

METALELE GRELE CA POLUANȚI AI ECOSISTEMELOR ACVATICE

Ia. Bumbu, dr. hab. prof. univ., D. Guțu
Universitatea Tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

Metalele sunt considerate ca importanți poluanți toxici care intrând în circuitele biogeochimice se acumulează în ecosisteme naturale și artificiale. Metalele sunt eliberate continuu în biosferă de erupții vulcanice, intemperii naturale de roci, dar de asemenea, de numeroase activități antropogene, cum ar fi mineritul, arderea combustibililor fosili, apă uzată industrială și urbană și a practicilor agricole. Pe o scară globală, există acum dovezi că activitățile antropogene au poluat mediul înconjurător cu metale grele de la poli la tropice și de la munte la adâncimi ale oceanelor.

1. ROLUL METALELOR GRELE CA POLUANȚI

Răspândirea metalelor în apă, sedimente și atmosferă rezultă din prezența lor în crusta terestră. În concentrațiile lor naturale metalele joacă un rol esențial în multe procese biochimice din organism, dar orice concentrație ce o depășește pe cea de fond poate deveni toxică. Ca rezultat al activităților antropice, nivelurile curențe sunt mai ridicate decât în condiții naturale, reprezentând o amenințare pentru organisme, deoarece multe metale sunt dăunătoare chiar în concentrații moderate (Laane, 1992).

Potențialul toxic al metalelor depinde de biodisponibilitate și de proprietățile fizico-chimice ale acestora. Aceste proprietăți depind de structura atomică a metalelor, redată în sistemul periodic al elementelor. Metalele sunt împărțite în următoarele categorii: alcaline, alcalino-pământoase, tranziționale, metaloide. Exemple de metale ce prezintă o relevanță mai mare pentru mediul înconjurător din punctul de vedere al efectelor toxice sunt următoarele: Cadmiu (Cd), Crom (Cr), Cobalt (Co), Cupru (Cu), Plumb (Pb), Mercur (Hg), Nichel (Ni), Staniu (Sn), Vanadiu (V), Zinc (Zn). Arsenul este de asemenea considerat un metal periculos, deși din punct de vedere chimic este de fapt un semi-metal (metaloide). Sursele generale de

poluare a mediului marin sunt reprezentate de: orașe și industrii costiere, ape uzate și reziduuri industriale, deșeuri menajere și ape pluviale; transport naval, descărcarea deșeurilor în mare; epave, muniție pierdută sau aruncată intenționat, platforme de foraj marin, depuneri atmosferice.

Sursele terestre care generează metale grele sunt reprezentate în principal de stațiile de epurare a apelor uzate, industriile producătoare, mineritul, agricultura. Metalele sunt transportate fie în forme dizolvate în apă sau ca parte integrantă a sedimentelor. Odată ajunse în mediul acvatic, acestea pot urma mai multe căi: dizolvate în coloana de apă, stocate în sedimente, volatilizate în atmosferă, preluate de organisme. Metalele sunt generate și în urma proceselor naturale de eroziune a rocilor. Acest proces este intensificat în urma activităților extractive miniere ce expun astfel diverse minereuri ce conțin metale. Scurgerile de la haldele de reziduuri și iazurile de decantare introduc cantități substanțiale de metale în resursele de apă.

Se consideră că, în lipsa unor măsuri corespunzătoare, activitățile miniere prezintă un mare risc pe termen lung în ceea ce privește eliberarea metalelor grele în mediu. Orice activitate care implică extracția sau procesarea metalelor reprezintă o sursă de particule fine metalice, dispersate în atmosferă. Ruginirea și alte forme de coroziune duc la răspândirea în mediu a metalelor, în timpul utilizării sau depozitării diverselor echipamente metalice. Arderea combustibililor fosili sau a diverselor categorii de deșeuri de asemenea produce eliberarea în atmosferă a metalelor. Cea mai mare depunere a particulelor metalice se produce evident în vecinătatea minelor, topitoriilor, sau altor categorii de activități de procesare a metalelor, care reprezintă sursele majore de emisie. Dar majoritatea particulelor sunt atât de mici, încât pot fi transportate pe distanțe enorme de către vânt. În special mercurul, care este prezent în formă gazoasă în atmosferă, poate fi dispersat pe scară largă, foarte departe de sursele de origine. Și transportul rutier este responsabil de emisii importante de plumb, în urma folosirii combustibililor ce conțin ca aditiv compuși cu plumb.

