

Organismus hostilele

# Osnova přednášky

- Úvod – obecná charakteristika
- Typy hostitelů
- Člověk jako hostitel
- Vliv organismu hostitele na parazita
- Hostitelská specificita
- Strukturální a fylogenetická specificita
- Velikost hostitele
- Hostitel jako ostrov
- Allometrie
- Hostitel jako ekologická nika
- Hostitel jako ekosystém
- Paraziti a mikrobiom

# Parazit – Hostitel - obecná charakteristika

- V biologii je **hostitel** označení pro organizmus (rostlina, živočich), který se stal domovem jinému, v něm cizopasícímu, organismu.
- **Parazit** je na svém hostiteli **metabolicky závislý**. Hostitel je parazitem v **různé míře poškozován**, většinou ale parazit **nezpůsobuje okamžité úmrtí** hostitele. V určitých případech může mít parazit na svého hostitele také **pozitivní vliv** (např. stimuluje jeho reprodukci).
- **Mezihostitel**: je organizmus, ve kterém se nacházejí infekční stádia parazitů, proběhl v něm jejich **částečný vývoj**, ale parazit u mezihostitele **nedosáhl úplné pohlavní zralosti**. Paratenický (transportní) hostitel: organizmus, který parazita přenáší, ale nedochází v něm k jeho vývoji.

# Co je to hostitel ?

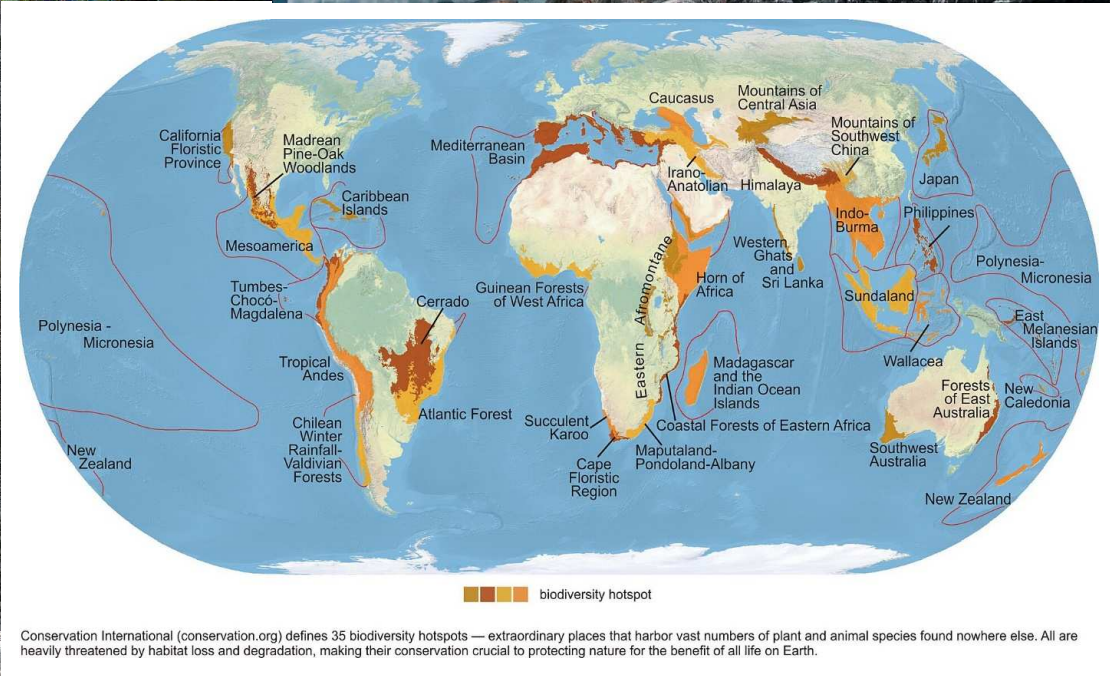
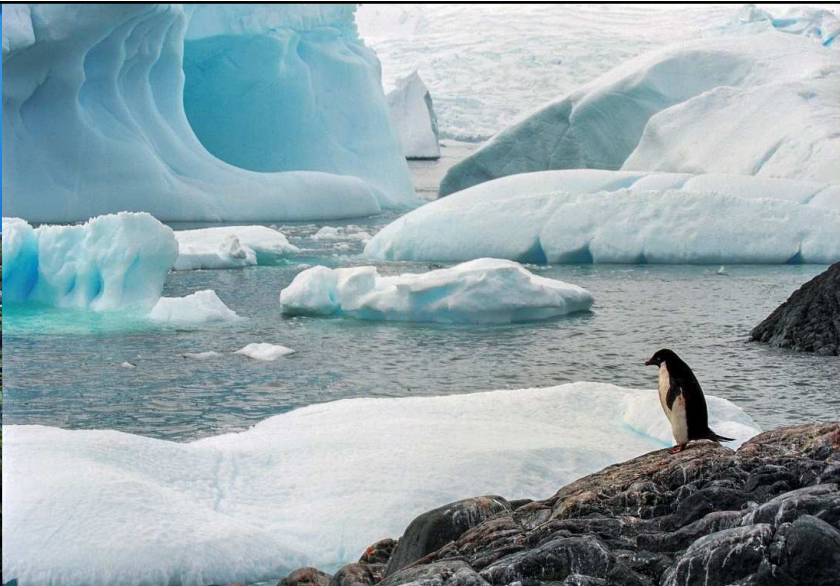
- **Definitivní hostitel** - je organismus, ve kterém parazit pohlavně dospívá a pohlavně se rozmnožuje. Pouze v tomto hostiteli existují předpoklady k dalšímu rozmnožování parazita. V něm vývojový cyklus parazita začíná i končí. U parazitů s přímým vývojem je definitivní hostitel jediným hostitelem.
- **Aberantní hostitel** - je hostitel **pro daný druh parazita netypický**. Parazit v něm žije většinou sporadicky. Infekce způsobená parazitem může probíhat u aberantního hostitele odlišně než u definitivního hostitele (např. vyšší či nižší patogenita).
- **Paratenický (rezervoárový) hostitel:**
  - Význam 1:** Organismus, jenž stojí mimo vývojový cyklus parazita. Parazit se v tomto hostiteli **nijak nevyvíjí** a v podstatě čeká na to, až se dostane do definitivního hostitele. Paratenický hostitel **usnadňuje parazitu přenos** do definitivního hostitele nebo chrání parazita před nepříznivým prostředím.
  - Význam 2:** Termín rezervoárový hostitel může být používán i jiným slova smyslu. Například „*rezervoárovým hostitelem trichinelózy ve volné přírodě je prase divoké*“. V tomto případě je **rezervoárový hostitel chápán jako organismus, v němž žije parazit, kterým se mohou nakazit jiní hostitelé**. Ve virologii a bakteriologii se v tomto smyslu užívá termín **rezervoár** (např. rezervoár viru, bakterie).

# Parazit a jeho působení na hostitele

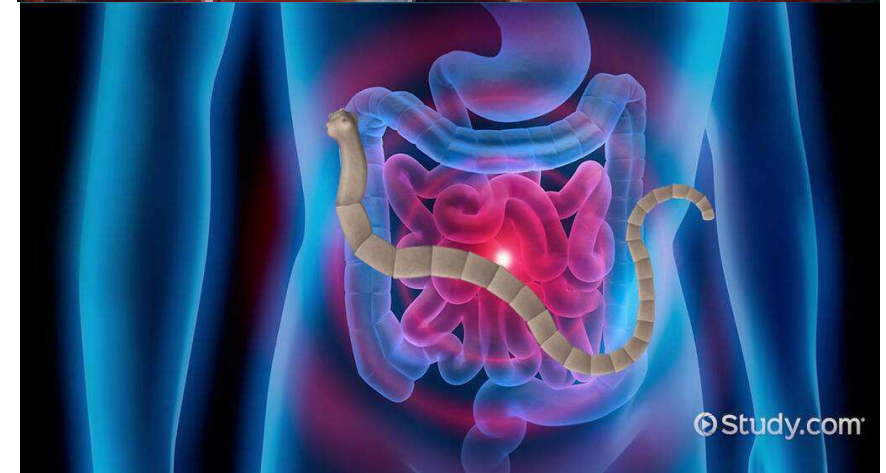
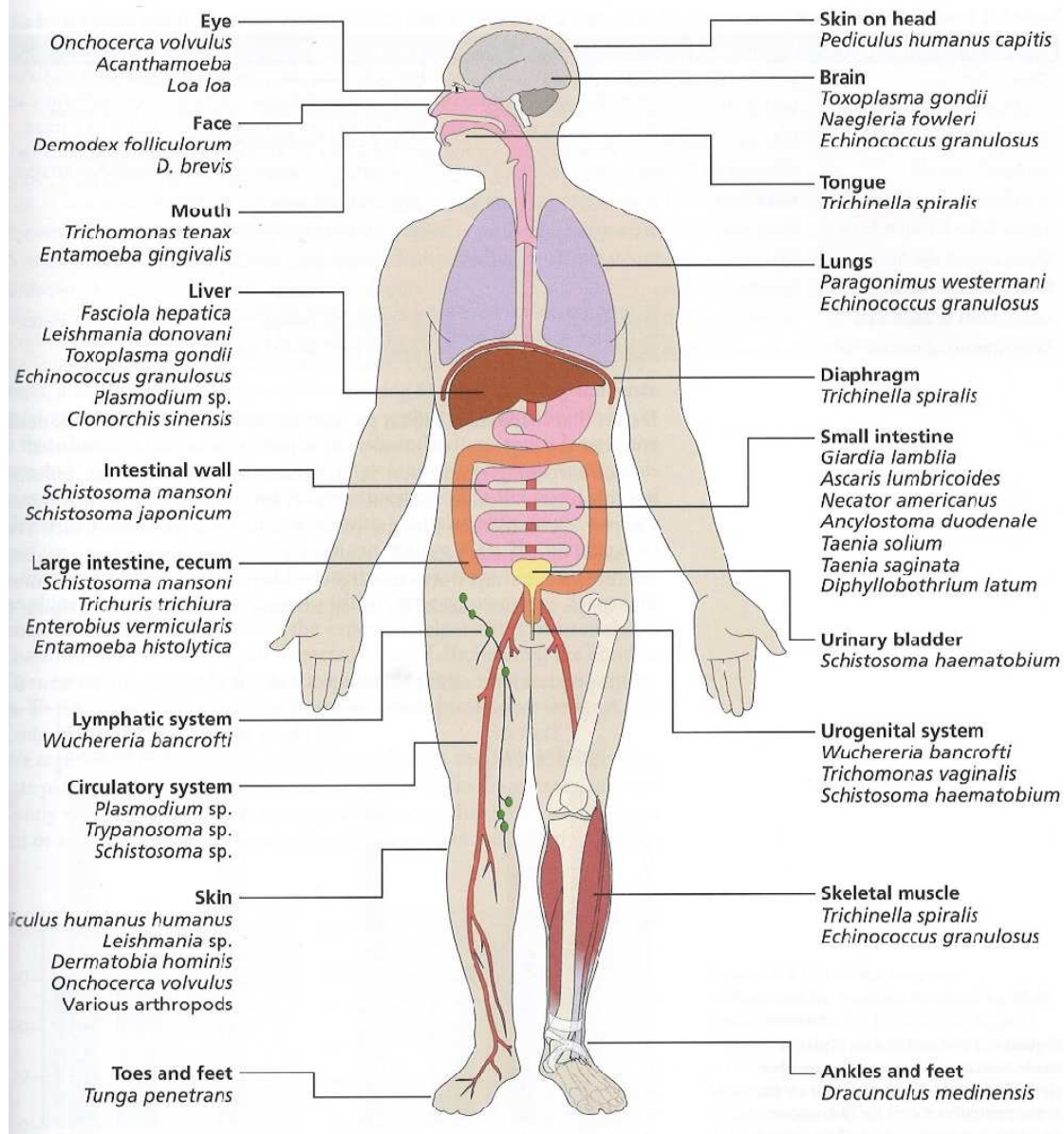
- Čím více se **parazit množí, tím více škodí** svému hostiteli a **snižuje pravděpodobnost jeho přežití**. Vazba mezi **rychlostí množení a virulencí** může mít různé důvody, např. **zvýšenou metabolickou aktivitu parazita, větší zátěž pro imunitní systém** apod., je však vždy nevyhnutelná.
- **Paraziti mohou být příčinou** anémie, potravinových alergií, kožních obtíží a ekzémů, bolestí kloubů, únavy, poruch spánku, snížené imunity, opakovaných infekcí a zánětů, trvale zvýšené tělesné teploty a dalších. **Mezi nejčastější parazity člověka** patří roup dětský, škrkavky, motolice, tasemnice a toxocara.

# Organismus hostitele jako habitat/biotop ?

- V ekologii se **habitem/biotopem** rozumí řada zdrojů, fyzikálních a biotických faktorů, které jsou přítomny v oblasti, jako je podpora přežití a reprodukce konkrétního druhu. Na stanoviště druhu lze pohlížet jako na fyzický projev jeho ekologické niky. "**Stanoviště-habitat-biotop**" je tedy **druhově specifický termín**, který se zásadně liší od pojmů, jako je prostředí nebo vegetační společenstva, pro které je vhodnější termín "**typ stanoviště**."
- **Biotop/habitat se vždy vztahuje k určitému druhu organismu** – např. biotopem mlže velevruba malířského jsou vodní nádrže a pomalu tekoucí vodní toky.
- **Synonymem pojmu habitat/biotop je stanoviště**. Podle některých autorů je však pojem stanoviště užší než biotop. Například v biotopu pomalu tekoucí vody je více stanovišť: dno, břeh apod.

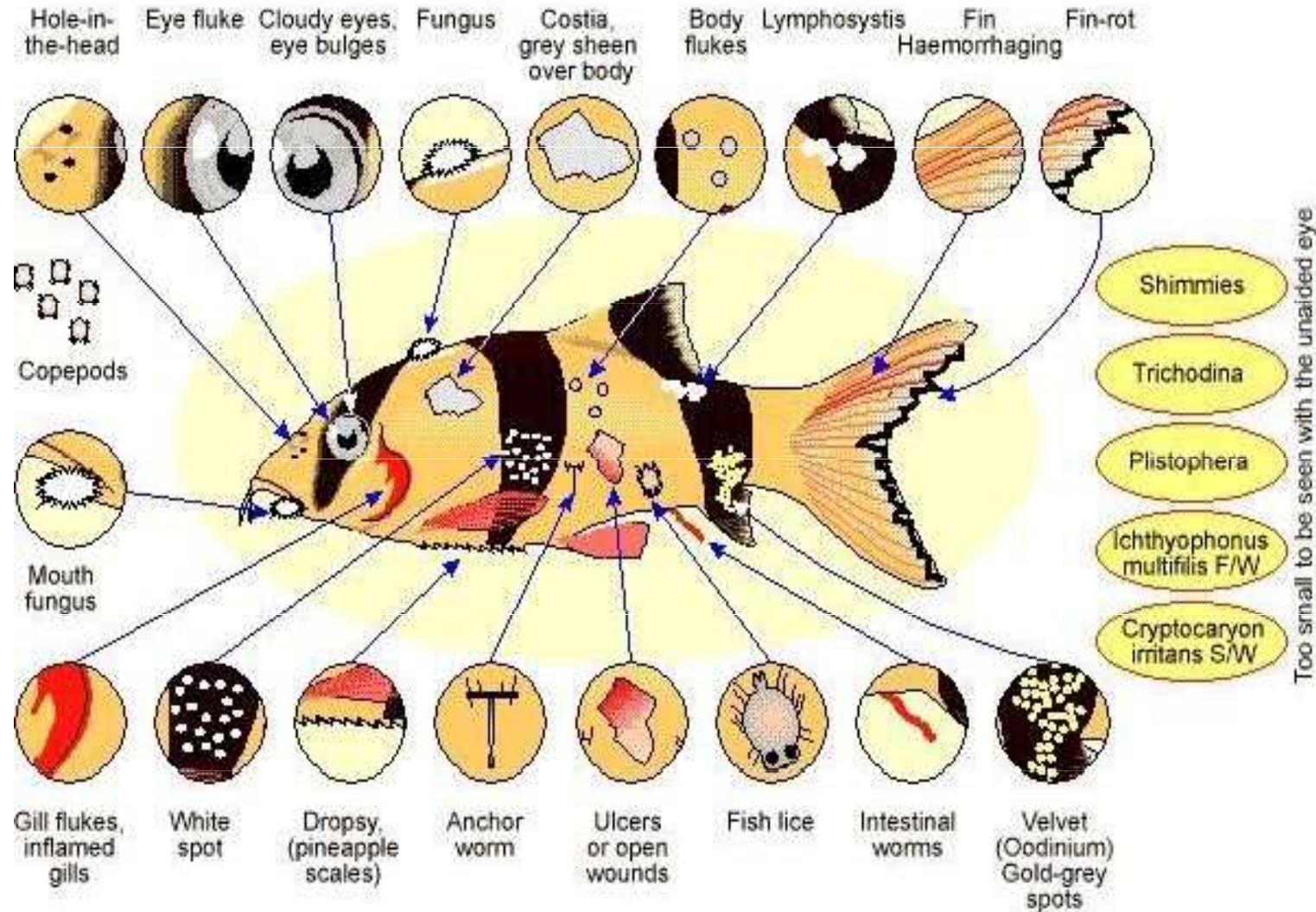


# Přehled specifických habitatů využívaných cizopasníky člověka





# Organismus ryby jako habitat



# Co poskytuje parazitovi (definitivní) hostitel ?

- Parazit v něm dosahuje pohlavní zralosti a pohlavně se rozmnožuje
- Definitivní hostitel parazitovi poskytuje:
  - **Habitat** – „ubytování“
  - **Výživu** – „stravu“
  - **Rozšiřování** – „cestování“

*„Host do domu, Bůh do domu ?“*



Definitivní hostitel parazitovi poskytuje:

- Habitat – „ubytování“
- Výživu – „stravu“
- Rozšiřování – „cestování“

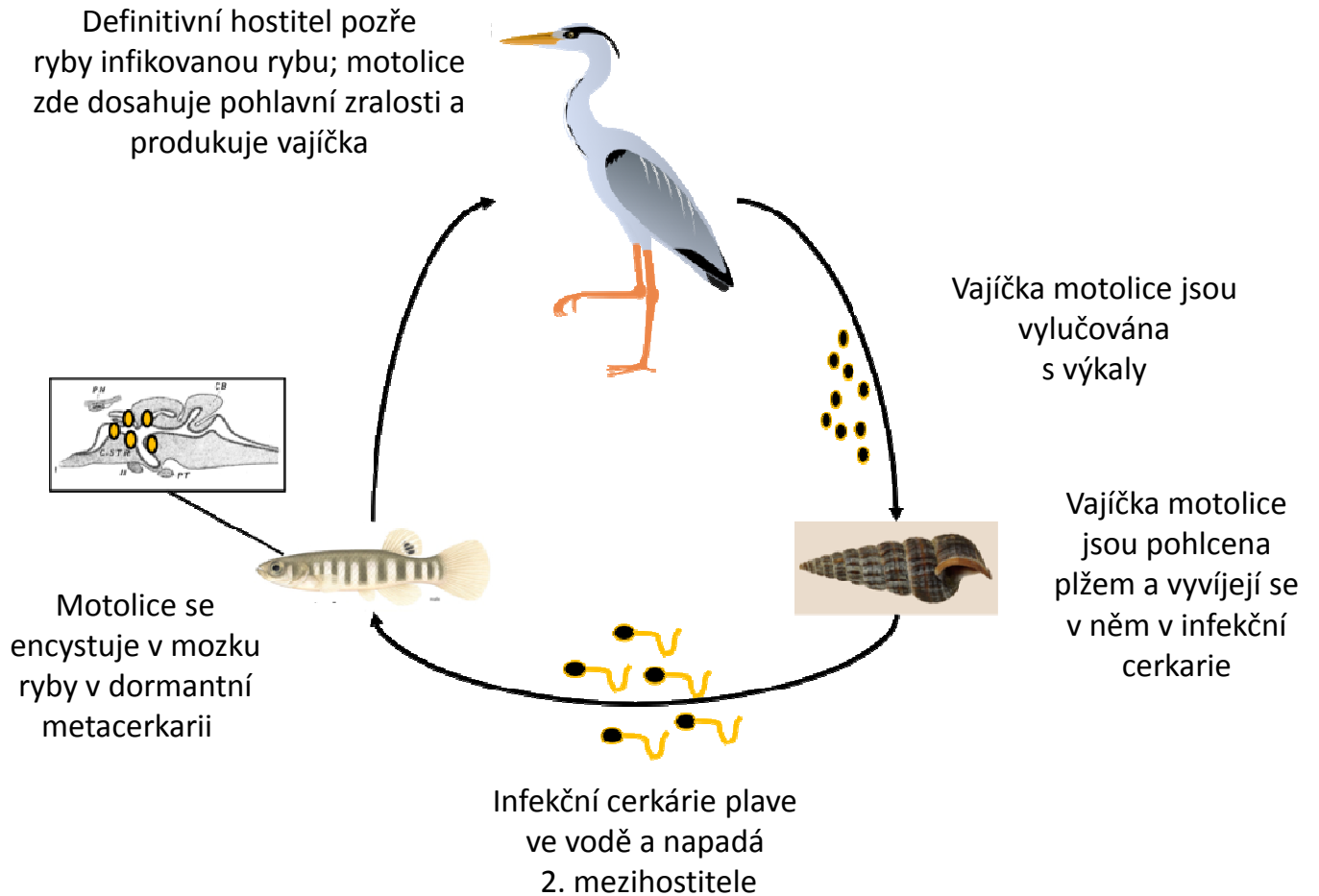
*Parasite life style*



# Typy hostitelů

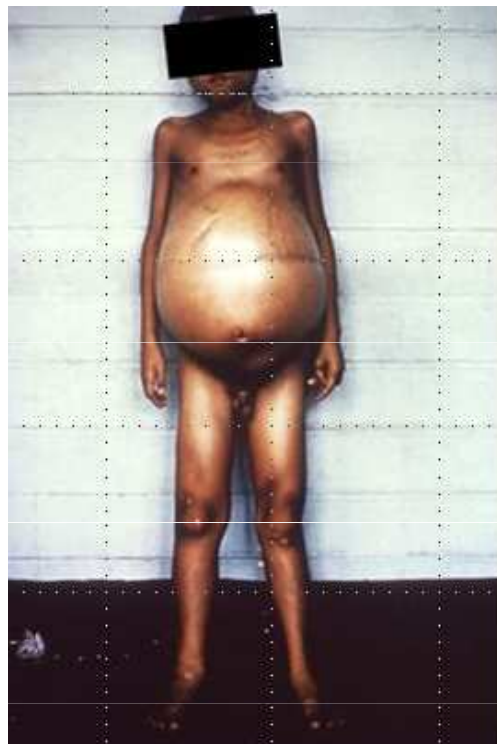
(dle úlohy, kterou v životním cyklu parazita hrají)

- 1) Definitivní hostitel
- 2) Mezihostitel
- 3) Paratenický hostitel
- 4) Rezervoárový hostitel
- 5) Náhodný hostitel
- 6) vektor



# 1) Definitivní hostitel (definitive, final host)

= hostitel, ve kterém parazit dozrává pohlavně a produkuje **vajíčka** nebo **larvy**.

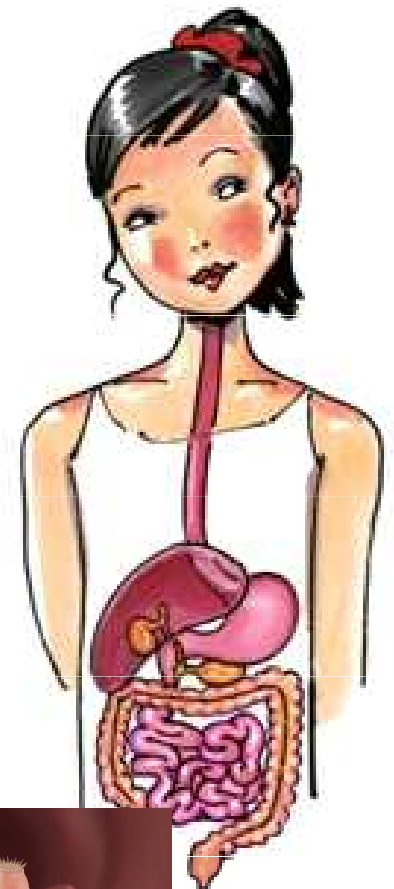


Schistosomóza – *Schistosoma mansoni*



Ascarióza – *Ascaris lumbricoides*

← Definitivní hostitel →

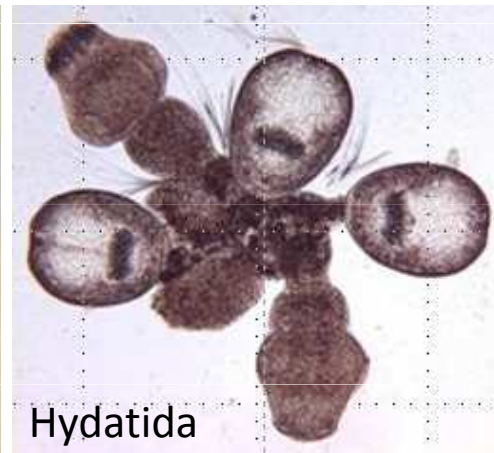


Taeniidóza – *Taenia solium*

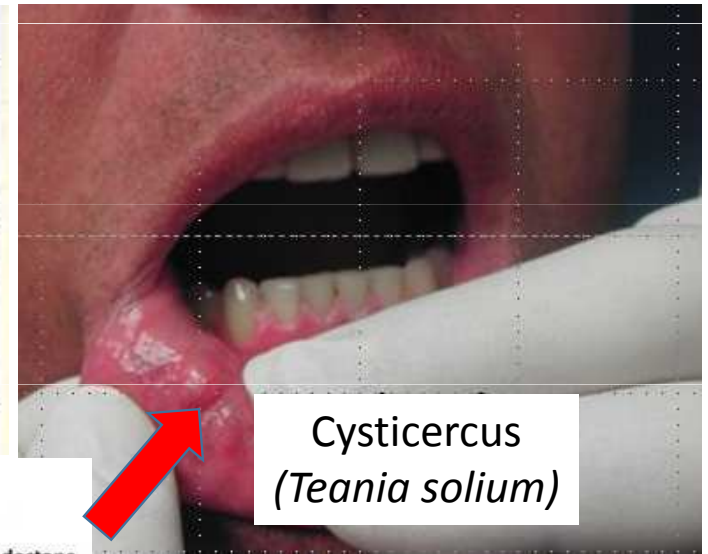
**2. Mezihostitel (intermediate host)** = hostitel (často bezobratlý, obratlovec), který je **nezbytný pro vývoj** larválních stadií parazita; parazit se zde vyvíjí do stadia invazního pro dalšího MH nebo pro DH



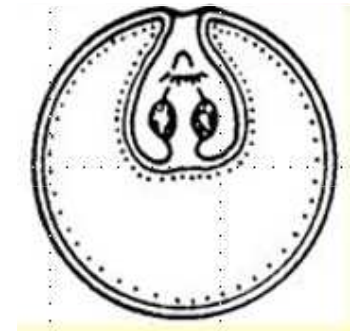
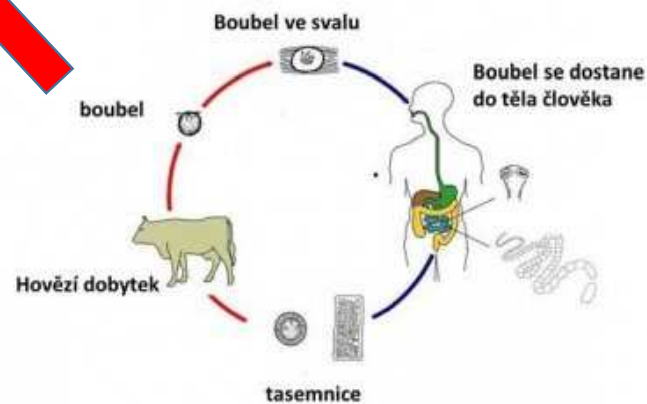
Echinokokóza, Hydatidóza  
(*Echinococcus granulosus*)



Hydatida

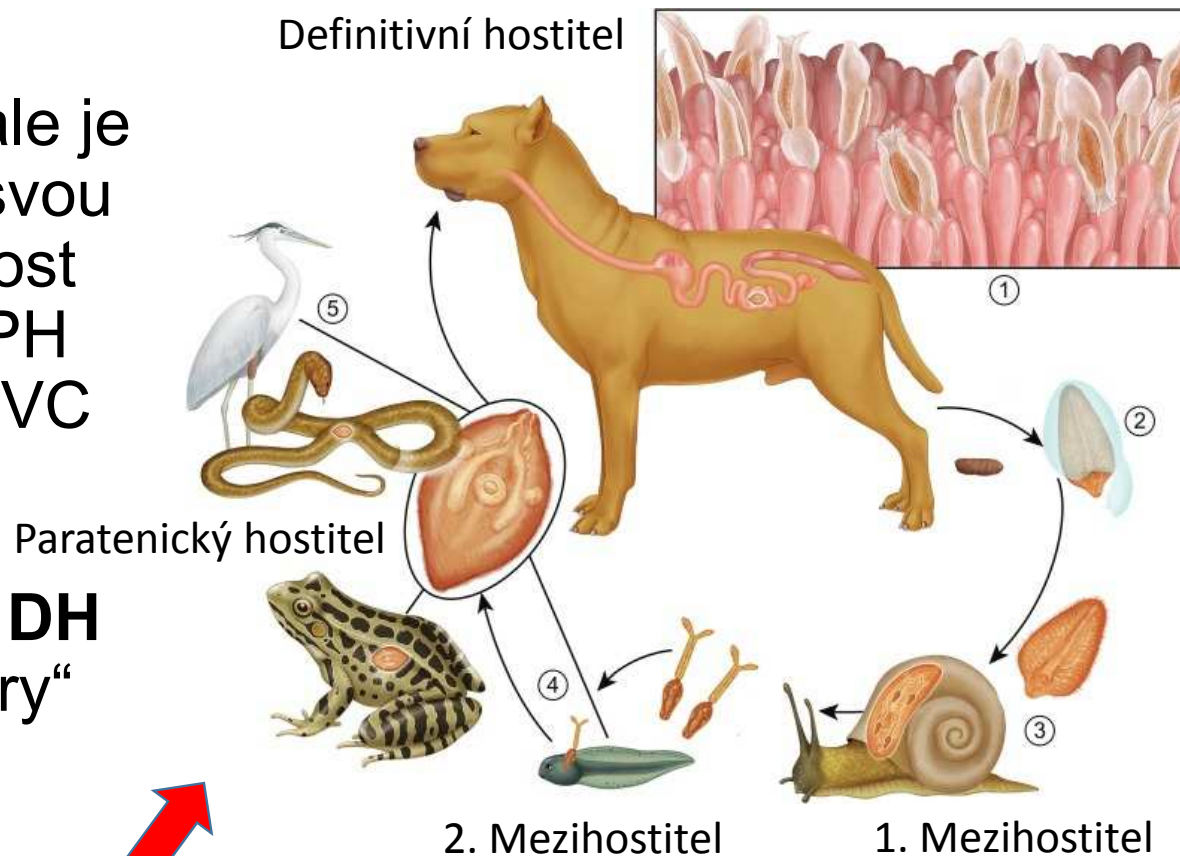


Cysticercus  
(*Teania solium*)



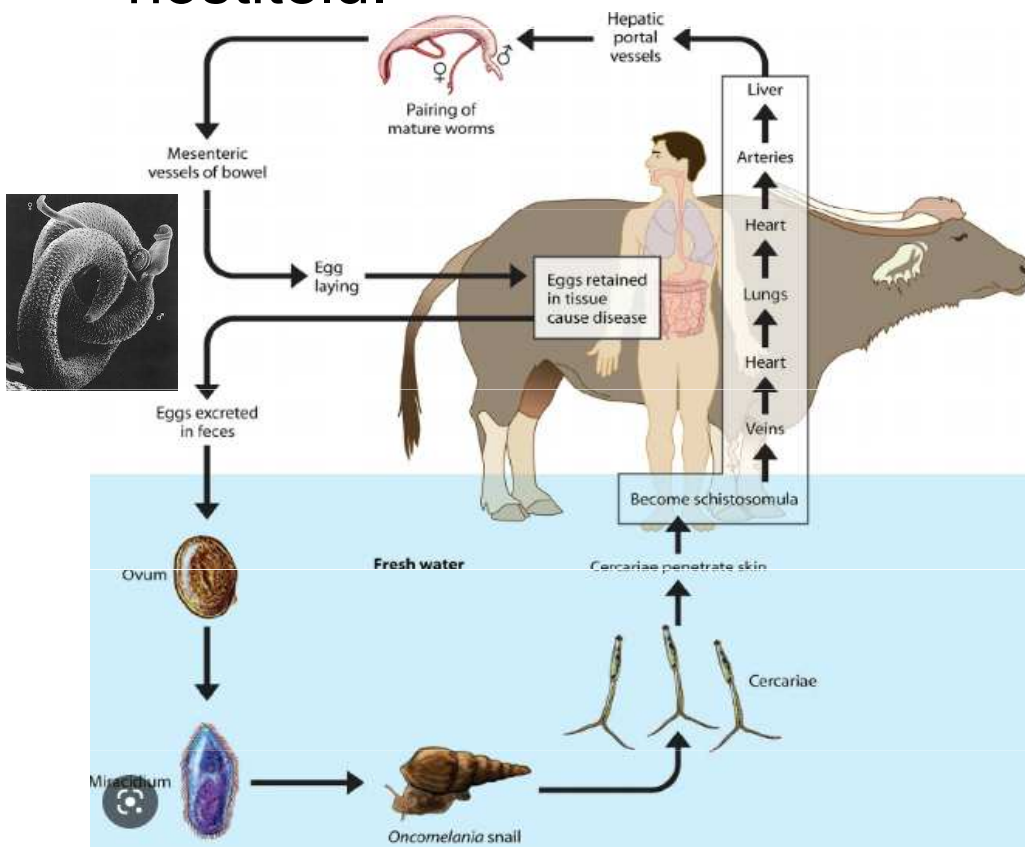
### 3. Paratenický hostitel (paratenic nebo transport host) = parazit

se v tomto hostiteli **nevyvíjí**, ale je schopen přežít a udržet si svou **invazeschopnost** (tj. schopnost nákazy DH nebo MZ). Účast PH není nezbytná pro dokončení VC parazita, ale v přirozených podmínkách PH představuje **významný zdroj nákazy pro DH** (překonání „ekologické mezery“ mezi MH a DK)

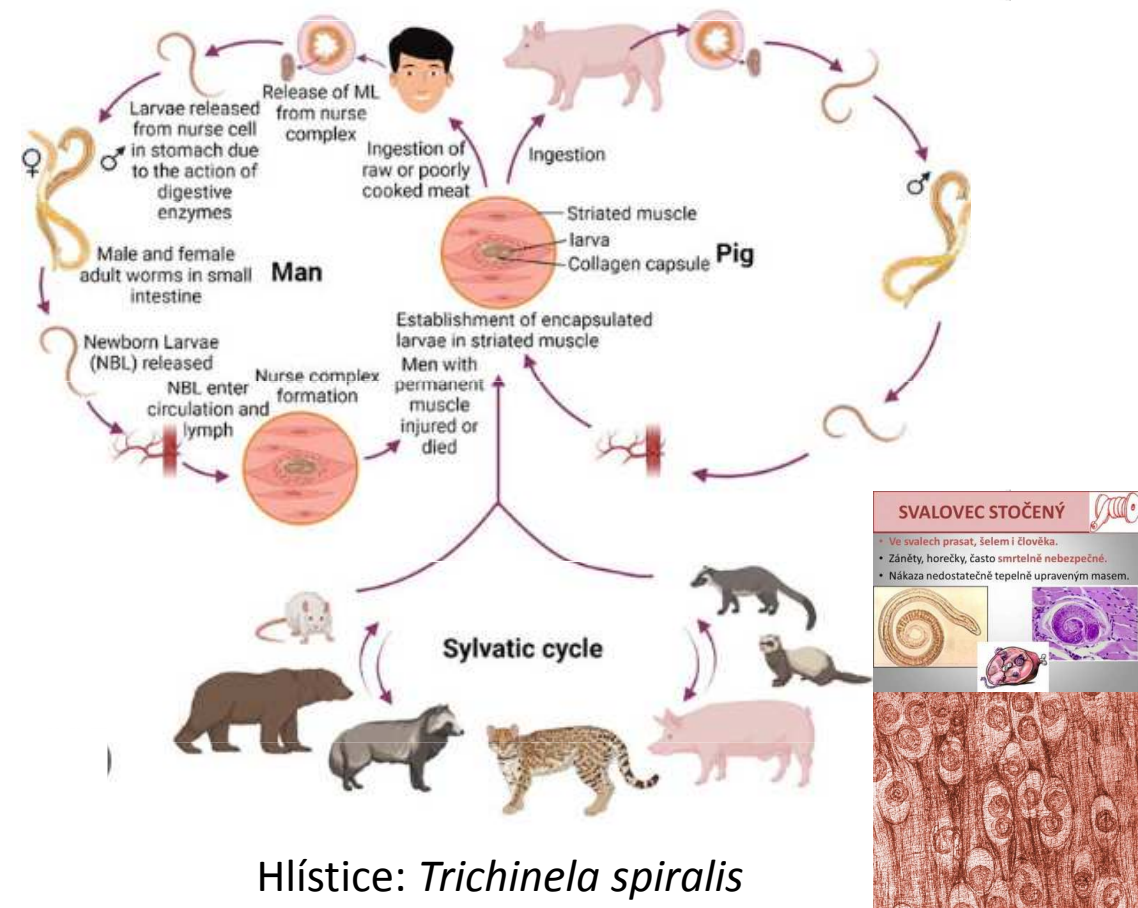


Strigeidní motolice: *Alaria canis*

**4. Rezervoárový hostitel (reservoir host) = hostitel, který představuje ZDROJ NÁKAZY** parazitem pro ekosystém a který umožňuje cizopasníkovi přežít i v podmínkách bez jiných vhodných hostitelů.



Motolice: *Schistosoma mansoni*



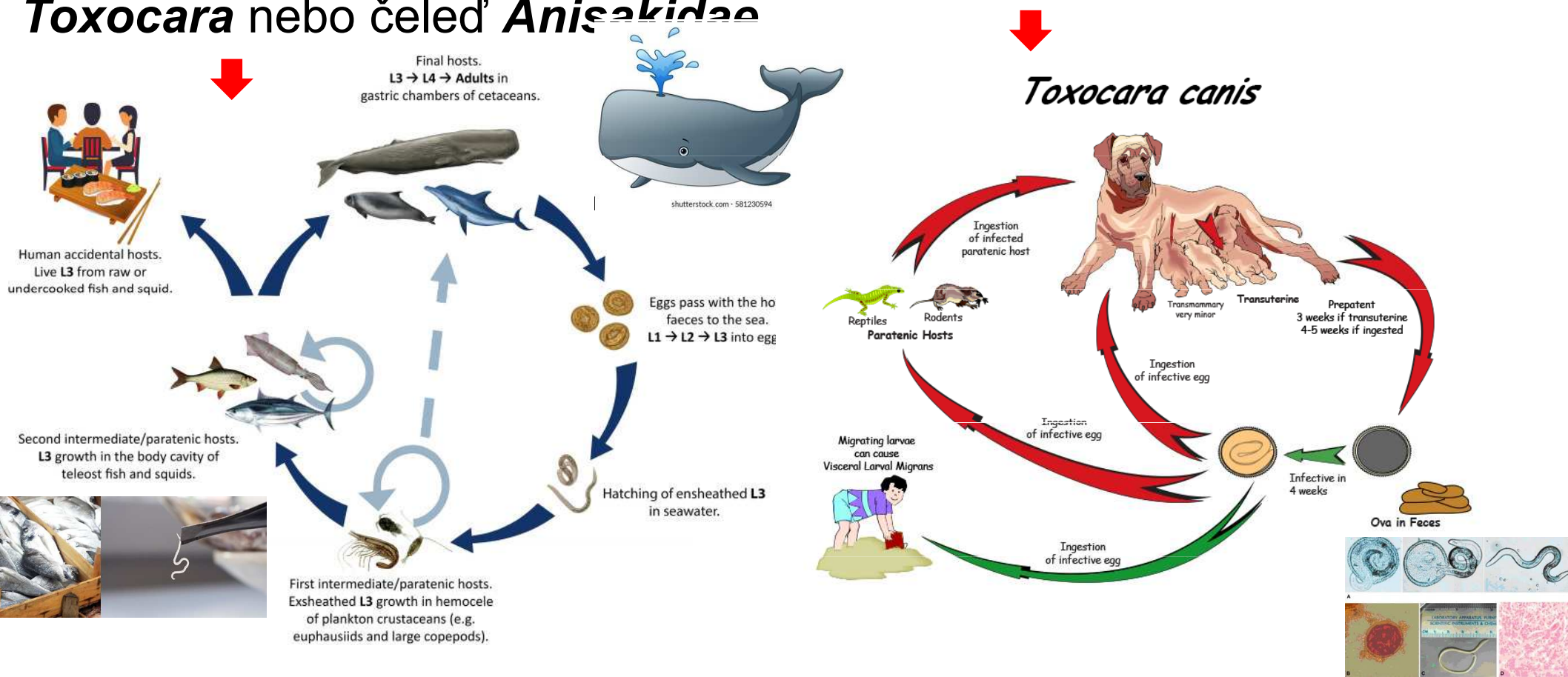
Hlístice: *Trichinella spiralis*

**SVALOVEC STOČENÝ**

- Ve svaloch prasat, šelem i člověka.
- Záněty, horečky, často smrtelně nebezpečné.
- Nákaza nedostatečně tepelně upraveným masem.

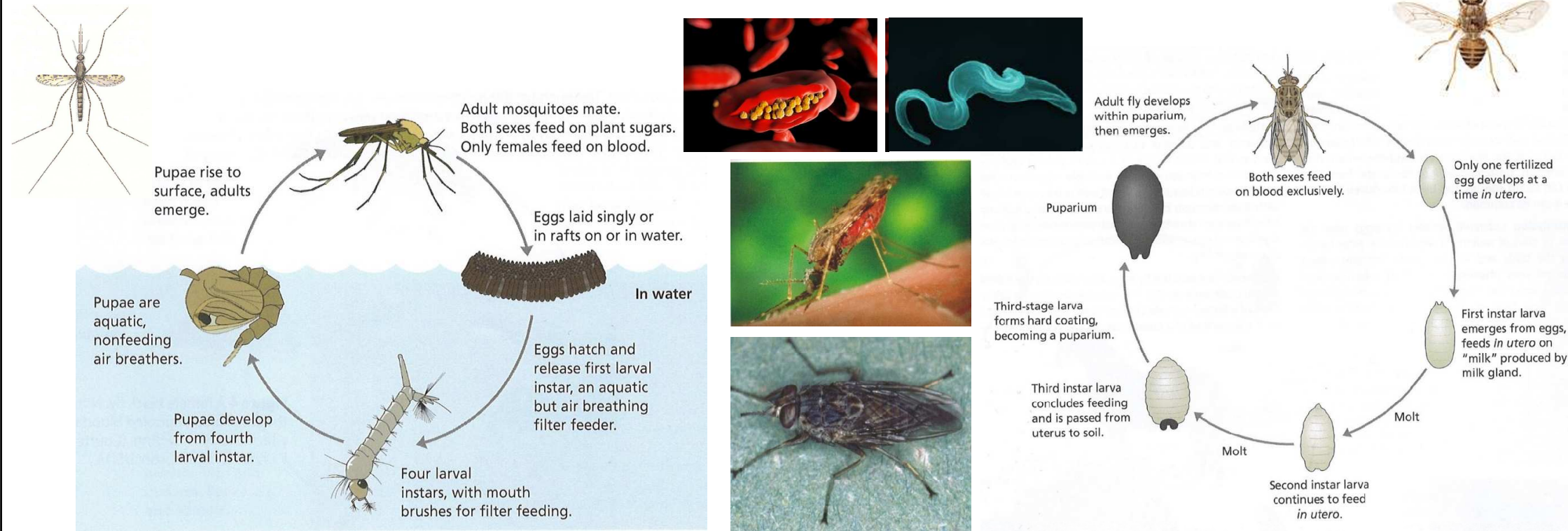


# 5. Náhodný hostitel (accidental host) = parazit dlouho nepřežívá a nevyvíjí se !!! Atypická migrace parazitů v NH – pro hostitele silně patogenní – „larva migrans“ škrkavek rodu *Toxocara* nebo čeled' *Anisakidae*

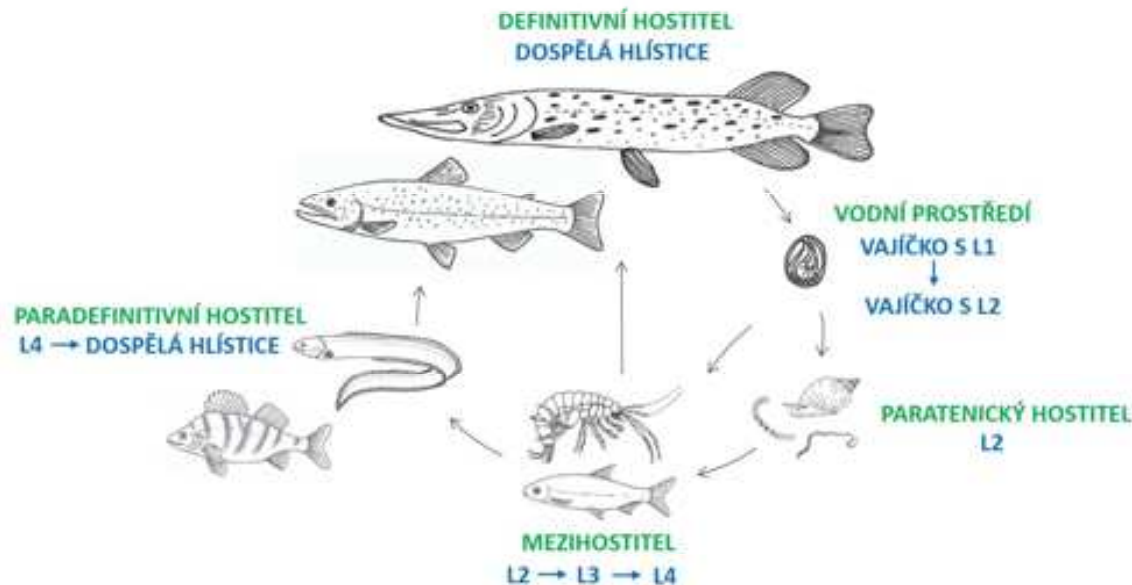


# 6. Vektor – přenašeč = hostitel sloužící k přenosu/šíření parazita

V této roli může být hostitel definitivní (komár *Anopheles* přenášejíci malarické Plasmodium) i meziphostitel (bodalka *Glossina* přenášejíci spavou nemoc – *Trypanosoma*).

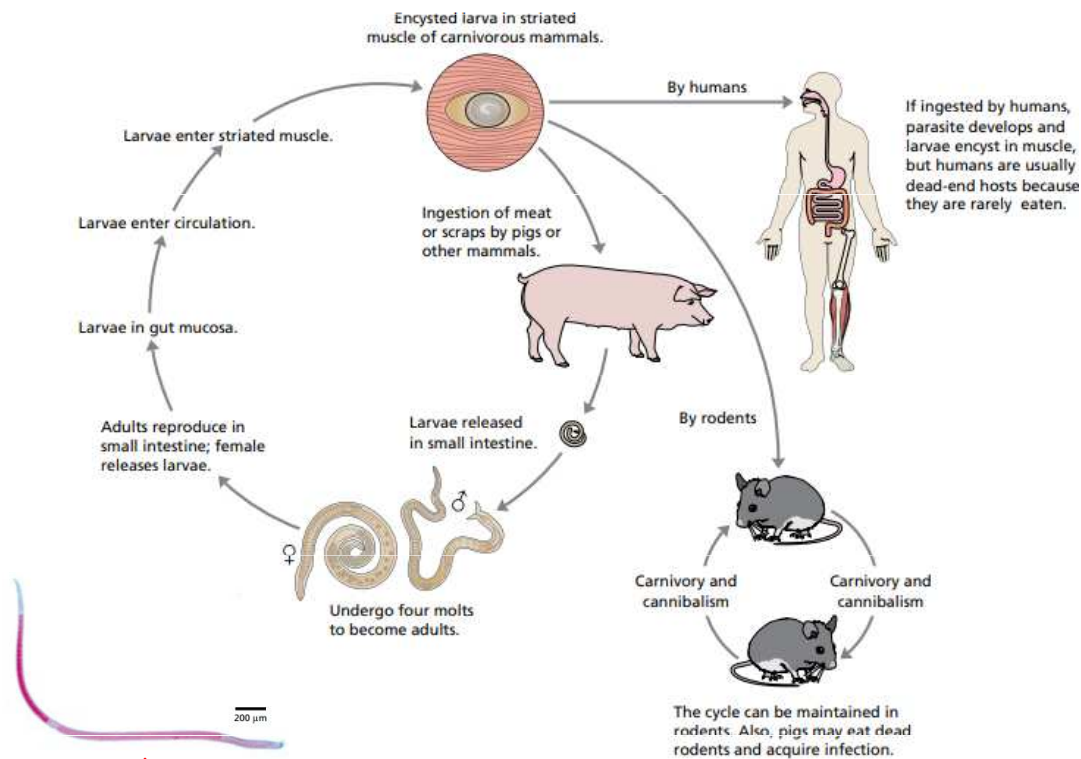


# Paradefinitivní hostitel



Vývojový cyklus rybí hlístice *Rhabdascaris acus* je nepřímý s účastí jednoho mezihostitele, kterým bývá drobná ryba, např. *Misgurnus fossilis*, *Phoxinus phoxinus*, *Squalius cephalus* nebo i jiný druh sloužící jako potrava definitivního hostitele. Jako možní mezihostitelé jsou některými autory uváděni i blešivci (*Gammaridae*). Řada druhů ryb, úhoř říční, okoun říční, candát obecný, hlavatka obecná, lipan podhorní aj. jsou uváděna jako paradefinitivní hostitel, ve kterém parazit sice pohlavně dospěje, ale není schopný produkovat vajíčka. V závislosti na teplotě ve vajíčku vzniká larva L1 a následně infekční larva L2. Po požití vajíčka mezihostitelskou rybou se ve střevě uvolní infekční larva a proniká stěnou střeva do dutiny břišní a jater, kde se opouzdří a dvakrát svléká. Takto vzniklé L4 putují do přední části jícnu. Různé druhy bezobratlých slouží jako paratenický hostitel (*Lumbriculus*, *Limnodrilus*, *Tubifex*, *Chironomidae*, *Planorbidea*, *Lymnaedidae*). Definitivní hostitel se nakazí požitím mezihostitelů nebo paradefinitivních hostitelů s infekčními larvami. V definitivním hostiteli paraziti dospívají a začínají produkovat vajíčka.

# Trichinella spiralis

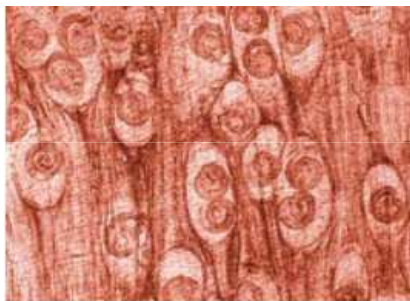


## Dead end hostitel

- *T. spiralis* napadá prasata a potkany. Sylvatický cyklus zahrnuje rovněž divoká prasata a další masožravce.
- Přenos na člověka se uskutečňuje pozřením syrového nebo tepelně nedostatečně zpracovaného masa (nejčastěji vepřového) obsahujícího encystované larvy.
- Larvy pronikají mukózou tenkého střeva, čtyřikrát se svlékají a během dvou dnů dospějí do dospělosti a množí se.
- Za 5 až 7 dnů po infekci samička vyprodukuje cca 1500 larev za cca 16 týdnů. Larvy pronikají stěnou střeva a migrují do cévní soustavy a encystují se v kosterní svalovině, kde přežívají až 40 let.
- Stejný jedinec hostitele tedy nejdříve slouží jako definitivní hostitel a později jako mezihostitel.
- Vzhledem k tomu, že se lidé běžně nepojídají je člověk považován za tzv. **dead-end hostitele**.

