

# ÉRTEKEZÉSEK EMLÉKEZÉSEK

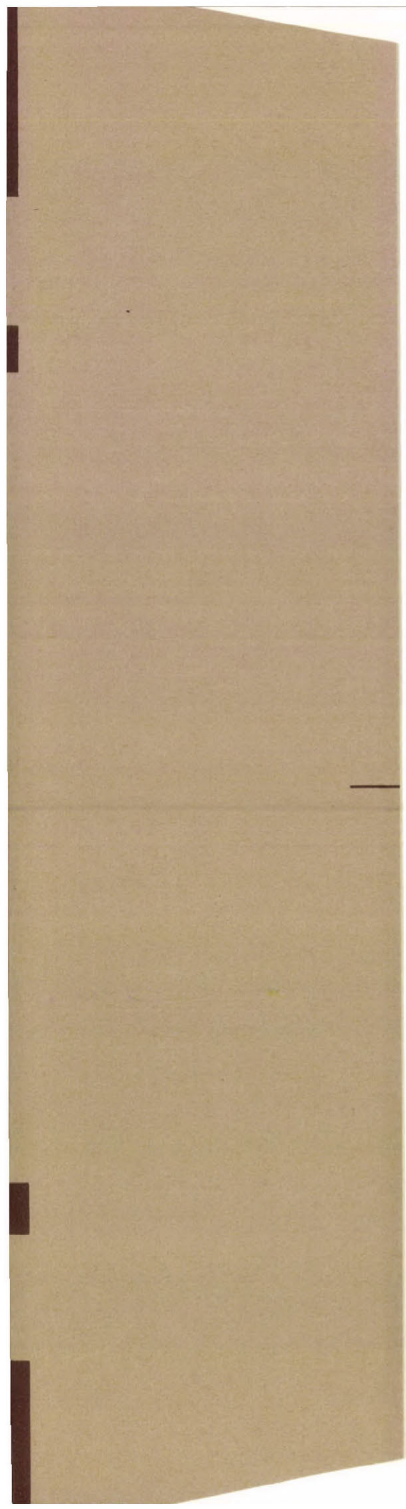
SALÁNKI JÁNOS

ÚJ UTAK  
A KÖRNYEZETSZENNYEZÉS  
BIOLÓGIAI INDIKÁLÁSÁBAN



95

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST



ÉRTEKEZÉSEK  
EMLÉKEZÉSEK

# ÉRTEKEZÉSEK EMLÉKEZÉSEK

SZERKESZTI  
TOLNAI MÁRTON

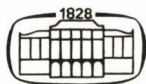


SALÁNKI JÁNOS

ÚJ UTAK  
A KÖRNYEZETSZENNYEZÉS  
BIOLÓGIAI INDIKÁLÁSÁBAN

AKADÉMIAI SZÉKFOGLALÓ

1988. MÁRCIUS 25.



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

A kiadványsorozatban a Magyar Tudományos Akadémia 1982.  
évi CXLII. Közgyűlése időpontjától megválasztott rendes  
és levelező tagok székfoglalói — önálló kötetben — látnak  
napvilágot.

A sorozat indításáról az Akadémia főtitkárának 22/1/1982.  
számú állásfoglalása rendelkezett.

ISBN 963 05 6404 1

Kiadja az Akadémiai Kiadó, Budapest

© Salánki János, 1992

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítás, a nyilvános  
előadás, a rádió- és televízióadás, valamint a fordítás jogát,  
az egyes fejezeteket illetően is.

Printed in Hungary

Az emberi tevékenység környezetet befolyásoló, megváltoztató, ha úgy tetszik jobbitó és károsító hatása egyidős az emberiség történetével. Az utóbbi évszázadban és különösen az utóbbi ötven évben azonban a technikai fejlődés, iparosítás és kemizálás földünk minden pontját elérte és a környezet mértéktelen szennyezése általánossá, globális veszéllyé vált. Nem véletlen, hogy a növekedés korlátaival foglalkozó Római Klub 1972-es első jelentése a környezetszennyezést e korlátok közé sorolta. Ezt a „kiemelt” megítélést az indokolta, hogy erre az időre az iparilag fejlett országokban a környezetet ért antropogén terhelés súlyos válságócokat alakított ki: elviselhetlenné vált jelentős városokban és körzetekben a levegő, emberi fogyasztásra alkalmatlanná vált számos vízfolyás, kipusztult egy sereg folyó és tó állatvilága, savas esők zúdultak még a szennyezésibocsátástól távoli országokra is, megindult a tengerek, a termőtalaj és a felszín alatti vizek kémiai anyagokkal való szennyezése és ez a folyamat megállíthatatlannak látszott. Nyilvánvalóvá vált, hogy a természet önszabályozással nem képes kompenzálni az egyre fokozódó mértékű környezetszennyezést, ezért saját létfeltételeinek biztosítása érdekében maga az ember, az emberi társadalom kell, hogy gátat vessen a környezet további rombolásának. Így alakult ki a legkülönbözőbb tudományterületek, állami és társadalmi intézmények közreműködésével az az irányzat, ami az ember által károsított környezet helyreállítását, a további károsítás megakadályozását vagy minimumra csökkentését, a gazdasági és természeti érdekek összehangolását, környezetbarát gazdálkodás elterjedését tekinti céljának.

A környezetszennyezés általánossá válásával tudományos szinten a biológusok szembesültek először, amikor a következőkkel találkoztak. Észlelték egyes növények és állatfajok pusztulását, ökológiai rendszerek kedvezőtlen átalakulását, degradációját, élőhelyek közvetlen vagy közvetett károsodását.

Ezek a megfigyelések, észlelések és mérések a környezetszennyezés eredményét regisztrálták, amit teljesen megalapozottan a szennyezés jelzőjévé, indikátorává is avattak.

A környezetszennyezés biológiai jelzésének az az útja, mely az élőlények pusztulását tekinti a megítélés kritériumának, nem kifogásolható. Erre épült az a környezetvédelmi toxikológiai rendszer is, melynek célja annak tisztázása, hogy a környezetbe kerülő különböző kémiai anyagok okoznak-e pusztulást az állat- és növényvilágban, és ha igen, a szennyezésnek mi az a mértéke, amit az élővilág még el tud viselni.

Az utóbbi időben a környezetszennyezés megítélésében új szempontok is előtérbe kerültek, melyek egyrészt a szubletális hatásoknak a korábbinál sokkal nagyobb jelentőséget tulajdonítanak, másrészt az akut hatások mellett a krónikus befolyást jobban számításba veszik. Ezek új megközelítést igényelnek a környezetszennyezés biológiai indikálásában is.



## PREVENTÍV JELZŐRENDSZER

Az új indikációs irányzatok abból indulnak ki, hogy a környezet védelmét megelőzéssel kell biztosítani, és ebben fel kell használni a biológia teljes spektrumát. Nem azt kell a környezetkárosítás kritériumának tekinteni, hogy bekövetkezik-e élőlények pusztulása, az ökoszisztéma degradációja, hanem azt, hogy akár szubletális hatások kumulációjaként csökken-e az egyedek és rendszerek életlehetősége és tűrőképessége, változik-e előnytelenül az életfeltételekhez való alkalmazkodóképesség. A populációk károsodása, az élőlényegyüttesen belül valamely faj fokozott pusztulása az egyedek károsodására, alkalmazkodóképességének csökkenésére vezethető vissza, mindez viszont azoknak a folyamatoknak, élettani mechanizmusoknak a károsodásából fakad, melyek az egyedek anyagcseréjét, szabályozási mechanizmusait, alkalmazkodó és védekező rendszerük működését fent tartják.

Az új irányzatok éppen ezért a látens károsodások figyelembevételét tartják elsődrendűnek a környezetszennyezés megítélésében. Ennek része a kis mennyiségben a környezetbe kerülő, az adott koncentrációban pusztulást nem okozó, veszélyes anyagok bioakkumulációjának felderítése, a szubletális dózisok hatásának és a hatás mechanizmusának tisztázása, az élő rendszerekre gyakorolt hosszú távú károsító hatások felmérése. Ezek a törekvések magyarázzák, hogy a környezetvédelem problémaköre egyre inkább épít a különböző biológiai diszciplínákra, ill. más oldalról tekintve, hogy a környezetvédelem problémaköre egyre inkább beépül a különböző diszciplínákba. Ma már kongresszusokon és kiadványokban, kutatási programokban és a nemzetközi szervezetek ajánlásaiban megjelennek az olyan alcímek, mint „environmental biophysics”, „environmental biochemistry”, „environmental biotechnology”, „environmental physiology”, és megjelent az „environmental neurobiology” is.

E megközelítési módok fontosságának igazolására egy hazai példát említek meg: 1965-ben és 1975-ben is halpusztulás volt a Balatonon. Az események vizsgálata során nem lehetett bizton-  
sággal kimondani, hogy valami akut mérgezés vagy infekció állott-e a pusztulás hátterében. A körülmények ismerete és iro-  
dalmi adatok alapján csak feltételezni lehetett, hogy peszticidek felhalmozódása és a tárolóhelyekről való mobilizálódása oko-  
zott olyan mérgezést, amit az állatok egy része nem tudott túlélni. Kérdés azonban, hogy vajon az üledékben vagy az állatokban felhalmozott peszticidekről volt-e szó, sőt, esetleg más anyagok, pl. toxikus nehézfémek mobilizálódása vagy egyéb antropogén hatások kumulálódása játszott-e szerepet az életfontos funkciók összeomlásában és a halak pusztulásában. Ennek megítéléséhez hiányoztak az akkori konkrét körülményekre vonatkozó alapve-  
tő kémiai, biokémiai, élettani, toxikológiai ismeretek. Hozzátar-  
tozik a dologhoz, hogy hasonló, „feltáratlan” halpusztulások másutt is előfordultak Európában és Amerikában egyaránt, és éppen ez járult hozzá világszerte a környezetvédelmi toxikológiai kutatások erőteljes fejlődéséhez.

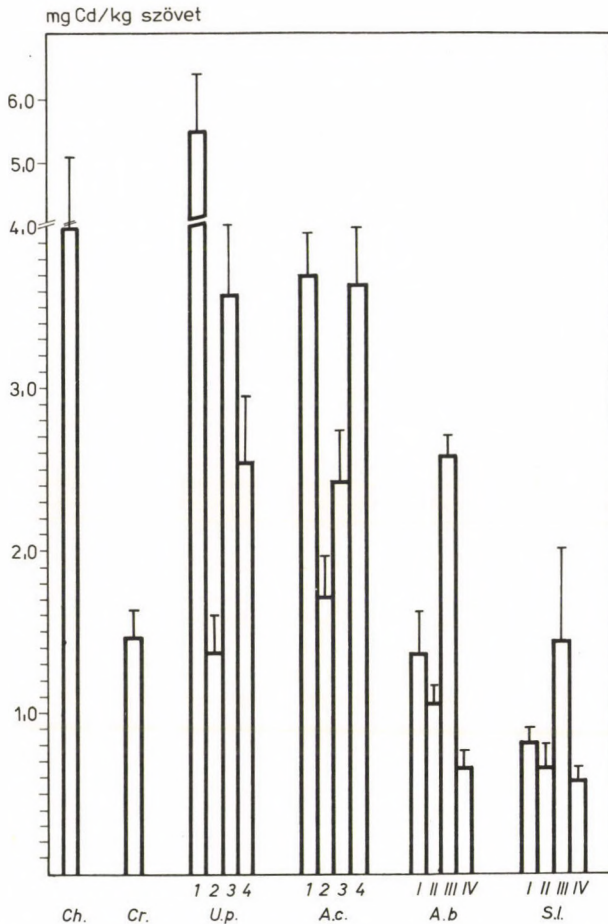
A környezetszennyező anyagok elterjedésének, a bioszférában való kisebb vagy nagyobb mértékű megjelenésének jó indikátorai azok a biológiai objektumok, melyek valamilyen élettani sajátosságuk miatt a környezetükben előforduló anyagokat akkumulálják és tárolják. A különböző szervezetek eltérő mértékben képesek ugyanazt az anyagot koncentrálni és a szennyezés indikátoraként működni. Ez a felismerés vezetett arra, hogy kutatások induljanak jó akkumulációs indikátorok felderítésére, majd azok felhasználására a környezet minőségének megítélésében. Ebben az aspektusban a mi kutatásaink a balatoni állatok nehézfém-tartalmának tisztázására, valamint jó fémakkumulációs szervezetek kiválasztására irányultak, tekintettel arra, hogy mind a toxikus, mind az afiziológiás mennyiségben jelenlévő biogén nehézfémek a legelterjedtebb és legveszélyesebb környezetszennyező anyagok közé tartoznak.