Metalele eliberate în atmosferă se depun la nivelul solului, unde rămân pe termen lung. În anumite condiții, de exemplu scăderea pH-ului, metalele din sol, în special mercurul și cadmiul, sunt solubilizate și ajung în resursele de apă.

Înțelegerea mecanismelor de interacțiune dintre metalele grele și organismele marine implică următoarele aspecte: biodisponibilitatea și modul de preluare a metalelor; intervenția eventualelor mecanisme protectoare; susceptibilitatea organismelor la efectele variate produse de expunere.

2. BIODISPONIBILITATEA METALELOR GRELE PENTRU ORGANISMELE MARINE

Biodisponibilitatea metalelor este definită de fracția din concentrația totală a metalelor care are potențial de acumulare în organism. Factorii care controlează biodisponibilitatea metalelor sunt următorii: caracteristicile biologice ale organismului (eficiența de asimilare a metalelor, strategii de hrănire, mărime/vârsta, stadiul reproductiv); geochimia metalelor (repartiția apă - sediment, speciația metalelor); factorii fizico-chimici ai mediului, care influențează factorii enumerați anterior (temperatură, salinitate, pH, tărie ionică, concentrația carbonului organic dizolvat, suspensii solide totale), (Bryan et. al., 1985; Wang & Fisher, 1997).

Speciația metalelor grele în mediul marin este de o importanță fundamentală datorită faptului că biodisponibilitatea și toxicitatea metalelor depind de forma lor chimică în apă. Speciația este la rândul ei dependentă de factorii fizico-chimici specifici ai mediului marin. Metalele grele sunt prezente în mediul marin în diferite forme chimice (dizolvată, coloidală sau particulată), ca rezultat al echilibrului între ionii metalici și complexii anorganici și organici (Roesijadi & Robinson, 1994).

Biodisponibilitatea metalelor este unul dintre factorii determinanți ai acumulării acestora în organismele marine. Preluarea metalelor se produce direct din apa marină prin suprafețele permeabile ale corpului, în cazul formelor dizolvate, precum și prin hrană, în cazul formelor particulate. Preluarea metalelor din apa marină este influențată de speciația metalului, prezența complexilor organici sau anorganici, pH, temperatură, salinitate, condiții redox (Alzieu, 1999). Preluarea pe cale intestinală

depinde de factori similari, la care se adaugă rata de hrănire, timpul de tranzit intestinal și eficiența digestiei (Bryan et. al., 1985).

Numeroase studii au demonstrat că forma de ion liber hidratat este forma biodisponibilă majoritară pentru cupru, cadmiu și zinc (Roesijadi și Robinson, 1994), deși au fost raportate și excepții (Wang și Fisher, 1997). Astfel, nu trebuie neglijată importanța altor forme chimice ale metalelor dizolvate, precum complexii formați cu liganzi organici cu greutate moleculară mică. S-a observat că prezența unor liganzi organici crește biodisponibilitatea cadmiului la midii și pești, datorită facilitării difuziei compusului hidrofob în lipidele membranare. Compușii organici ai unor metale pot fi mult mai biodisponibili decât formele ionice, cel mai bun exemplu fiind compușii organo-mercurici care sunt lipide solubile și penetrează rapid în organism, având o toxicitate mărită față de clorura de mercur (Bryan, 1971).

