

**RNDr. Petr Anděl, CSc.**

**EKOTOXIKOLOGIE  
TERESTRICKÉHO  
EKOSYSTÉMU**

# MINAMATA



# MINAMATA

chemická  
továrna

- záliv Minamata, Japonsko
- továrna na výrobu acetaldehydu
- za období 1932 – 1970 vypuštěno asi 600 tun rtuti

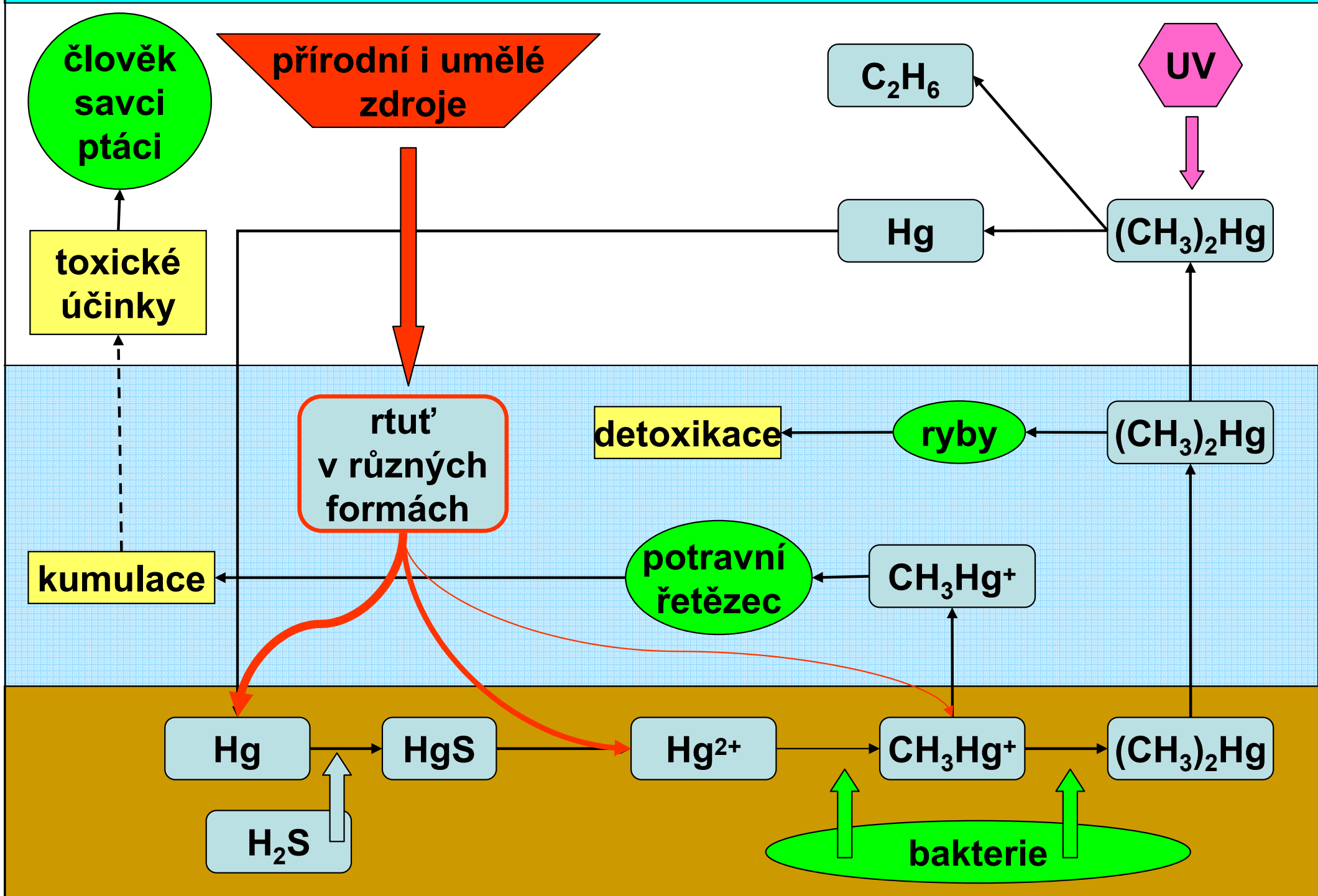
rtuť  
v různých  
formách

Hg

Hg<sup>2+</sup>

CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup>

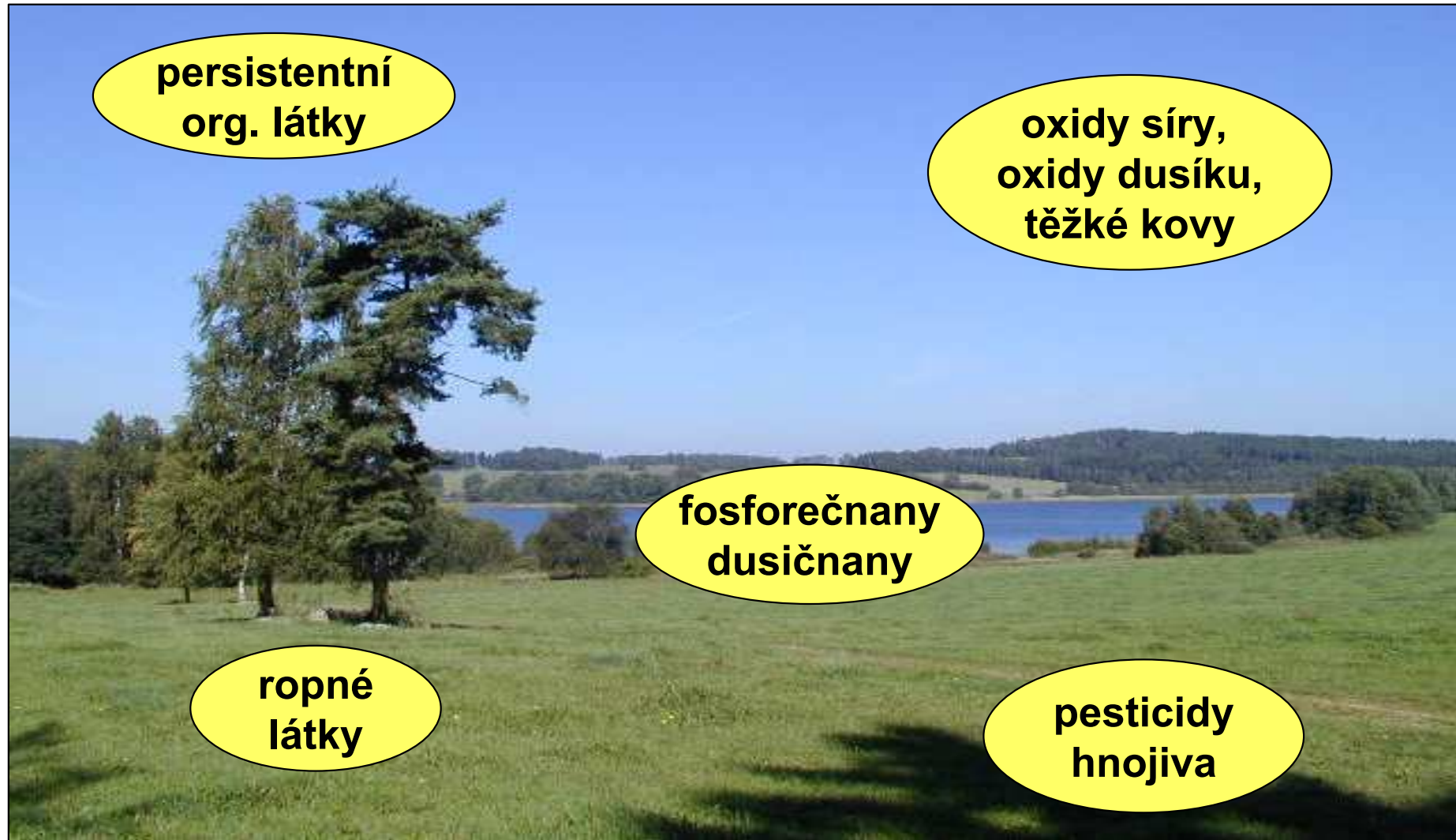
# KOLOBĚH RTUTI



# 1. ÚVOD

# 1.1 VYMEZENÍ OBORU

# KONTAMINANT X EKOSYSTÉM



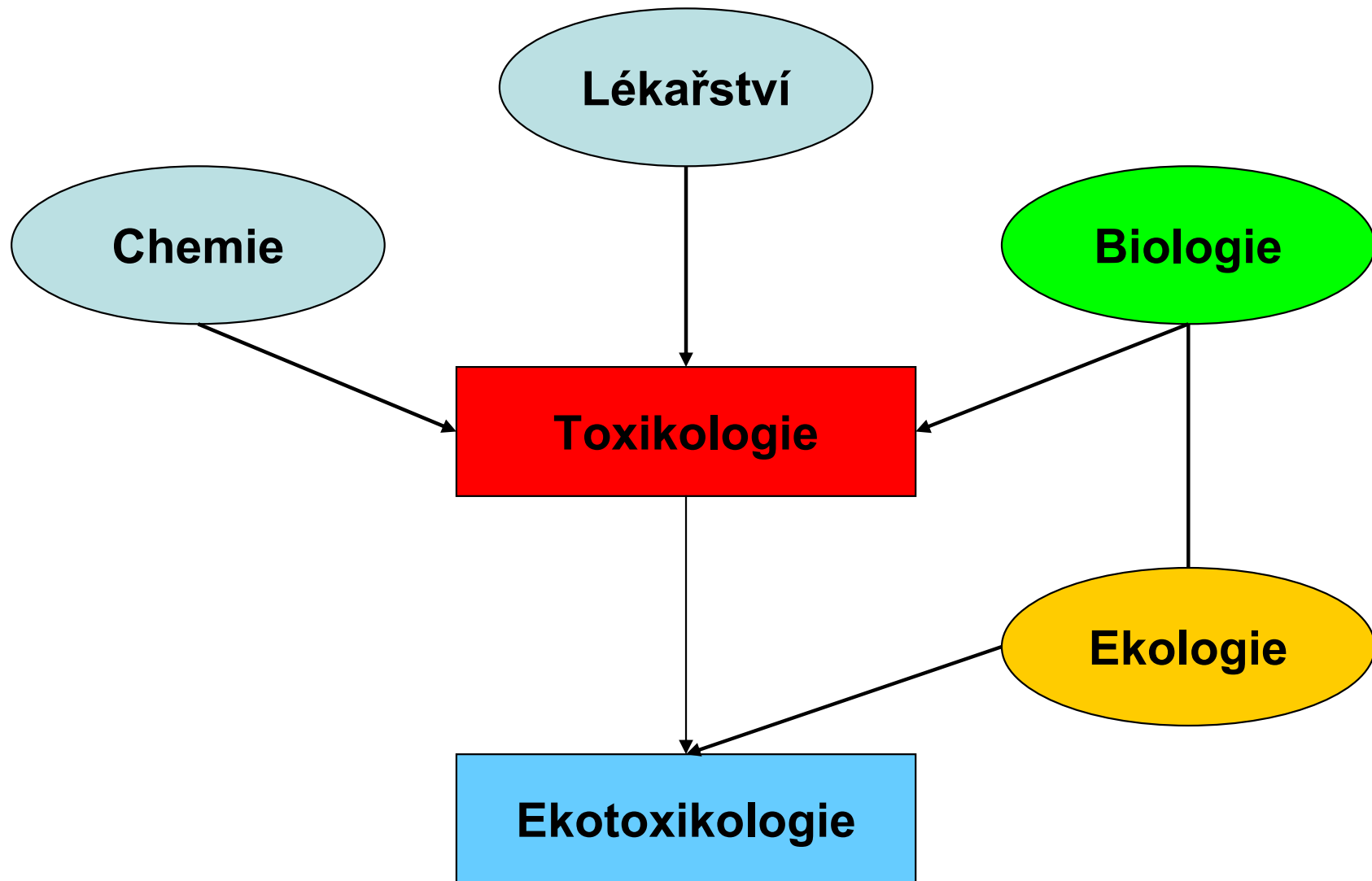
➤ ekotoxikologie se zabývá vztahem chemických látek a biologických systémů

# **EKOTOXIKOLOGIE - DEFINICE**

**Ekotoxikologie – věda, která se zabývá negativním působením chemických látek na živé systémy**



# EKOTOXIKOLOGIE – HRANIČNÍ VĚDNÍ OBOR



➤ **ekotoxikologie je hraniční obor mezi ekologií a toxikologií**

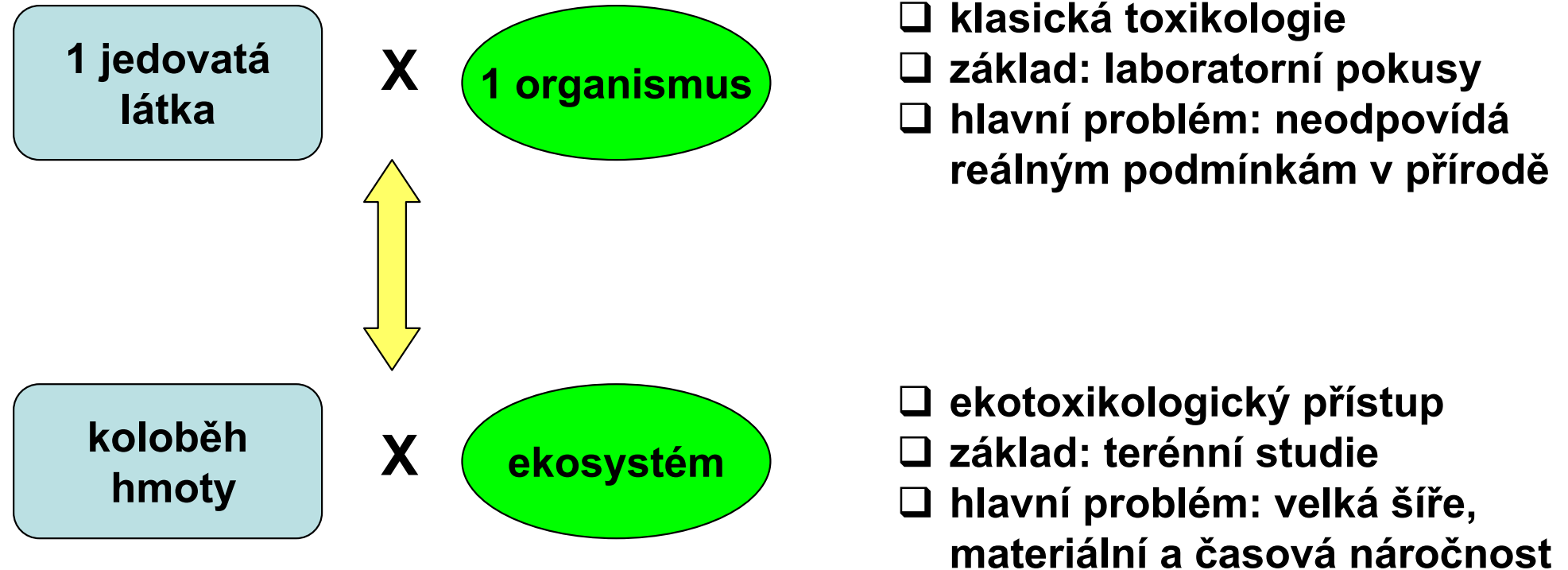
# EKOTOXIKOLOGIE - OBORY

## **Dílčí obory:**

- **vliv emisí ze spalovacích procesů**
- **vliv používání pesticidů**
- **látky ovlivňující ozónovou díru**
- **látky ovlivňující tepelnou bilanci Země**
- **nově uváděné chemikálie na trh**
- **dioxiny**
- **radionuklidy**
- **polyaromatické uhlovodíky**
- **volatilní organické látky**
- **těžké kovy aj.**

# ŠÍŘE POJETÍ EKOTOXIKOLOGIE

## 2 KRAJNÍ PŘÍSTUPY KE STUDIU VZTAHU KONTAMINANT X BIOLOGICKÝ SYSTÉM:



- uvedeným studijním přístupům odpovídá i různý rozsah chápání ekotoxikologie: od úzkého na úrovni organismu, až ke komplexnímu ekosystémovému přístupu
