuc, T., (2019b). Why lichens are excellent bioindicators of trace metal pollution in urban areas. *ELBA Bioflux*, 11(1),18-23.



- Petrescu-Mag, I. V., Păsărin, B., Hoha, G., Petrescu-Mag, R. M. (2013). Determination of organochlorine pesticides and total PCB in aquatic ecosystems of Cluj county. *AAEL Bioflux*, 6(2), 82-83.
- Petrescu-Mag, I. V., Păsărin, B., Todoran, C. F., (2010). Metallurgical, agricultural and other industrial related chemical pollutants: biomonitoring and best model organisms used. *Metalurgia International*, 15(9), 38-48.
- Purvis, O. W. (2010). Lichens and industrial pollution. *Ecology of Industrial Pollution*, 41-69.
- Rao, D. N. (1982). Responses of bryophytes to air pollution. In *Bryophyte ecology* (pp. 445-471). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Reckendorf, A., Siebert, U., Parmentier, E., & Das, K. (2023). Chemical pollution and diseases of marine mammals. In *Marine mammals: a deep dive into the world of science* (pp. 63-78). Cham: Springer International Publishing.
- Reem, M., & El-Seifat, S. (2023). The role of marine algae as a bioindicator in assessing environmental pollution. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 1837-1869.
- Romanić, S. H., Jovanović, G., Mustać, B., Stojanović-Đinović, J., Stojić, A., Čadež, T., & Popović, A. (2021). Fatty acids, persistent organic pollutants, and trace elements in small pelagic fish from the eastern Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 170, 112654.
- Ruiter, D.E., Boyle, E.E. & Zhou, X. (2013). DNA barcoding facilitates associations and diagnoses for Trichoptera larvae of the Churchill (Manitoba, Canada) area. *BMC Ecol* 13, 5. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-13-5>
- Salo, T., & Salovius-Laurén, S. (2022). Green algae as bioindicators for long-term nutrient pollution along a coastal eutrophication gradient. *Ecological Indicators*, 140, 109034.
- Siikavuopio, S. I. (2009). Green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*, Müller) in aquaculture: the effects of environmental factors on gonad growth. *Journal of Shellfish Research*, 24(4), 1235-1239
- Sipes, B. S., & Schmitt, D. P. (1989). Development of *Heterodera glycines* as affected by alachlor and fenamiphos. *Journal of Nematology*, 21(1), 24.
- Salkić, R., Trožić-Borovac, S., Selimović, M., Škrijelj, R., & Hafner, D. (2014). Ecological status of river Drinjača. *Radovi Šumarskog Fakulteta Univerziteta u Sarajevu*, 44(1), 45-55.
- Stenger-Kovács, C., Padisák, J., & Bíró, P. (2006). Temporal variability of *Achnanthydium minutissimum* (Kützing) Czarnecki and its relationships to chemical and hydrological features of the Torna-stream, Hungary.
- Taddei, A., Räsänen, K., & Burdon, F. J. (2021). Size-dependent sensitivity of stream amphipods indicates population-level responses to chemical pollution. *Freshwater Biology*, 66(4), 765-784.
- Todoran, C. F., Petrescu-Mag, I. V., Todea, A. D., 2010 Two ways of environmental monitoring of heavy metals from air: native and transplanted lichens. *Metalurgia International*, 15, 49-51.

- Tălu, Ș., Petrescu-Mag, I. V., Păsărin, B., (2012) Investigation on acute toxicity of lindane in guppies, *Poecilia reticulata* Peters, 1859. *Poec Res*, 2(1), 9-14.
- Vásquez, C., Calva, J., Morocho, R., Donoso, D. A., & Benítez, Á. (2019). Bryophyte communities along a tropical urban river respond to heavy metal and arsenic pollution. *Water*, 11(4), 813.
- von Hellfeld, R., Zarzuelo, M., Zaldibar, B., Cajaraville, M. P., & Orbea, A. (2022). Accumulation, depuration, and biological effects of polystyrene microplastic spheres and adsorbed Cadmium and benzo(a)pyrene on the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Toxics*, 10(1), 18. <https://doi.org/10.3390/toxics10010018>
- Wang, D. (2022). Molecular toxicology in *Caenorhabditis elegans*. In *Nematodes as Model Organisms* (pp. 244-275). GB: CABI.
- Wulandari, T., Kartika, W. D., Riany, H. (2019). The commercial coastal shrimp of the Penaeidae family from Tanjung Jabung Timur, Indonesia. *AAFL Bioflux*, 12(6), 2221-2226.
- Xia, P., Ma, L., Yi, Y., & Lin, T. (2021). Assessment of heavy metal pollution and exposure risk for migratory birds-A case study of Caohai wetland in Guizhou Plateau (China). *Environmental Pollution*, 275, 116564.
- Xing, L., Zhang, T., Han, X., Xie, M., Chao, L., Chen, J., ... & Sun, J. (2024). Variability in methylmercury exposure across migratory terrestrial bird species: Influencing factors, biomagnification and potential risks. *Science of The Total Environment*, 907, 167775.
- Xu, D., Xie, Y., & Li, J. (2022). Toxic effects and molecular mechanisms of sulfamethoxazole on *Scenedesmus obliquus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 232, 113258.
- Zawisza-Raszka, A., Slupik, G., Laszczyca, P., & Kafel, A. (2010). The level of heavy metals, glutathione and the activity of glutathione S-transferase in Organs of *Cepaea nemoralis* (helicidae) from polluted areas near Olkusz, Poland.
- Zhao, W., Teng, M., Zhang, J., Wang, K., Zhang, J., Xu, Y., & Wang, C. (2022). Insights into the mechanisms of organic pollutant toxicity to earthworms: advances and perspectives. *Environmental Pollution*, 303, 119120.
- Zhang, L., Van Gestel, C. A., Liu, Y., & Li, Z. (2024). Responses in different levels of biological organization in the soil invertebrate *Enchytraeus crypticus* exposed to field-contaminated soils from a mining area. *Geoderma*, 451, 117069.
- Zych, M., Urbisz, K., Kimsa-Dudek, M., Kamionka, M., Dudek, S., Raczak, B. K., Wacławek, S., Chmura, D., Kaczmarczyk-Żebrowska, I., & Stebel, A. (2023). Effects of water–ethanol extracts from four *Sphagnum* species on gene expression of selected enzymes in normal human dermal fibroblasts and their antioxidant properties. *Pharmaceuticals*, 16(8), 1076. <https://doi.org/10.3390/ph16081076>

\*\*\* <http://freenatureimages.eu/>

\*\*\* <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=550697>

\*\*\* <https://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.asp?speciesID=1009>

\*\*\* <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1771320>