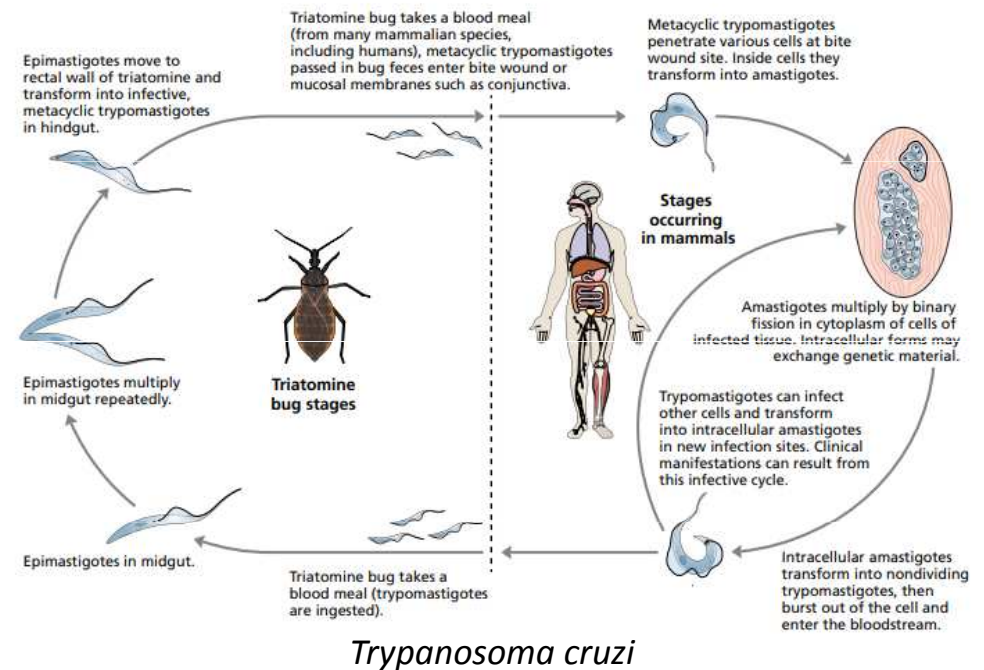
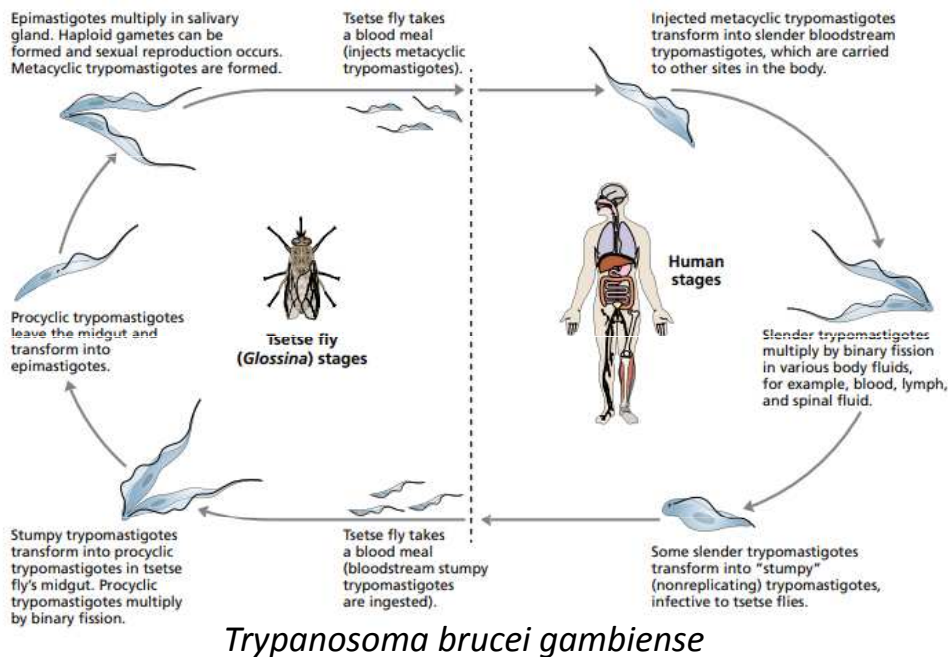
Jedinec samčího pohlaví cizopasníka

Těžká infekce encystovanými larvami



# Jen Hostitel ?

Životní cyklus bičíkovců třídy Kinetoplastida rodu *Trypanosoma* je charakteristický výskytem dvou typů hostitelů. Prvním je **obratlovec** (*T. brucei*) a případně člověkem (*T. b. gambiense*), ve kterém se cizopasníci **množí binárním dělením** (trypomastigotní stadium), tedy nepohlavně. **Druhým hostitelem je vektor-přenašeč moucha Tse-Tse** rodu *Glossina*, ve které se **parazit opět binárně množí** ve stádiu epimastigota a tedy **opět nepohlavně**. Proto je obtížně rozhodnout, kterého z hostitelů je možné považovat za definitivního. V případě americké *T. cruzi* dochází opět **v obou případech k binárnímu dělení**, avšak u obratlovce včetně člověka parazit proniká do různých buněk, kde se transformuje v amastigotní stadium, které se **sice opět binárně dělí, avšak dochází zde k výměně genetického materiálu**.

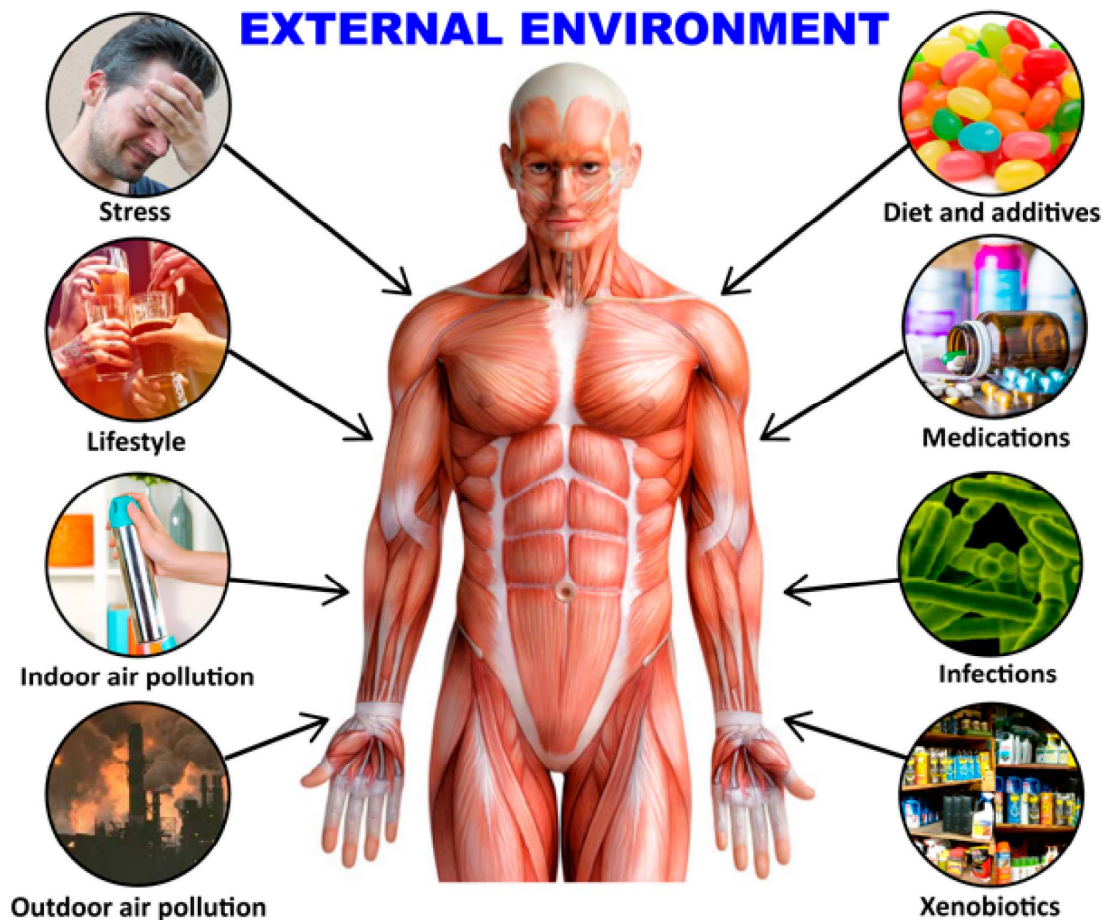


# Člověk jako habitat

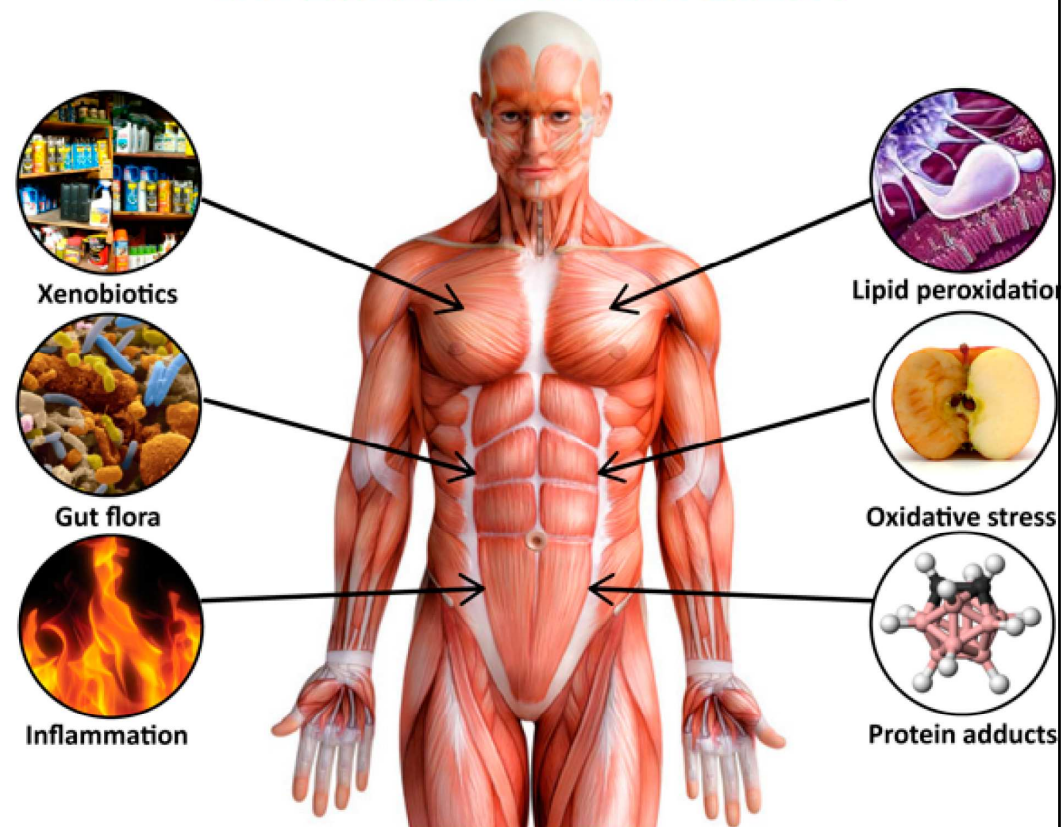


# Člověk jako hostitel Topografie potencialních habitatů/nik cizopasníků

## EXTERNAL ENVIRONMENT



## INTERNAL ENVIRONMENT



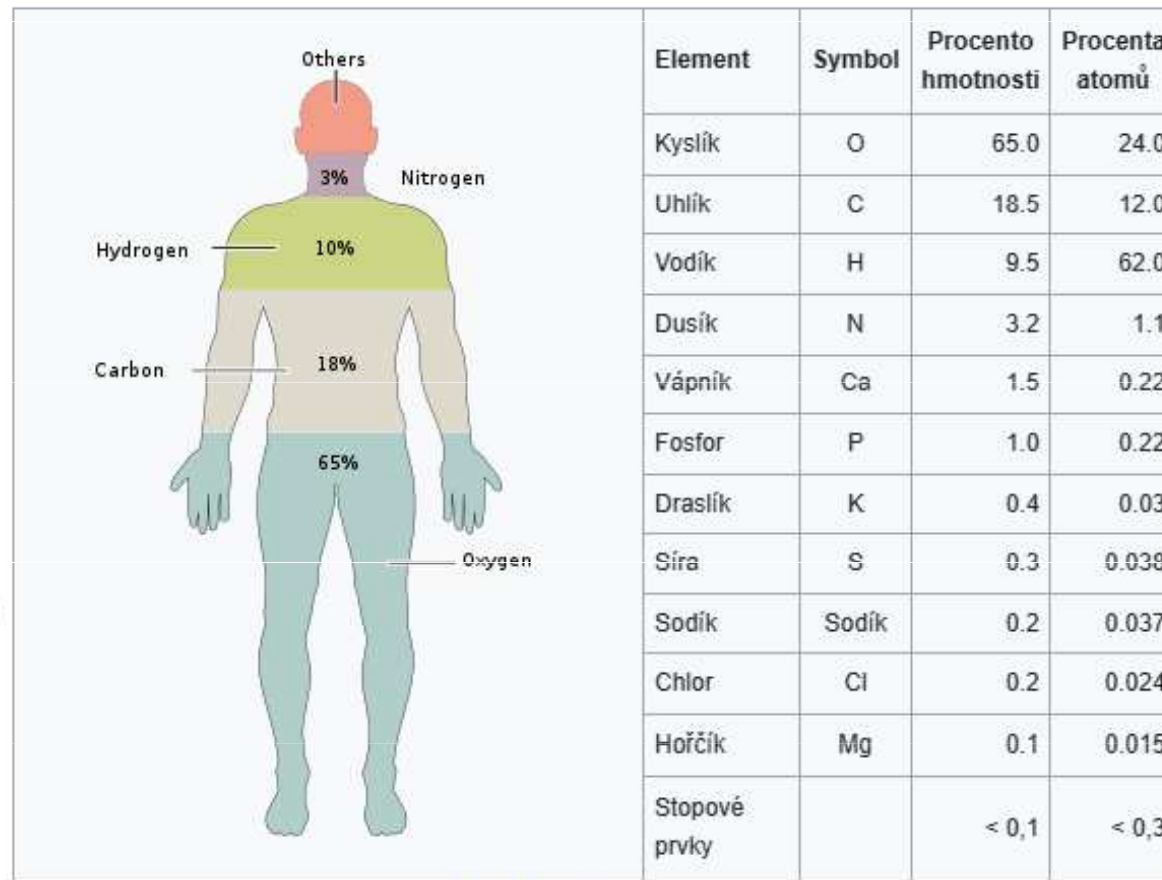
# Složení lidského těla

- Lidské tělo se skládá z prvků včetně vodíku, kyslíku, uhlíku, vápníku a fosforu. Tyto prvky sídlí v bilionech buněk a nebuněčných složkách těla.
- Tělo dospělého muže je tvořeno asi z 60 % vodou a celkový obsah vody je asi 42 litrů (9,2 imp gal; 11 US gal).
- Skládá se z asi 19 litrů (4,2 imp gal; 5,0 US gal) extracelulární tekutiny, včetně asi 3,2 litru (0,70 imp gal; 0,85 US gal) krevní plazmy a asi 8,4 litru (1,8 imp gal; 2,2 US gal) intersticiální tekutiny a asi 23 litrů (5,1 imp gal; 6,1 US gal) tekutiny uvnitř buněk.
- Obsah, kyselost a složení vody uvnitř i vně buněk je pečlivě udržováno. Hlavními elektrolyty v tělesné vodě mimo buňky jsou sodík a chlorid, zatímco v buňkách je to draslík a další fosfáty.



# Prvky lidského těla podle hmotnosti.

Stopové prvky jsou dohromady méně než 1 % (a každý méně než 0,1 %).



# Podmínky v zažívacím traktu hostitele

- Naprostý nedostatek světla
- pH: 1,5 až 8.4
- Mnoho enzymů – trávicí enzymy jsou rovněž schopny trávit a zničit parazita.
- Fyziologické, chemické a mechanické změny
- Nízká koncentrace kyslíku

# Naprostý nedostatek světla

- Nedostatek světla v těle hostitele
- To může být problém pro parazity

# Hodnoty pH

- **Ústní dutina:** pH 6,7 – 7,5
- **Žaludek:**
  - pH 1,49 – 8,38 (člověk)
  - pH 3,26 – 6,24 (myš)
  - pH 2,0 – 4,1 (dobytek)
  - pH 1,05 – 3,6 (ovce)
- **Dvanácterník:**
  - pH 6,7 (člověk) – kyselé prostředí
  - pH 8,2 – 8,9 (kočka, koza) – zásadité prostředí
- **Implikace:** ústní dutina → žaludek → dvanácterník → tenké střevo → změny v Ph

# Enzymy a problémy s chemií

Trávení potravy v různých fázích procesu od žvýkání a působení amylázy ve slinách

- po kyselém prostředí v žaludku
- po více neutrálním pH a početných amylázách, proteázách, lipázách a nukleázách působících v tenkém střevě a
- po vstřebávání vody v tlustém střevě a následná eliminace tuhých výkalů

**Chemie:** Příjem potravy různého chemického složení může být pro parazity problém.

# Hlavní trávicí enzymy

<b>Enzymy</b>	<b>Místo původu</b>	<b>Místo působení</b>	<b>Úroveň pH</b>
<b>Trávení uhlovodíku</b>			
Amyláza ve slinách	slinné žlázy	ústní dutina	neutrální
Amyláza slinivky	slinivka	tenké střevo	zásaditá
Maltóza	tenké střevo	tenké střevo	zásaditá
<b>Trávení bílkovin</b>			
Pepsin	trávicí žlázy	žaludek	kyselá
Trypsin	slinivka	tenké střevo	zásaditá
Peptidázy	tenké střevo	tenké střevo	zásaditá
<b>Trávení nukleových kyselin</b>			
Nukleáza	slinivka	tenké střevo	zásaditá
Nukleozidáza	slinivka	tenké střevo	zásaditá
<b>Trávení tuků</b>			
Lipáza	slinivka	tenké střevo	zásaditá

# Fyziologické a mechanické změny

Všechny následující změny mohou být pro parazity problém:

## Fyzikální

Změny v habitatu/hostiteli

Např. filárie – komár – člověk

## Mechanické:

- Peristaltika
- Trvalý pohyb a expanze zažívacího traktu související s trávením potravy:
  - jícnem – žaludek - tenké střevo – tlusté střevo
- Posuny potravy a vodní režim v zažívacím traktu

# Nízká koncentrace kyslíku

- Nízká koncentrace kyslíku v zažívacím traktu může být pro parazity problémem
- Nízká koncentrace kyslíku a přežívání hostitelů



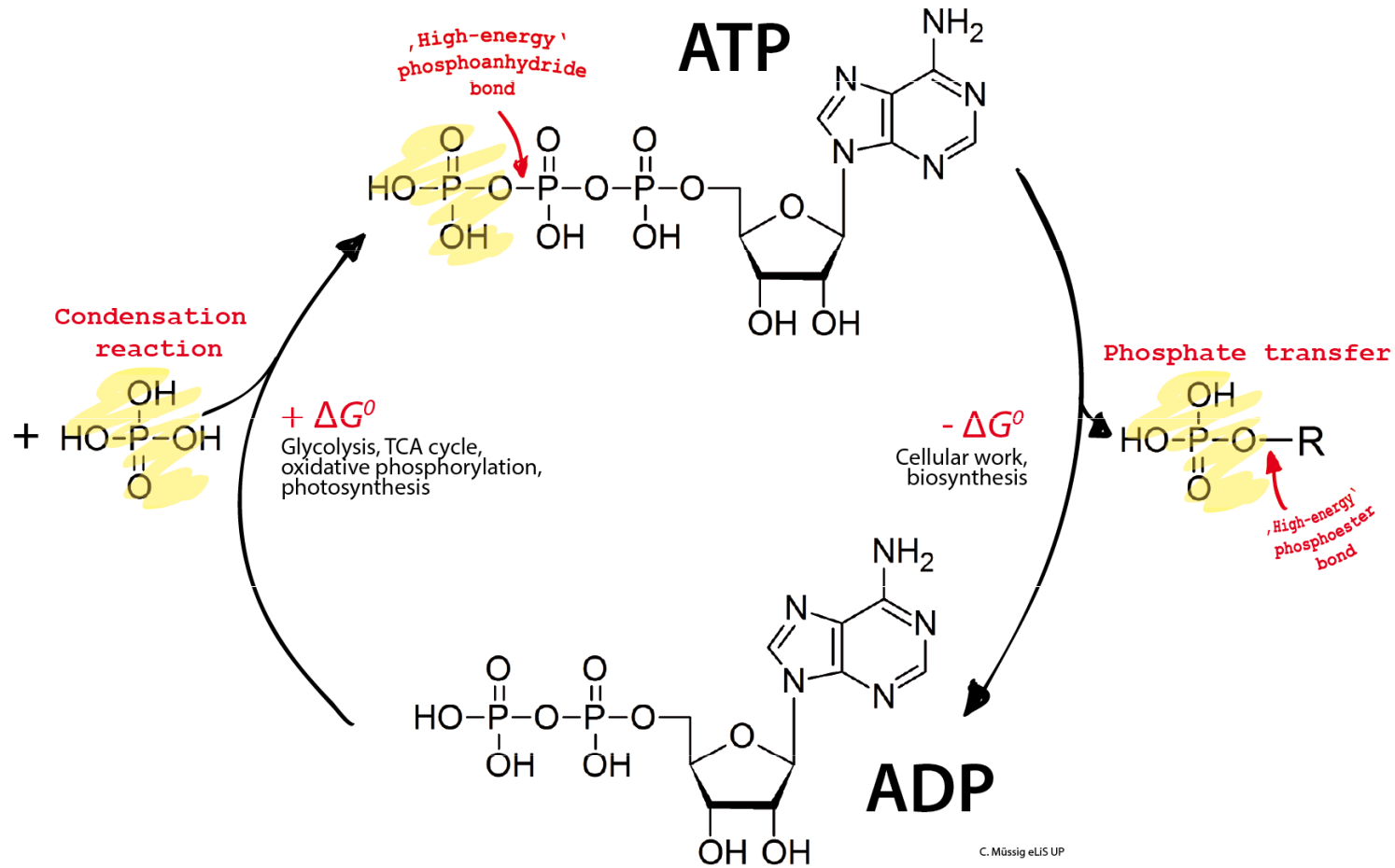
# Potřebují parazitičtí helminti kyslík ?

- Tito parazité byli dlouho považováni za anaerobní. Dostupné informace o *Ascaris* však přinejmenším naznačují, že se jedná o normální aerobní živočichy.
- Někteří zástupci žijí mnoho týdnů ve střevě, kde není prakticky žádný kyslík. Dosud není přesně známo, jak se s tím tito cizopasnici vyrovnávají.
- Předpokládáme, že paraziti mají nějakou neobvyklou cestu jak získávají chemickou energii, když koncentrace kyslíku poklesne.

# Jsou paraziti anaerobní nebo aerobní ?

- Většina parazitů **nevyužívá kyslík jim dostupný** v hostitelském organismu, ale **využívají jiný systém** než oxidativní fosforylace pro syntézu ATP.
- Navíc, všichni **paraziti mají vývojové cykly**. Ve většině případů paraziti **uplatňují aerobní metabolismus** během části jejich vývoje mimo hostitele, tedy **ve vnějším prostředí**.

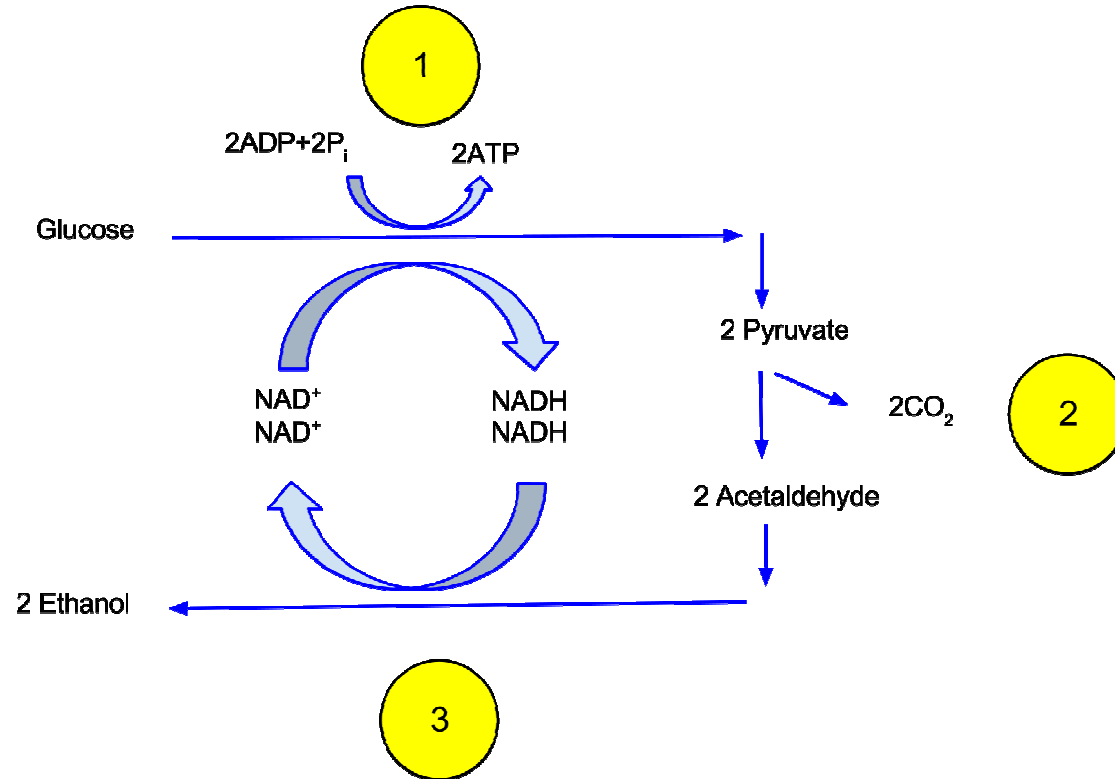
# Cyklus hydrolýzy ATP



# Příklad: Plasmodium falciparum

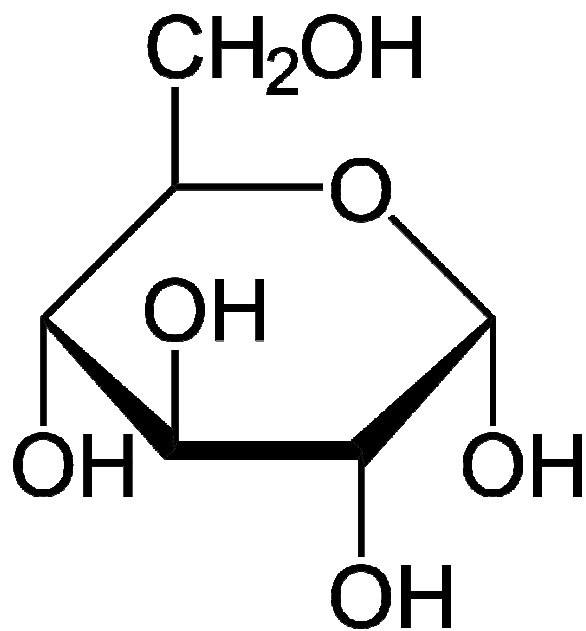
- Malárie je jedna ze smrtících nemocí na Zemi ovlivňující obrovské množství světové populace. Bylo prokázáno, že *Plasmodium falciparum* produkuje během **fáze svého vývoje v erythrocytech** energii především **anaerobní glykolýzou**, kdy je pyruvát transformován na laktát.
- *P. falciparum* vykazuje pouze zcela minimální spotřebu kyslíku cca 5% O<sub>2</sub> a je **inhibováno v růstu při normální atmosférické koncentraci kyslíku**. To velice silně podporuje tvrzení, že krevní stádia *P. falciparum* využívají fermentace glukózy na krytí svých energetických potřeb.

# Schéma glykolýzy glukózy

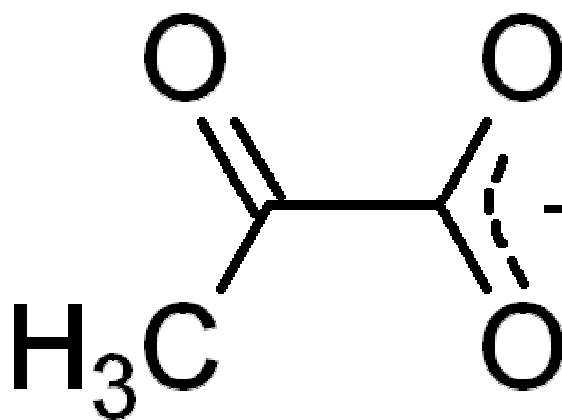


(1) Molekula glukózy se rozkládá glykolýzou za vzniku dvou molekul pyruvátu. Energie uvolněná těmito exotermickými reakcemi se používá k fosforylaci dvou molekul ADP, čímž se získají dvě molekuly ATP, a k redukci dvou molekul NAD<sup>+</sup> na NADH. (2) Dvě molekuly pyruvátu se rozloží, čímž se získají dvě molekuly acetaldehydu a uvolní se dvě molekuly oxidu uhličitého. (3) Dvě molekuly NADH redukují dvě molekuly acetaldehydu na dvě molekuly ethanolu; tím se NADH převede zpět na NAD<sup>+</sup>.

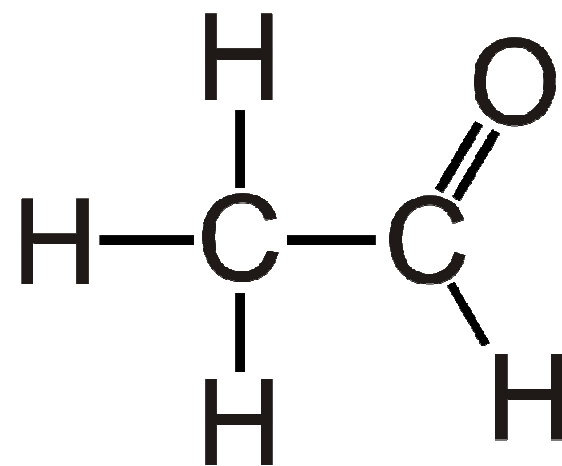
## Srovnání molekul



Glukóza



Pyruvát

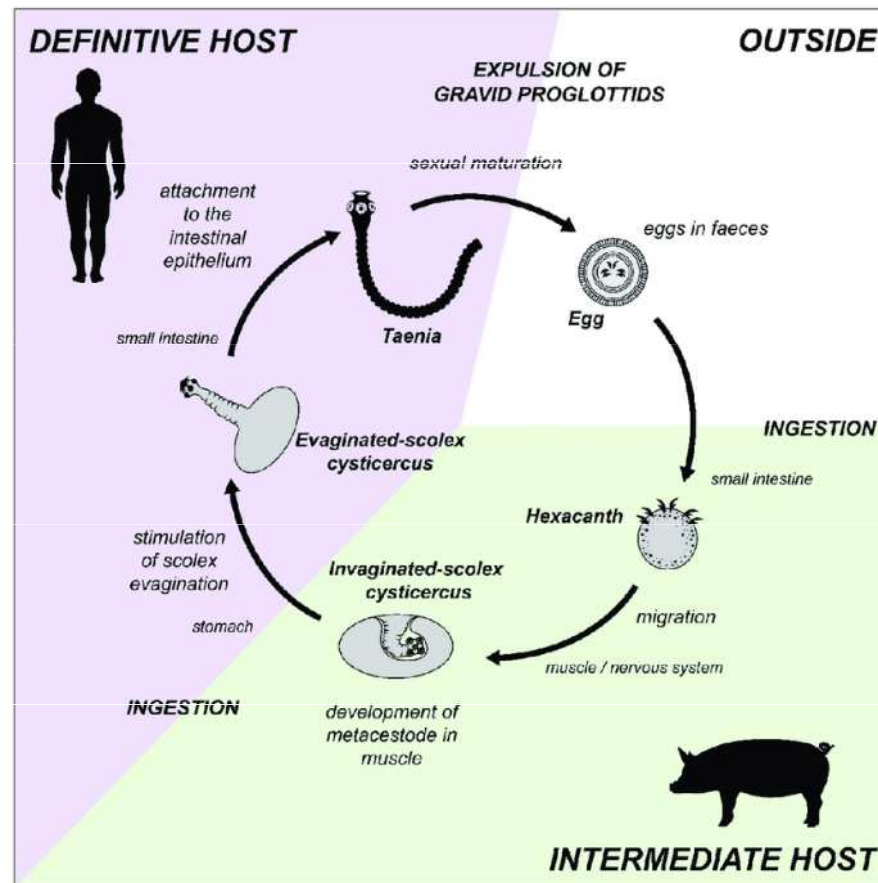


Acetaldehyd

# Jak parazitičtí helminti využívají a přežívají kyslík a metabolity kyslíku

- **Kyslík může být parazity využíván k výrobě energie a oxidačnímu katabolismu a anabolismu.** Kyslík však může **být také toxický** a některé metabolity se sníženým obsahem kyslíku, jako je  $H_2O_2$ ,  $OH\cdot$ ,  $O\cdot_2$  a výsledné **halogenidové radikály mohou být vysoce toxické.**
- Tyto látky mohou být **produkovány samotným parazitem nebo jako vedlejší produkty metabolismu hostitele** a mohou být **použity jako potenciálně smrtící efektorový mechanismus stimulovanými imunitními buňkami hostitele.**
- **Parazitičtí helminti žijí v různých biotopech hostitele, často na různých místech během vývoje a dospělosti. Paraziti mohou stimulovat imunologické reakce hostitele.** Tyto reakce se mohou lišit a měnit stanoviště parazita, pokud jde o dostupnost kyslíku a jeho metabolitů.
- **Parazitičtí helminti proto musí mít určitou schopnost reagovat na různé tenze kyslíku a koncentrace metabolitů kyslíku spojené se změnami jejich prostředí v důsledku vývoje a reakcí hostitele.**

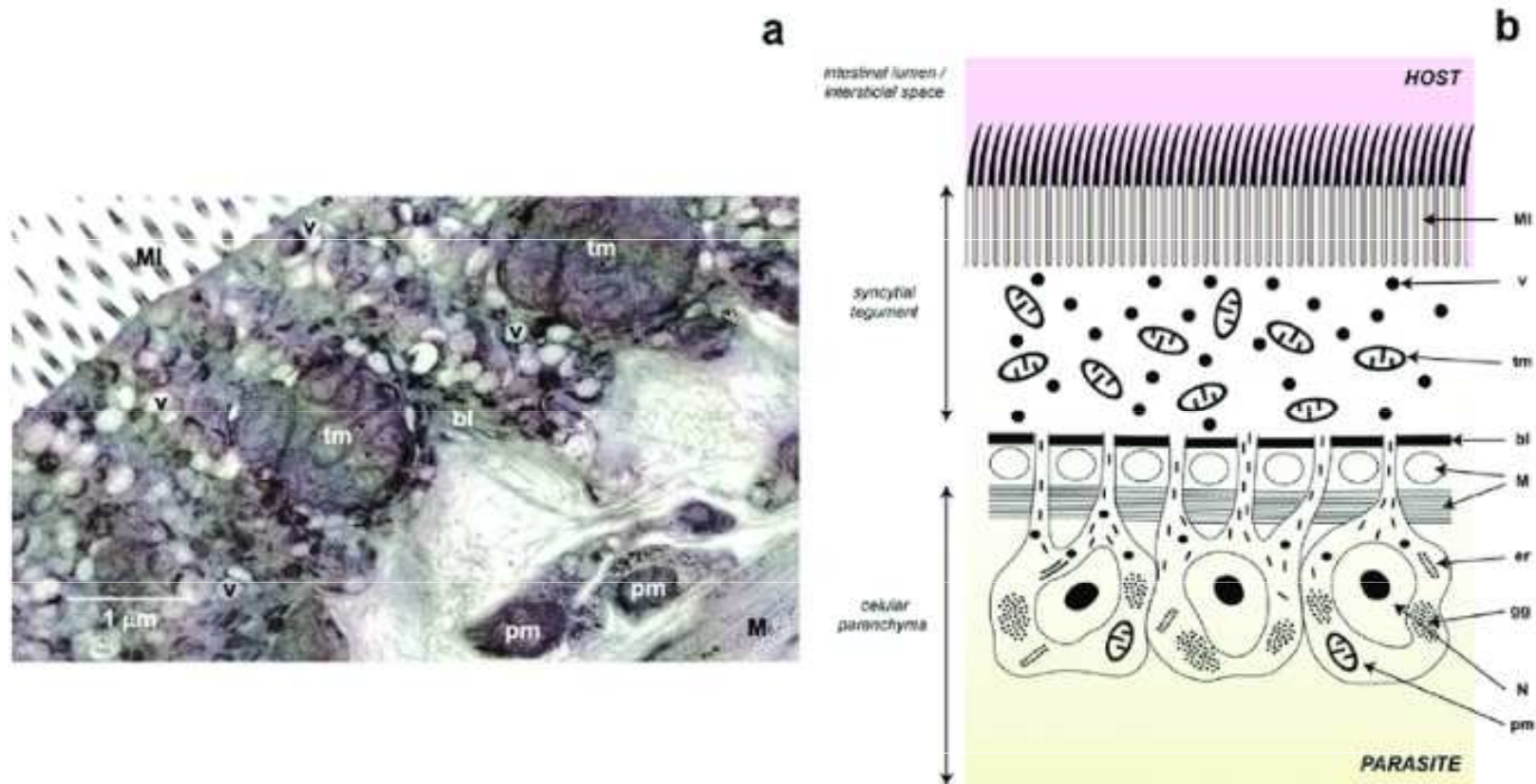
# Životní cyklus *Taenia solium*



**Životní cyklus *Taenia solium*.** Jsou znázorněna stádia parazita a jeho migrace vnitřkem jeho meziphostitele (např. prase, zeleně) a jeho definitivního hostitele (např. člověka, ve fialové barvě).



# Tegument tasemnic



**Tegument tasemnic.** Panel (a) představuje fotografii tegumentu *Taenia crassiceps* cysticercus získanou transmisní elektronovou mikroskopií. Panel (b) je schematické znázornění tegumentu tasemnic. Zkratky: bl, bazální lamina; er, endoplazmatické retikulum; gg, glykogenové granule; M, sval; MI, mikrotriche; N, jádro; PM, parenchymální mitochondrie (anaerobní mitochondrie); TM, tegumentální mitochondrie (aerobní mitochondrie); v, vezikuly.

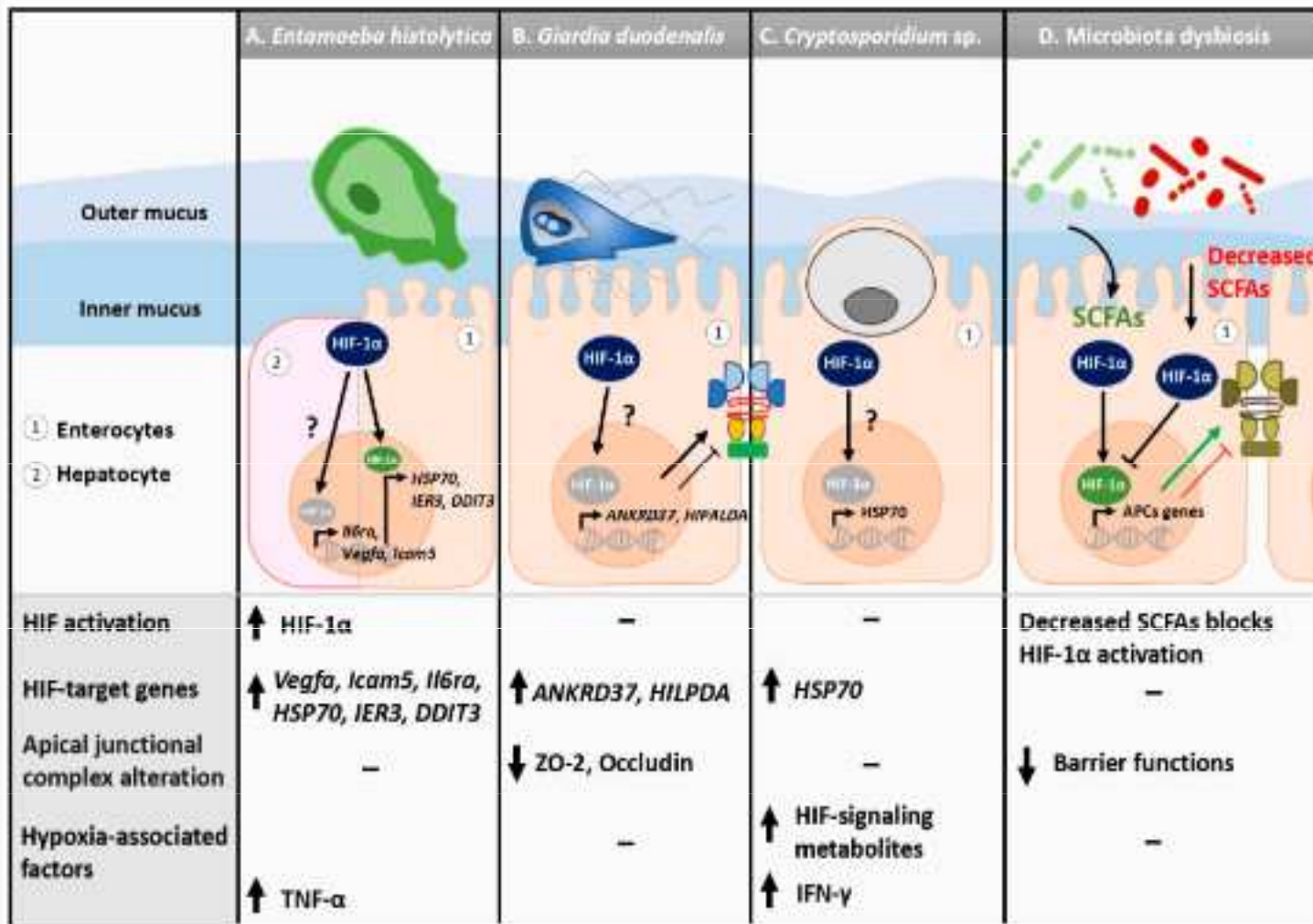
# Koncentrace kyslíku během životního cyklu *Taenia solium*

Specie	Biologic Form	Host	Localization in Host	Oxygen Concentration		References
				pO <sub>2</sub>	mmHg	
<i>T. solium</i>	Egg	Environment	NA	21.1	160	[33]
	Oncosphera	Pig	Duodenum	5.9	45	[34]
			Blood capillaries *	5.3–13.2	40–100	[33]
			Muscle	4.9	37.5	[34]
	Cysticerci	Pig	Brain	3.9	30	[34]
			Duodenum **	7.9	60	[35]
	Taenia	Pig	Ileum **	1.3	10	[35]
			Cecum **	0	0	[35]
			Muscle (in rest)	3.6–3.9	27–30	[36]
	Cysticerci	Human	Brain (grey matter)	2.1–5.3	16–40	[36]
			Brain (white matter)	3.2–4.4	24–33	[36]

## Regulační funkce hypoxie v interakcích mezi hostitelem a parazitem:

- **Tělesné tkáně hostitele** jsou vystaveny různým kyslíkovým gradientům a fluktuacím, a proto se mohou stát **přechodně hypoxickými**.
- **Hypoxií indukovatelný faktor (HIF)** je hlavním transkripčním regulátorem buněčné hypoxické odpovědi a je schopen modulovat **(1) buněčný metabolismus, (2) imunitní odpovědi, (3) integritu epiteliální bariéry a (4) lokální mikrobiotu**.
- **O úloze aktivace HIF** v souvislosti s parazitárními infekcemi prvoků je však **známo jen málo**. Stále více důkazů **naznačuje, že tkáňoví a krevní prvoci mohou aktivovat HIF** a následné HIF cílové geny v hostiteli, **což pomáhá nebo brání jejich patogenitě**.
- Ve střevě jsou **střevní prvoci (Giardia adaptováni na strmé podélné a radiální gradienty kyslíku**, aby dokončili svůj životní cyklus, ale role HIF během těchto infekcí prvoků zůstává nejasná.

# Změny slizniční exprese HIF-1 $\alpha$ a signalizace související s hypoxií během střevních prvků a dysbiózy mikrobioty

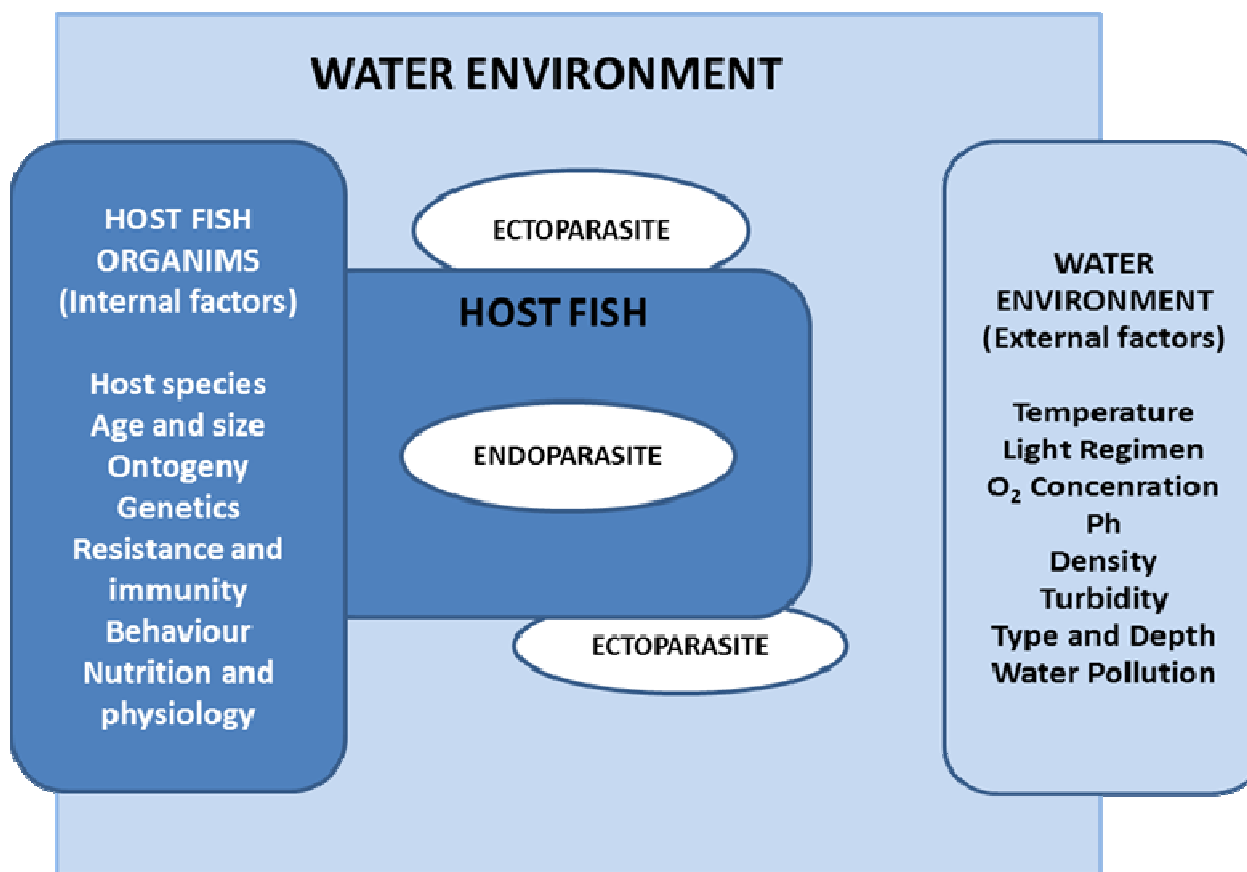


- A) Myší hepatocyty vykazují zvýšené hladiny HIF-asociovaných genů *Icam1* a *Il6ra* v reakci na infekci *Entamoeba histolytica*. Lidské střevní xenoštěpy transplantované myším SCID vykazují zvýšenou expresi několika genů souvisejících s hypoxií, včetně *HSP70*, *IER3*, *DDIT3* a *HIF-1 $\alpha$* , při infekci *E. histolytica*.
- B) (B) *Giardia duodenalis* (WB) je spojena se zvýšenou expresí cílových genů HIF *ANKRD37*, *HILPDA*, *NOS2*, *GADD45A*, *HIG2*, *ITF*, *MIR210HG* a *SLC2A3*. Exprese těsně se spojujících proteinů ZO-2 a okludin snižuje při infekci *Giardia* v anaerobních podmínkách.
- C) (C) Infekce *Cryptosporidium muris* je spojena se zvýšenými signálními metabolity asociovanými s HIF-1 ve stolici. Hypoxií indukovaný protein tepelného šoku 70 (*HSP70*) je zvýšen v reakci na *Cryptosporidium parvum*.
- D) (D) Dysbióza mikrobioty může vést ke snížení sekrece mastných kyselin s krátkým řetězcem (SCFA), snížení aktivace HIF a bariérové funkce. Ačkoli jsou střevní paraziti spojeni s dysbiózou mikrobioty, nebyla v souvislosti s infekcemi střevními prvky prokázána přímá souvislost mezi signalizací HIF a metabolity vylučovanými mikrobiálními látkami.