- praktické aplikace se nacházejí většinou mezi oběma krajními přístupy

# 1.2 METODICKÉ SCHÉMA

# ZÁKLADNÍ METODICKÉ SCHÉMA

## 3 ZÁKLADNÍ METODICKÉ PŘÍSTUPY:

- systémový přístup
- pravděpodobnostní přístup
- hodnocení expozice a účinku

# *SYSTÉMOVÝ PŘÍSTUP*

# DEFINICE SYSTÉMU

**= soubor pravidelně na sebe působících a vzájemně na sobě závislých složek, které tvoří jeden celek**

# VLASTNOSTI SYSTÉMU

- **celek je víc než součet částí**
- **stupňovité (hierarchické) uspořádání**
- **celek i jeho části se vzájemně ovlivňují**
- **system má vstup a výstup a s okolím si vyměňuje energii, hmotu, informace**



# DEFINICE POJMŮ

**Struktura** = způsob uspořádání vztahů mezi prvky systému

**Vazba** = hmotné, nehmotné nebo informační spojení mezi prvky systému

**Zpětná vazba** = vazba mezi výstupem a vstupem téhož prvku, která způsobuje, že vstup je závislý na výstupu

**Chování systému** = způsob reakce systému na podněty z okolí

# *PRAVDĚPODOBNOSTNÍ PŘÍSTUP*

# RIZIKO

**Riziko = pravděpodobnost, že za dané situace dojde ke škodlivému (negativnímu) působení na hodnocený systém**

**ekotoxikologie vychází z hodnocení rizik**

**Výsledek ekotoxikologického průzkumu:**  
**toxikant (T) bude mít na biologický systém (B)**  
**za daných podmínek s pravděpodobností  $\alpha$**   
**definovaný vliv**

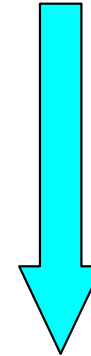
# Co je škodlivé?

