



Ekotoxikologické testy s obojživelníky

Klára Hilscherová a Blahoslav Maršálek

RECETOX- Přírodovědecká fakulta MU Brno, Kamenice 3
Botanický ústav AVČR, Květná 8. 603 65 Brno

Obojživelníci unikátní pro (eko)toxikologické procesy:

- Jsou významnou součástí ekosystémů - reprezentují většinou **konzumenty druhého řádu** (většina druhů je insektivorních).
- Většina zástupců (zejm. ze skupiny bezocasích, *Anura*) prodělává unikátní proces **metamorfózy (embryo, larva, dospělec)**
- Životní strategie **reprezentuje řadu rozličných expozičních cest** a míst pro působení polutantů
- **transdermální přenos** vody a polutantů: u obojživelníků 70-90% celkové kapacity.
- **u jiných obratlovců** jsou procesy výměny vody, iontů (a také plynů) realizovány hlavně přes **plic/zábra, gastrointestinální trakt**

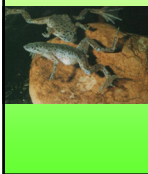


Dramatický úbytek populací obojživelníků (označovány Global Amphibian Decline)

sledován od 60. let 20. století

výsledky dlouhodobého pozorování
- z více než 20 zemí světa

- množství možných příčin



Distribution of Global Amphibian Declines



● = Extinct, Missing or Critically Endangered

● = Additional Threatened (Endangered or Vulnerable)

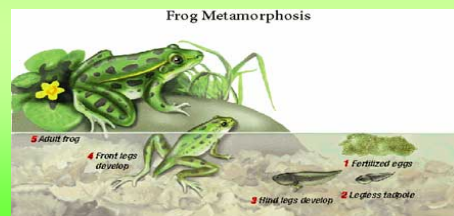
Source: IUCN 2000, AmphibiaWeb, Hero J.-M. & L. Shoo, 2003. Chapter 7 in Amphibian Conservation, Smithsonian Press.
Background biodiversity hotspots map from Myers et al., 2000. Nature 403:853-858 c/o Conservation International.
Prepared by J.-M. Hero, April 2002.

Předpokládané příčiny poklesu počtu obojživelníků v přírodě:

- vyšší citlivost k znečištění prostředí (transdermální přenos)
- změny klimatu a změny mikroprostředí (reprodukce)
- introdukce predátorů
- imise a kyselé srážky
- UV záření – výkyvy, klimatické změny
- infekce, onemocnění, paraziti
- poškození, úbytek habitatů
- kombinace vlivu nových polutantů a změn přirozeného prostředí
- působení pesticidů – aplikovány v době rozmnožování a vývoje obojživelníků
- kombinace více faktorů – např. negativní působení introdukovaných druhů je dále umocňováno působením cizorodých látek, infekčních onemocnění nebo zvýšenou mírou UV-B záření

Možný důvod: Kontaminanty

“Obojživelníci jsou zvláště citliví vůči xenobiotikům v prostředí díky své fyziologii a chování” (Bidwell and Gorrie, 1995)



Embryotoxicita x teratogenita

Embryotoxicita – vlastnost látek, která se projevuje nepříznivými účinky na zárodek (embryo)

Embryotoxické látky působí smrt zárodků

Teratogenita – vlastnost látek, která způsobuje trvalé funkční nebo strukturální abnormality (malformace) během období embryonálního vývoje

Teratogeny působí neúčinněji ve stadiu organogeneze

Malformace u obojživelníků

- celosvětový problém, souvisí se snižováním populací obojživelníků (Worldwide Amphibian Decline)

- 44 států USA, Kanada – malformovaní jedinci nalézáni přímo v prostředí (*Rana pipiens*, *Rana clamitans*, *Bufo americanus*, ...)