Kiderült a mérések során, hogy különböző balatoni állatok, illetve egyes szerveik nehézfém-koncentrációja jelentősen eltér egymástól (SALÁNKI és mtsai, 1982). A kadmiumot (1. ábra) és az ólmot (2. ábra) például a kagylók kopoltyúja, míg a rezet (3. ábra) a *crustacea* plankton és a keszeg mája akkumulálja legjobban. Öt toxikus, ill. biogén nehézfémre kapott értékeket összehasonlítva irodalmi adatokkal, kitűnt, hogy a balatoni halak nehézfém-tartalma a szennyezetlen és kissé szennyezett vizekre kapott értékek határán mozog.

Egyértelműen mutatják ezek az adatok azt is, hogy a vizsgált szervezetek közül a kagylók és azoknak is a kopoltyúja az, ami a toxikus nehézfémeket leginkább akkumulálja. A kagyló kopoltyúját éppen ezért indikátor szervnek lehet tekinteni, amely alkalmas arra, hogy vizsgálatával a nehézfém-szennyezettség mértékére következtethessünk.

Azonos időben történt mintavételezéssel azt is felmértük, hogy van-e eltérés a nehézfém-szennyezettségben a Balaton eltérő te-

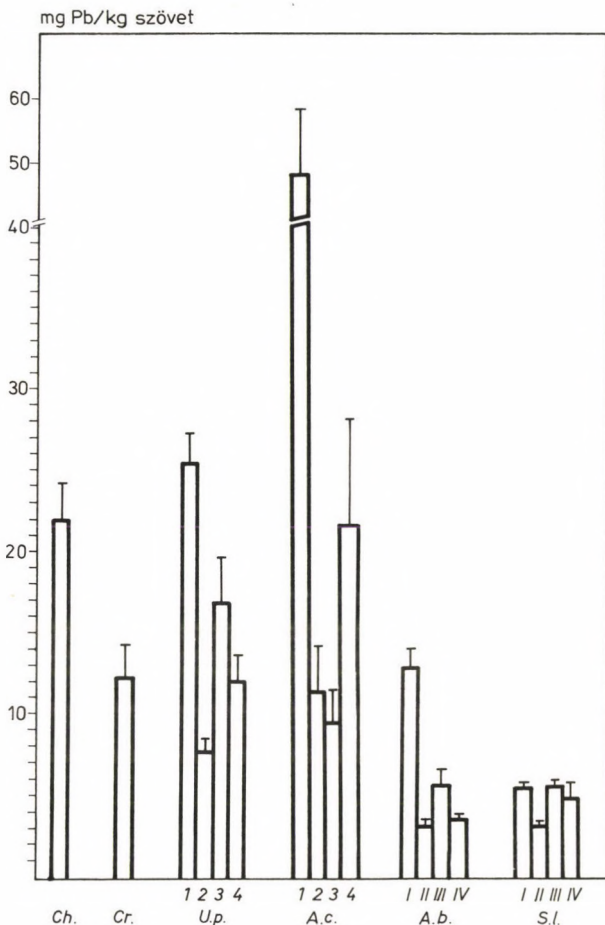




**1. ábra.** Balatoni állatok és szerveik kadmiumkoncentrációja, száraz súlyra számítva. Ch.–Chironomida (árvaszúnyog) lárvák; Cr.–Crustacea plankton (lebegő rákok). U. p.–*Unio pictorum* L. (folyami kagyló) és A. c.–*Anodonta cygnea* L. (tavi kagyló) szervei (1–kopoltyú, 2–köpeny, 3–vese, 4–láb a zsigerekkel); A. b.–*Abramis brama* L. (keszeg) és S. l.–*Stizostedion lucioperca* L. (fogassüllő) szervei (I–kopoltyú, II–vese, III–máj, IV–izom)

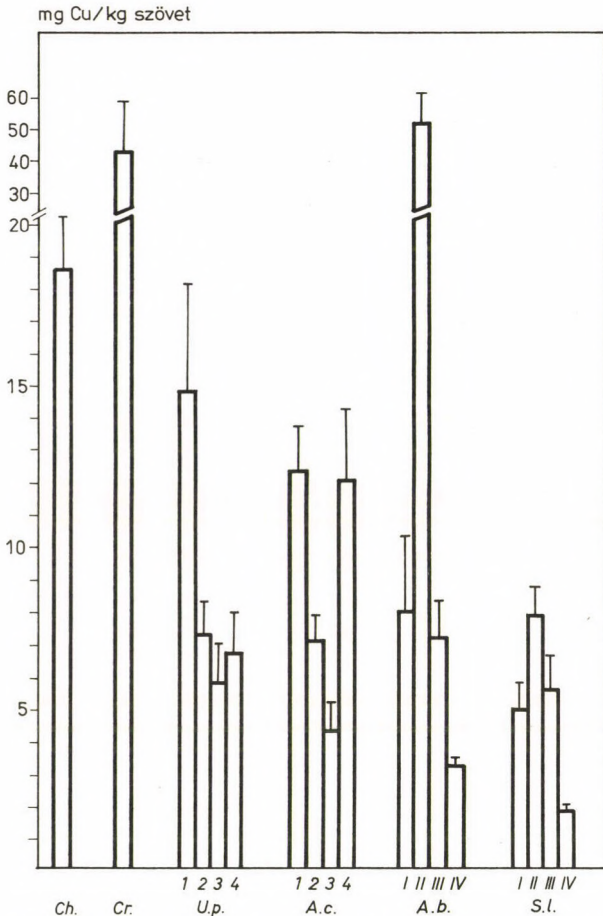
rületein, különös tekintettel a parti zónákra, a vízbefolyások környékére, egyes szennyvíztisztítók és vitorlástelepek körzetére.

A planktonrákok vizsgálata során (V.-BALOGH és SALÁNKI, 1984a) tisztázódott, hogy pl. a Hg és a Cd a Keszthelyi-medencé-



2. ábra. Balatoni állatok és szerveik ólomkoncentrációja, száraz súlyra számítva. Jelölések — mint az 1. ábrán

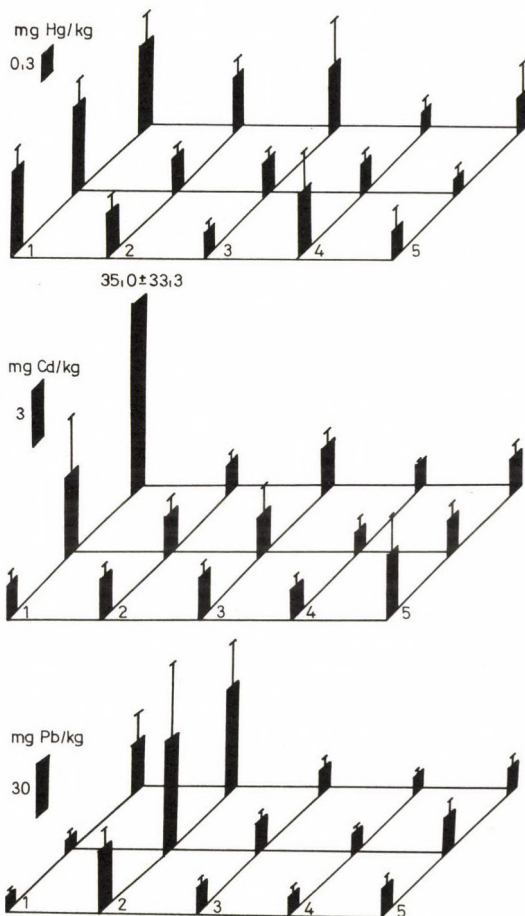
ben nagyobb mértékben akumulálódik, mint a keleti medencében, a kistestű rákok ólomtartalma viszont a Szigligeti-medencében volt a legnagyobb (4. ábra). Szennyvíztisztítók tóba való befolyásánál, valamint a balatonfüredi vitorláskikötő mellett a kagylók nehézfém tartalma — különösen a réz, kadmium és ólom — többszöröse volt a tó más részein gyűjtött állatokban mért koncentrációnak. Meg kell jegyezni, hogy e körülmények között



3. ábra. Balatoni állatok és szerveik rézkoncentrációja, száraz súlyra számítva. Jelölések — mint az 1. ábrán

az állatok jól éltek, pusztulás nem volt észlelhető, a bioakkumulációs indikátor azonban világosan megmutatta, hogy a tisztított szennyvizek és a védőfestékkel kezelt hajótestek nem lebecsülhető pontszerű nehézfém-kibocsátók a Balatonon.

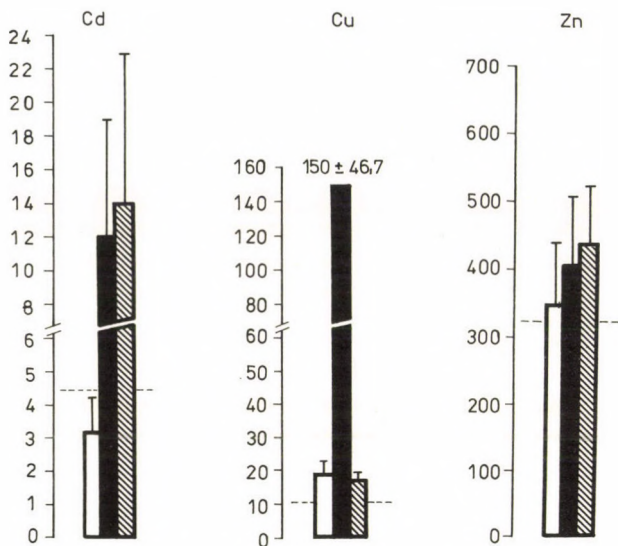
A különböző vízi szervezetek nemcsak élőhelyükről gyűjtve használhatók a környezetszennyezés megítélésére, hanem rafináltabb terepkiérletekben is, amikor pl. lehetőleg kevésbé szeny-



**4. ábra.** Higany, kadmium és ólom koncentrációja a Balaton különböző területein gyűjtött zooplanktonban. A Balaton-térképen jelzett mintavételi helyek a parttól 200 m-re, ill. a Balaton közepén helyezkedtek el. Az értékek száraz súlyra vonatkoznak

nyezett élőhelyen felnőtt állatokat áttelepítünk különböző mértékben szennyezett területekre, majd meghatározott idő elteltével mérjük nehézfém tartalmukat. Ezzel az eljárással vizsgáltuk a

Zala folyó különböző szakaszain a víz nehézfém-szennyezettségét, amit kéthetenkénti mintavételezéssel kísértünk nyomon (V.-BALOGH és SALÁNKI, 1987). Nyilvánvalóvá vált, hogy a folyó nehézfémterhelése Zalaegerszeg felett sokkal kisebb, mint a város szennyvizeinek befogadása után, és ez a megemelkedett szint egyes fémek esetében nem csökken egészen a Balatonba való bejutásig (5. ábra). Még nem tudjuk, milyen hatása lesz erre a

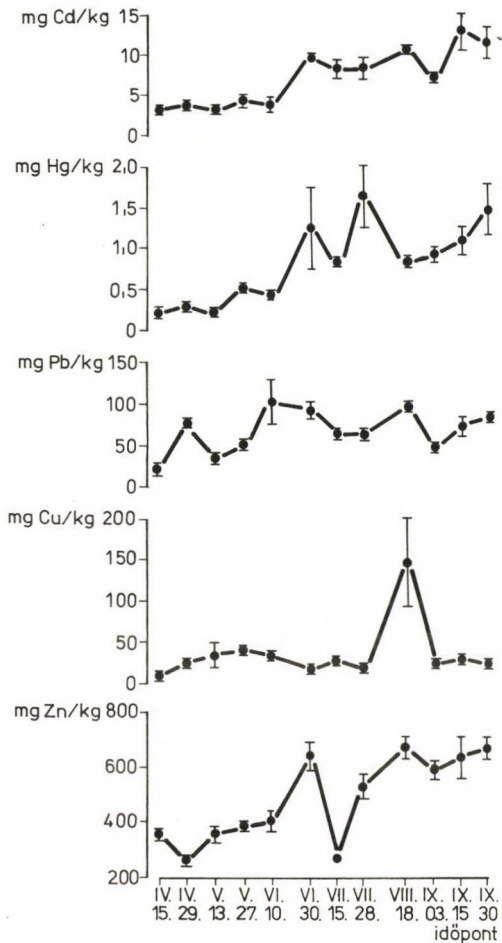


**5. ábra.** A kadmium, a réz és a cink koncentrációjának alakulása a Balatonban gyűjtött, majd a Zala különböző szakaszaira kihelyezett kagylók kopolyájában. A szaggatott vonal a kihelyezéskor mért koncentrációt jelzi. A mérés 2 héttel a kihelyezés után történt. Üres oszlop — Zalaegerszeg felett, fekete oszlop — Zalaegerszeg alatt, vonalkázott oszlop — a Zala-toroknál tartott kagylókra vonatkozik. Minden mérés 3 állatból, párhuzamosan történt. Függőleges oszlop: mg/kg száraz súly

kisbalatoni vízvédelmi rendszernek, e vizsgálatok még az annak megépülte előtti helyzetet tükrözik.