**Základní problém:**

**-co je škodlivý vliv pro biosystém?**

**Organizační úrovně:**

- organismus**
- populace**
- ekosystém**



**roste neurčitost odpovědi**

# Co je škodlivé

**V praxi:**

**za negativní vliv budou považovány všechny změny současného stavu, které se projeví ve struktuře , v toku energie, koloběhu hmoty, řízení nebo vývoji ekosystému, kromě změn plynoucích z přirozeného vývoje a přirozené variability**

# POTENCIÁL

## **POTENCIÁL:**

**= souhrn možností a schopností něco udělat**

## **Příklady ve všech fázích hodnocení:**

- způsobnost toxikantů k vyvolání účinku**
- způsobnost biosystému k přijetí účinku**
- způsobnost místa k depozici látek**
- způsobnost místa k fotolýze látky**
- aj.**

# ***OSNOVA HODNOCENÍ RIZIKA***

# OSNOVA HODNOCENÍ RIZIKA

**METODIKA HODNOCENÍ RIZIKA**

**= ZÁKLADNÍ PŘÍSTUP V EKOTOXIKOLOGII**

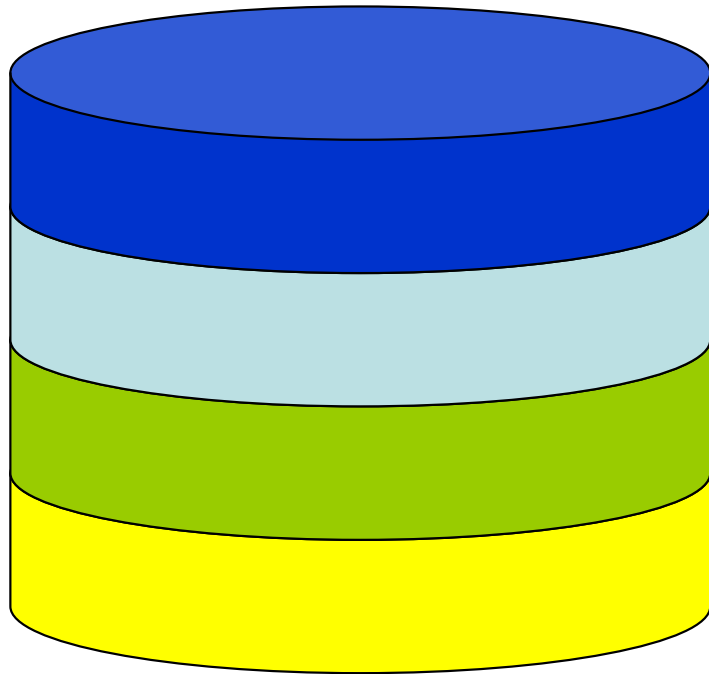
**ZÁKLADNÍ KROKY:**

- 1. DEFINICE PROBLÉMU (hodnocení nebezpečnosti)**
- 2. HODNOCENÍ EXPOZICE**
- 3. HODNOCENÍ ÚČINKU**
- 4. CHARAKTERISTIKA RIZIKA**



# ROZDĚLENÍ EKOTOXIKOLOGIE

## OBECNÉ DISCIPLÍNY



- **hodnocení nebezpečnosti**
- **hodnocení expozice**
- **hodnocení účinku**
- **charakterizace rizika**

# ROZDĚLENÍ EKOTOXIKOLOGIE

## TAXONOMICKÉ TŘÍDĚNÍ

Např.:



**dioxiny**

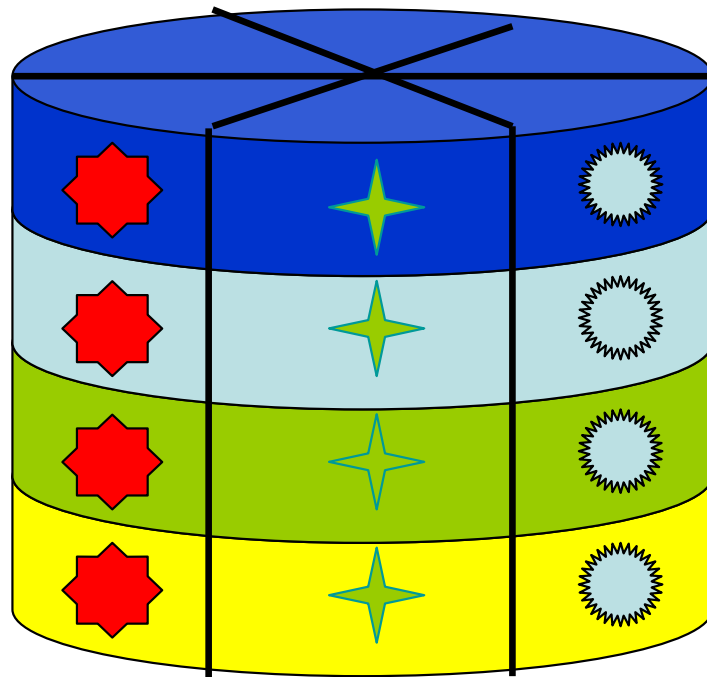


**těžké kovy**



**pesticidy**

.....



# 1.3 CHEMICKÝ BOJ

# CHEMICKÝ BOJ

**Chemický boj**

**= běžná součást vztahu mezi organismy**

**Chemické látky z pohledu jedince:**

**☐ vlastní – součástí jeho metabolismu**

**☐ cizí = xenobiotika – všechny ostatní**

**⇒ každý organismus obklopen cizími látkami**

**⇒ nutnost vytvořit si obranné mechanismy**

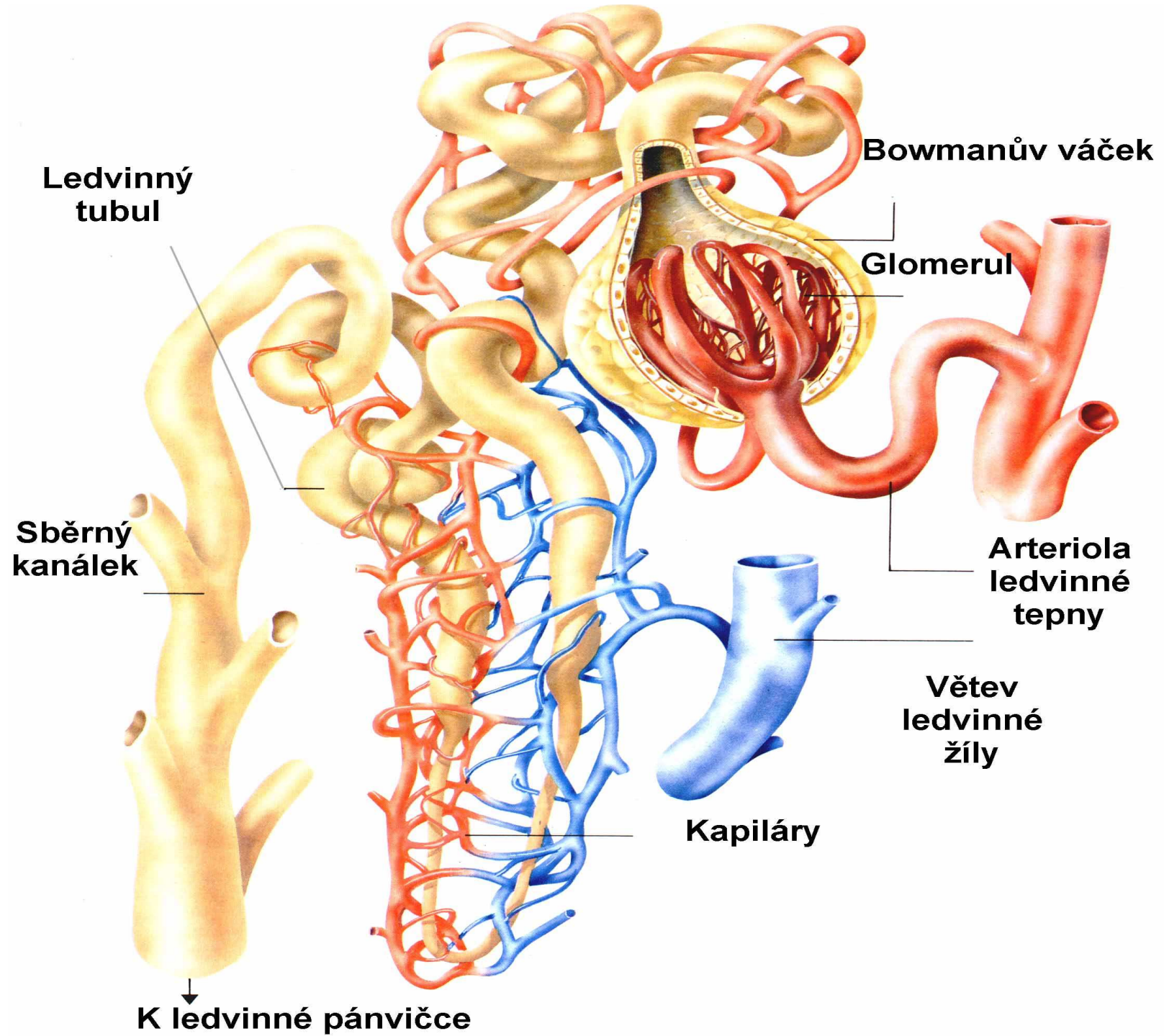
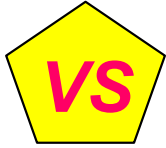
# CHEMICKÝ BOJ

