

Úkolem ekotoxikologie je hodnotit dopady chemických látek uvolňovaných do životního prostředí na živé organizmy a navrhnout pravidla pro jejich použití

Definice ekotoxikologie



OBEČNÁ DEFINICE EKOTOXIKOLOGIE

Ekotoxikologie je věda, která se zabývá negativním působením toxikantů na biocenózy.

Biocenóza je živý systém (společenstvo) na libovolném stupni hierarchické biotické organizace, obývající určitý životní prostor.

Toxikant je chemická látka (směs látek), která má schopnost vyvolat negativní účinky na biocenózu (popř. jen na její část).

Pojem ekotoxikologie zavedl v roce 1969 francouzský vědec René Truhaut.

Ekotoxikologie – expozice a účinek



Při hodnocení vlivu toxikantu na ekosystém je třeba rozlišovat dva děje:

Expozici – stav, kdy se toxikant dostává do přímého kontaktu s ekosystémem. (s tím souvisí i cesta vstupu do organismu a osud toxikantu v prostředí)

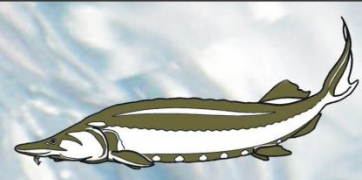
Účinek – změna, kterou svým působením toxikant v ekosystému vyvolá.

Pouze pokud vstoupí toxikant do organismu a tam dosáhne místa citlivého na jeho působení (místo účinku) může dojít k škodlivému působení.

Bez přímé expozice nemůže docházet k přímému účinku.

K nepřímým účinkům může docházet i bez přímé expozice.

Ekotoxikologie – pravděpodobnostní charakter



Působením toxikantu může i nemusí dojít k negativnímu vlivu na ekosystém.

Vztah mezi expozicí a účinkem má pravděpodobnostní charakter. Hodnotíme riziko negativního vlivu, tedy pravděpodobnost, že za dané situace dojde ke škodlivému (negativnímu) působení na sledovaný systém.

Míra neurčitosti odpovědi roste s organizační úrovní systému.

Z pravděpodobnostního charakteru rizika vychází i základní metodický přístup ekotoxikologie – stanovení vztahu mezi dávkou a účinkem (dose – response curve).

Základní výstupní parametry testů toxicity se udávají v pravděpodobnostním tvaru (LC_{50}).

Ekotoxikologie – hodnocení expozice



Hodnocení pohybu a přeměny toxikantu v prostředí

- nutná spolupráce ekotoxikologie s dalšími obory
- využívány především matematické modely
- rozptylové studie šíření toxikantů z různých zdrojů
- modely šíření látek ve vodním prostředí

např. <http://www.youtube.com/watch?v=j7UQXfN-J4E>

Hodnocení hladiny a rozšíření toxikantu v prostředí

- principem je odběr vzorků, chemická analýza a vyhodnocení
- výstupem je koncentrace toxikantu na daném místě a čase

např. monitoring kvality povrchových vod

- využití akumulčních bioindikátorů, pasivních vzorkovačů
- velký důraz na výběr vzorkovacích lokalit a techniku odběru vzorků



Osud toxikantu ve vodním ekosystému.

Vstup do systému různými cestami, základním kritériem je úmyslnost šíření látky.

Záměrný vstup (*aplikace*) nebo neúmyslný vstup (*únik*).

Pro popis pohybu toxikantu v prostředí se používají matematické modely, které sledují prostorovou distribuci a časový vývoj koncentrací látek.

Základní faktory ovlivňující pohyb toxikantu jsou:

- koncentrace toxikantu ve vodě
- proudění vody a její fyzikálně-chemické faktory
- kontakt se suchozemskými ekosystémy (zavlažování, povodně)

Ekotoxikologie – hodnocení expozice



Ve vodách je možné očekávat výskyt nárazových koncentrací toxikantů, které mohou být pro organizmy letální (havárie).

Hlavní příčiny otravy ryb jsou:

- zemědělské a komunální znečištění
- odpadní vody potravinářského průmyslu
- ropné produkty
- pesticidy
- odpadní vody ostatních průmyslových závodů

Ve vodách z ČOV se do recipientu mimo klasické kontaminanty dostávají i rezidua léčiv, antikoncepce, detergentů a desinfekčních prostředků, které mohou mít na vodní ekosystém negativní vliv. Znalosti o jejich ekotoxicitě jsou neúplné.



Vliv proudění vody

Rychlost proudění určuje čas kontaktu toxikantu na daném úseku toku.

Ovlivňuje samočistící pochody ve vodách, kdy je čistota vody závislá na vzdálenosti místa od zdroje odpadních vod.

Regulace a napřimování vodních toků se zrychluje odtok a zkracuje doba využitelná pro samočistící postupy.

Rychlost proudění ovlivňuje i míru sedimentace látek unášených vodou.

Zavlažování zemědělských půd

Zavlažováním vodou s povrchových toků může být potenciálním zdrojem vstupu toxikantů do potravin člověka.

Př. Otrava kadmíem itai-itai



Povodně

Obecně posunuje voda kontaminaci směrem od horního k dolnímu toku.

Povodně způsobují redistribuci toxikantů v prostředí jednak transportem směrem po proudu, jednak rozptýlením do okolních ekosystémů kontaminací zaplavených půd a uvolněním volatilních látek do ovzduší.

Př. Koncentrace PCB v ovzduší má klesající trend, povodně z let 1997-1998 a 2001-2002 tento trend přerušily.

Splachy toxikantů dešťovými srážkami z kontaminovaných lokalit na souši se zvyšuje znečištění povrchových vod.

Př. Vydra – vrchol potravního řetězce – výskyt závislý na obsahu perzistentních organických látek (především PCB) v rybím mase.



Akumulační indikátory

Jedna z běžných metod hodnocení expozice.

Využívány druhy organismů se schopností kumulovat zvýšená množství toxikantů.

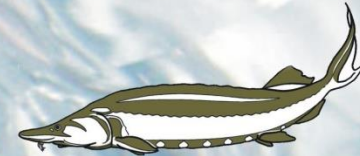
Výsledky analýz pak ukáží zátěž lokality daným toxikantem.

U sledovaného organismu se často sledují i účinky toxikantu na biochemické a fyziologické úrovni (parametry růstu, krevní obraz, biochemické parametry krevní plazmy, ukazatele oxidativního stresu aj.).

Při vyhodnocování výsledku je nutno mít na zřeteli variabilitu živého systému, imunitní systém atd.

Zjištěné koncentrace v akumulčních bioindikátorech jsou modelem biodostupné složky toxikantu, nikoliv jeho celkového obsahu v prostředí.

Akumulační bioindikátory ve vodní ekotoxikologii



Jelec tloušť (*Squalius cephalus*)



Cejn velký (*Abramis brama*)



Parma obecná (*Barbus barbus*)



Rákos obecný
(*Phragmites australis*)



Orobinec širokolistý
(*Typha latifolia*)



Rdest hřebenitý
(*Potamogeton pectinatus*)



Pramenička obecná
(*Fontinalis antipyretica*)



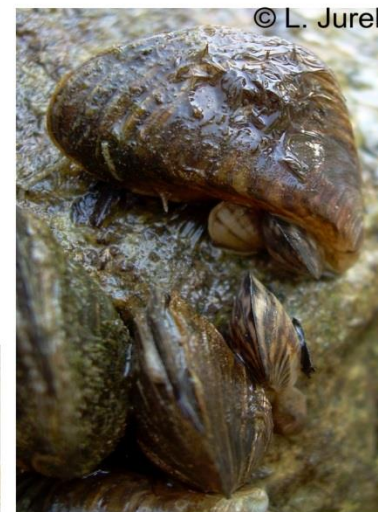
Bahnivka rmutná
(*Bithynia tentaculata*)



Beruška vodní
(*Asellus aquaticus*)



Slávička mnohotvárná
(*Dreissena polymorpha*)



Hltanovka bahenní
(*Erpobdella octoculata*)



© L. Jurek



Okružanka rohovitá
(*Shaerium corneum*)

Chrostíci
(*Hydropsyche* sp.)





Pasivní vzorkovače

Jedna z moderních metod hodnocení expozice.

Standardizované zařízení se sorpčním materiálem k zachycení toxikantů.

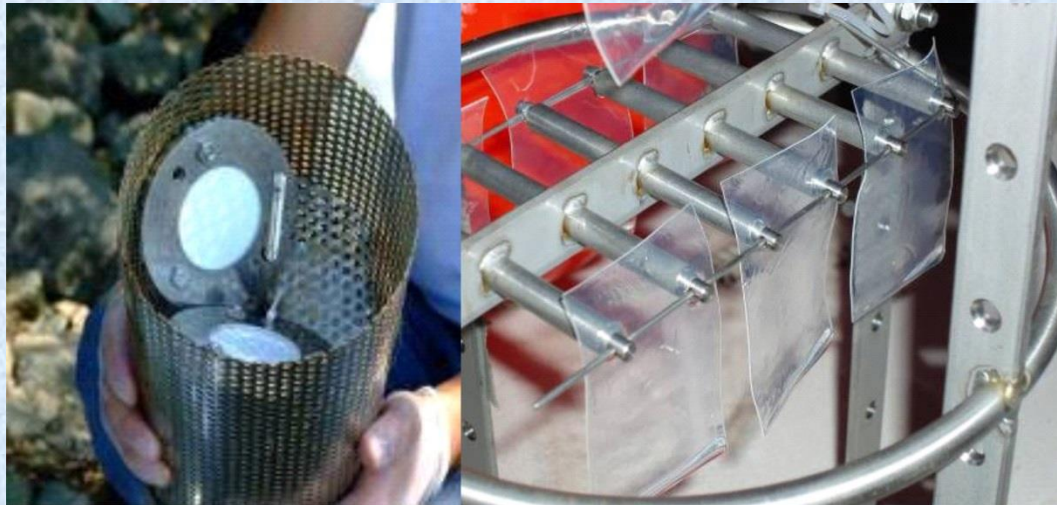
SPMD (Semi Permeable Membrane Device)

PDMS (PolyDiMethylSiloxan) ke sledování koncentrace nepolárních (lipofilních) organických látek

POCIS (Polar Organic Compounds Integrative Sampler) ke sledování polárních organických sloučenin ve vodě

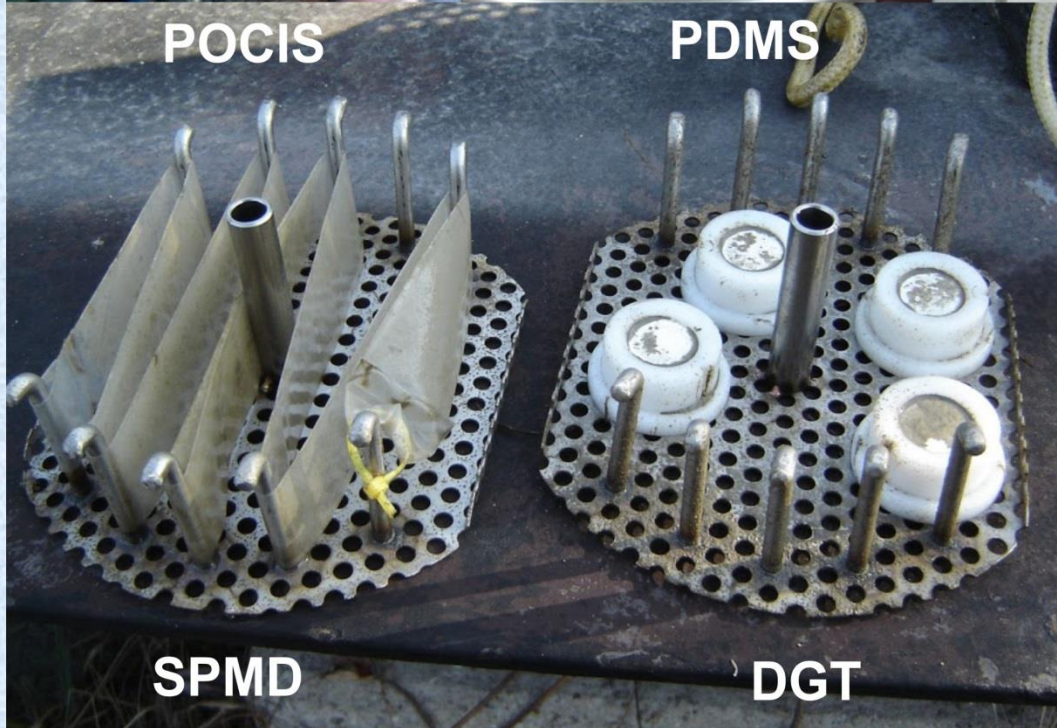
DGT (Diffusion Gradient in Thin film) určené především ke sledování iontových sloučenin a kovů

Ekotoxikologie – hodnocení expozice



POCIS

PDMS



SPMD

DGT

Ekotoxikologický účinek



Hodnotíme změny ve stavu organismu - *projevy účinku*.

Diagnostický znak (hodnocený parametr, endpoint) – jakýkoli biotický parametr na libovolné organizační úrovni, který lze využít ke stanovení negativních účinků toxikantu (např. obsah chlorofylu a, tělesná teplota, rychlost růstu, mortalita populace, saprobní index)

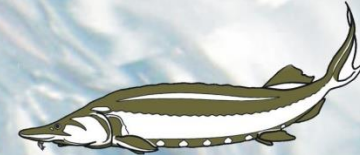
Symptom – změna parametru, která indikuje negativní vliv

specifický - indikuje účinky způsobené konkrétní příčinou
(v praxi ne moc často)

nespecifický – indikuje účinky vyvolané celou řadou příčin
(v praxi běžné, obezřetnost a zkušenost při interpretaci výsledků)

Syndrom – výskyt typických znaků charakterizující nemoc

Ekotoxikologický účinek



Ekotoxikologické testy hodnotí prosperitu organismů v závislosti na dávce (koncentraci) toxikantu.