Adsorbția pe suspensii afectează concentrația totală a metalelor prezente în coloana de apă. Modul de asociere al metalelor în faza particulată este de asemenea critic pentru procesul de preluare de către organisme prin ingestia de hrană. Sedimentele acumulează compuși metalici insolubili, care pot fi în anumite condiții eliberați în apa interstițială, adăugându-se astfel la metalele solubile sau suspendate din coloana de apă. Concentrațiile metalelor grele în sedimente și suspensii sunt mult mai ridicate decât în apa marină, astfel că o mică fracțiune a acestora poate reprezenta o importantă sursă pentru preluare, în special pentru organismele filtratoare și cele îngropate în sediment. Este de așteptat ca particulele oxidate fin-granulate să reprezinte cea mai importantă sursă de metale disponibile (Luoma și Davis, 1983). Numeroase cercetări au demonstrat că biodisponibilitatea metalelor pentru moluștele bivalve care se hrănesc în sediment depinde de tipul particulelor sedimentare. Dacă particulele sunt acoperite cu polimeri extracelulari bacterieni sau acizi fulvici, biodisponibilitatea cadmiului, zincului și argintului este crescută semnificativ. Legarea la oxihidroxizii de fier micșorează biodisponibilitatea metalelor prezente în sediment (Wang & Fisher, 1997).

Natura diferitelor forme ale metalelor în mediul marin rămâne o variabilă care nu este pe deplin înțeleasă. Formele dizolvate sau particulate ale metalelor au căi de preluare și acumulare diferite și necesită studii aprofundate. Căile specifice de preluare a formelor ionice libere și a celor

complexate cu liganzi organici trebuie identificate și caracterizate. Nu se cunoaște dacă există mecanisme specifice pentru diferite stări de valență sau pentru diferitele tipuri de complecși ionici anorganici.

Transferul metalelor de-a lungul lanțurilor trofice acvatice prezintă interes pentru cercetările asupra sănătății mediului din mai multe motive. În primul rând, acumularea metalelor în organismele marine poate avea ca rezultat final transferul trofic al metalelor către oameni, ducând la un risc potențial pentru sănătatea publică în urma consumului de produse marine contaminate. Cel mai cunoscut și tragic exemplu a fost apariția bolii Minamata în Japonia, în urma consumului de produse marine conținând concentrații mari de metilmercur (Mance, 1987). Din punctul de vedere al sănătății ecosistemului, metalele pot fi toxice pentru organismele marine, împiedicând funcționarea ecosistemului printr-o gamă largă de efecte dăunătoare.

Organismele vii joacă un rol important în ciclurile biogeochimice ale metalelor în mediul marin. Factorii care influențează acumularea metalelor sunt cantitățile relative ale metalelor prezente în mediu, precum și forma lor chimică. Totuși, există o variație considerabilă a concentrației metalelor între specii, țesuturi și chiar între indivizi colectați din aceeași locație. Aceasta se datorează faptului că preluarea și eliminarea metalelor sunt determinate de parametri biologici, care includ permeabilitatea suprafețelor externe, strategii de hrănire, cantități și tipuri de liganzi interni, eficiența sistemelor excretoare, starea de nutriție, creștere, sezon și stadiul reproductiv.

Organismele vii prezintă o anumită selectivitate în acumularea metalelor, trebuind făcută o distincție între metalele esențiale și cele neesențiale. Metale esențiale precum cupru, zinc, mangan, fier sau cobalt sunt componente vitale ale multor enzime și pigmenți respiratori. În consecință, organismele marine trebuie să asigure țesuturilor metale în cantități suficiente pentru necesitățile metabolice și respiratorii. Deficiența acestor metale, dar în egală măsură și acumularea peste anumite niveluri, produc efecte dăunătoare (Simkiss & Mason, 1983; White & Rainbow, 1985).

Metalele neesențiale (plumb, arsen, mercur, cadmiu) sunt foarte toxice, chiar la niveluri foarte scăzute, mai ales dacă se acumulează la nivelul situsurilor metabolic active. Organismul este obligat să limiteze acumularea metalelor neesențiale sau să le treacă în forme netoxice. Metalele toxice interferă

cu funcțiile metabolice normale ale elementelor esențiale. Prin legarea la macromoleculele proteice se produce o perturbare a funcției biologice normale. Formarea catalizată de metale a radicalilor liberi de oxigen este implicată în producerea multor modificări patologice, inclusiv mutagenză, carcinogenză și îmbătrânire (Depledge și Rainbow, 1990).