**Xenobiotika vytvořená člověkem:**

**= v principu stejný problém jako od jiných druhů**

**⇒ využívání stejných obranných mechanismů  
vytvořených během evoluce**

# NEFRON



# CHEMICKÝ BOJ

**2 základní bojové způsoby využívání látek:**

- obrana
- útok

**Stručný přehled rozdělený na:**

- mikroorganismy + houby
- rostliny
- živočichy

# ***LÁTKY PRODUKOVANÉ MIKROORGANISMY***



# Mikrobiální toxiny

- u většina mikroorganismů
- př.:  
*Clostridium botulinum* – botulinotoxin  
*Bacillus anthracis* – sněť slezinná



**vodní květ sinic**

# Antibiotika

**= chemické látky vylučované organismy k potlačení růstu mikroorganismů**

**fytoncidy – antibiotika produkovaná vyššími rostlinami**

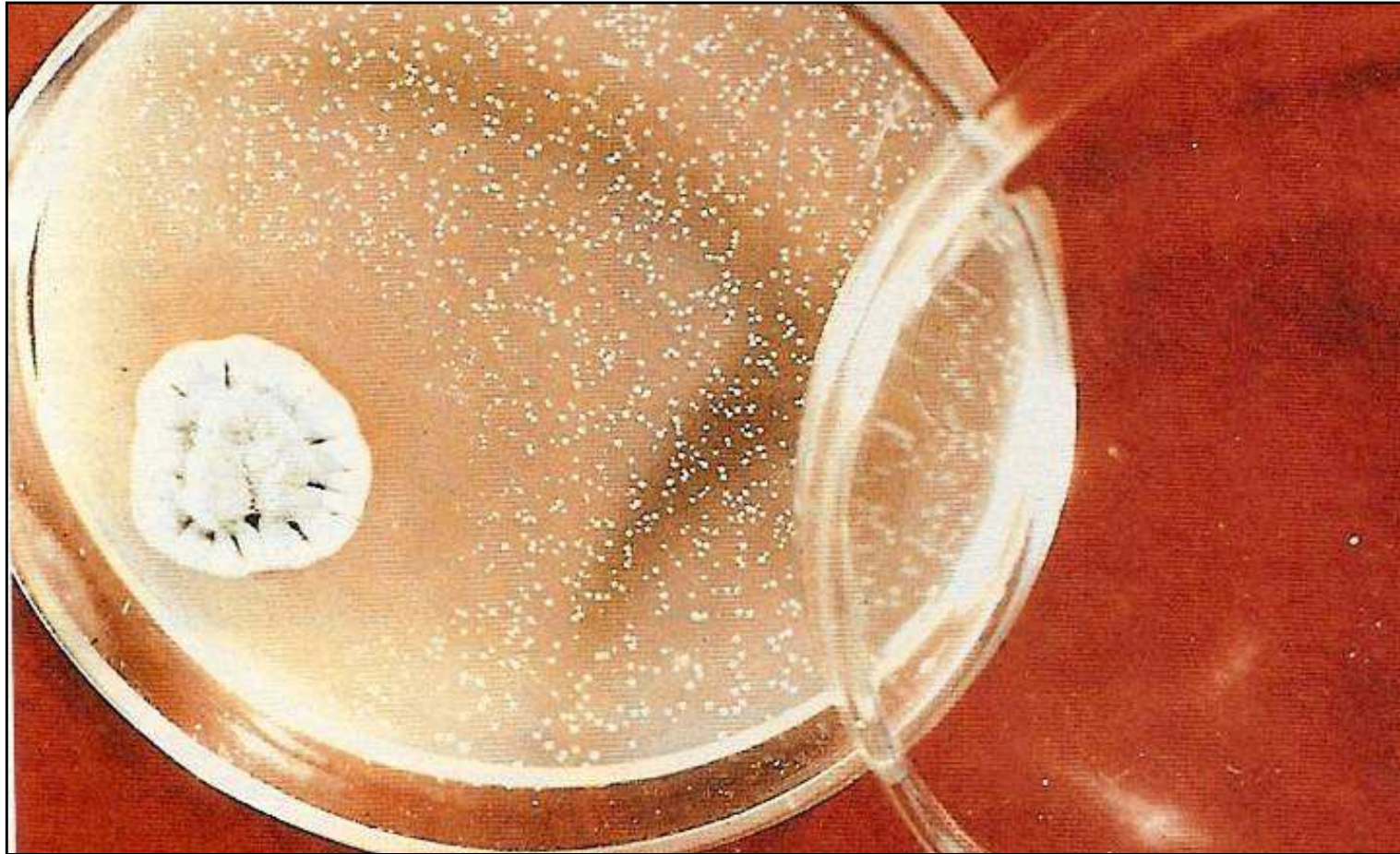
# Alexander Fleming



# Alexander Fleming

1928

St. Mary's Hospital, Londýn



kolonie bakterie *Staphylococcus aureus* a plísně *Penicillium chrysogenum*

# Alexander Fleming

( 1881 – 1955 )

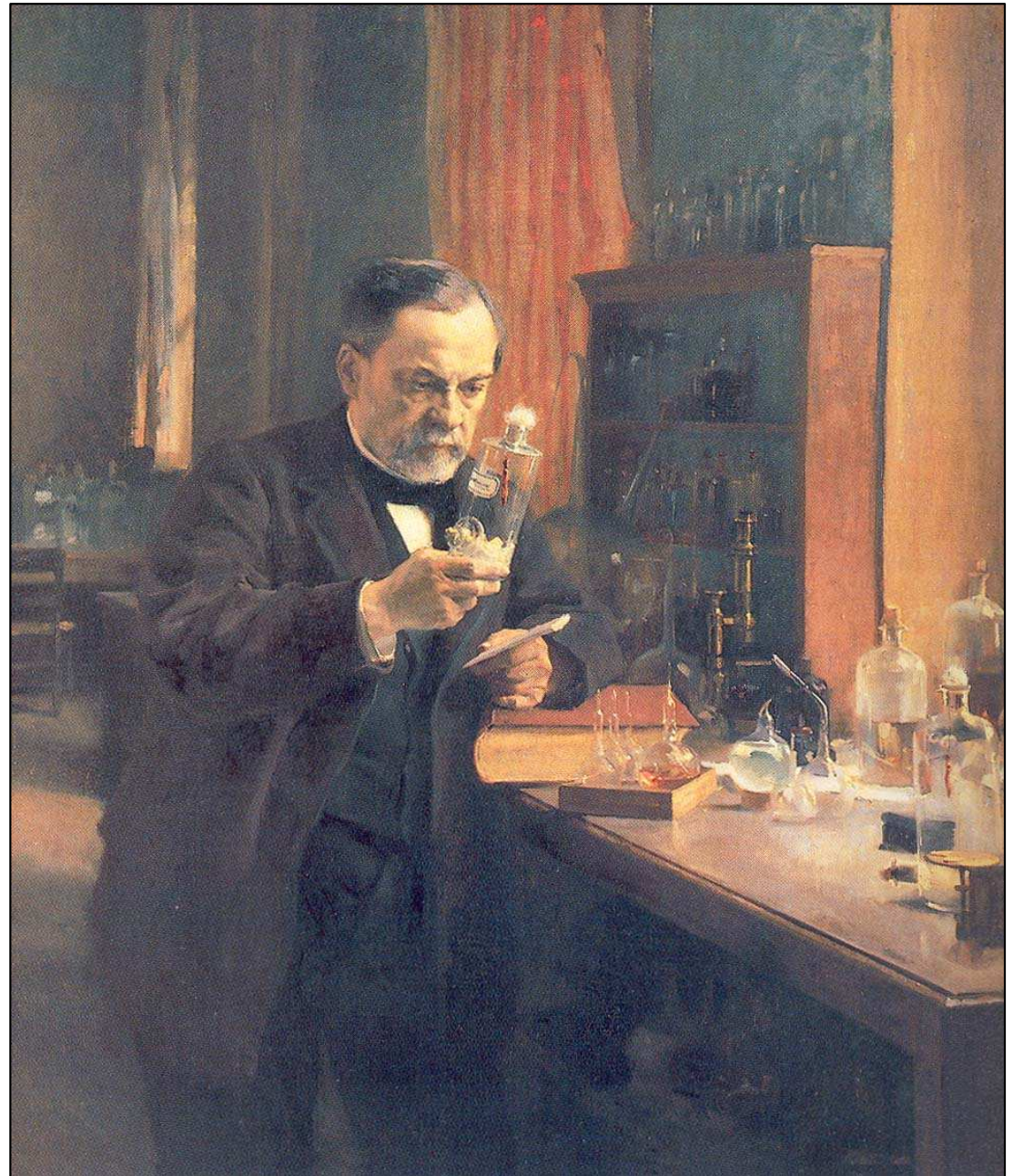
- skotský bakteriolog
- objevitel prvního antibiotika - 1928
- praktická využitelnost – na základě prací  
E. Chain, H. Florey 1940
- nositel Nobelovy ceny (1945)