# Vliv organismu hostitele na parazita

## Faktory hostitelského organismu (biotické)

- 1) Druh hostitele
- 2) Věk a velikost
- 3) Ontogeneze
- 4) Genetika
- 5) Imunita a rezistence
- 6) Fyziologie a výživa
- 7) Chování



- 1) Teplota
- 2) Světlo
- 3) O<sub>2</sub> koncentrace
- 4) pH
- 5) Hustota
- 6) Turbidita
- 7) Typ ekosystému
- 8) Znečištění

# Distribuce parazitů mezi různé druhy hostitelů



# Vliv organismu hostitele

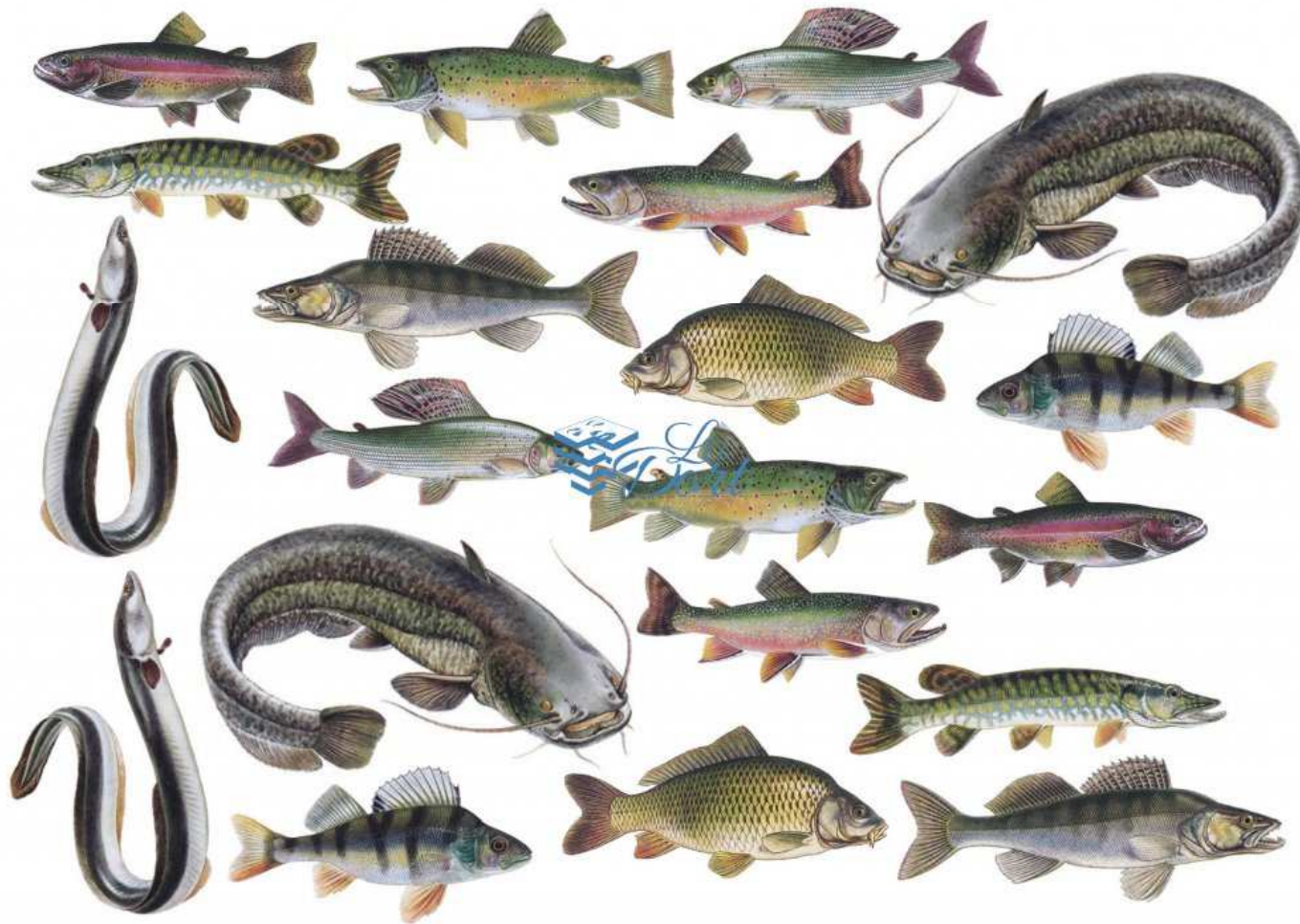
- Druh hostitele – hostitelská specificita  
(specifičnost)
- Velikost a věk hostitele
- Ontogenetický vývoj hostitele

# Hostitelská specificita

- **Hostitelská specificita** je rozmezí druhů, které je parazit schopen využívat jako své hostitele. Druhy parazitů s natolik vysokou hostitelskou specificitou, že cizopasí jen na jednom hostitelském druhu, se nazývají **oioxenní** (nebo také **monoxenní**). Pokud je parazit schopen cizopasit na několika **fylogeneticky příbuzných druzích**, je **stenoxenní**. Paraziti, kteří napadají více **vzájemně nepříbuzných druhů**, mají velmi nízkou hostitelskou specificitu a označují se jako **euryxenní**.
- Ke **zvýšení hostitelské specificity** u parazitického druhu dochází tehdy, když **se příliš specializuje na život na či v těle určitého hostitelského druhu** (či okruhu druhů). Tím sice **dojde k zefektivnění parazitace** na daném druhu či druzích, zároveň ale parazit ztrácí schopnost cizopasit na jiných druzích, na jejichž stavbu těla a obranné mechanismy není specializován.

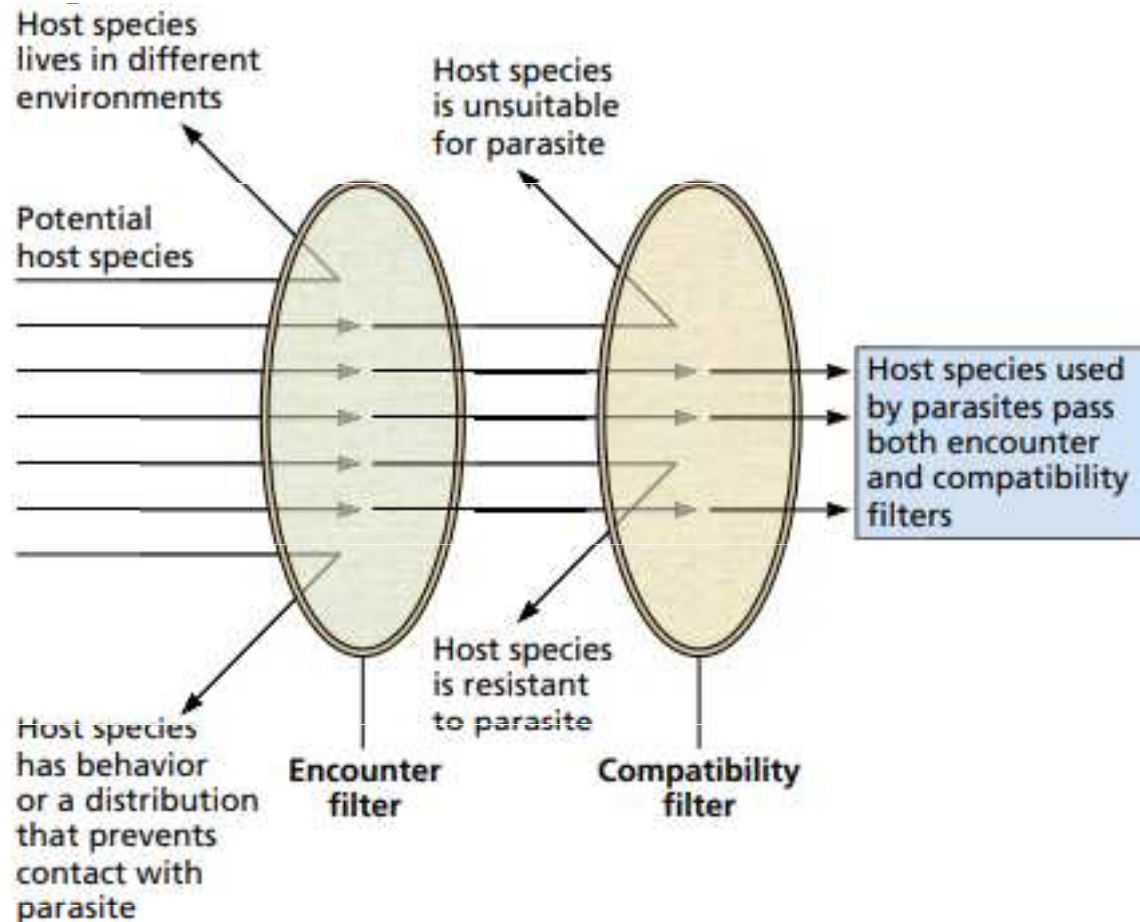


# Důležitá je podobnost prostředí

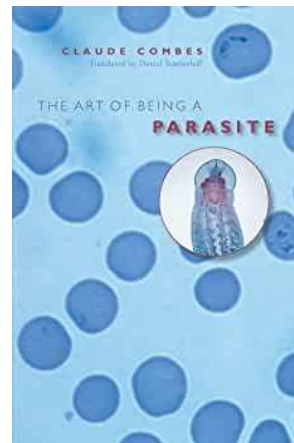
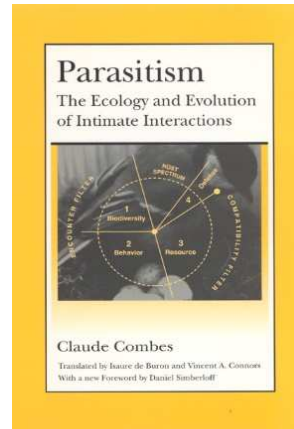




# Koncepce vstupního a kompatibilního filtru



**Claude Combes** - francouzský biolog a parazitolog. Je profesorem biologie zvířat a ředitelem Centre de Biologie et Écologie Tropicale et Méditerranéenne na Université de Perpignan. Od roku 1996 je členem Francouzské akademie věd.



# Hostitelská specificita

**Hostitelská specificita = dána počtem druhů hostitelů v/na nichž parazit může existovat (dosáhnout pohlavní zralosti)**

**Specialista = vyskytuje se pouze na jediném druhu hostitele nebo na druzích velice úzce příbuzných**

**Generalista = vyskytuje se na širokém spektru hostitelských druhů náležejících k nepříbuzným taxonům**

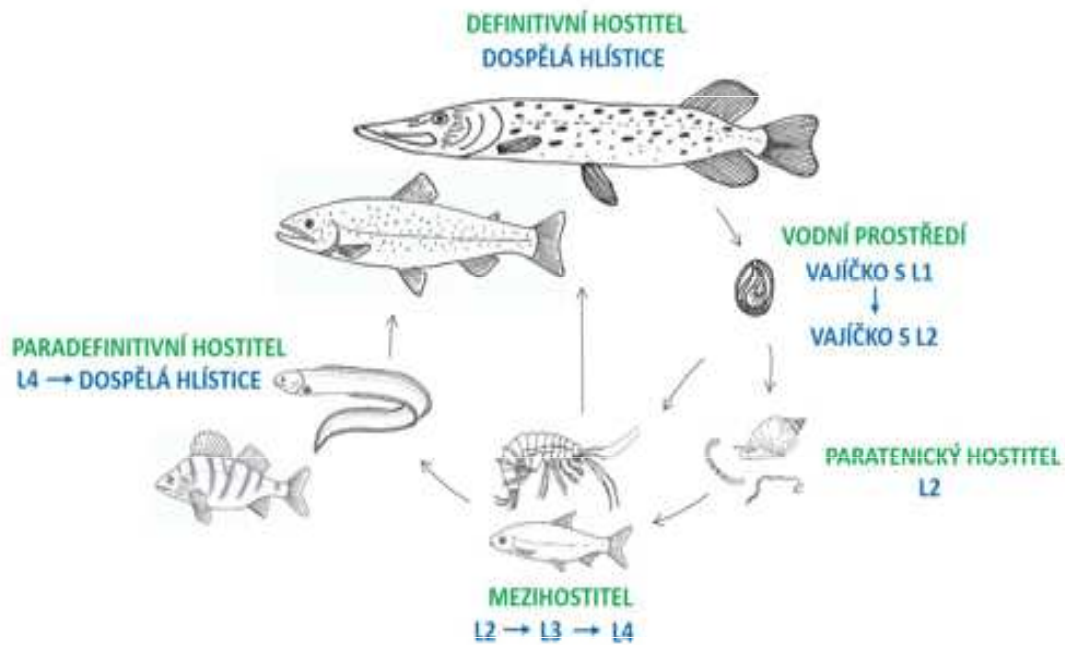
**Index hostitelské specifičnosti:** 
$$S = \frac{\sum (x_i/n_i h_i)}{\sum (x_i/n_i)}$$
  
(podle Rohdeho 1980)

$x_i$  = počet jedinců parazita druhu (i);  $n_i$  = počet vyšetřených hostitelů druhu (i);  
 $x_i/n_i$  = abundance parazitů na hostiteli druhu (i);  $h_i$  = relativní pořadí hostitelského druhu podle počtu cizopasníků

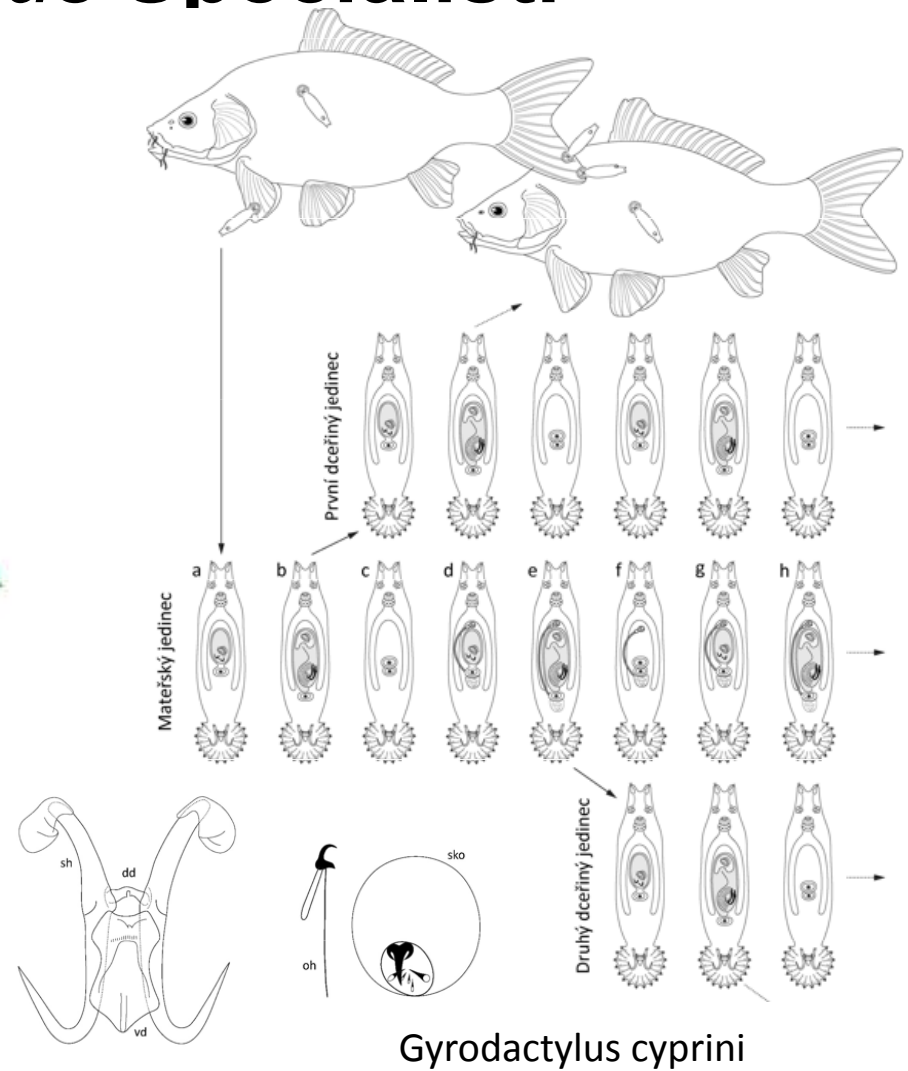
# Generalisti versus Specialisti

- **Hostitelská specifičnost:** částečná infikování jednoho nebo skupiny definovaných hostitelů (s konkrétním rozsahem hostitelů).
- Faktory nebo **determinanty hostitelské specifičnosti:** **geny**, které patogen/parazit potřebuje ke spojení se specifickým hostitelem.
- **Vícehostitelští paraziti:** paraziti mající více než jednoho vhodného hostitele, se kterým interagují.
- Tyto **interakce** jsou výsledkem evolučních procesů jako **ko-adaptace a ko-evoluce**.

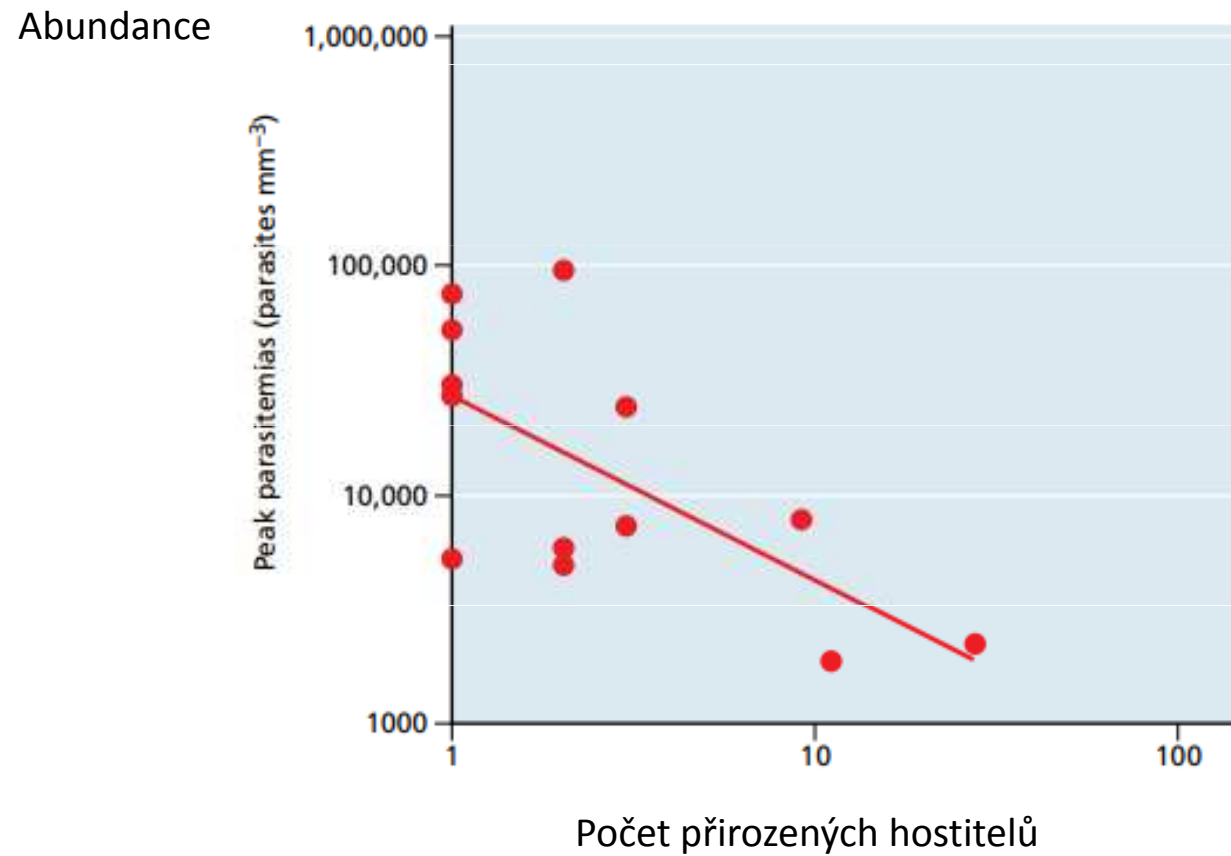
# Generalisti versus Specialisti



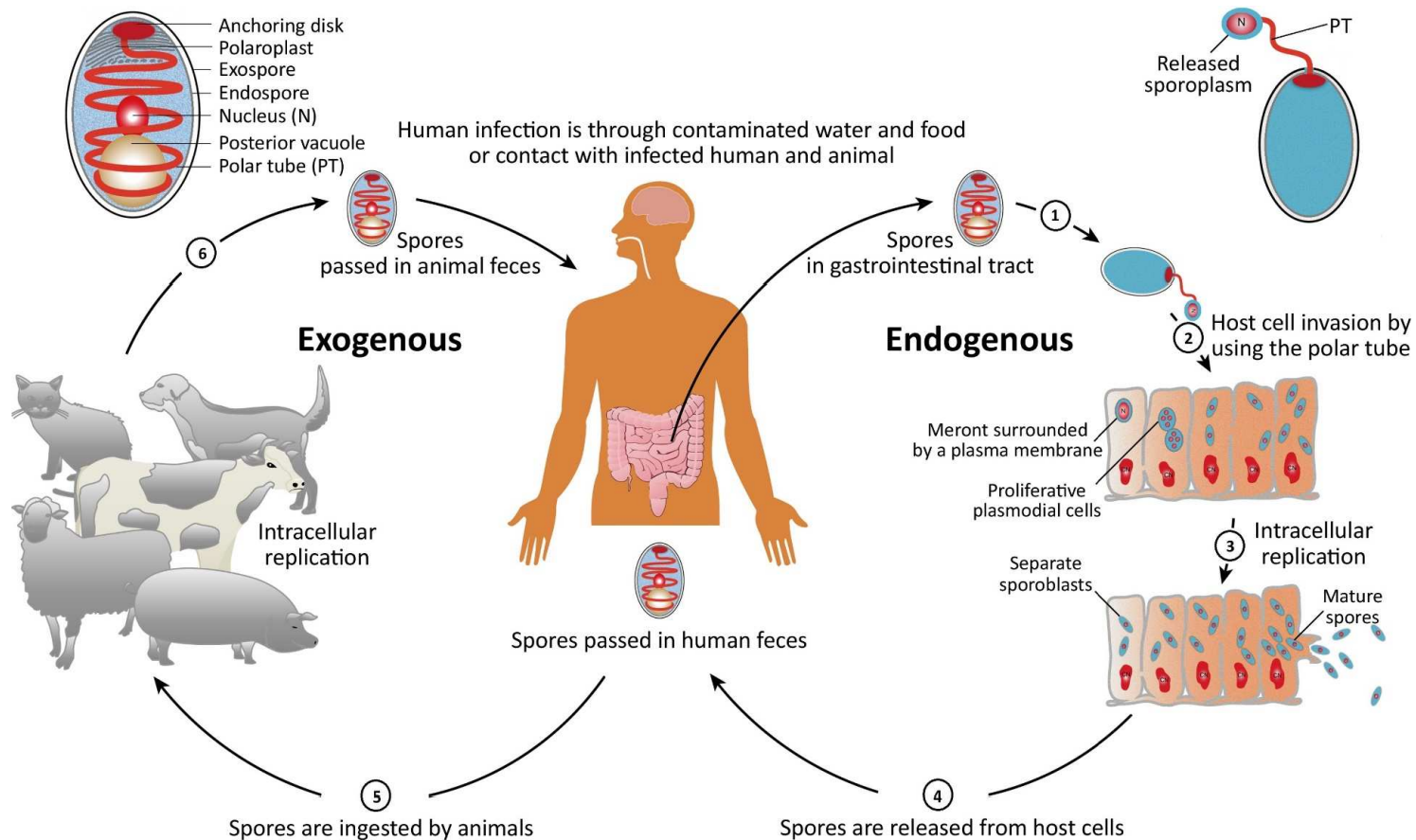
Raphidascaris acus



# Specialisti *versus* Generalisti (abundance)

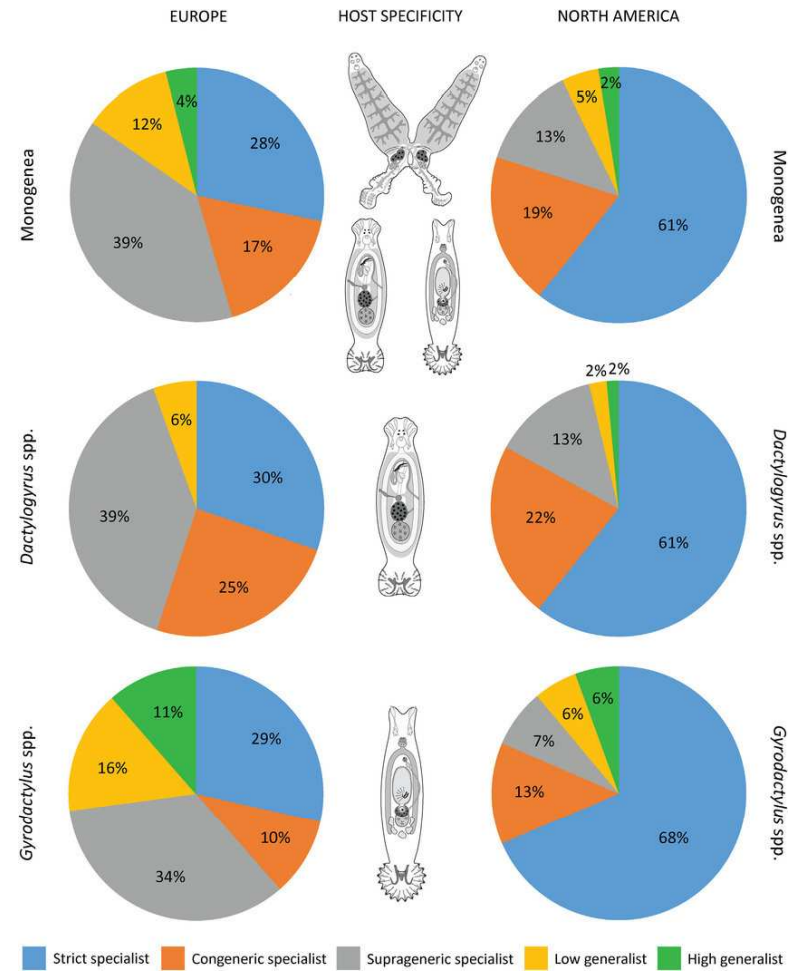


# Specificita Encephalitozoon bieneusi





# Hostitelská specificita amerických a evropských monogeneí





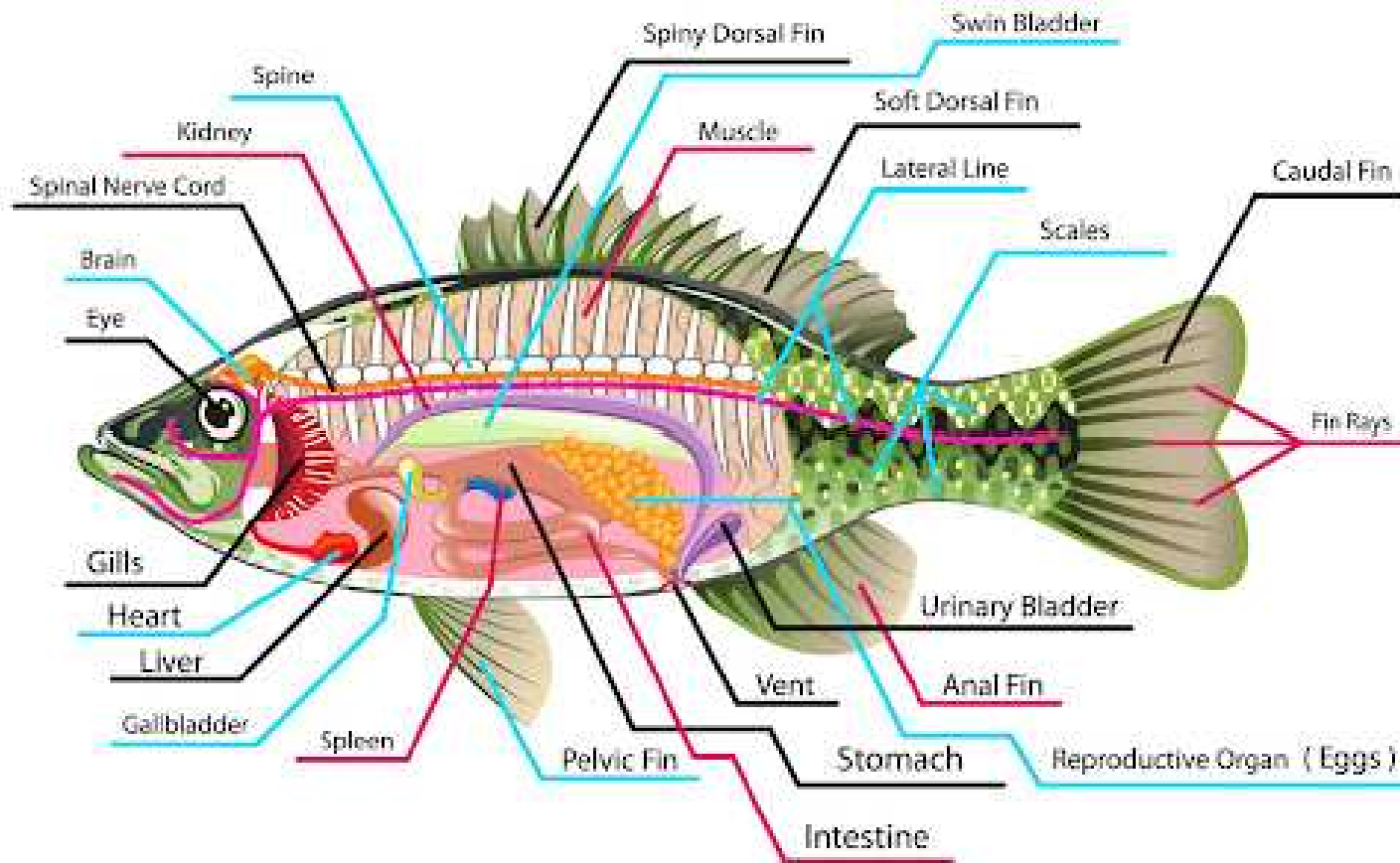
# Co to jsou preadaptace ?

- Morfologické struktury **dovolující přichycení** ve střevě hostitele
- **Tuhá kutikula** odolávající útoku imunitního systému hostitele
- Schopnost **metabolismu** fungovat v prostředí s velice **nízkou koncentrací kyslíku**
- Další evoluce tedy musela jít cestou silných a **specializovaných přizpůsobení – adaptací** – k parazitismu v hostiteli
- Evoluce parazita (parazitismu) tedy **úzce souvisí** s evolucí hostitele – hovoříme o tzv. **ko-evoluci** !

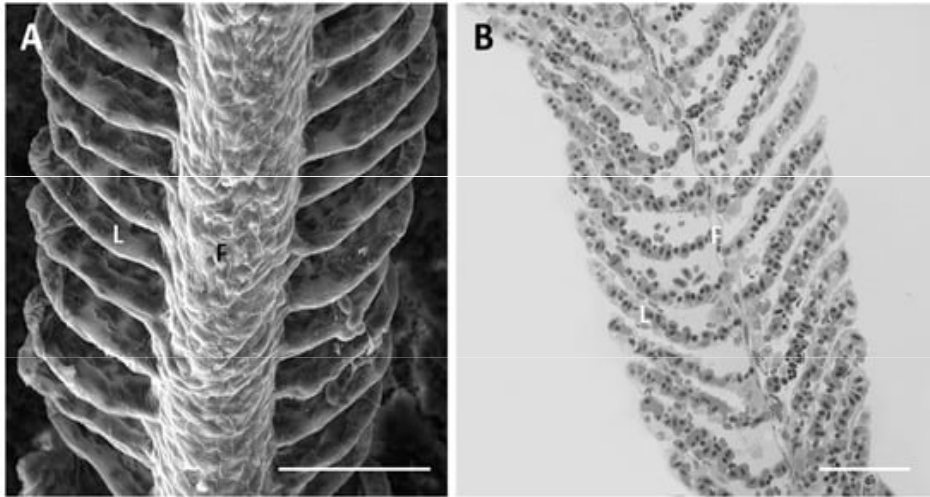
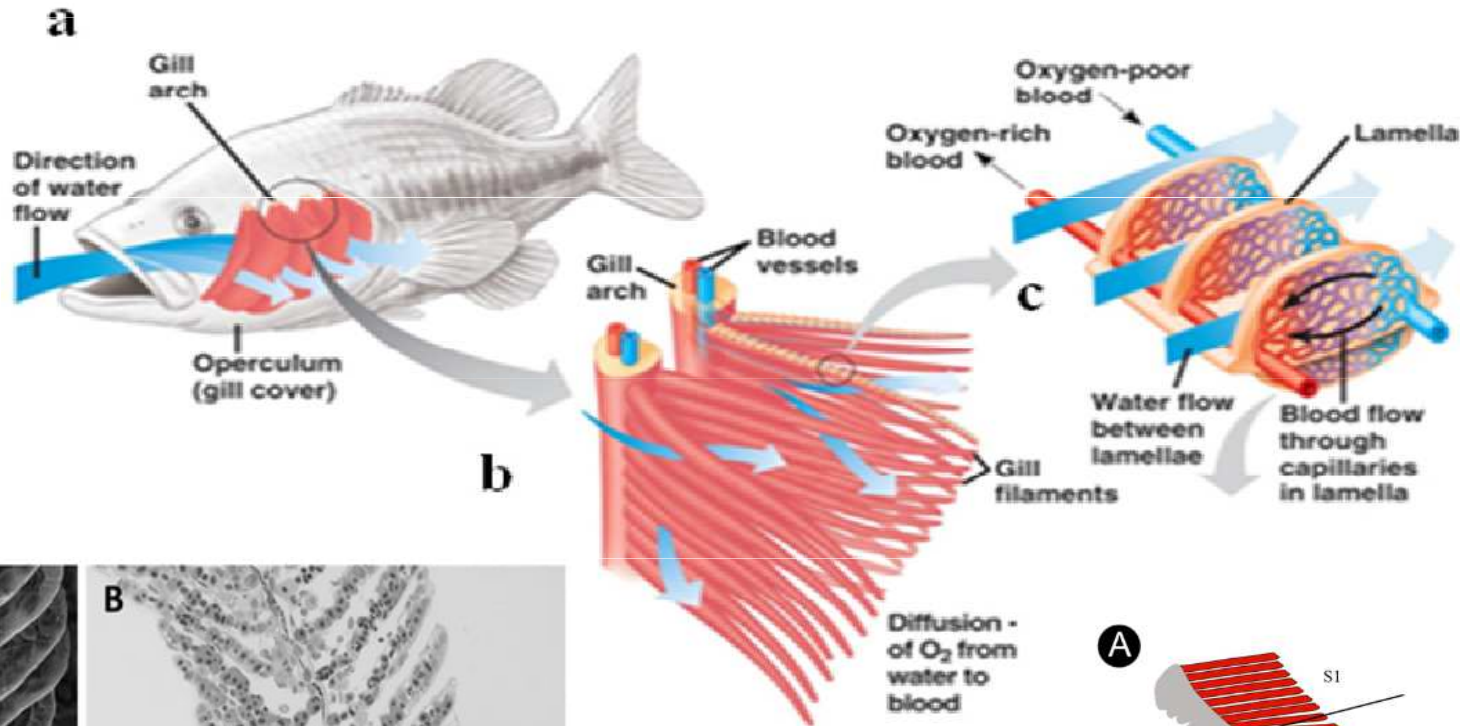
# Co to je strukturální specifičnost ?

- Strukturální specifičnost vyplývá z řady konvergentních jevů počínaje speciálními adaptacemi (mikrohabitat a způsob příjmu potravy) **volně žijících progenitorů** a způsobem, jakým **parazitická asociace vzniká** (např. pasivní orální kontaminace (predace) na rozdíl od invazního vstupu do organismu hostitele).
- **Co je strukturální specifičnost v parazitologii?** Populace parazitů mohou být také charakterizovány svou strukturální specifitou (morfologickou strukturou – např. opisthaptor monogeneí): mají **nízkou strukturální specifičnost**, pokud všechny hostitelské druhy mají podobné podíly na celkové populaci parazitů (úměrné velikosti symbolů), a **vysokou strukturální specifitu**, pokud je většina jedinců parazita na malém počtu jedinců hostitele.
- **Je většina parazitů specifická pro hostitele?** Většina druhů je **velmi specifická pro hostitele** a využívá pouze jeden, možná dva nebo tři hostitelské druhy; nicméně existují i některé **obecné parazitické druhy schopné využívat 4 až 10 hostitelských druhů**, někdy i více.

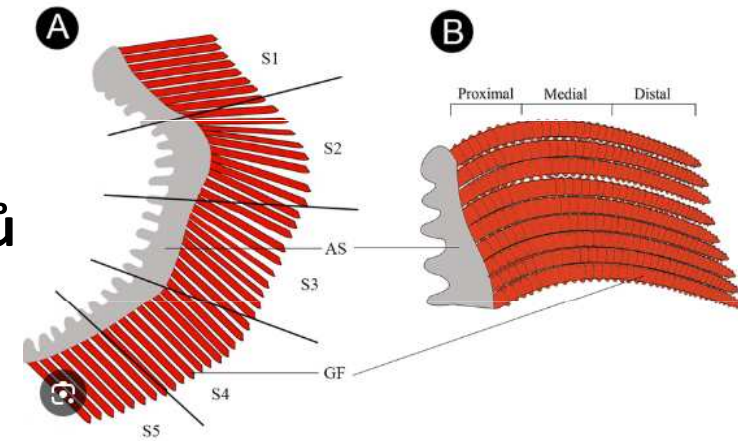
# Hostitel jako habitat



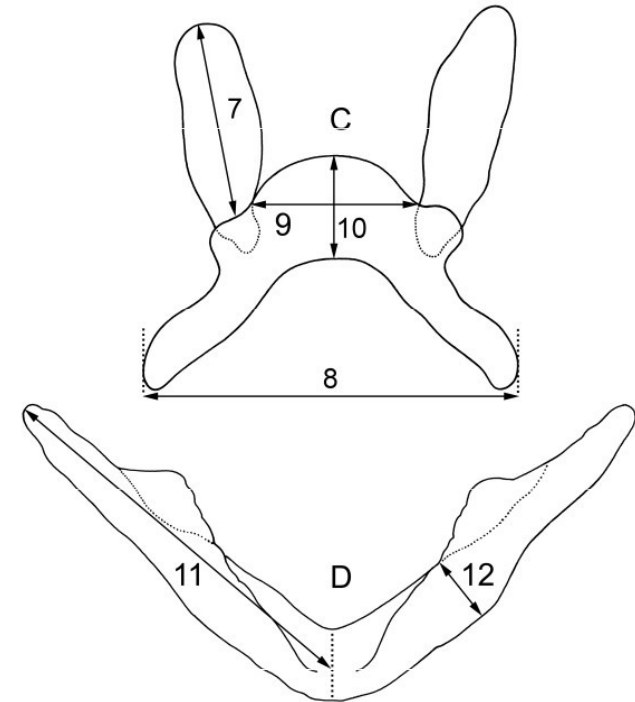
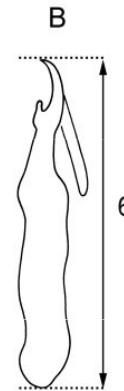
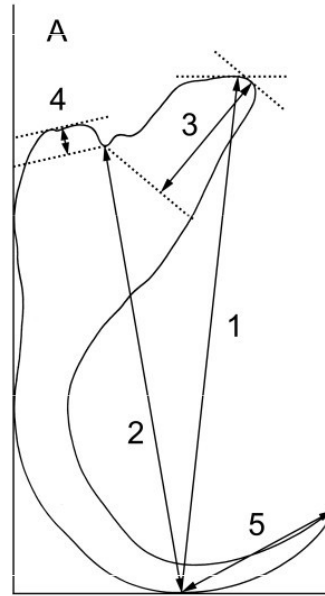
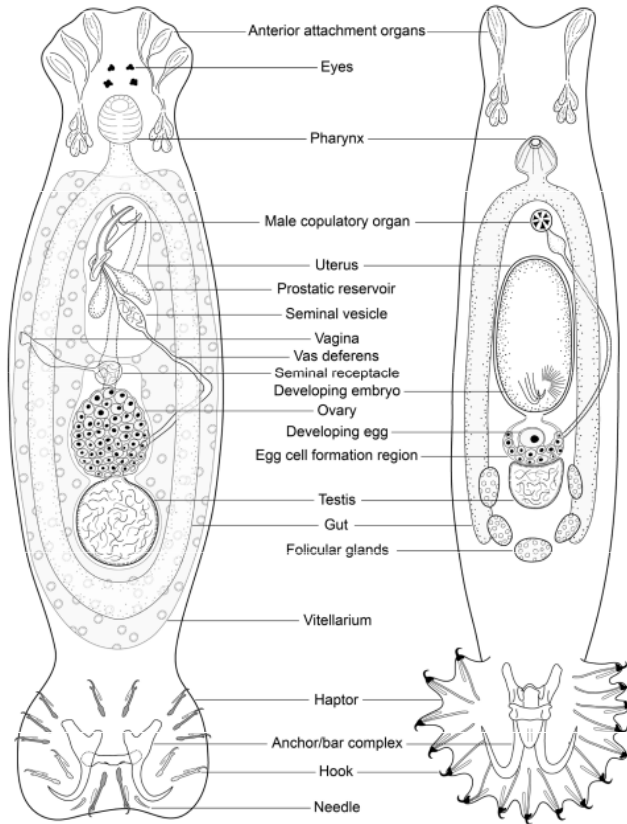
# Struktura mikrohabitatu žaberního aparátu



288 mikrohabitatů



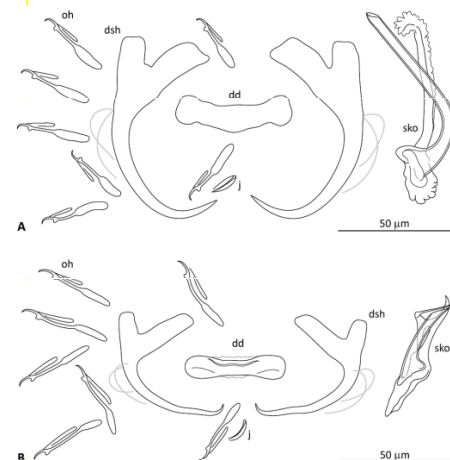
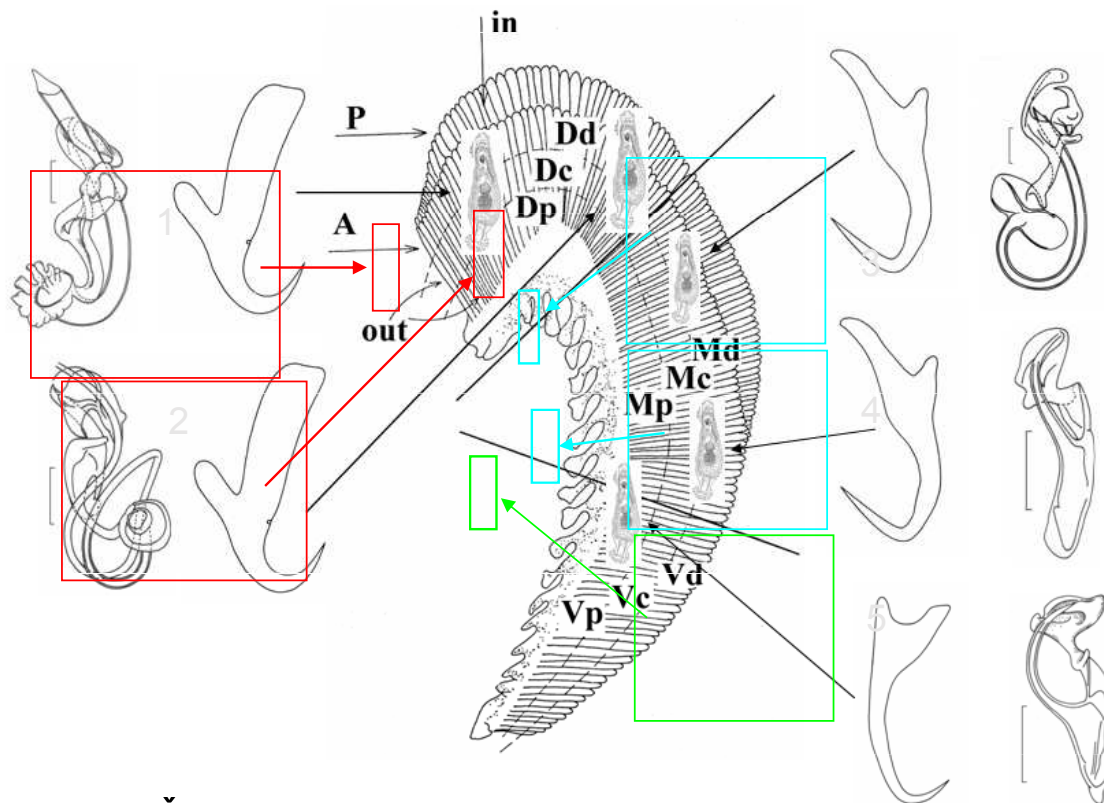
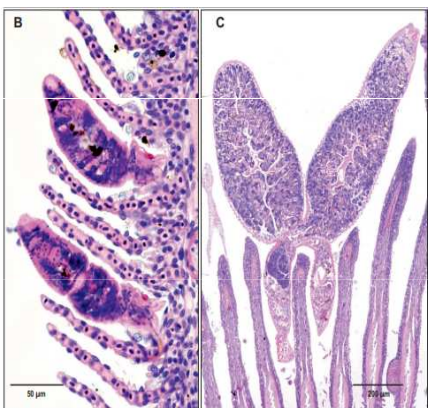
# Morfologické adaptace sklerotizovaných struktur opisthaptoru monogeneí



**(A)** Střední háček: 1 – celková délka, 2 – délka k zářezu, 3 – délka vnitřního kořene, 4 – délka vnějšího kořene, 5 – délka hrotu; **(B)** Okrajové háčky: 6 – celková délka; **(C)** Dorsální destičkylišta: 7 – délka ušních boltců, 8 – celková šířka, 9 – vzdálenost mezi boltci, 10 – tloušťka; **(D)** Ventrální destička: 11 – délka větve, 12 – maximální šířka.

# Evoluční mechanismy posilující konzistenci kongenerických druhů cizopasníků

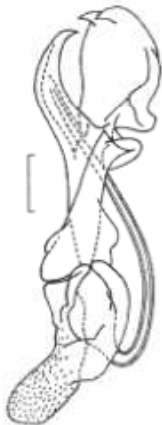
Specializace niky a reprodukční izolace



Šimková et al., Biol J Linn Soc 2002  
Jarkovský et al. Parasitol Res 2004



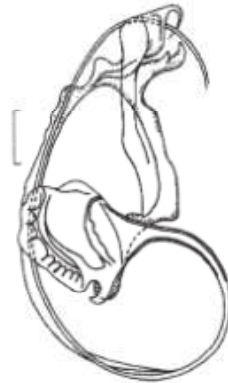
# Kopulační orgány parazitů - reprodukční charakteristika daktylogyrů koexistujících na jediném hostiteli



*D. caballeroi*



*D. crucifer*



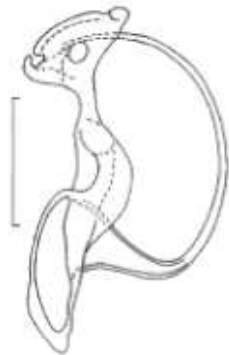
*D. fallax*



*D. nanus*



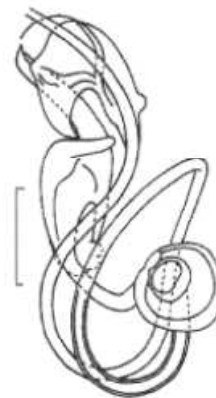
*D. rarissimus*



*D. rutili*



*D. similis*



*D. sphyrna*



*D. suecicus*

# Matematický agregační model koexistence

## Intraspecifická agregace

$$J_1 = \frac{\sum_{i=1}^p \frac{n_{1i}(n_{1i}-1)}{m_1} - m_1}{m_1} = \frac{V_1 - 1}{m_1}$$

## Interspecifická agregace

$$C_{12} = \frac{\sum_{i=1}^p \frac{n_{1i}n_{2i}}{m_1^P} - m_2}{m_2} = \frac{Cov_{12}}{m_1 m_2}$$

## Koexistence druhů

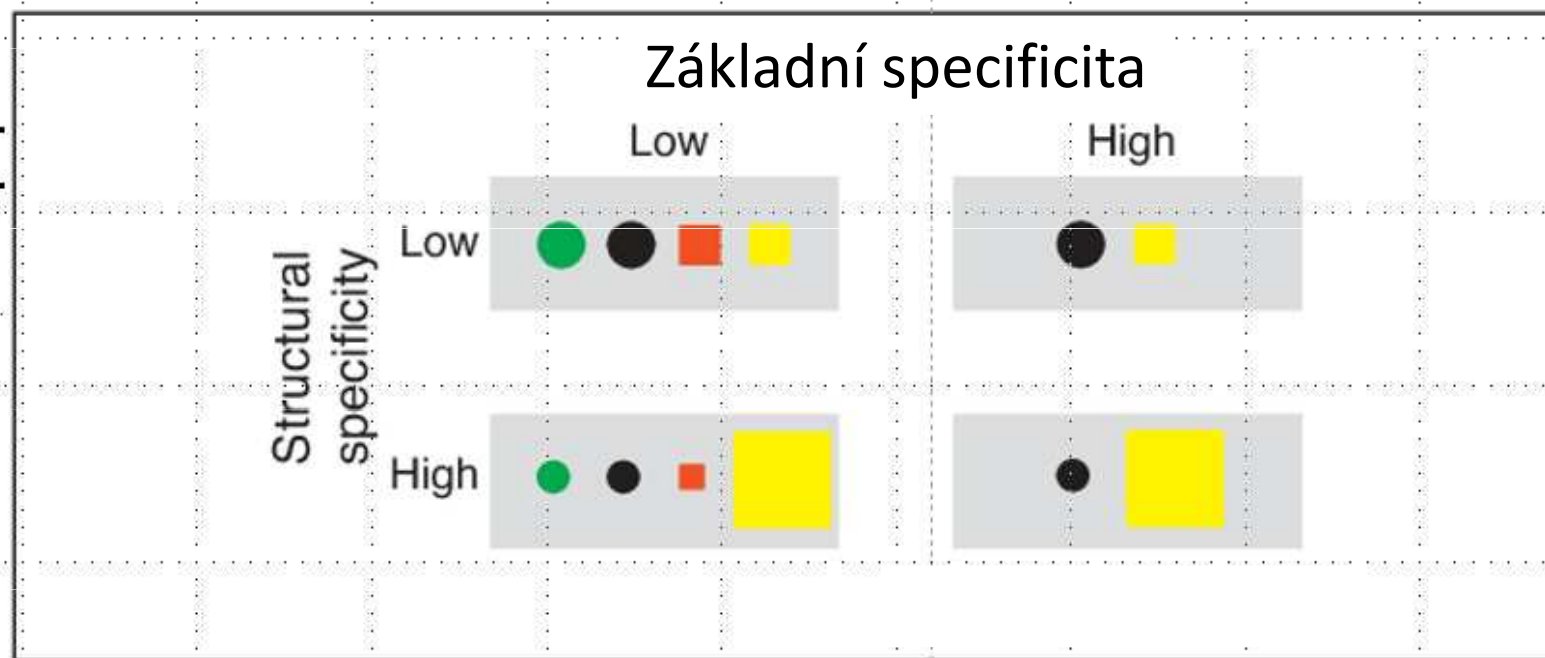
$$A_{12} = \frac{(J_1 + 1)(J_2 + 1)}{(C_{12} + 1)^2}$$

$n_{1i}$ : počet jedinců druhu 1 v sektoru  $i$   
 $m_1$ : průměrný počet druhu 1 na sektor  
 $V_1$ : variance v počtu druhu 1

$n_{1i}, n_{2i}$ : počty jedinců druhu 1 a druhu 2 v sektoru  $i$   
 $m_1, m_2$ : průměrný počet druhu 1 a druhu 2 na sektor  
 $P$ : počet sektorů  
 $Cov$ : kovariance mezi druhy

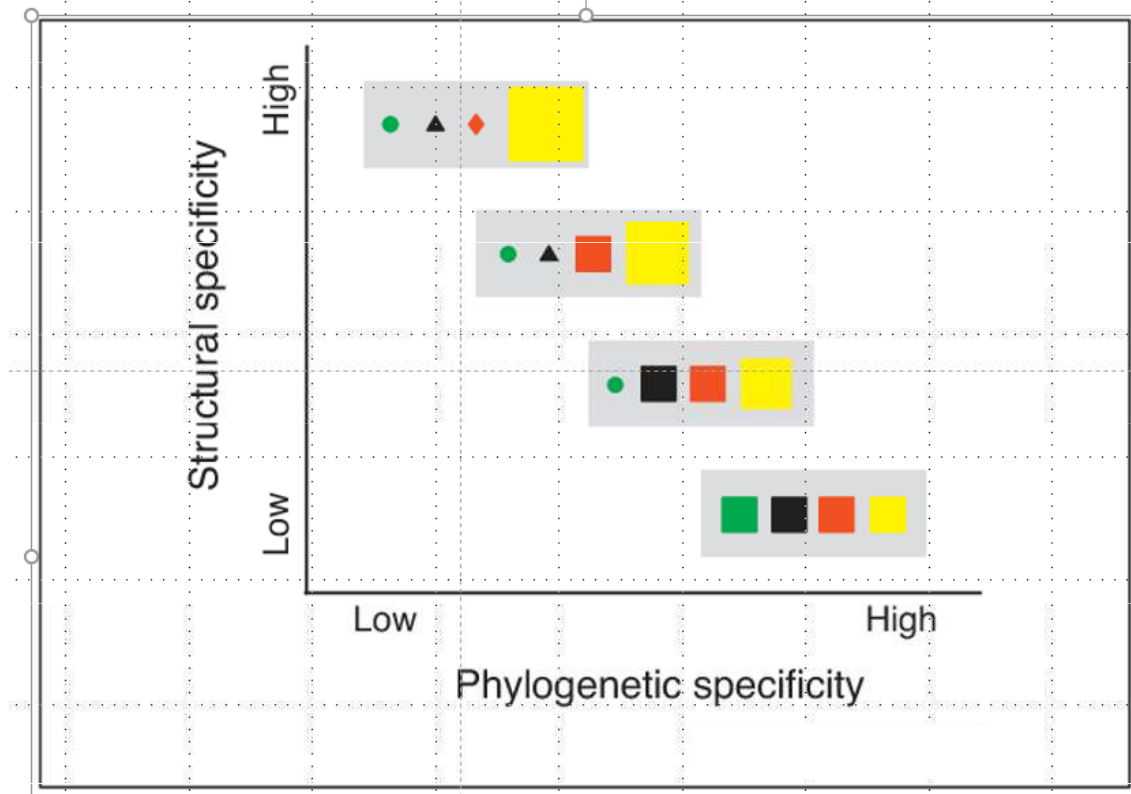
Šimková et al., Int J. Parasitol 2000  
Šimková et al. Parasitology 2001

# Strukturální specifita v geografickém prostoru.



**Příspěvek populační struktury parazita k měření hostitelské specifiity.** Populace parazitů se zde skládá ze všech konspecifických parazitů ve stejném stádiu životního cyklu, kteří se vyskytují ve všech vhodných sympatrických hostitelích v odlišné geografické oblasti. Různé **populace parazitů (stínované rámečky)** mohou využívat několik nebo **mnoho hostitelských druhů (barevné symboly)**, což představuje jejich základní hostitelskou specifičnost v tradičním slova smyslu. Populace parazitů však mohou být také charakterizovány svou strukturální specifiitou: mají **nízkou strukturální specifiicitu**, pokud všechny **hostitelské druhy obsahují podobné podíly** na celkové populaci parazitů (úměrné velikosti symbolů), a **vysokou strukturální specifiicitu**, pokud je **většina jedinců parazitů soustředěna v jednom nebo velmi malém počtu hostitelských druhů**.

