

# Evoluční ekologie

## Základní přehled problematiky

# Evoluční ekologie – přednáška prof. Andrea Šimková

1. Darwinova biologie – ekologie a evoluce, evoluční stromy. Variabilita, její příčiny a evoluční význam variability.
2. Mechanizmy evoluce – přírodní selekce, molekulární evoluce, adaptace, fenotypická plasticita, speciace a extinkce
3. Ekologické a biogeografické aspekty evolučních změn.
4. Evoluce a ekologie biodiverzity. Diverzifikace.
5. Fyzikální ekologie organismů – vliv teploty a světla na funkce organismů, adaptace organismů, velikost a tvar organismů – vliv na strukturu a funkci organismů, alometrické metody. Jak organismy pracují? – mechanizmy regulace, osmoregulace, látkové výměny a transportu látek. Evoluce fyzikálních systému organismů,
6. Evoluce hlavních složek životních historií – teorie alokace energie na principu kompromisů, fitness a životní složky, vek a velikost v období pohlavní zralosti, velikost a počet potomků, evoluce stárnutí, životní cykly, poměry pohlaví a sexuální alokace, ekologická specializace a generalizace.
7. Fylogeneze a její aplikace v evolučně-ekologických studiích. Principy makroevoluce -fylogenetický strom, komparativní metody, metoda fylogeneticky nezávislých kontrastů. Integrace micro- a makroevoluce – koevoluce, evoluce člověka – historie ovlivňující onemocnění, selekce a virulence.
8. Vnitrodruhové interakce z pohledu evolučně-ekologického. Evoluce a ekologie pohlavní chování (sexuální selekce, sexuální konflikt, strategie párování, sociální evoluce). Behaviorální ekologie a speciace.
9. Potravní chování, evoluční ekologie pohybu.
10. Mezidruhové interakce z pohledu evolučně-ekologického. Evoluce ekologické niky. Numerická a funkční odpověď kompetice, evoluční restrikce niky, koexistence druhů.
11. Evoluce a ekologie sexu – strategie rozmnožování, role sexuální ornamentace v sexuální selekci, hypotéze handicapu, hypotéze handicapu imunokompetence, hypotéze ochrany spermii, koexistence pohlavního a nepohlavního rozmnožování, Červená královna.
12. Parazitismus v evoluční ekologii - evoluce ekologických charakterů parazitů, původ parazitizmu, speciace a diverzifikace parazitů, strategie využívání hostitele, agregace parazitů - ekologické příčiny a evoluční následky
13. Imunita z pohledu evolučně-ekologického. Imunitní geny a investice do imunity. Imunita versus reprodukce. Parazity zprostředkovaná selekce MHC genů, role MHC v sexuální selekci.

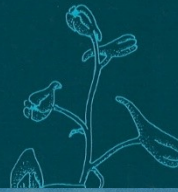
# The Evolution of Life Histories

Stephen C. Stearns

The Evolution of Life Histories  
The Evolution of Life Histories  
The Evolution of Life Histories

