

Vladimir Vojvodić *

ЕКОЛОШКА ТОКСИКОЛОГИЈА (”Еко-токсикологија”)

A b s t r a k t

Већ из наслова овог рада могуће је запазити да еколошка токсикологија (еко-токсикологија) обухвата двије научне дисциплине: *екологију* и *токсикологију*.

Као што је могуће очекивати из ових удружених научних дисциплина, одговоре карактерише двоstruki приступ. Једна од кратких дефиниција *токсикологије* изгледа овако: ”Токсикологија представља студију сигурносних евалуација хемикалија и њиховог начина продирања у живе организме, као и њихове ефекте од *молекуларних структура* до *популационог нивоа*”. Са друге стране *екологија* и њен фокус је усмјерен на интеракцију између организамa и животне средине (environment-a), са посебним акцентом на *ниво популације* и *више нивое биолошке организације*.

У овом раду date су оснoве за тумачење између поменута два нивоа биолошке организације, са сугестијом да се спајање (улив) ове двије науке налази између *индивидуалног* и *популационог* нивоа. Игнорисање интериндивидуалне варијабилности од стране екотоксиколога у прошлим временима, не само што је проузроковало губитак значајних биолошких

*Vladimir Vojvodić, Crnogorska akademija nauka i umjetnosti

informacija, već je pokazalo nedostatak da se prepoznaju osnove zagađenja (populacije) koje prouzrokuju ekološke promjene.

Po svemu, ekotoksikologija se mora posmatrati kao nauka koja je tijesno povezana sa medicinskom toksikologijom i studijama odgovora - od molekuskog do individualnog nivoa - prema toksikantima.

Ključne riječi: Toksikologija, ekologija, eko-toksikologija.

ECOLOGICAL TOXICOLOGY (“Eco-toxicology”)

A b s t r a c t

From the title of this article it could be concluded that ecological toxicology (eco-toxicology) encompass two scientific disciplines: *ecology* and *toxicology*.

As might be expected from a merger of two disciplines, the answers are sought by a dual approach. One of the shortest definition of *toxicology* is: “The study and safety evaluation of chemical and manner in which they gain entry into living organisms, their effects from the *molecular structure* to the *population level* and the protective responses which they induce”. On the other hand, the focus in underline *ecology* is on interactions between organisms and environment, in particular at the *population level and higher levels of biological organization*. This content gives the background for the necessary interpolation between the two levels (low and high) of biological organization, with the suggestion that the confluence of the two science is between the *individual* and *population* level. Ignoring interindividual variability by ecotoxicologist in the past, they not only wastes valuable biological information, but demonstrates a failure to recognize the very basis of population induced ecological change.

Hence, ecotoxicology is closely connected to medical toxicology and the study of responses - from molecular to the individual level - to toxicants.

Key words: Toxicology, ecology, eco-toxicology.

Drugu polovinu XX vijeka i početak trećeg milenijuma karakteriše prisustvo desetak i više miliona organskih i neorganskih jedinjenja, pa se ovo vrijeme često naziva "era hemije", sa realnim izgledom da se i u budućnosti očekuje pojava još većeg broja hemijskih jedinjenja. Danas se procjenjuje, da od spomenutog broja, tržišta visoko razvijenih industrijskih zemalja raspolazu sa oko 100 000 raznih preparata, i da se ovaj broj povećava godišnje za 200 do 1000 "novih" hemikalija. Glavni problem sa postojećim hemikalijama je nedostatak adekvatnih toksikoloških podataka u rasponu od 25 do 50 i više postotaka (zavisno od vrste hemikalija), a koji bi poslužili za procjenjivanje rizika, u prvom redu za čovjeka i ostali živi svijet (Stacey, H.N. 1995.g.) (v. Tabela prikaz - Toksikološka informacija ...).

Već iz imena u naslovu ovog rada može se zaključiti da ekološka toksikologija (eko-toksikologija) udružuje aktivnosti i dostignuća naučnih disciplina iz *ekologije* i *toksikologije*. Na samom početku treba istaći da se ovo spajanje, ponekad, karakteriše značajnim opsegom konfuzije i nedosljednosti, bilo da tumačenja dolaze od stručnjaka koji se bave ekologijom ili toksikologijom, ili od stručnjaka srodnih oblasti iztraživanja koji pretenduju da u ime multi-disciplinarnosti daju tumačenje navedenih pojmova.

U anglosaksonskoj literaturi pod nazivom "toksikologija okoline" (u nas "životne sredine") upotrebljava se naziv "environmental toxicology". Ova kovanica vodi porijeklo od francuske riječi "environ" (okolina) i latinske riječi "mens" (um, pamćenje, misao, razum i sl.).

Takođe, u zapadnoj literaturi sve češće se pojavljuje izraz "eko-toksikologija" ("eco-toxicology"), pri čemu se podrazumijeva djelovanje hemijskih materija - zagađivača iz različitih životnih sredina (vazduh, voda, hrana, zemljište) na biološke strukture *ekoloških sistema* kao što su biljke, životinje (gdje spada i čovjek), gljive i mikroorganizmi. Široko gledano, eko-toksikologija se zanima predikcijom i monitoringom *antropogenih-hemijskih* i fizičkih zagađivača na pojedina ili sva živa stvorenja u ekosistemu. Njen cilj je da pruži naučnu osnovu i objašnjenje za nastanak poremećaja u "životnoj sredini" i da pomogne pri donošenju pravovremenih i odgovarajućih odluka, u prvom redu za zaštitu čovjekove okoline i njegovog zdravlja.

Kao što se može očekivati prilikom udruživanja dvije naučne discipline, odgovori se mogu dobiti uporednim korišćenjem rezultata toksiko-

**TOKSIKOLOŠKA INFORMACIJA ZA RAZLIČITE KATEGORIJE
HEMIKALIJA (%)**

| | LJEKOVI (1815) | KOZM. SREDSTVA (3410) | POLJOPR. HEM. (3350) | ADITIVI HRANE (8620) | INDUSTR. HEM. (48523) |
|-------------------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| potpuna | 18 | 2 | 10 | 5 | 0 |
| djelimična | 18 | 14 | 24 | 14 | 11 |
| minimalna | 3 | 10 | 2 | 1 | 10 |
| ispod minimuma | 36 | 18 | 26 | 34 | 0 |
| nema | 25 | 56 | 38 | 46 | |