# LOUIS PASTEUR

**1822 – 1895**

**francouzský chemik  
a mikrobiolog**

- průkopník antiseptiky  
( studie a základy  
bakteriologie)
- objevil očkování  
proti vzteklině a  
sněti slezinné
- objev pasterizace



# LOUIS PASTEUR

**1874 – úvodní řeč L. Pasteura  
v Akademii lékařských věd v Paříži**

**„Kdybych, pánové, měl čest být chirurgem jako vy, každý nástroj bych před použitím protáhl plamenem.**

**Kdybych měl čest být chirurgem, umýval a dezinfikoval bych si před operací pečlivě ruce a neužíval bych ani vaty, ani obvazů, které nebyly předem důkladně vystaveny vzduchu ohřátému na 130 až 150 stupňů.**

**Kdybych měl čest být chirurgem, nepoužíval bych při operaci vodu, která nebyla očištěna zahřátím na 110 až 120 stupňů“**

**.... pískot a nesmírný povyk mu byly odpovědí.**



# ***LÁTKY PRODUKOVANÉ ROSTLINAMI***

# OCHRANA PROTI BÝLOŽRAVCŮM

# Alkaloidy

- dusíkaté látky vesměs se silnými účinky na organismus
- č. makovité: mák setý, vlaštovičník větší
- č. dýmnivkovité: dýmnivka dutá
- č. lilkovité: rulík zlomocný, blín černý, durman obecný
- č. pryskyřníkovité: oměj šalamounek
- č. liliovité: ocún jesenní

# Glykosidy

- lehce se štěpící esterové deriváty cukrů
- dělení podle složení – gl. kyanovodíkové, antrachinonové, fenolové aj.
- velká množství glykosidů mají zástupci č. pryskyřníkovitých, vikvovitých, svlačcovitých, tolejšovitých
  
- např. glykosidy s účinky na srdeční sval  
hlaváček jarní, náprstník červený, konvalinka vonná

# Saponiny

- látky podobné glykosidům, při třepání s vodou silně pění
- ve vyšších koncentracích – rozrušují červené krvinky (hemolýza)
- podráždění žaludeční a střevní sliznice
  
- mydlice lékařská, divizna velkokvětá, prvosenka jarní, jehlice trnitá

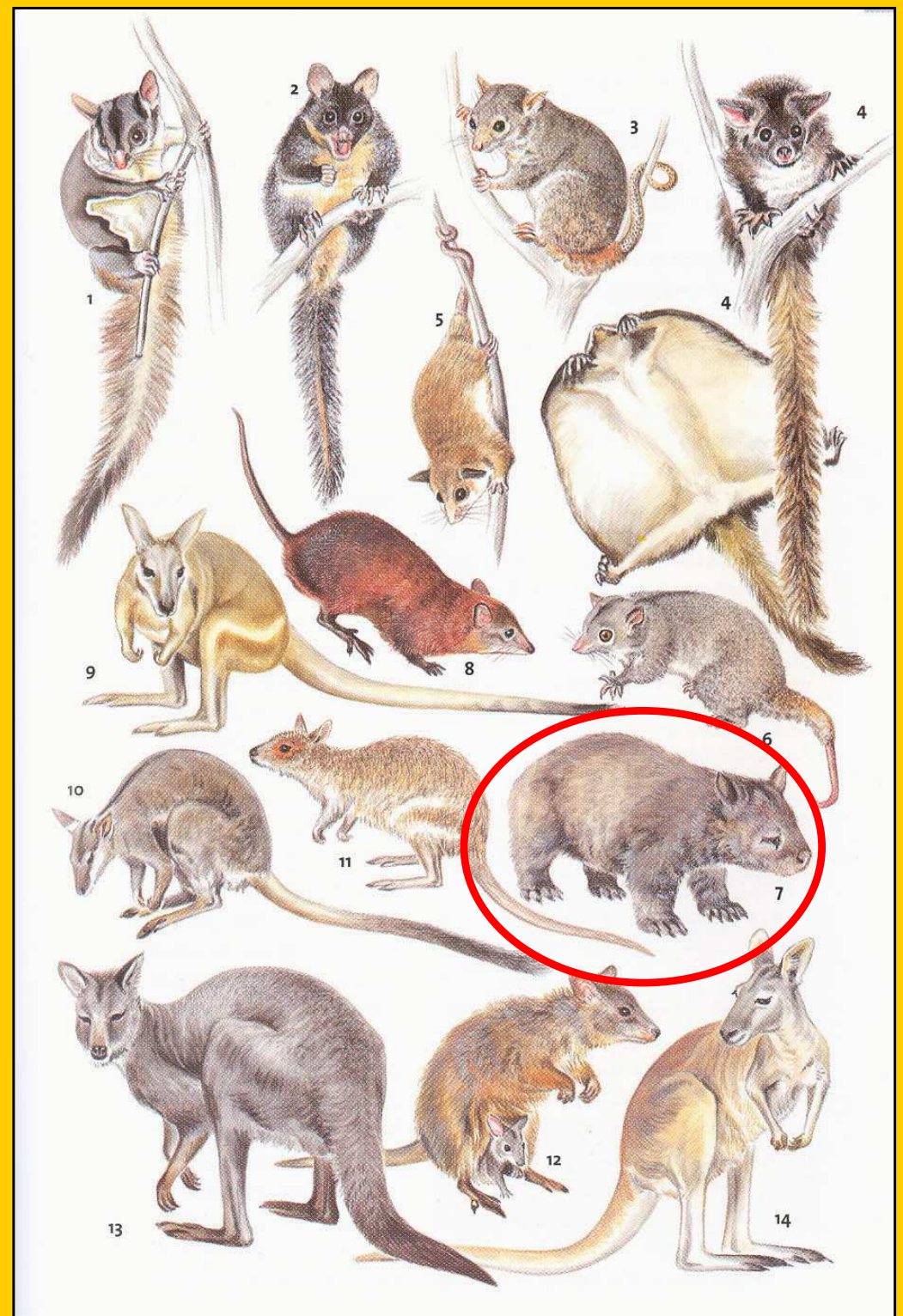
# Silice

- směsi těkavých, často vonných látek
- především terpeny a jejich deriváty
- č. hluchavkovité, růžovité, mrkvovité, vavřívovité
- zvláštní skupinou jsou furokumariny
- kumarin a jeho deriváty – antagonické vitamínu K, snižují srážlivost krve
- č. mrkvovité, vikvovité