- hlavní příčiny – UV-B záření

- invaze parazity (Trematoda – *Ribeiroia ondatrae*)

- kontaminanty životního prostředí

pesticidy, herbicidy
těžké kovy

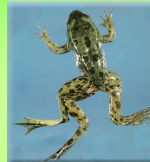


Kontaminace obojživelníků v prostředí: organické látky

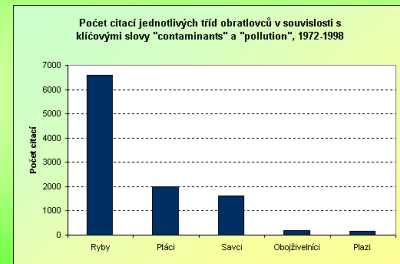
- O koncentracích a efektech polutantů na obojživelníky existuje velmi málo údajů. Nedostupné jsou experimentální studie určující biokoncentraci (biokoncentrační faktory, BCFs) a/nebo bioakumulaci.
- PAHs vykazují řadu subletálních efektů (např. endokrinní disrupce a následná feminizace nebo genotoxicita)
- PCDDs - dioxiny: akutně letální ve velmi nízkých koncentracích (ppb, tj. mg/L)
- Organochlorované pesticidy (OCPs) více informací - experimenty s ropuchou (*Bufo bufo*) pro p,p'-DDT stanovily 48 hod hodnoty BCF ~ 640
- Toxicita klesala v pořadí toxafen > heptachlor > dieldrin > aldrin > DDT > lindan.
- Organofosfátové a karbamátové pesticidy - narušení nervového systému inhibicí aktivity cholinesterázy
- Pyrethroidy (insekticidy) opožděný vývoj a abnormální chování
- Triaziny (herbicidy) endokrinní disrupce - pokles hladiny testosteronu u samců a následnou demaskulinizaci a vznik hermafroditů

Kontaminace obojživelníků v prostředí: kovy

- Cd se biokoncentruje v játrech, ale také ve vajíčkách po ovulaci samic. Imunosuprese.
- Pb BCFs ~ 1000 skokanů *Rana clamitans*
- Zn biokoncentrace - vajíčko < embryo < larva
- Hg může se projevovat neurotoxicita
- Chronické efekty však nejsou dostatečně prostudovány.



Ekotoxikologie obojživelníků: málo známá oblast



Testy toxicity a využití v ekotoxikologii

- sporé informace - omezené použití
- ochrana obojživelníků
- limitace na rody *Rana* (skokan), *Bufo* (ropucha), *Xenopus* (drápatka)



- údaje o kontaminaci, bioakumulaci apod. máme pouze z uhynulých jedinců (? stáří...)
- Biochemické ukazatele z krve (plánované odběry v přírodních populacích – výjimečně)

Testy s obojživelníky

Obojživelníci nacházejí uplatnění v testech **teratogenity**, **genotoxicity** a v testech pro odhalení **narušení endokrinního systému**

Typy studií: taxonomická diverzita, rozmnožovací aktivita, embryolarování vývoj, biochemie orgánů. Etické překážky.

- ISO, OECD, ASTM - FETAX (Frog Embryo Teratogenesis Assay: *Xenopus laevis* - testování chemických látek a přípravků, sedimentů apod. Evropa - skokan

Modelové druhy

- Nejčastěji používaný modelový organismus - drápatka vodní (*Xenopus laevis*) (ASTM E1439-98)
- Další používané druhy - skokani *Rana pipiens* (ASTM E1439-98, 1998) a *Rana temporaria*
- rosničky *Litoria adelaidensis* a *Crinia insignifera*
- drápatka *Silurana tropicalis*
- ropuchy *Bufo americanus* (ASTM E1439-98, 1998) a *Bufo arenarum*
- ocasatí obojživelníci žebrovník *Pleurodeles waltl* (AFNOR T90-325, 1992), axolotl *Ambystoma mexicanum* (Federal Register, 1998), čolci *Notophthalmus viridescens*, *Triturus vulgaris*