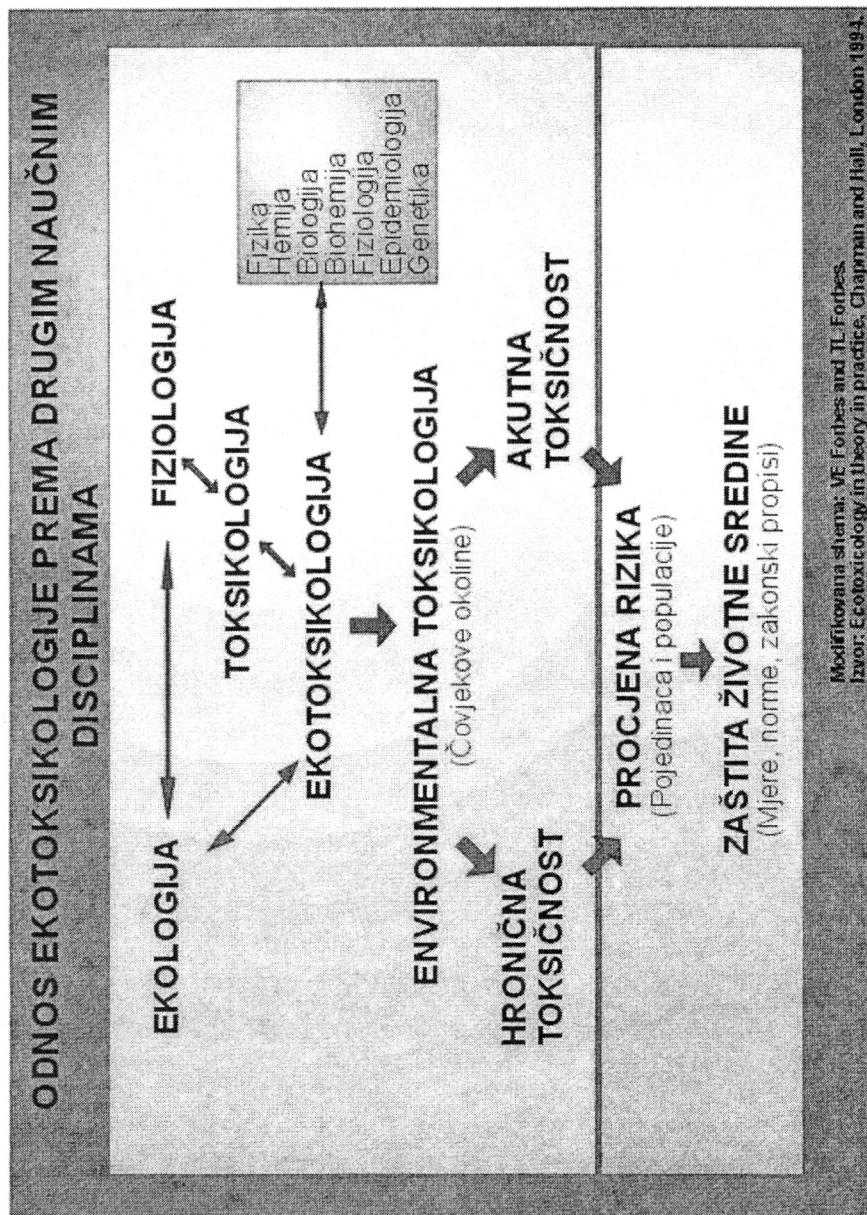
US National Toxicology Program (US NTP) 1984.
From: Ed. Stacey HN: "Occupational Toxicology". Taylor and Francis, London, 1995.

loških i ekoloških istraživanja.

Ekološka toksikologija je relativno nova naučna disciplina. U stvari, može se prosuditi da je u toku posljednjih 10 godina eko-toksikologija vrednovana i klasifikovana grana nauke, daleko više, nego da predstavlja samo kolekciju procedura za zaštitu životne sredine kroz menadžment i monitoring zagađivača koji dopijevaju u čovjekovu okolinu. Naziv "Ekotoxikologija" prvi je skovao profesor Rene Truhaut kasnih šezdesetih godina kao prirodno proširenje toksikologije (R. Truhaut 1969.g.). On je kao ljekar-toksikolog posjedovao viziju da prepozna značaj istraživanja puteva i efekata hemikalija u ekosistemu, pa tih kasnih šezdesetih godina, eko-toksikologija je razmatrana kao sub-disciplina medicinske toksikologije.

Kasnije, bilo je nekoliko pokušaja da se portretira eko-toksikologija u više realističnom svijetlu. Naročito dva autora, Moriarty F. 1988.g. i Ramade F. 1987.g. u njihovim knjigama ističu široku osnovu ekotoxikologije, uzimajući pri tome hemijske i radijacione efekte na sve komponente ekosistema. Navodeći ovo, oni i drugi autori (namjerno ili nenamjerno) su izmijenili mjesta koja se tiču neposredne hemijske toksičnosti na ljude, na efekte prema udaljenim (više istančanim) posljedicama koje hemijski polutanti ispoljavaju na prirodu, ističući da pomenuti efekti predstavljaju potencijalnu opasnost za egzistenciju svih živih bića na zemlji.

Ovo je sigurno tačno, međutim, naša namjera je da u ovim izlaganjima u prvom redu istaknemo štetno ili opasno djelovanje hemikalija iz životne sredine na čovjeka. Pošto je ekološka toksikologija relativno nova naučna disciplina, spomenuta namjera ne isključuje prikazivanje raznih mišljenja iz ove oblasti. U stvari, detaljnija rasprava se razvila u posljednjoj četvrtini prošlog vijeka kao rezultat sinergističkog djelovanja klasične toksikologije i hemije životne sredine. Međutim, treba istaći da postoji čitav niz naučnih oblasti (multi-disciplinarnost) koje doprinose sagledavanju eko-toksikoloških ciljeva (v. shematski prikaz (I)), bilo da se radi o razumijevanju, predikciji ili kontroli uticaja štetnih hemikalija na životnu sredinu. Sam R. Truhaut je 1977.g., pokušao da unese više jasnoće u ovoj oblasti, pa kaže: "...tradicionalna toksikologija razmatra toksične efekte na pojedinim organizmima, dok eko-toksikologija razmatra uticaj na populaciju živih organizama ili na ekosistem" ... Jedan drugi naučnik, Peter Calow 1993.g., navodi: "...eko-



toksikologija razmatra sudbinu hemikalija u životnoj sredini i njihove efekte na ekološke sisteme" ... "Moguće je da događaj u životnoj sredini (tzv. environmentalni događaj) ispolji ozbiljne efekte na pojedine organizme, ali da to nema značajnijeg uticaja na populaciju ili ekosistem" ... Iz ovih razloga termini "environmentalna toksikologija" i "eko-toksikologija" ne moraju biti razmjenljivi, kako se često može naći u zapadnoj literaturi.