Astfel, deși metalele sunt componente esențiale ale vieții, devin dăunătoare când sunt prezente în exces. Creșterea nivelurilor biodisponibile în mediul marin reprezintă o problemă pentru sănătatea umană și a ecosistemelor marine.

3. EFECTELE POLUĂRII CU METALE GRELE ASUPRA ECOSISTEMELOR MARINE

În ultimele decenii, aporturile crescute de contaminanți și distrugerea habitatelor au produs modificări drastice în ecosistemele acvatice. În această direcție, a crescut interesul științific acordat următoarelor domenii: acumularea și efectele toxice ale contaminanților asupra organismelor acvatice; preluarea și acumularea contaminanților în resursele marine destinate consumului uman.

Efectele poluanților pot fi detectate la mai multe niveluri de organizare biologică, de la nivelul întregului ecosistem până la nivel subcelular și molecular. Cele mai relevante evaluări ecotoxicologice, din punct de vedere ecologic, sunt acelea care descriu modificările structurii și funcției ecosistemelor. Aceste măsurători sunt adesea dificile, îndelungate și nu permit corelarea gradului de modificare al ecosistemului cu un nivel particular de contaminare.

La nivel celular și molecular, s-au identificat modificări patologice și markeri biochimici ce apar în urma expunerii la poluanți (Moore, 1991). S-au stabilit corelații între poluanți specifici prezenți în anumite concentrații și răspunsurile patologice sau biochimice. Totuși, corelarea efectelor la nivel individual cu alterările la nivel de comunități sau populații este destul de dificilă. Există preocupări privind relevanța aplicării metodelor fiziologice și biochimice pentru evaluarea efectelor poluării la nivel populațional. Variabilitatea inter-individuală ca răspuns la poluanți are o importanță majoră, deoarece reprezintă cheia înțelegerii mecanismelor de selecție ce însoțesc modificările ecologice induse de

poluare. Se consideră că poluanții care nu exercită o presiune de selecție nu provoacă efecte biologice semnificative la nivel de ecosistem, deoarece nu produc restructurarea comunităților.

Există o gamă largă de metode disponibile pentru evaluarea efectelor poluanților în mediul marin, de o deosebită importanță fiind evaluarea integrată, cu utilizarea mai multor metode, fiecare urmărind un nivel diferit de organizare biologică.

Interacțiunile dintre poluanți și organisme implică mai multe aspecte (Narbonne, 1992). Prima etapă în studiile de toxicologie acvatică constă în aprecierea tipului de poluant, a biodisponibilității acestuia și căile de preluare de către organism. Repartiția poluanților în mediul marin include: acumularea în substratul bentic, distribuția în coloana de apă și preluarea de către organisme. Frația prezentă în coloana de apă (legată la coloizi, particule sau dizolvată) și în hrană reprezintă fracția biodisponibilă. Există două căi majore de preluare: sistemul respirator (branhi) și sistemul digestiv. Hrana ca sursă de preluare este în special importantă în ecosistemele bentice, unde poluanții asociați cu sedimentele reprezintă surse semnificative pentru ecosistemele acvatice.

Preluarea contaminanților conduce la concentrarea lor în țesuturi. Rata de bioconcentrare depinde de mulți factori, precum temperatura, starea fiziologică (sex, sezon) și potențialul de biomagnificare de-a lungul nivelului trofic. Prima etapă a impactului contaminant - organism este reprezentată de interacția cu moleculele endogene. Aceste interacțiuni se clasifică în trei grupe principale. Contaminantul poate fi sechestrat și apoi neutralizat, și/sau poate avea interacțiuni specifice cu moleculele endogene (inhibarea unor enzime) și/sau poate fi metabolizat de enzimele sistemului de biotransformare. Toate aceste interacțiuni pot conduce la: stocare pe termen lung (fracția neutralizată); efecte toxice directe sau indirecte (după biotransformare); excreția contaminanților sau a metaboliților acestora.