A transzlokációs kísérletekből az is kiderült, hogy hosszabb periódus alatt mindegyik nehézfém mutat jelentős koncentrációváltozást az állatokban (6. ábra).

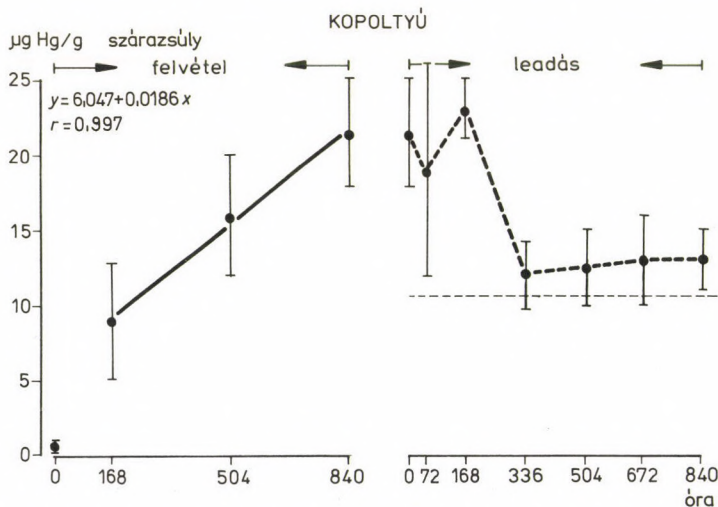




6. ábra. Öt nehézfém koncentrációjának (mg/kg száraz súly) alakulása a Balatonból a Zala folyóba áthelyezett kagylók kopolyájában. Az első mérés az áthelyezés időpontjában (IV. 15.) történt

## NEHÉZFÉMEK FELVÉTELE ÉS LEADÁSA

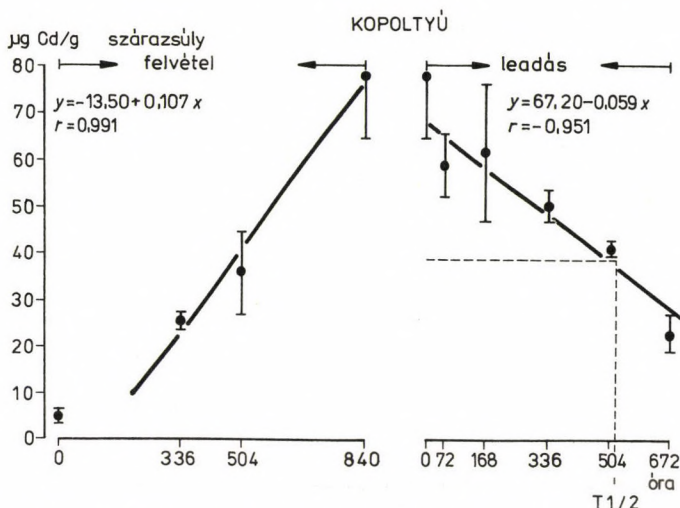
Az ugyanazon helyről vett mintákban néhány hét alatt 50—100%-os eltérések is adódtak, és felmerült, vajon ilyen különbségek valóban a környezeti szennyezés változásának eredményeként következnek-e be. Ezt a kérdést minden esetben fel kell tenni, amikor biológiai indikátorokról beszélünk, és tisztázni kell, hogy az indikátor szervezet előélete mennyiben befolyásolhatja a mérési adatokat. Vannak ugyanis szervezetek, melyek a felvett szennyező anyagokat úgyszólván életük végéig megtartják, tárolják, és csak pusztulásukkor adják le. Más szervezetekben a felvétel és a kiürülés is gyorsan végbemegy. Éppen ezért hosszan tartó laboratóriumi vizsgálatokban követtük nyomon a különböző fémek felvételének és leadásának dinamikáját kagylóban (SALÁNKI ÉS V.-BALOGH, 1985). Az állatokat 4 héten át állandó nehézfém tartalmú vízben tartottuk, majd újabb 4 hétre termé-



7. ábra. Higany felvételének és leadásának dinamikája kagyló kopoltyúban. Az alkalmazott koncentráció  $12,9 \pm 2,8$  µg/l volt, átfolyó rendszerben. A vízszintes szaggatott vonal az 50%-os elméleti leadási szintet jelzi



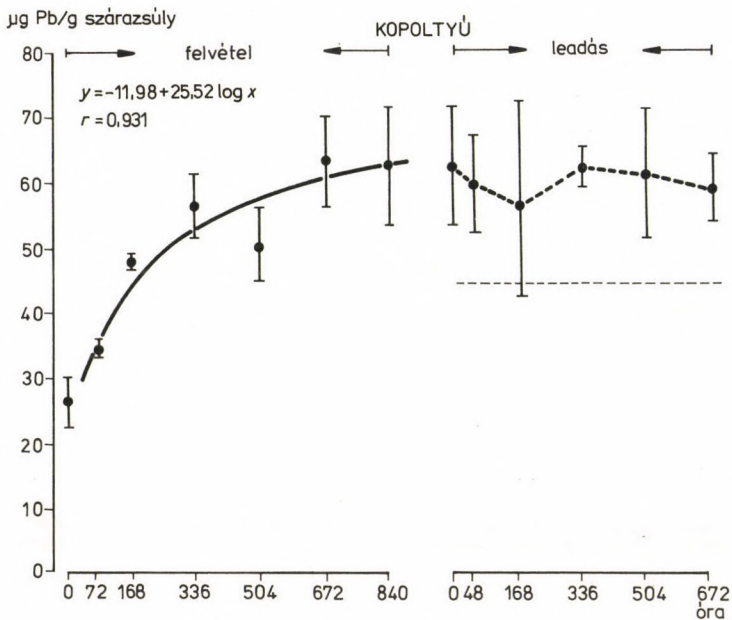
szetes balatonvízbe helyeztük, és meghatározott idő elteltével mértük a fémkoncentrációkat a kagylók különböző szerveiben. Azt találtuk, hogy a fémfelvétel az első két napban viszonylag lassú, majd lineárisan fokozódik és telítődés az ólom kivételével



8. ábra. Kadmium felvételének és leadásának dinamikája kagyló kopoltyúban. Az alkalmazott koncentráció  $16 \pm 1,3 \mu\text{g/l}$  volt, átfolyó rendszerben. A vízszintes szaggatott vonal az 50%-os elméleti leadási szintet jelzi.  $T_{1/2}$  a kadmium 50%-os kiürüléséhez szükséges idő

5 hét alatt sem következnek be (V.-BALOGH és SALÁNKI, 1984b). Ha ezután tiszta balatonvízbe helyezzük az állatokat, akkor hirtelen zuhanás következik be a fémtartalomban, ami azonban nem tér vissza a kiindulási értékre, hanem a fémekre és a szervekre jellemző szinten stabilizálódik (7. és 8. ábra). Egyes szervekben némely fém kötődése igen erős, és a kiürülés heteken át is csak minimális (9. ábra) (SALÁNKI és V.-BALOGH, 1989).

Ezek a laboratóriumi kísérletek azt mutatják, hogy a nehézfémek legalább két kompartmentben helyezkednek el a szervekben a felvétel után, és hogy az egyikből nem, vagy csak nehezen ürülnek ki, míg a másikkól könnyen kimosódnak.



9. ábra. Ólom felvételének és leadásának dinamikája kagyló kopoltyúban. Az alkalmazott koncentráció  $57 \pm 19 \mu\text{g/l}$  volt, átfolyó rendszerben. A vízszintes szaggatott vonal az 50%-os elméleti leadási szintet jelzi

## A KÖRNYEZET SZENNYEZETTSÉGÉNEK FOLYAMATOS ELLENŐRZÉSE

A felvétel és leadás dinamikájának nagy jelentősége van a szennyezettség biológiai indikálása szempontjából. Különösen a folyóvizekre, de a tavakra is jellemző az, hogy a szennyezettség nem állandó szintű, hanem hullámokban jelentkezik. Rendszerint a szennyezőforrások is változó mennyiségben juttatják a vizekbe a különböző anyagokat, másrészt a töménységet a vízhozam is jelentősen befolyásolja. Az átmeneti, néhány órás vagy napos szennyezési csúcsok a vízből szinte csak szerencsés esetekben mutathatók ki, míg az akkumuláló indikátorszervezetek ennek nyomát heteken át, esetleg tovább is megőrzik.

1986-ban a Rajnán bekövetkezett mérgezés kiváltó oka, mely az élővilág jelentős részét elpusztította a leginkább érintett folyószakaszon, a néhány nap múltán végzett vízkémiai analízisekkel csak részben volt identifikálható. A túlélő állatokból azonban kimutatható volt jó néhány mérgező komponens, melyek vízbe jutását a szennyezést kibocsátó gyógyszergyár csak a bioindikációs bizonyítékok előterjesztése után ismerte el. Ez azt is mutatja, hogy a korábbi felfogással ellentétben nemcsak azok a jó indikátor fajok, melyek érzékenysége nagyfokú és gyors pusztulással reagálnak a környezetszennyező anyagokra, hanem jó gyakorlati indikátorok azok is, melyek ellenállóak a károsodással szemben, és nagy akkumulációs kapacitásuk révén képesek a környezetszennyező anyagok felhalmozására és szervezetükben való megőrzésére.

Nem nehéz belátni, hogy a környezet minőségének ellenőrzése szempontjából milyen nagy jelentőségük lehet az ilyen típusú biológiai jelzőszervezeteknek. Az sem szorul indoklásra, hogy a környezet minőségének rendszeres ellenőrzése, a szennyező források feltárása és anyagkibocsátásának korlátok között való tartása hazánkban is alapvető gazdasági, egészségügyi és társadalmi kérdés. Éppen ezért az elmúlt években, a balatoni szervezetek nehézfém-szennyezettségének felmérése után egy olyan prog-

ramon dolgozunk, melynek célja az, hogy a Balaton teljes vízgyűjtőjén felmérjük a nehézfém-szennyezettséget, biológiai jelzőrendszer alkalmazásával (SALÁNKI et al., 1988; SALÁNKI, 1989). Ennek során szeretnénk megteremteni az alapját egy olyan folyamatos biológiai mérőhálózatnak is — mint amit néhány iparilag fejlett országban, főleg a tenger szennyezettségének figyelemmel kísérésére már régóta működtetnek —, amely folyamatosan adatokat szolgáltatna egy országos környezetvédelmi hálózatnak.



## ÖKO-TOXIKOLÓGIAI MEGKÖZELÍTÉS

Az akkumulációs biológiai tesztek és tesztrendszerek arra szolgálnak, hogy kimutassák a kis koncentrációban környezetbe kerülő anyagok megjelenését egy adott régióban, és időben felhívják a figyelmet a károsodás veszélyére. Ilyen észlelőrendszer működtetése rendszertelenül működő szennyezőforrások felderítésére is alkalmas. A szennyezés korai feltárása kiindulópontja lehet megelőző intézkedések megtételének, vagyis hatásában preventívnek tekinthető. Mindamellett megvannak ennek a rendszernek a korlátai is. Egyik hiányossága abból fakad, hogy csak azoknak az anyagoknak a kimutatására alkalmas, melyek nem bomlékonyak vagy legalábbis eléggé stabilak ahhoz, hogy felhalmozódjanak a biológiai objektumokban. Ilyen anyagok a nehézfémek, a perzisztens klórozott szénhidrogének, és számos más szintetikus anyag. Ezzel szemben vannak vegyületek, melyek környezetszennyező és -károsító hatása ugyan jól ismert, de gyorsan lebomlanak, nem halmozódnak fel és akkumulációs tesztekkel nem detektálhatók. A peszticidek újabb generációi is ebbe a csoportba tartoznak.