Naime, nesporazumi potuču još od spomenute Truhaut-ove definicije, koje su objeručke prihvatili toksikolozi kao razlog za sagledavanje značaja interakcije između sintetski dobijenih hemikalija, i efekata ovih hemikalija na životnu sredinu (specijalno na žive komponente) i njihovog prisustva i uticaja na zdravlje čovjeka. Iako je Truhaut 1977.g. priznao značaj ekologije kao komponente eko-toksikologije, sasvim je bilo jasno da je njegov koncept bio toksikološki, iz razloga što je njegov konačni cilj bio razmatranje zdravlja čovjeka. Njegov koncept ekosistema (kao nekog oblika "superspecifičnog" organizma) izgleda da nije bio prihvaćen od mnogih modernih ekologa (Tilman, D., 1989.g.).

Koncept *ekosistema* prvi je još 1935. g. predložio Tansley (Schlesinger, W.H., 1989). Grana ekologije koja učestvuje u studijama "cirkulacije, transformacije i akumulacije energije i materije kroz sredinu živih bića i njihova aktivnost" generalno je poznata kao *ekosistemska ekologija* (Evans 1956. g., cit. Schlesinger, W. H., 1989. g.). I ovdje moramo spomenuti da je Truhaut, R. 1977.g. takođe identifikovao istraživanja sudbine i cirkulacije polutanata u ekosistemu kao veoma važan princip u eko-toksikološkim studijama. Mnogi eko-toksikolozi, izgleda nijesu upoznati sa obimom u kojem principi sistemske ekologije mogu doprinijeti upoznavanju eko-toksikoloških problema.

Definisanje eko-toksikologije šezdesetih godina prošlog vijeka od strane toksikologa uticalo je na javno mnjenje, tako da je ono postalo svjesno da povećano prisustvo hemikalija u čovjekovoj okolini može imati neželjenih posljedica i za čovjeka i za njegovu okolinu. Ova svijest, i kasnije strah od mnogih štetnih efekata hemikalija na čovjekovo zdravlje posljedica je relativno velikog broja hemijskih udesa u industrijskim postrojenjima i van njih (najčešće zadesnog karaktera), i sve veće upotrebe hemijskih jedinjenja u svakodnevnim aktivnostima čovjeka (poljoprivreda, šumarstvo, industrija, domaćinstvo i dr.). Već je postalo klasično citiranje zadesnih trovanja ljudi bilo da se radi

o oštećenjima zdravlja i nastupa smrti, praćeno sa manjim ili većim evakuacijama stanovništva iz zahvaćenog regiona (Flixborough 1974.g., *Vel. Britanija*; Seveso 1976.g., *Italija*; Los Alfaques 1978.g., *Španija*; Xilatopec 1978.g., *Meksiko*; Novosibirsk 1979.g., *SSSR*; Montanas 1981.g., *Meksiko*; Tocoa 1982.g., *Venecuela*; Bhopal 1984.g., *Indija*; Shangasi 1987.g., *Kina*; Salt Lake City 1987.g., *USA* i dr.).

Danas, pored ogromnog broja stručne literature iz ove oblasti, postoji i veoma popularna literatura, koja (iako ponekad pretjeruje) korisno utiče na vaspitanje i reakcije običnog čovjeka. Jedna od veoma ranih i poznatih knjiga iz ove oblasti je " *Tiho proleće*" ("Silent Spring"), koju je napisala američki biolog Rachel Carson 1962.g. Povod za ovu knjigu bio je sljedeći: kao biolog, radeći u instituciji za praćenje života riba i divljih životinja, već 1950.g. počela je da čita uznemiravajuće podatke iz naučne literature o djelovanju insekticida DDT-a na divlji svijet. Ptice koje su se hranile ribama umirale su zbog unošenja DDT-a preko tzv. hranljivog lanca. Neke ptice (npr. crvendać) su umirale jedući crve iz zemlje ispod drveća prskanog DDT-em. Ovakvi i slični podaci su se gomilali, a sve kao posljedice nekontrolisanog načina upotrebe ovog insekticida širom Amerike. Knjiga je postala vrlo brzo "best seller", tako da je stimulisala nacionalnu debatu u SAD, koja se na određeni način kad je u pitanju široka upotreba hemikalija za različite svrhe, nastavlja do današnjih dana. Osnovna poruka knjige je bila, ako se kontinuirano i nekontrolisano nastavi sa upotrebom raznih pesticida, moguće je da će doći dan u proljeće kada neće biti ptica i njihovog cvrkutanja, a takođe sve ovo može biti praćeno prijetećim uticajem na ljudski rod. Danas je upotreba DDT-a zabranjena u SAD i u mnogim evropskim zemljama, zaslugom i ove autorke, koja je nažalost umrla od maligne bolesti dvije godine poslije izlaska njene knjige.

Ako se vratimo na shematski prikaz (odnos eko-toksikologije prema drugim naučnim disciplinama), onda se može zapaziti da se ova nauka nalazi u međuprostoru toksikologije i ekologije, sa značajnim vezama i uticajem drugih prirodnih nauka. Sporenja i rješenja u okviru eko-toksikologije, bar kad je u pitanju predviđanje rizika za ljudsko zdravlje, po našem mišljenju treba tražiti u okviru toksikologije i environmentalne hemije, dok je uloga ekologije još neizvjesna. Procedure određivanja rizika za ljude do danas veoma malo koriste ekološki koncept, i regulatorne odluke za polutante uglavnom se zasnivaju na određivanju

(mjerenu) toksikoloških efekata na nivo pojedinačnih ili grupe organizama i sudbine hemikalija koje se razmatraju u žitovnoj sredini (Sokal, R.R., Rohlf, F.J., 1995.).

Po svemu izgleda da eko-toksikolozi nijesu razvili opšte metode za određivanje mogućih posljedica toksičnih efekata na nivou populacije. Tako, postojeća procedura određivanja rizika ukazuje na vjerovatnoću da će pojedini organizmi izloženi štetnim dozama (koncentracijama) zagađivača reagovati prije, nego što će toksični efekti (zavisno od vrste mjerenja) prouzrokovati smanjenje, izumiranje, povećanje ili neutralisanje čitave populacije.

Postavlja se pitanje, zašto ekologija tako malo doprinosi eko-toksikologiji? Najvjerovatniji odgovor leži u enormnoj različitosti eko-toksikoloških problema, naročito u širokim varijacijama i podjelama hemijske perzistencije i distribucije, zatim pokretljivošću i reproduktivnom stopom pogođenih organizama, kao i stabilnošću i određenim uslovima prebivališta u kojem zagađivač i organizam zajedno borave. Kao što je poznato iz toksikologije, toksičnost i sudbinu zagađivača moguće je određivati pomoću laboratorijskih procedura-metoda, pri čemu predikcija toksičnih efekata polutanata za pojedine organizme za kratki vremenski interval može biti veoma precizna. Međutim, ekološka svojstva prebivališta i organizama u njemu može zahtijevati za određivanje rizika pored laboratorijskih i tzv. područna ("poljska") istraživanja u dužim vremenskim intervalima i pri visokoj lokalnoj specifičnosti. Uvođenje ekološke dimenzije na određen način predstavlja neželjeni uslov, pogotovo ako su prilikom odabiranja metodologije za procjenu rizika potrebna ponavljanja i utvrđivanja parametara cijene koštanja - efekat.