Efectele toxice ale poluanților au repercusiuni la nivel celular, tisular sau la nivel de organism, modificând astfel integritatea populației și în final întregul ecosistem (Livingstone et al., 1989; Narbonne, 1992). Timpul de răspuns la impactul cu contaminanții variază de la ore pentru nivelul molecular și celular, la mai mulți ani la nivel de populație și comunitate.

Specificitatea, în sensul identificării poluantului ce determină un efect, se poate atinge numai la nivel molecular. Un răspuns fiziologic, de

genul efectului asupra creșterii, reprezintă un răspuns nespecific la o serie de stimuli din mediu, oferind o măsură a impactului general. Chiar dacă în acest caz relevanța ecologică există, este necesară elucidarea mecanismelor moleculare.

Termenul de biomarker definește parametri biologici ce se modifică la un organism expus la contaminanții din mediu. Conceptul de biomarker nu semnifică numai măsurătorile biochimice, ci include: patologia celulară, procesele fiziologice și chiar comportamentul unui organism expus la poluanți (Narbonne, 1992; Depledge et al., 1992).

Acest fapt creează posibilitatea utilizării secvențiale a biomarkerilor, începând cu cei nespecifici (fiziologici) și terminând cu biomarkerii biochimici și celulari specifici (de exemplu, activitatea oxidazelor cu funcție mixtă, metalotioneine, granule intracelulare, leziuni tisulare) (Couch și col., 1985; Livingstone, 1989; Viarengo, 1989; Stegeman și col., 1992). Magnitudinea răspunsului biomarkerilor, împreună cu determinarea concentrațiilor tisulare ale poluanților, contribuie la evaluarea generală a impactului poluării.

Comportamentul metalelor în organismele marine, este descris de mecanismele de preluare, stocare, excreție și reglare. Vor fi luate în discuție modelele generale privind preluarea și acumularea metalelor, în încercarea de a înțelege și explica variabilitatea nivelurilor tisulare ale metalelor.

4. MECANISME DE PRELUARE A METALELOR DE CĂTRE ORGANISM

Motivația numeroaselor studii asupra metalelor vine din necesitatea înțelegerii impactului poluării asupra comunităților marine. A existat o tendință de a investiga preponderent preluarea metalelor aflate în soluție în apa marină, deși calea nutrițională are de asemenea o mare importanță în preluarea metalelor (Bryan, 1984).

Metalele prezente în forma solubilă în apa marină penetrează în celulele organismelor marine fie prin procese pasive de difuzie (nevertebrate), fie prin intermediul unei molecule „purtătoare” (pești), (Roesijadi și Robinson, 1994). Absorbția metalelor aflate în soluție în apa de mare se produce atât prin suprafața generală a corpului, cât și prin zone specializate ca branhiile sau pereții intestinali. La

majoritatea crustaceelor mari și moluștelor, bariera prin care metalele sunt preluate este reprezentată de suprafețele respiratorii, restul organismului fiind protejat de exoscheletul calcaros sau chitinos.

Odată ce ionii metalici au traversat bariera pătrunzând în organism, sunt rapid legați de către liganzi intracelulari. Prezența în celulă a liganzilor cu afinitate mare pentru metale grele, precum glutatationul și metalotioneinele, asigură îndepărtarea continuă a acestora din stratul intern al membranei celulare, reducând astfel concentrația cationilor în celulă și menținând un gradient permanent față de mediul extern (Viarengo, 1989).

Preluarea metalelor legate la materiile în suspensie este în principal corelată cu activitatea tractului digestiv și reprezintă o sursă importantă pentru organisme (Roesijadi și Robinson, 1994). La nevertebratele marine (moluște, crustacee), suspensiile purtătoare de metale sunt preluate prin endocitoză, un mecanism de transport activ. La nivelul lizozomilor materialul biologic este degradat, în acest mod metalul devine disponibil pentru celulă sau poate rămâne legat la compușii rezultați (Viarengo, 1989).

