

Základné princípy bioindikácie a biomonitoringu životného prostredia

O. Kontrišová: *Basic Principles of Bioindication and Biomonitoring of the Environment. Život. Prostr., Vol. 40, No. 2, p. 61 – 64, 2006.*

The contribution deals with basic principles of environmental biomonitoring and trends of using the living organisms for bioindication of chemical materials that are introduced into the environment mainly by anthropogenous activity. The use of living organisms for indication of air, water and soil contamination constantly improves. Biomonitoring by sensitive or cumulative indicators cannot completely substitute the exact chemical or physical methods of identification of stress factors, but it has an irreplaceable role in the evaluation of their biological effect. This overview gives an outline of the use of bioindicators in large-scale monitoring. Accumulation of harmful materials in organs enables to identify the extent of contamination in the study area. Some flowering plants are used for identification of phytotoxic and mutagenous influences of various harmful materials. Important is also the use of laboratory testing organisms and bioindication for specification of ecotoxicity of environmental components.

Chemické látky, ktoré sa antropogénnou činnosťou dostávajú do životného prostredia, majú buď charakter esenciálnych látok, nevyhnutných na rôzne životné procesy, alebo sú bez zjavných škodlivých účinkov, prevažne sa však vyskytujú ako látky s nežiaducimi, negatívnymi vplyvmi na niektoré, alebo i všetky formy života. Chemické zlúčeniny a toxické látky, ktoré majú výrazne inhibičné a toxické účinky na živé organizmy, nazývame cudzorodými látkami, alebo aj rizikovými prvkami. Zdroje rizikových prvkov sú v literatúre dokumentované hlavne ako dôsledok ľudskej činnosti.

Na hodnotenie záťaže životného prostredia a získavanie poznatkov o toxicite chemických zlúčenín spolu s hodnotením rizika a stavu živých organizmov sa využívajú rôzne organizmy. Pri určovaní úrovne kontaminácie ekosystémov škodlivými látkami, ale aj na zistenie pohybu týchto škodlivín má nezastupiteľnú funkciu bioindikácia a biomonitoring.

Bioindikácia a biomonitoring

Bioindikácia využíva vlastnosti živých organizmov na indikovanie stavu životného prostredia. Bioindikáto-

ry poukazujú na zmeny prostredia v negatívnom, ale aj pozitívnom zmysle (Poleno a kol., 1994; Eliáš, 1996; Mocik, Kalivodová, 2003; Soják a kol., 2002).

Biomonitoring je pravidelné, systematické využívanie citlivých organizmov (bioindikátorov) na sledovanie kvality životného prostredia. Organizmy sú prostriedkom na hodnotenie zmien v životnom prostredí.

Problematika negatívneho pôsobenia škodlivín na organizmy je veľmi zložitá a nie je ešte dostatočne preskúmaná. Dôvodom je pestrosť organizmov, ale aj veľká variabilita fyzikálnochemického zloženia cudzorodých látok a ich synergických účinkov s extrémnymi klimatickými podmienkami a znečisteným prírodným prostredím. Proces poškodzovania živých organizmov sa líši podľa typu, intenzity a dĺžky pôsobenia stresového faktora vznikajúceho antropickou činnosťou a jeho interakcie s pôdnymi a klimatickými podmienkami, ale aj ďalšími biotickými faktormi.

Keď hovoríme o bioindikácii či biomonitoringu, máme na mysli indikáciu a sledovanie porúch a zhoršovania kvality prírodného prostredia pomocou rastlinných a živočíšnych organizmov, resp. celých ekosys-

témov. V živých organizmoch sa stretávame s pôsobením mnohých premenných veličín, ktorých biologická účinnosť, produktivita či rovnováha vnútri ekosystému hovorí o celkovom zdravotnom stave ekosystému. Ide o využívanie jednotlivých druhov ako senzitivných alebo kumulatívnych indikátorov pri hodnotení kvalitatívnych a kvantitatívnych zmien určitých vlastností prostredia.