# Medvídek koala

a

blahovičník manový



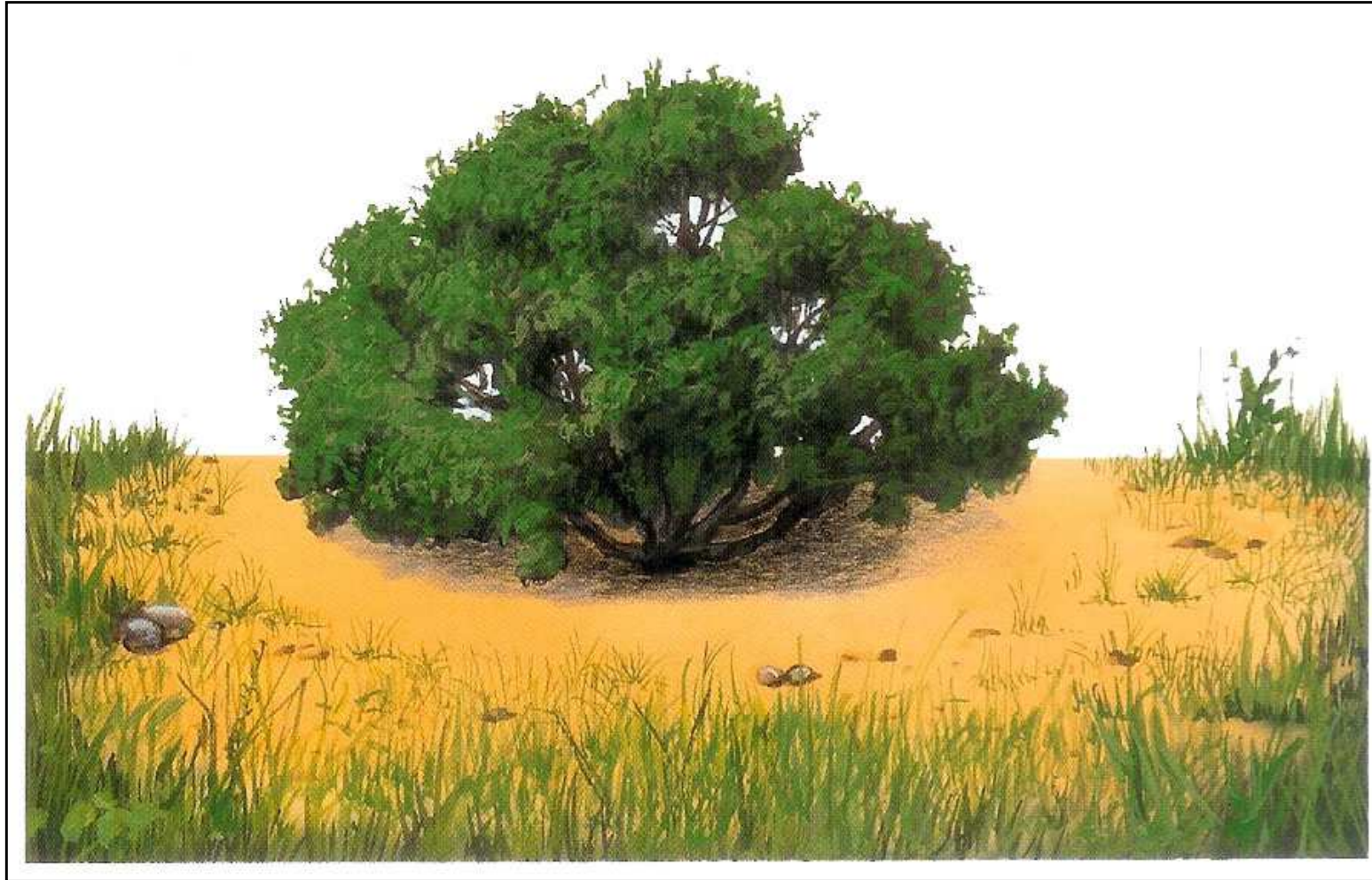
# Rostlinné toxiny x pesticidy

<b>Rostlinná látka</b>	<b>Mechanismus účinku</b>	<b>analogické pesticidy</b>
<b>pyrethriny</b>	<b>Na – kanál na axonální membráně</b>	<b>Pyrethroidy DDT</b>
<b>dikumarol</b>	<b>Antagonista vitamínu K (protisrážlivé účinky krve)</b>	<b>Warfarin</b>
<b>fysostigmin</b>	<b>Inhibitor cholinesterázy</b>	<b>Karbamátové insekticidy</b>
<b>nikotin</b>	<b>Nikotinový receptor pro acetylcholin</b>	<b>Neonikotinové insekticidy</b>