A másik hiányosság azzal függ össze, hogy a sokféle szóba jöhető anyag állatokból vagy növényekből való kimutatása és mérése kiterjedt analitikai munkát igényel, de a kimutathatóság, sőt a halmozódás sem irányadó a károsító hatás szempontjából. Évente sok száz újonnan engedélyezett vegyület kerül használatba az iparban és a mezőgazdaságban, de még a gyógyszerek és kozmetikumok körében is, melyek élő szervezetekben való megjelenése mérésének nincs kidolgozott módszere, de arra igény sincs. Ezért kerül mindinkább előtérbe az az irányzat, miszerint a jelentős mennyiségben használatba kerülő új kémiai anyagok ne csak a szokásos, a pusztulást számba vevő toxicitási és genetikai tesztvizsgálaton essenek át, hanem kerüljenek ellenőrzésre abból a szempontból is, vajon szubletális koncentrációik okoz-

nak-e nem kívánt átmeneti vagy maradandó károsodást biológiai rendszerekben.

Az az irányzat, mely az antropogén anyagok környezetkárosító hatásának vizsgálatával ilyen preventív módon foglalkozik, az öko-toxikológia tárgykörébe tartozik és a legkülönbélebb biológiai objektumokat használja. Szerepük van ebben a mikrobáknak éppen úgy, mint a növényeknek és állatoknak, a genetikai, biokémiai, sugárbiológiai, citológiai, immunológiai, magatartásbiológiai megközelítésnek és módszereknek egyaránt. Ebben a sorban jelennek meg a neurobiológiai eljárások is, melyek arra alkalmasak, hogy a különböző antropogén anyagok idegrendszeri hatásának vizsgálata alapján lehessen ítélni azok toxikusságának mértékéről, és közvetve környezetkárosító vagy környezetsemleges voltáról.

Meg kell jegyezni, hogy a különböző exogén anyagok hatásának tanulmányozása a kísérleti biológiában eredendően nem környezetbiológiai indíttatású. A biológiai szabályozás törvényszerűségeinek és mechanizmusainak megismerésében régtől fogva használatosak a különböző szervetlen és szerves kémiai anyagok, a mutagén és karcinogén anyagoktól kezdve az enzimműködést befolyásoló nehézfémeken keresztül a szerves foszfátészterekig, a természetben is előforduló toxinokig és sejtmérgekig. Az idegrendszeri kutatásokban is általános gyakorlat a specifikus, élőlényekből kivont vagy szintetikus gátlószerek alkalmazása egymás mellett lejátszódó biológiai történések szétválasztására, egyes komponensek kiiktatására, a blokkolható, ill. nem befolyásolt folyamat szabályozáson belüli szerepének felderítésére.

Az öko-toxikológiai megközelítés a különböző kísérleti biológiai módszerek alkalmazásakor azt jelenti, hogy eredendő célunk annak tisztázása, vajon a környezetkárosítás szempontjából figyelembe vett anyag okoz-e a szabályozási rendszerben olyan változást, ami káros az életműködésre és ami, ha pusztuláshoz nem is vezet, befolyásolja-e előnytelenül az élettani funkciókat.

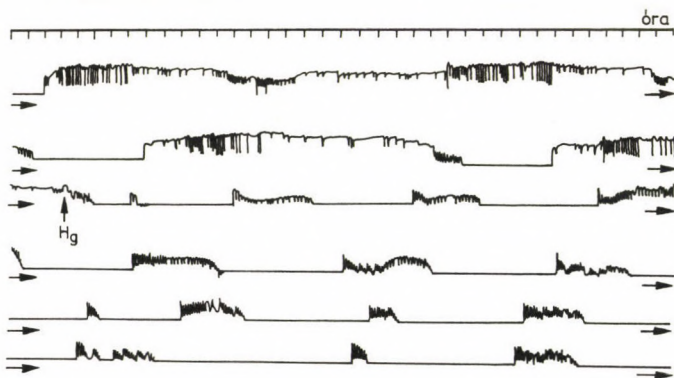
Ebben a sokrétű problémakörben a mi kutatásaink az idegi szabályozás egy speciális kérdéskörét teszik vizsgálat tárgyává, nevezetesen azt, hogy a környezetben általánosan elterjedt, és koncentrációjukban változó perzisztens szennyező anyagok mi-

képpen hatnak az idegrendszer által irányított életfolyamatokra, az idegi struktúrákra, a szabályozás kémiai anyagainak szintézisére, tárolására és felszabadulására, az idegsejtek ingerlékenységére, kémiai reaktivitására és magában az ingerlékeny membránban lejátszódó folyamatokra. Ezeknek a struktúráknak és folyamatoknak döntő szerepük van az állatok életfunkcióinak szabályozásában, az életfeltételekhez való alkalmazkodásban, az egyedek viselkedésének meghatározásában.

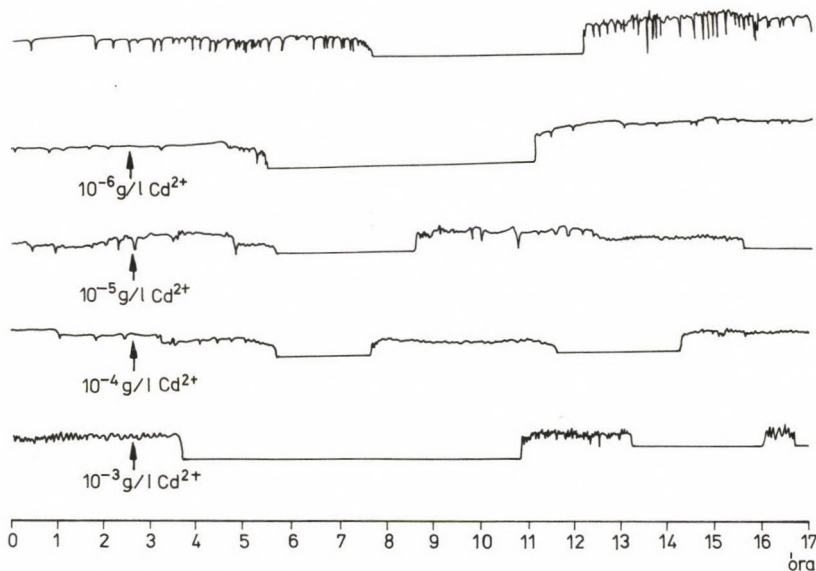


## NEHÉZFÉMEK HATÁSA A KAGYLÓK VISELKEDÉSÉNEK SZABÁLYOZÁSÁRA

Kapcsolódva a nehézfémek balatoni szervezetekben való felhalmozódására irányuló vizsgálatokhoz, laboratóriumi feltételek mellett ugyancsak a nehézfémek idegrendszeri hatását tanulmányoztuk az utóbbi években legkiterjedtebben. E munka egyik ága közel 30 évre nyúlik vissza, amikor más céllal végzett vizsgálatok során azt találtuk (KOSHTOYANTS és SALÁNKI, 1958), hogy a szöveti anyagcserét befolyásoló anyagok, különösen az SH-t blokkoló kadmium és higany hatására (SALÁNKI, 1960) tavi kagylók viselkedési mintázata jellegzetesen megváltozik, nevezetesen, a kedvező körülmények között tapasztalt hosszan tartó filtrációs aktivitási periódusok lerövidülnek és az aktivitás nyugalommal való változása gyakorivá válik (10. ábra). Az is kiderült, hogy a hatás koncentrációfüggő, és hogy meglehetősen széles az a sáv, melyen belül az állatok viselkedésük megváltoztatásával jól alkalmazkodnak a fokozódó szennyeződéshez (11. ábra).



10. ábra. Tavi kagyló szűrő aktivitása tiszta Balaton-vízben és  $\text{HgCl}_2$ -al ( $10^{-4}$  mol/l) történt szennyezés után. Aktív periódus alatt a héjak nyitva vannak, és időről időre gyors zárás és nyitás jelentkezik (függőleges vonalkák), ami a vízáramlást segíti. Nyugalmi periódusban a héjak órákon át szorosan zártak (vízszintes vonalak a regisztrátumon). Tiszta vízben az aktív periódusok hossza 20–60 óra, ami szennyezett vízben 2–5 órára is lerövidülhet

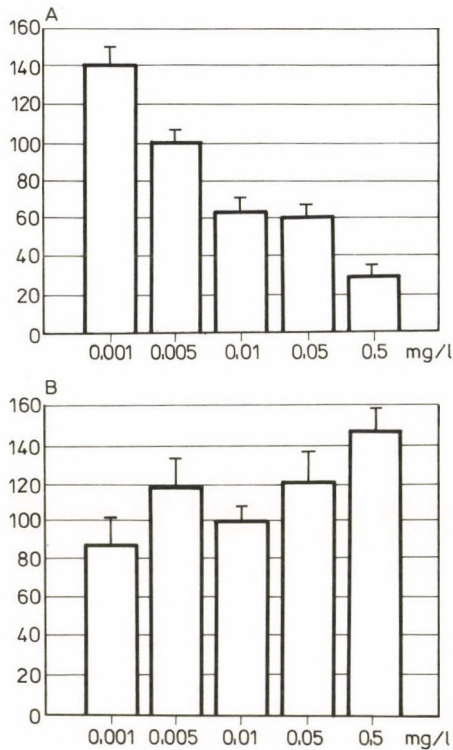


11. ábra. Tavi kagyló aktivitásának változása kadmium eltérő koncentrációinak hatására. Felső regisztrátum: kontroll. Az aktív periódusok a Cd-koncentráció növekedésével egyre rövidülnek, kivéve a legkisebb ( $10^{-6}$  g/l) koncentrációt, mikor is az aktív periódus meghosszabbodott (az ábrán nem látszik) és a gyors kontrakciók gyakorisága csökkent

A koncentrációfüggés vizsgálata kimutatta, hogy kadmium, higany, réz igen alacsony koncentrációja még fokozza is az állat aktivitását olymódon, hogy az aktív periódusok meghosszabbodnak, a nyugalmiak viszont megrövidülnek, nagyobb koncentrációk azonban egyértelműen az aktivitás csökkenését és a nyugalom előtérbe kerülését idézik elő (12. ábra). Az aktivitási idő relatív megrövidülése együtt jár az állat táplálkozásának és légzésének csökkenésével, de egyidejűleg csökken az állat szűrő, víztisztító tevékenysége is, ami viszont a környezet szempontjából előnytelen.

Mint hogy az állatok viselkedését és a viselkedési mintázatok kialakulását az idegrendszer szabályozza, azt a következtetést lehetett levonni, hogy a nehézfémek hatására bekövetkezett változásokért központi idegi mechanizmusok lehetnek felelősek.

Az elmúlt évek során sikerült tisztáznunk, hogy a kagylókban a szabályozás folyamatában két endogén, idegrendszeri mono-

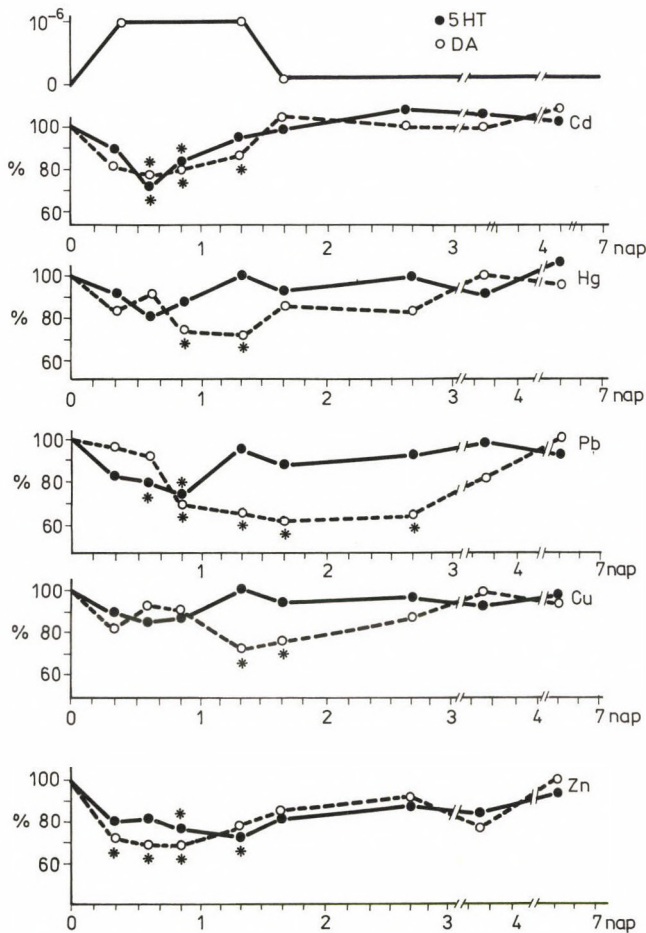


**12. ábra.** Tavi kagyló aktív (A) és nyugalmi (B) periódusai időtartamának változása kadmium hatására. Az oszlopok egyhetes kezelés alatti átlagértékeket jeleznek, a kontrollhoz (100 egység) viszonyítva --

amin: a szerotonin és a dopamin játszik vezető szerepet (SALÁNKI, 1963; HIRIPI ÉS SALÁNKI, 1973, SALÁNKI ÉS mtsai, 1974). Éppen ezért feltételeztük, hogy a nehézfémek az agyi monoaminszint változtatásával fejtik ki hatásukat a szabályozási mechanizmusra. Megvizsgáltuk ezt a lehetőséget (SALÁNKI ÉS HIRIPI, 1990), és azt találtuk, hogy a Cd, a Hg, a Zn, a Cu és az Pb  $10^{-6}$ – $10^{-8}$  mol/l koncentrációban 24 óra alatt valóban átmeneti csökkenést eredményez a szerotonin- és dopamintartalomban (13. ábra).