# Strukturální specifita ve fylogenetickém prostoru.



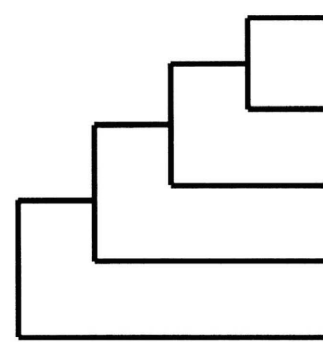
Hypotetický vztah mezi strukturálními a fylogenetickými složkami hostitelské specifity. Pokud různí parazité (stínované rámečky) používají stejný počet hostitelských druhů (barevné symboly), ale někteří používají hostitele patřící do různých vyšších taxonů (rodů nebo čeledí, označených různými tvary symbolů), zatímco jiní používají hostitele ze stejného taxonu, očekává se negativní vztah mezi strukturální specifitostí a fylogenetickou specifitou. To se očekává, pokud je početnost (úměrná velikosti symbolů) dosažená parazity v jejich hostitelích omezena fyziologickými a jinými faktory.

# Distribuce mezi druhy hostitelů

(upraveno podle Poulina 1998)

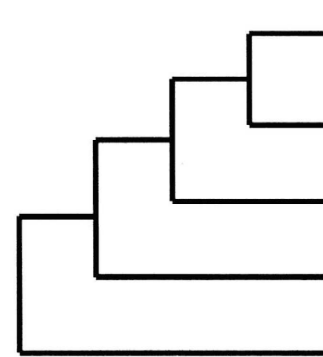
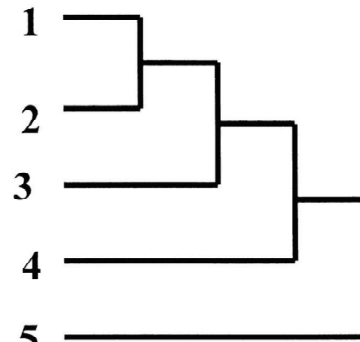
Výsledek ko-evoluce mezi hostitelem a parazitem

Hostitelé

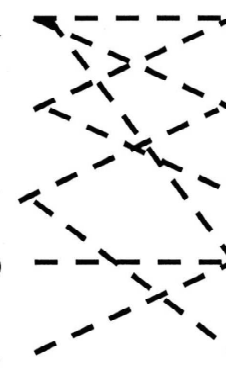
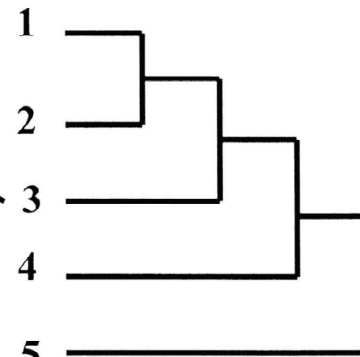


A - - - - -  
B - - - - -  
C - - - - -  
D - - - - -  
E - - - - -

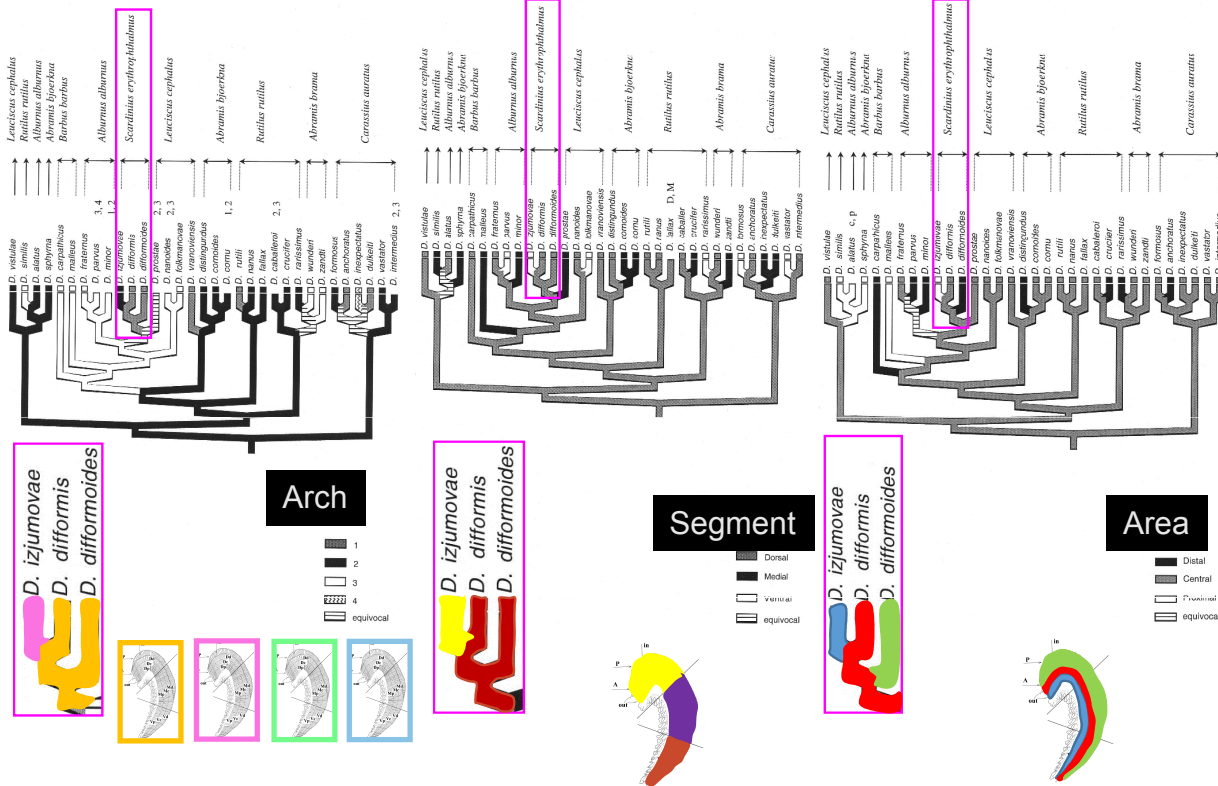
Paraziti



A - - - - -  
B - - - - -  
C - - - - -  
D - - - - -  
E - - - - -

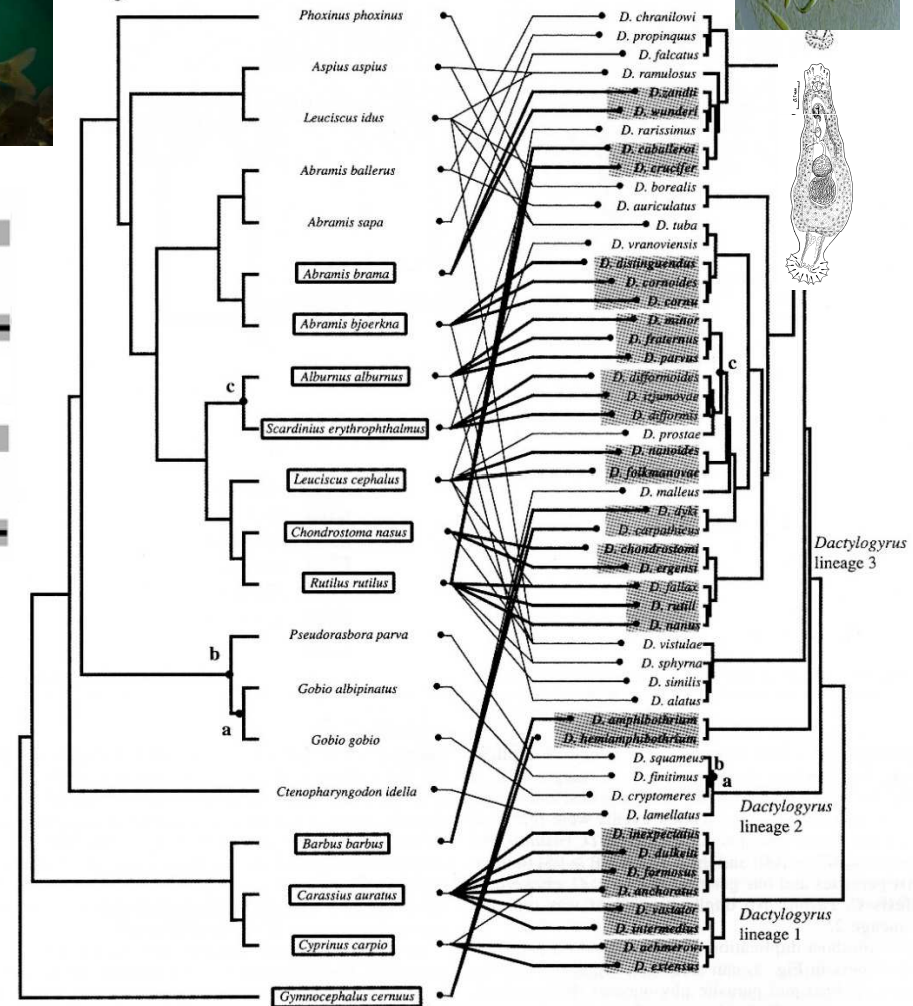
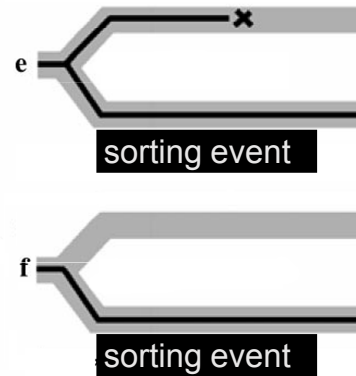
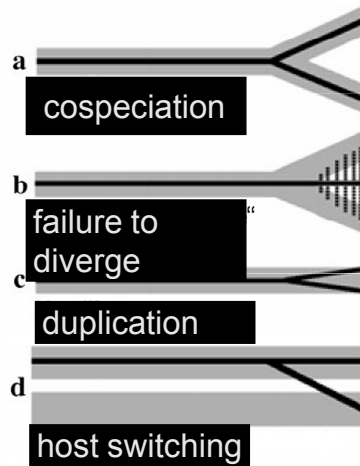


# Evoluce preferované niky daktyloryů



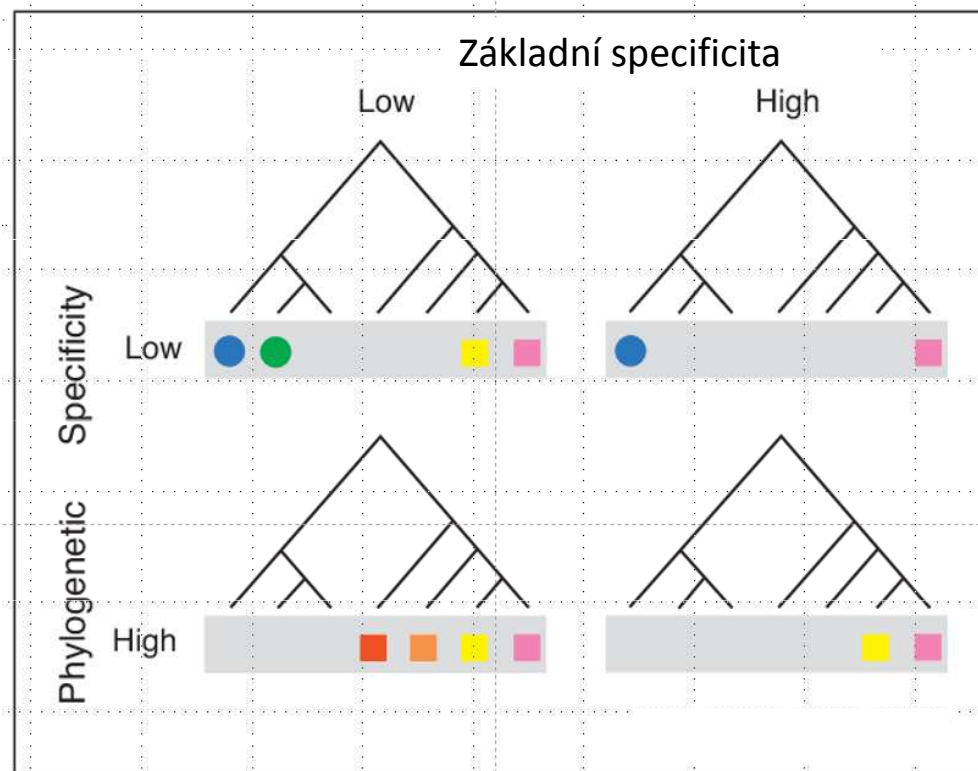
# Koevoluce v parazito-hostitelském systému

## Host-specific parasites and fish hosts



Šimková et al., Evolution 2004

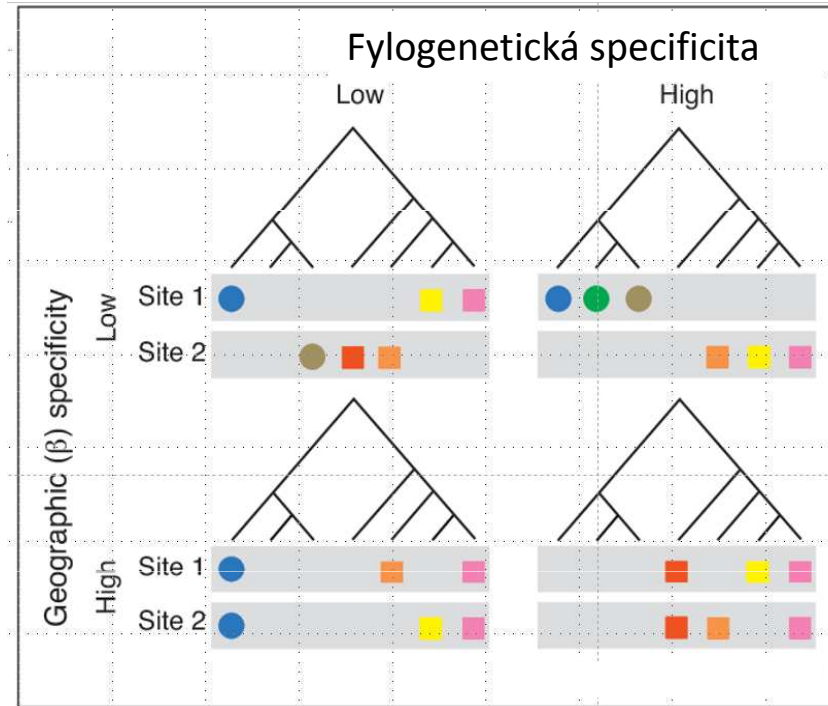
# Fylogenetická specifita ve fylogenetickém prostoru.



**Přínos fylogeneze hostitele k měření hostitelské specifity.** Pro libovolný počet **hostitelských druhů (barevných symbolů)** využívaných populací **parazitů (stínované rámečky)**, jinými slovy pro jakoukoli úroveň základní hostitelské specifity, by parazit mohl vykazovat **vysokou fylogenetickou specifitu, pokud využívá pouze hostitelské druhy, které jsou si navzájem blízce příbuzné**, nebo **nízkou** fylogenetickou specifitu, pokud jeho **hostitelské druhy nejsou blízce příbuzné**. V těchto příkladech se předpokládá, že strukturní specifita, založená na distribuci jedinců parazitů mezi hostitelskými druhy, je ve všech případech stejná.

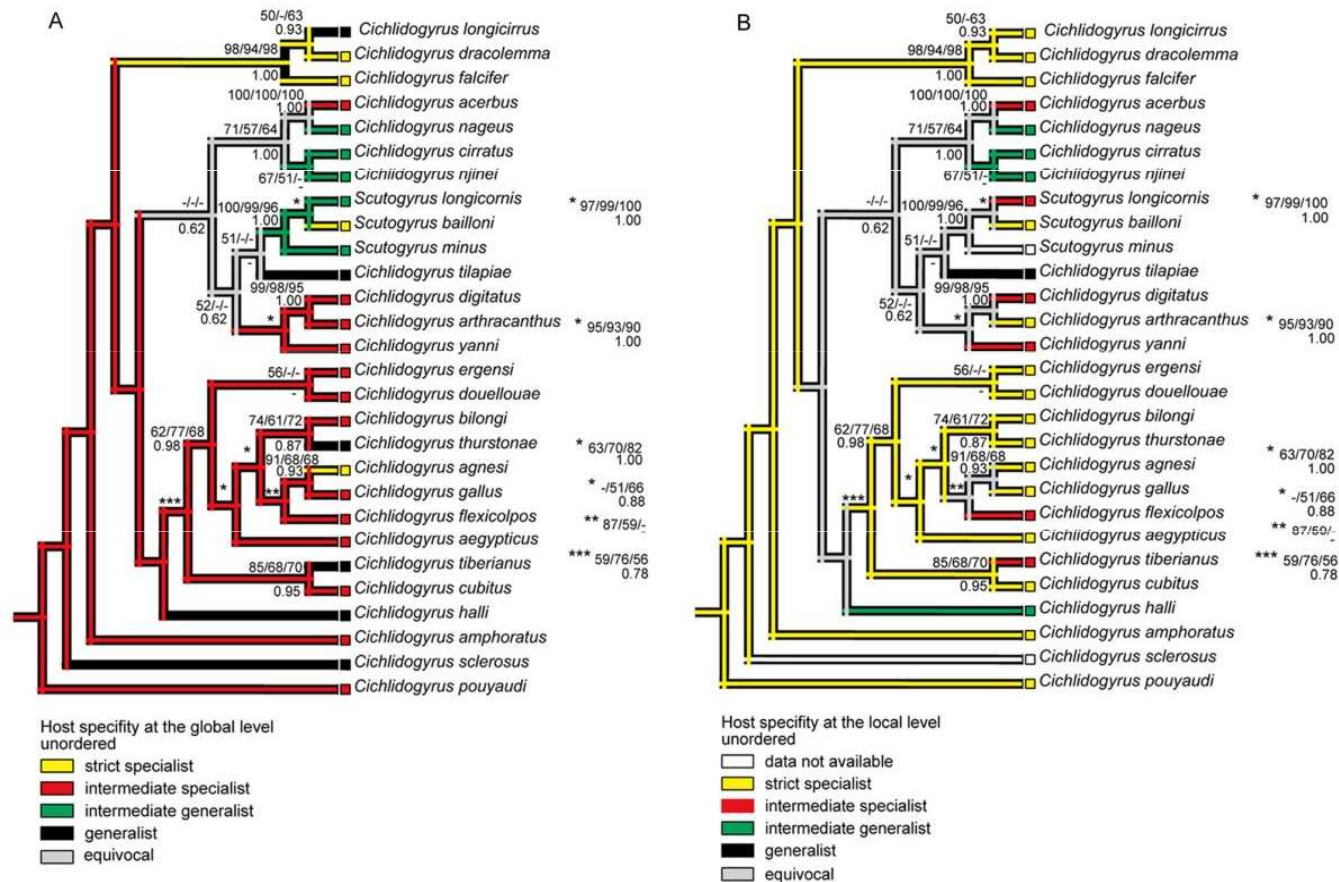


# Fylogenetická specifita ve geografickém prostoru.



**Hostitelská specifita v geografickém prostoru.** U každého ze čtyř druhů parazitů je ukázáno použití hostitele ve dvou samostatných populacích (sousedících zastíněných boxech) z různých geografických lokalit. Pro jakoukoli úroveň fylogenetické specifity, která závisí na příbuznosti s hostitelem, může parazit vykazovat **nízkou geografickou specifitu (tj. b-specifitu)**, pokud se identita hostitelského druhu (barevné symboly), který používá, liší mezi lokalitami, **nebo vysokou b-specifitu**, pokud **využívá stejný hostitelský druh všude**. V těchto příkladech se předpokládá, že jak základní, tak strukturní specifita založená na počtu použitých hostitelských druhů a distribuci parazitárních jedinců mezi hostitelskými druhy je ve všech případech stejná.

# Mapování hostitelské specifičnosti na fylogenetický strom parazitů.

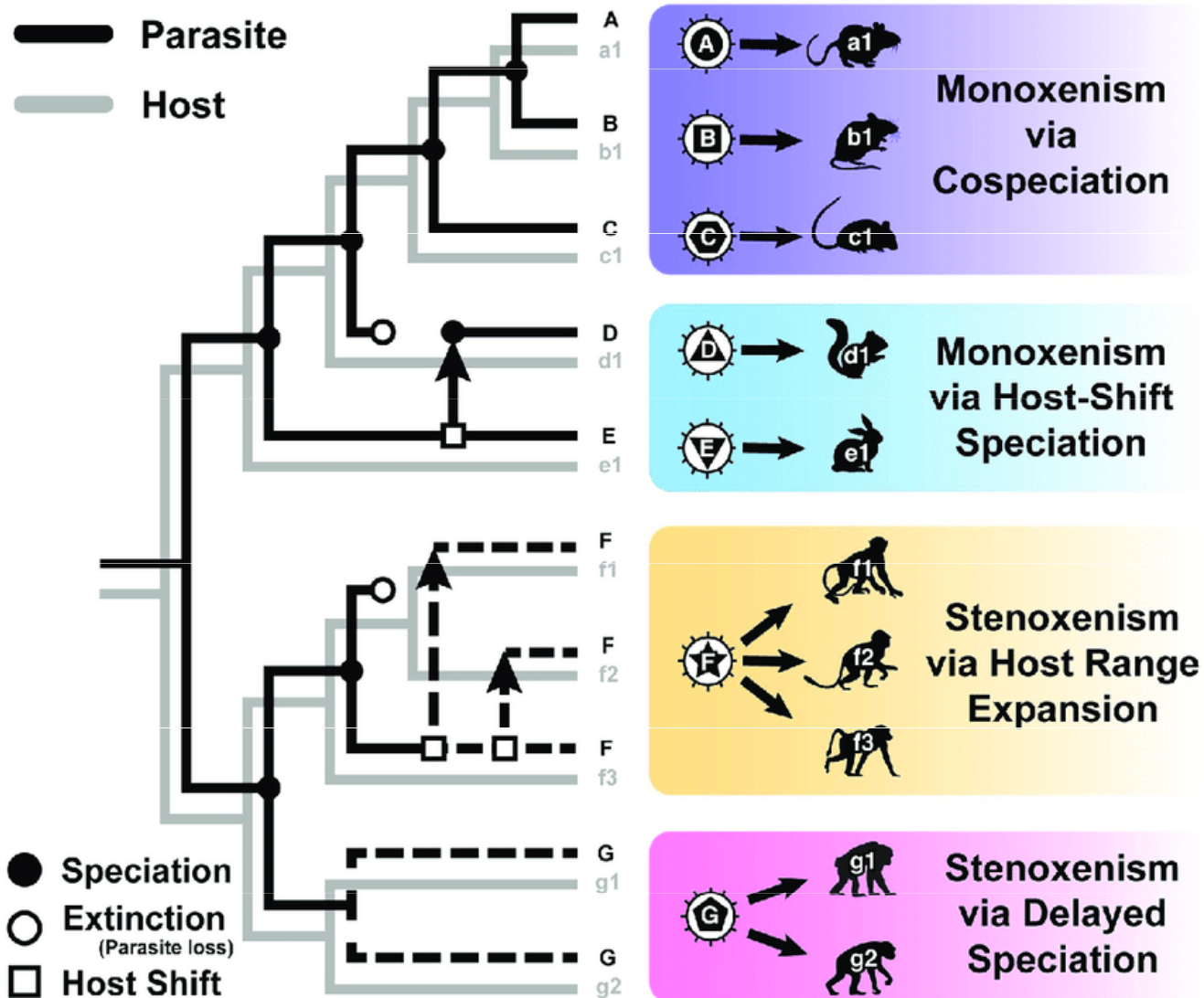


**(A)** Mapování indexu hostitelské specifičnosti na globální úrovni na fylogenetický strom parazitů; **(B)** mapování indexu hostitelské specifičnosti na lokální úrovni do fylogenetického stromu parazitů. Čísla podél větví označují proporce bootstrapu vyplývající z analýz ME/MP/ML (nad větvemi) a aposteriorní pravděpodobnosti vyplývající z analýzy BI (pod větvemi).

## Různé hypotézy o spektru parazitických hostitelů.

Hypotetická fylogeneze hostitele a parazita ilustrující scénáře, které mohou vést ke dvěma formám hostitelské specičnosti: **monoxenismu a stenoxenismu**.

Tečkované větve označují jeden druh parazita žijící ve více hostitelských druzích. Všechny tyto vzorce se mohou vyskytovat v jediném kladu parazitů, jako je *Pneumocystis*, a rozlišení mezi nimi vyžaduje důkladný odběr vzorků hostitele a robustní fylogenetickou analýzu.



# Koncept vnímavosti/rezistence v parazitologii

**Genetická odolnost/rezistence** vůči danému parazitárnímu onemocnění se týká **zdeděných změn v DNA hostitele**, které zvyšují **odolnost vůči patogenu** a vedou **ke zvýšenému přežití jedinců s těmito genetickými změnami**. Existence těchto genotypů je pravděpodobně **způsobena evolučním tlakem** vyvíjeným parazity příslušného druhu působícího konkrétní onemocnění.

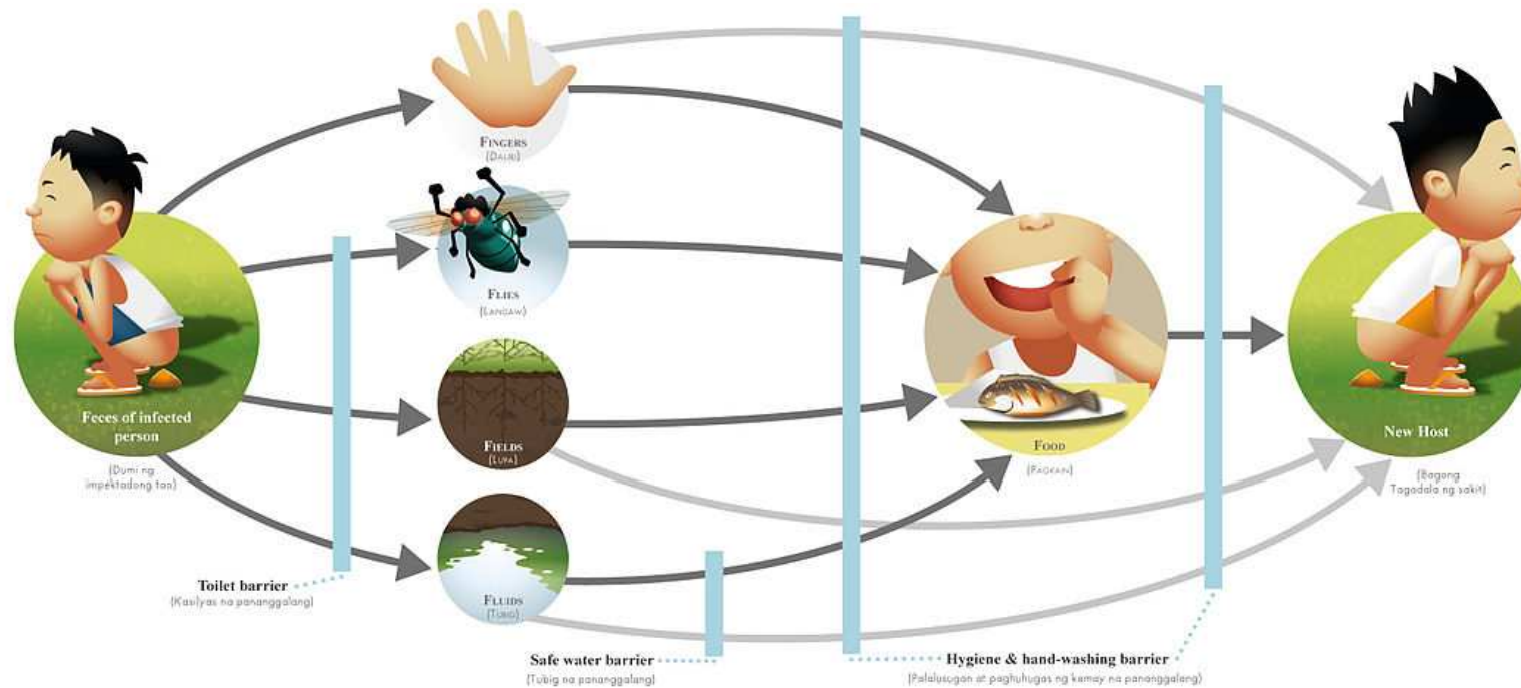
## **Tři faktory, které zvyšují náchylnost/vnílavost k infekci?**

- (např. věk, nutriční stav, genetika, imunitní kompetence a již existující chronická onemocnění)
- vnější proměnné (např. souběžná medikamentózní terapie), klimatické faktory
- celková vnímavost osoby/hostitele vystavené patogenu

# 5 faktorů ovlivňujících náchylnost člověka k infekci?

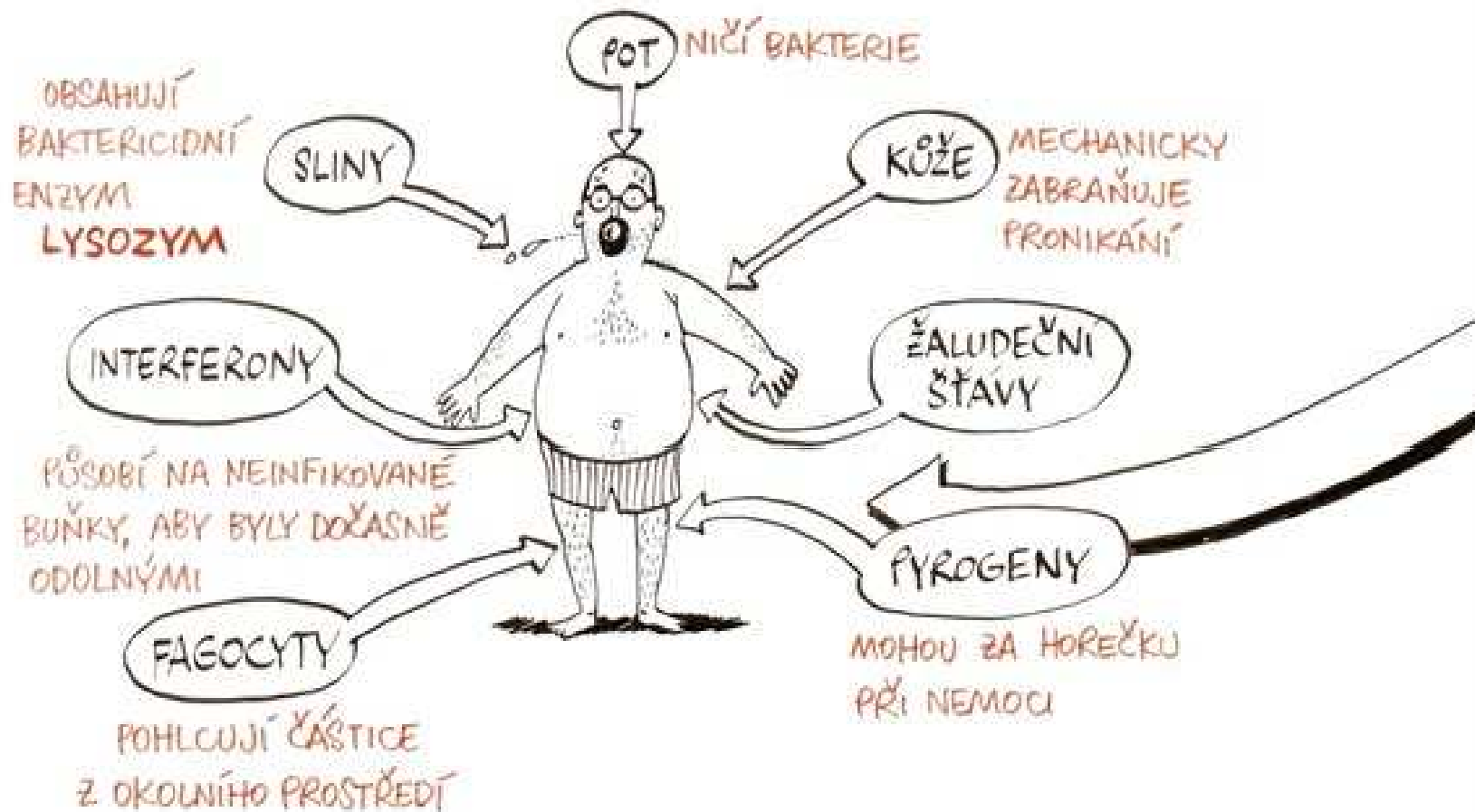
- 1. Způsob vzniku infekce:** vnímavý hostitel
- 2. Stáří hostitele:** velmi mladí nebo velmi staří jsou obvykle náchylnější.
- 3. Zdravotní stav hostitele:** více ohroženi jsou podvyživení, dehydratovaní nebo jinak nezdraví lidé/hostitelé.
- 4. Probíhající terapie** – užívání léků: léky potlačující imunitu umožňují, aby se patogeny uchytili snadněji (oportunní cizopasnici)
- 5. Obecné faktory rezistence**

# Faktory posilující úspěšný přenos při fekálně-orální infekci

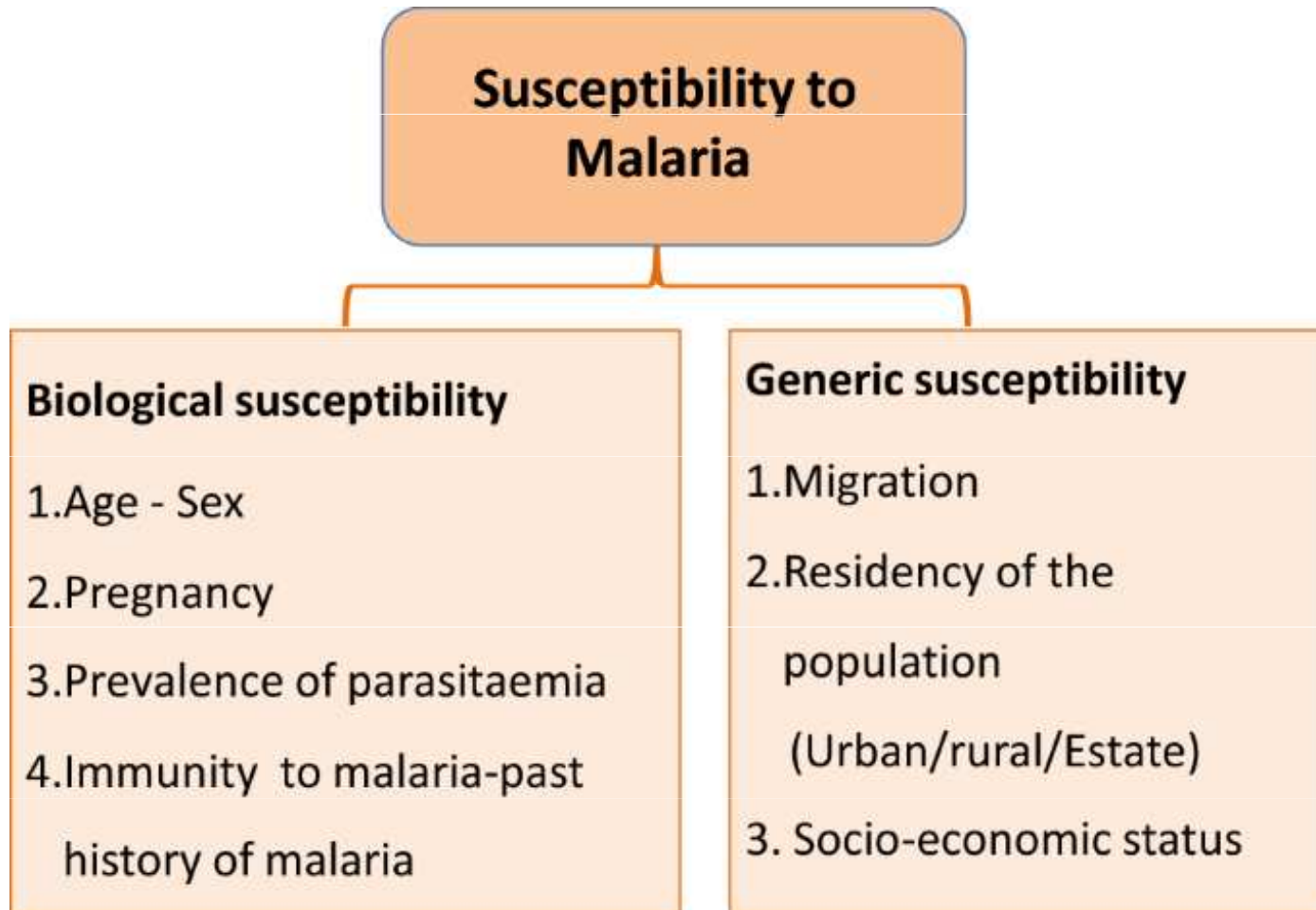


Společné faktory fekálně-orální cesty lze shrnout jako těchto pět: **nečisté prsty (ruce), mouchy/hmyz, kontaminovaná zemina, tekutiny a jídlo**. Mezi nemoci způsobené fekálně-orálním přenosem patří např: tyfus, cholera, dětská obrna, hepatitida a mnoho dalších infekcí, zejména ty, které způsobují zažívací problémy a průjem.

# Co jsou první obranné vrozené linie organismu/habitatu !



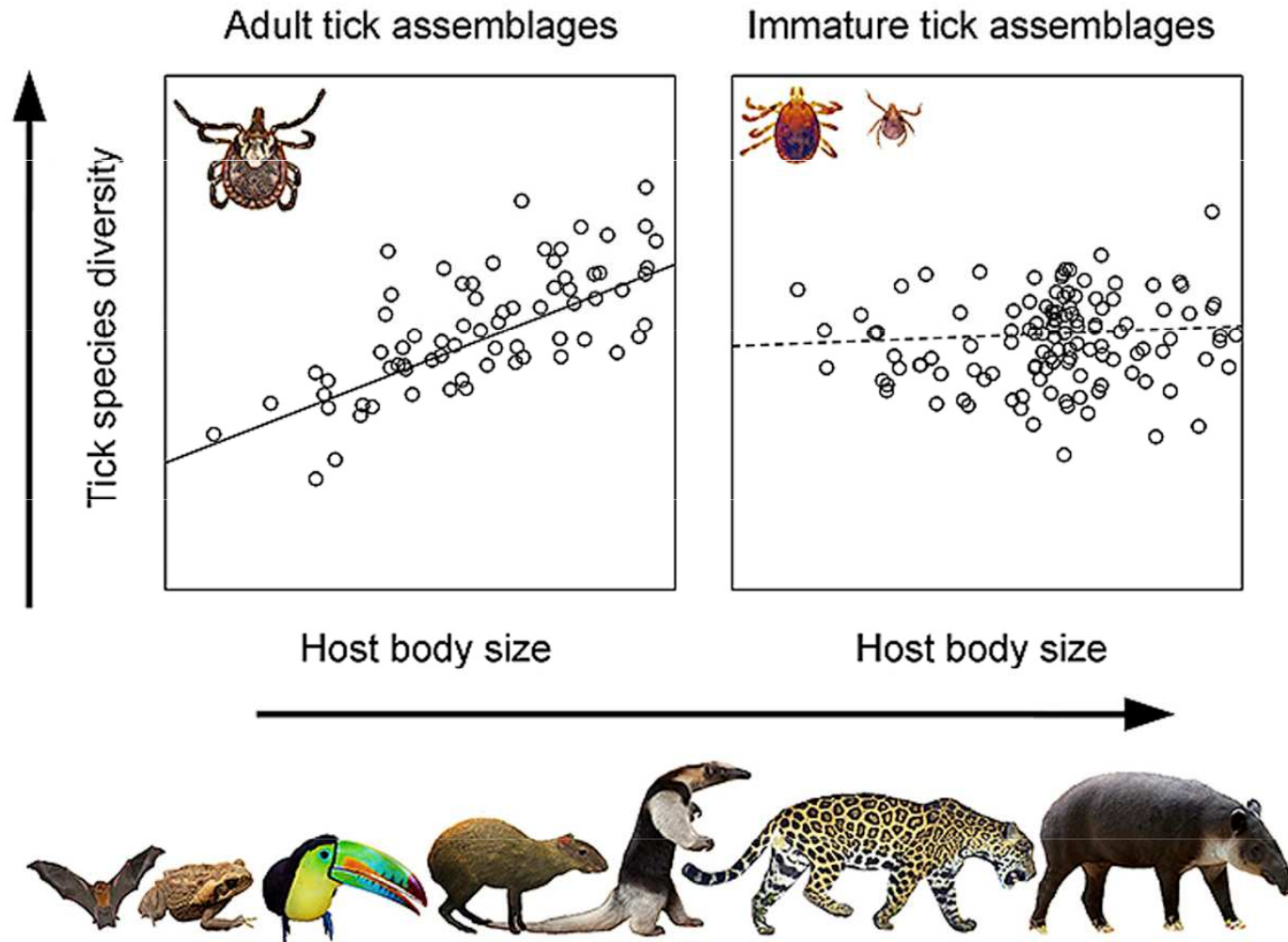
# Faktory posilující vnímavost vůči malárii



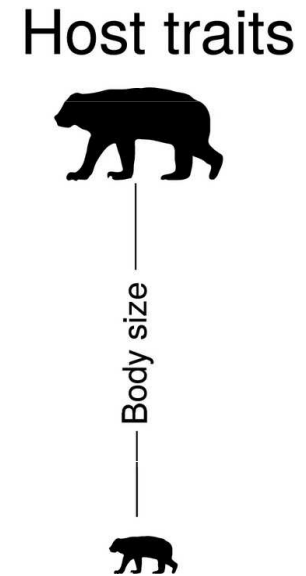
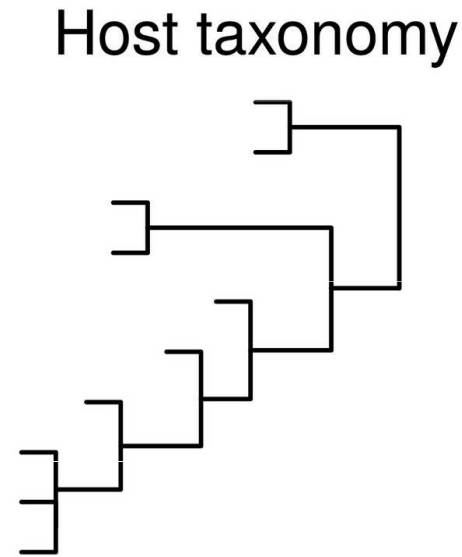
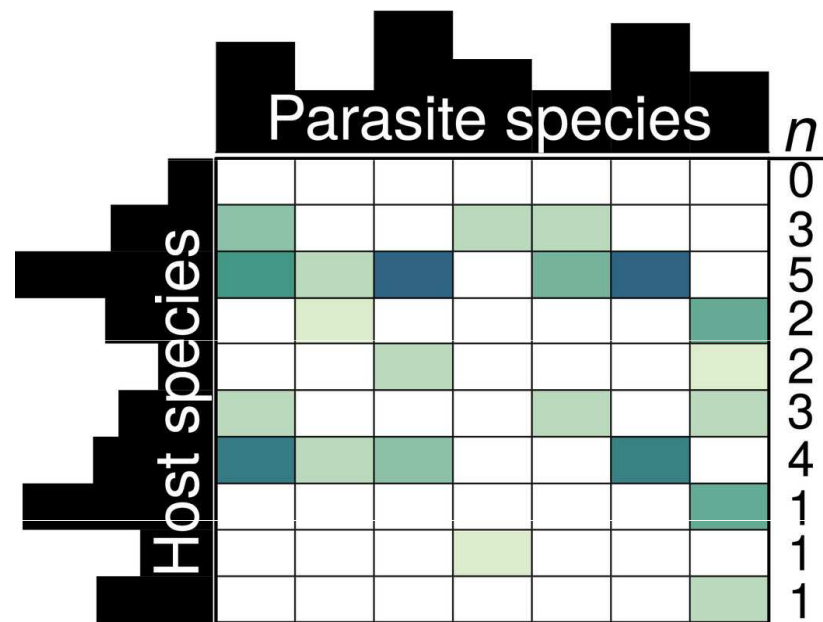


Vliv velikosti hostitele

# Vliv velikosti organismu hostitele

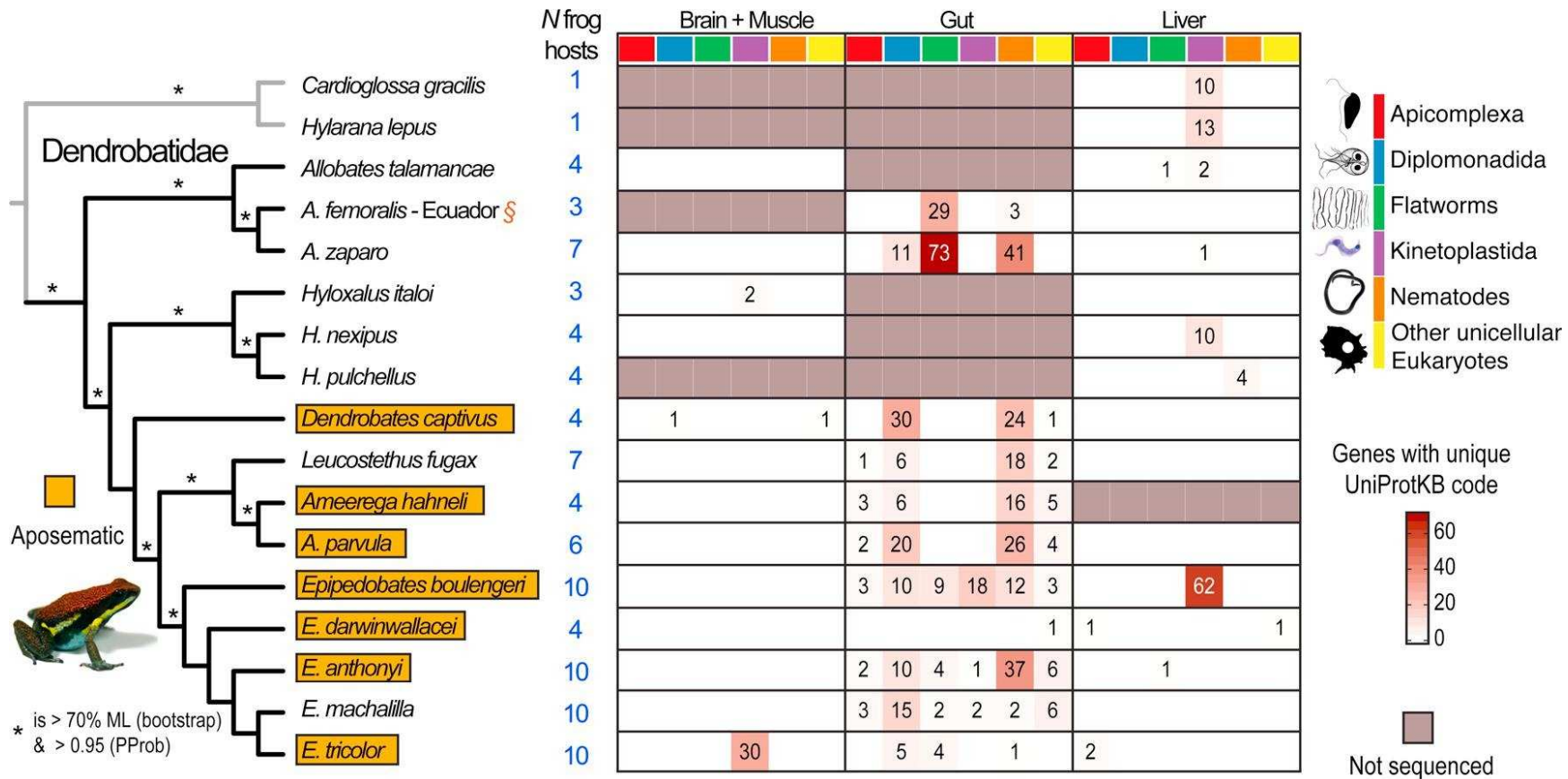


# Co určuje druhovou bohatost parazitů napříč hostitelskými druhy?

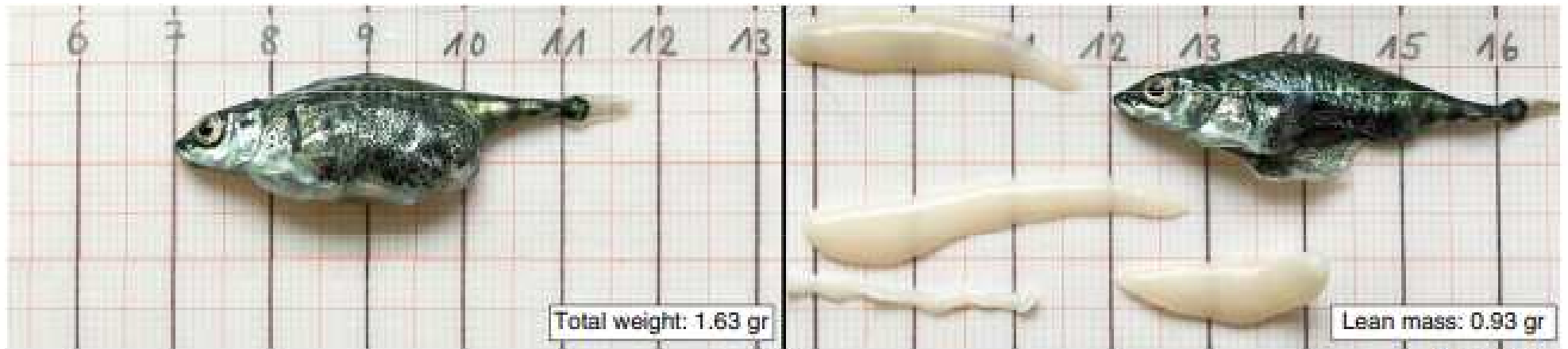


# Diverzita v rámci diverzity:

Druhovú bohatosť parazitů u jedovatých žab hodnocená transkriptomikou



## Vliv velikosti těla hostitele



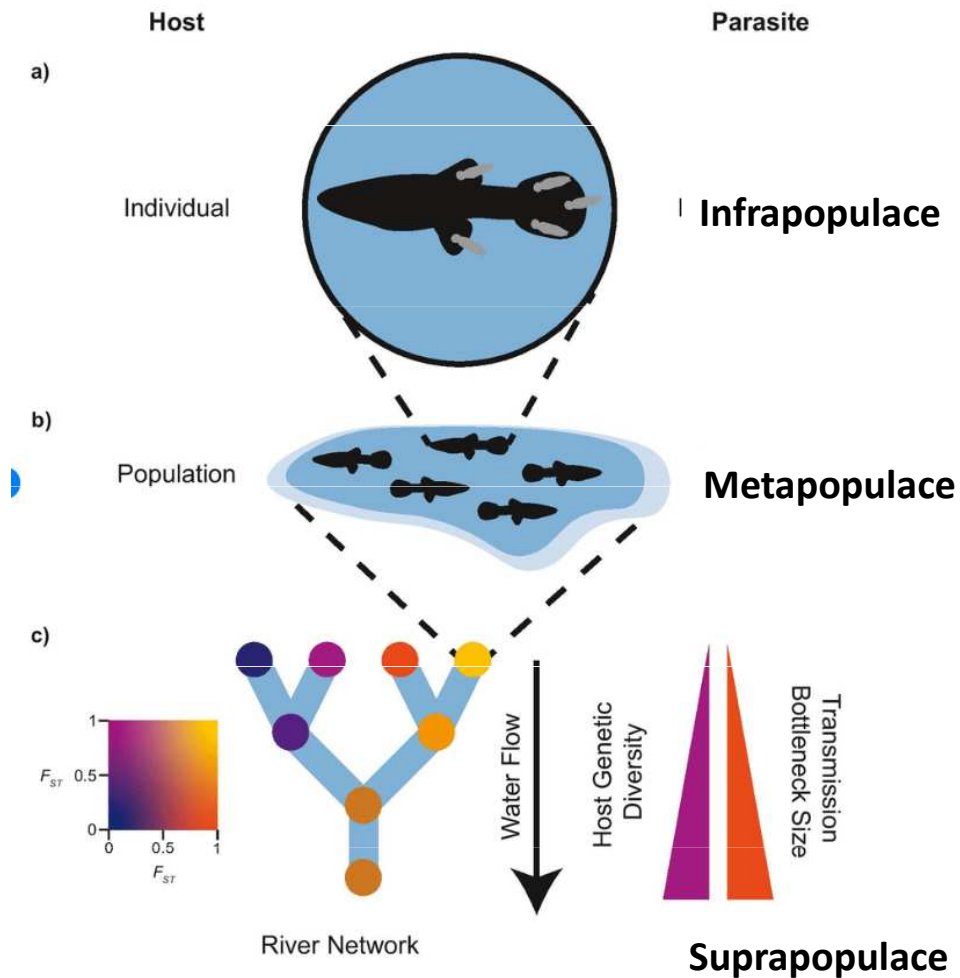
Velikost těla hostitele významně ovlivňuje velikost infrapopulace parazita; větší hostitel obvykle nese větší infrapopulaci parazita.