Imajući u vidu spomenute i druge potrebe, eko-toksikolozi su tražili utočište u toksikologiji i hemiji životne sredine, pa procedura određivanja rizika najčešće obuhvata ekstrapolaciju nalaza koji potiču od uprošćenih laboratorijskih "test sistema" ili malih "mezokosmosa" za kvantitiranje opasnosti koju posjeduju polutanti za pojedine (ili grupu) organizama. To znači, da toksikologija životne sredine (environmentalna toksikologija) upotrebljava iste principe kao eksperimentalna toksikologija, ali više upućuje na zbivanja koja se dešavaju u čovjekovoj okolini, tj. na hemijska jedinjenja koja iz raznih sredina mogu djelovati na organizam čovjeka. Kad toksikolog istražuje trovanja na radnom mjestu

ili druga trovanja (profesionalna ili medicinska toksikologija - trovanja), onda se podrazumijeva da mu je hemijska supstanca poznata, ali kada je u pitanju zagađenje (kontaminacija) životne sredine, opasnost mora biti detektovana i identifikovana prije procjenjivanja rizika, koji može biti rezultat djelovanja pojedinih ili grupe (mješavine) hemijskih jedinjenja.

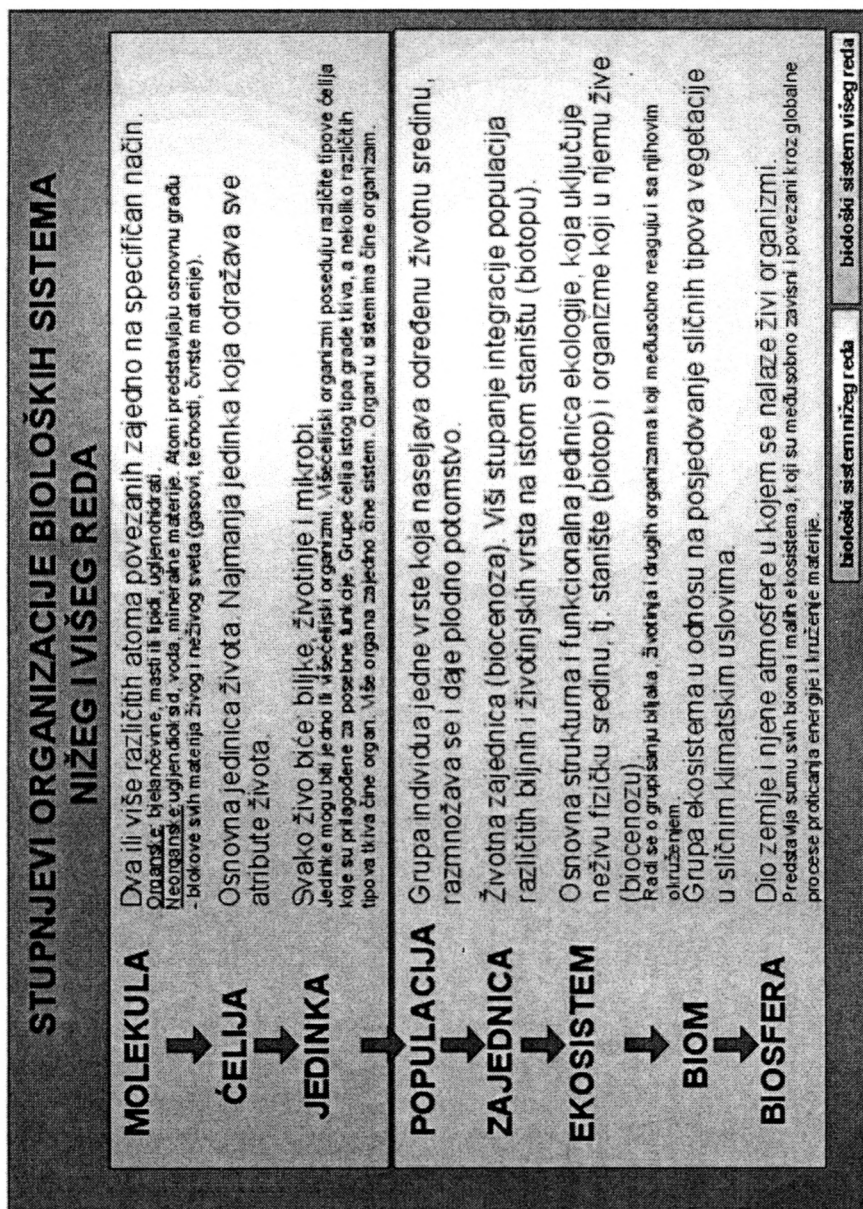
Neki autori su pokušali da označe veću ulogu ekologije u okviru toksikologije (Ceirns, J.Jr., Pratt, J., 1993), pa kažu: ..."U praksi, međutim, ekotoksikologija je uglavnom toksikologija sa ekologijom koja se dodaje kao "začin" glavnom jelu - važna primijenjena nauka kojom dominira kriva raspodjela doza - odgovor, dobijen mjerenjem na osjetljivim životinjskim specijesima, sa definisanim laboratorijskim eksperimentima i sa kapom ekološke teorije".

Jedan drugi poznati autor u okviru eko-toksikologije (Moriarty, F., 1993), uzima za pravo da tvrdi: "da je eko-toksikologija subdisciplina ekologije". Forbes, V.E., Forbes, T.L., 1994.g. u knjizi "Ekotoksikologija u teoriji i praksi" (Ecotoxicology in Theory and Practice) pokušavaju da pomire oprečna tvrđenja pa navode: "niti je Truhaut-ova klasifikacija (1977) - 'eko-toksikologija kao subdisciplina toksikologije' adekvatna, a niti je Moriarty-ova klasifikacija (1983) - 'eko-toksikologija kao subdisciplina ekologije' sasvim precizna".

Ova razmatranja završićemo podacima Karieva, P., Stark, J., Wennergren, U., iz 1966.g., koji tvrde: "da nijedan vodeći ekološki udžbenik ne spominje eko-toksikologiju, čak i ako su ljudi koji se bave životnom sredinom tzv. "environmentalisti" u svijetu duboko svjesni ekoloških prijetnji koje predstavljaju hemijski polutanti". Međutim, na drugoj strani, stručni i naučni toksikološki sastanci i publikacije navode radove koji se odnose na ekološke principe, citirajući sve od lanca ishrane i sastojaka hrane do teorije smetnji i homeostaze ekosistema.