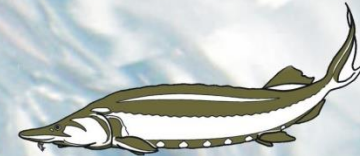
Křivky, které tuto závislost popisují se nazývají křivky **dávka – odpověď** (*dose – response curve*), D-R křivky.

Z hlediska konstrukce D-R křivek lze sledované parametry účinku rozdělit:

- *parametr je přímo úměrný vitalitě* – vyšší hodnota parametru ukazuje na vyšší vitalitu organismu tedy menší negativní vliv toxikantu (např. intenzita růstu).

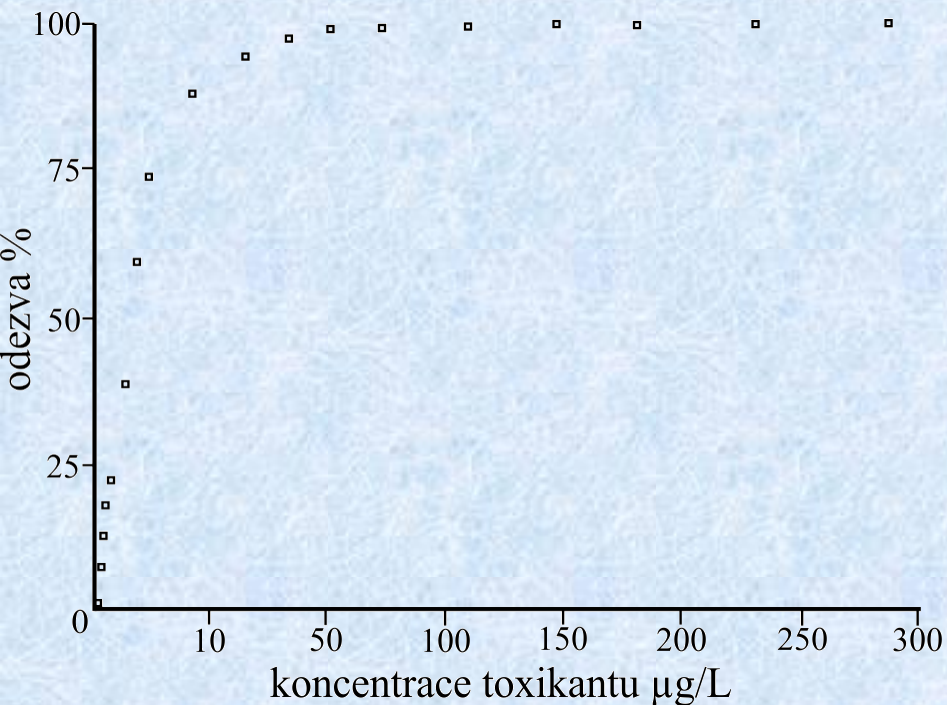
- *parametr je nepřímo úměrný vitalitě* – vyšší hodnota parametru ukazuje na snižování vitality tedy vyšší negativní vliv toxikantu (např. mortalita).

Ekotoxikologický účinek

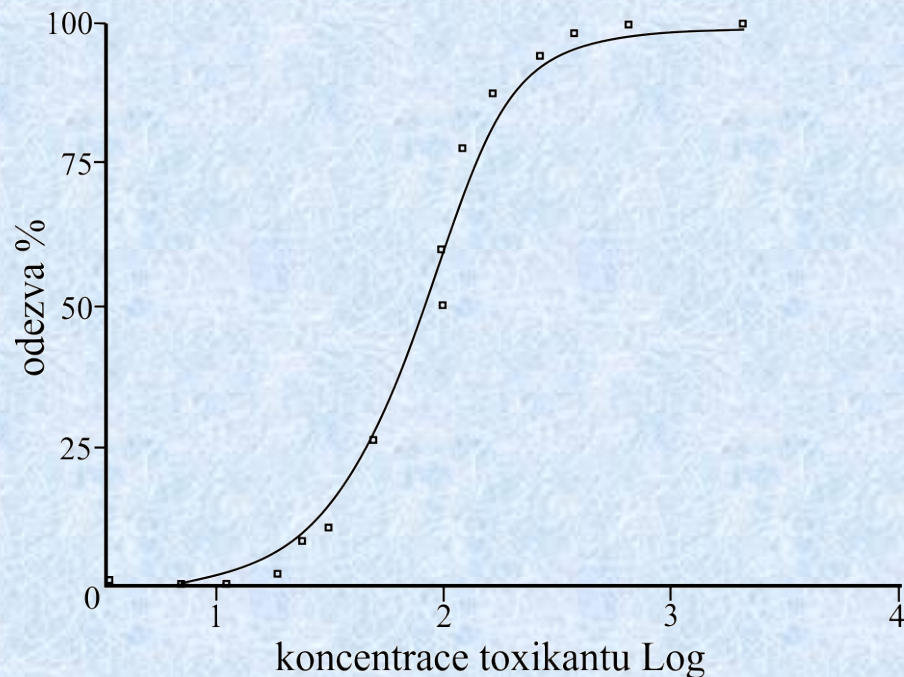


Obecně vzato může mít D-R křivka různý tvar v závislosti na vlastnosti toxikantu a exponovaném organismu.

D-R křivka v lineárním zobrazení



D-R křivka v sigmoidálním logaritmickém zobrazení



Ekotoxikologický účinek



Pro praxi je zásadní vyjádřit parametry D-R křivek číselně, aby mohly být použity k dalšímu vyhodnocení (porovnávání toxicity různých látek, citlivosti organismů, stanovení limitů apod.).

Sledované parametry popisující účinky můžeme rozdělit:

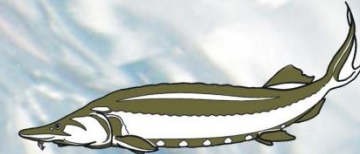
- **kvalitativní**, kdy D-R křivka popisuje četnost hodnoceného znaku při dané dávce (koncentraci) (např. mortalita).

Číselné indikátory potom ukazují četnost výskytu daného znaku v populaci.

- **kvantitativní**, kdy kdy D-R křivka popisuje hodnotu sledovaného parametru při dané dávce (koncentraci) vztaženou k referenční hodnotě (kontrola) (např. rychlost růstu).

Číselné indikátory potom ukazují odhad změny (pokles nebo nárůst v %) sledovaného parametru v populaci při dané dávce (koncentraci).

Ekotoxikologický účinek



Číselné parametry (indexy) popisující parametry D-R křivek:

Zapisují se symboly EC_x , LD_{50} , IC_5 aj. podle schématu:

První písmeno označuje typ účinku

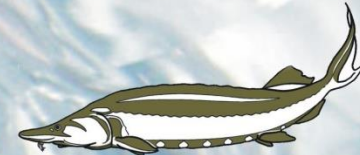
- **E efektivní**, označuje obecně účinek, užívá se pro různé druhy účinku (pro účinky vyjádřené kvantitativními znaky)
- **L letální**, účinkem je úmrtnost jedinců
- **I inhibiční**, účinkem je inhibice vybraného jevu

Druhé písmeno značí, zda je hodnota vztažena ke koncentraci toxikantu (C) nebo k dávce (D)

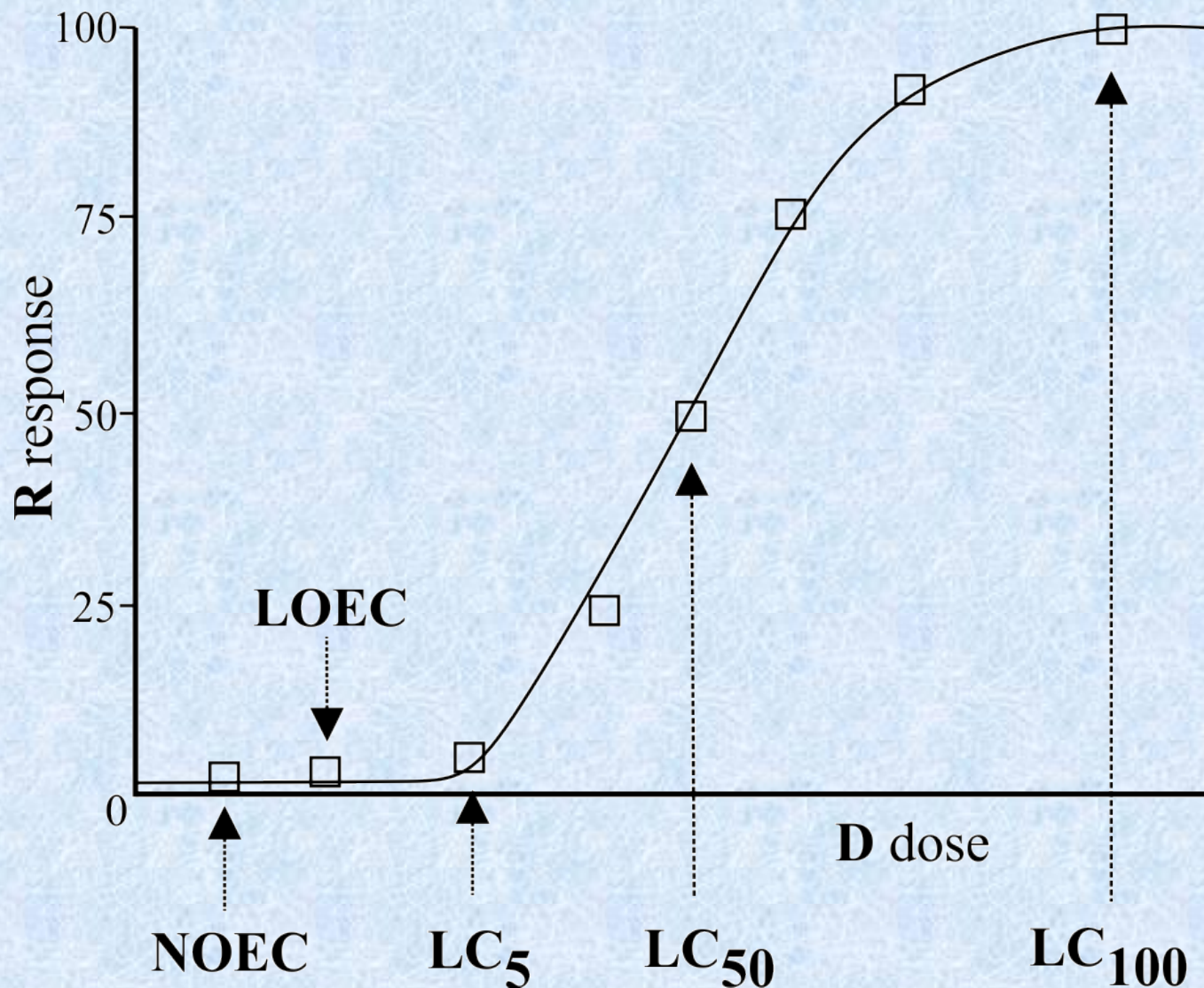
Číslo za oběma písmeny (většinou v dolním indexu) označuje:

- u kvalitativních dat četnost výskytu (%)
- u kvantitativních dat velikost změny (%) vůči kontrole

Ekotoxikologický účinek



Základní číselné indexy D-R křivek



Ekotoxikologický účinek



Symboly a veličiny používané v vztahu organizmus – toxikant:

NOEC (NOEL, NOAEC, NOAEL) [no observed (*adverse*) effect concentration (*level*)] nejvyšší koncentrace testovaného vzorku, při které nejsou pozorovány účinky na testovaný organizmus

LOEC (LOEL, LOAEC, LOAEL) [lowest observed (*adverse*) effect concentration (*level*)] nejnižší koncentrace testovaného vzorku, při které jsou pozorovány účinky na testovaný organizmus

LC_x LD_x letální koncentrace (dávka) pro X % jedinců – koncentrace (přijatá dávka) toxikantu, při které uhynie X % testovaných jedinců

EC_x ED_x efektivní koncentrace (dávka) pro X % účinek – koncentrace (dávka) při které se projeví X % účinek v porovnání s kontrolou

Ekotoxikologický účinek

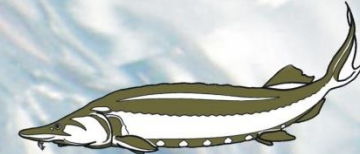


Toxické působení látek ve směsi

			X	Y	X+Y
shodné působení	kumulativní	účinky látek ve směsi se zvyšují (není přesně definováno o kolik)	20	30	40
	synergické	zvýšení účinků (přesahuje výrazně součet účinků)	20	30	90
	aditivní	účinek je roven součtu účinků látek ve směsi	20	30	50
	potencování	přítomnost netoxické látky zvyšuje toxicitu jiné látky ve směsi	0	30	60
neutrální působení	indiferentní	látky na sebe nemají vliv (toxicita je rovna toxicitě nejtoxičtější látky ve směsi)	20	30	30
opačné působení	Inhibiční (antagonismus)	toxicita látek ve směsi se snižuje	20	30	10

V obecné podobě platí pro všechny faktory, nejen toxikanty.

Ekotoxikologický účinek



Časová specifikace účinku

Doba za kterou se po expozici projeví účinek je různá (od vteřin až po desítky let).

Závisí na konkrétním organismu a druhu chemické látky.

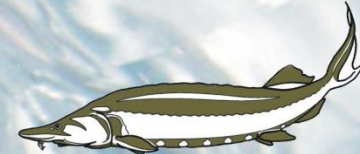
Nejběžnější scénáře:

Nízká dávka a krátká doba expozice – lze očekávat stav bez účinku, nebo jen mírný pokles vitality s rychlou regenerací.