Většina informací – FETAX- Frog Embryo Teratogenesis Assay -Xenopus

- dobře standardizovaná metoda
- reprezentativnost pro další obojživelníky????
- postup využívající testování letální toxicity a neletálních efektů (morfologické malformace) během embryonarvalního vývoje
- US-EPA č. 1001.0 - Fathead minnow, Embryo-larval Survival and Teratogenicity) lze dobře modifikovat pro účely testování efektů s obojživelníky
- skokan hnědý (*Rana temporaria*).
- ropucha obecná (*Bufo bufo*)
- ekotoxikologické biotesty s obojživelníky by neměl být pouze (ale v 90% je) FETAX

Test FETAX

- FETAX = Frog Embryo Teratogenesis Assay - Xenopus
- Hodnocení embryotoxicity s žábami - FETAX
 - expozice vajíček během embryonálního vývoje
 - ve standardní podobě ukončen po 96 hod
 - varianty – kompletní životní cyklus
- Existuje řada embryonarvalních testů:
 - FETAX – validate: Dawson, Bantle
 - standard ASTM (American Society for Testing and Materials), E 1439-98 (1999)



Frog Embryo Teratogenesis Assay: Xenopus (FETAX)

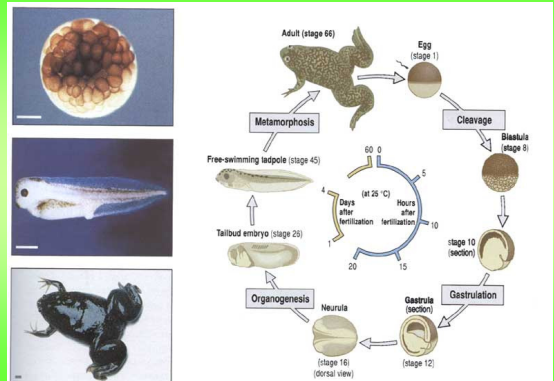
- Původně designován pro testování teratogenity chemických látek (farmak) na drápatce jako modelu pro obratlovce (pro lidi)
- Dobrá korelace mezi známými lidskými teratogeny a výsledky z FETAXu
- Používán pro testy jednotlivých látek, směsí, i odpadních vod



Modelový organismus - drápatka vodní (*Xenopus laevis*)

Studium vývojové, buněčné, molekulární biologie, využití v embryologii, fyziologii, toxikologii

- dobrá znalost normálního vývoje, biologie a biochemie
- po celý život možnost odchovu v laboratoři
- schopné přijímat usmrcenou potravu
- akvatický způsob života larev i dospělců
- dospělci rezistentní vůči chorobám
- možnost indukovaného získání embryí nezávisle na ročním období
- průhlednost larev - sledování malformací vnitřních orgánů



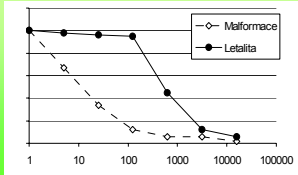
Princip testu

- 96 hodinový standardizovaný test toxicity pro embrya žab
- oplozená vajíčka jsou exponována různým koncentracím testované látky během vývoje embrya (96 hod)
- po expozici standardně hodnocení embryotoxicity a teratogenity zkoumané látky:
 - letalita po 96h (LC₅₀)
 - % morfologických změn - malformací po 96 hod (EC₅₀)
 - inhibice růstu (MCIG) – minimální koncentrace způsobující inhibici růstu

• vyhodnocení:

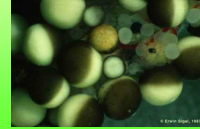
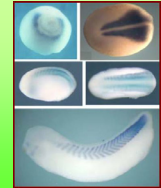
• Index teratogenity
 $TI = LC_{50} / EC_{50}$

TI > 1,5 indikace teratogenního potenciálu



Pracovní postup I

- výběr vhodného páru žab
- injektování lidského gonadotropinu (HCG) do hřbetního lymfatického vaku
- amplexus -> tvorba vajíček a oplodnění
- výběr oplozených vajíček