Az eredeti monoaminszint helyreállítódása a különböző fémekkel történt kezelés után eltérő, sőt pl. higany, ólom és réz hatása után eltérő restitúciós folyamatot találtunk a két mono-

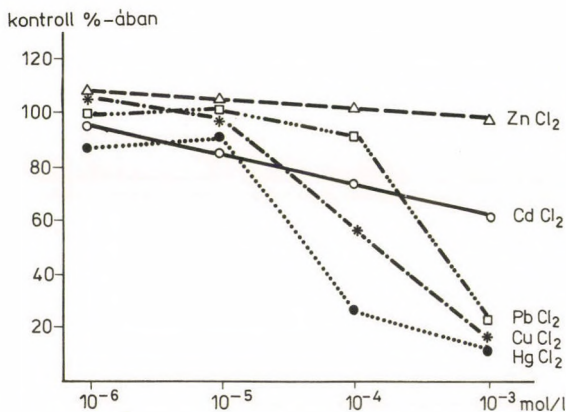




13. ábra. Vízbe adott  $10^{-6}$  mol/l kadmium, higany, ólom, réz és cink hatása kagylók központi idegrendszerének szerotonin (5HT) és dopamin (DA) tartalmára. A kezelés során a mintákat 4 óránként vettük. Felső görbe az oldatok adásának időmenetét jelzi. A két monoamin csökkenése és helyreállítása higany, ólom és réz adásakor jelentősen eltér egymástól (\* szignifikáns eltérés a kontrolltól)

aminra vonatkozólag is. Ez világosan utal arra, hogy nem egyszerűen valami általános károsító befolyásról van szó, hanem olyan fémspecifikus hatásról, aminek magyarázatát finomabb mechanizmusokban kell keresni.

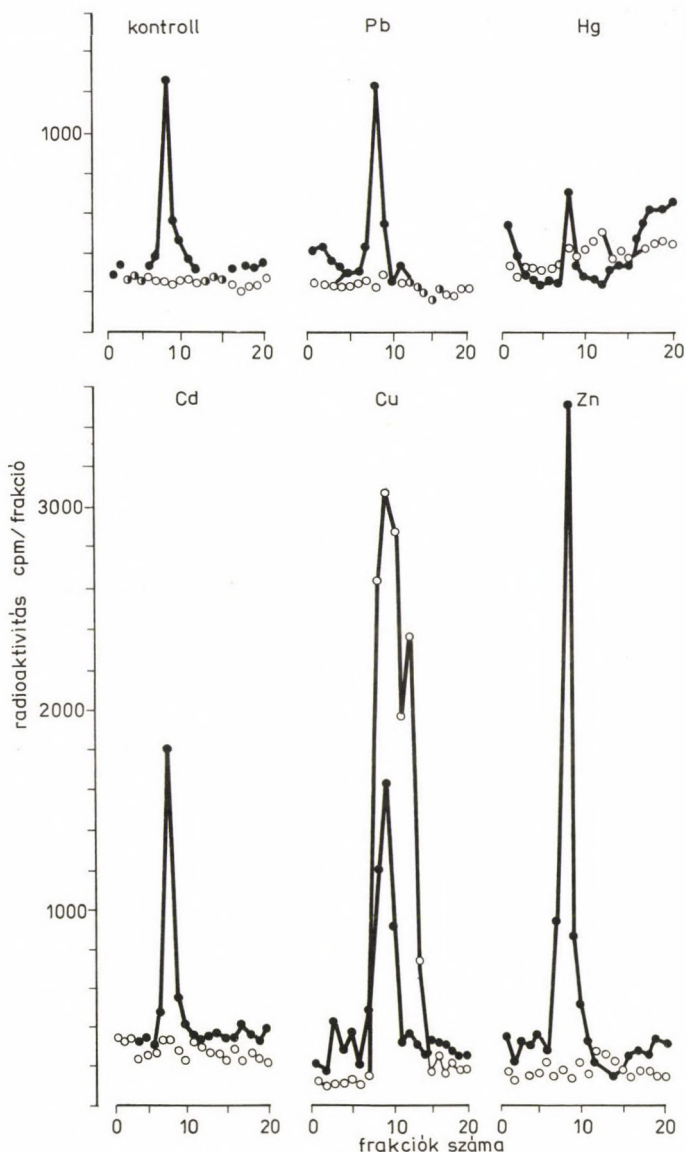
A viselkedési mintázatot szabályozó monoaminok szintézisének, felszabadulásának és eliminálódásának számos lépése lehet a toxikus ágens támadáspontja, melyek gátlása, vagy serkentése esetén módosul nemcsak az aktív anyag koncentrációja, de a szabályozott funkció is. Az erre vonatkozó kutatások eredményei közül utalok arra, hogy a nehézfémek jelentősen befolyásolják a szerotoninnak a tároló helyekre való visszavételét (14. ábra), ami a transzmitter eliminálásának egyik módja a kagyló idegrendszerében.



14. ábra. Nehézfémek hatása szerotonin idegszövetbe történő felvételére, in vitro. A különböző fémek eltérő mértékben gátolják a folyamatot, 10<sup>-4</sup> mol/l-ben leghatásosabb a higany, 10<sup>-3</sup> mol/l-ben a higany, a réz és az ólom megközelítően azonos gátlást okoz, míg a cink még nagy koncentrációban is hatástalan

A különböző fémek eltérő hatásának további bizonyítékát szolgáltatták azok a kutatások, melyekben azt vizsgáltuk, hogyan befolyásolják a nehézfémionok a monoamin-felszabadulást akkor, ha közvetlenül kerülnek kapcsolatba az izolált, túlélő idegrendszerrel. A fémspecifikus hatás ez esetben is szembetűnő, nemcsak a mennyiségi, de a minőségi mutatók tekintetében is (15. ábra).

Feltehető, hogy a különböző anyagok nem ugyanazon a ponton hatnak, azonban végkifejletben azonos magatartási reakciót eredményeznek. Ezt támasztják alá azok a vizsgálataink is, amit



**15. ábra.** Nehézfémek hatása  $^3\text{H}$ -val jelzett dopamin (DA) kagyló ganglionból való felszabadulására, in vitro. Az üres körök az adott fém  $10^{-4}$  mol/l koncentrációjának hatását mutatják a spontán felszabadulásra. Feltűnő a réz felszabadulást serkentő hatása. A telt körök a fémek hatását 100 mmol/l KCl-dal kiváltott DA felszabadulásra (kontroll) mutatják. Jól látszik a higany deprimáló, a kadmium, a réz és a cink potenciózó hatása. A fémoldatokkal, KCl-dal, ill. KCl + fémoldattal való kezelés a 6–11 frakciók vétele alatt történt

nehézfémek mellett néhány peszticid hatására vonatkozólag elvégeztünk. Kiderült, hogy több olyan növényvédő szer, melyek nehézfémeket nem tartalmaznak, ugyanúgy módosítják a kagylók aktivitási mintázatát, mint a kadmium vagy a higany (SALÁNKI és VARANKA, 1978). Úgy gondoljuk, ez az aktivitási teszt, ill. a monoaminszint befolyásolásának vizsgálata alkalmas módszer más, a vízi környezetet veszélyeztető anyagok hatásának előzetes megítélésére is.

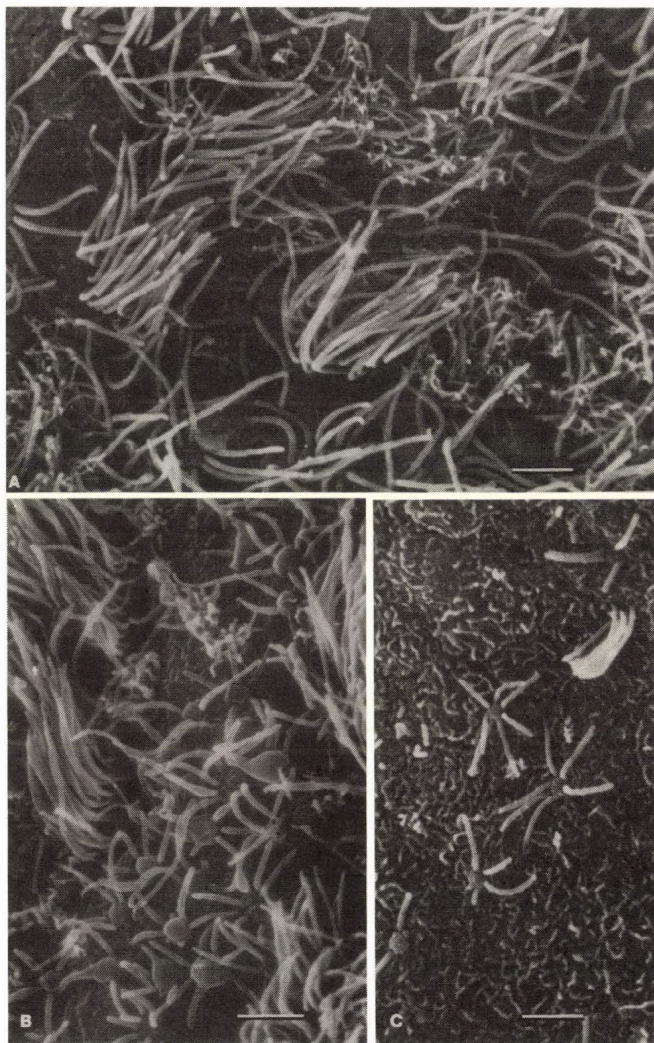


## NEHÉZFÉMEK HATÁSA KEMORECEPTOROK SZERKEZETÉRE

A környezetszennyező anyagok a felszíni vizekben viszonylag nagy koncentrációt érhetnek el, amikor is az ott élő szervezetekkel tartósan közvetlen kontaktusban vannak. A légzőapparátus mellett leginkább az ízéző és a szaglólrendszer kerül kapcsolatba a vízben oldott kémiai anyagokkal. A kemoreceptoroknak fontos szerepük van az állatok tájékozódásában, viselkedésük alakításában, és a táplálékkeresésben is. A felszínen elhelyezkedő, kémiai érzékelésben szerepet játszó struktúrák a szennyező anyagok hatására károsodhatnak, ami megfosztja az állatot a külvilág fontos információitól és zavarokat idéz elő viselkedésében. Kutatásaink arra terjedtek ki, hogy vajon különböző nehézfémek okoznak-e olyan szerkezeti változást a kémiai érzékelő zónákban, ami funkcionális zavaroknak lehet az alapja.