Vysoká dávka a krátká doba expozice – dva základní stavy:

- snížení vitality a po skončení expozice postupná regenerace
- **akutní otrava** (dávka toxikantu překračuje limitní hodnotu a způsobuje úhyn organismu).

Ekotoxikologický účinek



Nízká dávka a dlouhá doba expozice – dva základní stavy:

- adaptace organismu (závisí na schopnosti organismu toxikant vyloučit nebo imobilizovat)

- **chronická otrava** (účinnost detoxikace toxikantu je nedostatečná a dlouhodobým působením dojde k překročení limitní hodnoty a úhynu organismu.

Vysoká dávka a dlouhá doba expozice – předpokládaným výsledkem je vážné poškození organismu končící úhynem.

Kategorizace toxicity podle doby projevu (Anděl a kol. 2011)

TOXICITA	CHARAKTERISTIKA	TRVÁNÍ TESTU
akutní	účinek okamžitý, hodiny až dny	24 – 96 hod.
subakutní	účinek ve střednědobém horizontu	28 dní
subchronická	účinek dlouhodobý, ale kratší než délka života	3 měsíce
chronická	měřítkem je délka života organismu	2 roky

Metodiky hodnocení účinku



Uvedené metody studují účinky, které toxikant v ekosystému vyvolává.

Nastává zde zásadní problém, kdy dvě skupiny požadavků, které na metodiky klademe jsou protichůdné a v podstatě neslučitelné.

Standardizace a snadná proveditelnost

možnost otestování mnoha toxikantů, jednoduché standardní testy, reprodukovatelnost výsledků, nízké ekonomické náklady (nejčastěji laboratorní testy)

Ekologická relevantnost

v přírodních podmínkách vstupují do hodnocení desítky různých biotických a abiotických faktorů a časové hledisko, nejvyšší relevantnost dlouhodobé testování v reálných ekosystémech, což je časově, prostorově a ekonomicky velmi náročné.

Metodiky hodnocení účinku



Každá metodika zasazená do tohoto kontextu je vždy určitým kompromisem.

Ekotoxikologie se tento rozpor snaží řešit sérií na sebe navazujících postupů, kdy na jedné straně stojí ekotoxikologické testy jako reprezentant standardizace a na druhé straně terénní studie jako reprezentant skutečného ekosystémového přístupu.

Roste ekologická relevantnost



ekotoxikologické testy

sady (baterie) testů

mikrokosmy

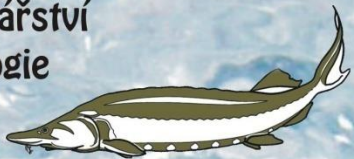
transplantační pokusy

mesokosmy

terénní studie



Roste možnost standardizace a proveditelnosti



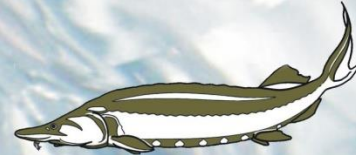
Ekotoxikologické testy jsou experimenty s různými druhy organismů (testovacích systémů), kdy sledujeme působení testované látky (toxikantu) v definovaných podmínkách prostředí.

Výsledkem je zjištění míry vlivu testované látky na testovací organismus (křivky dávka – odpověď, D-R curve) vyjádřené v hodnotách (LC, EC, NOEC aj.).

Testy toxicity by měly odpovědět na otázku, zda koncentrace testované látky bude negativním způsobem ovlivňovat funkci ekosystémů.

Testy toxicity tak mají velký význam při zavádění nových chemických látek do praxe a také při hledání a usvědčování původců havárií v povrchových a podzemních vodách.

Testy toxicity na organizmech vodního prostředí

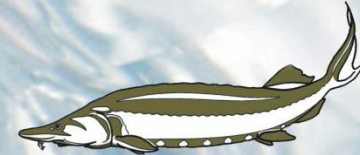


Hlavní pozornost je třeba věnovat látkám těžko rozložitelným a toxickým a rovněž látkám a přípravkům doporučovaným v rybářství a vodním hospodářství k aplikaci do vodního prostředí

Testy se dají členit podle různých kritérií:

- podle doby expozice (akutní, subakutní, subchronické, chronické)
- podle trofické úrovně (s producenty, konzumenty, destruenty)
- podle testovací matrice (voda, půda, sediment)
- podle generace testů (klasické, mikrotesty, biosenzory, biomarkery)
- podle počtu organismů (jednodruhové, vícedruhové, přírodní společenstvo)
- podle složitosti vzorku (čistě látky, směs látek, přírodní vzorky)
- podle úrovně testovaného systému (buňky a tkáně, organizmy, společenstva)

Testy toxicity na organizmech vodního prostředí



Postup při klasických testech toxicity:

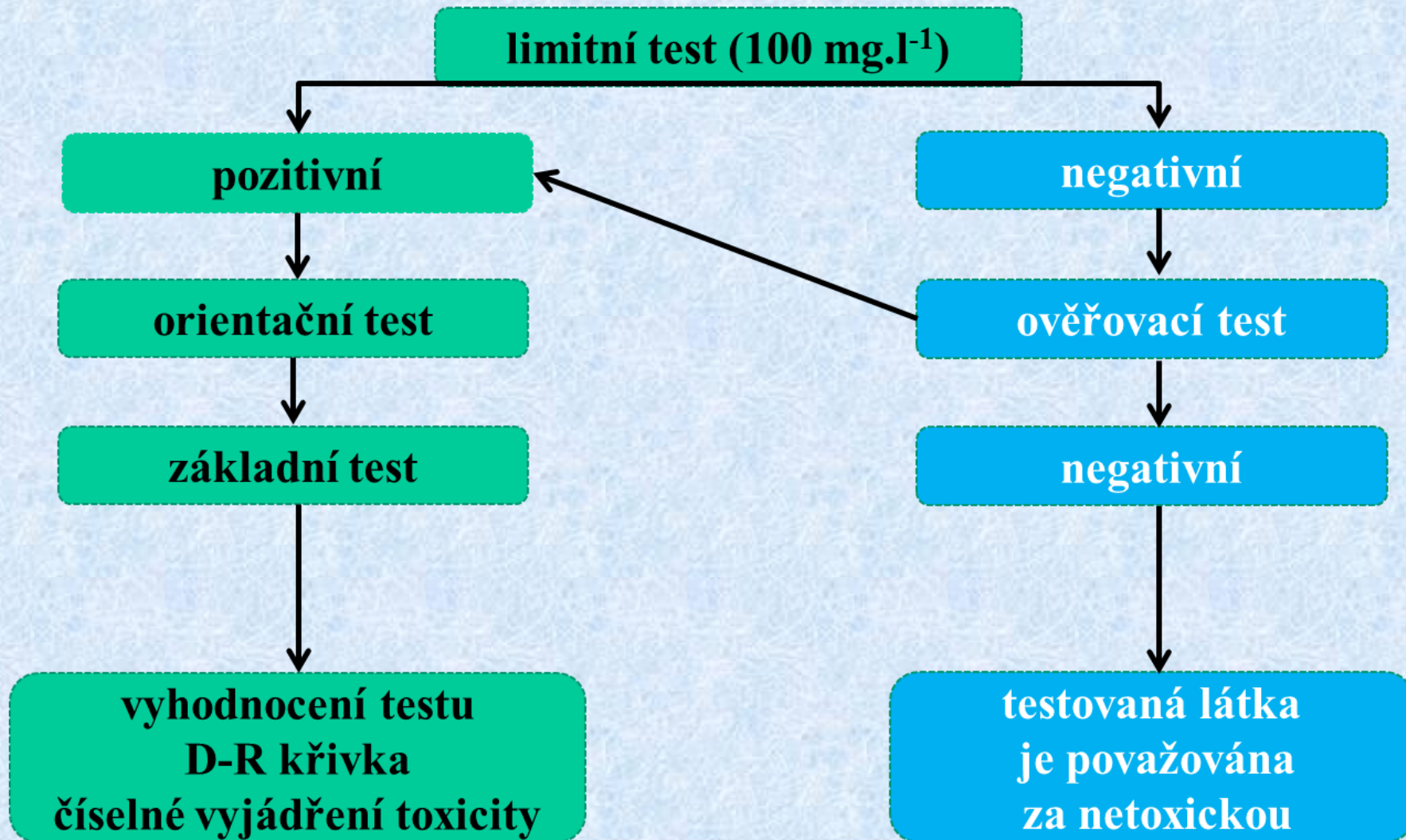
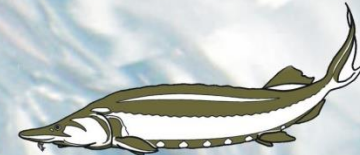
Nejdříve se provádí tzv. **limitní test**, při kterém se zjišťuje reakce testovacích organismů na koncentraci **100 mg.l⁻¹** testovaného vzorku.

Jestliže v daném testu neuhyne žádný z testovaných organismů další testy se nevyžadují, v opačném případě nastupuje **předběžný test**.

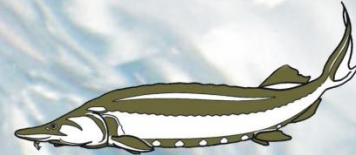
Předběžný test se provádí s malým počtem organismů (3 ks ryb, 10 ks dafnií) v každé koncentraci a nasazuje se na široké rozmezí testované látky (0,01-100 mg.l⁻¹).

Na základě výsledků předběžného testu se volí užší rozsah koncentrací pro tzv. **základní test**, z jehož výsledků se potom vypočítává hodnota LC,EC,IC.

Testy toxicity na organizmech vodního prostředí



Testy toxicity na organizmech vodního prostředí



Počet organismů a délka testu vychází z platné legislativy a je v rámci EU sjednocována.

Součástí každého testu je kontrola, která se provádí za stejných podmínek a se stejnými organismy jako pokus.

Jako ředící voda se používá voda známých fyzikálně-chemických vlastností.

Správnost postupu a citlivost použitých organismů je nutné kontrolovat za využití standardu (většinou dichroman draselný).

Vnější kontrola – ASLAB, akreditace

Při testech nutno dodržovat platnou legislativu (zákon č. 246/1992 Sb. na ochranu zvířat proti týrání, vyhlášku č. 419/2012 Sb. o ochraně pokusných zvířat).

Testy toxicity na organizmech vodního prostředí



Toxicita **dichromanu draselného** pro standardní testovací organizmy. Průměr \pm SD ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$), v závorkách rozpětí uváděných hodnot a doba trvání testu. Údaje převzaty z českých a slovenských norem

Testovací organizmus	ČSN	STN
<i>Danio rerio</i> (LC_{50})		115 (100–200) (48 hod.)
<i>Poecilia reticulata</i> (LC_{50})		114 (50–200) (48 hod.)
<i>Daphnia magna</i> (EC_{50})	1,12 (0,6–2,1) (24 hod.)	0,70 (0,4–1,5) (48 hod.)
<i>Desmodesmus communis</i> (IC_{50})		1,20 (0,5–2,0) (72 hod.)
<i>Desmodesmus subspicatus</i> (IC_{50})	$0,84 \pm 0,12$ (72 hod.)	
<i>Raphidocelis subcapitata</i> (IC_{50})	$1,19 \pm 0,27$ (72 hod.)	

Testy toxicity na organizmech vodního prostředí



Testované koncentrace by měly zahrnovat koncentraci, jež nevykazuje toxické účinky na organismus i koncentraci letální.

Minimálně se testuje alespoň 5 různých koncentrací (zpravidla 7).

Řada testovaných koncentrací by měla být geometrická s ředícím koeficientem od 10 do 2 (např. 0,1; 1,0; 10; 100; 1000 $\mu\text{g.l}^{-1}$).

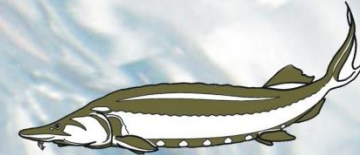
Do základního testu se pro každou koncentraci nasazují 2–3 opakování s počtem pokusných organismů odpovídající metodice standardizovaného testu (10 ks ryb, 20 ks dafnií apod.).

V průběhu testu se sleduje základní parametry prostředí v každém testovaném vzorku.

V případě ekotoxikologických testů ve vodním prostředí se nejčastěji jedná o hodnotu teploty vody, obsah rozpuštěného kyslíku a pH vody

V případě dodržení a splnění všech předepsaných podmínek metodiky jsou získané výsledky **validní** (je potvrzena jejich platnost).

Testy toxicity na organizmech vodního prostředí



Vyhodnocení testu

Na základě zjištěných dat z testů toxicity vypočítáme efektivní, letální nebo inhibiční koncentraci (EC_{50} , LC_{50} , IC_{50}) testované látky.

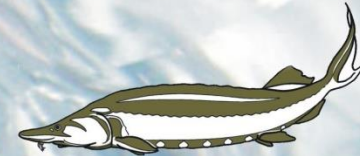
K výpočtu lze využít celou řadu metod, standardně bývá doporučena metoda výpočtu uvedená v metodice toxikologického testu.

K vyhodnocení standardních ekotoxikologických testů se z historických důvodů často používá metoda lineární regrese navazující na probitovou analýzu.

V souvislosti s rozvojem počítačů jsou však nově a častěji využívány pro modelování vztahu dávka-odpověď nelineární (sigmoidní) modely, které jsou součástí běžných statistických software.

V probitové metodě je k provedení výpočtu nutné získat minimálně dvě hodnoty z realizovaného testu, u kterých byl zaznamenán účinek toxikantu jiný než 0 nebo 100%.