Pracovní postup II

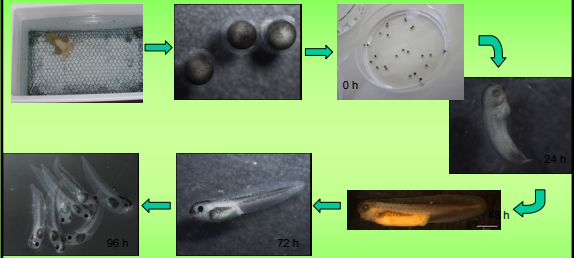
- do Petriho misek po 20 oplozených vajíčkách (10 mL)
- expozice různým koncentracím testovaných látek v standardním FETAX médiu
- pozitivní kontrola: 6-aminonicotinamid
 all-trans retinová kyselina (ATRA)
- teplota: 24±2 °C, uložení do inkubátoru
- výměna expozičních roztoků a uhynulých embryí každých 24 hodin
- po 96 hodinách ukončení - fixace v 3% formaldehydu
- sledování délky přežívajících jedinců a výskyt malformací



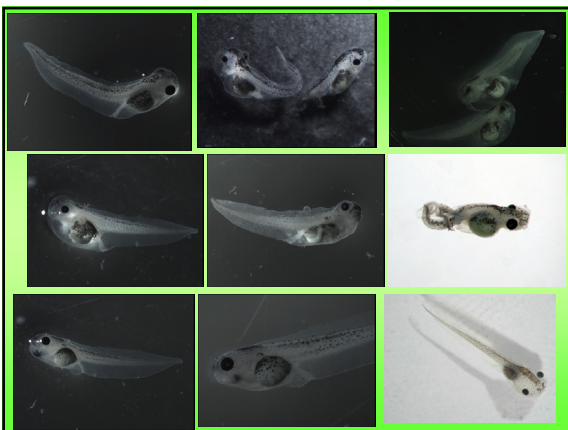
Hormonální stimulace dospělého páru

DESIGN TESTU

↳ amplexus → oplozená vajíčka – nasazení do Petriho misek



↳ fixace v 3% formaldehydu → hodnocení malformací, měření délky embryí
 ↳ zamražení na -80°C → tkáňový homogenát pulci skokanů použit pro biochemická stanovení



ASTM Int'l Amphibian Toxicity Test - ASTM E2591-07 - Guide for Conducting Whole Sediment Toxicity Tests with Amphibians

- hodnocení sedimentů a podmaččených půd (mokřady) z potenciálně kontaminovaných lokalit, kde jsou obojživelníci důležitými druhy
- měří účinky biodostupné frakce
- Nasazení čerstvě nalíhnutí pulci skokanů *Rana pipiens*, *R. sylvatica* (stadium 23-25), možno i drápatka
- larvy krmeny
- 10 d kontaktní test se sedimentem
- 300 ml kádinky – 100 ml sedimentu, 175 ml vody
- Sledované parametry: přežívání, růst - subletální parametry (délka, šířka těla)

AMPHITOX

soubor toxikologických testů k odhadu rizik letálních a subletálních účinků testované látky pro obojživelníky (Herkovits et Pérez-Coll, 2003).

Modelový organizmus - vývojová stádia ropuchy *Bufo arenarum*.

AMPHITOX zahrnuje:

- akutní test toxicity (AMPHIACU)
- chronický test toxicity (AMPHICRON)
- test na časných vývojových stádiích (AMPHIEMB)

Výsledné hodnoty : LC50, NOEC (nejvyšší koncentrace testované látky, která nezpůsobila žádné pozorovatelné účinky) a TI (teratogenní index).

Výhoda testu AMPHITOX : umožňuje přesně stanovit období, ve kterém vykazuje testovaná látka nejsilnější účinky na modelový organizmus.