Larvální stadia tasemnice *Schistocephalus solidus* mohou dosahovat až 40% hmotnosti hostitelské ryby.

# Mají paraziti vliv na velikost populace hostitele ?

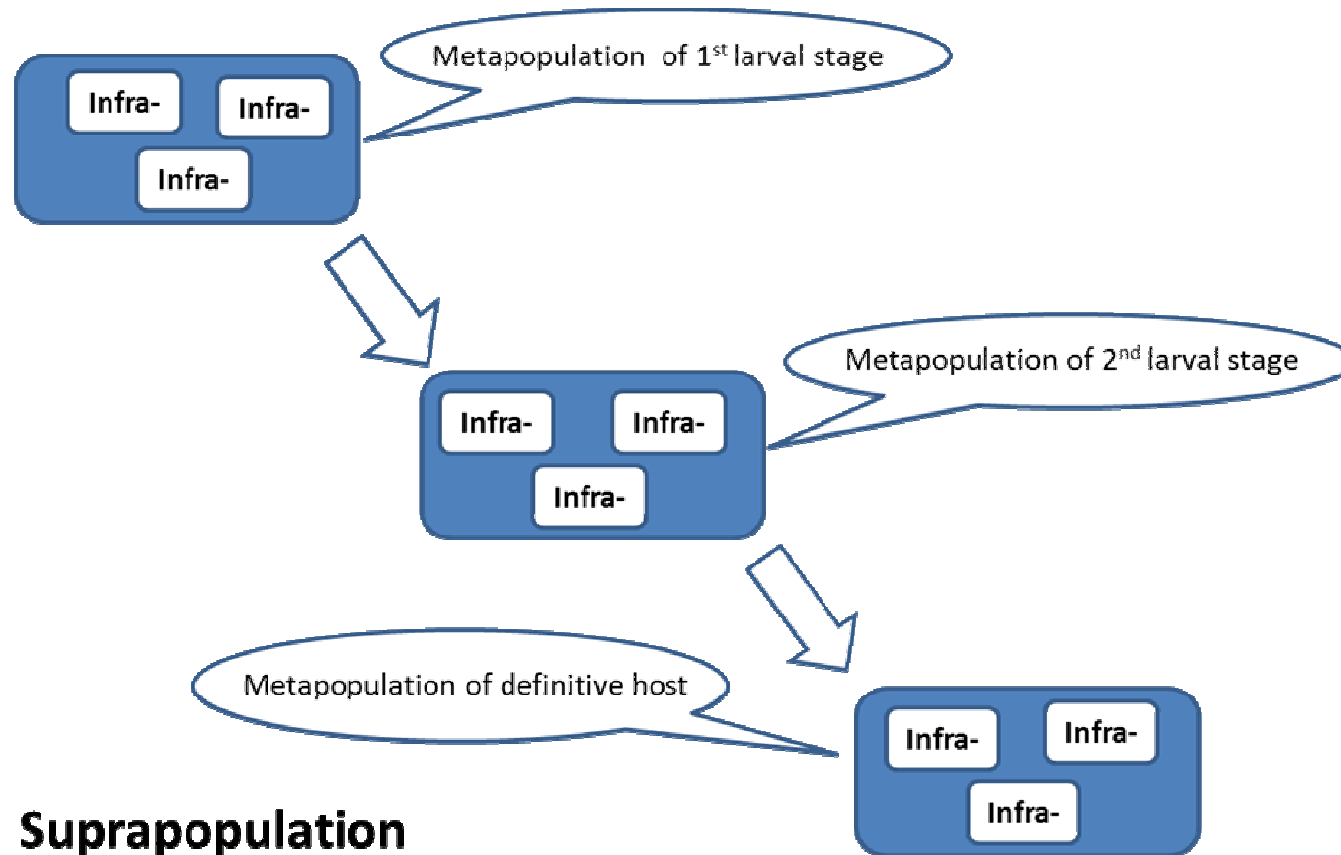
Řada studií využila systému parazit-hostit k průkazu vlivu parazitů na populaci hostitele tím, že došlo k redukci hustoty hostitelské populace a nebo dokonce došlo k **vyhynutí celé populace** ! (např. Park 1948; Finlayson 1949; Keymer 1981; Kohler and Wiley 1992; Hudson et al. 1998).

# Co je to infrapopulace ?



- V nejjemnějším měřítku jsou paraziti rozděleni mezi jednotlivé hostitele, čímž se vytvářejí infrapopulace složené z parazitů, kteří infikují konkrétního hostitele v určitém časovém okamžiku.
- Parazitární infrapopulace složené z po sobě jdoucích opakujících se generací jedinců budou fungovat jako demy a genetický drift bude působit v infrapopulaci. Úzká hrdla přenosu mezi jednotlivci ovlivní genetickou diverzitu parazitů interagujících v infrapopulaci.
- Na populačním měřítku b je populace parazitní složky složena ze všech parazitů infikujících všechny hostitele. Když je fluktuaace infrapopulace vysoká, dojde ke genetickému driftu v rámci komponentní populace.
- Na metapopulačním měřítku c umístění populace v rámci komplexní konfigurace stanoviště a krajinných procesů přímo ovlivňuje diverzitu genotypů parazitů, kterým je hostitel vystaven. Dendritické větvení interaguje s chováním při šíření hostitele, aby ovlivnilo tok genů a následnou genetickou diferenciaci v rámci sítě.
- Genetická diferenciaci mezi populacemi je znázorněna barvou kruhu, ve které větší barevné rozdíly mezi populacemi znamenají větší genetickou diferenciaci a vyšší hodnoty  $F_{ST}$  (převzato z Thomaz et al. 2016) – vložený barevný graf představuje genetickou identitu místní populace ve vícerozměrném prostoru.
- Asymetrické šíření v reakci na jednosměrný drift proudu má za následek větší genetickou diverzitu níže po proudu a v užších úzkých hrdlech přenosu parazitů dále proti proudu, což zvyšuje sílu genetického driftu proti proudu.

# Hierarchická struktura populace parazita

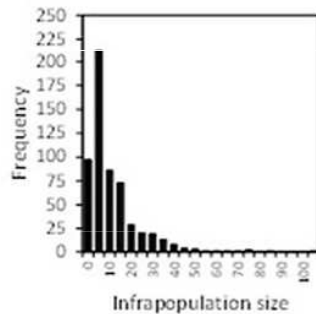




## Estimating parasite infrapopulation size given imperfect detection

### Parasite infrapopulations

- Infrapopulation size is a central metric in parasitology.
- Many parasites are difficult to detect.
- Models are available to estimate infrapopulation sizes of unmarked parasites given imperfect detection.



### Methods

- Fleas were removed from prairie dogs over three 30 sec combings.
- Huggins closed captures models estimated flea infrapopulation sizes while accounting for imperfect detection of fleas.



### Findings

- The probability of detecting individual fleas was 0.99 after 45 sec combing.
- Flea detection increased as the study progressed.
- Estimates of flea infrapopulation sizes ranged from 1 to 103.

**These methods could be applied to many taxa of parasites**

# Hostitel jako ostrov

- Roku 1968 přinesl Janzen teorii, že by bylo užitečné **představit si hostitele jako ostrovy, které jsou kolonizovány parazity.**
- Čím víc je jednotlivá rostlina **izolována od jiných rostlin stejného druhu, tím menší je nebezpečí, že bude parazitem osídlena.** Pokud je od ostatních jedinců svého druhu oddělena směsí jiných druhů, přenosná stadia parazitů mohou ztroskotat na nehostitelích.
- Toto tvrzení dobře podporuje fakt, že **velké epidemie chorob se objevily na plodinách, které jsou osázeny na velkých plochách. Rychlost přenosu je přímo úměrná počtu setkání nakažených a nenakažených hostitelů,** často však kolísá vlivem klimatických faktorů.
- **Model hostitel = ostrov platí spíše pro rostliny a houby** než pro živočichy. Příkladem může být **václavka obecná, která se šíří půdou jako rhizomorfa** a může infikovat dalšího hostitele tam, kde se střetávají kořeny hostitelů. Takovýmto přechodům se dá zabránit často fyzickou překážkou.
- **Podobnost mezi živočišným hostitelem a ostrovem není tak zřetelná.** Jako příklad může sloužit člověk kolonizovaný malarickým parazitem. Parazit způsobující malárii (*Plasmodium*) může přecházet z ostrova na ostrov jen prostřednictvím komára. Omezené letové dráhy komára pak představují vzdálenost mezi ostrovy.

## INFLUENCES ON SPECIES DIVERSITY



# Hostitel jako ostrov, jak se na něj dostat ?

**Organismus hostitele je ostrov**, který je kolonizován cizopasníky. Hostitel pro parazita představuje stabilní prostředí, což je výhoda. Nevýhodou je ale to, že **není snadné organismu hostitele dosáhnout** a také to, může narazit na **aktivní obranu**.

**V hostiteli dochází k četným interakcím mezi hostitelem, parazitem a dalšími v něm přítomnými parazity.** Např. vrtejší dokážou ze střev svého hostitele „vystrnadit“ tasemnici. Echinostomní rédie vstupují v prvním mezihostiteli (vodní předožábřý plž) do kompetice se sporocystami schistosom.



# Organismus hostitele jako ostrov

Epidemiologie – studium „chování“ nemoci populacích hostitelů

- Klíčový prvek – přenos/šíření
- Modelová představa inspirovaná tzv. ostrovní geografií: hostitel je ostrov, kolonizovaný parazity
  - U rostlin snadno představitelné: čím vzdálenější jsou rostliny (jejich části, jejich stanoviště), tím obtížnější přenos. Proto většina rostlinných epidemií v monokulturách.
  - U živočichů trochu problém: pohybují se

**Aplikace teorie ostrovní biogeografie v parazitologii**

# Teorie ostrovní biogeografie

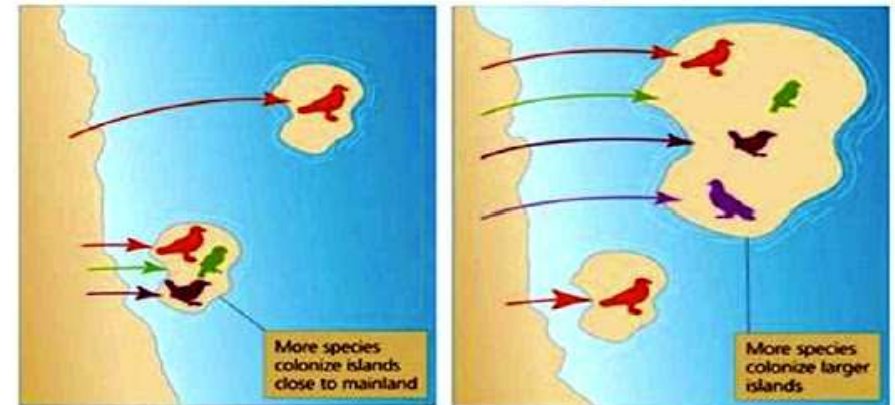


## Equilibrium theory of Island Biogeography

Popisuje teoretický vztah mezi imigrací a emigrací druhů na ostrov v závislosti na jeho velikosti a vzdálenosti od mateřské pevniny.

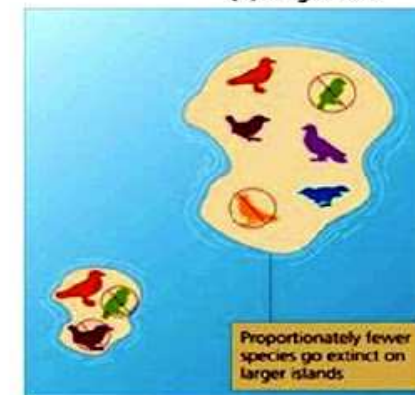
Jsou zde dvě hlavní proměnné ovlivňující míru extinkce a imigrace:

- 1) Velikost ostrova
- 2) Jeho vzdálenost od mateřské pevniny



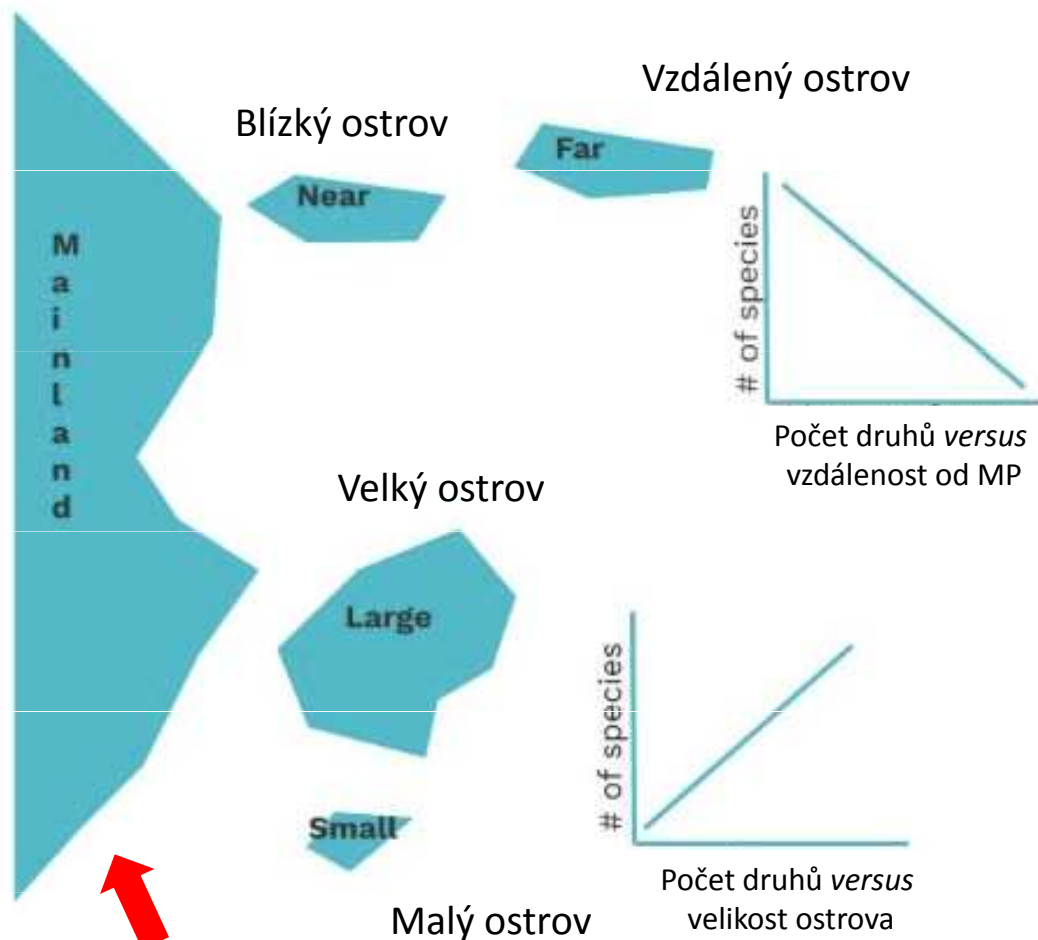
(a) Distance effect

(b) Target size

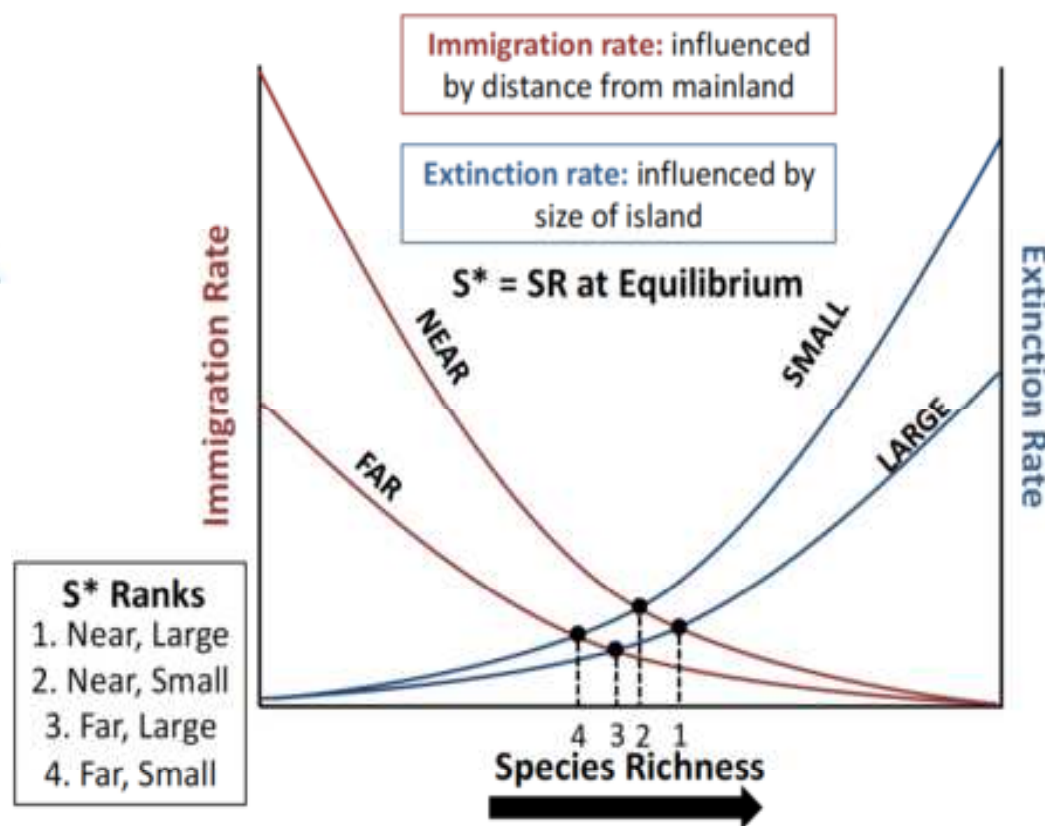


(c) Differential extinction

# Teorie ostrovní biogeografie - model



## Equilibrium Model of Island Biogeography



Mateřská pevnina (MP) – zdroj infekce

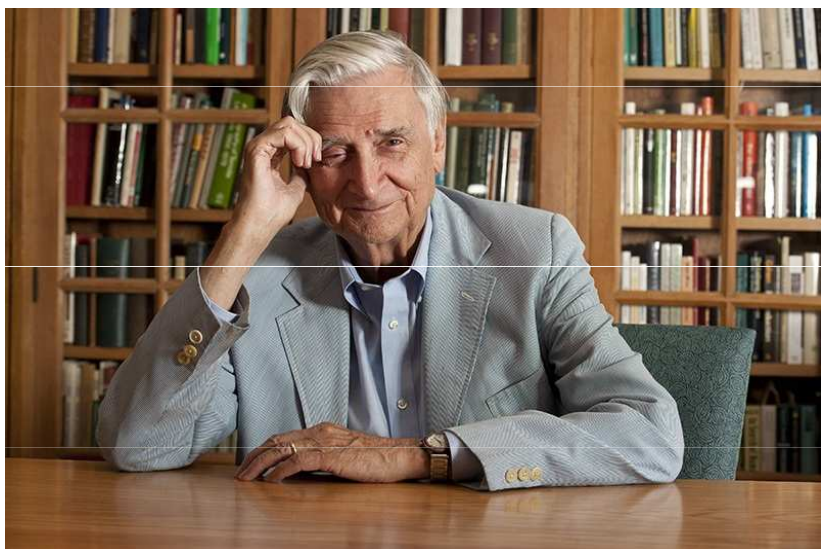
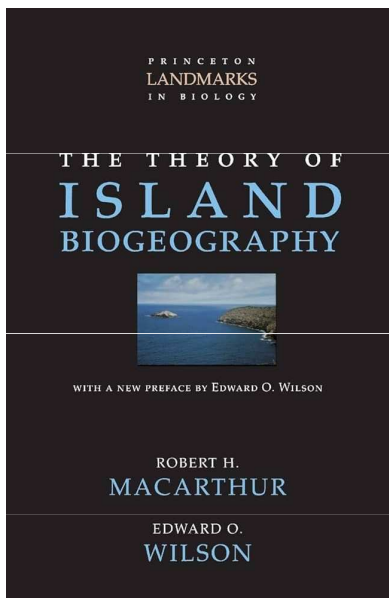
# Jak chápeme pojem ostrov v parazitologii

Co vše může být chápáno jako ostrov:

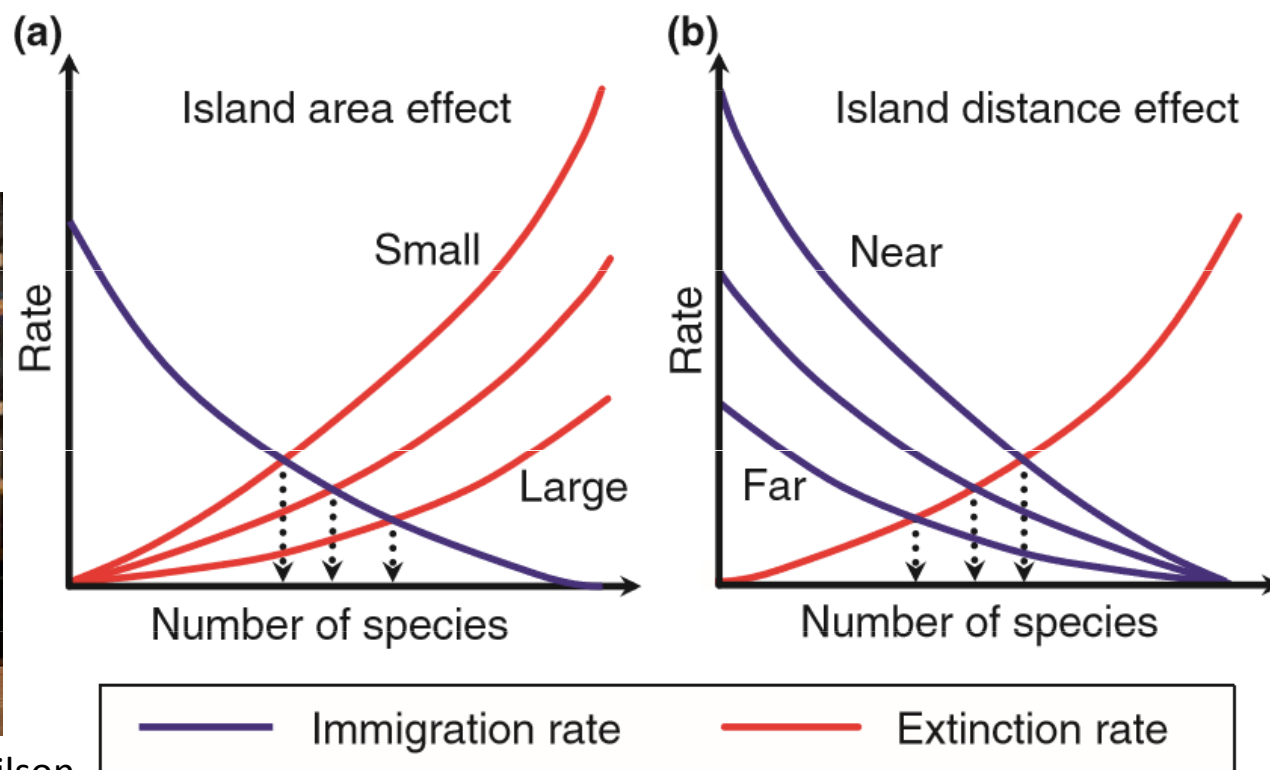
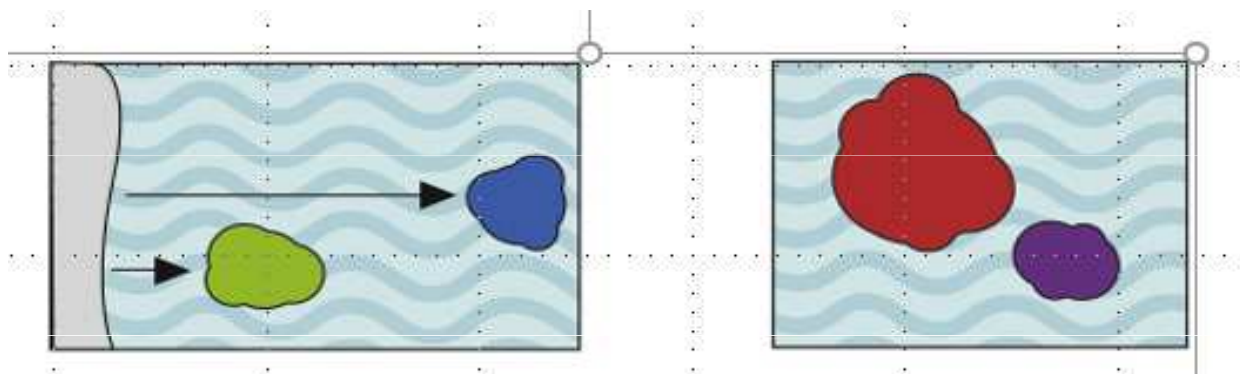
- Organismus hostitele jako jedinec (velikost, stáří)
- Populace hostitele, jako ostrov biomasy (abundance, hustota)
- Ostrov pevniny v moři vody
- Jezero v „moři“ souše
- Oáza v poušti ( v moři písku)
- Vrchol hory
- Hluboká propast
- Podzemní jeskyně
- Tepelný ostrov – město
- Národní parky/rezervace







Zesnulý Robert H. Mac Arthur (nahore) a E.O. Wilson



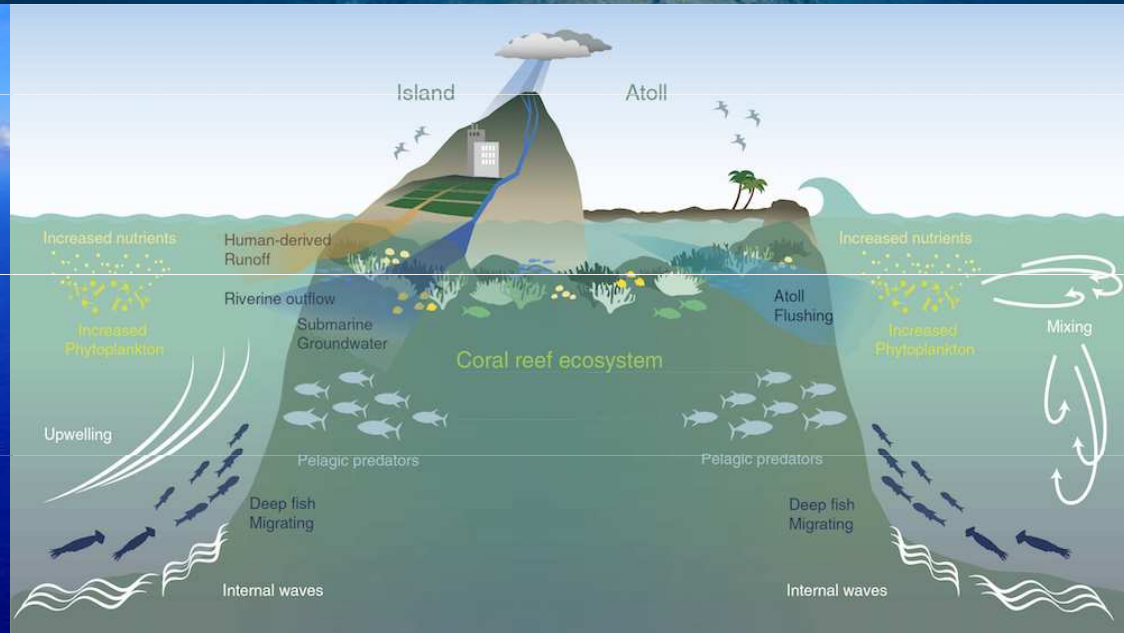
Organismus nositele jako ostrov – drun,  
velikost



# Organismus hostitele – jedinec jako habitat



# Ostrov v moři





# Dno Mariánského příkopu – extrémní hloubka – „potraví“



# Ostrov souše uprostřed vody



# Oáza v poušti jako ostrov





**Vrchol hory jako  
ostrov**



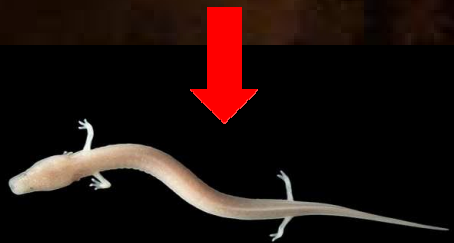
## Stolová hora – vrchol jako ostrov



# Senotes – zatopená jeskyňe jako ostrov



Podzemní jeskyně jako ostrov



# Jezero v moři souše jako ostrov



Rašeliniště jako  
ostrov

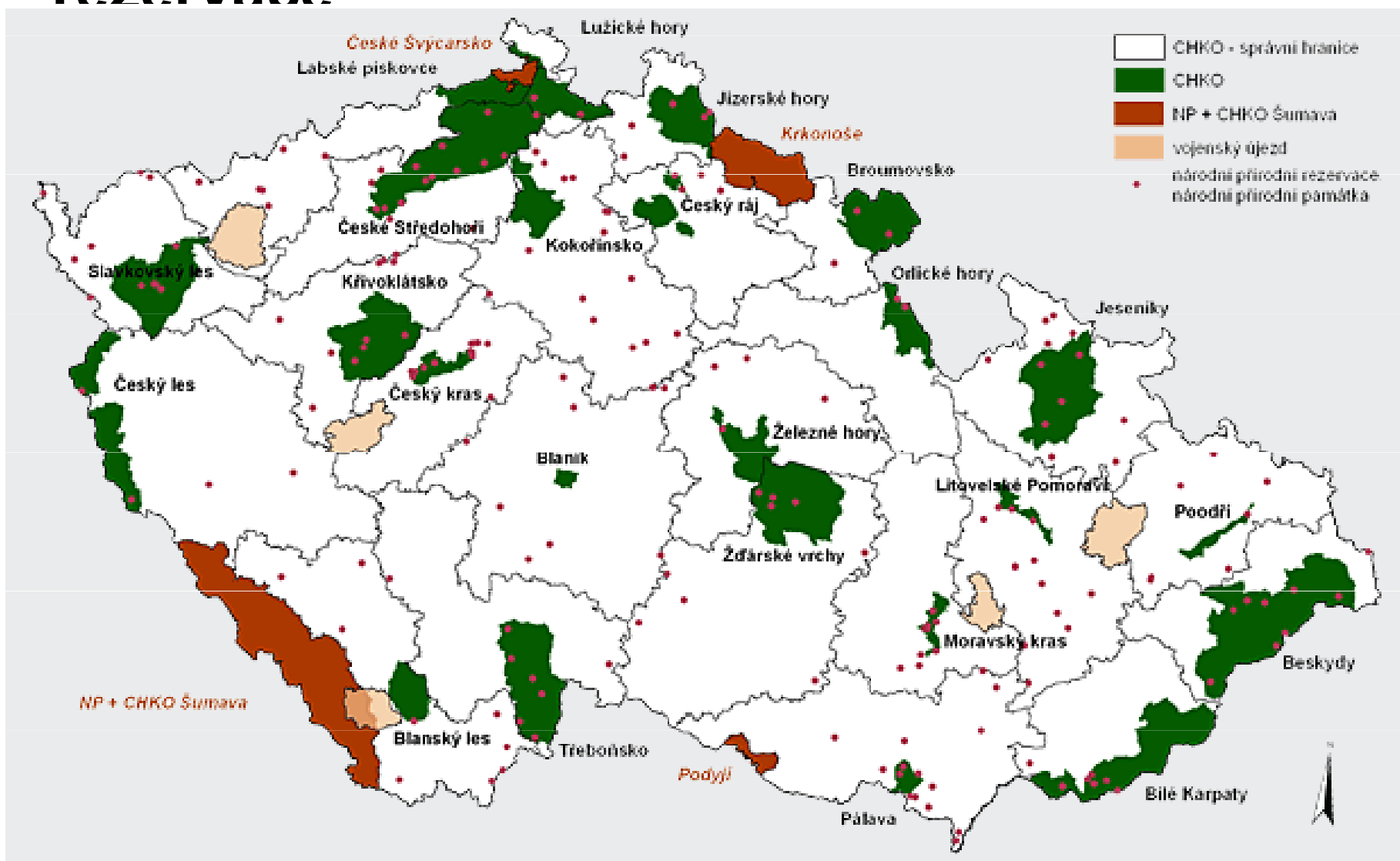




Starý strom jako  
ostrov

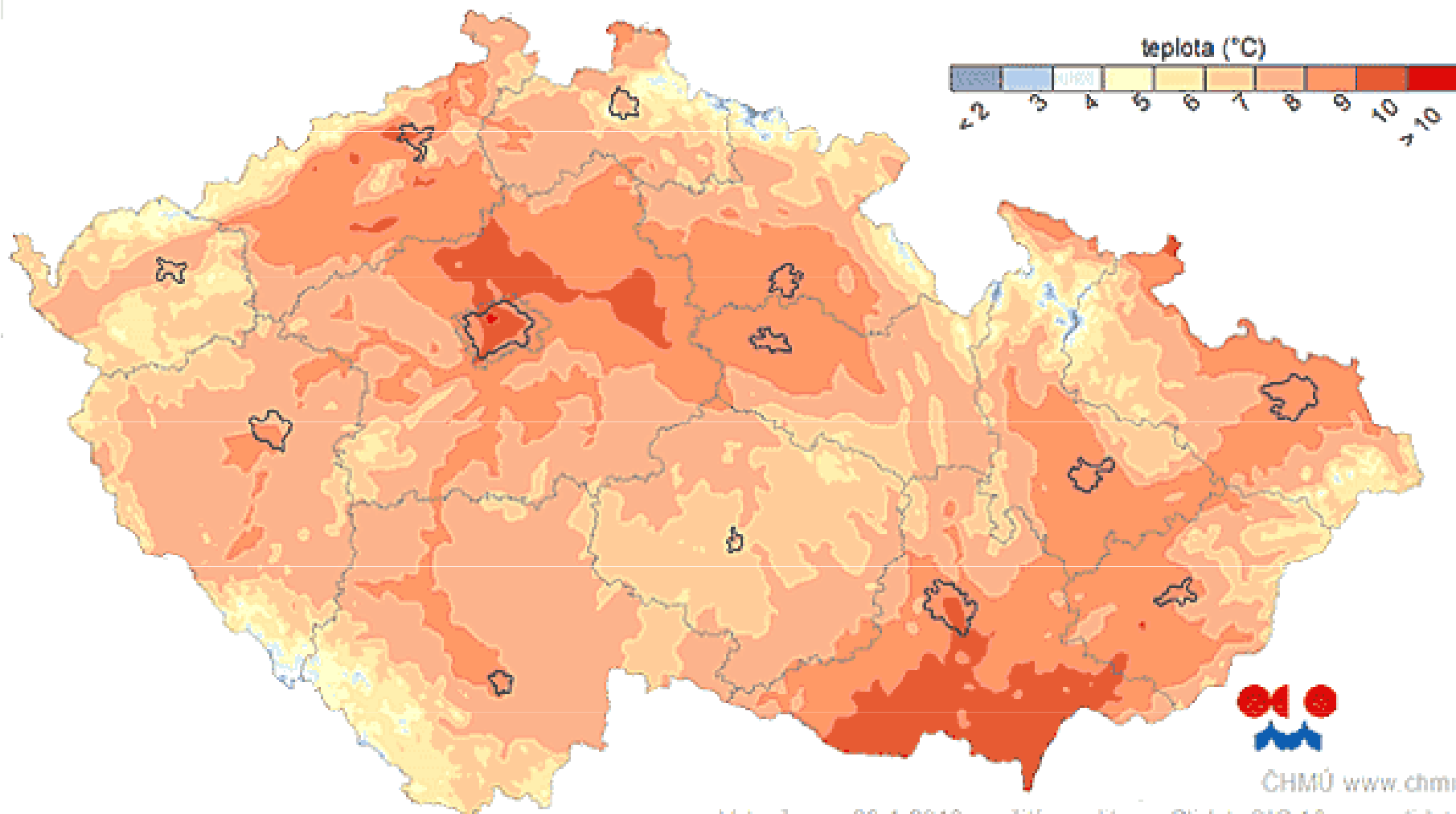
Fytocenotický konex

# Národní parky CHKO, národní přírodní rezervace



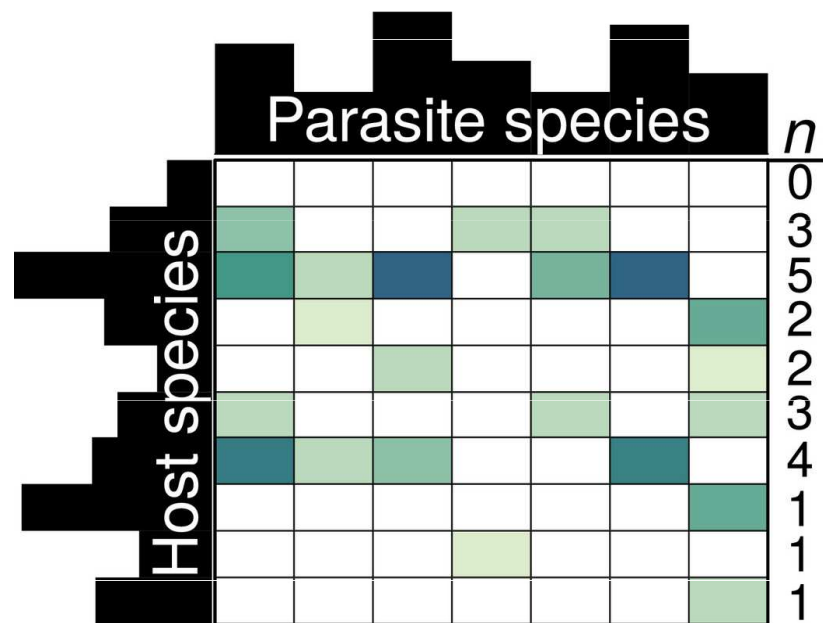


# Tepelný ostrov města Prahy

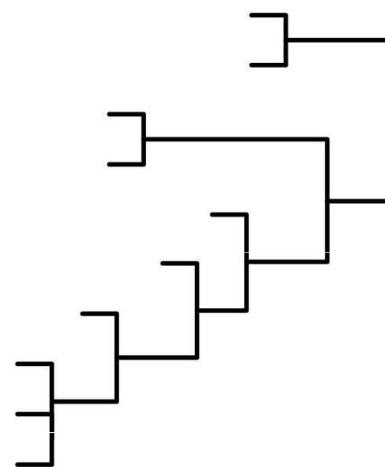


Vytvořeno : 29.1.2013 využitím aplikace CidataGIS 10 www.cidata.cz

# Co určuje druhovou bohatost parazitů napříč hostitelskými druhy „velikost ostrova“



Host taxonomy



Host traits



Body size

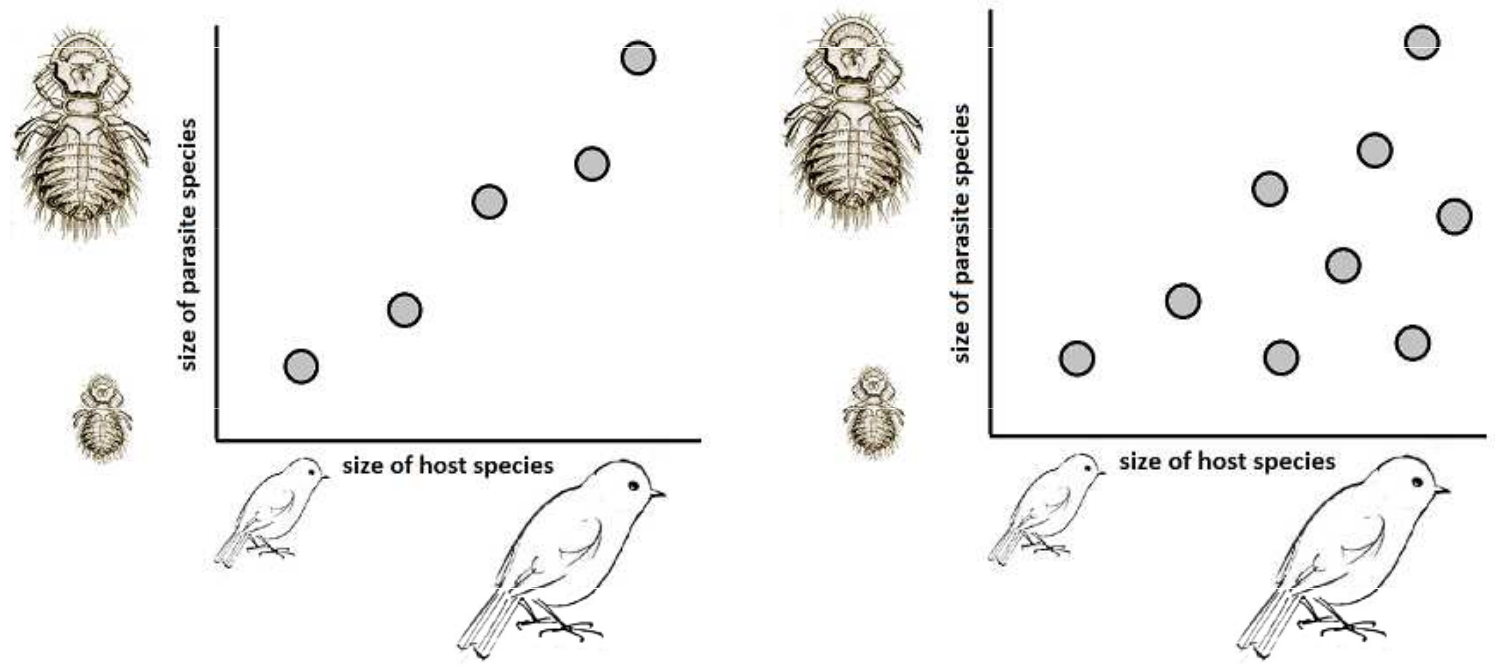


**Paraziti preferují větší a tudíž predikovatelnější (rozuměj stabilnější) habitat !**  
 (Aplikace koncepce teorie ostrovů Mac Arthura a Wilsona)



Launcelot Harrison  
1880-1928

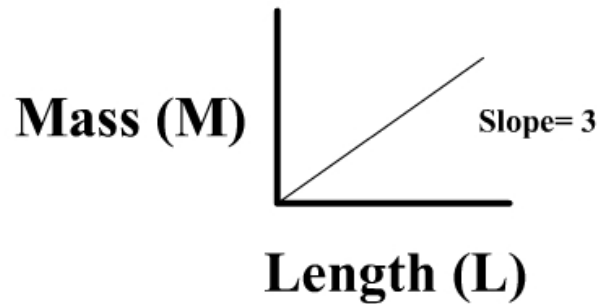
# Harrisonovo evoluční pravidlo



Hostitelé malých rozměrů hostí malé cizopasníky a hostitelé větší mohou hostit málo ale i hodně cizopasníků (Poulin,

# Allometrie - Allometrická rovnice

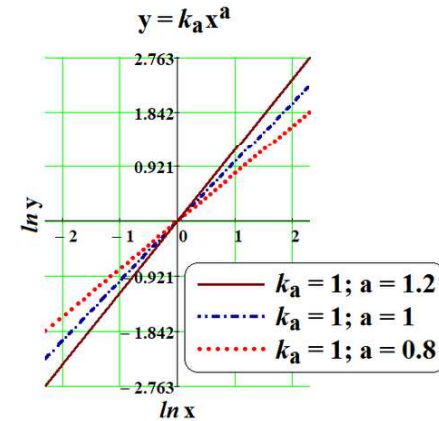
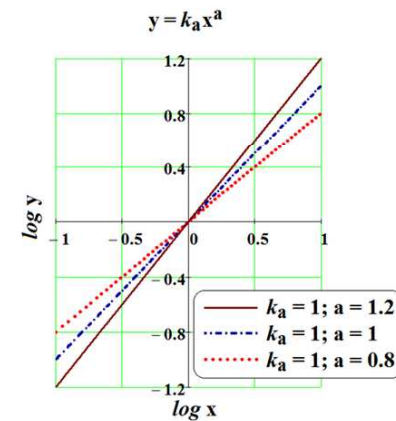
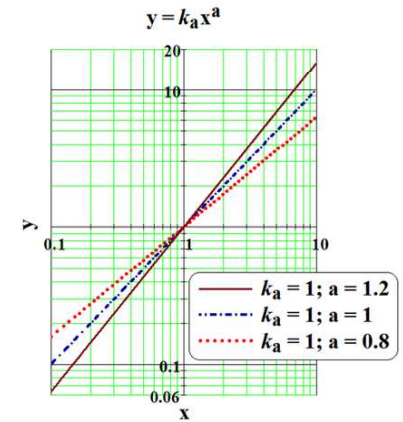
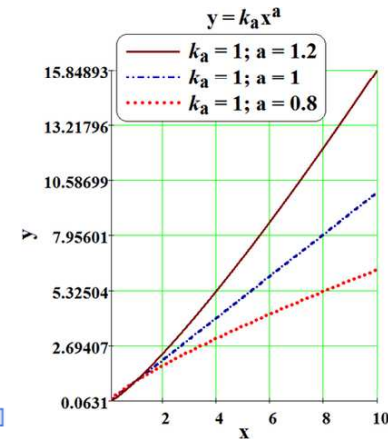
Allometrie je **studiem vztahů proporcí velikosti těla a jeho tvaru** z hlediska **anatomie, fyziologie, a chování**. Poprvé byla tato zákotost formulována Otto Snellem v roce 1892 a posléze upřesněna D'Arcym v roce 1917 v díle „Growth and Form“ Julianem Huxleym v roce 1932.