Testy toxicity na organizmech vodního prostředí

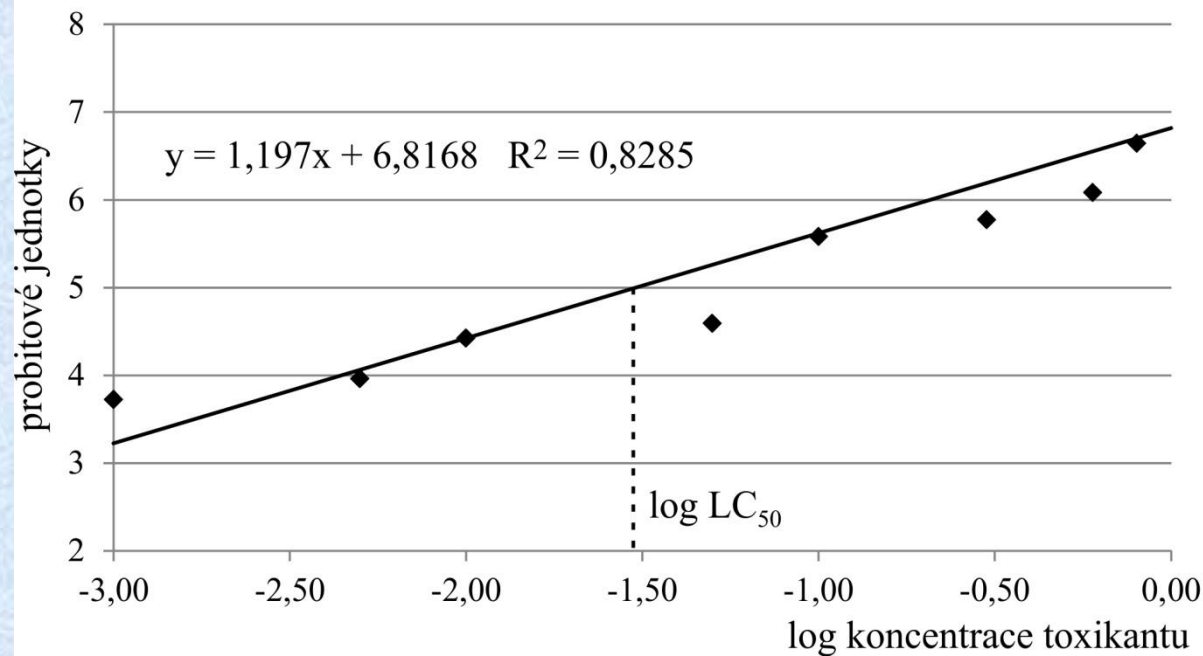


K získání dostatečně přesné hodnoty efektivní koncentrace je potřeba alespoň 5 hodnot.

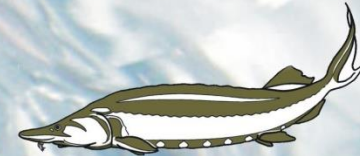
Koncentrace toxikantu se vyjádří v logaritmických hodnotách a mortalita testovaného organismu se vyjádří v procentech, které se převedou na probitové jednotky.

Lineární závislost vynesených bodů se proloží přímkou a z průsečíku přímky a probitové hodnoty 5 (tj. 50%) se spustí kolmice na osu x

a odečte příslušná hodnota log koncentrace. Odlogaritmováním hodnoty se získá hledaná efektivní koncentrace.



Testy toxicity na organizmech vodního prostředí



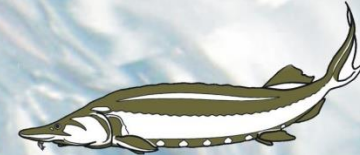
(%)	Probit	(%)	Probit	(%)	Probit	(%)	Probit
1	2,67	26	4,36	51	5,03	76	5,71
2	2,95	27	4,39	52	5,05	77	5,74
3	3,12	28	4,42	53	5,08	78	5,77
4	3,25	29	4,45	54	5,10	79	5,81
5	3,36	30	4,48	55	5,13	80	5,84
6	3,45	31	4,50	56	5,15	81	5,88
7	3,52	32	4,53	57	5,18	82	5,92
8	3,59	33	4,56	58	5,20	83	5,95
9	3,66	34	4,59	59	5,23	84	5,99
10	3,72	35	4,61	60	5,25	85	6,04
11	3,77	36	4,64	61	5,28	86	6,08
12	3,82	37	4,67	62	5,31	87	6,13
13	3,87	38	4,69	63	5,33	88	6,18
14	3,92	39	4,72	64	5,36	89	6,23
15	3,96	40	4,75	65	5,39	90	6,28
16	4,01	41	4,77	66	5,41	91	6,34
17	4,05	42	4,80	67	5,44	92	6,41
18	4,08	43	4,82	68	5,47	93	6,48
19	4,12	44	4,85	69	5,50	94	6,55
20	4,16	45	4,87	70	5,52	95	6,64
21	4,19	46	4,90	71	5,55	96	6,75
22	4,23	47	4,92	72	5,58	97	6,88
23	4,26	48	4,95	73	5,61	98	7,05
24	4,29	49	4,97	74	5,64	99	7,33
25	4,33	50	5,00	75	5,67	100	8,09

Probitové jednotky v závislosti na mortalitě (inhibici) v procentech

Zlogaritmování testovaných koncentrací toxikantu a převod mortality na probitové jednotky

Koncentrace (mg.l ⁻¹)	Log koncentrace	Mortalita (%)	Probitová jednotka
0,0001	-4,00	0	-
0,001	-3,00	10	3,72
0,005	-2,30	15	3,96
0,01	-2,00	28	4,42
0,05	-1,30	34	4,59
0,1	-1,00	72	5,58
0,3	-0,52	78	5,77
0,6	-0,22	86	6,08
0,8	-0,10	95	6,64
1	0,00	100	8,09

Testy toxicity na organizmech vodního prostředí



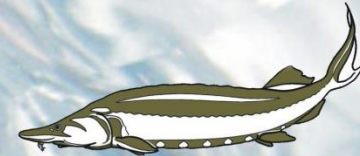
Z výsledku provedeného testu toxicity můžeme určit i parametry NOEC a LOEC.

Jako NOEC stanovíme nejvyšší koncentraci látky využitou v testu, u které nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl ve srovnání s kontrolní skupinou (v našem případě $0,0001 \text{ mg.l}^{-1}$).

LOEC je nejbližší vyšší koncentrace toxikantu v testu, než je NOEC, tedy nejnižší koncentrace, kde již byl pozorován statisticky významný účinek (v našem případě $0,001 \text{ mg.l}^{-1}$).

Hodnoty NOEC a LOEC se tedy nepočítají, ale přímo určují na základě výsledku testu toxicity a zjištěné statistické průkaznosti.

Testy toxicity na organizmech vodního prostředí



Hodnocení chemických látek a přípravků se provádí dle chemického zákona č. 350/2011 Sb. a vyhlášky č. 402/2011 Sb. o hodnocení nebezpečných látek a směsí, balení a značení.

Látky se klasifikují (směrnice DSD) jako nebezpečné pro životní prostředí, přiřadí se jim symbol „N“ a R-věty podle následujících kritérií:

– **R50: vysoce toxické pro vodní organizmy**

(akutní toxicita LC, EC, $IC_{50} \leq 1 \text{ mg.l}^{-1}$)

– **R51: toxické pro vodní organizmy**

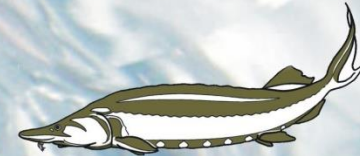
(akutní toxicita $1 \text{ mg.l}^{-1} < LC, EC, IC_{50} \leq 10 \text{ mg.l}^{-1}$)

– **R52: škodlivé pro vodní organizmy**

(akutní toxicita $10 \text{ mg.l}^{-1} < LC, EC, IC_{50} \leq 100 \text{ mg.l}^{-1}$)

– **R53: může vyvolat dlouhodobě nepříznivé účinky ve vodním prostředí**

Testy toxicity na organizmech vodního prostředí



Označení nebezpečných látek pro ryby H větami (směrnice CPL)

H400: vysoce toxické pro vodní organizmy

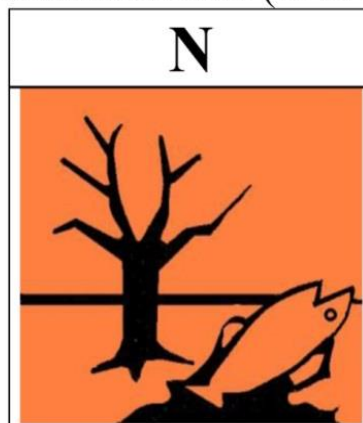
H410: vysoce toxický pro vodní organizmy s dlouhodobými účinky

H411: toxický pro vodní organizmy s dlouhodobými účinky

H412: škodlivý pro vodní organizmy s dlouhodobými účinky

H413: může vyvolat dlouhodobé škodlivé účinky pro vodní organizmy

Výstražné symboly nebezpečnosti podle směrnice DSD (67/548/EHS)



**Nebezpečný pro
životní prostředí**

Výstražné symboly nebezpečnosti podle směrnice CLP (1272/2008/ES)



**Nebezpečný pro
vodní prostředí**

Testy toxicity na organizmech vodního prostředí



Testy na **buněčných strukturách** jsou využívány především pro teoretické objasnění účinku toxické látky

Výhodou je vysoká citlivost, nízké finanční a časové nároky

Nevýhodou je nemožnost suplovat enzymaticko-imunitní systém živého organismu

Primární buněčné kultury se získávají z jednotlivých tkání ryb (nestandardní, nízká reprodukovatelnost), v současnosti se využívají stabilní buněčné linie (snadné rozpěstování, uchování v hibernovaném stavu, reprodukovatelné)

Tyto testy jsou používány pro hodnocení toxicity chemických látek, odpadních vod a tuhých průmyslových odpadů

Výsledky testů na buněčných strukturách jsou v řadě případů shodné s testy na živých organizmech

Toxicita



Nejznámější stabilní buněčné linie používané v testech toxicity:

- RTG-1 (fibroblasty gonád pstruha duhového)
- R-1 (fibroblatické buňky jater pstruha duhového)
- PLHC-1 (jaterní buňky *Poeciliopsis lucida*)
- EPC (buňky z kapřího papilomatózního epitelu)
- RTH (hepatocyty pstruha duhového)

Vyhodnocení testů buď přímo posouzením celkového počtu uhynulých buněk a rozsahu cytopatických efektů (časově náročné, subjektivní chyba)

Nebo nepřímo pomocí fyziologických reakcí buněk hodnocených na základě barevných reakcí (časová nenáročnost, možnost standardizace a miniaturizace)

Toxicita



Většina testů se provádí na **úrovni organismů** i přes určité potíže s reprodukovatelností a s rizikem při interpretaci získaných výsledků na přírodní podmínky

Tyto testy jsou používány pro hodnocení akutní a chronické toxicity chemických látek a přípravků, odpadních vod, tuhých průmyslových odpadů, sedimentů, diagnostice otrav ryb, sledování hodnot reziduí ve vodě

Výběr organismů je prováděn tak, aby byly postiženy všechny trofické úrovně ve vodním prostředí (bakterie, řasy, planktonní organismy a ryby)

Odpověď jednotlivých organismů na toxin není jednotná, nikdy by se neměly dělat závěry z testování pouze na jednom organismu

Toxicita



Zapojením většího počtu testovacích organismů roste informace o zkoumaném vzorku a zvyšuje se výpovědní hodnota metody

Rozeznáváme tři generace biotestů na vodních organizmech:

- 1. generace – tzv. klasické (standardní, konvenční) biotesty
- 2. generace – mikrobiotesty (alternativní testy toxicity)
- 3. generace – biosenzory nebo biosondy

Ekonomicky náročné, nutné zdravé a homogenní kultury

Mikrobiotesty jsou vhodná alternativa – miniaturizace, zkrácení doby inkubace (24 hodin až několik minut), možnost udržovat organismy dlouhodobě (klidová stadia, lyofilizované, imobilizované)

3. generace testů ve vývoji, předpoklad uplatnění zejména v on-line monitorovacích systémech a screeningových testech toxicity