Izvjesno je da eko-toksikologija kao multi-disciplinarna nauka "vuče" principe iz ekologije, hemije i toksikologije, a takođe iz jednog broja drugih oblasti, kao što su biohemija, molekularna biologija i dr. Dok informacije iz toksikoloških studija često nalaze primjenu u kliničkoj i preventivnoj (medicinskoj) praksi, dotle eko-toksikološka istraživanja se primarno primjenjuju na analizu i kontrolu toksičnih supstancija u životnoj sredini, i njihovo moguće djelovanje iz ove sredine na ljudsko zdravlje.

Ako se iz prikazanih mišljenja uzdržimo od krajnjih tumačenja na-



ziva eko-toksikologije, izgled nam logično, a time i prihvatljivo, da se na *eko-toksikologiju gleda kao na nauku koja uključuje sva neophodna istraživanja sa namjerom dobijanja informacija za sadašnja i buduća razumijevanja kako hemijska jedinjenja (ili njihovi raspadni produkti) prisutna u životnoj sredini, postaju biološki aktivna djelujući na organizme u njihovom prirodnom staništu.*

Veza ili spajanje ekologije i toksikologije ilustrovano se može prikazati posmatranjem stupnjeva organizacije biološkog sistema "nižeg" i "višeg" reda (v. shematski prikaz (II)).

Iako hijerarhijski "niže" organizacione jedinice (molekula, ćelija, jedinka) funkcionišu u okviru "viših" kompleksnijih sistema (populacija, zajednica, ekosistem, biom, biosfera), po svemu izgleda da je najviši stepen integrisanosti živih sistema, po mnogim svojstvima, ostvaren na nivou ćelija, koje su osnovne jedinice strukture svih živih organizama. Treba istaći, da se organizacioni stupnjevi živog svijeta (od molekula do biosfere) po značajnosti ne razlikuju jedan od drugog, a takođe je nemoguće među njima postaviti oštre - diskontinualne granice. Funkcijama i nivoima "nižeg" reda bave se mnoge biološke nauke, a među njima i ekotoksikologija. U ovom pravcu, eko-toksikologija je tijesno povezana sa medicinskom toksikologijom koju karakterišu istraživanja o načinu djelovanja i odgovora organizma na djelovanje zagađivača od *ćelijskog* (molekularnog) do *individualnog* nivoa biološke organizacije (v. shematski prikaz (III)). Naime, toksikolozi koji se bave toksikologijom životne sredine najčešće zapažaju izražene ili tzv. "velike" efekte pojedinih zagađivača na organizmu kao cjelini, pri čemu se ne smije zaboraviti da kumulativni efekti malih ili neznatnih doza zagađivača prouzrokuje kidanje toka strukture i funkcije na nivou ćelije, pri čemu se stvaraju uslovi za oboljevanje ili umiranje organizma. Sa druge strane, proučavanje organizacionih nivoa "višeg" reda, *nadindividualnih sistema* ili *bioloških makrosistema* spada prevashodno u domen ekologije, kao sintetske multi-disciplinarne nauke. Uprošćeno rečeno, fokus istraživanja ekologije je interakcija između organizama i njihove okoline (staništa), posebno na *nivou populacije* i drugih viših nivoa biološke organizacije. Tako izgleda da se "sliv" između toksikologije i ekologije nalazi između individualnog i populacionog nivoa.

Nema sumnje da je u posljednjih 20 do 30 godina u pojedinim djelovima svijeta došlo do povećanog zagađenja (privremenog ili stalnog)

DJELOVANJE HEMIJSKIH SUPSTANCIJA NA RAZLIČITIM NIVOIMA BIOLOŠKE ORGANIZACIJE

HEMIJSKO JEDINJENJE

ČELIJA

STRUKTURNE PROMENE
INDUKCIJA

ORGAN

RESPIRACIJA
OSMOREGULACIJA
SELEKTIVNA TOKSIČNOST

POJEDINAC
(Organizam)

AKUTNA I HRONIČNA TOKSIČNOST
SUBLETALNA
LETALNA

STANOVNIŠTVO
(Populacija, grupa ljudi)

HRONIČNA TOKSIČNOST
REPRODUKCIJA
RAST

ZAJEDNICA
(Društvo)

DINAMIKA KONTAMINACIJE U MIKROKOSMOSU

EKOSISTEM

PRODUKTIVNOST
PROTOK ENERGIJE

Modifikovana shema: Carl Haux and Lars Forbin,
AMBIO, Vol. 17, No. 6, 1988.

životne sredine, o čemu postoji obilje podataka. U ovim podacima više se spominje intenzitet i trajanje zagađenja, a relativno malo (ili nema dovoljno podataka) o mehanizmima poremećaja životnih funkcija, koje mogu biti odgovorne za *nastajanje dugotrajnih posljedica* po živi svijet na nivou populacije, i posebno za čovjeka. Postoje objektivne teškoće (dostupna metodologija, nivo dosadašnjeg znanja i dr.), ali bi učinili nepravdu ako u daljim izlaganjima ne bismo razmotrili najčešće nedostatke prilikom eko-toksikoloških istraživanja. Tako, na primjer, imamo:

- relativno mali nivo ekoloških poremećaja, globalno gledano, koji se javlja kao posljedica hemijskog zagađenja, pa je teško razlikovati promjene usljed prirodnih fluktuacija na nivou populacije u sastavu i funkcionisanju ekosistema;

- laboratorijsko određivanje akutne toksičnosti pojedinih zagađivača upotrebom selektovanih životinjskih vrsta u standardnoj proceduri, veoma su korisna, ali nažalost predstavljaju ograničavajuće vrijednosti i ne mogu se upotrijebiti za predviđanje hroničnih efekata nesmrtnih koncentracija polutanata "in situ".

To znači, potreban je novi pristup za otklanjanje navedenih poteškoća i potrebno je otkriti sekvencijalne mehanizme kroz koje zagađivači stupaju u kontakt sa biohemijskom "mašinerijom" ćelije, koje su odgovorne za konačne promjene na nivou populacije, zajednice i ekosistema.

Nezavisno od navedenog, postavlja se pitanje, da li se interindividualna fiziološka varijabilnost može upotrijebiti kao "alatka" za istraživanje efekata djelovanja hemijskog zagađenja na nivou populacije?