Testy genotoxicity

MN – test a Jayletův test

- Metody pro zjišťování genotoxicity xenobiotik pomocí obojživelníků : Xenopus Mikronucleus Assay (MN–test) a Jayletův test (Békaert et al., 1999; Zoll-Moreux et Ferrier, 1999).
- Princip: sledování zvýšeného počtu mikrojadér v erytrocytech u larev po expozici látkám s potenčním genotoxickým účinkem.
- Testy se liší použitým druhem modelového organismu. MN–test pracuje s larvami drápatky vodní (*Xenopus laevis*). Jayletův test je upraven pro použití larev ocasatých obojživelníků – žebrovníka (*Pleurodeles waltii*) nebo axolotla (*Ambystoma mexicanum*).
- Jayletův test na ocasatých obojživelnících se ve Francii využívá jako standardní metoda pro určování genotoxicity látek a je zpracován do podoby metodiky French Standard NF (AFNOR T90-325, 1992).
- MN–test s drápatkami má stejnou senzitivitu jako Jayletův test na ocasatých obojživelnících a tudíž jsou oba testy vhodné pro posuzování genotoxicity.



Testy odhalující narušení endokrinního systému obojživelníků

Endokrinní disruptory (ED's) jsou xenobiotika narušující endokrinní systém živočichů.

U obojživelníků působí ED's na několika úrovních:

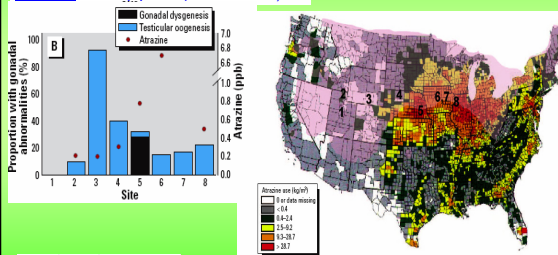
- v embryonálním a larválním období,
- při metamorfóze
- v období diferenciací gonád,
- v období sekundární pohlavní diferenciací
- v dospělosti (narušením fyziologického chování)

Následkem předčasné metamorfózy vznikají extrémně malí jedinci, neschopní reagovat na změny přírodních podmínek, s omezenou možností žít ve větší potravě a s nízkými energetickými rezervami. Některé ED's ovlivňují regulační systém pohlavních steroidů. Pokud takové ED's působí na populaci larev v období vývoje gonád, dochází ke změně poměru pohlaví.

Feminization of male frogs in the wild

Water-borne herbicide threatens amphibian populations in parts of the United States.

Species: *Rana pipiens* (mature male)



NATURE | VOL 419 | 31 OCTOBER 2002

volume 111 Number 41 April 2003 • Environmental Health Perspectives

Testy endokrinní disrupce obojživelníků Testy metamorfózy a vývoje

Cíl: prokázat, zda zkoumaná látka ovlivňuje rychlost metamorfózy.

Čtrnáctidenní test metamorfózy

- dle metodiky U. S. EPA Endocrine Disruptor Screening and Testing Committee (EDSTAC) T 1. – *Frog metamorphosis assay* (Federal Register, 1998).

- obdobný test *Metamorphosis Climax Assay* (OECD 46, 2004).

Do testu jsou nasazeny larvy drápatky vodní (*Xenopus laevis*) ve vývojovém stádiu 60, tzn. těsně před dosažením metamorfózy.

Larvy jsou po celou dobu testu (14 dnů) vystaveny expozici zkoumané látky.

Sledované parametry: stádium vývoje a průběh metamorfózy.

Doplňkové údaje: výška ocasního lemu, délka ocasu, těla a pánevních končetin.

Výsledek testu: hodnota IC₅₀, což je koncentrace testované látky, která způsobí u 50 % larev inhibici metamorfózy.