5. MECANISME DE ACUMULARE ȘI ELIMINARE A METALELOR

Odată pătruns în organism, metalul va fi acumulat și/sau excretat. Acumularea se poate produce ca rezultat al mecanismelor fiziologice în cazul metalelor esențiale, care sunt direcționate spre țesuturi pentru îndeplinirea funcțiilor metabolice. La nivelul țesuturilor pot exista necesități de stocare a metalelor, în scopul asigurării unui stoc de metale care să răspundă cerințelor metabolice (Depledge și Rainbow, 1990). Excesul de ioni metalici, care depășește necesitățile metabolice și de stocare, este toxic și trebuie înlăturat din vecinătatea moleculelor importante biologic. Metalul poate fi eliminat din organism sau biotransformat, înainte de stocarea în țesuturi specifice, în forme inerte netoxice.

Organismele marine au dezvoltat diferite strategii de preluare, stocare sau eliminare a metalelor. Fie se restricționează pătrunderea a ionilor metalici acompaniată de mecanisme care asigură un necesar tisular scăzut de metale esențiale, fie se permite pătrunderea tuturor ionilor metalici însoțită de mecanisme de stocare sau eliminare a excesului de metale.

Metalele din organism pot fi stocate inițial în țesuturile la nivelul cărora au fost preluate (branhii, intestin, tegument). Ulterior ajung în țesuturile unde are loc detoxificarea, stocarea pe termen lung sau eliminarea (glanda digestivă, rinichi) (Roesijadi și Robinson, 1994).

La organismele marine au fost descrise trei mecanisme principale de eliminare a metalelor grele (Bryan, 1971; Roesijadi și Robinson, 1994). O modalitate, reprezentată de pierderea la nivelul suprafeței corpului sau branhiilor, caracterizează metalele ușor mobilizabile, care sunt adsorbite pe mucusul extern sau complexate la liganzi intracelulari sau extracelulari cu afinitate mică. Alt mecanism constă în eliminarea la nivelul intestinului. La nevertebrate, metalele sunt eliminate odată cu corpii reziduali rezultați în urma digestiei intracelulare, care sunt exocitați din glanda digestivă în intestin. Excreția prin urină este o altă cale de eliminare a metalelor.

6. CERCETAREA ȘI REGLAREA CONCENTRAȚIILOR TISULARE

Concentrațiile tisulare diferite ale metalelor grele se explică pe baza proprietăților specifice fiecărui țesut de preluare, retenție și excreție. Prin combinarea acestor procese, unele organismele marine sunt potențial capabile să își regleze concentrațiile anumitor metalelor grele în corp. Există numeroase preocupări privind capacitatea reglatoare a organismelor marine, în contextul utilizării acestora ca indicatori biologici de poluare cu metale. Pentru ca un organism să fie folosit ca indicator de poluare, trebuie să existe o corelație simplă între nivelul metalelor în mediu și în țesuturile acestuia. Organismele capabile să-și regleze concentrațiile de metale nu îndeplinesc acest criteriu (Depledge, 1990).

În anumite țesuturi, nivelurile unor metale sunt menținute între limite înguste prin mecanisme reglatoare care nu implică acumularea metalului în exces. În alte țesuturi, concentrațiile metalelor pot fi mai variabile. Acest fapt poate reflecta fie o reglare mai puțin riguroasă a preluării și excreției, fie că țesutul are capacitate de stocare, permițând acumularea metalelor în forme netoxice, metabolic inerte. Metalele din aceste depozite pot fi gradual eliminate din organism sau pot continua să se acumuleze de-a lungul vieții.

La unele organisme, întreaga încărcătură de metale a corpului se poate regăsi într-un singur țesut. Fluctuațiile concentrațiilor de metale în anumite țesuturi pot fi mascate atunci când se analizează conținutul total în întregul organism. Concluzionarea că un organism prezintă capacități reglatoare numai pe baza faptului că nivelul total prezintă variații mici la creșterea concentrației de expunere poate fi incorectă, dacă se neglijează observarea unei creșteri semnificative a nivelurilor de metale într-un țesut țintă sau organ vital.