Postoje autori (Rosemarin, A., 1988) koji rješenje ovog problema vide u razvoju eko-toksikologije na nivou ekologije. Međutim, treba uzeti u obzir, da do sada ovaj pristup nije dao odgovor na tražena pitanja, pa se i nama čini, kako to Depledge, M.H., 1990 sugerise, da je zanemarena oblast koja eko-toksikološka istraživanja usmjerava i koncentriše oko jedinki i njihovog ponašanja u prirodnom okruženju.

U prirodnoj društvenoj zajednici, populacije različitih životinjskih vrsta konkurišu jedna drugoj za resurse, kao što su prostor, hrana, zakloni i dr., što na određen način čini bazu za ekološke promjene. Uspjeh svake vrste određen je svojstvima-osobinama individue koje čine svaku populaciju. Neke individue će biti bolje adaptirane nego druge na raspoložive uslove, ali ukoliko dođe do promjena u životnoj

sredini pod uticajem raznih polutanata, različite jedinke mogu biti više ili manje adaptirane na nove uslove, što se može odraziti na populacioni nivo. Ova uprošćena razmatranja osvjetljavaju činjenicu da se ekološki poremećaji (prirodni ili pod uticajem čovjeka) pojavljuju kao posljedica različitih efekata i poremećaja na jedinkama koje čine populaciju. Tako, u slučaju ekspozicije hemijskim kontaminantima tolerantnost i adaptaciona izdržljivost jedinke omogućuje dalju reprodukciju i time doprinijeti uvećanju broja sljedeće generacije. Ako je tolerancija nasljedna, to će voditi modifikaciji u genetskoj konstituciji sljedeće generacije. Ne samo "udar" polutantima, već će kombinovani uticaj environmentalnih i genetskih faktora imati odraza na adaptaciju. Ponovljeni "udari" ubrzavaju adaptaciju (Falconer, D. S., 1981., Klerk, P. L., Weis, J. S. 1987.) praćenu sa povećanom metaboličkom potrošnjom (Hoffmann, A. A., Parsons, P. A., 1991.). Tako, na primjer, insekti sa kratkim vijekom postojanja i velikom nasljednom brojnošću postaju adaptibilni na djelovanje otrova-pesticida. Ilustrativni su podaci koje navode Nebel, J. N., Wright, T. R., 1996.g., da je u 1946.g. bio potreban 1 kg pesticida za zaštitu i proizvodnju 60.000 "bushel"-a (mjera za zapreminu 36.1 l) žita, a već 1971.g. za istu količinu žita bilo je potrebno 64 kg pesticida. U svakom slučaju odgovori na "udare" utiču na integraciju različitih fizioloških sistema i odgovora, pri čemu u toku evolucione istorije dolazi do selekcije koja obezbjeđuje svaku životinjsku vrstu sa ekstenzivnim fiziološkim repertoarom, koji odgovara njihovom staništu. To znači, *da je fiziološki repertoar jedinke djelimično genetski određen i djelimično predstavlja produkt environmentalnih uslova*. Osim toga ontogeni faktori, kao što su veličina i starost, izrazito utiču na izražajnost fizioloških odgovora (Delpedge, M. H. 1982.).

Pojave intrapopulacionih promjena nijesu ozbiljno razmatrane sve do kasnih sedamdesetih godina (Aldrich, J. C., 1975; Aldrich, J. C., 1983) iako je bilo riječi o ovim stvarima mnogo ranije u okviru evolucionih razmatranja (Simpson, G. G., 1953). Tek osamdesetih godina pojavili su se podaci u literaturi (Bennett, A. F., 1987) koji su skrenuli pažnju na činjenicu, da su se konvencionalne ekofiziološke metode i studije oslanjale na tzv. "srednji odgovor" testiranih organizama jedne populacije, i na taj način previđeni su dragocjeni izvori informacija koje leže u interindividualnoj promjenljivosti. U stvari, kada se razmatrala promjenljivost, navođene su vrijednosti: standardna greška (SE),

standardna devijacija (SD) i dr. da bi se dobila granica vjerovatnoće za srednju vrijednost (\bar{X}). Radeći ovo, često je implicirano da su vrijednosti udaljene od "sredine" atipične i abnormalne, pa tako ne odražavaju realni odgovor jedne populacije. Očito, Benett-ove kritične observacije mogu se podjednako primijeniti na većinu eko-toksikoloških studija. Slijedeći ovo, za razumijevanje mehanizma koji leži u osnovi ekoloških promjena i njihovog biološkog značaja, nije dovoljno da se nađe objašnjenje za odgovor većine organizama u populaciji u klasičnom test-sistemu ($\bar{X} \pm SD$, ili 68.3 % populacije), (v. poznatu Gausovu krivu normalne raspodjele). Značajno je znati: šta se dešava sa odgovorima ostalih 31.7 % populacije? Zaista, izgleda da prilikom izlaganja ozbiljnim stresnim situacijama (hipoksija, zagađenje hemikalijama ili kombinacija više stresnih faktora), postoje jedinke koje ispoljavaju fiziološke osobine ili pokazuju adaptacione odgovore u manjem ili većem stepenu (sa osobinama jednog ili drugog ekstremnog raspona) koji im omogućava preživljavanje. Da li će preživjele životinje omogućiti populaciji da se održi, ili će ova kasnije ispoljiti progresivno opadanje, zavisice od faktora kao što su reproduktivni uspjeh preživjelih, nasljeđe i prenošenje drugih osobina na potomke, kao što je uspješna kompeticija sa drugim životinjskim vrstama u zajednici, koja takođe može biti izložena stresnim situacijama.

Posmatrano u ovakvom kontekstu, nije iznenađujuće da laboratorijski testovi koji ispituju "akutni srednji odgovor" na djelovanje polutanata ne uspijevaju da pruže korisne informacije za *predikciju dugotrajnih ekoloških efekata* "in situ". Istovremeno se postavlja pitanje: kako je moguće navedene podatke iskoristiti i primijeniti u praksi za potrebe proučavanja mogućih efekata polutanata? Neke laboratorije (Depledge, M. H., Bjerregaard, P., 1990) za rješenje ovog pitanja pribjegavaju odabiranju životinja sa sličnim fiziološkim osobinama (njegovanje posebnih sojeva) tzv. "fiziotipova", u cilju dobijanja vjerodostojnih podataka. Nalazi ovih istraživanja se kasnije upotrebljavaju za istraživanja razlike osjetljivosti fiziotipskih grupacija u prirodnoj populaciji koja se izlaže izlaganju zagađivača "in situ".