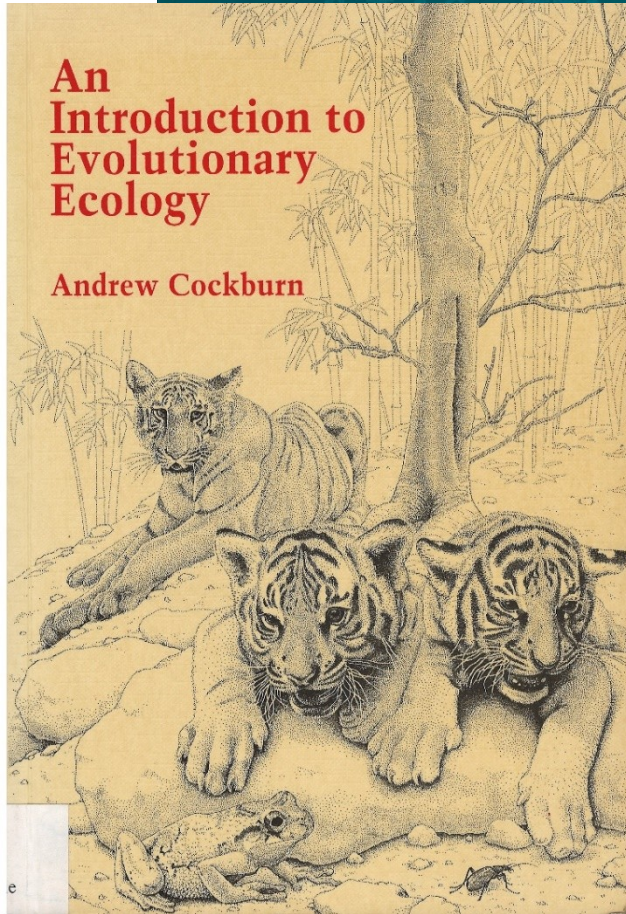
# Evolutionary Ecology

Concepts and Case Studies



## An Introduction to Evolutionary Ecology

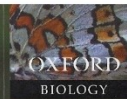
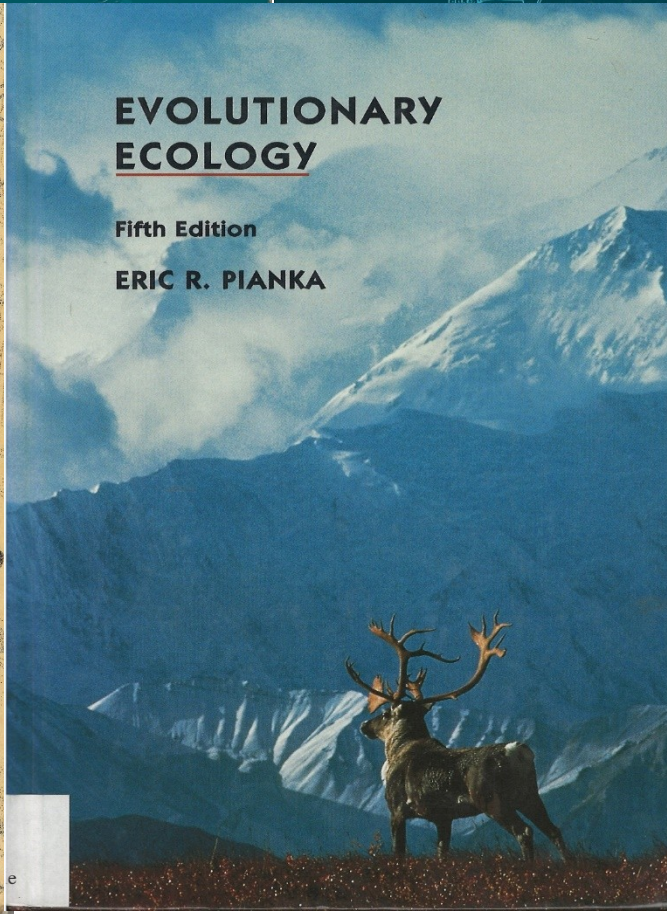
Andrew Cockburn