Toxicita

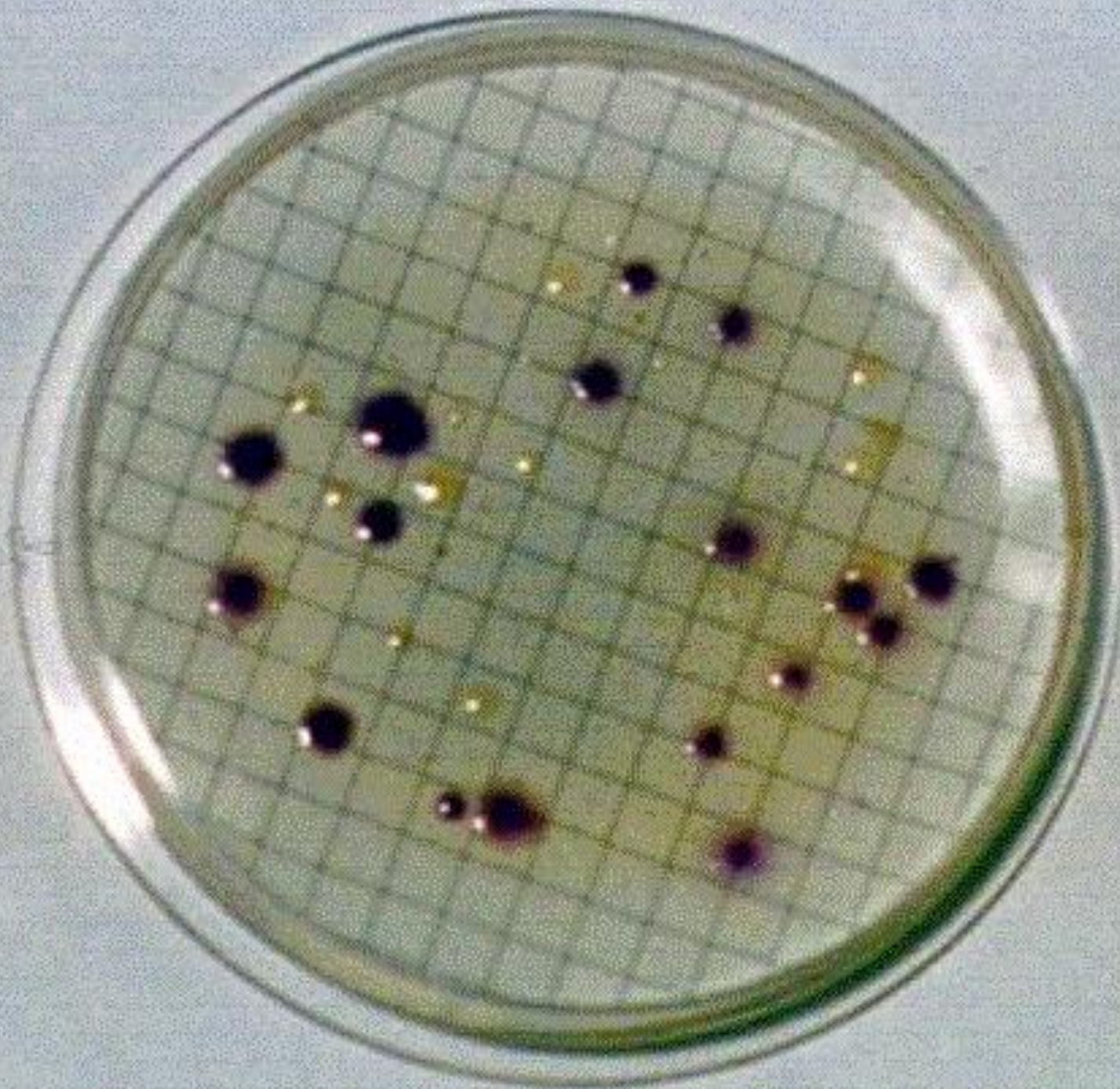


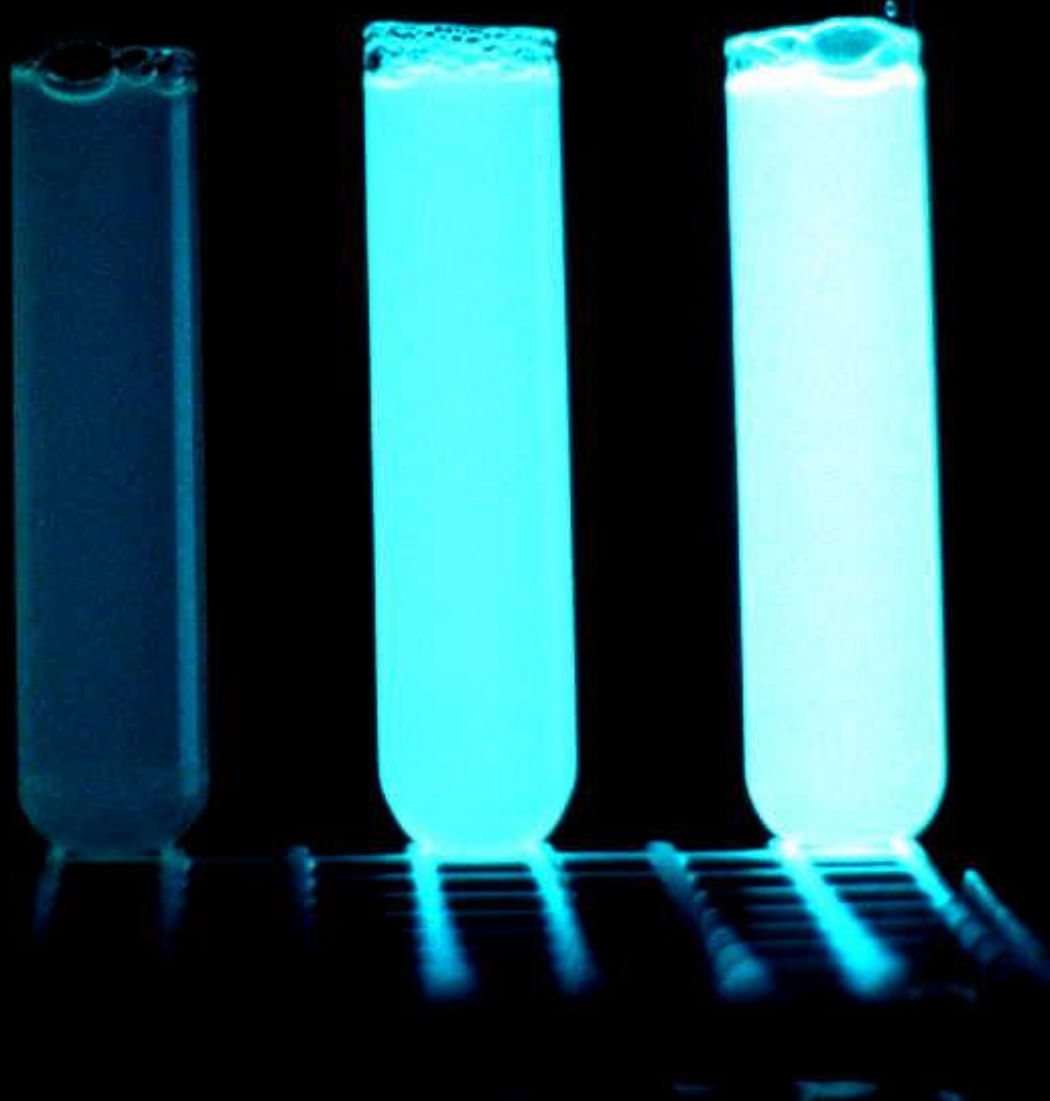
Testy toxicity na bakteriích – v ČR zatím nejsou v normách zahrnuty pouze v oblasti čistírenství je využíván test na inhibici spotřeby kyslíku a inhibici nitrifikace organismů aktivovaného kalu

Nejpoužívanější test v ekotoxikologii je BBTT (Microtox)-bakteriální bioluminizační test toxicity

Test využívá lyofilizovaných kultur světélkující mořské bakterie *Aliivibrio fischeri* (*Vibrio fischeri*, *Photobacterium phosphoreum*)

Další bakteriální biotesty: (Toxi-Chromotest, Toxi-Chromopad) využívají kmen *Escherichia coli*, který je citlivý k pesticidům, mykotoxinům a těžkým kovům.





Toxicita



Některé testy využívají jako testovací organismus *Bacillus* sp.

POLYTOXKIT – využívá směs bakterií z aktivačních nádrží a pomocí kyslíkové elektrody se měří úbytek O_2 za přítomnosti toxikantu.

Bakteriální testy výhodné pro identifikaci mutagenních a genotoxických látek

Nejrozšířenější test genotoxicity – **Amesův test**

Testovací organismus *Salmonella typhimurium* (histidin-auxotrofní buňky) tzn. neschopnost syntetizovat histidin

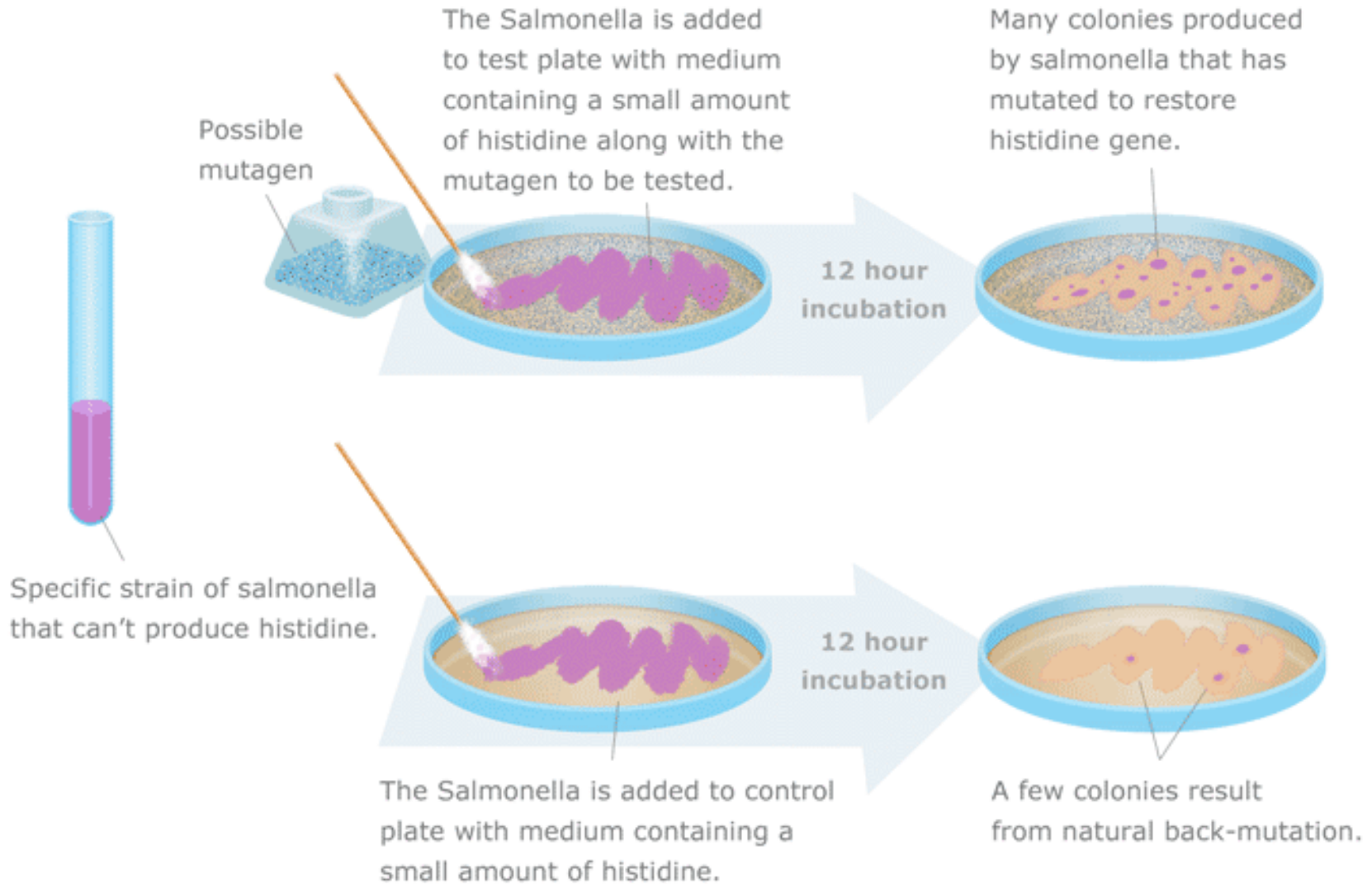
Na agaru bez histidinu, 12-72 hod.

Pokud proběhne mutace může bakterie růst.

Testy toxicity na organizmech vodního prostředí



Ames Test



Toxicita



Relevantní normy v ČR, na které se odkazuje konkrétní legislativa:

ČSN EN ISO 11348 Jakost vod – Stanovení inhibičních účinků vzorků vod na světelnou emisi *Vibrio fischeri* (Zkouška na luminiscenčních bakteriích)

ČSN EN ISO 9308 Jakost vod – Stanovení *Escherichia coli* a koliformních bakterií.

Část 1: Metoda membránových filtrů

Část 2: Metoda nejpravděpodobnějšího počtu

Část 3: Miniaturizovaná metoda stanovení v tekutém mediu (stanovení MPK)

ČSN 757835 Jakost vod – Stanovení termotolerantních koliformních bakterií a *Escherichia coli*

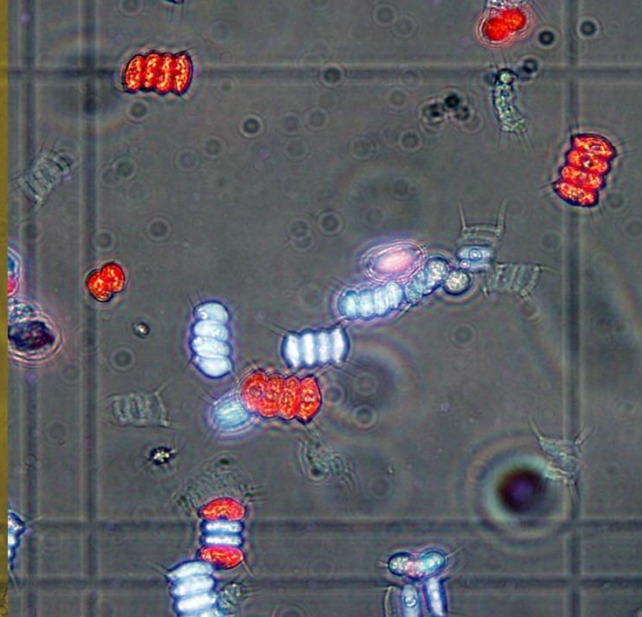
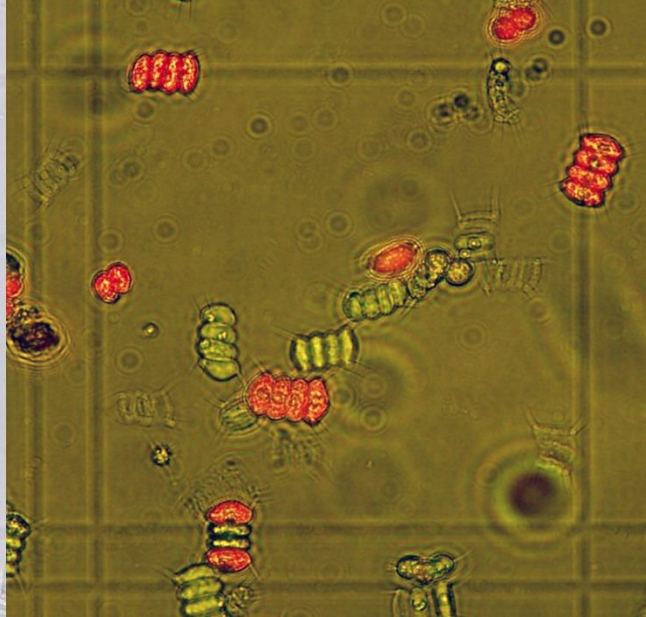
Toxicita



Testy toxicity na řasách – náročné na preciznost a vybavení laboratoře, v současnosti odklon od klasických lahvových testů a rozvoj testů ve zkumavkách a serologických destičkách.