Dosadašnja izlaganja ukazuju da danas postoji evidentna potreba za određivanjem efekata kontaminanata životne sredine na ekosistem. Kao što smo spominjali, složenost ekosistema i teškoće u sagledavanju uticaja hemikalija tj. vidljivih efekata na ovaj sistem, uticao je na

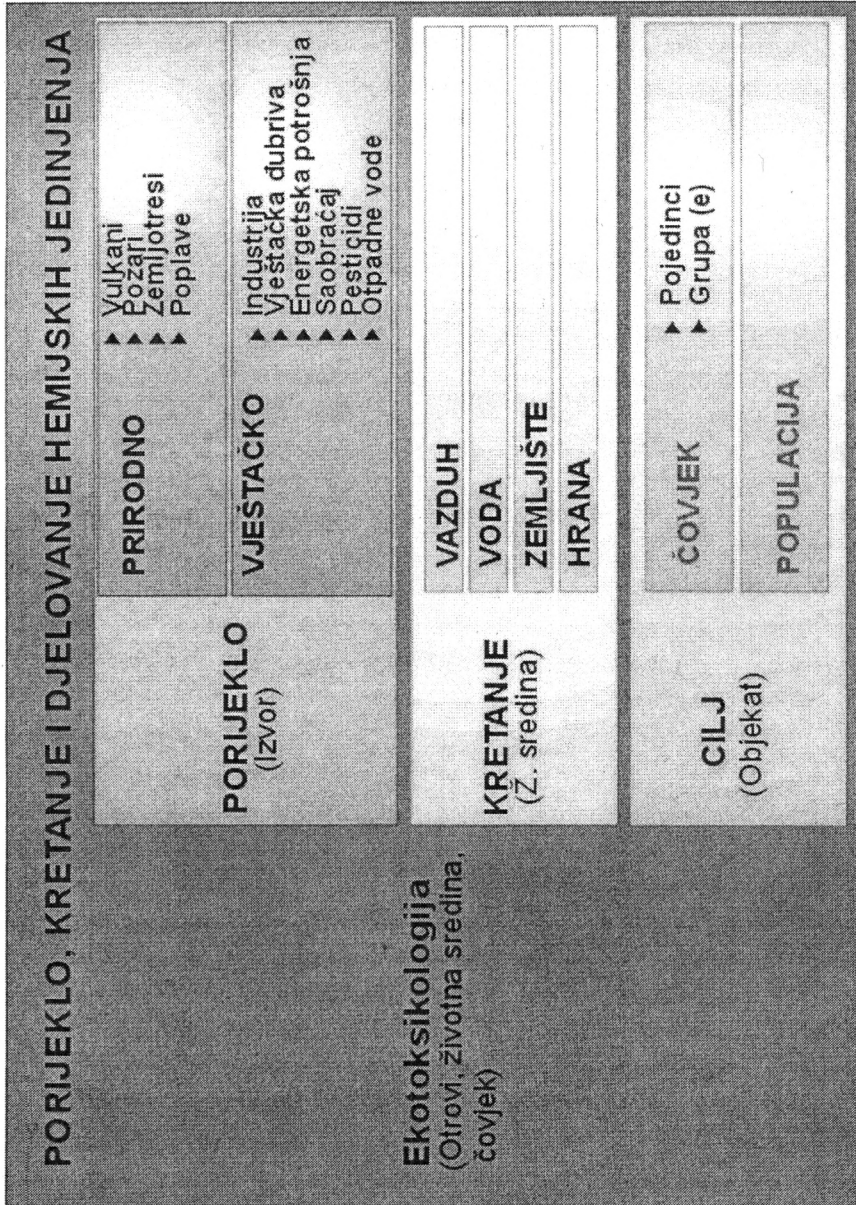
stvaranje različitih strategija za procjenjivanje i mjerenje "zdravstvenog stanja ekosistema". Najčešće se spominje strategija razvoja i primjene biohemijskih metoda za detekciju ranih efekata hemikalija na ekosistem.

Ova strategija potiče od koncepta da *efekti toksičnih supstancija na ekološki sistem vode porijeklo od biohemijskih reakcija pojedinih organizama*. Primarni efekti se dešavaju na subcelularnom nivou i oni su obično visoko specifični i reverzibilni. Kasnije, usljed produženog djelovanja toksikanata dolazi do razvoja sekvenci funkcionalnih promjena na više nivoe biološke organizacije pojedinog organizma (grupe ćelija, organi), pri čemu može doći do konačnih promjena u vitalnim funkcijama koje su nespojive sa daljim životom jedinke. Ovakve promjene mogu biti odlučujuće za čitavu populaciju. Kada se ovakav stepen dejstva postigne, onda toksična supstancija prouzrokuje negativne i moguće nepovratne efekte na pojedini ekosistem. To znači, da efekti polutanata mogu biti posmatrani na različitim nivoima biološke organizacije, od subcelularnih struktura do populacije i ekosistema. Za ove svrhe potrebne su specifične i veoma osjetljive biohemijske metode, koje se moraju upotrijebiti u cilju ranog otkrivanja indikatora zagađenja, i čiji nalazi mogu poslužiti kao upozoravajući znaci za preduzimanje odgovarajućih mjera zaštite viših nivoe biološke organizacije. Na osnovu dosadašnjih iskustava poznato je da je *toksični efekat pojedinih hemikalija dominantno izražen i razumljiv na nivou ćelije i organa, dok na nivou zajednice i ekosistema je manje razumljiv, iako je najrelevantniji*.

Izbor biohemijskih metoda za biološki monitoring toksičnog djelovanja raznih hemikalija, primarno će zavisiti od metoda koje omogućavaju precizno mjerenje količine i efekata polutanata, što je u neposrednoj vezi sa postojećim dostignućima u molekularnoj biologiji, biohemiji, fiziologiji, toksikologiji i drugim relevantnim granama biologije. U ovaj kontekst, neophodno je uzeti u obzir kriterijum za dobijanje potrebnog tipa informacije, kako bi se ista mogla korisno upotrijebiti i generisati. U literaturi se navode različiti kriterijumi, navodimo jedan od predloženih (Hodson, P. V., 1986., Haux, C., Förlin, L., 1988):

- Ispitivanje mora da posjeduje snagu ranog upozorenja, tako da toksični odgovor mora biti otkriven na nižem nivou biološke organizacije;

- Ispitivanje mora da bude maksimalno moguće specifično, u cilju prepoznavanja pojedinih hemijskih supstancija ili grupe (mješavine)



hemikalija koje djeluju kao polutanti;

- Ispitivanje (kao posljedica ekspozicije) treba da omogući sagledavanje odnosa količine (doza) - odgovor, i pri tome da se izvrši potpuna procjena, uzimajući u obzir endogene i egzogene faktore koji utiču na mjereni odgovor.