Testy endokrinní disrupce obojživelníků Testy metamorfózy a vývoje

Sedmdesátidenní test metamorfózy

- Výhoda: prodloužená expozice larev zkoumané látky, lépe simulující přírodní podmínky
- embrya nasazena do testu ve stádiu střední blastuly až časně gastruly, medium FETAX
- embrya nejprve umístěna v objemu 100 ml media, pátý den přemístěna do skleněných akvárií do objemu 8 litrů testované látky
- každých 72 hodin výměna 50% expozičního média
- od pátého dne larvy denně krmeny
- 12ti hodinová fotoperioda a teplota vody 24±2°C.
- Sledovány teplota, kyslík a pH, množství amoniaku.
- Po 70ti dnech ukončení - stanovení vývojové stádium
- Sledované parametry:** stádium vývoje a průběh metamorfózy.
- Doplňkové údaje:** výška ocasního lemu, délka ocasu, těla a pánevních končetin.
- Výsledek testu:** 5 d LC50, 70 d LC50, IC50 (koncentrace testované látky, která způsobí u 50 % larev inhibici metamorfózy).

Testy endokrinní disrupce obojživelníků

Xenopus metamorphosis Assay (XEMA)

- nově navrhován OECD pro testování endokrinní disrupce
- do testu se nasazují pulci drápatky ve vývojovém stádiu 48-50.
- Pozitivní kontrola hormon tyroxin (T4).
- Po 28 dnech vyhodnocena celková tělesná délka larev, délka ocasů a dosažená vývojová stádia.

Xenopus Limb Bud Assay (OECD 46, 2004)

- screeningový test pro látky, které mohou vyvolat abnormální vývoj končetin zkoumané látky jsou vystavena embrya drápatky od stádia blastuly.
- délka testu se řídí rychlostí vývoje pánevních končetin (v rozmezí 45 až 60 dní).
- Posuzuje se výskyt malformací pánevních končetin a přežití larev.
- Doplňujícím vyšetřením může být ještě histologické vyšetření štítné žlázy



16

Testy endokrinní disrupce obojživelníků

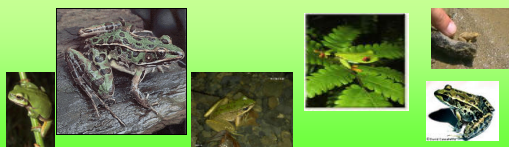
Sledování sexuálního vývoje

- Vlivem ED's dochází k poruchám vývoje gonád – mění se poměr počtu samců a samic a také se objevuje intersex – tzn. současná přítomnost ovarii i testes u jednoho jedince
- Larvy drápatky *Xenopus laevis* jsou od stáří pěti dnů vystaveny působení testované látky.
- Pozitivní kontrola 17 β -estradiol a dihydrotestosteron.
- Po ukončení metamorfózy (po 78 dnech) se u každého jedince provádí histologické vyšetření gonád a svalu *m. dilatator laryngis* - jeho velikost patří mezi druhotné pohlavní znaky u drápatky vodní. U samců je tento sval vyvinut mohutněji. Při působení xenobiotik s androgenními účinky se *m. dilatator laryngis* zvětšuje.

Většina obojživelníků je chráněna = omezené využití pro výzkum a EB... registrace nových látek.. FETAX, QSAR

Kromě skokana hnědého všichni obojživelníci žijící v České republice chráněni zákonem č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny a zařazeni na seznam kriticky ohrožených, silně ohrožených nebo ohrožených druhů v příloze III. vyhlášky Ministerstva

životního prostředí č. 395/1992 Sb.



Budoucí směřování?



- hledání nových modelů nezávislých na přírodě
- způsob příjmu a osud toxikantů: - místa degradace, místa kumulace
- studium subletálních efektů: endokrinní disrupce, malformace, imunosuprese
- jaké jsou důsledky (a interpretace) rozdílnosti indukce CYPs u obojživelníků a savců???
 - je nižší indukce obecná, nebo selektivní pro určité látky???
 - je to obecný princip vyšší citlivosti na znečištění???