Bioindikácia sa uplatňuje hlavne pri ekologickom monitorovaní, ktoré má prevažne charakter vyšetrovacích metód. Ide o rôzne fyziologické, ekologické a cenologické metódy, ktoré využívajú pôsobenie niektorého činiteľa alebo celého súboru činiteľov na živé organizmy. Na detekciu cudzorodých látok v životnom prostredí sa využívajú organizmy alebo ich spoločenstvá. Vplyvom zmenených podmienok prostredia prenikajú cudzorodé látky do živých organizmov, kumulujú sa v rôznych orgánoch a narušajú fyziologické a biochemické reakcie. Bioindikácia slúži na rýchlu orientáciu tam, kde nie sú k dispozícii špeciálne poznatky a údaje, alebo kde ide o prvý prístup k prieskumu.

Využívanie bioindikátorov nie je nová metóda, aj v minulosti sa často využívali indikačné skupiny druhov rastlín na získavanie informácií o kvalite pôdy a stave porastov. Populácie druhov indikujú chemické pomery v pôde a už svojou prítomnosťou poukazujú na niektorý faktor prostredia. Hodnotenie stanovištných pomerov (vlastností prostredia) pramení v empirickom alebo experimentálnom viac-menej verifikovanom poznaní, že medzi výskytom určitých druhov, skupín druhov a spoločenstiev existujú veľmi úzke korelácie. V odbornej literatúre nájdeme veľa prác, ktoré sa zaoberajú využívaním bioindikátorov na hodnotenie kvality prostredia.

Bioindikátory možno zahrnúť do nasledujúcich skupín:

- *akumulačné bioindikátory* (rezistentné) – akumulujú škodliviny bez nápadnejšieho poškodenia,
- *reakčné bioindikátory* (senzitivné) – citlivo reagujú na znečistenie prostredia (prejavujú sa pri nich akútne a chronické účinky),
- *indikačné druhy* – slúžia ako ukazovatele určitých javov alebo vlastností prostredia (podľa prítomnosti alebo neprítomnosti organizmov),
- *testovacie organizmy* – slúžia na laboratórne testovanie pôsobenia škodlivín (overovacie pokusy, testy toxicity),
- *monitorovacie organizmy* – slúžia na kvalitatívne a kvantitatívne zisťovanie škodlivín prostredníctvom: a) *pasívneho monitoringu* využívajúceho organizmy žijúce v znečistenom prostredí, b) *aktívneho monitoringu* využívajúceho organizmy exponované, vysadené, transplantované.

Metódy a využitie bioindikácie na stanovenie poškodenia a zafaženia prostredia

Pri bioindikácii poškodenia a zafaženia prostredia ide o zisťovanie jeho reálneho ohrozenia, resp. o zisťovanie porúch a deterioračných procesov spojených spravidla s činnosťou človeka. Ide o širokú škálu zmien v životnom prostredí v dôsledku výstavby priemyselných areálov, znečisťovania ovzdušia, vody a pôdy, produkcie odpadov, používania pesticídov a pod. Netreba vari zdôrazňovať, že živé organizmy citlivo reagujú na znečistenie, takže cudzorodé látky v ovzduší a pôde pôsobia na ne negatívne. Podľa koncentrácie a času pôsobenia vyvolávajú krátkodobé i dlhodobé fyziologické depresie, na základe ktorých nastáva poškodenie bunkovej plazmy a organel, alebo aj usmrtenie celých buniek, pletív, orgánov a v extrémnych prípadoch aj odumretie organizmov.

Naliehavosť kontroly životného prostredia podnietila vypracovanie viacerých bioindikačných metód, ktoré našli uplatnenie v praxi. Sledovaním reakcií živých organizmov na znečistené prostredie možno pomerne rýchlo získať prehľad o plošnom rozsahu, ako aj o stupni znečistenia krajiny.

Bioindikácia znečistenia životného prostredia sa uskutočňuje na rozličných úrovniach organizácie živej hmoty s použitím rôznych biologických premenných a procesov. Z akých biologických a ekologických premenných a procesov možno vychádzať? Ich širokú paletu na rôznych úrovniach, od ekosystémov, cez populácie a stanovištia až po fyziologické a bunkové atribúty špecifických organizmov uvádza napríklad Spellerberg (1995).

Pri zisťovaní vplyvu cudzorodých látok na živé organizmy sa stretávame so všetkými biologickými systémami – flórou, faunou, ale aj s ľudskou populáciou. Bioindikátory možno rozdeliť do niekoľkých skupín: pre veľkoplošný monitoring, indikátory mutagenity a fytotoxicity, laboratórne testovacie organizmy a bioindikátory na stanovenie ekotoxicity.