Organismele marine preiau metalele din hrană sau apă, le transportă, stochează și excretă, în scopul menținerii unui flux continuu care să controleze concentrația cationilor liberi în celule și fluide. În celulele diferitelor țesuturi, metalele pot atinge concentrații ridicate, datorită capacității unor celule de a acumula excesul metalelor într-o formă netoxică, prin legare la compuși solubili sau compartimentalizare în vezicule membranare și granule (Viarengo & Nott, 1992; Roesijadi și Robinson, 1994). Diferitele procese biochimice implicate în homeostazia metalelor nu prezintă același grad de activitate în toate celulele unui organism. În diferitele organe ale aceluiași organism metalele pot fi acumulate diferențiat. Factorul determinant pentru concentrațiile metalelor în organism este reprezentat de biodisponibilitatea acestora din apă și hrană. Natura metalului (esențial sau neesențial, proprietățile chimice) și starea fiziologică a organismului influențează preluarea, distribuția, acumularea în țesuturi și excreția. Semnificațiile nivelurilor metalelor grele sunt luate în discuție relativ la starea de sănătate a organismelor și a folosirii lor în biomonitoringul poluării cu metale.

CONCLUZII

Metalele grele în exces au efecte inhibitorii asupra dezvoltării organismelor marine (fitoplancton, crustacei, pești) (Bryan, 1971; Viarengo, 1989). Pot afecta creșterea moluștelor, consumul de oxigen, formarea bisusului, procesul reproductiv. La peștii și crustaceii expuși la concentrații ridicate de metale apar modificări histologice precum: modificarea aspectului branhiilor, necroza sau degenerescența grăsoasă a ficatului (Bryan, 1971). Elucidarea efectelor la nivel celular permite înțelegerea modalităților prin care metalele grele pot altera metabolismul și fiziologia organismelor marine.

Membrana celulară este prima structură țintă când metalele penetrează celula. S-a demonstrat că metalele se pot lega la proteinele și fosfolipidele membranare, alterându-le structura și funcțiile. Metalele grele pot stimula procesele de peroxidare lipidică, o secvență complexă de reacții biochimice, definită ca « deteriorarea oxidativă a lipidelor polinesaturate ». Întregul proces are ca rezultat producerea de compuși extrem de toxici pentru celulă, datorită înaltei reactivități față de celelalte componente celulare (proteine solubile și membranare, ADN).

Rolul biologic al metalelor esențiale este corelat cu înalta lor afinitate pentru grupările active ale enzimelor și proteinelor structurale. Efectele toxice ale metalelor neesențiale pot fi produse de tendința lor de a substitui metalele esențiale și de a competiționa pentru liganzii biologici. Metalele toxice cu afinitate mare pentru grupările active ale proteinelor pot afecta structura și funcția acestor molecule și în final fiziologia celulei (Webb, 1979; Viarengo, 1989).

Efectele letale ale unor metale la crustacei au fost puse pe seama inhibării enzimelor implicate în respirația celulară. Modificările histologice observate la pești și crustacei în urma expunerii cronice la metale sunt efecte secundare produse de perturbarea nutriției în urma inhibării enzimelor căilor catabolice (Bryan, 1971). Efectele asupra creșterii și dezvoltării au fost puse pe seama inhibării enzimelor implicate în sinteza proteică și diviziunea celulară. Se consideră că, depinzând de metal, de gradul de bioacumulare și de vulnerabilitatea sistemelor enzimatică, este posibilă apariția unor multitudini de efecte.