Na kraju ovog izlaganja možemo zaključiti, da zbrka pri tumačenju mjesta i uloge ekološke toksikologije (eko-toksikologije) i toksikologije životne sredine (environmentalne toksikologije) je više akademska nego stvarna. Nesporazum dolazi od jednog broja autora, koji insistiraju da se toksikologija životne sredine primarno odnosi na proučavanje štetnih efekata environmentalnih hemikalija na ljude i njihovo zdravlje, za razliku od eko-toksikologije koja svakako pored humane populacije obuhvata i druge žive strukture u prirodi. Ma koliko se trudili, nemoguće je odvojiti štetno djelovanje zagađenja hemijskih materija na čovjeka (osim izuzetno-profesionalna toksikologija i slično) od drugih živih djelova prirode (biljke, životinje, ribe i dr.). Međutim, nažalost i u vrlo ozbiljnim publikacijama govori se o eko-toksikologiji koja ne spominje uopšte problem uticaja zagađenja na zdravlje čovjeka.

Jedna sumarna definicija eko-toksikologije mogla bi da glasi:

Eko-toksikologija obuhvata i proučava *porijeklo i prirodu* otrova (hemijsko jedinjenje), *kretanje i distribuciju* otrova u životnoj sredini (vazduh, voda, hrana i zemlja) i *djelovanje* otrova na razne organizme uključujući čovjeka, na svim stepenima razvoja i stanja biološkog sistema (v. shematski prikaz (IV)).

L I T E R A T U R A

1. Haeckel, H. E.: "Generelle Morphologie der Organismen". Reiner, G., Berlin 1886. (iz knjige: Chemical Victims, Richard Mackarness, Pan Book Ltd., London 1980.)
2. Truhaut, R.: Ecotoxicology: objectives, principles and perspectives. Ecotoxicology and Environmental Safety 1, 151-173, 1977.
3. Calow, P.: (ed) Handbook of Ecotoxicology, Blackwell Scientific Publication, Vol.1., Oxford 1993.

4. Tilman, D.: Discussion: Population dynamics and species interactions. In: *Perspectives in Ecological Theory*, (Eds. J. Roughgarden, R. M. May and S. A. Levin), pp 89-100, Princeton University Press, Princeton 1989.
5. Evans 1956., cit.: Schlesinger, W. H.: Discussion: Ecosystem structure and function. In: *Perspectives in Ecological Theory*, (Eds. J. Roughgarden, R. M. May and S. A. Levin), pp 268-274. Princeton University Press, Princeton 1989.
6. Carson, R.: *Silent Spring*. Houghton Mifflin, Boston 1962.
7. Sokal, R. R., Rohlf, F. J.: *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*, 3rd edn, W. H. Freeman and Co., San Francisco 1995.
8. Cairns, J. Jr., Pratt, J.: *Trends in ecotoxicology. The Science of the Total Environment*, Supplement 1993, 7-22, 1993.
9. Moriarty, F.: *Ecotoxicology. The Study of Pollutants in 1983 and Ecosystems*, Second Edition, Academic Press, London 1993.
10. Forbes, V. E., Forbes, T. L.: *Ecotoxicology in Theory and Practice*. Chapman and Hall, London 1994.
11. Karieva, P., Stark, J., Wennergen, U.: Using demographic theory, community ecology and spatial models to illuminate ecotoxicology. In: *Ecotoxicology: Ecological Dimensions*. Ed.: Baird, J. D., Maltby, L., Greig-Smith, W. P., Douben, E. T. P. pp 13-23, Chapman and Hall, London 1996.
12. Hodson, P. V.: Water quality criteria and the need for biochemical monitoring of contaminant effects on aquatic ecosystem. In *Water Quality Management: Freshwater Ecotoxicity in Australia*. Hart, B. T. (ed.). Water Studies Centre, Chisholm Institute of Technology, Melbourne, pp 7-21, 1986.
13. Haux, C., Förlin, L.: Selected assays for health status in natural fish population. In: *Advanced Hazard Assessment of Chemicals in the Aquatic Environment*. Lander, L. (ed.). Springer Press, New York 1989.

14. Omura, T., Sato, R.: The carbon monoxide-binding pigment of liver microsomes. I. Evidence for its hemoprotein nature. *J. Biol. Chem.* 239, 2370-2378, 1964
15. Omura, T., Sato, R.: The carbon monoxide-binding pigment of liver microsomes. II. Solubilisation, purification and properties. *J. Biol. Chem.* 239, 2379-2385, 1964
16. Truhaut, R.: Ecotoxicology: A new branch of toxicology. In: *Ecological Toxicological Research*. McIntyre, A. D. and Milles, C. F. (eds.) Plenum Press, pp 3-24, New York 1975.
17. Rosemarin, A.: Ecotoxicology on the upswing-But where are the ecologist? (Editorial). *Ambio* 17, 359, 1988.
18. Depledge, M. H.: New approaches in ecotoxicology: Can inter-individual physiological variability be used as tool to investigate pollution effects? *Ambio*, vol. 19, No 5, 1990.
19. Depledge, M. H.: Sublethal and synergistic effect of environmental factors and pollutants on the circulatory and respiratory physiology of the Shore Crab, *Carcinus maenas* (L). Ph. D. Thesis. University of London, UK, 424 p.
20. Simpson, G. G.: The major features of evaluation. Columbia University Press. New York 1953.
21. Aldrich, J. C.: Individual variability in oxygen consumption rates of fed and starved *Cancer pagurus* (L) and *Maia squinado* (Herbst). *Comp. Biochem. Physiol.* 50A, 223-272, 1975.
22. Aldrich, J. C.: Seasonal, geographical and size differences in oxygen consumption, digestive glands and gills in *Carcinus maenas* (L), a study of condition for ecologist. *P. Z. N. I.: Mar. Ecol.* 4. 147-162, 1983.
23. Bennett, A. F.: Interindividual variability: an underutilized resource. In: *New directions in ecological physiology*. Feder, M. E., Bennett, A. F., Burggren, W. W. and Huey, R. B. (eds). Cambridge University Press, Cambridge, p. 147-169, 1987.

-
24. Depledge, M. H., Bjerregaard, P.: Explaining individual variation in trace metal concentration in selected marine invertebrate: The importance of interactions between physiological state and environmental factors. In: Phenotypic Responses and Individuality in Aquatic Ectotherms. Aldrich, J. C. (ed.). Japaga, Dublin, 1990.
 25. Sommer, Ch.: Ecotoxicology and developmental stability as an "in situ" monitor of adaptation. *Ambio*, Vol. 25, No 5, 374-376, 1996.
 26. Haux, C., Förlin, L.: Biochemical methods for detecting effects of contaminants on fish. *Ambio*, Vol. 17, No 6, 376-380, 1988.
 27. Moriarty, F.: *Ecotoxicology*. 2nd ed. Academic Press, London 1988.
 28. Ramade, F.: *Ecotoxicology*. 2nd ed. John Wiley, New York 1987.