Klasický test kultivace probíhá v E-baňkách 250 ml uzavřených zátkami propouštějící vzduch, objem suspenze je 70 ml, živné médium je ISO.

Růst kultury *Raphidocelis subcapitata*, *Scenedesmus subspicatus* nebo *S. quadricauda* je měřen každých 24 hodin jako OD (optical density) při 750 nm nebo počítacem částic. Doporučuje se kontinuální míchání probubláváním nebo na třepače.



Toxicita



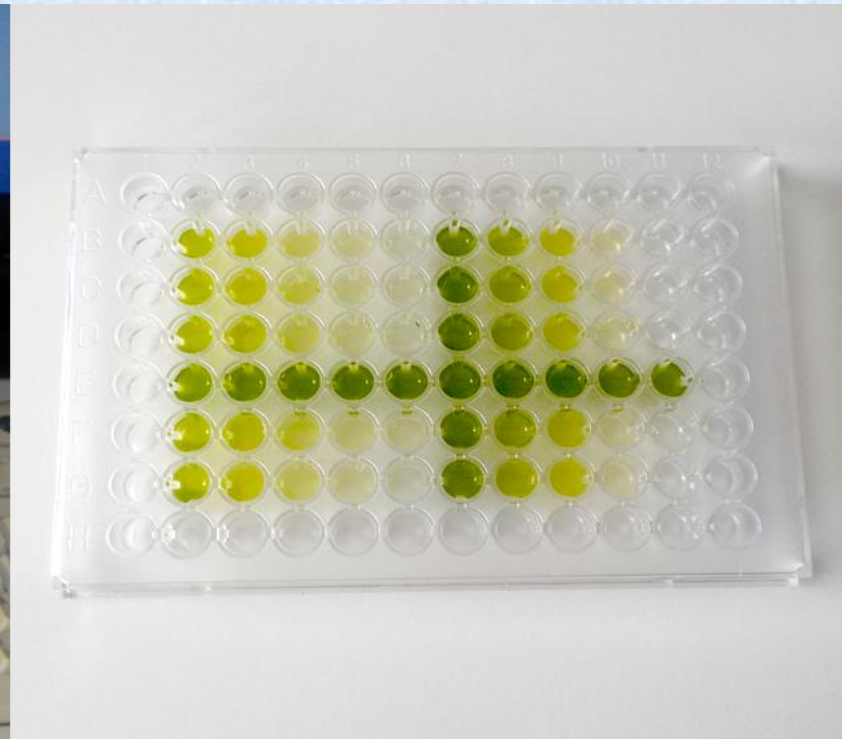
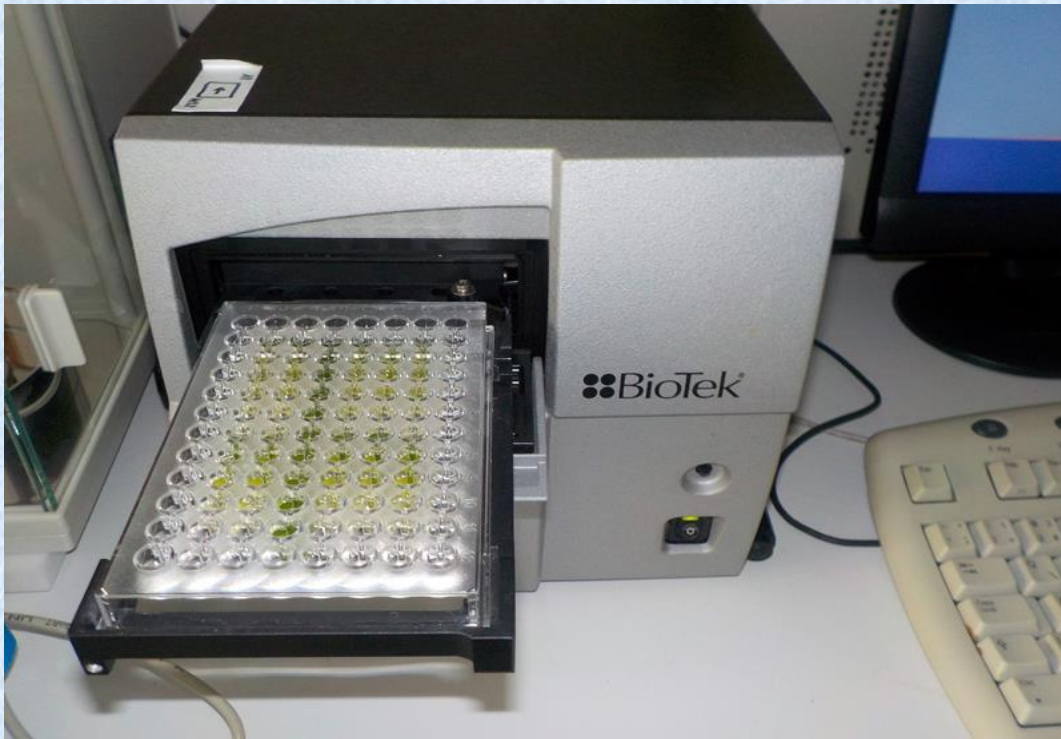
Testy ve zkumavkách nejčastěji využívají 2,5 ml plastikové zkumavky, míchání 1x denně a růst řas je determinován počítačem částic nebo nefelometricky.

V současnosti jsou vyvíjeny další řasové testy ve zkumavkách.

Testy v [sérologických destičkách](#) nejčastěji s jamkami 4 ml nebo 250 μ l, kdy růst je měřen počítačem částic nebo čtecím zařízením pro SD při 750 nm popř. s fluorescenčním nástavcem.

Algaltokit – nová forma testu, kdy řasy jsou imobilizovány do speciální matrice ve které mohou setrvávat několik měsíců bez ztráty životaschopnosti. Matrice je v 10 cm polystyrénových kyvetách, test odpovídá směrnici OECD č. 201.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
A	0.05	1.83	0.92	0.44	0.27	0.16	0.07	0.05	0.02	2.04	0.03	0.08	IgG (donor)
B	0.05	0.90	0.41	0.23	0.12	0.04	0.05	0.06	0.04	2.10	0.05	0.07	IgM (donor)
C	0.04	0.07	0.05	0.06	0.06	0.04	0.06	0.04	0.03	2.08	0.04	0.05	IgG (Mr Campbell)
D	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.04	0.07	0.05	0.06	2.03	0.04	0.06	IgM (Mr Campbell)
	Substrate blank	1/100	1/200	1/400	1/800	1/1600	1/3200	1/6400	Negative control	Positive control	Diluent control	Enzyme control	



Toxicita



V poslední době se stále častěji využívají i fyziologické a biochemické řasové testy toxicity, které sice ignorují vliv polutantů na růst řas, ale zato nejsou ovlivněny trofickými poměry testovaného vzorku.

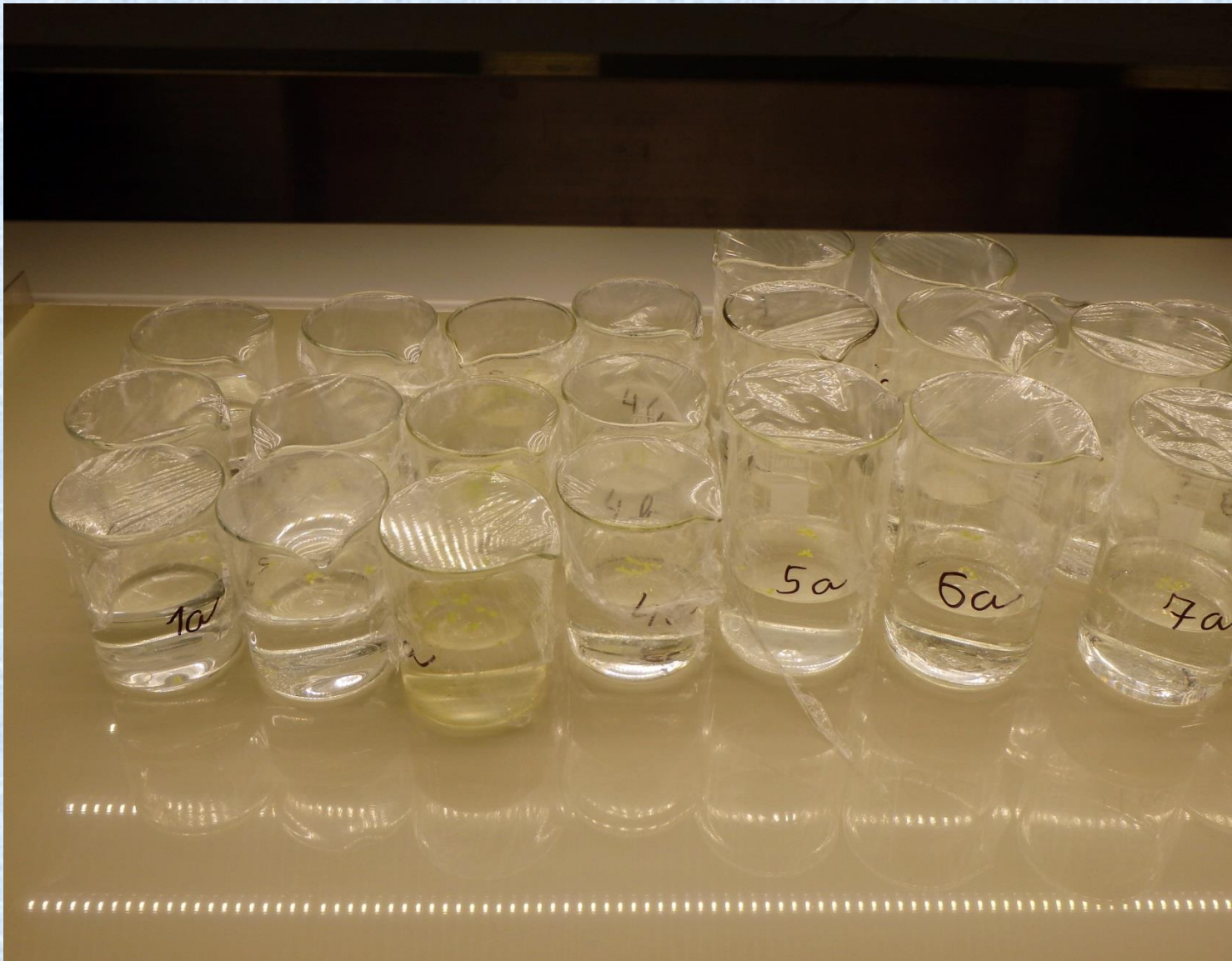
Nejvíce se prosazují testy založené na fixaci CO_2 a na iniciaci variabilní fluorescence chlorofylu.

EN ISO 8692 Kvalita vod - Zkouška inhibice růstu sladkovodních zelených řas. (72 hod., standardní osvětlení, živné medium)

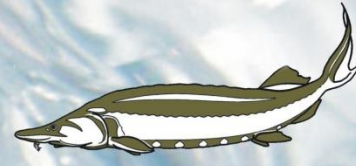
ČSN 75 7746 Jakost vod - Stanovení inhibičních účinků látek na účinnost fotosyntézy (komplexy enzymů fotosyntézy ze špenátu)

ČSN EN ISO 20079 Jakost vod - Stanovení toxických účinků složek vody a odpadní vody na okřehek (*Lemna minor*) - Zkouška inhibice růstu okřešku (7 dnů, standardní osvětlení, živné medium, sleduje se počet stélek)

Ekotoxikologický test s okřehkem malým (*Lemna minor*). Vpravo ukázka vlivu toxikantu – odumřelé a menší, apochlorické lísky ve srovnání s kontrolní variantou



Toxicita



Testy toxicity na vodních bezobratlých – velmi různorodý soubor organismů s rozdílnou citlivostí k různým látkám.

Nejvýznamnějšími testovacími organismy jsou vířníci, korýši, larvy pakomárů, nitěnky a perloočky, které patří mezi velice citlivé vodní organismy k většině cizorodých látek.

Pro testování toxicity na vířnících se používá sladkovodní druh *Brachionus calyciflorus* ve stáří max. 24 hodin.

Používají se organismy z laboratorních chovů nebo vylíhlé z komerčně dostupných cyst.

Test trvá 48 hodin za konstantních teplotních podmínek ve tmě a hodnotí se inhibice růstu.

Alternativně lze testovat i inhibici příjmu potravy.

Toxicita



Mezi časté testy toxicity na korýších patří akutní (24 hodin) test se žábřonožkou *Thamnocephalus platyurus*.