Bibliografie

1. *Alzieu C. Dragages et. environment marin. Etat des connaissances. IFREMER. 1999.*
2. *Bryan G. The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. 1971.*
3. *Bryan G. Pollution due to heavy metals and their compounds. In Marine Ecology (Edited by Kinne O), vol 5, 1289-1431. Wiley, London. 1984.*
4. *Bryan G. A guide to the assessment of heavy metal contamination in estuaries using biological indicators. 1985.*
5. *Marine Biological Association of the United Kingdom, 4, 91-110.*

6. **Couch JA, Harshbarger JC.** Effects of carcinogenic agents on aquatic animals: an environmental and experimental overview. *Environ. Carcinogenesis Rev.*, 3, 63-105. 1985.
7. **Depledge M.H., Rainbow P.S.** Models of regulation and accumulation of trace metals in marine invertebrates. *Comp. Biochem. Physiol.*, 97, 1-7. 1990.
8. **Depledge, M.H.** New approaches in ecotoxicology: can inter-individual physiological variability be used as a tool to investigate pollution effects? *Ambio*, 19, 251-252. 1990.
9. **Depledge M.H., Amaral-Mendes J.J., Daniel B., Halbrook R.S., Kloepper- Sams P., Moore M.N., Peakall D.B.** The conceptual basis of the biomarker approach. In: Peakall, D.B., and Shugart, L.R. (Eds.) *Strategy for Biomarker Research and Application in the Assessment of Environmental Health.* Lewis, Boca Raton, Florida. 1992.
10. **Laane R.W.** Background concentrations of natural compounds in rivers, seawater, atmosphere and mussels. *International workshop on background concentrations of natural compounds, Haga. Report DGW - 92.033; the context of the problems of anthropogenic ecology of the sea.* *Geojournal*, 27(2), p141-148. 1992.
11. **Livingstone D.R.** Ecotoxicology: biological effects measurements on mollusks and their use in impact assessment. *Pollution of the North Sea: an assessment.* Springer-Verlag, 624-637. 1989.
12. **Luoma S.N., Davis J.A.,** 1983. Requirements for modeling trace metal partitioning in oxidized estuarine sediments. *Marine Chemistry*, 12, 159-181.
13. **Mance G.** Pollution threat of heavy metals in aquatic environments. Elsevier Applied Science Publishers Ltd, London and New York, p1-372. 1987.
14. **Moore M.N.** Environmental distress signals - Cellular reactions to marine pollution. *History and Photochemistry as a tool in environmental toxicology*, 23, 1-19. 1991.
15. **Narbonne J.F.** Use of biomarkers in assessment of contamination in marine ecosystems. *Fundamental approach and applications.* FIR/MEDPOL/NICE/2/Add.1. 1992
16. **Roesijadi G. și Robinson W.E. ,** 1994. Metal Regulation in Aquatic Animals: mechanisms of Uptake, Accumulation and Release (387-419). In: *Aquatic Toxicology. Molecular, Biochemical and Cellular Perspectives.* Ed. By Malins D.C. și Ostrander G.K., Lewis Publishers CRC Press.
17. **Simkiss K și Mason AZ.** Metal ions: metabolic and toxic effects. In *The Mollusca (Edited by Hochachka PW)* vol 2, 101-164. Academic Press, New York. 1983.
18. **Stegeman J.J., Brouwer M., Diguilio R.T., Forlin L., Fowler B.A., Sanders B.M., Van Veld P.** Enzyme and protein synthesis as indicators of contaminant exposure and effects. In: *Biomarkers; Biochemical, Physiological and Histopathological Markers of Anthropogenic Stress*, 235-336. Lewis, Boca Raton, Florida. 1992.
19. **Viarengo A.** Heavy metal in marine invertebrates: Mechanisms of regulation and toxicity at the cellular level. *Rev. Aqu. Sci.*, 1, 295-317. 1989.
20. **Viarengo A., Nott J.A.** Mechanisms of heavy metal caution homeostasis in marine invertebrates. *Comp. Biochem. Physiol.*, 104C, p355-372. 1992.
21. **Viarengo A.,** Heavy metal effects on lipid peroxidation in the tissues of *Mytilus galloprovincialis* (Lam). *Comp. Biochem. Physiol.*, 97C, 37- 42. 1990.