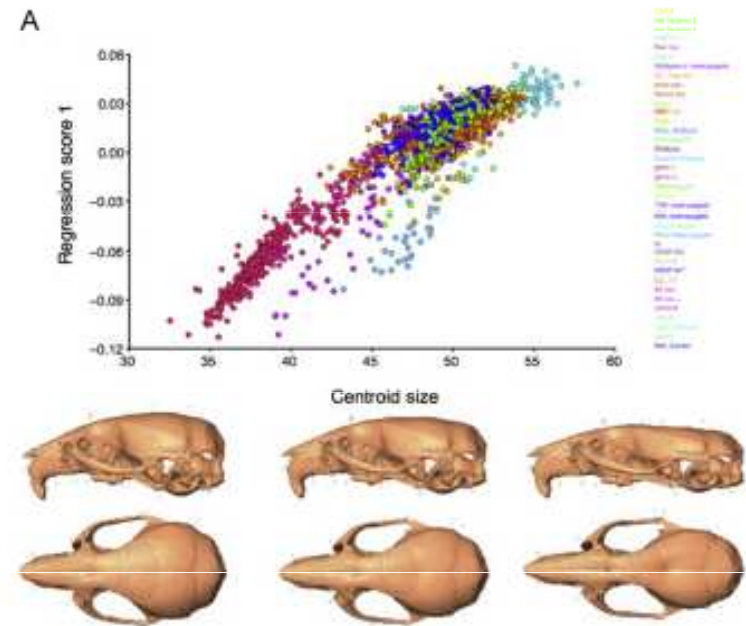
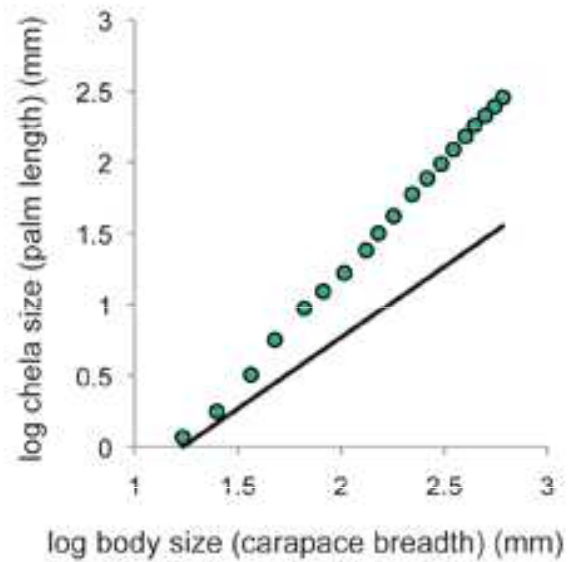
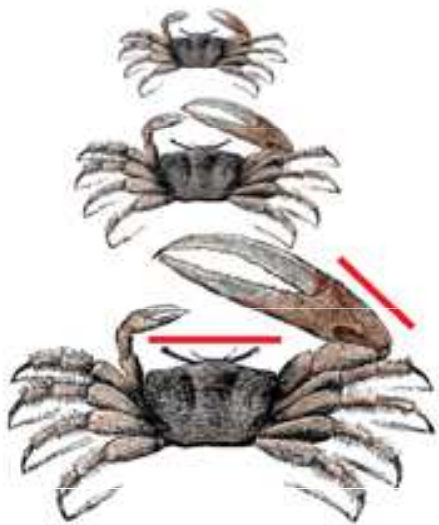
**Explanation: Mass=Volume=L<sup>3</sup>**  
**Mass/Length= 3/1=3. Expected slope should be 3.**

Scaling range for different organisms<sup>[11]</sup>

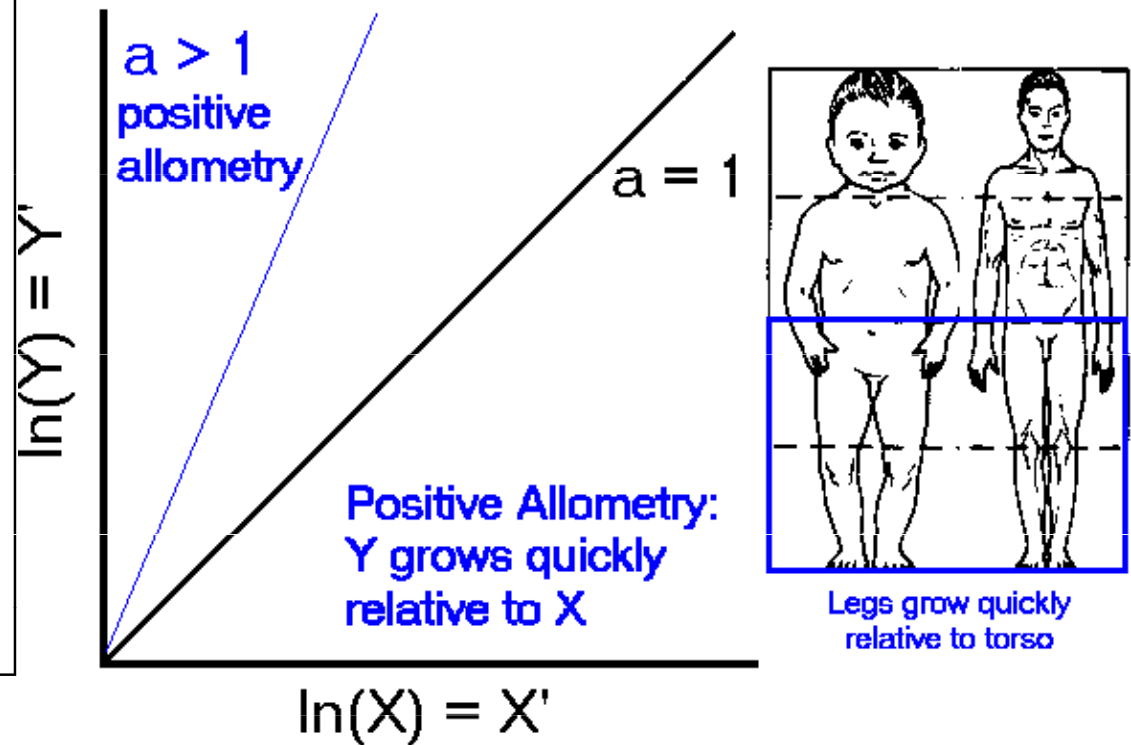
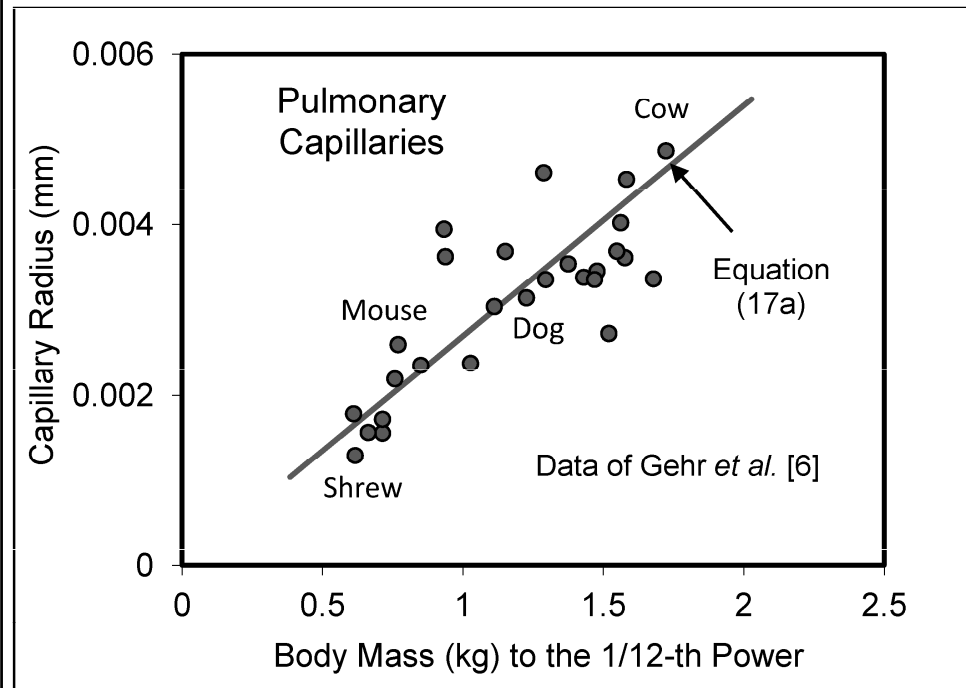
Group	Factor	Length range
Insects	1000	10 <sup>-4</sup> to 10 <sup>-1</sup> m
Fish	1000	10 <sup>-2</sup> to 10 <sup>+1</sup> m
Mammals	1000	10 <sup>-1</sup> to 10 <sup>+2</sup> m
Vascular plants	10,000	10 <sup>-2</sup> to 10 <sup>+2</sup> m
Algae	100,000	10 <sup>-5</sup> to 10 <sup>0</sup> m



# Biologické škálování

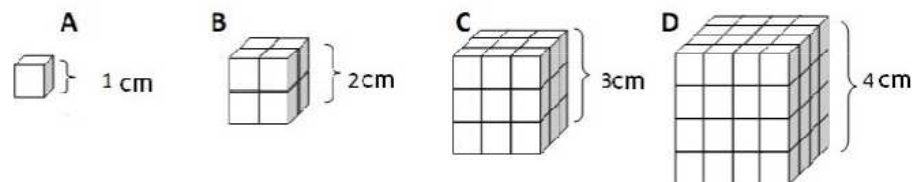
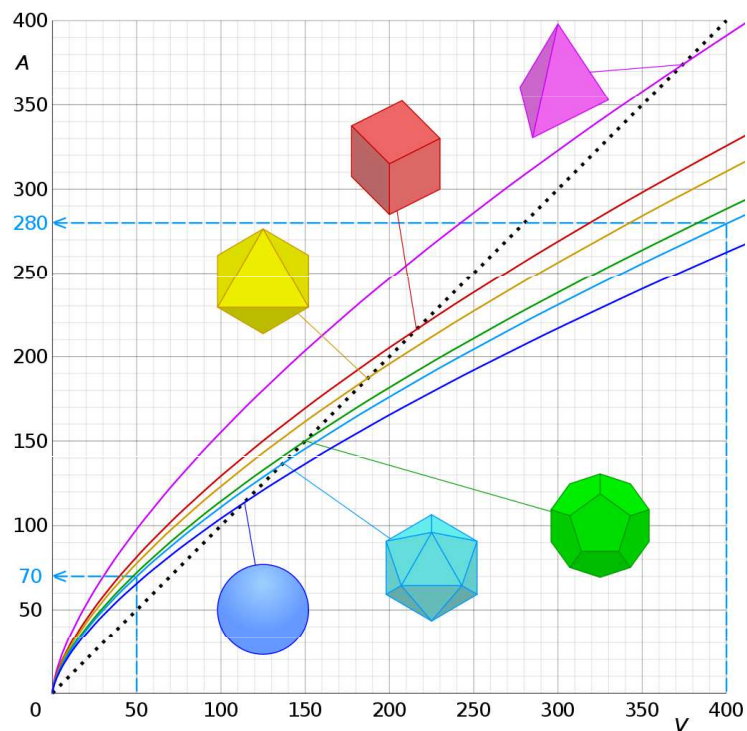


# Příklady alometrických závislostí



# Zákonitost povrch versus objem

Pokud objekt prodělává proporciální změnu své velikosti, jeho nová povrchu se bude zvětšovat s kvadraticky ( $x^2$ ) a následně jeho objem kubicky ( $x^3$ ).



OBR.	n počet krychlíček	plocha S	objem V	S/V
A	1	6	1	6
B	8	24	8	3
C	27	54	27	2
D	64	96	64	1.5

# Bergmanovo pravidlo

- Endotermní („teplokrevní“) živočichové v teplých oblastech dosahují větších rozměrů než jejich příbuzní v oblastech s chladným podnebím. Ve studených oblastech se totiž vyplatí mít malý poměr povrchu k objemu, aby nedocházelo ke ztrátám tepla – a platí, že velké těleso má tento poměr menší
- Platí pro člověka?



Kaiser-Pinguin	Magelan-Pinguin	Galapagos-Pinguin
120 cm	70 cm	50 cm
40 kg	5 kg	2 kg
Antarktida	Argentina	Galapágy
-19 °C	8 °C	24 °C



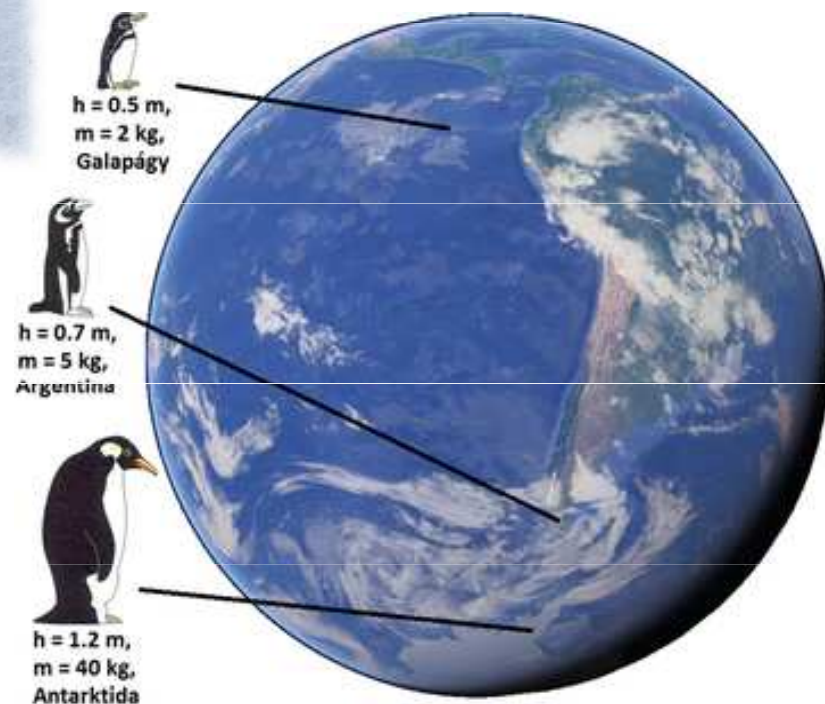
fenek berberský



liška obecná



liška polární





# Aplikace v letectví



Hostitel jako ekologická nika

# Ekologická nika parazitů

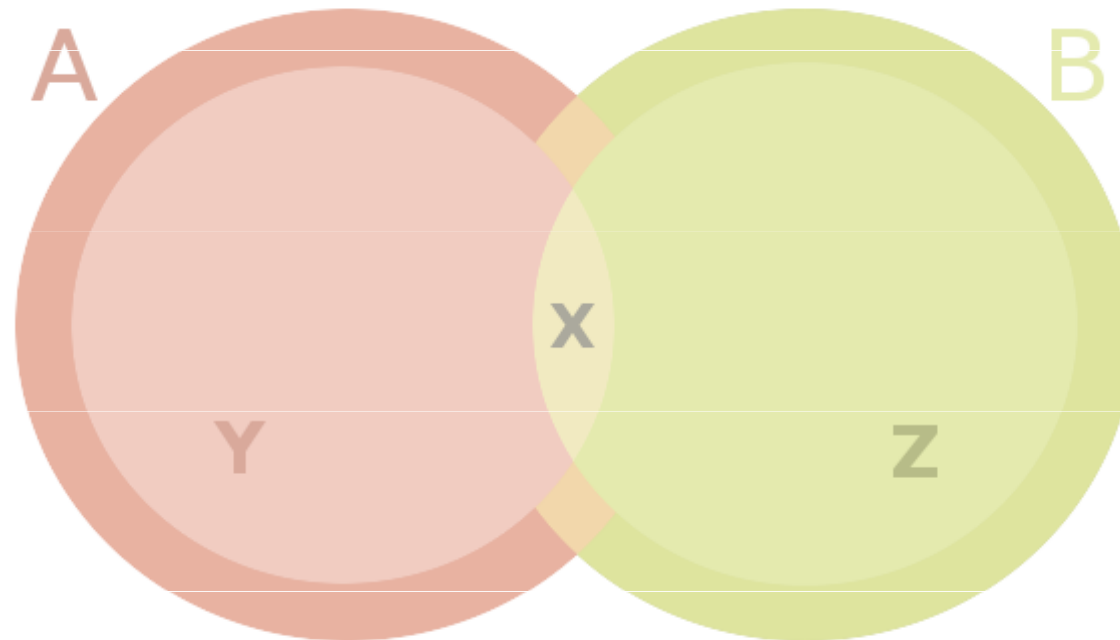
Ekologickou niku parazitů vytváří organismus hostitele stejně jako abiotické podmínky vnějšího prostředí pro transmisivní stádia jako např. vajíčka, cysty, spory a juvenilní jedinci.

# Ekologická nika – obecná charakteristika

- Termínem ekologická nika se v obecné ekologii označuje souhrn životních podmínek, které umožňují **životaschopnou existenci populace** určitého druhu. Tyto podmínky jsou určovány faktory prostředí, které lze dělit na **abiotické a biotické**.
- V ekologii je **nika** shoda druhu s konkrétními podmínkami prostředí. Popisuje, jak organismus nebo populace reaguje na **distribuci zdrojů a konkurentů** (například růstem, když je zdrojů dostatek a když jsou vzácní predátoři, paraziti a patogeny) a jak následně mění tytéž faktory (například omezuje přístup ke zdrojům pro jiné organismy, působí jako zdroj potravy pro predátory a konzument kořisti). "**Typ a počet proměnných, které tvoří rozměry environmentální niky, se liší od jednoho druhu k druhému** [a] relativní důležitost konkrétních environmentálních proměnných pro druh se může lišit v závislosti na geografickém a biotickém kontextu."



# Zjednodušené grafické znázornění ekologických nik dvou druhů.



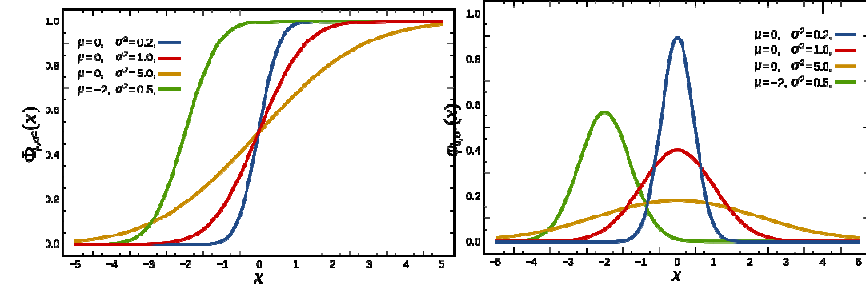
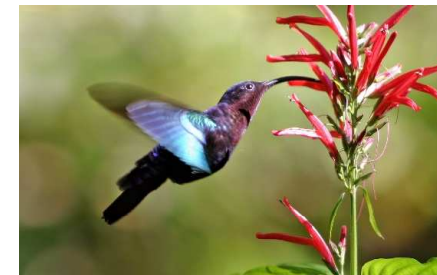
A - fundamentální nika druhu 1; B - fundamentální nika druhu 2; Y - realizovaná nika druhu 1; Z - realizovaná nika druhu 2; X - překryv realizovaných nik obou druhů, ve kterém se projevuje kompetice

# Nika jako funkční začlenění jedince

- Ekologická nika je definována jako „**funkční začlenění jedince (popř. populace) v ekosystému**“. E.P. Odum hovoří o „**zaměstnání druhu v přírodě**“ (Odum, 1977). Ekologická nika je determinována **kvantifikovanými nároky organismu na biotické a abiotické faktory prostředí (potravu, prostor, světlo, teplo, pH, vlhko)**
- Pokud nějaký druh vymře (i lokálně), zůstane po něm ***prázdná nika***. Tato nika může, ale nemusí být obsazena jiným druhem. Příkladem ve střední Evropě může být **nika odpovídající vlkovi**. Tam, kde byl **vlk vyhuben, došlo k přemnožení jelení a srnčí zvěře**, jejíž realizovanou **niku přestal vlk omezovat**. V oblastech, kde byl **znovu vysazen rys**, mohl predací menších živočichů převzít část niky vlka. Jelena však rys prakticky nemůže ohrozit.

# Různé pojetí ekologické niky

- **Grinnelliho nika** je určena stanovištěm, ve kterém druh žije, a jeho doprovodnými behaviorálními adaptacemi. **Je to nika potřeb - splňuje podmínky pro přežití** (např. sukulenty).
- **Eltonovská nika** zdůrazňuje, že druh nejen roste v prostředí a reaguje na něj, ale může také měnit prostředí a jeho chování, jak roste. **Nika je chápána především prostorově (výklenek)**; (obsazen/neobsazen- např. bobr a bobří hráz).
- **Hutchinsonova nika** používá matematiku a statistiku, aby se pokusila vysvětlit, jak druhy koexistují v rámci daného společenstva. Je to "**n-dimenzionální hyperobjem**", kde **dimenze jsou podmínky prostředí a zdroje**.



# Hostitel - ekologická nika parazita

Ekologická nika parazitů představuje zdroje zajišťované živým organismem hostitele stejně jako abiotickými podmínkami týkajícími se především transmisních stádií parazita jako např. vajíčka, cysty, spory a juvenilní stádia.

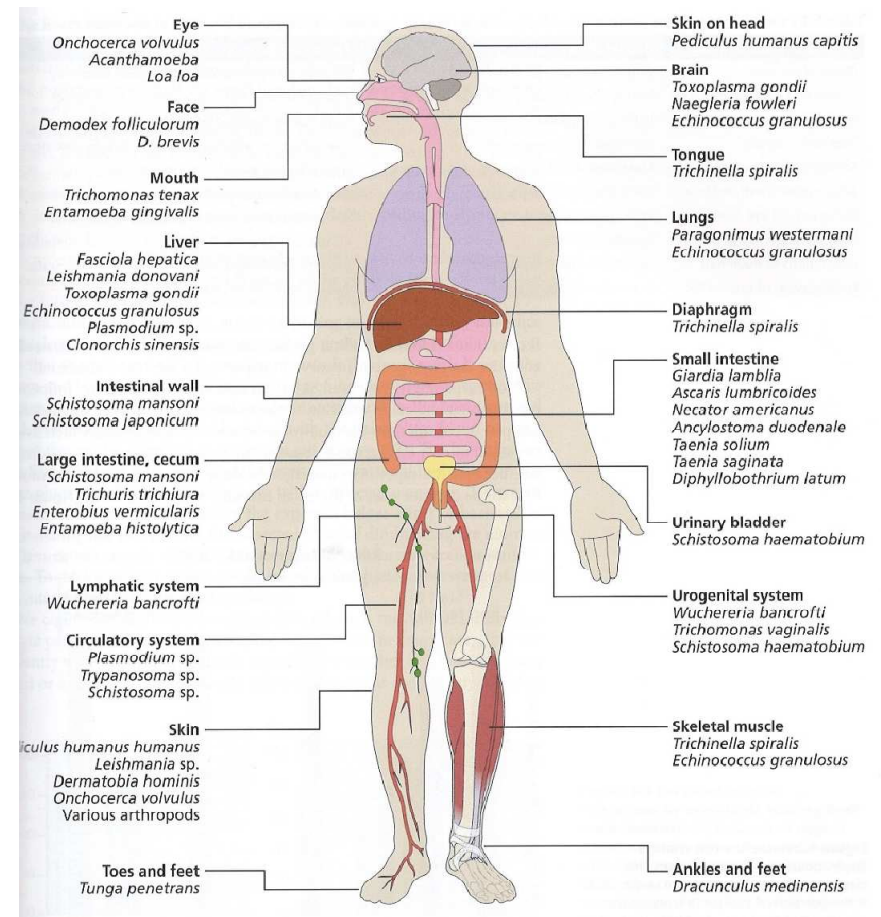
**Zaživací trakt** představuje mnoho různých mikroprostředí (prostorových nik)

Při cestě zaživacím traktem proto lze narazit na řadu různých symbiontů- parazitů:

- ústa – *Entamoeba gingivalis*
- žaludek - vývojová stádia L4 *Ascaris lumbricoides*
- Žlučovody – *Fasciola hepatica*
- tenké střevo – *Taenia saginata* a mnoho dalších
- Tlusté střevo – *Dientamoeba fragilis*, *Entamoeba coli*, *Endolimax nana* a *Trichuris trichiura*
- Konečník – *Enterobius vermicularis*

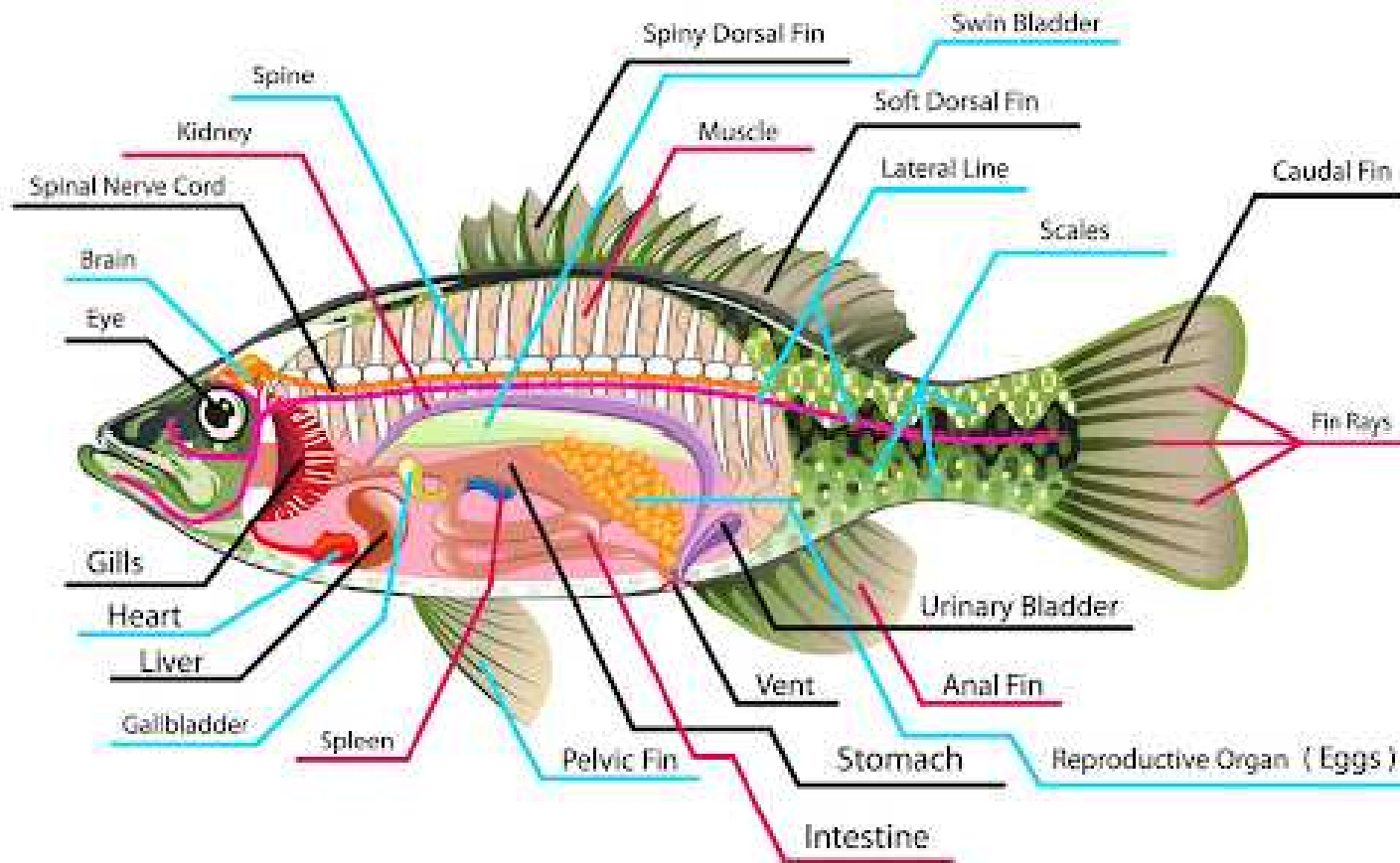
**Podobné příklady lze najít v případě dalších orgánů:**

- Oběhová soustava
- Tělní dutina (coelom)
- Specializované buňky (makrofágy)
- Tělesné orgány (plíce, játra, mozek atd.)





# Hostitel jako habitat

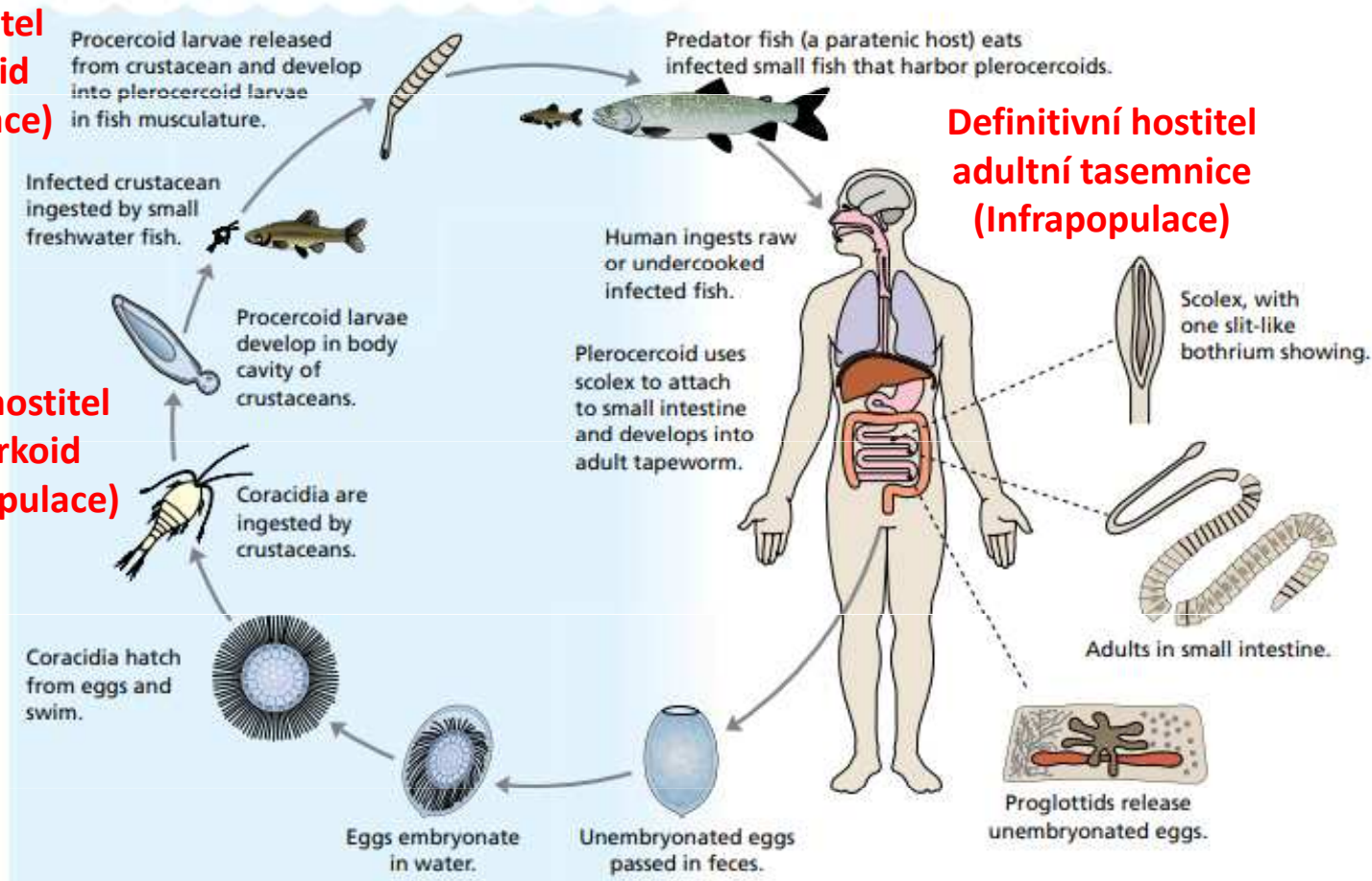


# Fragmentovaná struktura populace parazita

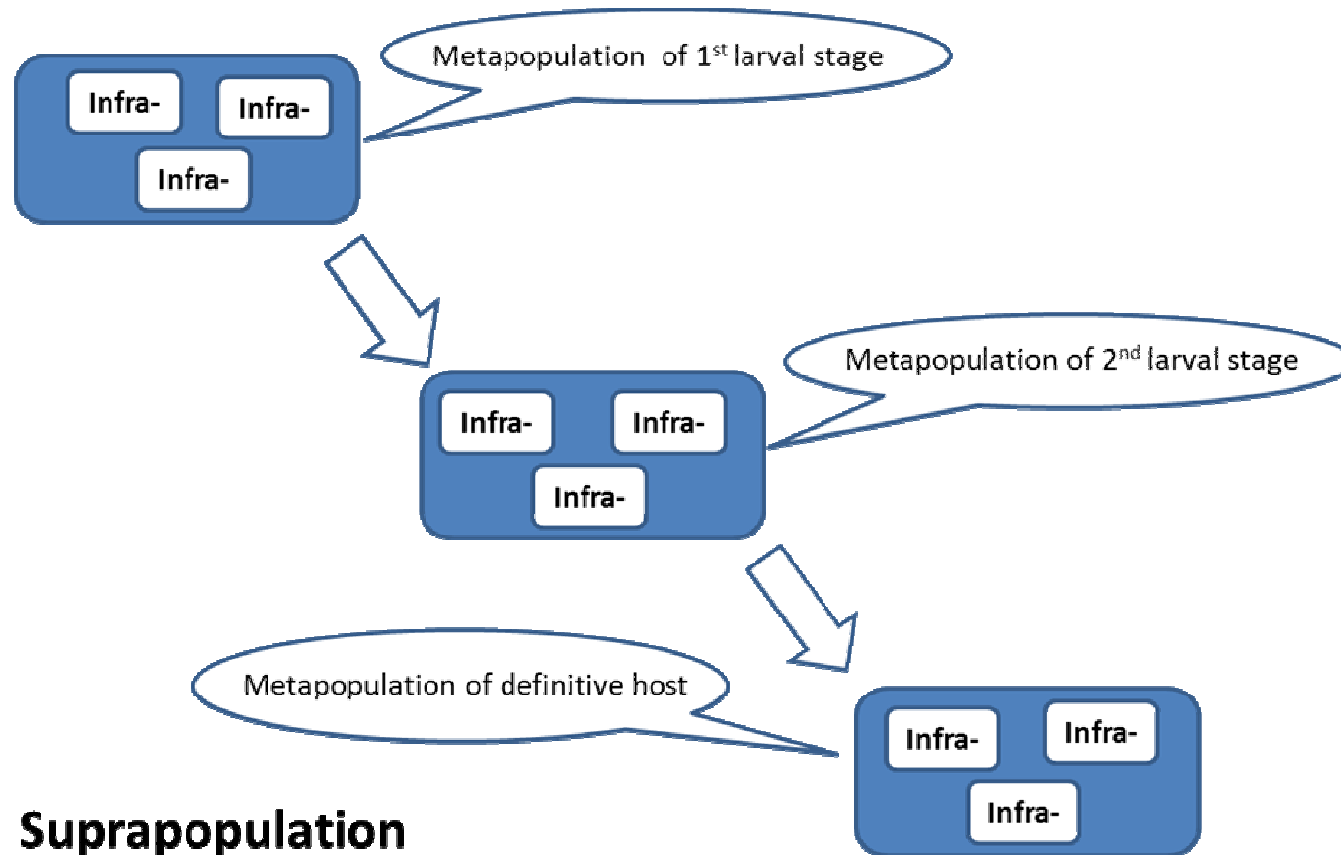
**2. Mezihostitel  
Plerocerkoid  
(Infrapopulace)**

**1. Mezihostitel  
procerkoid  
(Infrapopulace)**

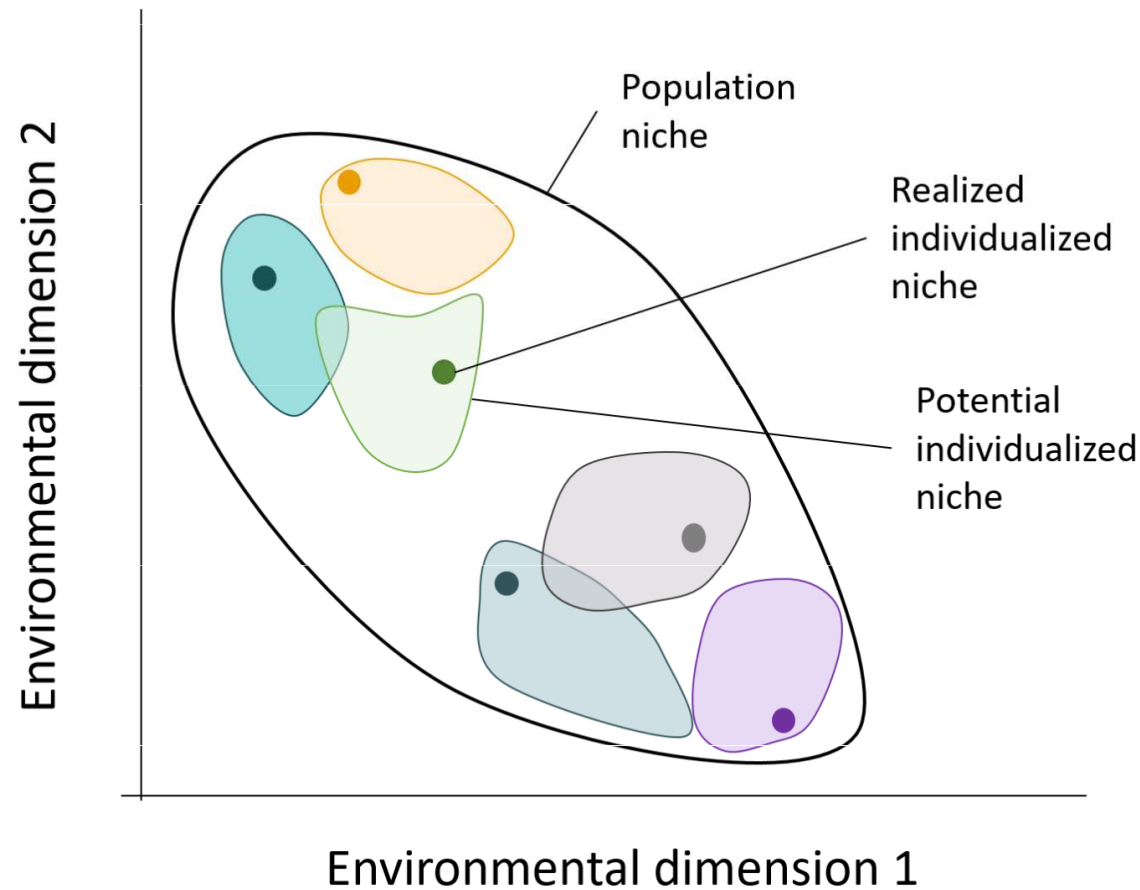
**Definitivní hostitel  
adultní tasemnice  
(Infrapopulace)**



# Hierarchická struktura populace parazita

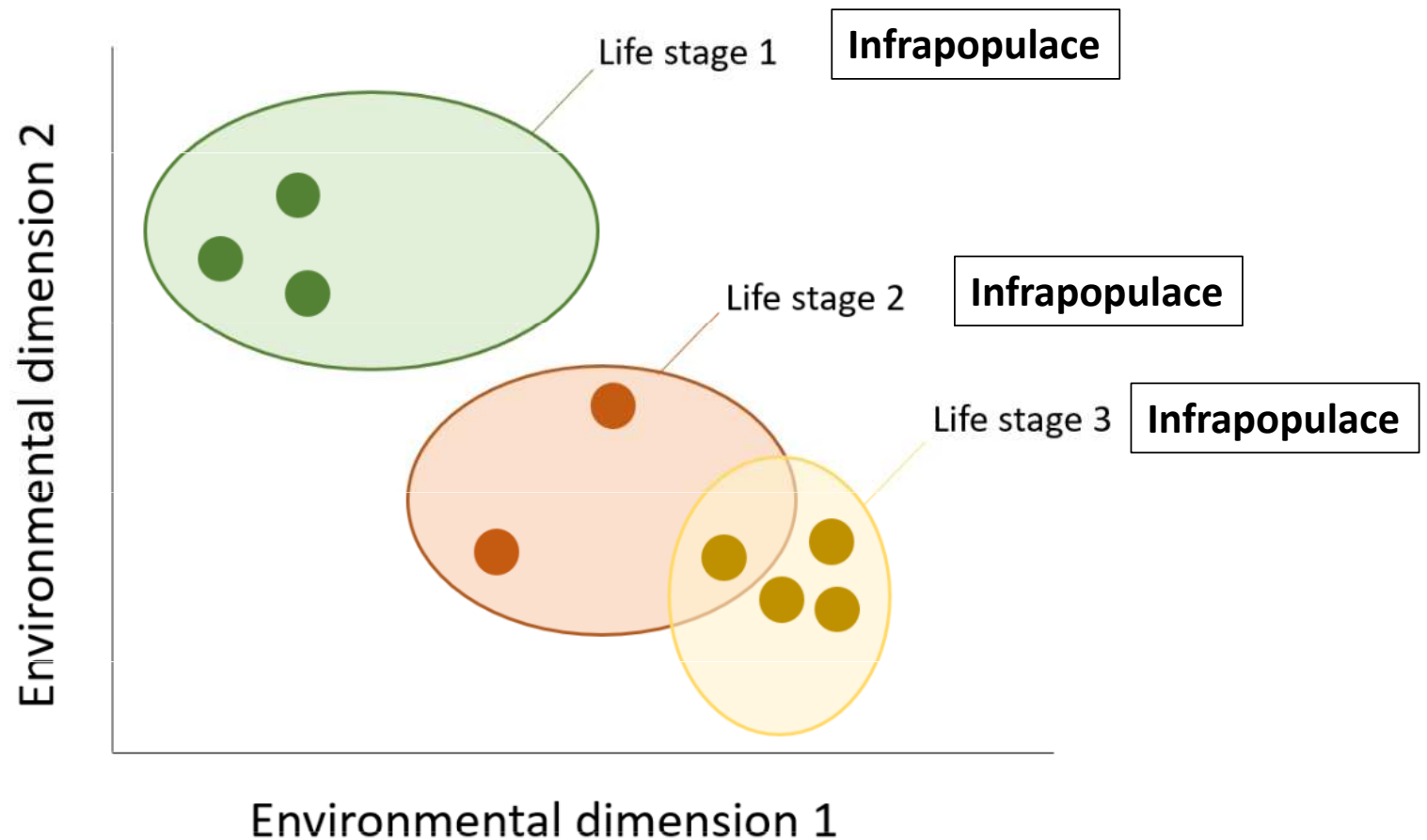


# Individuální *versus* populační nika



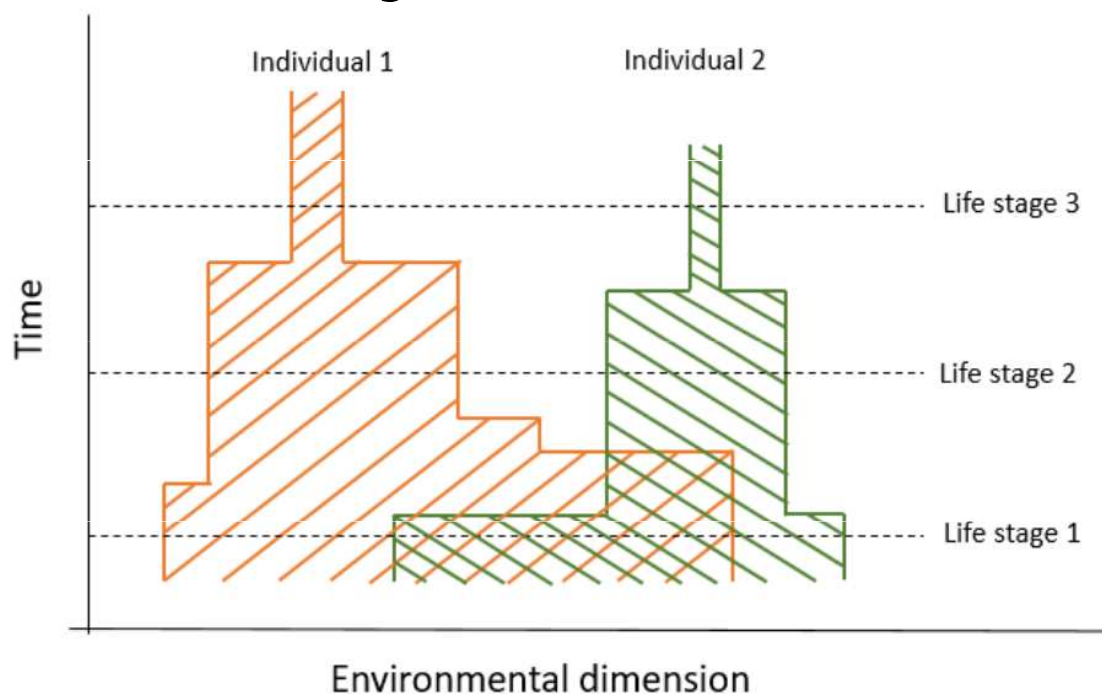
Schematický pohled na to, jak realizované a potenciální jednotlivé niky obsazují podprostory populační niky. Realizované niky jsou body (nebo malé objemy) v prostoru prostředí, které zabírají pouze část objemu, který by mohl potenciálně obsadit jedinec

# Schéma prostorových nik v čase (vývoji)



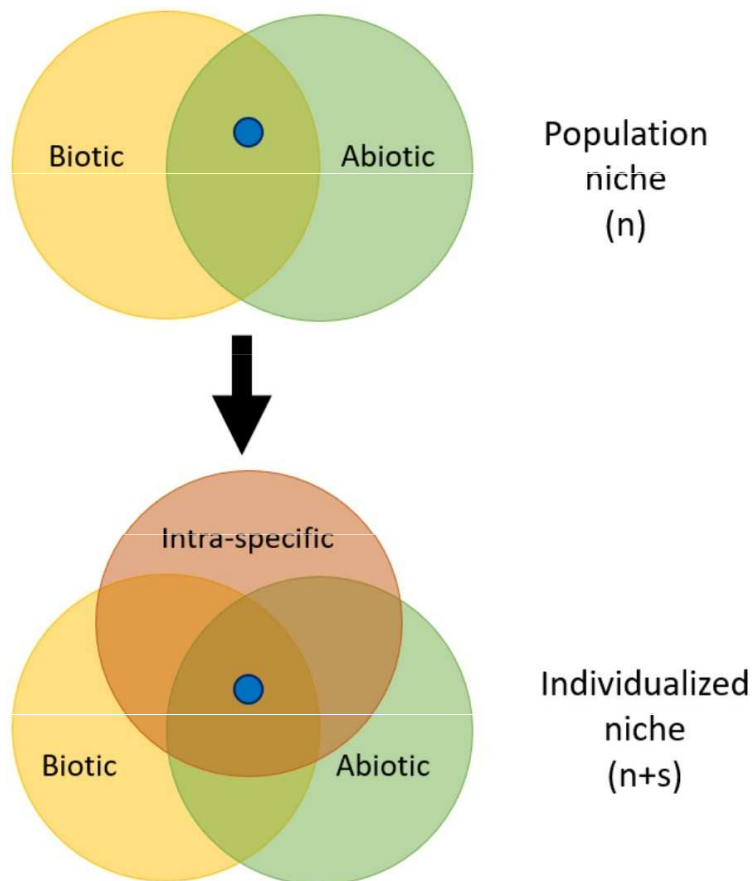
Různé barvy odkazují na různé smysluplné životní etapy jednotlivců. Vyplněné tečky ukazují realizované jednotlivé niky, zatímco stínované oblasti ukazují potenciální individualizované niky

# Schéma individualizovaných nik dvou jedinců



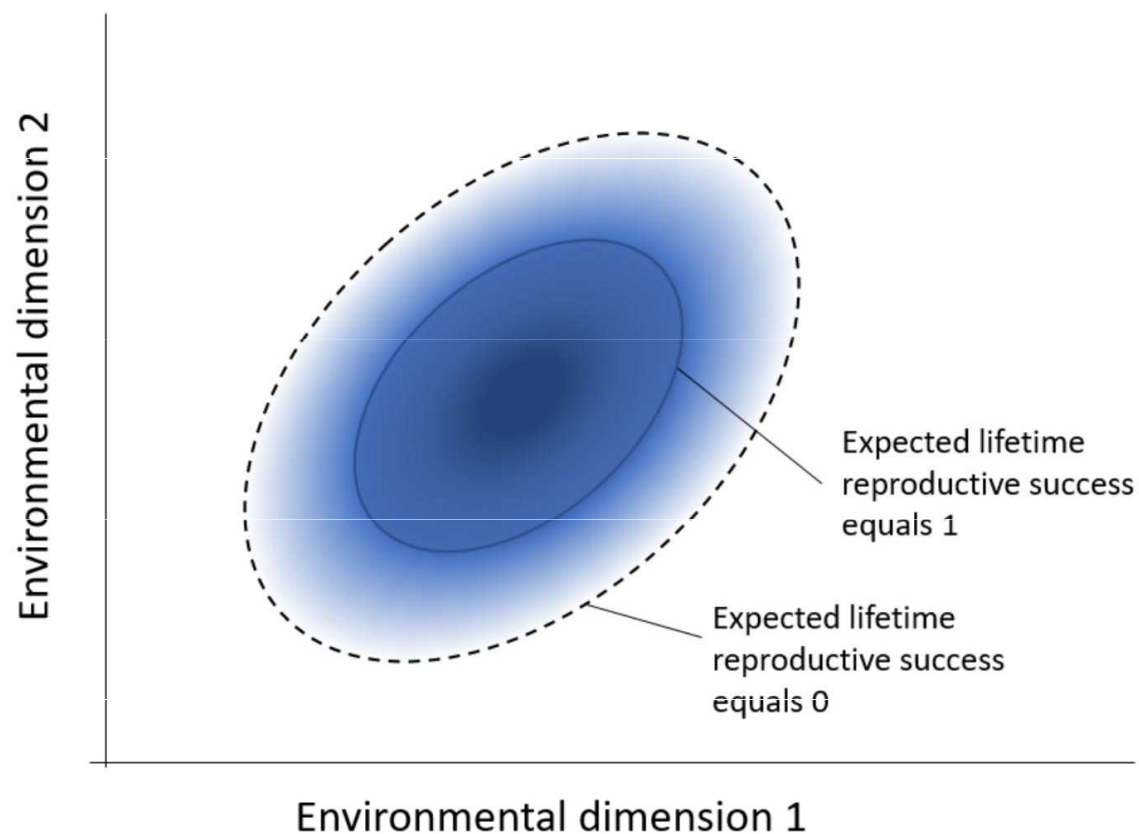
**Stínované oblasti** ukazují **potenciální prostorovou niku**, přerušované vodorovné čáry označují snímky ve **třech životních fázích**. Stupně potenciálních nik označují vývojová stádia jedince (nebo náhodné vnější vlivy na) jedince. Vodorovná osa komprimuje rozměry niky po celou dobu životnosti parazita na jednu osu. **Šíře potenciální niky** v kterémkoli časovém bodě **ilustruje potenciální rozsah prostředí** (nyní i v budoucnu), ve kterých má **jedinec očekávaný celoživotní reprodukční úspěch  $\geq 1$** .

# Dimenzionalita populační a individuální ekologické niky



**Populační nika se skládá z  $n$  dimenzí, které zahrnují všechny podmínky prostředí, za kterých může populace přetrvávat neomezeně dlouho. Individualizovaná nika zahrnuje všechny vnitrodruhové dimenze, jako je populační hustota a frekvence alternativních fenotypů.**

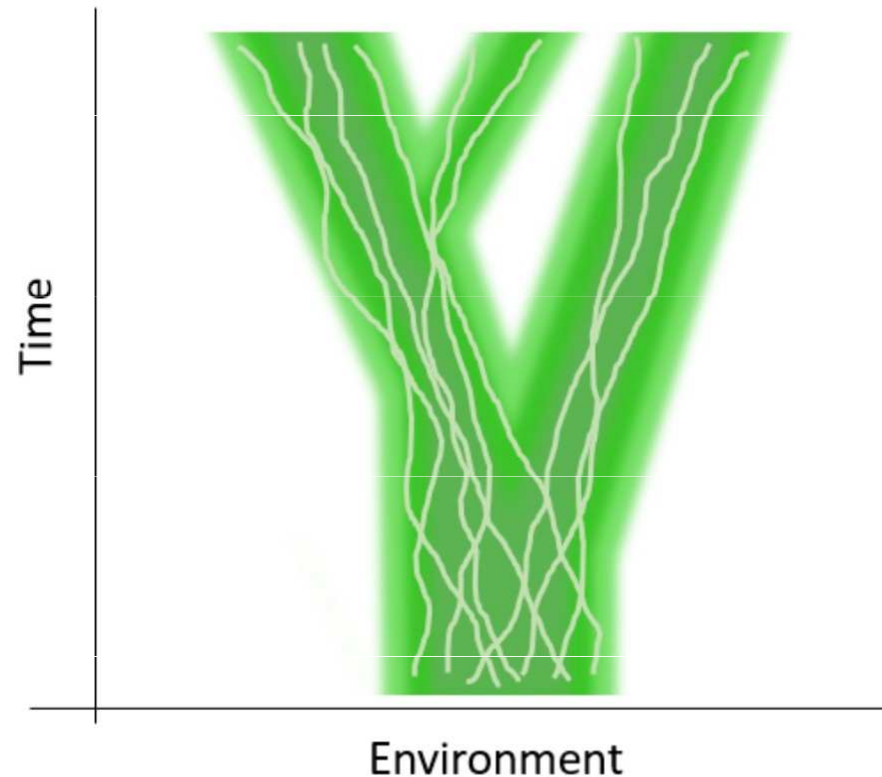
# Multidimenzionální fitness a hranice individualizované niky



Klasifikovaná modrá oblast ukazuje očekávané (absolutní) celoživotní jádro reprodukčního úspěchu. Plná modrá čára označuje to, co považujeme za hranici individualizované niky na očekávané izoklině 1. Přerušovaná černá čára označuje absolutní hranici, kdy očekávaná kondice klesne na nulu.