# **ALELOPATIE**

# Alelopatie

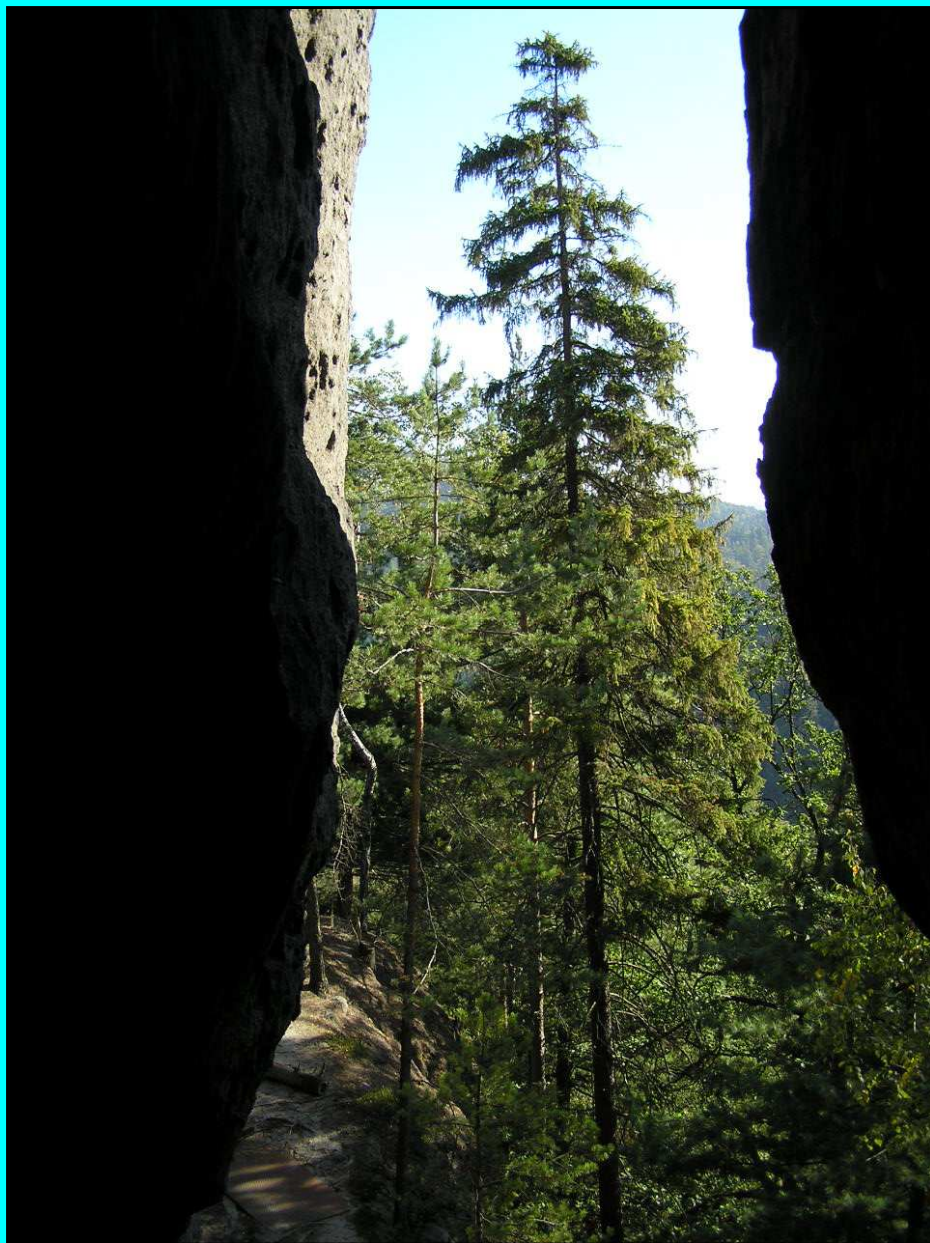


**dub (*Quercus coccifera*)**



**BOROVICE VEJMUTOVKA**

# BOROVICE VEJMUTOVKA



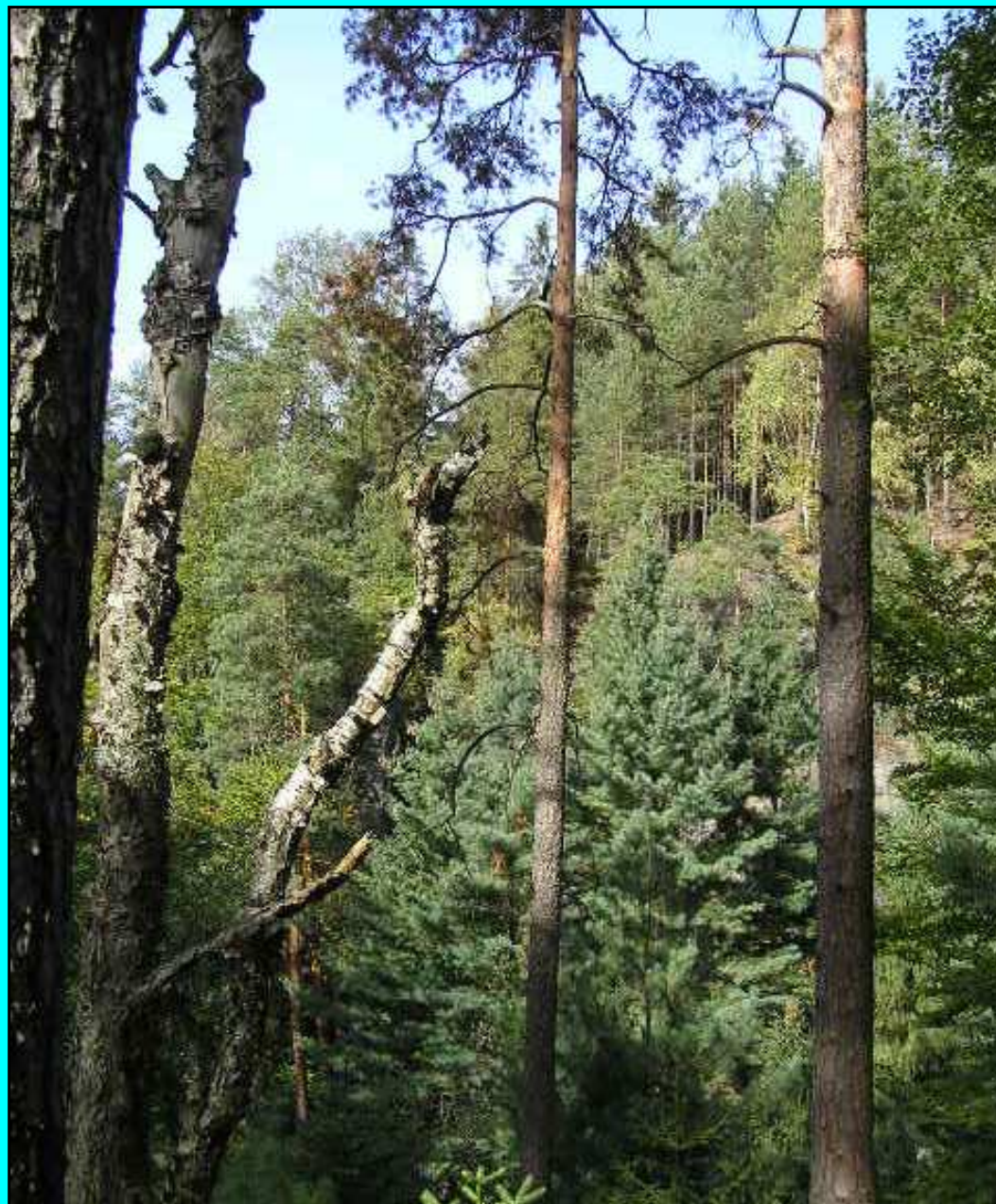
**Národní park České Švýcarsko**

# BOROVICE VEJMUTOVKA



- **latinský název**  
*Pinus strobus L.*
- **původ – východní oblast Severní Ameriky**
- **do Evropy dovezena r. 1705 – lord Weymouth**

# BOROVICE VEJMUTOVKA



**invazní dřevina, vytlačuje borovici lesní**

# BOROVICE VEJMUOVKA



**kácení vejmutovky na území národního parku**

# *LÁTKY PRODUKOVANÉ ŽIVOČICHY*



# OBRANA

**Jedovaté látky :**

- **v žahavých buňkách – medúzy, mořští plži**
- **v kůži – obojživelníci – bufotoxiny, batrachotoxiny**
- **v ostnech – ryba ropušnice**
- **v mase – ryby čtverzubci (*Fugu vermicularis*) – tetrodoxin**

**Doprovázeno výraznými barevnými nebo morfologickými znaky – výstražné zbarvení**

**Chemická obrana je především tam, kde chybí rychlost pohybu (pro únik).**

# OBRANA

## Žáby č. pralesničkovité (*Dendrobatidae*)

- vysoce účinné toxiny produkované kožními žlázami
- patří k nejsilnějším živočišným jedům nebílkovinné povahy
- alkaloidy – přes 200 druhů
- působí na přenos nervového vzruchu
- používány jako šípový jed
  
- nejsilnější batrachotoxiny žab r. *Phyllobates*
- pralesnička strašná (*Phyllobates terribilis*) vyloučí až 2 mg jedu = smrtelná dávka pro 20 000 labor. myší  
pro 10 lidí

# ÚTOK

**Jedovaté látky využívány k lovu kořisti:**

- pavouci
- štíři
- hmyz (vosy, včely,...)
- hadi
- rejsci (jedovaté sliny)

# ÚTOK

**Jedovaté látky využívány k lovu kořisti:**

- pavouci
- štíři
- hmyz (vosy, včely,...)
- hadi
- rejsci (jedovaté sliny)

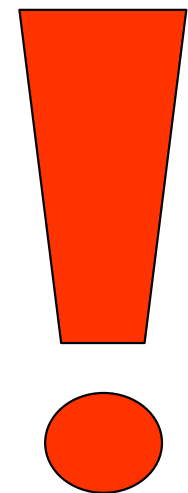
**Většina jedů na ochromení a usmrcení kořisti jsou neurotoxiny.**

**Nervová soustava je dobrým cílem pro chemické zbraně.**

**Rovněž většina komerčních insekticidů jsou rovněž neurotoxiny.**

# CHEMICKÝ BOJ

**Účinek všech látek vyrobených člověkem musí být vždy posuzován v kontextu dlouhé evoluční historie přirozené chemické války mezi organismy na Zemi.**



**Případová studie**  
**TOXAFEN A BAVLNA**

**BAVLNA**

# TOXAFEN A BAVLNA

## **Bavlník (r. *Gossypium*)**

- patří mezi dvouděložné rostliny, čeleď bombakovitých
- a má více než 60 druhů.
- pěstují se především 3 druhy a jejich kříženci:
  - bavlník barbádoský (*Gossypium barbadense*) - nejkvalitnější
  - bavlník srstnatý (*G. hirsutum*)
  - bavlník bylinný (*G. herbaceum*).
  
- významná průmyslová rostlina, pěstovaná v Číně a Indii již 2500 př.n.l.
- vlákna bavlny jsou ale dosti krátká – do 3 cm
- výroba byla závislá především na technologii předení
- základní přelom: 1764 Angličan James Hargreaves vynalezl dopřádací stroj (1764), nazývaný Jenny
  
- bavlnářská produkce potom sehrála velkou roli v boji USA o nezávislost a podílela se významně na vzniku USA jako světové velmoci.
- dosud patří USA k největším producentům bavlny na světě.



**TOXAFEN**

# TOXAFEN A BAVLNA

## **Aplikace pesticidů.**

- velký hospodářský význam ⇒ velká pozornost boji proti škůdcům
- hlavní škůdci housenky některých motýlů  
květopas bavlníkový – *Anthonomus grandis*,  
můra *Heliothis zea*,  
zavíječ *Sacadoes pyralis*).
- významnou roli v něm sehrál a dosud hraje insekticid toxaphene.
- byl vyvinut společností Hercules v USA v roce 1945 a stal se ihned jedním z nejrozšířenějších insekticidů. Jeho význam vzrostl po omezení používání DDT a cyklodienových přípravků.
- jeho kumulativní celosvětová spotřeba v letech 1950 až 1993 činila 1,33 miliónů tun.
- vzhledem ke své persistenci v životním prostředí byl v USA a ve většině evropských zemí zakázán od roku 1982.
- přesto stále patří k nejdůležitějším insekticidům v zemích, kde se pěstuje bavlna (až 2/3 spotřeby).

# TOXAFEN A BAVLNA

## Toxafen

- je nejasně definovanou směsí nejméně 180 chemických látek, které vznikají při výrobním procesu.
- ten spočívá v probublávání plynného chlóru technickým camphenem v prostředí tetrachlormetanu. Výsledek se používá bez dalšího čištění.
- Směs obsahuje 67 – 69 % chlóru a odpovídá empirickému vzorci  $C_{10}H_{10}Cl_8$ .
- Běžně doporučované dávky jsou 0,5 – 10,0 kg/ha.