• **Bioindikátory pre veľkoplošný monitoring** sa používajú na sledovanie zmien fyziologických ukazovateľov, morfológických odchýlok, odchýlok od biologického rytmu daného živého systému, na sledovanie floristických, faunistických a chorologických zmien, zmien na úrovni fyto- a zoocenóz (Schubert, 1985). Ide prevažne o *druhy s úzkou ekologickou amplitúdou* (citlivé) – devitalizované – hynúce, nekumulujúce škodliviny, prípadne hemirezistentné – polo- a rezistentné, na ktorých sa prejavujú morfológicko-anatomické depresie. Tieto sú obzvlášť vhodné na bioindikáciu znečistenia prostredia.

Do tejto skupiny patria aj bioindikátory, ktoré sa používajú na veľkoplošné sledovanie kumulácie škodlivín v jednotlivých orgánoch, na základe čoho možno určiť rozsah kontaminácie v skúmanom území. Na to sú vhodné predovšetkým ihličnaté i listnaté dreviny a k významným zástupcom tejto skupiny patria lišajníky, machorasty, drevokazné huby, prípadne iné jednoklíčce a dvojklíčce rastliny. Štúdium príjmu škodlivých látok vegetáciou je základným predpokladom hodnotenia bioakumulácie, transformácie a fytotoxicity.

Pre túto skupinu sú významné *kumulačné bioindikátory*, ktoré hromadia veľké množstvo škodlivín. Sú to druhy so širokou ekologickou amplitúdou (plastické) – vitálne, dynamické, resp. metabolizujúce škodliviny. Na zhoršenie prostredia reagujú nanajvýš morfológicko-anatomickými zmenami, ktoré sa prejavujú obyčajne znížením rastu. Schopnosť akumulácie je špecifická pre každý rastlinný druh i pre jednotlivé rastlinné orgány.

Zaujímavá je možnosť využitia chemických analýz vhodných bioindikátorov na rýchle a spoľahlivé určenie distribúcie škodlivín v blízkosti lokálnych zdrojov znečistenia ovzdušia a na posúdenie aktuálneho rizika starých ekologických záťaží. Na stanovenie aktuálnej a historickej úrovne výskytu škodlivín sa využívajú machorasty a nadložný humus lesných porastov. Obsah prvkov v machorastoch a v nadložnom humuse je v tesnom korelačnom vzťahu s historickou úrovňou atmosférickej depozície (Suchara, Sucharová, 2003).

K cenným indikátorom znečistenia prostredia patria *voľne žijúce živočíchy terestrických ekosystémov*, ale aj *živočíchy, ktoré osídľujú vodné toky* a žijú vo vodnom prostredí. Sú to rôzne druhy stavovcov, druhy zo skupiny voľne žijúcich drobných hlodavcov, ale predovšetkým druhy vodných makroskopických bezstavovcov (raky, červy, hmyz a jeho larvy, mäkkýše a pod.). Akákoľvek zmena vo vodnom prostredí sa prejaví na zložení týchto živočíchov, ich druhovej skladbe a kvantite. Bioindikácia terestrickými i vodnými organizmami závisí od celého radu abiotických i biotických faktorov, ako sú fyzikálnochemické vlastnosti polutantov, teplota, základné charakteristiky zložiek prostredia a pod. Toxický vplyv škodlivín sa prejaví v akútnych prípadoch úhynom a vymiznutím niektorých druhov, chronické otravy sa môžu prejavíť znetvorením orgánov, stratou schopnosti delenia a iných funkcií jednobunkových organizmov. Kumulačný vplyv sa prejavuje hromadením škodlivín v organizmoch. K najväčšej kumulácii týchto látok dochádza v organizme konzumentov vyššieho radu, napr. rýb a pod. Veľké množstvo škodlivín, hlavne ťažkých kovov zhromažďujú vodné riasy adsorpciou na povrchu buniek.

Skupina organizmov terestrických ekosystémov, ktorých spoločenstvá sú druhovo veľmi bohaté, sú *pôdne živočíchy*. Zástupcovia pôdnej fauny sa hojne využívajú pri biomonitoringu pôd. Patria k nim *epigeické bezstavovce*, ktoré sa vyskytujú vo všetkých poloprirodzených i človekom ovplyvnených ekosystémoch a sú významnými ukazovateľmi stavu pôdneho prostredia.