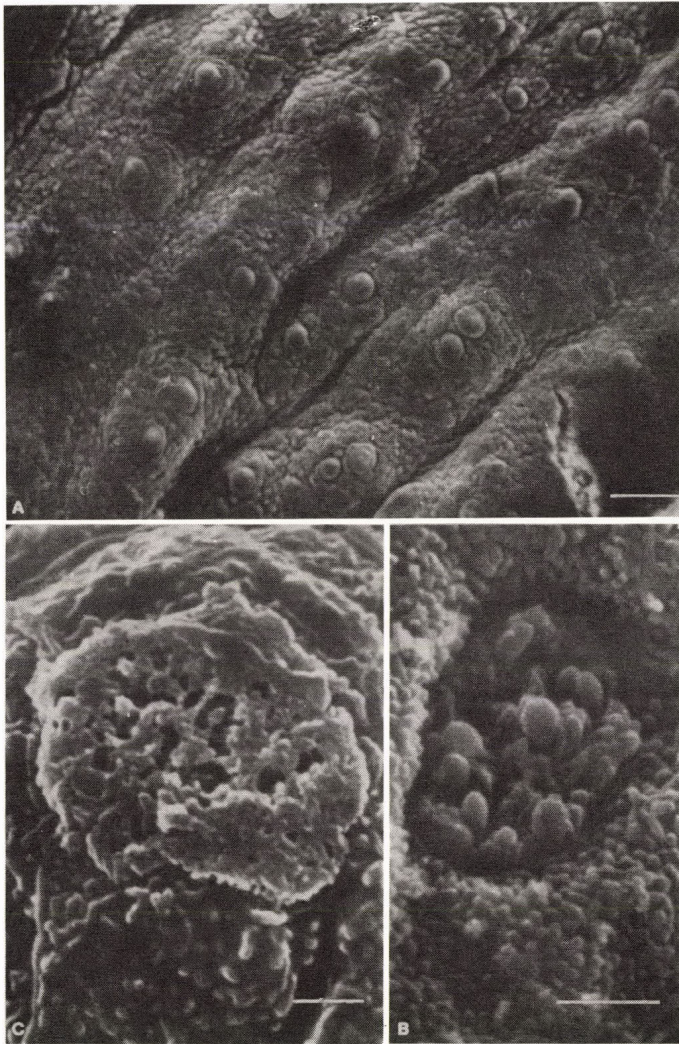
A balatoni küsz szaglólrendszerén azt találtuk (PEVZNER és mtsai, 1986; BOROVYAGIN és mtsai, 1989), hogy Hg-kezelés után a receptorsejtek száma nagymértékben csökken. Cd-kezelés hatására az érzékelő elemek másképpen károsodnak, nevezetesen, a csúcsi régió duzzadása következik be (16. ábra). A küsz ízérezéző hámján, mely a szájpadon helyezkedik el, a Hg tartós hatása ugyancsak degenerációt okoz (17. ábra), ezzel szemben rövid idejű hatás esetén az ízlelőbimbók nyák és a támasztósejtek védelme alá kerülnek anélkül, hogy morfológiailag degenerálnának.

A metabolikus és strukturális változások többszörös, esetleg többnapos behatás után lépnek fel. Ezért e folyamatok tanulmányozása a tartós szennyezésnek kitett állatok esetében lehet hasznos, másrészt, e módszerekkel valamely anyag hatását csak többnapos vizsgálat alapján lehet megítélni. Ettől eltérően, a környezetszennyező anyagoknak az idegi szabályzó mechanizmusokra kifejtett gyors, akut hatását sejtszintű elektrofiziológiai eljárásokkal lehet legjobban észlelni és elemezni.



**16. ábra.** Kadmium és higany eltérő hatása a kűsz (*Alburnus alburnus* L.) szaglöhámjára. Pásztázó elektronmikroszkópos felvétel. **A** — kezelés nélkül; — **B** — 100 µg/l kadmiumkezelés után 14 nappal; **C** — 300 µg/l higanykezelés után 7 nappal. Kadmiumkezelés után a csillós dendritek csúcsa megduzzad és deformálódik; higanykezelés után a csillós elemek pusztulása következik be (kalibrálás: 2 µm)





**17. ábra.** Higanyszulfid hatása a küsz ízérzékelő hámjának szerkezetére. Pásztázó elektronmikroszkópos felvétel. **A** — az érzőbimbók elhelyezkedése a szájpardon (kis nagyítás); **B** — egyetlen érzőbimbó nagyobb nagyítással; **C** — 300 µg/l higanyszulfid kezelés után 3 nappal. Az érzőbimbó destruált és felületét nyák fedi (kalibrálás: 10 µm)

## NEHÉZFÉMEK HATÁSA AZ IDEGSEJTEK MŰKÖDÉSÉRE

Az olyan elemi ingerületi folyamatok, mint a működési áramok generálása, a biológiailag aktív anyagok membránhatása, a transzmitterek kötődésekor az ioncsatornák specifikus aktiválódása, karakterisztikusak valamennyi állat idegrendszerében. E jelenségek azonosak a primitívebb és a bonyolultabb idegrendszerű állatokban és az emberi agyban is. Ezek komplex, egybekapcsolódó rendszere képezi az idegi működés, a szabályozás alapját, mind a belső folyamatokat, mind a környezeti hatásokhoz való alkalmazkodást illetően. A környezetszennyező anyagok idegrendszeri hatásának vizsgálatára az összehasonlító neurobiológiában gyakran alkalmazott óriás (100—200  $\mu\text{m}$ ) neuronokkal rendelkező éticsiga (*Helix pomatia* L.) és vízi csiga (*Lymnaea stagnalis* L.) idegrendszerét használtuk, melyekben számos neuron funkcionálisan is jól identifikálható.

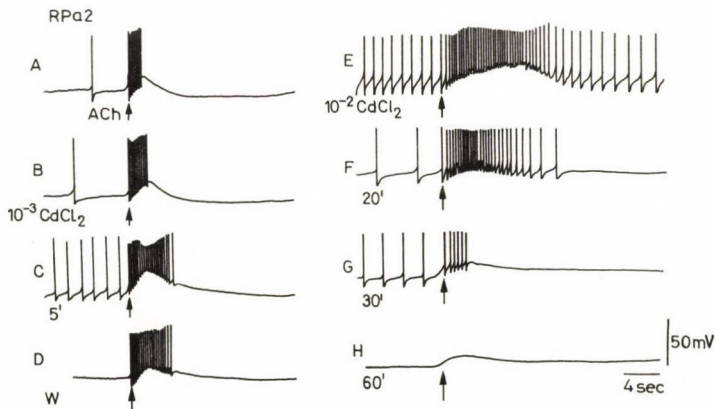
Ebben a rendszerben a szükséges pontossággal végezhető el a kiválasztott transzmitter anyagok hatásának tesztelése és annak tanulmányozása, hogy a különböző antropogén ágensek és más exogén anyagok hogyan befolyásolják az idegsejtmembrán működését.

A hatásvizsgálatok alapja az, hogy a neuronmembránban a kettős lipidrétegbe ágyazott bizonyos fehérjék specifikus hatásokra ioncsatornáként működnek. A különböző ionok csatornán való áthaladása generálja az akciós áramot, amit a membrán két oldala között fellépő feszültségváltozásként észlelünk. Az ingerületátvivő anyagok, transzmitterek felszabadulása és a membránfehérjékhez való specifikus kötődése ilyen ioncsatornákat aktivál. Az ismert kémiai ingerületátvivő anyagok között az acetilkolin, a szerotonin és a dopamin általánosan elterjedt a csigák idegrendszerében is, de nem minden neuron válaszol mindegyikre. A különböző idegsejtek válasza is eltérő lehet, attól függően, hogy a receptorhoz való kötődés után milyen ioncsatornák aktiválódnak.



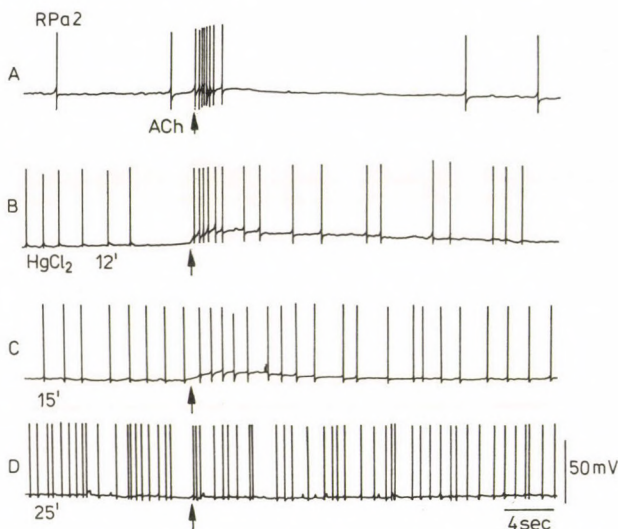
Na- és Ca-csatornák aktiválódása depolarizációt, azaz serkentést, a K-csatornáké hiperpolarizációt, azaz gátlást eredményez, míg a Cl-csatornák aktiválódása jelenthet serkentést vagy gátlást is. A kép ennél bonyolultabb, mert pl. a K-csatornák inaktiválódása is serkentést eredményez, vagy pl. a Ca belépése a sejtbe növeli a membrán K-permeabilitását. Ugyanaz a transzmitter egy neuronon többféle csatornát is aktiválhat, és ilyenkor a válasz több tényező eredője. Annak iránya és értéke a nyugalmi potenciáltól is függ. Ismert, hogy egyes modulátorok a transzmitterek hatását befolyásolhatják, és vizsgálataink arra irányulnak, vajon a különböző környezetszennyező anyagok megváltoztatják-e a transzmitterek hatását. A módosítás jellegére és az anyagok hatásosságának jelzésére néhány példát szeretnék bemutatni.

Egy korábban tanulmányozott, identifikált neuronról tudjuk, hogy acetilkolinra (ACh) serkentő választ ad. Amint látható (18. ábra), a szómfafelszínre juttatott ACh jellegzetes depolarizációt és aktivitásfokozódást okoz, teljesen hasonló ahhoz, mint amit a kolinerg serkentő bemenet előidéz. Amennyiben a preparátu-



**18. ábra.** Kadmium hatása az acetilkolin válaszra *Helix pomatia* L. RPa2-es idegsejtjén. **A** — az ACh depolarizál és fokozott aktivitást vált ki, **B, C** —  $10^{-3}$  mol/l  $\text{CdCl}_2$  5 perc alatt hatástalan, **D** — kimosás, **E, F, G, H** —  $10^{-2}$  mol/l  $\text{CdCl}_2$  tartós hatása alatt a neuron aktivitásgeneráló képessége megszűnik, de ACh adásakor a depolarizáció megjelenik

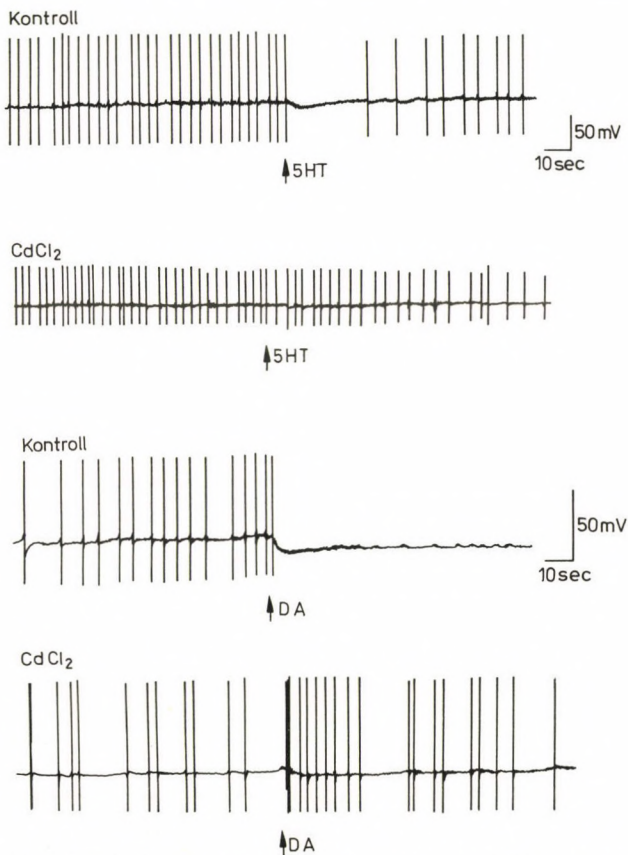
mot néhány percig  $\text{CdCl}_2$  hatásának tesszük ki, a sejt fokozatosan elveszti akciós potenciált generáló képességét, azonban megmarad ACh-ra a depolarizációs válasz. Ha ugyanezen az identifikált sejten az ACh hatását nem Cd-, hanem Hg-előkezelés után teszteljük, merőben más jelenséggel találkozunk: a neuron ACh-ra adott válasza egyre csökken, anélkül, hogy a sejt elveszítené képességét akciós potenciálok generálására (19. ábra). Hg hatására az ACh depolarizációt okozó hatása kiiktatódott (S-RÓZSA és SALÁNKI, 1987).