## EVOLUTIONARY ECOLOGY

Fifth Edition

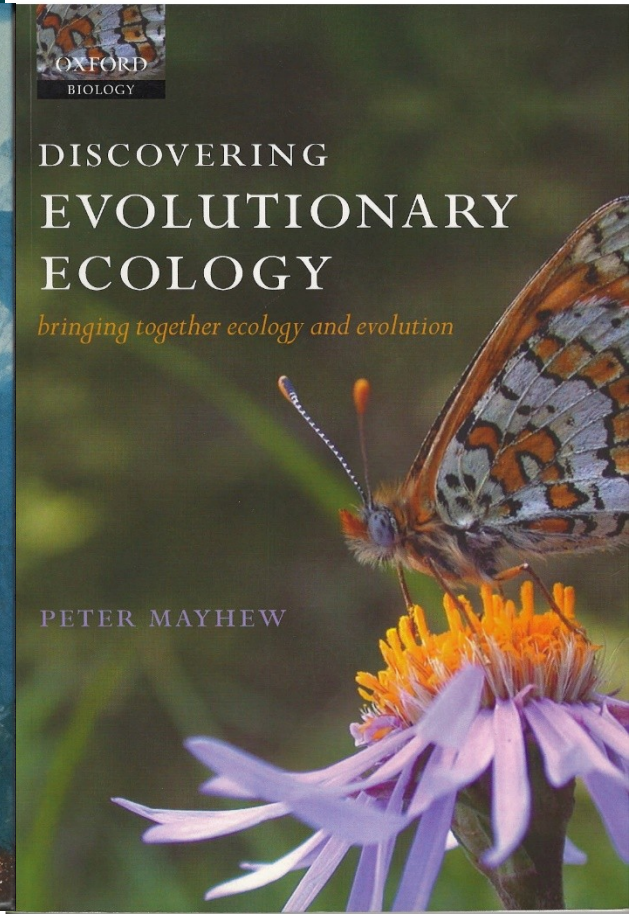
ERIC R. PIANKA



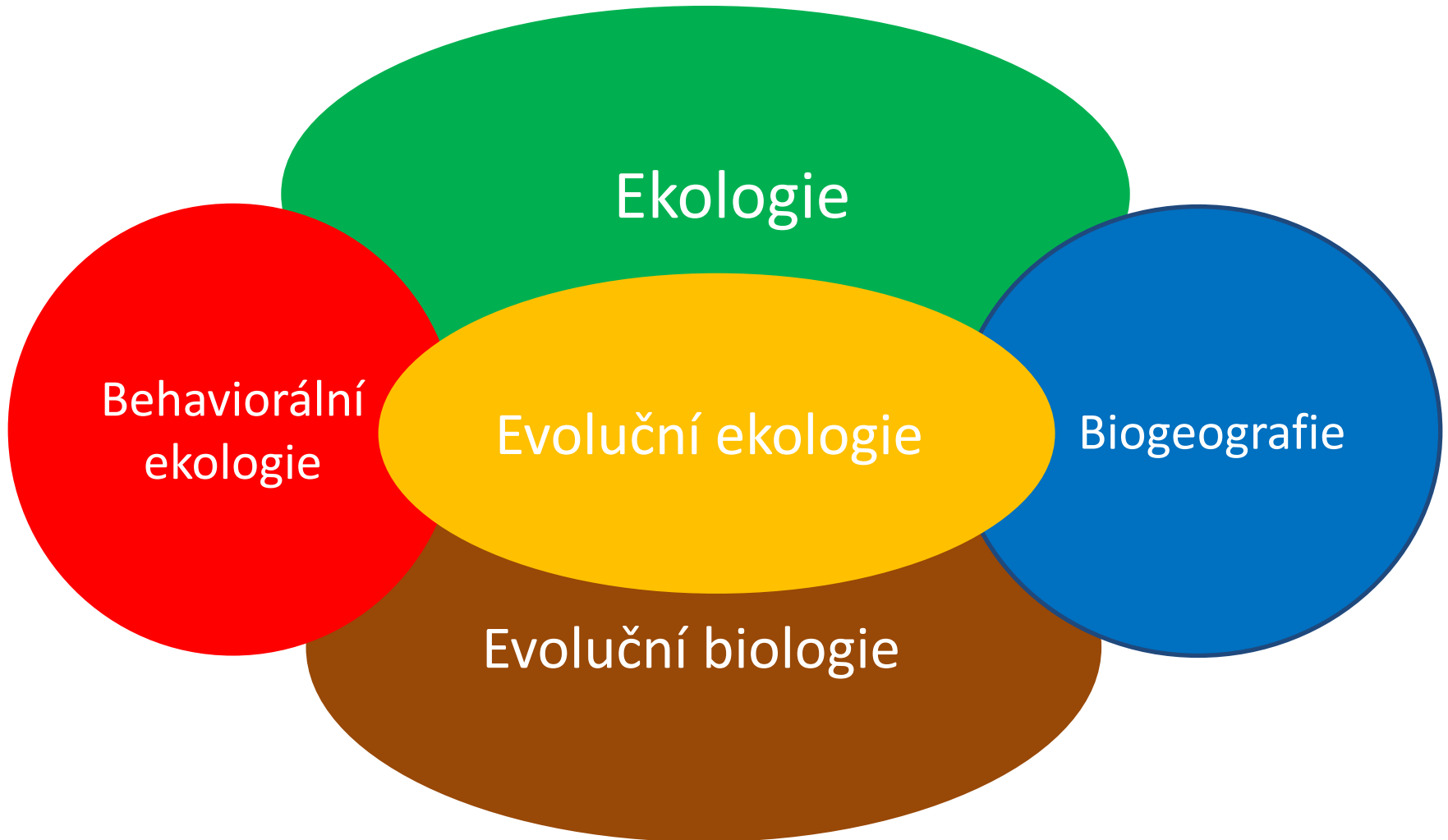
## DISCOVERING EVOLUTIONARY ECOLOGY

*bringing together ecology and evolution*

PETER MAYHEW



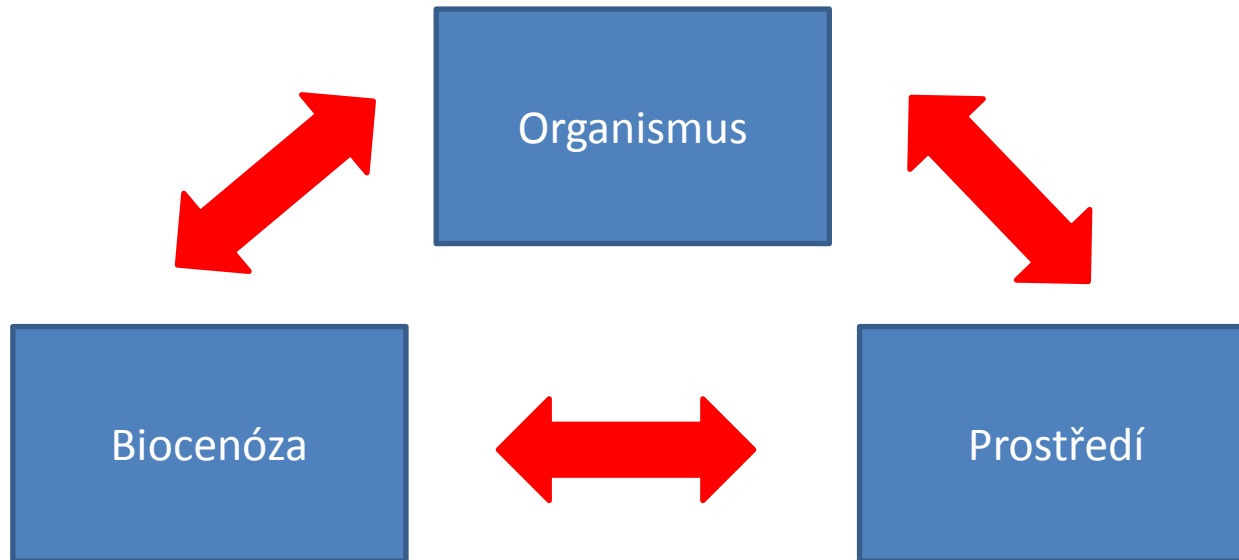
# Evoluční ekologie a příbuzné obory



# Co je a co studuje Ekologie ?

**Ekologie je věda o vzájemném působení organismů a jejich prostředí.**

Krebs (1972): Ekologie je vědecké studium interakcí, které ovlivňují výskyt a hojnost organismů – vymezuje zde základní předmět studia – **rozšíření a početnost organismů** – kde se organismy vyskytují a jak se tam chovají.



# Co studuje evoluční ekologie ?

**Evoluční ekologie** se nachází mezi obory **ekologie** a **evoluční biologie**. Propojuje ekologické přístupy ke studiu organismů s jejich **evoluční historií a interakcemi** mezi nimi. Lze rovněž říct, že tento přístup propojuje studium evoluce se studiem interakcí konkrétních biologických druhů.

Hlavními příbuznými obory evoluční ekologie jsou evoluce životních historií (strategií), sociobiologie (evoluce chování), evolucí interspecifických vztahů jako například kooperace, vztahy mezi predátorem a kořistí, parazitismus, mutualismus a evoluce biodiversity a společenstev.