V poslednom období sa praktizujú i tzv. biologické spôsoby odčerpávania ťažkých kovov z pôdy. Princíp spočíva v pestovaní špecifických rastlín na pôdach s vysokým obsahom ťažkých kovov, tieto rastliny sú schopné odčerpať ich z pôdy.

• **Bioindikátory mutagenity a fytotoxicity.** Jednou z možností využívania rastlinných organizmov na indikáciu znečisteného prostredia je použitie testov na určenie fytotoxicity a mutagenity. Ide o materiálne, finančne a organizačne nenáročné postupy, pri ktorých sa využíva veľká citlivosť peľových zrn, materských peľových buniek a peľových tetrad kvetov rôznych druhov rastlín miestnej flóry, ktoré sa vyskytujú priamo v terénnych podmienkach. Kvitnúce rastliny sa využívajú ako experimentálne objekty na identifikáciu mutagénnych účinkov rôznych škodlivín aj pri veľkoplošnom hodnotení znečistenia ovzdušia. Genotoxické účinky sa prejavujú štrukturálnymi a funkčnými zmenami genetického aparátu bunky na chromozómovej, génovej alebo genómovej úrovni.

Za vhodné indikačné druhy sa považujú tie, ktoré majú peľ perzistujúci v tetradách a môžu priamo indikovať mutagenitu a fytotoxicitu životného prostredia, napríklad vres obyčajný (*Calluna vulgaris*) a pálka širokolistá (*Typha latifolia*). Pri ostatných indikačných druhoch treba na odlíšenie mutagenity hodnotiť aj chromozómové aberácie počas meiózy v materských peľových bunkách, resp. mikrojadrá v tetradách. Modelové indikačné druhy umožňujú reálne hodnotiť vplyv genotoxických látok vyskytujúcich sa v životnom prostredí, ale možno ich využiť aj na historické hodnotenie pomocou herbárového testovacieho materiálu (Mičieta, Murín, 1997; Murín, 2002).

• **Laboratórne testovacie organizmy.** Používajú sa na bezprostredné štúdium rôznych škodlivých vplyvov prostredia testovaním v laboratórnych podmienkach. Testovacie metódy sú pomerne jednoduché a výsledky možno získať za pomerne krátky čas (niekoľko hodín, dní alebo týždňov). Interpretácia výsledkov je jednoznačná, nakoľko v laboratórnych podmienkach sú všetky vonkajšie vplyvy kontrolované a ďalšie vplyvy abiotického, ako aj biotického charakteru sú vylúčené.

• **Bioindikátory na stanovenie ekotoxicity.** Na zhodnotenie celkového účinku škodlivých látok na živé organizmy sa v posledných rokoch zaviedli do praxe rôzne ekotoxikologické biotesty. Ide o dôležité súčasť hodnotenia vôd, sedimentov, pôd, odpadov i ovzdušia. Súčasťou tohto hodnotenia sú aj chemické analýzy, ktoré síce informujú o prítomnosti škodlivín vo vzorkách, ale nemôžu poskytnúť informácie o ich celkovom účinku na živé organizmy. Ekotoxikologické biotesty teda predstavujú biologický prístup k hodnoteniu úrovne znečistenia. Mnohé sú vhodné na rýchle a jednoduché stanovenie toxicity vzoriek a môžu pomôcť k vytypovaniu lokalít so závažným znečistením. Testy ekotoxicity sa vykonávajú vo vodných výluhoch sedimentov, pôd, odpadov a pod.

V súlade s platnými predpismi a metodickými pokynmi sa na stanovenie ekotoxicity používajú testy inhibície rastu koreňov horčice bielej (*Sinapis alba*), skúška akútnej toxicity na rybkách (napr. gupke, pávom očku – *Poecilia reticulata*), dafniách (*Daphnia magna*), riasach (*Scenedesmus subspicatus* a *Selenastrum capricornutum*) a ďalších organizmoch citlivých na škodliviny (Ambrožová, 2001).