19. ábra. Higany hatása az acetilkolin válaszra *Helix pomatia* L. RPa2-es idegsejtjén. A — az ACh depolarizálja és fokozott aktivitásra készíti a neuront; B, C, D — higannyal történt kezelés után az acetilkolinra adott válasz csökken, majd elmarad

Ez világosan arra utal, hogy e két toxikus nehézfém támadáspontja eltér a membránon. A Hg láthatóan az ACh receptorhoz való kötődését, ill. az ezzel aktiválható ioncsatornát gátolta, ezzel szemben a Cd e rendszert érintetlenül hagyja, de az akciós potenciál generálásáért felelős csatornát blokkolja. Ez azt is mutatja, hogy más-más mechanizmus felelős az akciós potenciál generálásáért és az ACh okozta depolarizációért.

Jellegzetes változást okozott a Cd a membrán szerotonin- és dopamin-érzékenységében is (S.-RÓZSA és SALÁNKI, 1985). Különböző neuronokon a szerotonin serkentő és gátló hatást is kiválthat, míg a dopamin többnyire gátló transzmitter. Olyan neuronon, melyen a szerotonin és a dopamin egyaránt gátló hatású volt, a kadmiummal történt előkezelés hatására a szerotonin gátló hatása eliminálódott, ezzel szemben a dopamin gátló hatása megfordult, és serkentésbe ment át (20. ábra). Ez utóbbi



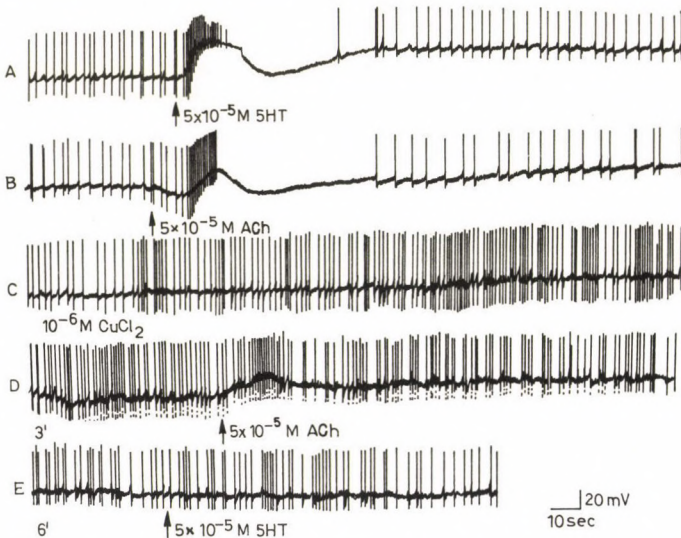
**20. ábra.** Kadmium hatása ugyanazon neuron szerotonin (5HT) és dopamin (DA) válaszára. Minkét transzmitter hiperpolarizációt okoz a sejten (kontroll). CdCl<sub>2</sub>-dal történt kezelés után szerotoninra nincs válasz, míg a dopamin aktivitásfokozódást eredményez



jelenség úgy értelmezhető, hogy a transzmitter anyag többféle csatornát, ill. bemenetet aktivál a rendszerben, és eredőként mindig ezek összegződését látjuk a sejtválaszban. Ha az előkezelés hatására valamelyik komponens gátlódik, a többiek jutnak túlsúlyra, ami az előző válasz megfordulását is jelentheti.

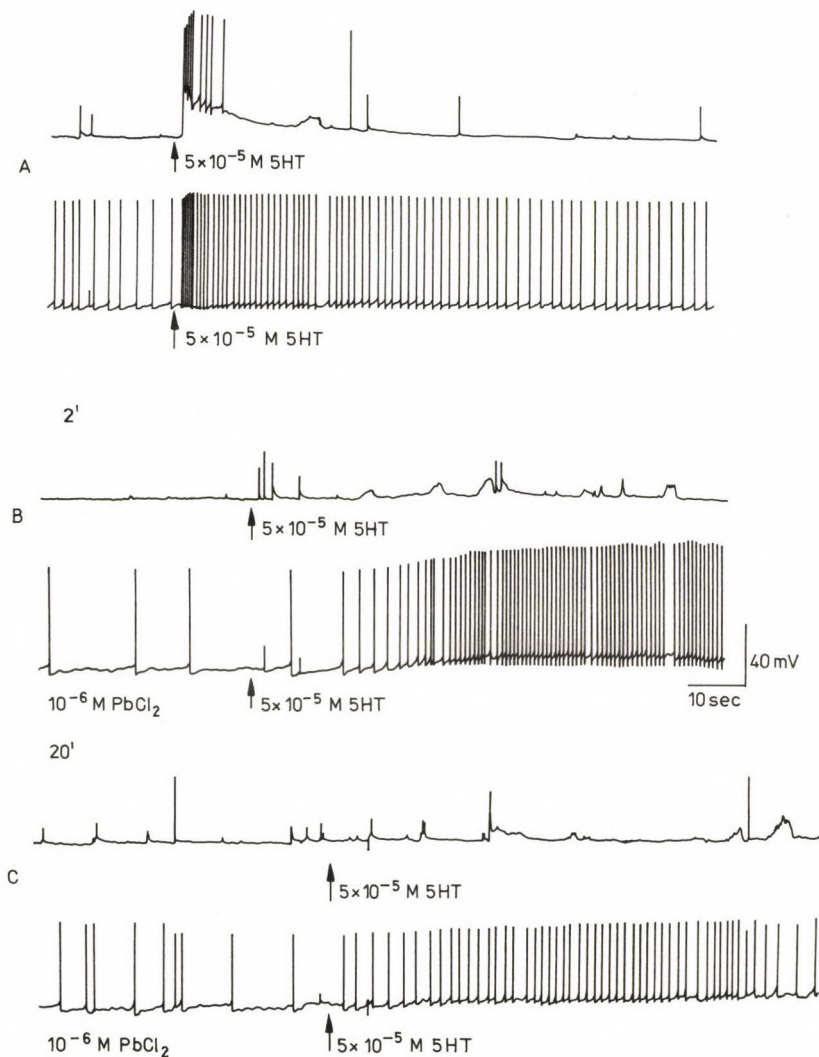
Hasonló, a sejtműködést és a kémiai érzékenységet megváltoztató, moduláló, gátló hatásokat lehet kimutatni pl. rézzel vagy ólommal történő előkezeléskor is (S.-RÓZSA és mtsai, 1988). A bemutatott esetben (21. ábra) a réz eliminálja mind az ACh, mind a szerotonin hatását. Az ólom eltérő neuronokon másképpen hatott a szerotonin válaszra (22. ábra), míg az acetilkolin-hatást legtöbb esetben gátolja (23. ábra).

Az előbbi vizsgálatok során azt láttuk, hogy a transzmitter anyagok serkentő vagy gátló hatásúak voltak a neuronmembránon és ezt a hatást módosította a nehézfémekkel való előkezelés. A serkentés és gátlás az idegsejt aktivitására nézve igen pontosan értelmezett jelenség, a membránban lejátszódó folyamatok

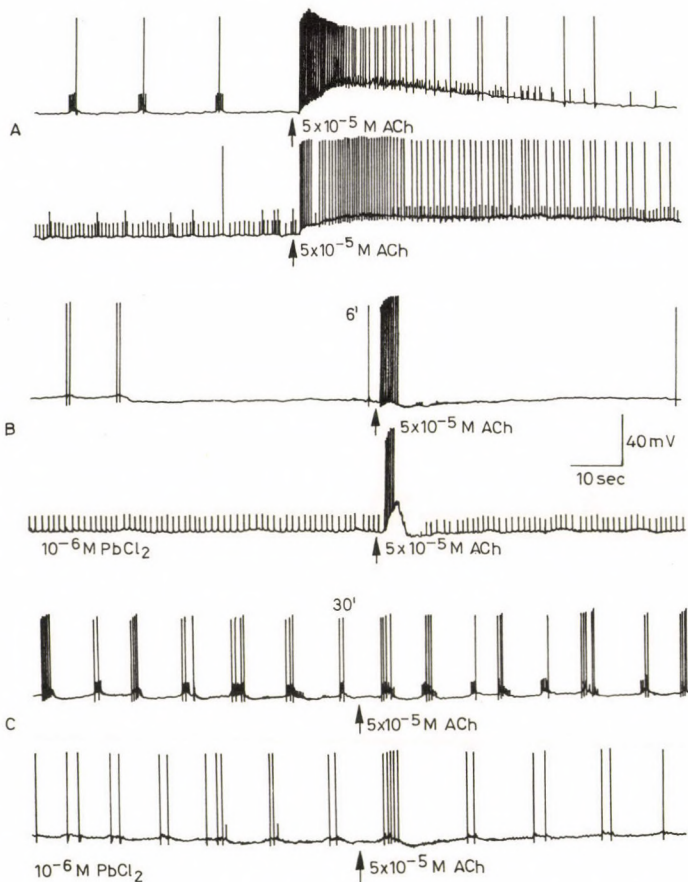


**21. ábra.** Réz hatása a szerotonin (5HT) és acetilkolin (ACh) válaszra, nagy mocsári csiga (*Lymnaea stagnalis* L.) neuronon. A és B — kontroll, C —  $10^{-6}$  mol/l  $\text{CuCl}_2$  fokozza a sejt spontán aktivitását, D — az ACh-hatás a kezelés 3. percében erősen depresszív, E — az 5HT-hatás a 6. percen gátló





**22. ábra.** Ólom hatása két egyidejűleg vizsgált idegsejt szerotonin (5HT) érzékenységére. **A**—a két neuron kontroll válasza. **B** — a két neuron válasza 2 perces  $\text{PbCl}_2$ -dal történt kezelés után, **C** — ugyanaz 20 perces ólomkezelés után. Látható, hogy az 5HT-ra rövid serkentést adó neuron ólommal történt kezelés után 5HT-ra érzéketlenné válik. A másik neuron, mely 5HT-ra hosszantartó aktivitásnöveléssel válaszol, az ólomkezelés után csak a kezdeti, gyors válaszkészséget veszti el

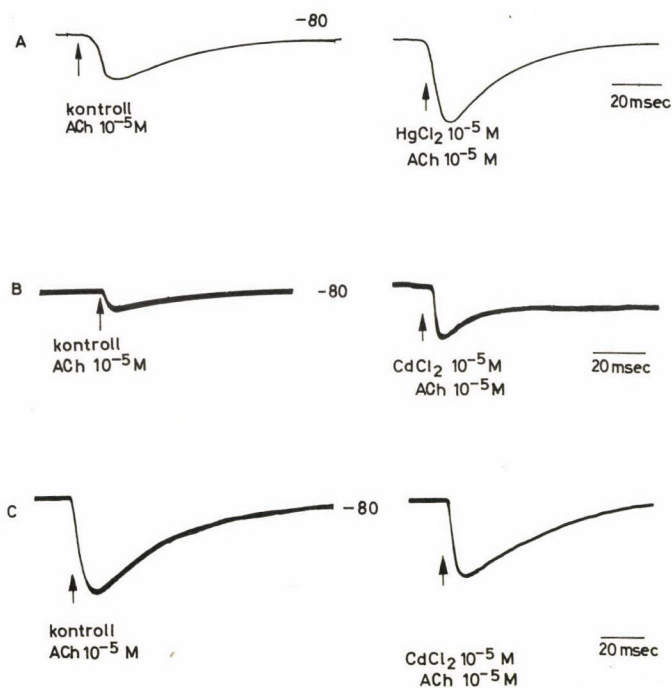


23. ábra. Ólom hatása két egyidejűleg vizsgált idegsejt acetilkolin érzékenységére. A — ACh-ra mindkét sejt serkentéssel válaszol, B — 6 perccel az ólom-klorid kezelés után a kiváltott válasz jelentősen csökkent. C — 30 perccel a kezelés után az ACh-ra nincs, ill. csak minimális a serkentődés

megítélésére azonban csak közvetetten alkalmas. A membránfolyamatok jellemzésére az ionáramok közvetlen mérése szolgál. E mérési eljárás lényege az, hogy a membrán polaritását meghatározott szintre állítjuk és megfelelő berendezés segítségével különböző szinteken a membránon átfolyó áramokat mérjük. Mint-hogy ismert a különböző ionok, így a Na-, a Ca-, a K és a Cl-ion

mozgása az egyes polarizációs szinteken, megítélhető, hogy a transzmitterek milyen ioncsatornákat aktiválnak, ill. hogy a vizsgált exogén anyagok mely csatorna aktiválódását befolyásolják.