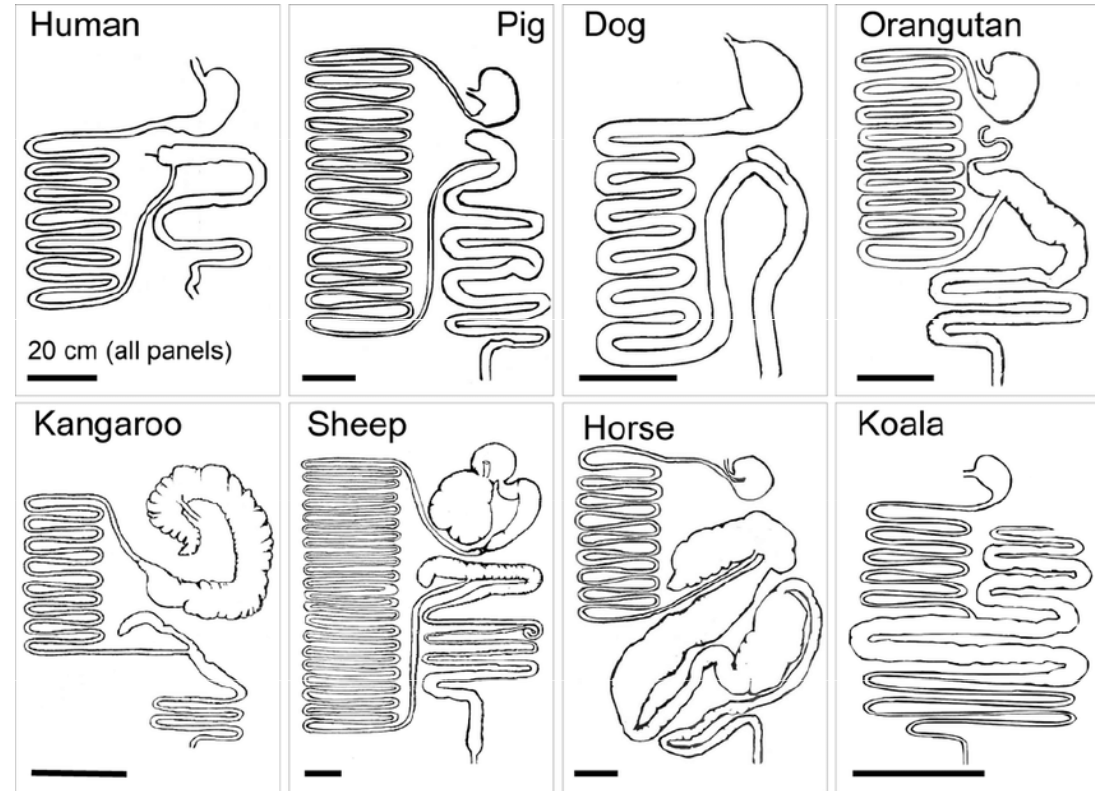
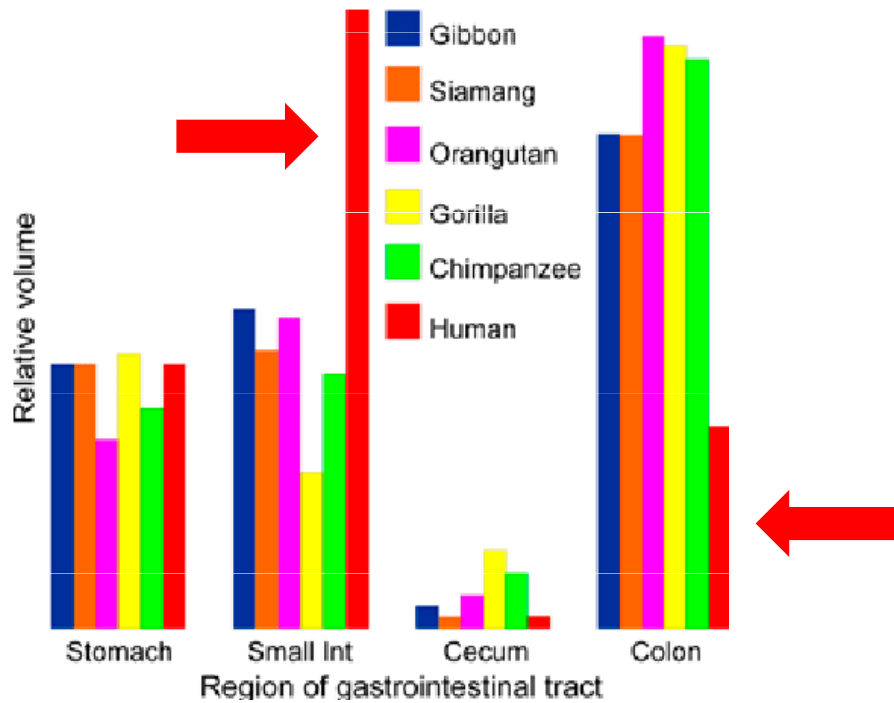


# Nika versus alternativní životní trajektorie



Světle zelené čáry znázorňují jednotlivé vývojové trajektorie v prostoru nik. Zelené pozadí schematicky zvýrazňuje alternativní trajektorie a výhybky, které lze identifikovat ze svazků jednotlivých vývojových trajektorií.

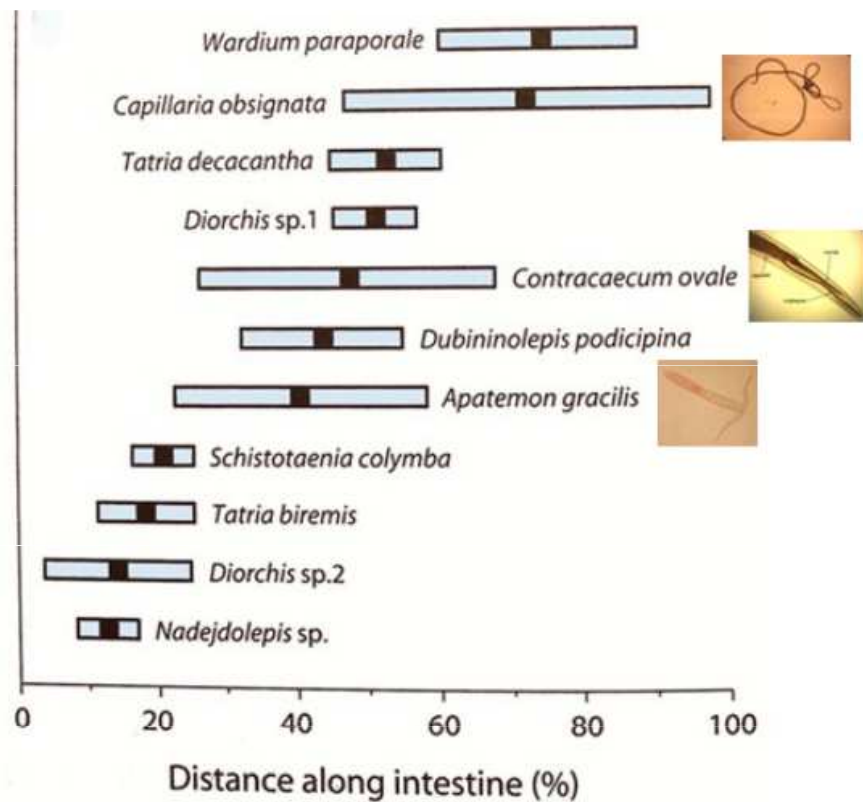
## Porovnání anatomie zažívacího traktu.



Je zřejmé, že **lidský trávicí trakt** je relativně malý. Ve srovnání s **prasetem**, všežravcem, který je často považován za vzor pro člověka, je lidské tlusté střevo mnohem menší. **Psí střevo** je prostorné, ale relativně krátké. Lidské tlusté střevo je také malé ve srovnání s antropoidními lidoopy, zde ilustrováno **orangutanem**. **Klokan**, nepřežvýkavý fermentor předního střeva, má velký vakovitý žaludek, zatímco fermentor zadního střeva, **kuň**, má prostorné, vícekomorové tlusté střevo. **Koala**, která konzumuje pouze listy bohaté na třísloviny a těkavé oleje, má rozsáhlé tlusté střevo a redukované tenké střevo.

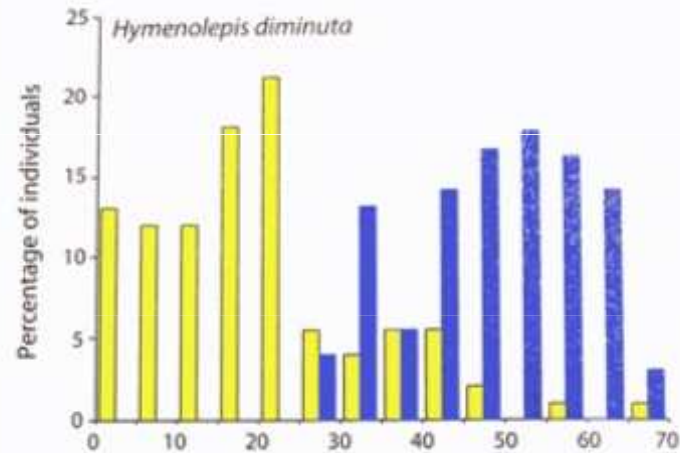
# Segregace nik ve společenstvu cizopasníků

Rozmístění parazitických červů podél střeva potápky černokrké

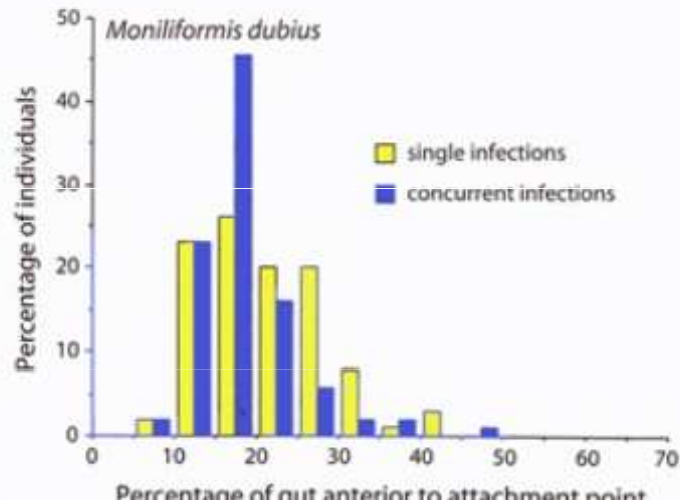


# Mezidruhová kompetice parazitů sdílejících stejnou niku téhož hostitele

rozmístění tasemnice *Hymenolepis* a vrtejše *Moniliformis* ve střevě krysy



nákaza jednoho druhu ukazuje druhové preference, změny při společné nákaze jsou výsledkem kompetice



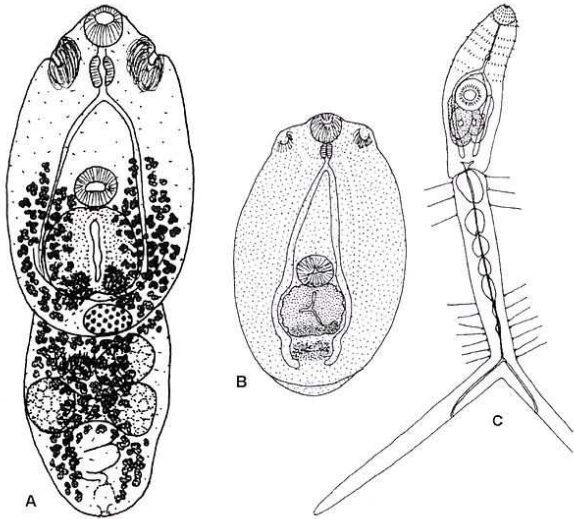
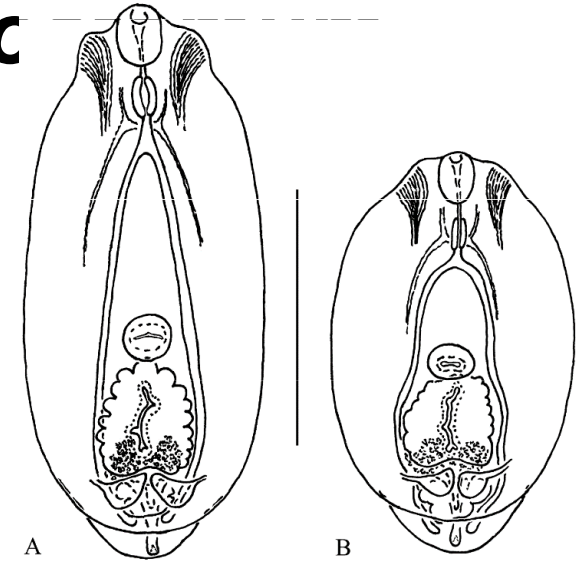
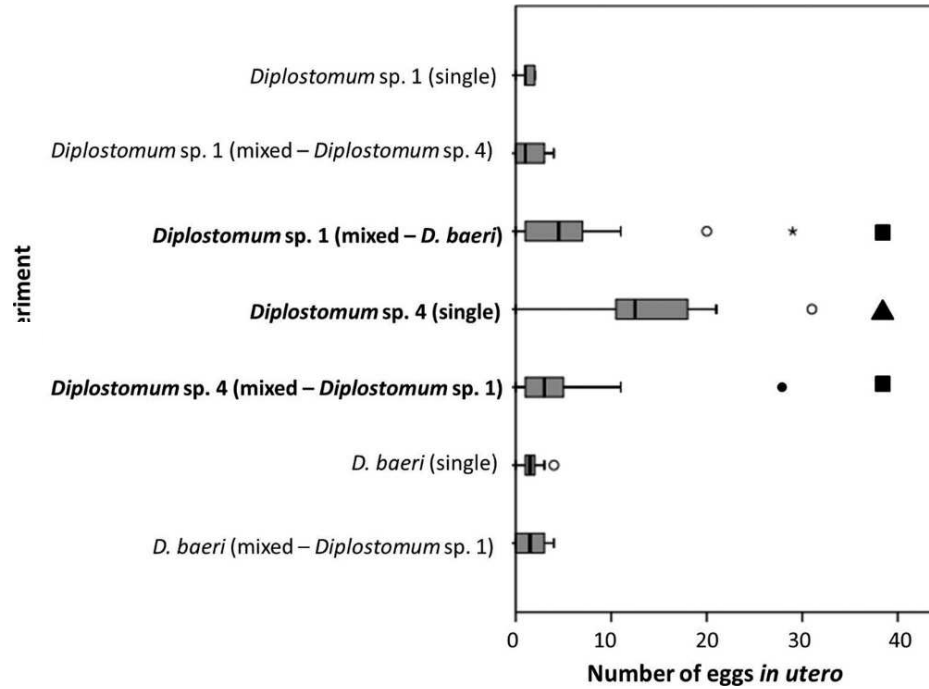
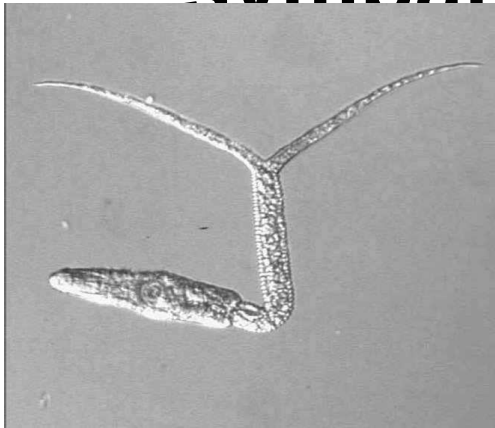
*Hymenolepis* preferuje přední část střeva, ale *Moniliformis* ji vytlačí do zadní části



# Příkladová studie: Prostorová distribuce a plodnost sympatrických druhů *Diplostomum* (podtřída Digenea) u jednodruhových a smíšených druhů infekcí ve střevě racka kroužkovaného (*Larus delawarensis*)

- Interakce mezi druhy parazitů může ovlivnit jejich distribuci a abundanci v rámci společenstev. Experimentální jednodruhové infekce *Diplostomum* spp. ve střevě definitivního hostitele, racka kroužkovaného (*Larus delawarensis* Ord, 1815), byly porovnány se smíšenými druhovými infekcemi s cílem prozkoumat interakce mezi parazity.
- Tři druhy *Diplostomum* von Nordmann, 1832 (Digenea), označené jako *Diplostomum* sp. 1, *Diplostomum* sp. 4 a *Diplostomum baeri* Dubois, 1937, byly sledovány ve smyslu jejich střevní distribuce a plodnosti v případě jednotlivých a smíšených infekcí.
- U jednodruhových infekcí byla většina exemplářů *Diplostomum* sp. 1 a *D. baeri* nalezena ve střední oblasti střeva, zatímco *Diplostomum* sp. 4 byla přítomna hlavně v přední oblasti. Významné prostorové posunutí bylo pozorováno pouze u *D. baeri*, když byl přítomen i druh *Diplostomum* sp. 1. Intenzita ibvaze přímo korelovala s počtem obsazených střevních segmentů a nebyl zjištěn žádný významný rozdíl v průměrném lineárním rozpětí pro každý druh mezi jednodruhovými a smíšenými infekcemi. Druh *Diplostomum* sp. 4 měl nejvyšší průměrný počet vajíček na parazita in utero u jednodruhových infekcí.
- U infekcí smíšených druhů se plodnost *Diplostomum* sp. 4 dramaticky snížila v přítomnosti *Diplostomum* sp. 1, zatímco plodnost *Diplostomum* sp. 1 se zvýšila v přítomnosti *D. baeri*. Tyto výsledky zjevně poukazují na mezidruhové interakce, které mohou hrát významnou roli v populační dynamice *Diplostomum* spp. a struktuře společenstev

# Prostorová distribuce a plodnost sympatrických druhů rodu *Diplostomum*



Hostitel jako ekosystém

# Jak definujeme ekosystém ?

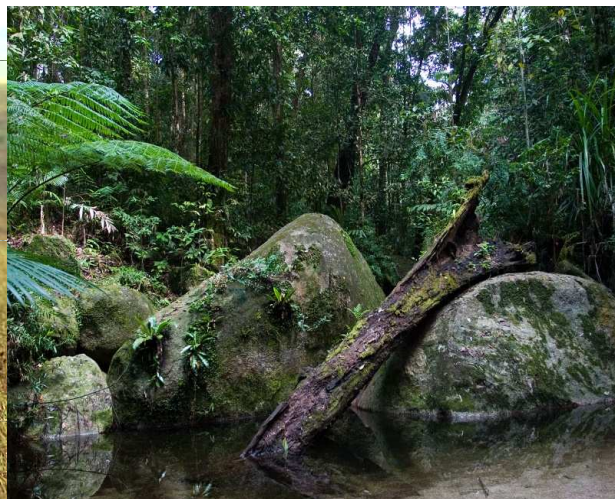
**Ekosystém** je obecné označení pro ucelenou část přírody (biosféry). Příkladem je např. ekosystém listnatého lesa nebo vlhké nekosené (nevypoužité) louky. Protože není zpravidla jednoznačně specifikováno, jakou prostorovou velikost by měl ekosystém mít, lze za ekosystém považovat **v extrémním případě i celou biosféru** a naopak, **třeba i trávicí trakt přežvýkavce** (s výskytem bakterií a nálevníků).



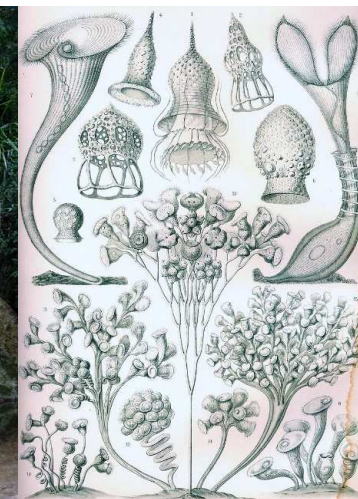
Korálový útes



Africká savana



Tropický deštný les



Nálevníci v zažívacím traktu



# Ekosystém - kompartmenty

## DŮLEŽITÉ PROCESY V EKOSYSTÉMECH

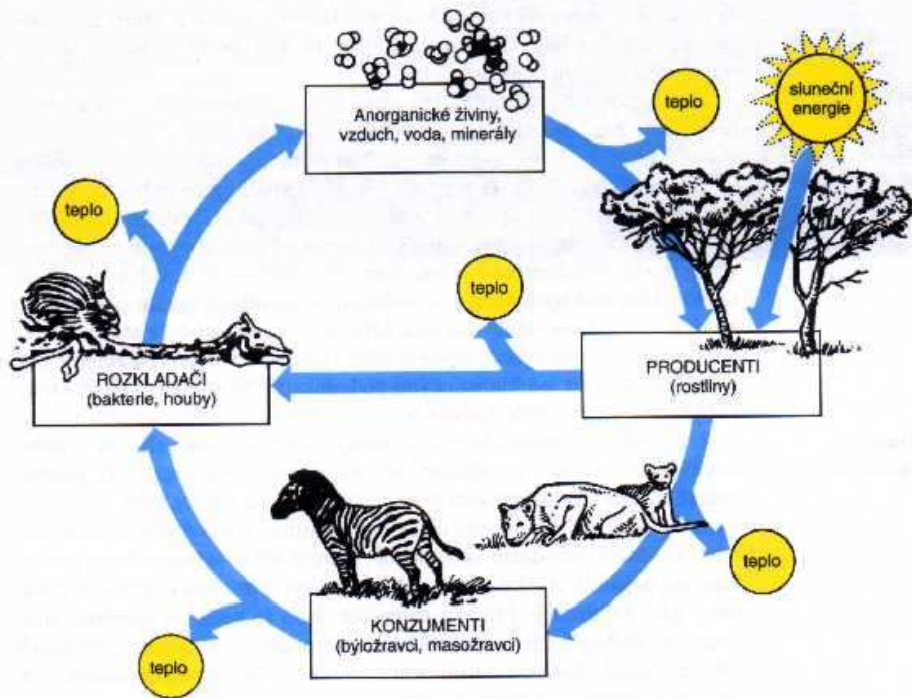
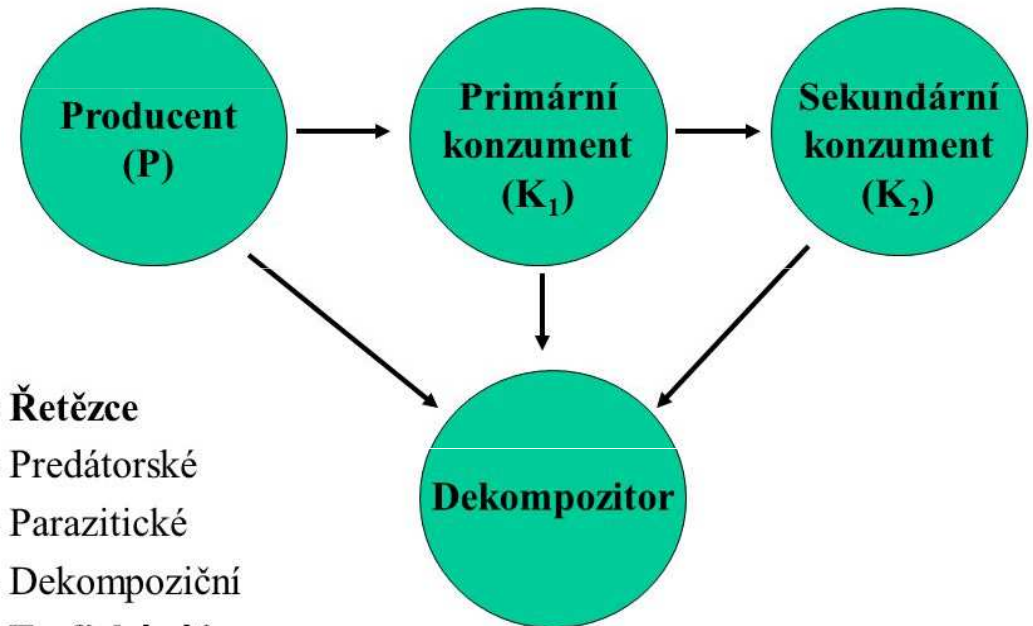


Schéma ukazuje toky látek a energie ekosystémem. Všechny ekosystémy jsou „poháněny“ sluneční energií a mají tři hlavní skupiny živých organismů: výrobce (producenty), spotřebitele (konzumenty) a rozkladače (destruenty).

(Podle: Miller, 1992)

## Potravní řetězce

33



### • Řetězce

- Predátorské
- Parazitické
- Dekompoziční

### • Trofická síť

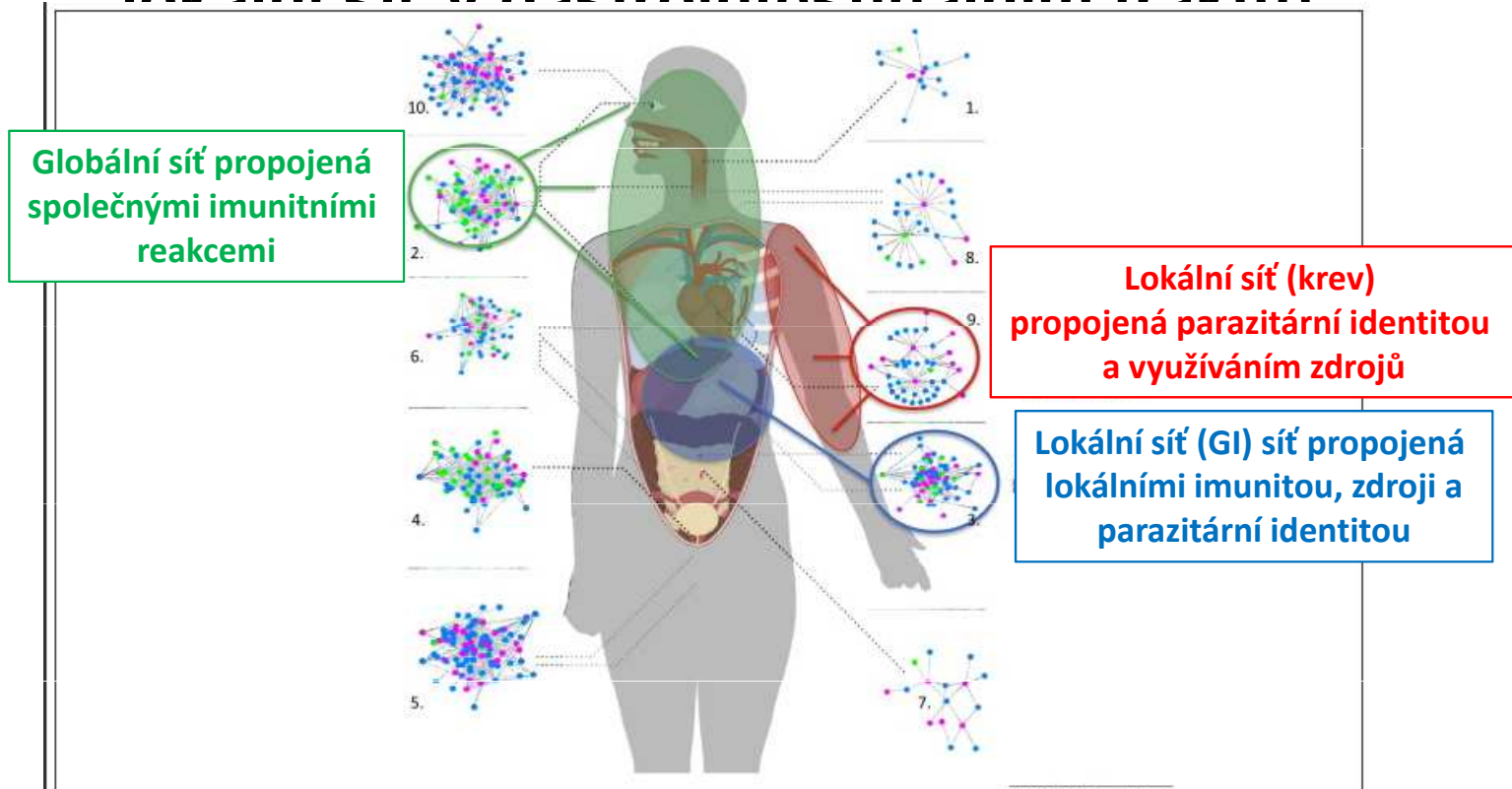
# Hostitel jako ekosystém

- Hostitele lze považovat **za ekosystém obývaný jeho parazity.**
- Nástroje ekologie **ekosystémů kompartmentalizují procesy** uvnitř hostitele, aby identifikovaly interakce mezi hostitelem a parazity.
- Stabilita, omezení prostředků, pravidla formování a místní versus globální škálování **jsou výrazné koncepty.**
- Je navrhováno **aplikovat tyto koncepty na nemoci volně žijících zvířat.**

# Hostitel: ko-infekce vícero druhů cizopasníků

- Hostitelé jsou obvykle **ko-infikováni vícero druhů parazitů**, což má za následek potenciálně ohromující úroveň **složitosti jejich společenstev**
- Je tedy zřejmé, že jednotlivého **hostitele lze považovat za ekosystém** v tom smyslu, že se jedná o **prostředí obsahující rozmanitost entit** (např. parazitické organismy, komenzální symbionti, imunitní složky hostitele), které na sebe **vzájemně působí, potenciálně soutěží o prostor, energii a zdroje**, což v konečném důsledku **ovlivňuje stav hostitele**.
- **Nástroje a koncepty z ekologie ekosystémů** mohou být použity k lepšímu pochopení dynamiky a reakcí ekosystémů v rámci **jednotlivých hostitelsko-parazitických ekosystémů**.
- Příklady z volně žijících i lidských systémů ukazují, jak je **tento rámeček užitečný při rozkladu složitých interakcí** na složky, které lze monitorovat, měřit a řídit tak, aby poskytovaly informace pro návrh lepších strategií zvládnutí nemocí.

Sítová analýza lidských parazitů ilustrující kompartmentalizaci vnitrohostitelských společenstev (**zelená**, globální síť; **červená**, lokální síť v krvi; **modrá**, lokální síť v gastrointestinálním traktu)



Paraziti mohou být propojeni prostřednictvím **parazitní identity, využívání zdrojů** nebo **sdílených imunitních interakcí**. **Lokální interakce**, například v rámci habitatu hostitelské krve (9, červená), **byly do značné míry propojeny identitou parazitů a využíváním zdrojů**, zatímco **interakce v trávicím traktu (3, modrá) byly propojeny všemi třemi mechanismy**. Globální vazby mezi více biotopy (2, zelená) byly většinou **spojeny společnými imunitními reakcemi**.

# Jak se čtyři koncepty ekologie ekosystémů vztahují na ekosystém v hostiteli ?

- Stabilita prostředí
- Limitace omezenými zdroji
- Pravidla formování společenstev
- Lokální *versus* globální interakce

# Stabilita zaručuje rovnováhu

- V průběhu života jednotlivého hostitele bude jeho **infekční zátěž pravděpodobně kolísat** jak v důsledku mechanismů zprostředkovaných parazity, jako je **konkurence o místa infekce**, tak mechanismů zprostředkovaných hostitelem, jako je **imunitní reakce zaměřená na parazita nebo jeho eliminace**.
- Na rozdíl od konvenční skutečnosti, která tvrdí, že neinfikovaný hostitel je zdravým hostitelem, je možné, že **hostitelé, kteří si udržují stabilní parazitární společenstvo**, ale trpí jen málo nepříznivými účinky, **si udrží nejlepší kondici**, jak bylo navrženo pro volně žijící ekosystémy.
- To znamená, že **pro hostitele může být vhodnější přijmout "toleranční" reakci**, čímž si udrží zdraví tváří v tvář infekci, protože **odstranění infekce může být energeticky nákladnější nebo může vést ke zvýšenému poškození v důsledku imunopatologie**.
- Existuje ale mnoho způsobů, jak definovat stabilitu, obecně je stabilní komunita taková, kterou nelze snadno přesunout z rovnovážného stavu ("**rezistentní**" společenstvo) nebo taková, která se rychle vrátí po narušení („**resilientní**" společenstvo)
- To jsou **důležité vlastnosti tzv. "zdravého" hostitele**. Stabilita společenstev je ovlivněna povahou a počtem vazeb a typů interakcí mezi druhy v rámci společenstva spolu s úrovní kompartmentalizace systému a počtem relativně slabých vazeb přítomných mezi členy.
- **Stejně jako u volně žijících ekosystémů se můžeme ptát, jaké jsou vlastnosti stabilního společenstva parazitů a jak můžeme posoudit stabilitu z hlediska společenstva parazitů a podmínek hostitele.**

# Limitace omezenými zdroji

- Vzhledem k tomu, že **energetické vstupy do ekosystému nejsou neomezené**, může to vést ke **konkurenci o dostupné zdroje** a v konečném důsledku **omezit nosnou kapacitu ekosystému** (kolik organismů lze uživit).
- Základním konceptem v ekologii je **kompetitivní vyloučení**, takže pokud druh přímo **soutěží o stejné zdroje**, pak bude **vyloučen jeden z druhů**. **Diverzitu pak udržují organismy, které využívají zdroje různými způsoby**.
- Kromě toho jsou **konkurenční druhy schopny koexistovat**, pokud je **síla konkurence mezi jedinci daného druhu větší než síla konkurence mezi druhy**.
- Stejně jako ve volně žijících společenstvech mají **druhy parazitů tendenci se shlukovat do specifických skupin na specifických místech infekce**, například do skupin **organizovaných vnitřními orgány hostitele**.
- Tato segregace nik bude mít tendenci **snížovat konkurenci** mezi druhy parazitů a **usnadňovat jejich koexistenci** v rámci individuálního hostitele.

# Pravidla formování společenstev - prioritní efekty a inženýři ekosystému

- Ve společenstvu parazitů existuje **velká taxonomická rozmanitost**, kterou se může jednotlivý hostitel nakazit po celý svůj život. Z přirozených populací je však dobře známo, že **ne všichni hostitelé se nakazí všemi možnými parazity** a zdá se, že **někteří paraziti se vyskytují společně více či méně často**, než se očekávalo náhodou.
- **Pořadí**, ve kterém se hostitelé nakazí různými parazity, **může být předvídatelné a opakovatelné**, podobně jako **ekologická sukcese ve volně žijících ekosystémech**. To naznačuje, že v rámci společenstev existují "pravidla shromažďování- formování".
- Teorie ekologie naznačuje, že **formování společenstev je určováno rovnováhou deterministických procesů** (např. procesů založených na nikách, jako jsou kompetitivní interakce mezi druhy) a **stochastických procesů založených na šíření**.
- Tyto ekologické koncepty mohou být aplikovány na procesy sestavování a strukturu společenstev parazitů v hostiteli, kde **interakce mezi druhy parazitů a mezi druhy parazitů a imunitním systémem hostitele lze považovat za strukturující síly založené na nikách a infekční události jsou podobné procesům založeným na šíření**.
- Rozpoznání a pochopení, jak tyto procesy interagují a **který z nich je za různých okolností dominantní**, je důležité pro určení, zda by se **strategie řízení parazitů měly zaměřit na "šíření", procesu infekce**, nebo se **pokusit manipulovat s jednotlivými druhy parazitů prostřednictvím léčby a/nebo složek imunitní odpovědi prostřednictvím očkování**.

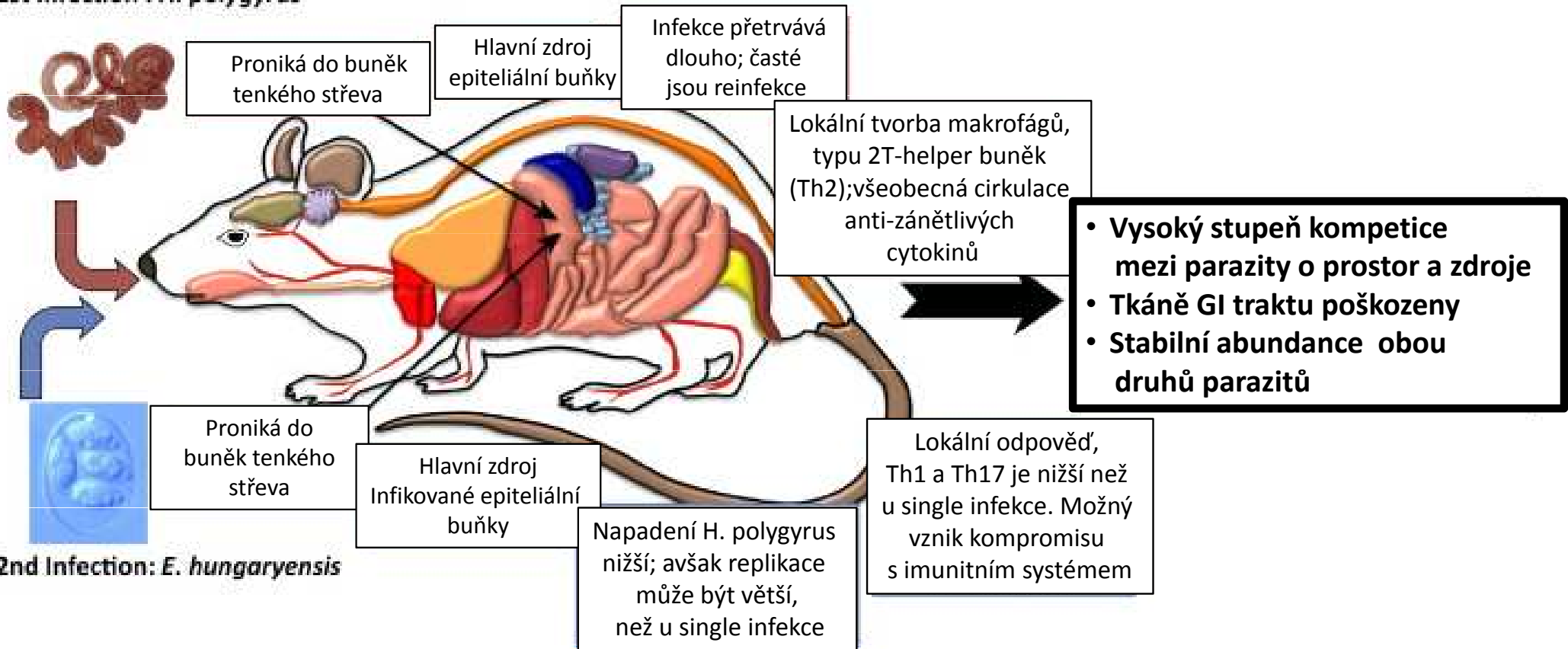


# Lokální versus globální interakce

- Oddělená **stanoviště (prostorové niky)** v rámci ekosystému mohou být **propojeny tokem energie a živin**. Stanoviště v hostiteli jsou vnitřně propojena, protože jsou **všechna součástí jednoho organismu**. Stejně jako organismy volně žijící v ekosystémech.
- Existuje **vysoký stupeň kompartmentalizace v místech infekce** v jednotlivých hostitelích a v **lokalizaci imunitních odpovědí** hostitele na infekci.
- **Infekce jedním druhem parazita tedy nemusí nutně ovlivnit jiný, a to ani v rámci stejného hostitele**. Analýza lidské koinfekční sítě ukázala husté shluky úzce interagujících parazitů a lokalizovaných imunitních složek, organizovaných **kolem specifických a relativně diskrétních stanovišť** (tj. orgánů nebo orgánových systémů) v těle hostitele.
- Zajímavé je, že **paraziti s širšími interakcemi** (tj. těmi, které se vyskytují mezi stanovišti) byli **častěji spojeni sdílenými imunitními odpověďmi**.
- **Interakce mezi parazity proto mohou být nejpravděpodobnější v rámci stanovišť** (tj. v prostoru nebo na místních zdrojích), zatímco **interakce mezi stanovišti se mohou vyskytovat pouze prostřednictvím systémových mechanismů**.

# Organismus hostitele jako ekosystém/habitat

1st Infection : *H. polygyrus*



Nejdříve začne infekce helmintem *H. polygyrus* a pak následuje kokcidie *E. hungaryensis*, oba paraziti sdílejí prostor, zdroje jsou udržovány v konstantním množství a mají vliv na imunitní odpověď. Oba druhy si silně konkurují a mohou velice negativně působit na organismus hostitele.

# Hostitel je jedinečný typ ekosystému

- Hostitel je jedinečný typ ekosystému, který **může přímo i nepřímo konkurovat druhům, které v něm žijí**, protože je zároveň **prostředím, zdrojem a predátorem parazitů**.
- To vede k široké škále potenciálních výsledků pro stav hostitele a komunitu parazitů v hostiteli. **Výskyt a síla interakcí parazit-hostitel a parazit-parazit jsou do značné míry určeny umístěním, úrovní místních zdrojů a lokalizovanými imunitními odpověďmi**.
- Hostitelé již nestačí považovat za hostitele pouze za "shodné"; Místo toho je nezbytné **zvážit identitu parazitů**, kde se tyto koinfekce vyskytují a **prostřednictvím jakého potenciálního mechanismu mohou interagovat**.
- Domníváme se, že ekologie ekosystémů nám poskytuje mnoho nástrojů a konceptů nezbytných ke **zlepšení naší schopnosti měřit a posuzovat, jak paraziti ovlivňují hostitele**, což potenciálně vede k lepším individuálním předpovědím a léčbě onemocnění.

# **Paraziti a mikrobiom**

# Lidé, jejich genom a diverzita jejich symbiontů

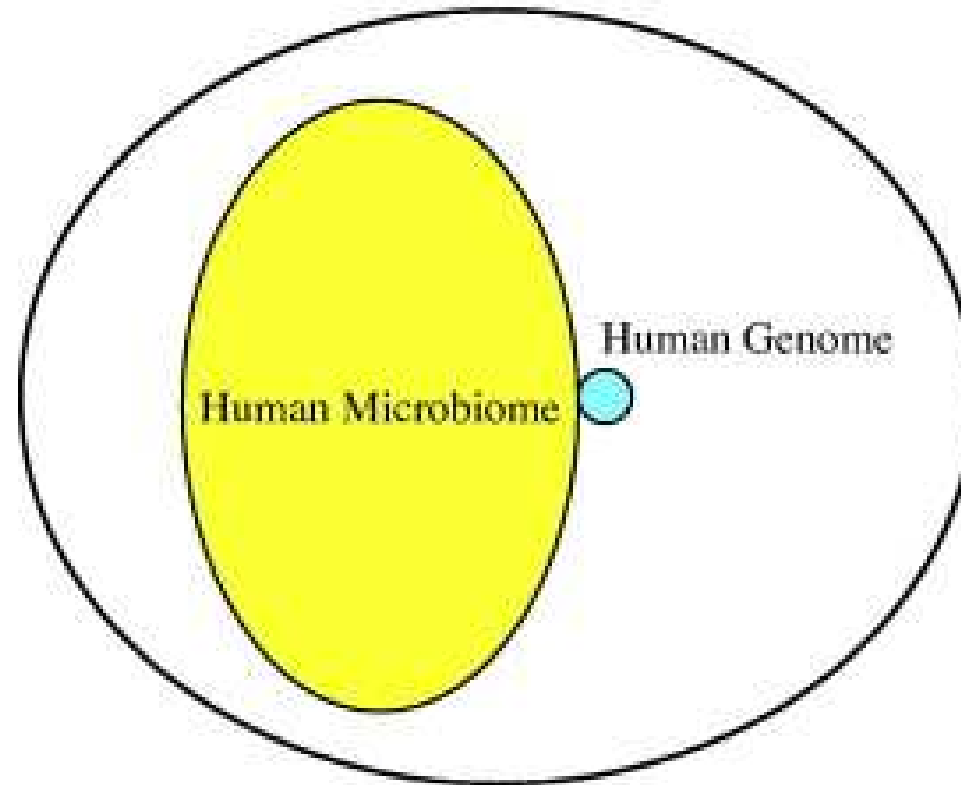
- Lidé, jsou často považováni za **vrchol a ztělesnění evoluce**; **nemohou však žít sami, tedy bez symbiontů**, kteří jsou s nimi spojeni !
- Obecně platí, že eukaryotický organismus **nelze považovat za autonomní bez přispění velkého množství organismů**, které jsou definovány jako jeho **mikrobiom**.
- **90 % buněk** v lidském těle jsou **bakterie, houby, prvoci** (tj. nelidské buňky).
- **Současný odhad lidského mikrobiomu** (tj. organismů, které žijí na *Homo sapiens* nebo uvnitř něj) **překračuje desetinásobně počet somatických a zárodečných buněk jedince** (*Turnbaugh et al., 2007*).
- Pokud vezmeme v úvahu **pouze lidské střevo**, obsahuje v průměru **40 000 druhů bakterií** (Frank a Pace, 2008) a **9 milionů unikátních bakteriálních genů** (Yang et al., 2009).
- **Nesmírnost této genové rozmanitosti** lze lépe ocenit ve srovnání s **23 000 geny**, které tvoří lidský genom.
- **Dosud však bylo charakterizováno nanejvýš 1 % lidského mikrobiomu** (Marcy et al., 2007).

# Člověk jako superorganismus

- Žádný organismus proto **nemůžeme považovat za izolovaný**, a spíše bude moudré se smířit s faktem, že jsme všichni v podstatě **superorganismy**, jejichž **metabolické funkce jsou výsledkem exprese mikroorganismů a lidských genů** (Gill et al., 2006).
- Jedním z nejnázornějších **příkladů může být střevní mikrobiota, nejhustší mikrobiální populace** v lidském těle. Kovatcheva-Datchary et al. (2013) popisují tuto populaci jako **samotný orgán, složený z 1000–1200 buněčných typů (druhů), které kódují 150krát více genů (mikrobiom), než máme ve vlastním genomu**.
- **Mikrobiom tak hraje zásadní roli v lidském zdraví**, protože se u něj vyvinuly specifické funkce, které **doplňují lidský metabolismus a fyziologii**. Například střevní bakterie se podílejí na **produkci vitamínů, regulaci syntézy hormonů a zrání imunitního systému**.

# Člověk a jeho mikrobiom: 23 000 versus 9 000 000 genů

HUMAN SPECIES



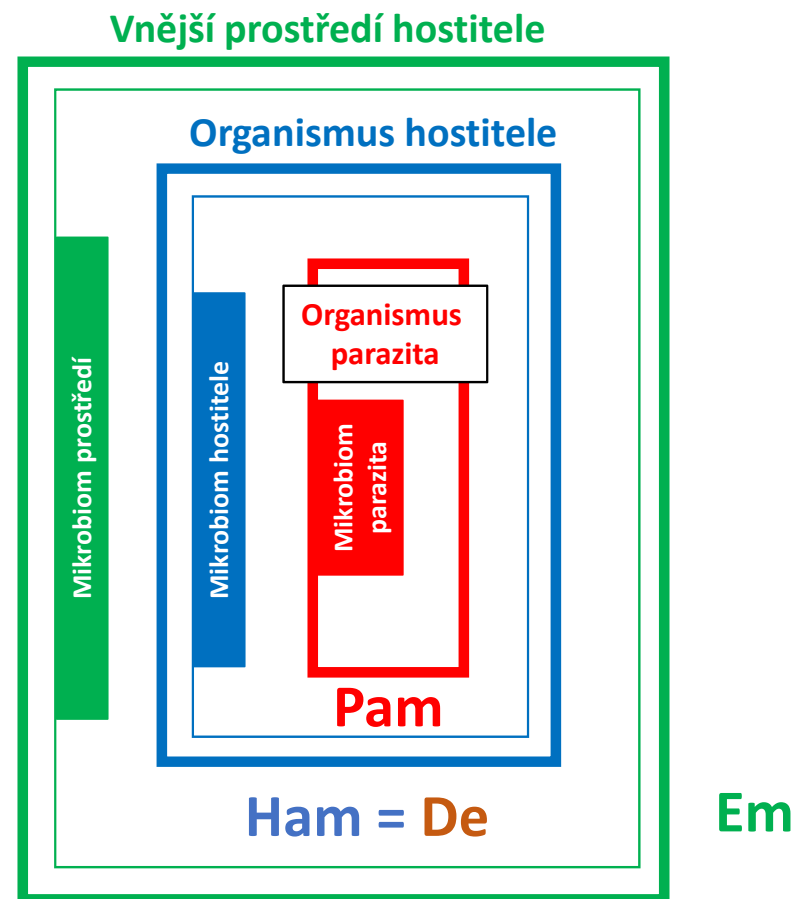
(Vzájemný poměr 1 : 391)

# Mikrobiom – ekologické podmínky prostředí

- Pojem **mikrobiom** je vyjádřením ekologických podmínek prostředí (jako je **teplota, pH, obsah hormonů, lipidů a proteinů, vystavení UV záření, nepřítomnost světla, typ sliznice...**), na kterých se podílejí **mikrobiální společenstva** (která jsou definována jako **mikrobiota** - nebo **flóra**) a která budou individuálně a/nebo kolektivně reagovat a které mohou být modifikovány a nebo se mohou zachovat.
- **Mikroorganismy žijící na nebo v lidském těle** překračují svým **počtem desetinásobek počtu buněk, které tvoří lidské tělo**. V současné době je však **odkazováno pouze na 1 % z nich**. Bakterie lidského těla představují **miliony genů ve srovnání s 23 000 geny lidského genomu**.
- **Narušení této přirozené rovnováhy** např. **imunopresí** při použití některých **antibiotik** nebo při **poškození imunity** může způsobit **narušení mikrobioty**, což pak vede k poruchám podporujícím **střevní dominanci patogenních druhů a projeví se jako onemocnění**.
- **Rezistence vůči antibiotikům**, je od nepaměti hlavním problémem veřejného zdraví. Tato rezistence se objevila dlouho před použitím léčivých přípravků lidmi. Nedávná **studie sedimentů kanadského permafrostu** prokázala existenci **starobylých bakteriálních sekvencí**, které **odpovídají genům rezistence, jež těmto bakteriím jistě umožňovaly bránit se proti agresorům**.