# TOXAFEN A BAVLNA

## **Toxicita, mutagenita a karcinogenita.**

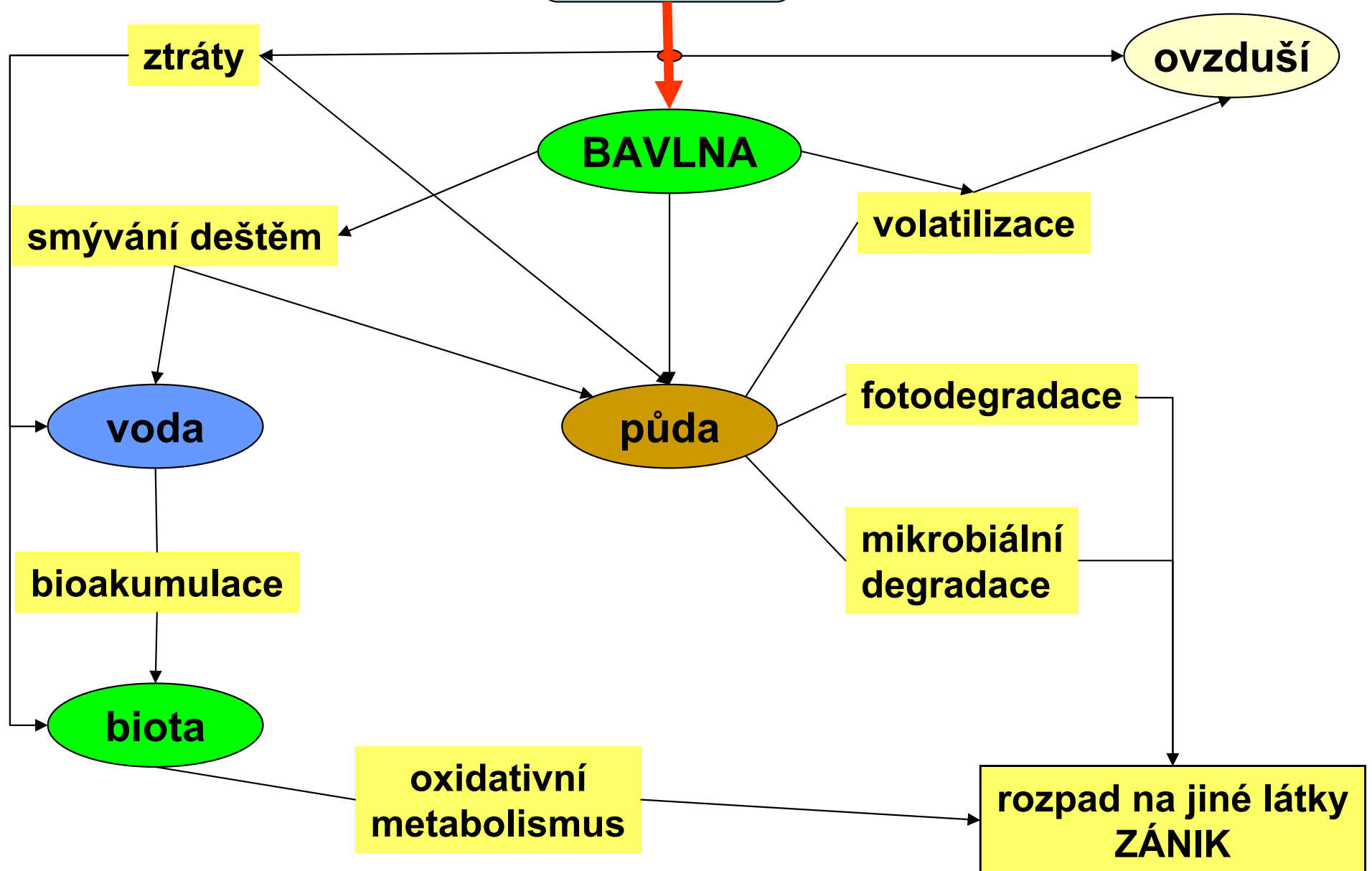
- pro savce mírně toxický,  $LD_{50}$  se pohybuje v rozmezí 20 – 200 mg/kg v závislosti na druhu.
- nejvyšší akutní toxicita byly zjištěna u mořských ryb, letální koncentrace ve vodě jsou 0,5 – 8,2  $\mu\text{g/l}$ .
- sladkovodní ryby jsou méně citlivé, ale hodnoty  $LC_{50}$  pro sladkovodní korýše jsou stejně nízké jako pro mořské ryby.
- jako i ostatní chlorované uhlovodíky je i toxaphene neurotoxin, místem účinku je interference s kyselinou gama-aminomáselnou (GABA = gamma aminobutyric acid).
- výsledky Amesova testu ukazují na mutagenní účinky.
- je považován za karcinogen, prahová dávka ingescí je pro člověka odhadována na 1,13 mg/kg/den.

# VÝSKYT V PROSTŘEDÍ

# TOXAFEN A BAVLNA

letecký postřik

TOXAFEN



# TOXAFEN A BAVLNA

## Výskyt v prostředí.

### (a) Ovzduší.

- vzhledem ke schopnosti volatilizace se je toxaphene šířen vzdušnými proudy na značné vzdálenosti od místa aplikace
- jeho residua jsou dnes detekovatelná v ekosystémech celého světa.
- nad severním Atlantikem byla zjištěna koncentrace  $0,63 \text{ ng/m}^3$   
(koncentrace DDT byla pouze  $0,024 \text{ ng/m}^3$  – poměr koncentrací těchto dvou látek přibližně odpovídal poměru jejich odpařovacích rychlostí).

# TOXAFEN A BAVLNA

## **(b) Voda a sedimenty.**

- voda je důležitou cestou šíření toxaphenu.**
- rychlost jeho degradace ve vodě je od několika dní do několika měsíců v závislosti na vstupní koncentraci, obsahu organické hmoty a množství sedimentů.**



# TOXAFEN A BAVLNA

## (c) Půda.

- residua přetrvávají v půdě roky.
  
- třemi základními mechanismy odbourávání jsou:
  - volatilizace z povrchu půdy (základní mechanismus),
  - fotodegradace zářením o vlnové délce pod 290 nm
  - mikrobiální degradace.
  
- při orbě, kdy je toxaphene transportován z povrchu půdy do větších hloubek se degradace zpomaluje.
  
- v mírném klimatu je poločas odstranění z půdy cca 10 roků.
  
- v půdě je dosti pevně vázán, není příliš pohyblivý, a tak i roky po aplikaci je cca 95 % látky vázáno v horních 25 cm půdy.

# TOXAFEN A BAVLNA

## **(d) Rostliny.**

- poločas rozpadu v listech úrody je 3 – 15 dní.
- po aplikaci v doporučených dávkách lze rezidua v koncentraci 2ppm očekávat po 30 dnech.
- poločas pro volatilizaci z listů bavlníku byl cca 15 dní.
- při leteckém postřiku se cca 25 % ztrácí do 5 dnů po aplikaci. Maximální ztráty jsou smýváním deštěm a rosou a volatilizací.
- bioakumulace byla pozorována pouze u vodních rostlin, kde biokoncentrační faktor (BCF) pohyboval v rozsahu 500 – 3000.

# TOXAFEN A BAVLNA

## (e) živočichové.

- k významné bioakumulaci dochází v potravních řetězcích vodních ekosystémů. BCF:
  - pro vodní bezobratlé je 1000 – 2000,
  - pro pstruha 10 000 – 76 000.
  
- na degradaci se u živočichů podílí oxidativní metabolismus.
  
- laboratorní experimenty s  $^{36}\text{Cl}$  - toxaphenem ukázaly, že krysy při jednorázovém požití vyloučí 50 látky až po 9 dnech.
  
- na základě pokusů s  $^{14}\text{C}$  – toxaphenem je patrné, že pouze malá část (2 %) je vyloučí po úplném rozkladu jako oxid uhličitý výdechem

# **EKOLOGICKÉ ASPEKTY**

# TOXAFEN A BAVLNA

## Ekologické aspekty.

- ❑ vzhledem k tomu, že bavlna je technickou plodinou a není určena k potravinářským účelům je při jejím pěstování používání pesticidů zcela běžnou záležitostí.
- ❑ proto zde lze také dokumentovat, některé obecné ekologické jevy jako je např. vývoj sekundárních škůdců.
- ❑ příklad ze střední Ameriky:

rok	počet škůdců	počet postřiků za rok
1950 začátek aplikace	2	4
1955	5	8 – 10
1960 – 1970	8	28

Výrazné zvýšení úrody po prvních postřicích bylo vykoupeno rozšířením spektra škůdců a nutností dalších a dalších postřiků. Je to příklad stavu, kterému se říká **pesticidové nevolnictví**.