Korábbi kutatásaink során egy részletesen vizsgált neuronon azt találtuk, hogy a Cd elsődlegesen a kifelé irányuló K-áramot deprimálja, ami a membráningerlékenység helyreállításának elhúzódásához és ezáltal az ingerlékenység csökkenéséhez vezet. Most, az ACh-hatás Cd-mal és Hg-nyal való befolyásolhatóságának részletesebb tanulmányozása során az derült ki, hogy az áramváltozások eltérők lehetnek más-más sejten. A nehézfémion befolyásolhatja mind a befelé, mind a kifelé irányuló áramokat,



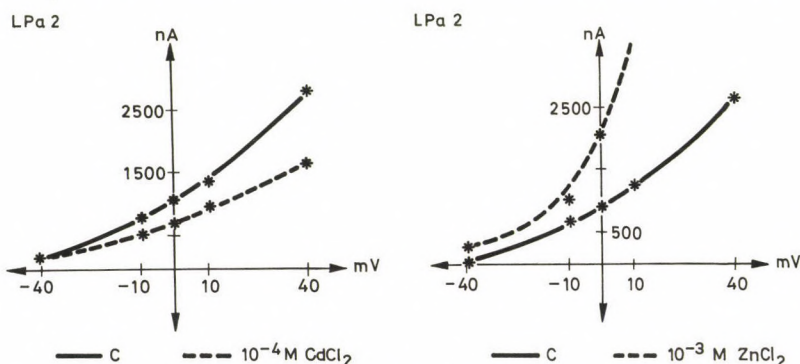
**24. ábra.** Higany és kadmium hatása az acetilkolin (ACh) által kiváltott áramra éti csiga (*Helix pomatia* L.) azonosított óriásneuronjain. **A** — LPA3 neuron, higany hatására a befelé irányuló áram megnövekedett; **B** — RPah neuron, kadmium kezelés alatt az ACh kiváltotta áram nőtt; **C** — V2 neuron, kadmium kezelés hatására az ACh kiváltotta áram csökkent. A mérések feszültség-zár (voltage clamp) kísérletekben történtek, a kiindulási (holding) potenciál  $-80$  mV mindegyik esetben

és a hatás nem annyira fémspecifikus, mint inkább a neuron tulajdonságaitól függ.

A 24. ábrán bemutatott esetben az ACh kiváltotta befelé és kifelé irányuló áram fokozódott higannyal és kadmiummal való kezeléskor (A és B), ami a transzmitterhatás potenciózálásának felel meg. A megfordulási potenciál értékéből arra következtethetünk, hogy az ACh Cl-áramot aktivál, és erre hatottak a nehézfémionok. Egy másik, az előbbihez közel elhelyezkedő sejten a kadmium csökkentette az ACh kiváltotta befelé irányuló áramot (C), vagyis gátolta az ACh serkentő hatását, de nem befolyásolta a kifelé irányuló áramot. Ez a Na<sup>+</sup>-csatornák gátlását jelzi.

A nehézfémek nemcsak a transzmitterek hatását befolyásolják az idegsejtek membránján, hanem hatnak a feszültség aktivált áramokra is. A feszültség-áram görbe jól mutatja (25. ábra), hogy a kifelé irányuló K-áramot a kadmium deprimálja, a cink viszont potenciózza ugyanazon idegsejten (S.-RÓZSA és SALÁNKI, 1990), de az ólomra nézve eltérő neuronon ellentétes hatást is találtunk.

A környezetszennyező anyagok idegi szabályozásra való hatásának kutatása és e módszerek és eredmények biológiai indikátorként való felhasználása az állatvilág és az ember védelme szempontjából egyaránt jelentős. Az idegsejtek reakcióképességé-



25. ábra. Kadmium és cink hatása feszültség-aktivált K-áramokra csiga óriásneuronokon. A feszültség-áram karakterisztika mutatja, hogy kadmium hatására csökkent, cink hatására nőtt a kifelé irányuló áram



ben bekövetkező változások ugyanis hatással vannak az egész idegi szabályozásra. Minthogy az idegsejtek közötti, illetve az idegrendszer és a végrehajtó szervek közötti kapcsolat fenntartásában a transzmitter anyagoknak vezető szerepük van, az egész ideig szabályozás e rendszer zavartalan működésén nyugszik. Minden beavatkozás, ami megzavarja az idegsejtek kémiai érzékenységét és reakcióképességét, ellene hat ennek a zavartalan működésnek. Ha olyan mértékű változások következnenek be az állatok idegrendszerében, mint amit kísérleteink során regisztráltunk, akkor azok egész szabályzó rendszere felborulna és életműködése lehetetlenné válnék. Különösen, ha azt is tekintetbe vesszük, hogy az általunk szeparáltan észlelt jelenségek a valóságban egyidejűleg léphetnek fel.

Mérgezési esetektől eltekintve ilyen súlyos károsodások ugyan nem következnek be a mindennapi élet során, azonban az idegrendszerbe akár csak minimális mennyiségben bejutó, ott esetleg akkumulálódó és váratlanul mobilizálódó szennyező anyagok alig észrevehető hatása hosszú távon jelentős defektusokban manifesztálódhat. Az utóbbi időben pl. egyre több közlés jelenik meg arról, hogy az Alzheimer-kór, a Parkinson-kór, az időskori súlyos demencia ilyen kifokú, halmozódó környezeti szennyezés következménye.

A krónikus, az állatok és az ember központi szabályozó rendszerét látenssen károsító effektusok csak az ingerlékenység és az idegi működés alapmechanizmusaira való hatás vizsgálatával közelíthetők meg. Éppen ezért, a környezetbe és az élő szervezetekbe kerülő anyagok várható következményeinek megítéléséhez nélkülözhetetlenek az ilyen típusú vizsgálatok, mint a környezet-szennyezés károsító hatása elleni védekezés preventív módszerei.

## ÖSSZEGZÉS

Nyilvánvaló, hogy az emberi társadalom rövid távú gazdasági-termelési érdekeit csak úgy lehet összhangban tartani a hosszú távú, az egészséges környezet megóvását is magában foglaló érdekekkel, ha a környezetvédelem fokozatosan új szemlélettel vértéződik fel, új utakat keres és talál a bioszféra és benne az ember egészségének védelmére. A megelőzésnek, mint vezérlő elvnek, nemcsak a szennyező források lehetséges kiiktatásában kell érvényesülnie, hanem a veszélyek feltárásában is prioritást kell kapniuk azoknak az eljárásoknak, melyek alkalmasak a potenciális környezetkárosodás megítélésére, a veszélyforrások és veszélyjelek korai felismerésére, észlelésére. Ebben a rendszerben a biológiai indikátoroknak egyre fontosabb szerep jut. Úgy gondolom, az előzőekben ismertetett megközelítési módok, melyeket kutatásainkban mi is követünk, amellet, hogy alapvető biológiai ismereteinket gazdagítják, új lehetőségeket tárnak fel a környezetvédelmi gyakorlat számára, és szervesen be kell épülniük a környezetvédelem nemzetközi és hazai rendszerébe.

## A SZERZŐ MUNKÁI, MELYEKRE HIVATKOZÁS TÖRTÉNT

- BOROYVAGIN V., HERNÁDI L., SALÁNKI J. (1989) Mercury and cadmium induced structural alterations in the taste buds of fish *Alburnus alburnus*. *Acta biol. Acad. Sci. hung.* **40**. 237—254.
- HIRIPI L., SALÁNKI J. (1973) Role of monoamines in the central regulation of periodic activity in *Anodonta cygnea* L. (Pelecypoda). In: SALÁNKI J. (Ed.) *Neurobiology of Invertebrates, Mechanisms of Rhythm Regulation*. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 391—401.
- KOSHTOYANTS H. S., SALÁNKI J. (1958) On the physiological principles underlying the periodical activity of *Anodonta*. *Acta biol. Acad. Sci. hung.* **8**. 361—366.
- PEVZNER R., HERNÁDI L., SALÁNKI J. (1986) Effect of mercury on the fish (*Alburnus alburnus* L.) chemoreceptor taste buds. *Acta biol. Acad. Sci. hung.* **37**. 159—169.
- SALÁNKI J. (1960) Шаланки Я. О зависимости медленного ритма периодической активности беззубок (*Anodonta cygnea*) от состояния сульфгидрильных групп белковых тел. *Журнал Общей Биологии* Т. XXI, 229—232.
- SALÁNKI J. (1963) The effect of serotonin and catecholamines on the nervous control of periodic activity in fresh-water mussel (*Anodonta cygnea*). *Comp. Biochem. Physiol.* **8**. 163—171.
- SALÁNKI J. (1989) Bioindicators in monitoring heavy metal pollution in Lake Balaton (Hungary) and its catchment area. In: SALÁNKI J., HERODEK S. (Eds.) *Conservation and Management of Lakes*. Symp. Biol. Hung. **38**. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 261—271.
- SALÁNKI J., HIRIPI L. (1990) Effect of heavy metals on the serotonin and dopamine systems in the central nervous system of the freshwater mussel (*Anodonta cygnea* L.). *Comp. Biochem. Physiol.* **95C**. 301—305.
- SALÁNKI J., HIRIPI L., NEMCSÖK J. (1974) Seasonal variations of activity and serotonin level in the fresh-water mussel, *Anodonta cygnea* L. *Zool. Jb. Physiol.* **78**. 369—377.
- SALÁNKI J., SALAMA H. S. (1987) Signalization, monitoring and evaluation of environmental pollution using biological indicators. *Acta biol. Acad. Sci. hung.* **38**. 5—11.
- SALÁNKI J., VARANKA I. (1978) Effect of some insecticides on the periodic activity of the fresh-water mussel (*Anodonta cygnea* L.). *Acta biol. Acad. Sci. hung.* **29**. 173—180.
- SALÁNKI J., V.-BALOGH K. (1985) Uptake and release of mercury and cadmium in various organs of mussels (*Anodonta cygnea* L.). In: SALÁNKI J. (Ed.) *Heavy Metals in Water Organisms*. Symp. Biol. Hung. **29**. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 325—342.
- SALÁNKI J., V.-BALOGH K. (1989) Physiological background for using freshwater mussels in monitoring copper and lead pollution. *Hydrobiologia*. 188/189. 445—454.
- SALÁNKI J., V.-BALOGH K., BERTA E. (1982) Heavy metals in animals of Lake Balaton. *Water Res.* **16**. 1147—1152.
- SALÁNKI J., V.-BALOGH K., HERNÁDI L. (1988) Biomonitoring of the state of the environment with reference to heavy metal pollution of fish in Lake Balaton. In: YASUNO, M., WHITTON, B. A. (Eds) *Biological Monitoring of Environmental Pollution*. Tokai University Press, Tokyo, pp. 55—60.



- S.-RÓZSA K., SALÁNKI J. (1985) Effect of heavy metals on the chemosensitivity of neural somata of *Lymnaea stagnalis* L. In: SALÁNKI J. (Ed.) Heavy Metals in Water Organisms. Symp. Biol. Hung. **29**. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 387—400.
- S.-RÓZSA K., SALÁNKI J. (1987) Excitable membranes — object for evaluating the effect of heavy metal pollution. Acta biol. Acad. Sci. hung. **38**. 31—45.
- S.-RÓZSA K., SALÁNKI J. (1990) Heavy metals regulate physiological and behavioral events by modulating ion channels in neuronal membranes of molluscs. Environmental Monitoring and Assessment **14**. 363—375.
- S.-RÓZSA K., SALÁNKI J., PRÉSING M. (1988) Use of *Lymnaea stagnalis* in monitoring heavy metal pollution. In: YASUNO, M., WHITTON, B. A. (Eds) Biological Monitoring of Environmental Pollution. Tokai University Press, Tokyo, pp. 247—255.
- V.-BALOGH K., SALÁNKI J. (1984a) В.-Балог К., Шаланки Я. Использование рачкового зоопланктона (*Crustacea*) для оценки загрязнения оз. Балатон тяжелыми металлами. Гидробиологический Журнал Т. XX. 56—64.
- V.-BALOGH K., SALÁNKI J. (1984b) The dynamics of mercury and cadmium uptake into different organs of *Anodonta cygnea* L. Water Res. **18**. 1381—1387.
- V.-BALOGH K., SALÁNKI J. (1987) Biological monitoring of heavy metal pollution in the region of Lake Balaton (Hungary). Acta biol. Acad. Sci. hung. **38**. 13—30.



A kiadásért felelős  
az Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat igazgatója  
A nyomdai munkálatokat  
az Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat végezte

Felelős vezető: Zöld Ferenc

Budapest, 1992

Nyomdai táskaszám: 21272

Felelős szerkesztő: Balassa Éva

Műszaki szerkesztő: Kiss Zsuzsa

Kiadványszám: 83.

Megjelent: 2,82 (A/5) ív terjedelemben

HU ISSN 0236-6258