Ukázalo sa, že na pevný odpad nie sú príliš vhodné testy toxicity vodných výluhov, pretože nezodpovedajú potrebám hodnotenia nebezpečných vlastností odpadu a získané výsledky majú veľmi obmedzenú vypovedaciu schopnosť. V posledných rokoch sa preto zaviedli nové metodiky, odporúča sa používať predovšetkým kontaktné testy, ktoré sa realizujú priamo v pevnom odpade. Výsledky takýchto testov majú podstatne vyššiu vypovedaciu schopnosť pre pevnú maticu, ako hodnotenie podľa kvality vodného výluhu.

Objavilo sa mnoho prác, ktoré jasne poukazujú na rozdiely v testoch ekotoxicity s vodným výluhom a v kontaktnom prevedení. Vo väčšine krajín sa ekotoxicita odpadov stanovuje sadou testov, ktoré zahŕňajú organizmy troch trofických úrovní (producent, konzument, deštruent), a súčasne prebiehajú aj testy s vodným výluhom, ale aj testy v kontaktnom usporiadaní (*Waste-Internet Portal*). Častými bioindikátormi ekotoxicity sú dažďovky (*Eisenia fetida* a *Lumbricus terrestris*), pôdne bezstavovce, pôdne mikroorganizmy a semená jednoklíčnych i dvojklíčnych rastlín.

* * *

Využívanie živých organizmov na indikáciu kontaminácie ovzdušia, vody a pôdy sa stále zdokonaľuje. Biomonitoring pomocou senzitívnych alebo kumulatívnych indikátorov nemôže úplne nahradiť exaktné

chemické alebo fyzikálne metódy určovania stresových faktorov, má však nezastupiteľnú úlohu pri hodnotení ich biologického účinku.

Práca je súčasťou grantového projektu VEGA 1/3518/06.

Literatúra

- Ambrožová, J.: Ekotoxikologické posouzení říčního profilu Most-Bílina. Czech Phycology 2001, s. 129 – 140.
- Boháč, J.: Organismy jako bioindikátory měnicího prostředí. Život. Prostr., 33, 1999, 3, s. 126 – 129.
- Eliáš, P.: Monitorovanie bioty na území Slovenskej republiky. Bratislava : SEKOS, 1996, s. 6 – 11.
- Kostka-Rick, R.: Biomonitoring the Impact of Industrial Emission Sources Development of Bioindicator Systems Employing Higher Plants as Susceptible Indicator Species. In: Oehlmann, J., Markert, B. (eds.): Ökotoxikologie: Ökosystemare Ansätze und Methoden. Ecomed Landsberg, 1999, p. 416 – 418.
- Mičieta, K., Murín, G.: Wild Plants Species in Practical use for Bioindication of Polluted Environment. Ekológia (Bratislava), 16, 1997, 2, p. 193 – 202.
- Mocik, M., Kalivodová, E.: Monitoring v krajine s osobitným zreteľom na monitoring biotických prvkov. In: Kozová, M., Bedrna, Z. (eds.): Krajinnokoekologické metódy v regionálnom environmentálnom hodnotení. Bratislava : UK, 2003, s. 130 – 141.
- Murín, G.: Autoregulačné mechanizmy prírody – záruka udržateľnosti života na Zemi. Život. Prostr., 36, 2002, 5, s. 256 – 259.
- Poleno, Z. a kol.: Lesnický náučný slovník I. Praha : Ministerstvo zemědělství ČR, 1994, 743 s.
- Schubert, R.: Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. Jena : VEB Gustav Fischer Verlag, 1985, 327 pp.
- Soják, L., Chmielewska, E., Křištín, J., Kubinec, R., Mátel, J.: Monitoring kontaminácie životného prostredia. Bratislava : UK, 2002, 176 s.
- Spellerberg, I. F.: Monitorování ekologických změn. Brno : EkoCentrum, 1995, 187 s.
- Suchara, I., Sucharová, J.: Biomonitoring atmosferického spadu prvků v podrobnějším mapovém měřítku. Vybrané příklady výsledků z Příbramska. Ochrana ovzduší 2, 2003, s. 13 – 20.
- http://www.waste.cz/waste/waste.php?clanek=04-05/Stanoveni_ekotoxicity.htm

Prof. RNDr. Oľga Kontrišová, CSc., Fakulta ekológie a environmentalistiky TU vo Zvolene, Kolpašská 9/B, 969 01 Banská Štiavnica
kontriso@fee.tuzvo.sk