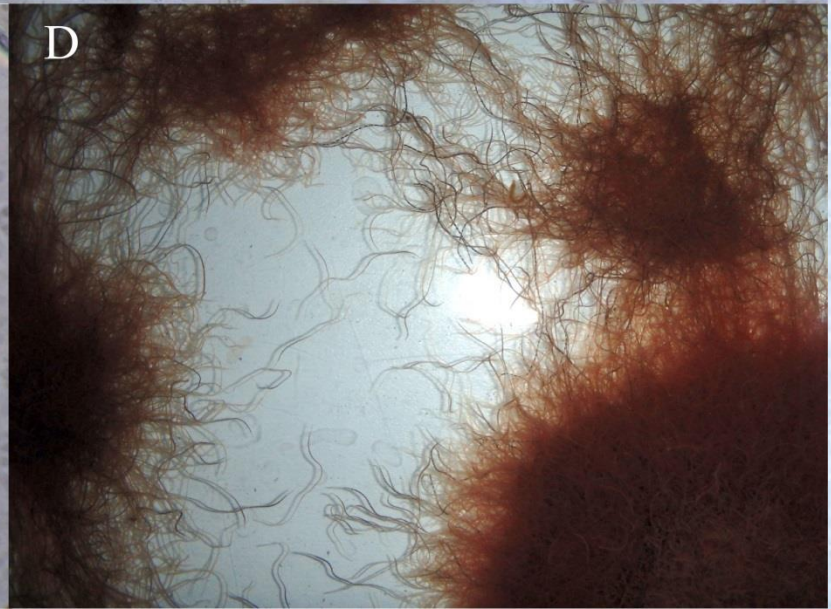
Inkubace korýšů probíhá v mikrodestičkách za standardní teploty ve tmě a hodnotí se mortalita.

Žábřonožka je velmi citlivá na působení toxických látek, což lze využít i k rychlé subletální jednoodhodinové zkoušce, kdy se hodnotí inhibice příjmu umělé potravy (mikrokuliček) larvami korýše.

K testování toxicity odpadních vod s vysokou koncentrací solí se využívá i halofilní žábřonožka slanisková *Artemia salina*.

Nevýhodou metody je relativně nižší citlivost artemie na přítomnost vybraných toxikantů.

Organizmy využívané v ekotoxikologických testech A – larva pakomára *Chironomus riparius*, B – korýš *Thamnocephalus platyurus*, C – vírník *Brachionus calyciflorus*, D – nitěnka obecná *Tubifex tubifex*



Toxicita



Nejrozšířenější akvatické testy toxicity na korýších využívají různé druhy perlooček (*Daphnia magna*, *D. pulex*, *Ceriodaphnia dubia*).

Využívá se 24 (48) hodinový imobilizační test na perloočkách, kdy se hodnotí procentuální zastoupení dafnií neschopných pohybu.

V chronických reprodukčních testech 7 nebo 21 denní, se stanovuje vliv látky na mortalitu a reprodukční schopnost dafnií.

V testech chronické toxicity je nutné pokusné organizmy krmit, nejčastěji suspenzí zelených řas a čerstvě vylíhlí jedinci jsou odlovováni z testovacích nádob a počítáni pro hodnocení natality.



Toxicita



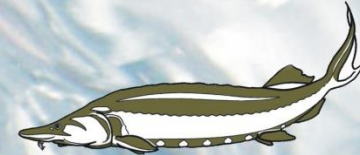
Existují také testy druhé generace využívající klidová stadia bezobratlých. Testy jsou k dispozici v kompletním komerčním balení.

Testovací organismus je vylíhnut z klidových stadií (cyst, efií) během 20–24 hodin, pak proběhne 24 hodinový akutní test při teplotě 25°C, kritériem hodnocení je mortalita. *Thamnotoxkit F* využívá jako testovací organismus nižšího korýše *Thamnocephalus platyurus*.

Rotoxkit F využívá jako testovací organismus vířníka *Brachionus calyciflorus*

Daphtoxkit F pracuje s klidovými stadii perloočky *Daphnia magna*. Existují i komerční testy s dalšími druhy organismů (*D. pulex*, *C. dubia*, *Tetrahymena thermophyla* aj.).

Toxicita



Komerční ekotoxikologické biotesty



Toxicita



Relevantní normy v ČR, na které se odkazuje konkrétní legislativa:

ČSN ISO 20666 Jakost vod – Stanovení chronické toxicity pro *Brachionus calyciflorus* během 48 h.

ČSN ISO 14380 Kvalita vod – Stanovení akutní toxicity pro *Thamnocephalus platyurus* (Crustacea, Anostraca).

ČSN ISO 20665 Jakost vod – Stanovení chronické toxicity pro *Ceriodaphnia dubia*.

ČSN ISO 10706 Jakost vod-Stanovení chronické toxicity látek pro *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea).

ČSN EN ISO 6341 Kvalita vod – Zkouška inhibice pohyblivosti *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) – Zkouška akutní toxicity.

Toxicita



Testy toxicity na obojživelnících – se provádí především na raných vývojových stádiích žab (embrya, larvy) pro jejich vysokou citlivost k řadě toxikantů.

Nejběžněji testovaným organizmem je drápatka vodní (*Xenopus laevis*) z laboratorních chovů, která se využívá především k testu teratogenity FETAX (Frog Embryo Teratogenity Assay Xenopus).

Vajíčka a vyvíjející se embrya drápatky jsou po 96 hodin vystaveny působení testovaných látek a je hodnocena mortalita a výskyt vývojových abnormalit.

Ze získaných hodnot se mimo letální koncentrace stanovuje i teratogenní index.

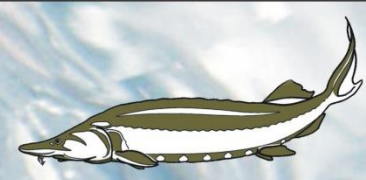
Toxicita



Drápatka vodní (*Xenopus laevis*)



Toxicita



Testy toxicity na rybách – prvořadá pozornost vodní toxikologie.

S ohledem na platnou legislativu je třeba zvažovat, zda a jak jsou nutné experimenty s dospělými jedinci a zda je není vhodné nahradit alternativními testy v rámci etických pravidel 3R (Replacement, Reduction and Refinement - Nahrazování, Snižování počtů a Zlepšování testů na zvířatech).

Testy lze rozdělit do těchto kategorií:

- embryonální testy
- embryolarvální testy
- testy akutní toxicity
- prolongované testy toxicity
- testy chronické toxicity

Toxicita



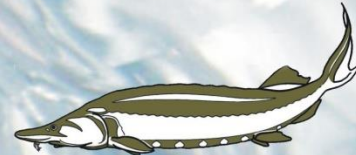
Embryonální testy – využívají embryonální stadia 11 druhů ryb, nejčastěji danio pruhované (*Danio rerio*), pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss*), kapr obecný (*Cyprinus carpio*) a medaka japonská (*Oryzias latipes*).

Test v závislosti na použitém druhu ryby začíná co nejdříve po oplození jiker a končí ukončením endogenní výživy.

Modifikací testu je 48 hodin test na jikrách dania pruhovaného v mikrodestičkách za standardizovaných podmínek.

Z počtu uhynulých embryí se stanovuje hodnota EC_{50} .

Toxicita



Emryolarvální testy – využívají se raná stadia 16 druhů ryb, většinou kapra obecného nebo dania pruhovaného.

Nejčastěji je testovací období zahájeno ihned po oplození jiker a končí dosažením juvenilního stadia.

Délka testu je závislá na použitém druhu ryby a teplotě vody u dania 10–14 dnů, u kapra 30–35 dnů.

Ryby se v průběhu testu krmí *ad libitum* žábbronožkou solnou.

Optimální počet jiker pro každou variantu je 100 ks, v průběhu testu se musí fyzikálně-chemické parametry vody pohybovat v optimálním rozmezí pro daný druh ryby.

Test probíhá semistaticky nebo v průtočném systému.

Sleduje se mortalita, životnost, abnormality ve vývoji, hmotnost a další parametry.

Po vyhodnocení testu se stanoví NOEC, LOEC a vypočítá se EC_{50} .

Toxicita



Testy akutní toxicity – jsou v legislativě často požadované testy a využívají se především tyto druhy ryb:

Danio pruhované, živorodka duhová (*Poecilia reticulata*), pstruh duhový, kapr obecný, medaka japonská, slunečnice velkoploutvá (*Lepomis macrochirus*) a jeleček velkohlavý (*Pimephales promelas*).

Ryby jsou vystaveny vlivu toxikantu po dobu 24 až 120 hodin ve statických, semistatických nebo průtočných podmínkách, které odpovídají optimu pro daný druh ryby.

Ryby se v průběhu testu nekrmí a hlavním sledovaným parametrem je mortalita, z které se vypočítá hodnota LC_{50} nejčastěji pomocí probitové analýzy.

Pro validaci testu nesmí v kontrolní skupině přesáhnout mortalita 10% a zároveň v pokusu s referenční látkou musí mortalita odpovídat stanoveným hodnotám LC_{50} .

Toxicita



Prolongované testy toxicity – využívají se jako doplněk k akutním testům, kdy můžeme navíc sledovat i účinky subletální.

Délka trvání testu je 14 dní v semistatických nebo průtočných podmínkách a ryby se v jeho průběhu krmí.

Hlavním sledovaným parametrem je opět mortalita, z které se určí hodnota NOEC a vypočítá hodnota čtrnáctidenní LC_{50} .

Chronické testy toxicity – vzhledem k náročnosti realizace testu se využívají především k testování látek, které se do vodního prostředí aplikují cíleně.

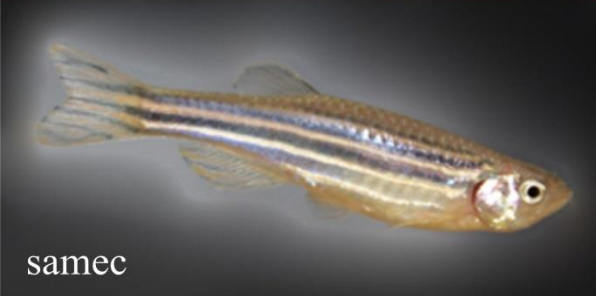
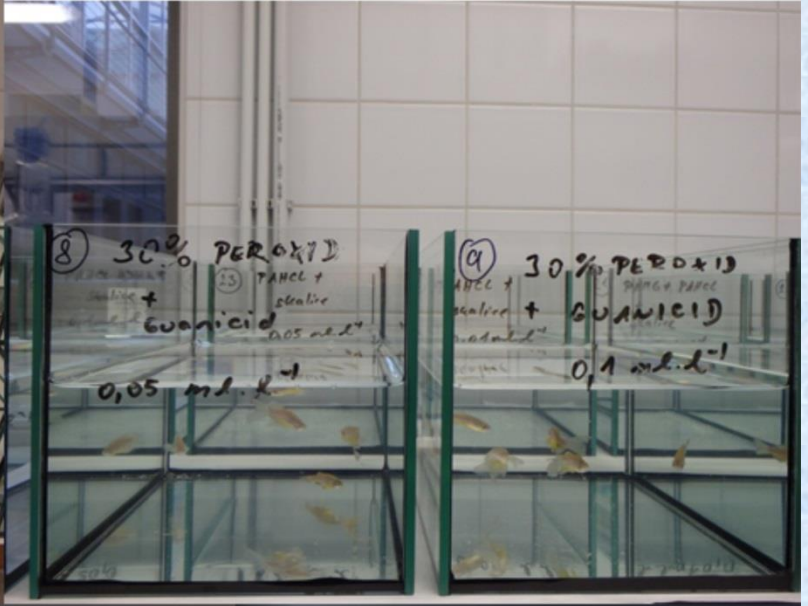
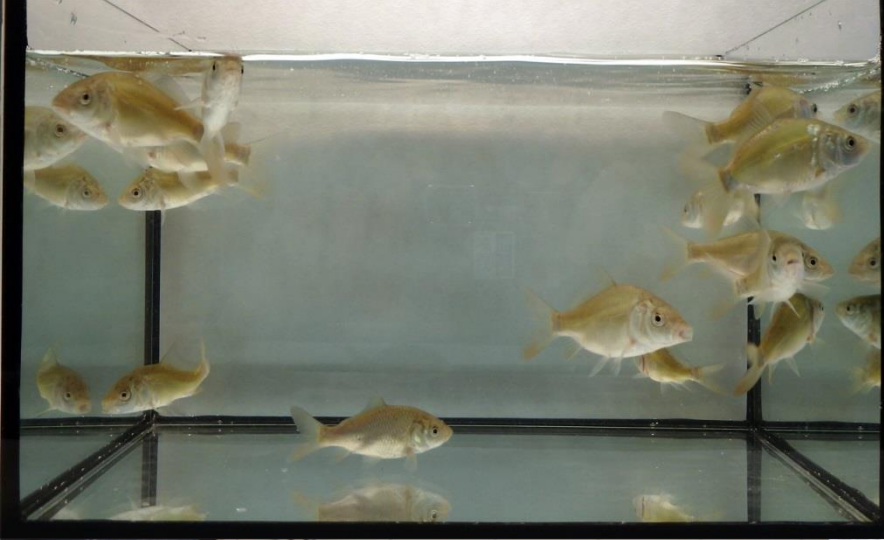
Testy v závislost na použité metodice trvají nejčastěji 28 až 90 dní.

Ryby se v průběhu testu krmí a hlavním sledovaným parametrem je růst ryb.

Často jsou sledovány i hematologické a biochemické parametry, popř. i kumulace toxikantu v tkáních ryb.

Expozice ryb probíhá v semistatických nebo průtočných podmínkách.

Výsledky testu se vyjadřují v hodnotách NOEC a LOEC.



samec



samice



1 denní potěr

Toxicita



Relevantní normy v ČR, na které se odkazuje konkrétní legislativa:

ČSN EN ISO 15088 Jakost vod – Stanovení akutní toxicity odpadních vod pro jikry dania pruhovaného (*Danio rerio*).