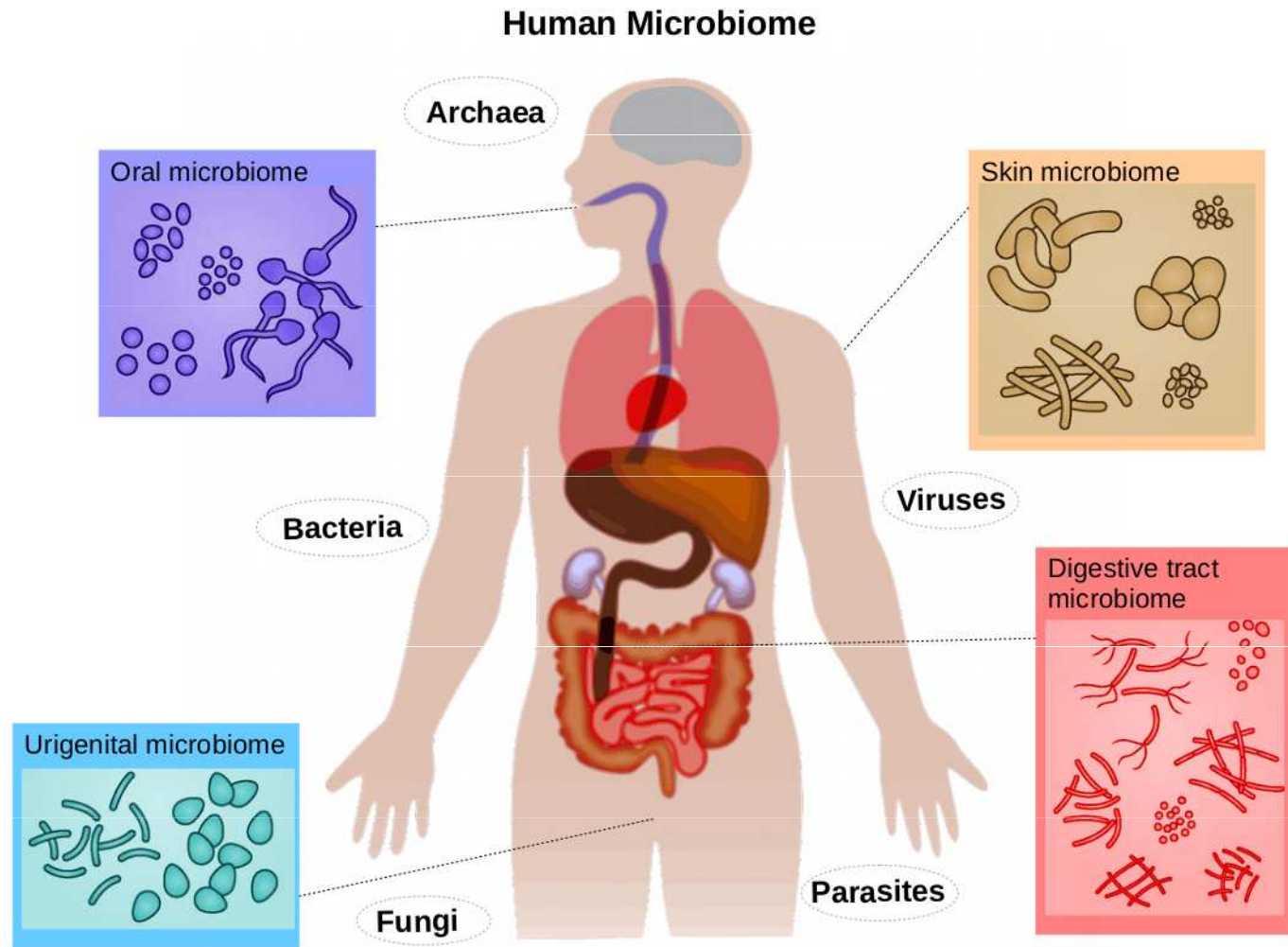
# Schéma konceptu mikrobiomu „holobionta“



**Pam** – parazitární mikrobiom; **Ham** – hostitelský mikrobiom

**Em** – environmentální mikrobiom; **De** – přímé prostředí (parazita)

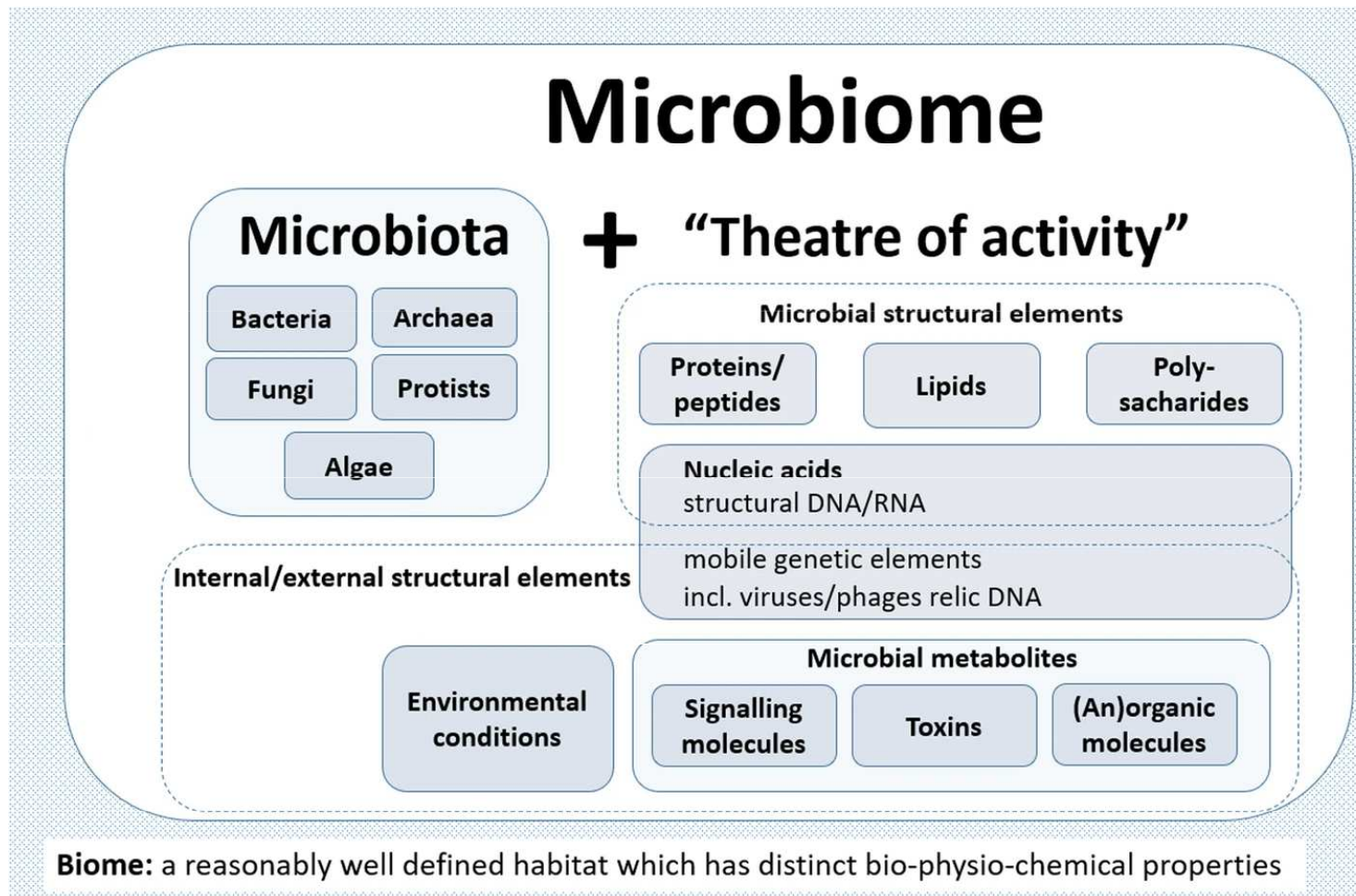
# Mikrobiom člověka



# Mikrobiom *versus* Mikrobiota

- **Mikrobiom** (původně *μικρός* (mikrós neboli "malý") a *βίος* (biós neboli "život" ze starověké řečtiny) je **organizované společenství mikroorganismů kolonizující jakýkoliv prostor**. Přesněji ji definovali v roce 1988 Whipps *et al.* jako „mikrobiální společenství zabírající definované stanoviště, které má odlišné fyzikálně-chemické vlastnosti.“ Termín tedy odkazuje nejen na mikroorganismy přítomné v prostředí, ale také zahrnuje jejich prostředí. V roce 2020 zveřejnil mezinárodní panel odborníků výsledek svých diskusí o definici mikrobiomu. Navrhli definici mikrobiomu založenou na novém uvedení „kompaktního, jasného a komplexního popisu termínu“ původně uvedeného Whipps *et al.*, avšak doplněné o dva hlouběji vysvětlující odstavce. První vysvětlující odstavec se věnuje popisu dynamického charakteru mikrobiomu a druhý vysvětlující odstavec jasně odděluje pojem **mikrobiota** od pojmu **mikrobiom**.
- **Mikrobiota** je společenství mikroorganismů skládající se ze všech živých členů tvořících mikrobiom. Většina výzkumníků mikrobiomu souhlasí s tím, že **bakterie, archea, houby, řasy a protozoa** by měly být považovány za členy mikrobiomu. **Kontroverznější je integrace fágů, virů, plazmidů** a dalších genetických prvků. Dále Whipps s kolektivem v definici prostředí popsali, ve kterém je mikrobiota přítomna. Zde hraje zásadní roli přítomnost sekundárních metabolitů při zprostředkování složitých mezidruhových interakcí, čímž si mikroorganismy zajišťují přežití v konkurenčním prostředí. Tzv. Quorum sensing neboli komunikace mezi mikroorganismy je indukovaná malými molekulami, které mikroorganismy produkují. Toto umožňuje bakteriím řídit kooperativní aktivity a přizpůsobovat jejich fenotypy biotickému prostředí, což vede např. k mezibuněčným adhezím nebo tvorbě biofilmu.

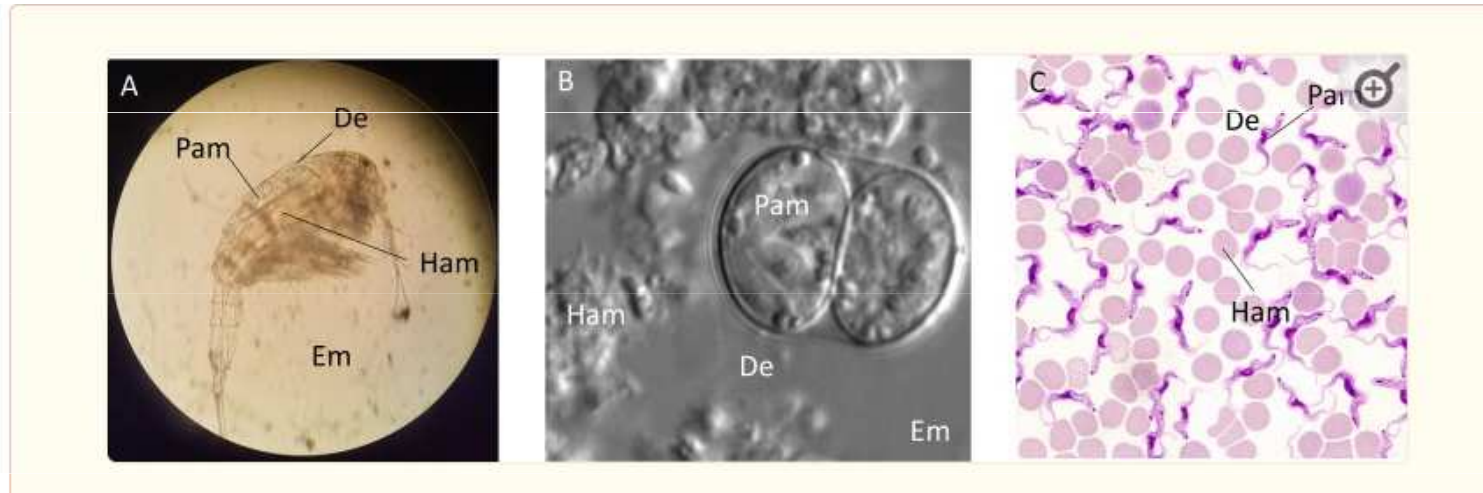
# Mikrobiom *versus* Mikrobiota



# Klíčové koncepty mikrobiomu a holobiontů aplikované na parazitologii

- **Přímé prostředí:** prostředí parazita v době odběru (hostitelská a volně žijící stádia).
- **Mikrobiom asociovaný s parazity:** soubor genomů mikrobioty (viry, bakterie, archea a mikroeukaryota), které jsou buď chromozomálně integrované nebo epizodózní, intracelulární nebo připojené k povrchu parazita.
- **Mikrobiom asociovaný s hostitelem:** soubor genomů mikrobioty, které jsou spojeny s hostitelem, a to buď v přímém prostředí parazita, nebo ve vzdálené tkáni nebo anatomickém kompartmentu hostitele.
- **Environmentální mikrobiom:** soubor genomů mikrobioty, které jsou přítomny v přímém prostředí volně žijících (encystedních nebo mobilních) životních stádií parazitů.
- **Holobiont:** jednotka biologické organizace složená z hostitele a jeho mikrobioty, včetně přechodných a perzistentních mikrobů.
- **Hologenom:** kompletní genetický obsah genomu organismu, včetně jaderného a organelárního genomu, a jeho mikrobiom.

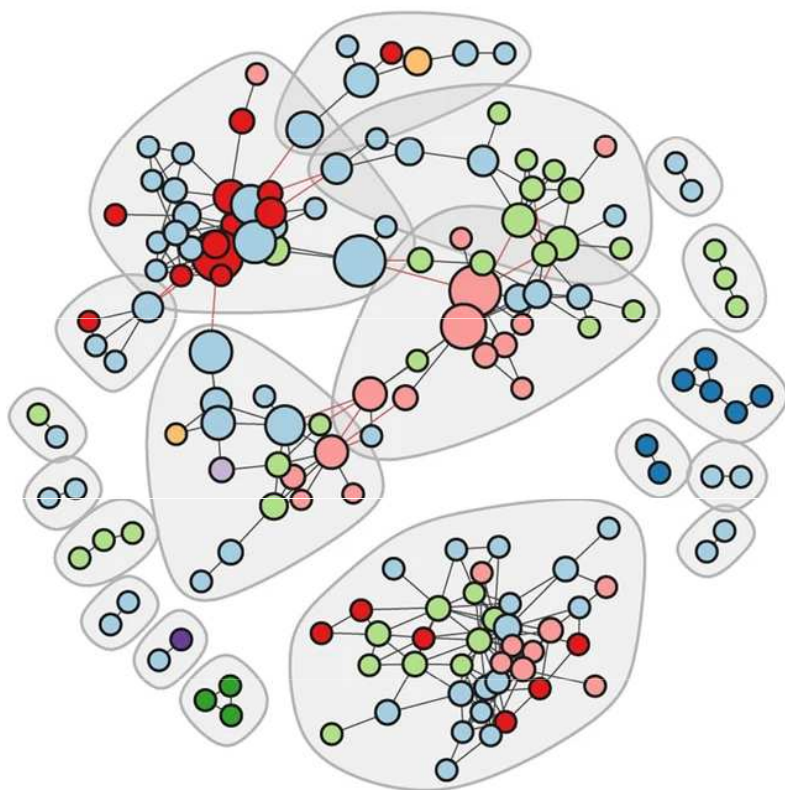
# Příklady kontextově závislého využití konceptů mikrobiomu a holobiontů v parazitologii.



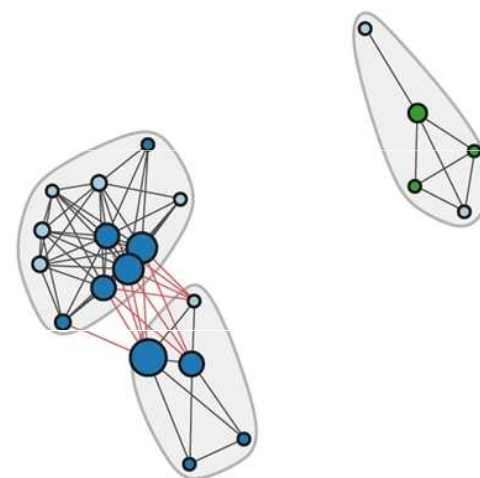
(A) Procerkoidní stadium tasemnice *Schistocephalus solidus* v tělní dutině cyklopoidního korýše. **Pam** -**parazitární mikrobiom** - může být odebrán z procerkoidů. **De** - **přímé prostředí** - je tělní dutina buchanky. **Ham** - **hostitelský mikrobiom** - může být sbírán ze střeva nebo jiných hostitelských tkání, zatímco může být sbírána z vody. (B) Oocysta *Toxoplasma gondii*, která sporulovala při vylučování kočičími výkaly. **Pam** může být odebrán z purifikovaných oocyst. Rozlišovat mezi **Ham**, **De** a **Em** je obtížné. (C) *Trypanosoma* sp. mezi červenými krvinkami. **Em** není zastoupeno. Intracelulární mikrobi potenciálně přítomní v červených krvinkách mohou být považovány za **Ham**, zatímco mikrobi v plazmě mohou být považovány za **De** parazita. **De**, přímé prostředí; **Em**, environmentální mikrobiom; **Ham**, hostitelský mikrobiom; **Pam**, mikrobiom spojený s parazity.

Sítě společného výskytu ukazují rozdíl ve střevní mikrobiotě mezi býložravými a masožravými cichlidami. Sít' býložravců (Herbivores) má vyšší komplexitu (156 uzlů a 339 propojení) ve srovnání se sítí masožravců (Carnivores) (21 uzlů a 70 propojení)

## A Herbivores



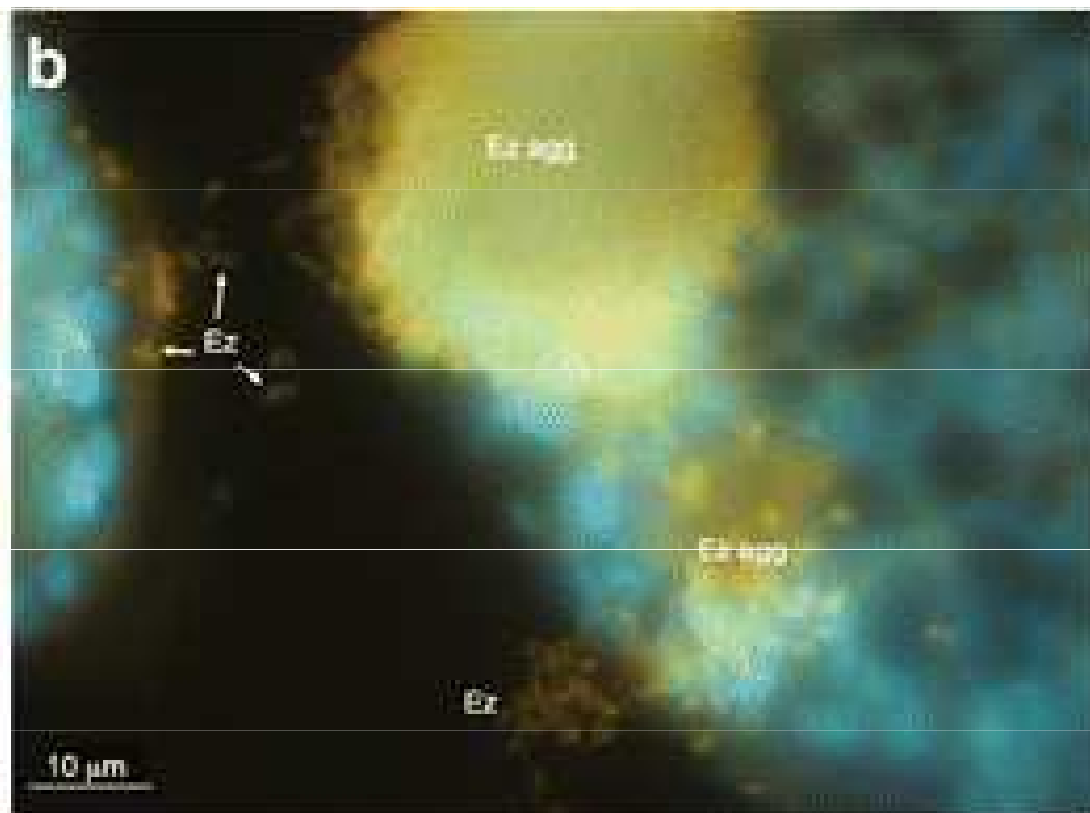
## B Carnivores



### Phylum

- Chloroflexi
- Acidobacteria
- Bacteroidetes
- Verrucomicrobia
- Actinobacteria
- Fusobacteria
- Planctomycetes
- Firmicutes
- Proteobacteria

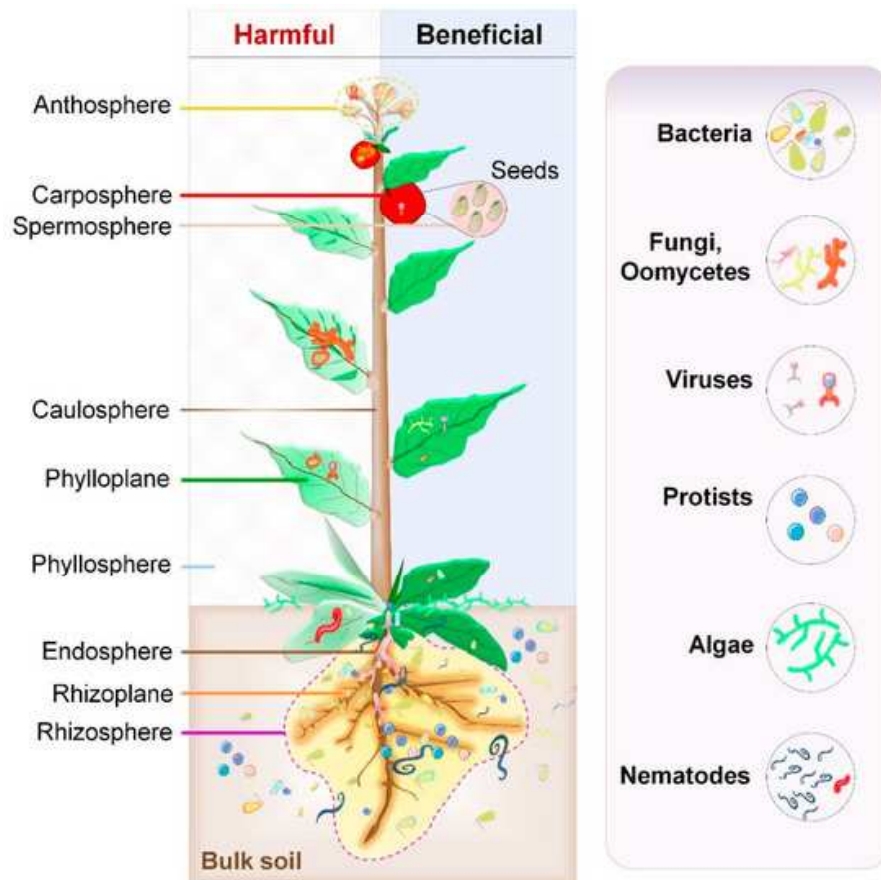
***Stylophora pistillata* korálová kolonie a bakterie *Endozoicomonas* (Ez) sondovaly buňky (žluté) uvnitř chapadel *S. pistillata* sídlících v agregátech (Ez, a) i těsně mimo agregát (b).**



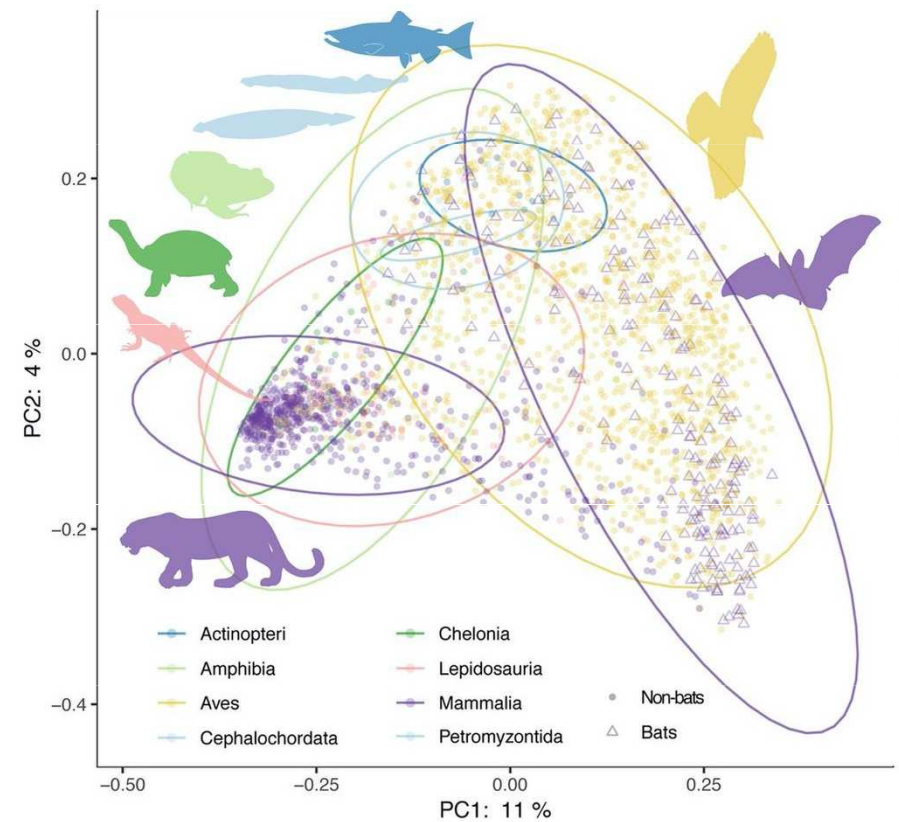


# Srovnání mikrobiomu rostlin a živočichů

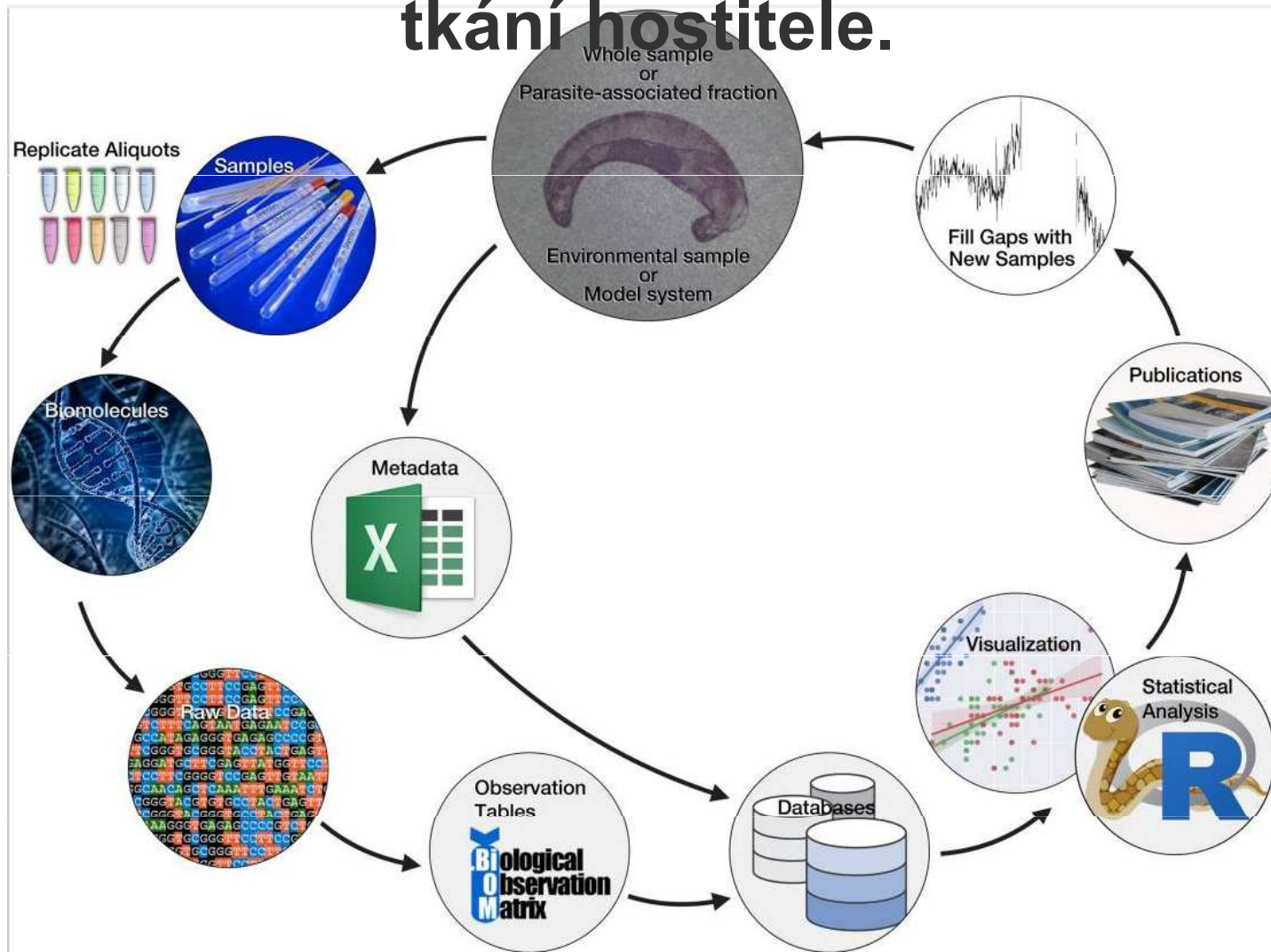
## Mikrobiom v rostlinném ekosystému



## PCoA analýza vytvořená z dat střevního mikrobiomu zvířat.

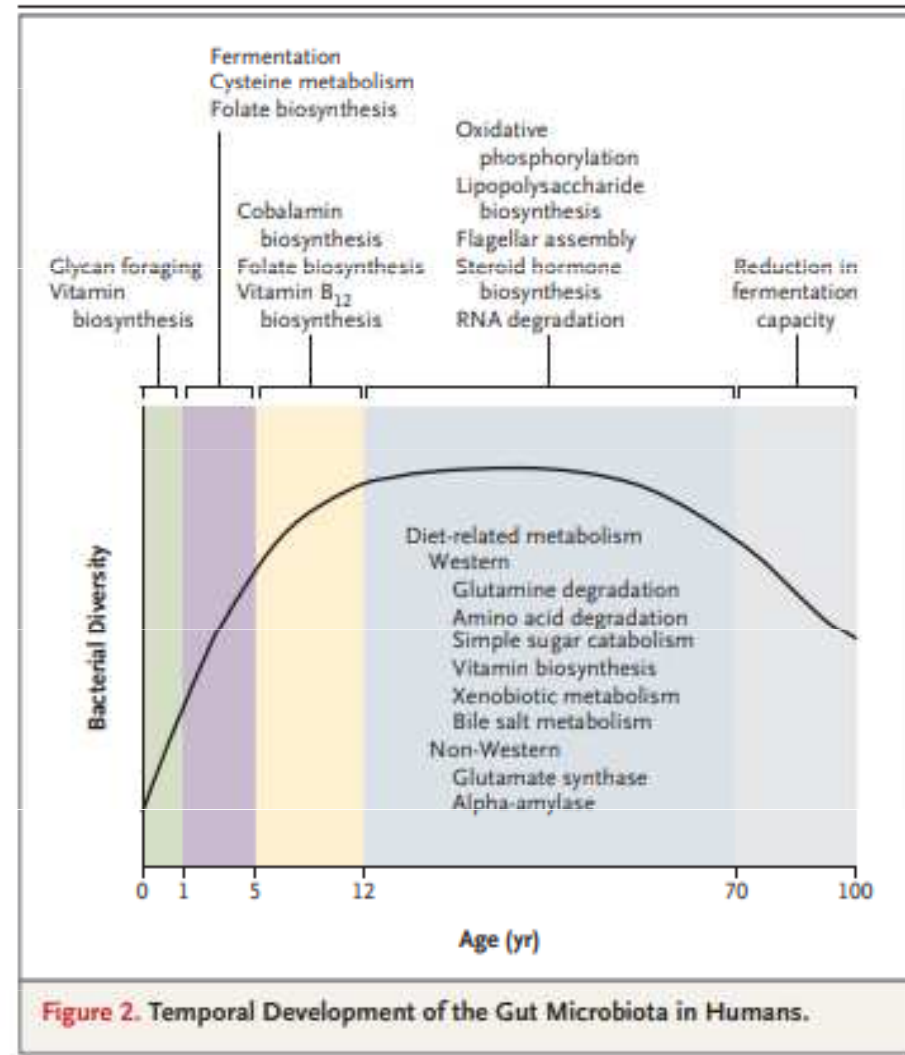
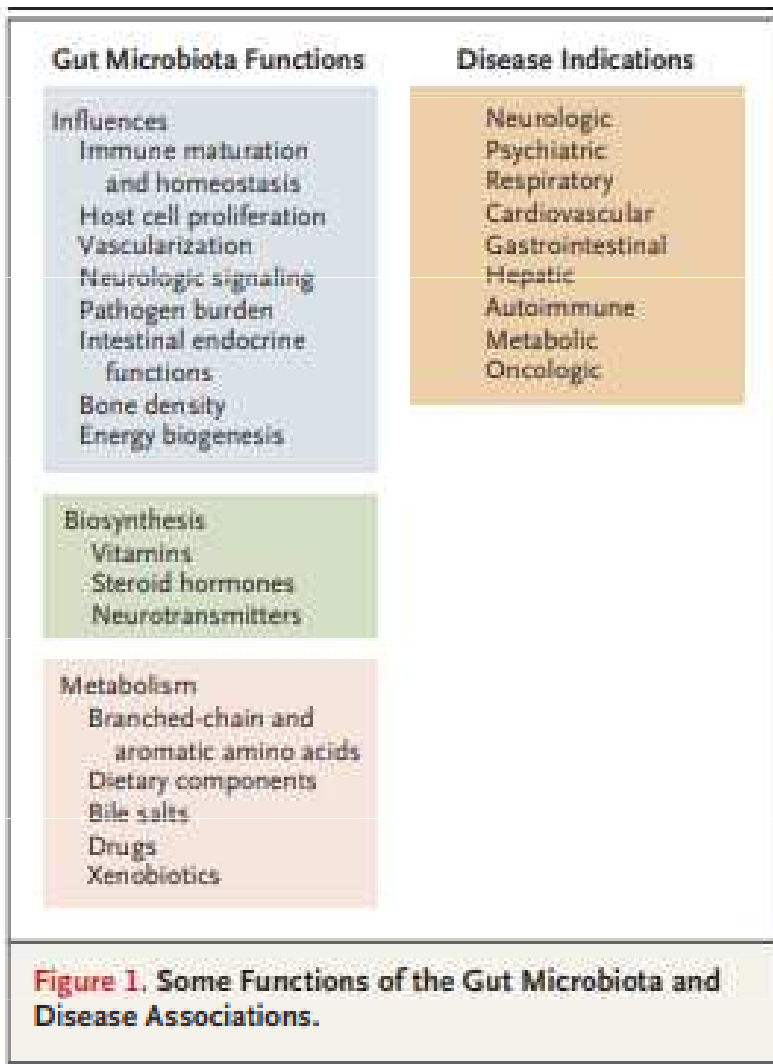


# Navržený postup zpracování vzorků PMP z parazitů a tkání hostitele.



# Základní slovíček mikrobiomu

- **Biomarker sequencing:** The process of cataloguing microbes in a mixed-species community through analysis of sequence variation in a single ubiquitous gene.
- **Holobiont:** The totality of organisms in a given ecosystem (e.g., the shared human and microbial ecosystem); also called a superorganism.
- **Metabolome:** The complete set of small-molecule chemicals found in a biologic sample.
- **Metagenome:** All the genetic material present in an environmental sample, consisting of the genomes of many individual organisms.
- **Methanogenic archaea:** Methane-producing microbes of the ancient Archaea kingdom.
- **Microbiome:** The collection of all genomes of microbes in an ecosystem.
- **Microbiota:** The microbes that collectively inhabit a given ecosystem.
- **Pathobionts:** Typically benign endogenous microbes with the capacity, under altered ecosystem conditions, to elicit pathogenesis.
- **Prebiotics:** Nutritional substrates that promote the growth of microbes that confer health benefits in the host.
- **Probiotics:** Live microbes that confer health benefits when administered in adequate amounts in the host.  
Synbiotics: Formulations consisting of a combination of prebiotics and probiotic



# Funkční role mikrobů ve zdatnosti parazitů a hostitelských chorobách

- **Na parazity a přidružené mikroby** lze pohlížet jako na **společenstvo organismů**, které zažívají různé selekční tlaky, a to **navzdory vysokému potenciálu vzájemné závislosti**.
- **Mikrobi** mohou být **pro parazita buď prospěšní (mutualistické)**, nebo **antagonistické (parazitické nebo s konflikty fitness)**. Povaha interakce by vedla k radikálně odlišným účinkům mikrobů na evoluci holobionta a interakci mezi hostitelem a parazitem.
- Podobně mohou být **mikrobi spojení s hostitelem pro parazita prospěšní** v důsledku selekce ke spolupráci, nebo **mohou být škodlivé kvůli konkurenci o živiny a/nebo prostor**.
- **Povaha interakcí** mezi parazitem a mikroblem může mít rozhodující vliv **na fitness parazita a onemocnění hostitele**. Například viroví symbionti parazitických prvoků mohou odklonit odpovědi hostitele směrem k antivirové imunitě, což je neúčinné při odstraňování eukaryotické infekce a může napomáhat přežití parazita.

# Role parazitů v evoluci mikrobů a interakcích mezi hostitelem a mikroblem

- Prevalence parazitů v populaci, způsob přenosu parazitů a vzájemná závislost mezi mikroblem a jeho parazitickým hostitelem budou řídit evoluci způsobů přenosu mikroba.
- Tyto způsoby jsou obzvláště zajímavé, protože řídí mikrobiální virulenci jak pro parazita, tak pro jeho hostitele.
- Paraziti **mohou ovlivňovat složení mikrobioty svých hostitelů** různými způsoby. Například paraziti mohou být:
  - (1) **přenašeči nebo rezervoáry** mikrobů;
  - (2) **vyvíjet tlak na hostitele** během infekce, což vede k evoluci obranných mikrobů;
  - (3) **soutěžit s hostitelskou mikrobiotou** o živiny nebo poskytovat metabolické a genetické rezervoáry na podporu růstu a přežití jiných hostitelských mikrobiálních druhů;
  - (4) **modifikovat hostitelské prostředí**, např. pH, ve prospěch jiných mikrobů; a/nebo
  - (5) **vyvolávat imunitní odpověď hostitele**, která zase ovlivňuje mikrobiom hostitele.

# Nastavení rovnováhy mezi parazitem a hostitelem

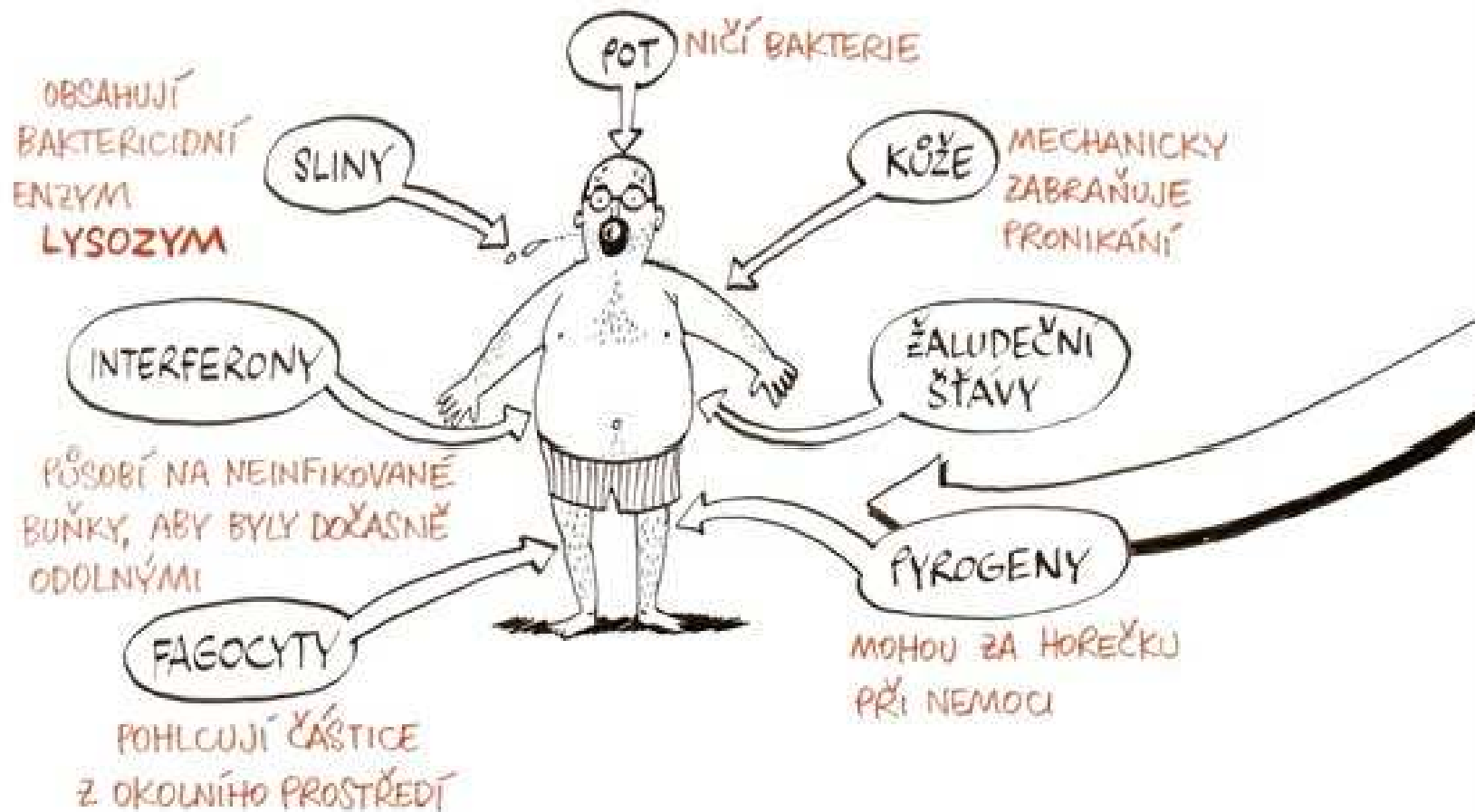
- **Dlouho trvající infekce** vyžadují **dokonalý balanc** mezi využíváním hostitele ze strany cizopasníka na jedné straně a růstem a rozmnožováním parazita v hostiteli na straně druhé.
- **Příliš agresivní/virulentní/patogenní** paraziti své hostitele rychle **zabíjejí a nemají** tak možnost je využívat delší dobu.
- **Evoluce virulence** tak směřuje k nastavení určité **rovnováhy mezi patogenitou parazita a rezistencí hostitele** s tím, že přírodní výběr selektuje kombinace s největším průměrnou mírou přenosu parazita.

# Hostitel má za cíl se zbavit parazita

- Hostitelé si vyvinuli **komplexní obranný mechanismus** např. vrozenou imunitní reakci nebo adaptivní imunitní reakci.
- **Malé množství** cizopasníků obvykle **nesnižuje fitness** hostitele.
- Naproti tomu **paraziti jsou zcela závislí** na svém hostiteli a musí být schopni reagovat na jeho imunitní systém.
- Nastavuje se proto tzv. **asymetrický „arm race“**, který je obvykle nastaven ve prospěch parazita.
- **Komplexnost** a speciálnost adaptací parazita na svého hostitelem **brání jeho zpětnému přechodu** k volně žijícímu způsobu života. **Parazit je tak zcela odkázán** na svého hostitele a sdílí s ním vše dobré i zlé.



# Co jsou první obranné vrozené linie organismu/habitatu !



# Regulace hustoty populace parazita

- Existují samovolné **mechanismy regulace**, které jsou důsledkem dlouhodobé interakce eukaryotního parazita s hostitelem.
- Tuto regulaci mají také někteří protozoární paraziti, např. malarická plasmodia a trypanosomy – samo regulace vedoucí k **optimálnímu využití hostitele**.
- U tasemnic je znám tzv. **crowding effect** – střevo omezený prostor, vliv na počet, velikost a plodnost.
- **Preimunice** (concomitant immunity) – chrání parazity před přemnožením v hostiteli a tedy tlumí jejich vnitrodruhovou kompetici.

# Riziko přílišné exploatace

- **Z hlediska celé infrapopulace:**

výhodné, když se její členové množí natolik pomalu, že hostitel dokáže jejich vliv na své **vitální funkce kompenzovat**.

- **Z hlediska jednoho člena infrapopulace:**

**výhodnější**, když právě on se **množí co nejrychleji**.

**Individuální selekce** (maximalizuje fitness jedince) působí **opačným směrem** nežli **selekce skupinová** (maximalizující celkový počet propagulí, které daná infrapopulace po dobu svého trvání vyprodukuje)

V dlouhodobé evoluční perspektivě **zvítězí ty parazitické druhy**, které si vytvořily **mechanismy omezující účinnost selekce individuální a posilující účinnost selekce skupinové**.

**Jedním z velmi efektivních a parazity** velmi často užívaných mechanismů omezujících účinnost individuální selekce je **asexuální množení**.

# Jsou paraziti biologicky unikátní ?

- **Parazitismus** – představuje nesporně jednu z **nejúspěšnějších životních strategií** na Zemi
- Existuje velmi **mnoho forem a typů** parazitismu
- Parazitismus **vznikl mnohokrát nezávisle** na sobě, není tedy monofyletického původu
- **Nenapadený** hostitelský organismus je **spíše výjimkou**

# Proč jsou paraziti biologicky unikátní ?

- Paraziti (parazitismus) obsadili **velice neobvyklou ekologickou niku – těla živých organismů !**
- Při bližším pohledu jsou však (především pro **endoparazity**) je to naprosto **extrémní prostředí** pro svou nehostinnost !
- Analogií u volně žijících organismů jsou podmínky **v solných pramenech** nebo **v hlubinách oceánů**
- Podmínky např. tenkého střeva (žijí zde např. tasemnice) charakterizuje:
  - **deficit kyslíku**
  - **vysoká koncentrace agresivních trávicích enzymů**
  - **vysoká osmolarita**
  - **imunitní reakce hostitele**

# Paraziti nepochybně jsou biologicky unikátní !!!

- Tyto nepříznivé podmínky jsou **kompenzovány nadbytkem potravy !**
- Aby těchto podmínek parazit dokázal využít, musí mít řadu **adaptací: morfologických, fyziologických, biochemických**
- Tyto adaptace – přesněji **preadaptace** – musely existovat už volně žijícího **předka daného cizopasníka** a nebo musely rychle **vzniknout po jeho průniku** do hostitele díky intenzivnímu přírodnímu výběru !

# Co to jsou preadaptace ?

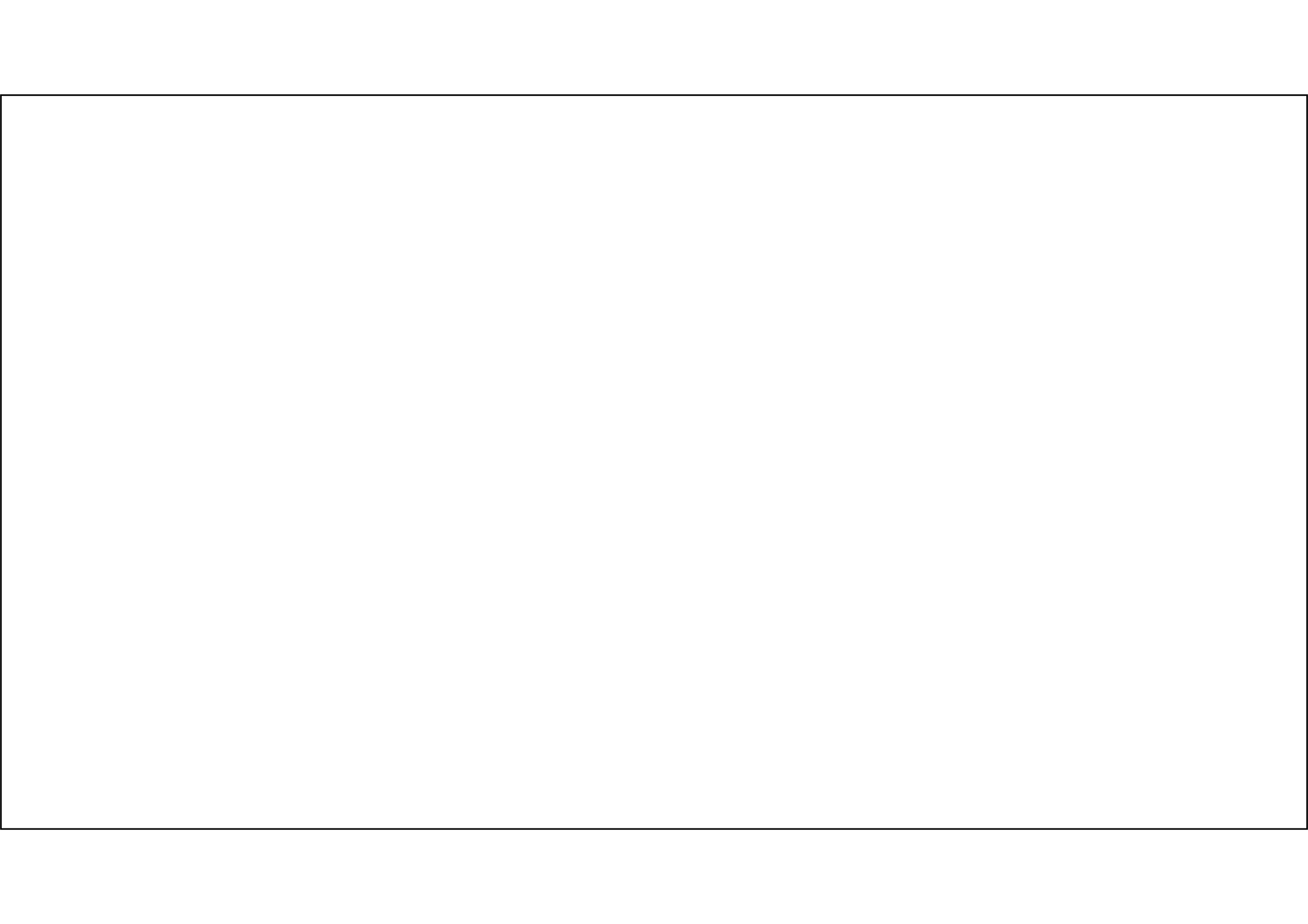
- Morfologické struktury **dovolující přichycení** ve střevě hostitele
- **Tuhá kutikula** odolávající útoku imunitního systému hostitele
- Schopnost **metabolismu** fungovat v prostředí s velice **nízkou koncentrací kyslíku**
- Další evoluce tedy musela jít cestou silných a **specializovaných přizpůsobení – adaptací** – k parazitismu v hostiteli
- Evoluce parazita (parazitismu) tedy **úzce souvisí** s evolucí hostitele – hovoříme o tzv. **ko-evoluci** !

**Děkuji za pozornost !**





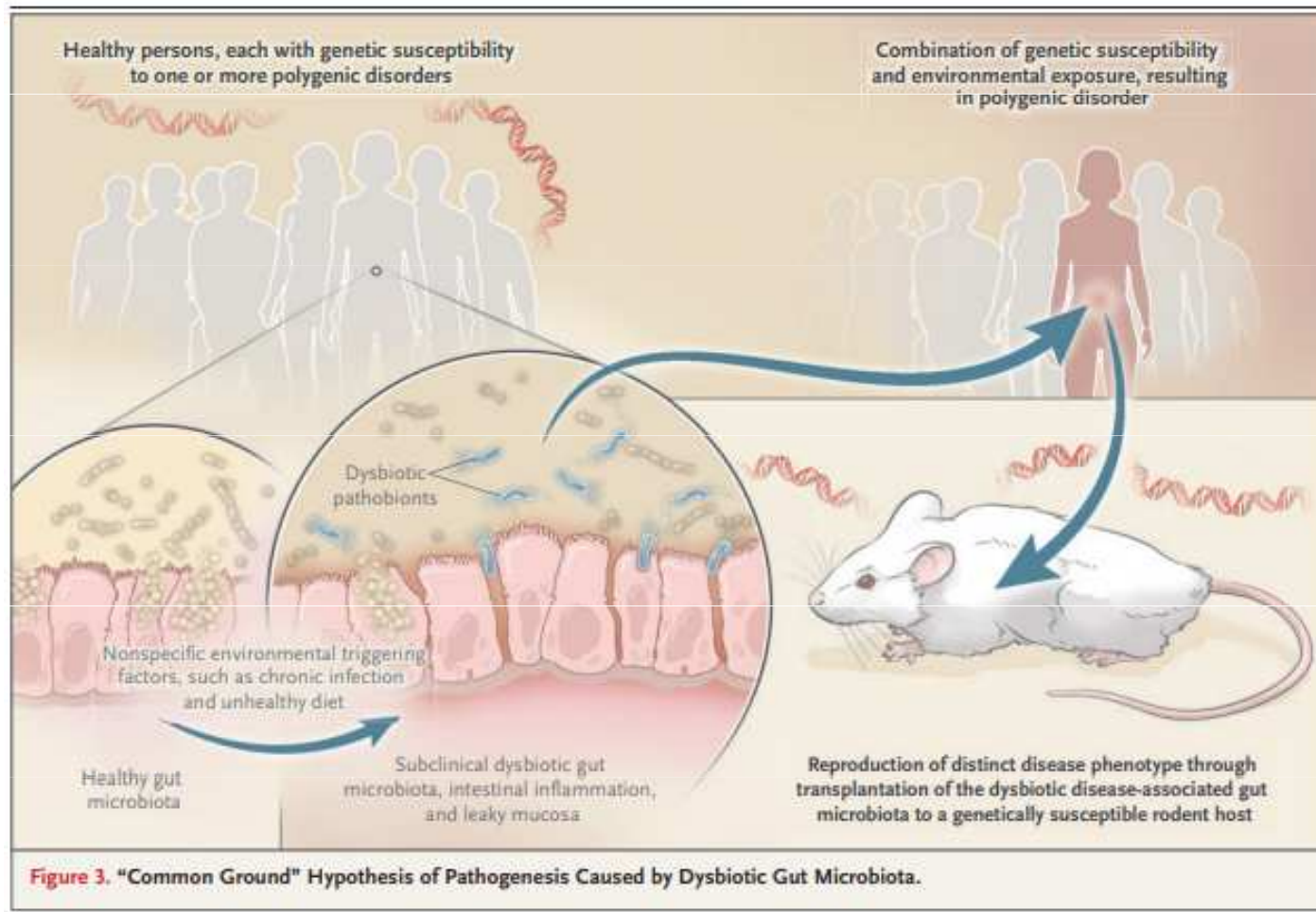




# Paraziti – hostitel a mikrobiom

- Projekt na výzkum tohoto fascinujícího fenoménu byl zahájen workshopem Parasite Microbiome Project (PMP) (9.–14. ledna 2019, Clearwater, Florida, Spojené státy americké).
- Česká parazitologie byla na tomto konsorciu zastoupena prof. Juliem Lukešem ex-ředitelem Parazitologického ústavu AV ČR v Českých Budějovicích.
- Nastartování tohoto projektu mělo za cíl zahájení mezinárodní spolupráce při rozplétání složitých interakcí mezi parazity a hostiteli, jejich příslušnou mikrobiotou a mikrobiálními společenstvy v přímém prostředí parazita.

# „Obecná základní“ hypotéza patogeneze působené dysbiotickou střevní mikrobiotou



# Střevní mikrobiota a speciфіční komezálové jako potenciální preventivní a terapeutické agens