ČSN ISO 12890 Jakost vod – Stanovení toxicity pro embryonální a larvální stadia sladkovodních ryb – Semistatická metoda.

ČSN EN ISO 7346–1 Jakost vod – Stanovení akutní letální toxicity látek pro sladkovodní ryby [*Brachydanio rerio* Hamilton–Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]
Část 1: Statická metoda.

ČSN EN ISO 7346–2 Jakost vod – Stanovení akutní letální toxicity látek pro sladkovodní ryby [*Brachydanio rerio* Hamilton–Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]
Část 2: Semistatická metoda.

ČSN EN ISO 7346–3 Jakost vod – Stanovení akutní letální toxicity látek pro sladkovodní ryby [*Brachydanio rerio* Hamilton–Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]
Část 3: Průtočná metoda.

ČSN ISO 10229 Jakost vod – Stanovení subchronické toxicity látek pro sladkovodní ryby – Metoda vyhodnocení účinku látek na růstovou rychlost pstruha duhového [*Oncorhynchus mykiss* Walbaum (Teleostei, Salmonidae)].

Toxicita



Hledány takové „biomarkery“, které by intenzivně odrážely vliv znečišťujících látek a přitom by výrazně nepodléhaly fyziologickému kolísání.

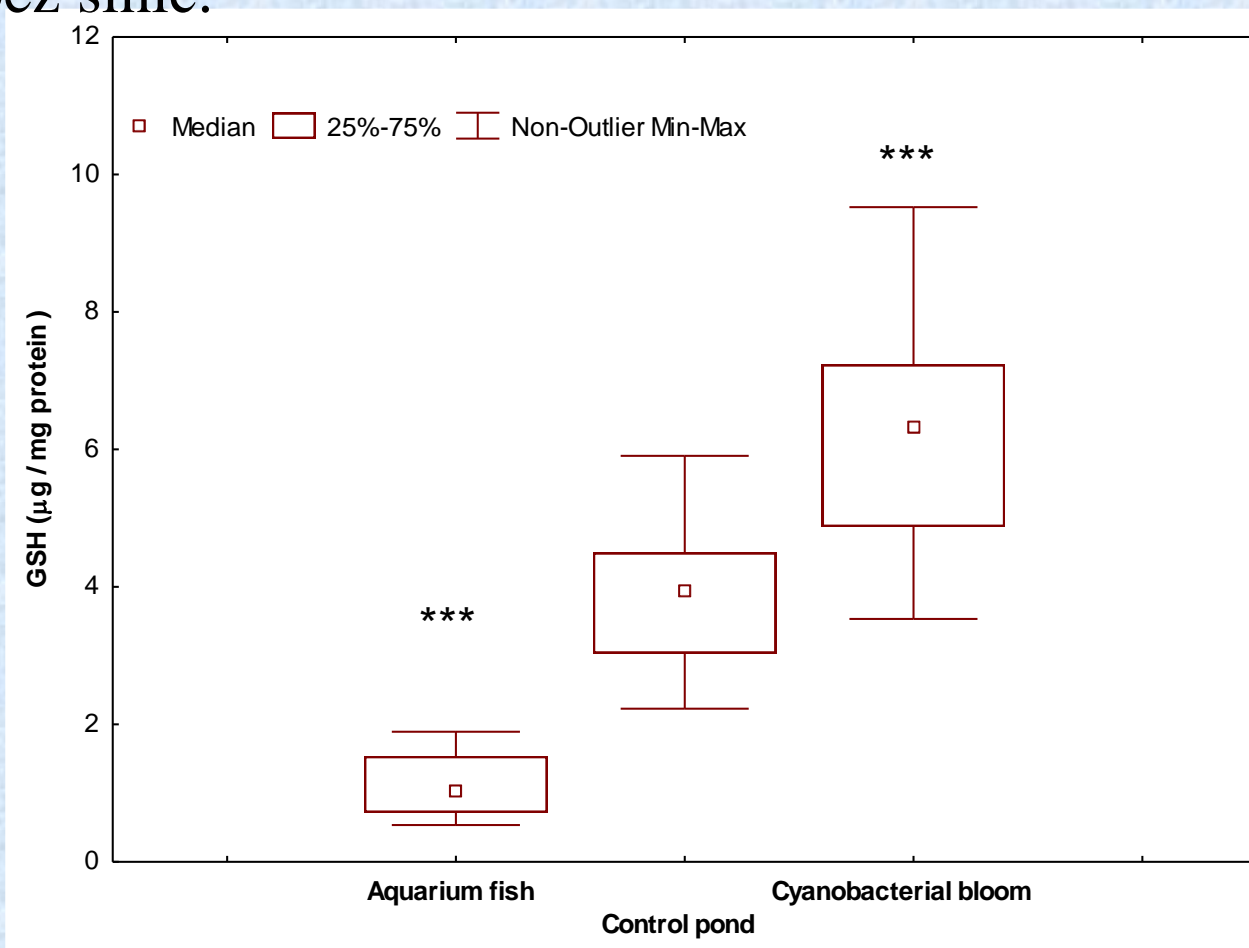
Využívají se tyto biomarkery:

- Inhibice acetylcholinesterázy
- Poškození DNA
- Narušení procesů při tvorbě hemu (tvorba porfyrinů, inhibice dehydratázy kyseliny delta-aminolevulové (ALAD) olovem
- Stanovení hladiny methemoglobinu v krvi ryb
- Indukce vitellogeninu
- Test mikrojadér (MNT)
- Hodnocení ukazatelů nespecifické odolnosti ryb (počet leukocytů, fagocytární aktivita, celkové množství imunoglobulinů v séru, stanovení lysozymu)
- Sledování biomarkerů oxidativního stresu u ryb

Testy toxicity na organizmech vodního prostředí



Hodnoty GSH byly signifikantně zvýšeny u ryb z prostředí vodního květu sinic ve srovnání s rybami bez sinic. Na druhou stranu byly u ryb z akvárií zjištěny signifikantně nižší hodnoty GSH ve srovnání s rybami z prostředí bez sinic.



Metodiky hodnocení účinku



Mikrokosmy

laboratorní testy s více organizmy v jednom prostoru
Akvária se standardním složením vody a přísadkou
společenstva organismů.

Počáteční doba k ustanovení rovnováhy (cca 4-6 týdnů).

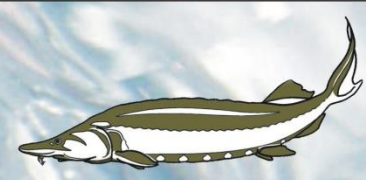
Přidání toxikantu v různých dávkách + kontrola.

Sledovány parametry vody, produkce řas, imobilizace
zooplanktonu, změny druhového složení atd.

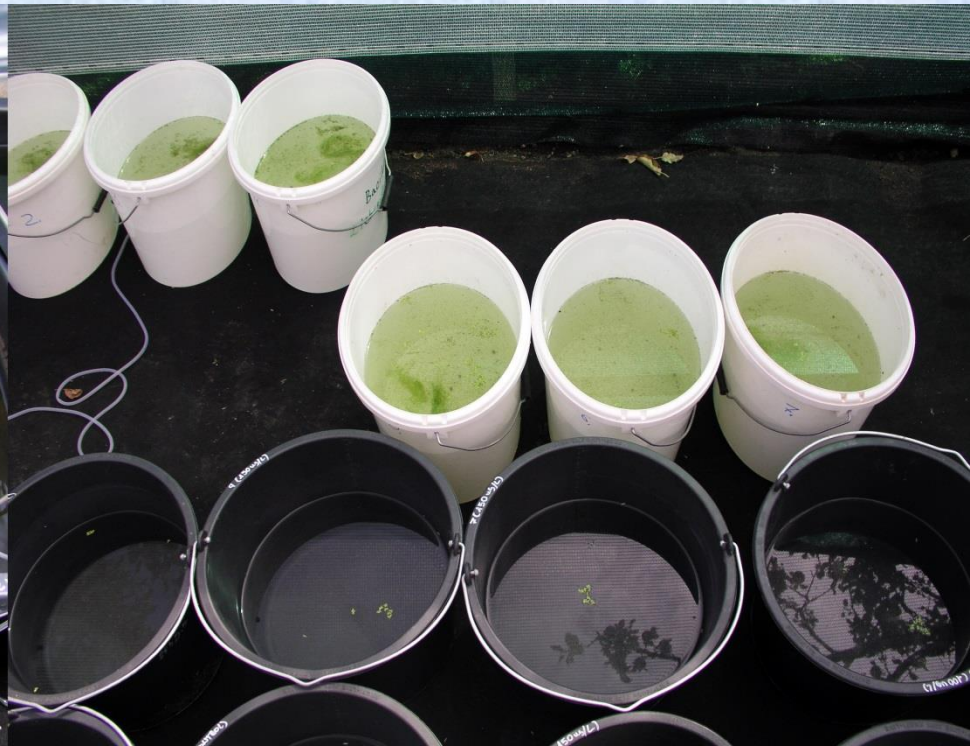
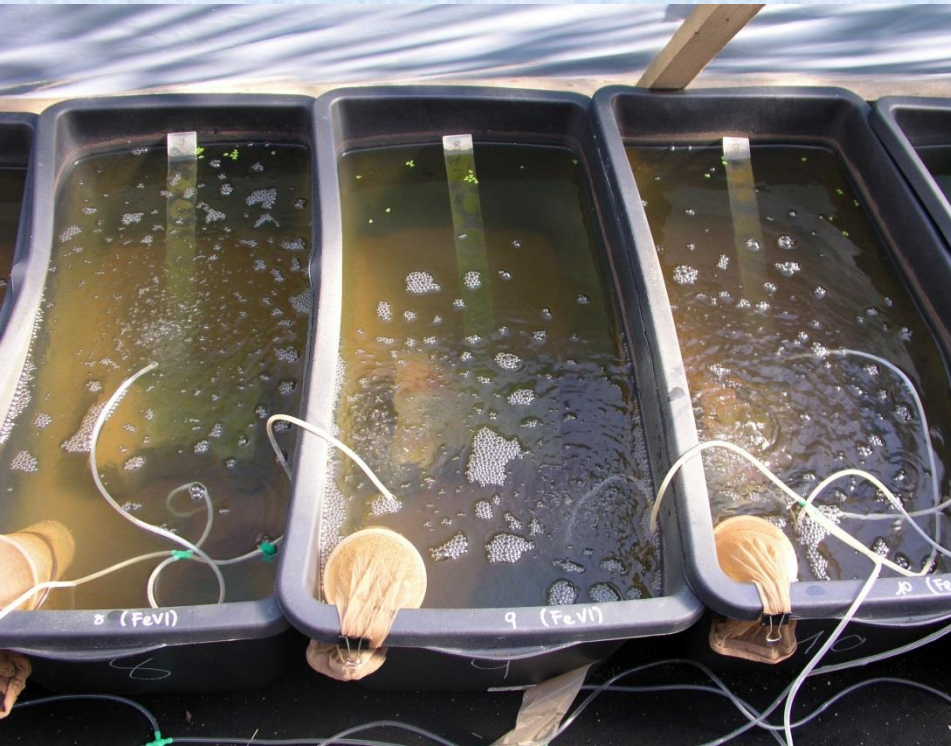
Výhoda – již částečně reálné prostředí, lze sledovat reakce
toxikantu v prostředí.

Nevýhoda – již klesá možnost standardizace, nelze garantovat
stejný počet organismů atd.

Metodiky hodnocení účinku



Mikrokosmy pro akvatické ekosystémy (© B. Maršálek)



Metodiky hodnocení účinku



Transplantační pokusy

Modelový organismus vypěstovaný v laboratoři (nebo z čistého nezasaženého přírodního prostředí) je umístěn na místo předpokládané expozice toxikantů.

Určitá doba expozice a pak návrat do laboratoře.

Vyhodnocení změn (biochemické, fyziologické, morfologické).

Kumulace toxikantu v těle organismu.

Př. Expozice mlžů (slávek) z čistých vod ve vodách znečištěných a sledování kumulace toxikantu v organismu.

Metodiky hodnocení účinku



Mezokosmy

Jedná se o reálné výseky ekosystémů v přírodním prostředí, kde se provádí testování účinky toxikantu.

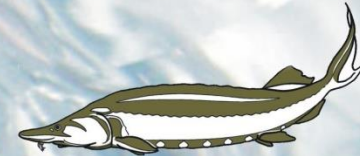
Sluneční záření, reálné klimatické podmínky, široké spektrum organismů (pokusné vodní nádrže, toky nebo jejich části).

Nejkomplexnější systémy s prováděním cílených experimentů.

Výhoda – sledování širokého spektra ekologických reakcí

Nevýhoda – snížená možnost standardizace podmínek a vyšší variabilita výsledků

Metodiky hodnocení účinku



Mezokosmy v rybníčním ekosystému (© B. Maršálek)



Metodiky hodnocení účinku



Ekotoxikologické terénní studie

Sledování reálného působení toxikantů v ekosystémech.

- hodnocení dopadu chemického zásahu

Často jako součást zásahu, monitoring účinků na cílové i necílové druhy, sledovány změny chemizmu prostředí, doba setrvání chemické látky v prostředí (př. použití herbicidu ve vodní nádrži).



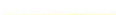

- hodnocení vlivu chemické kontaminace

Zdroje kontaminace, negativní vlivy jednotlivých toxikantů, vývoj a prognóza kontaminace v čase (př. hodnocení kontaminace vodního toku pod výpustí odpadních vod).

Výhodou terénních studií je získání relevantních informací na úrovni celého ekosystému, nevýhodou nízká standardizace.

Základní klasifikace

třída

-  I. a II. neznečištěná a mírně znečištěná voda
-  III. znečištěná voda
-  IV. silně znečištěná voda
-  V. velmi silně znečištěná voda