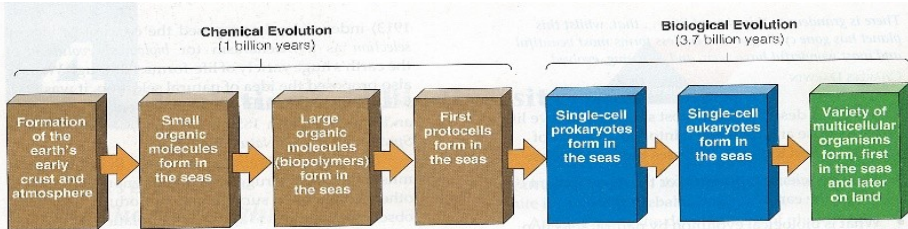
Evoluční ekologie se většinou týká dvou oblastí: (1) jak **interakce** (obojí mezi druhy a mezi druhy a jejich prostředím) ovlivňují daný druh prostřednictvím selekce a adaptací a (2) jaké jsou **následky těchto evolučních změn**.

Evoluční ekologie studuje **vliv environmentálních faktorů na vznik adaptací** druhů. Studium evoluce druhů tak může odpovědět na otázku jak se populace **geneticky mění** během několika generací.

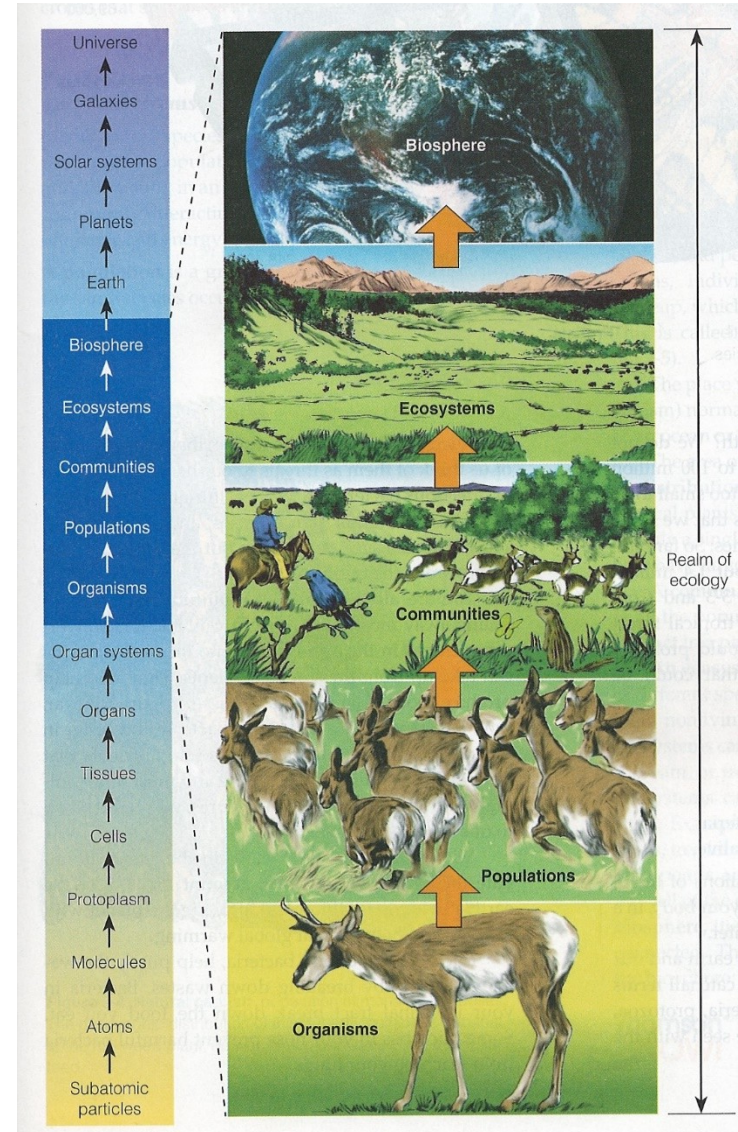
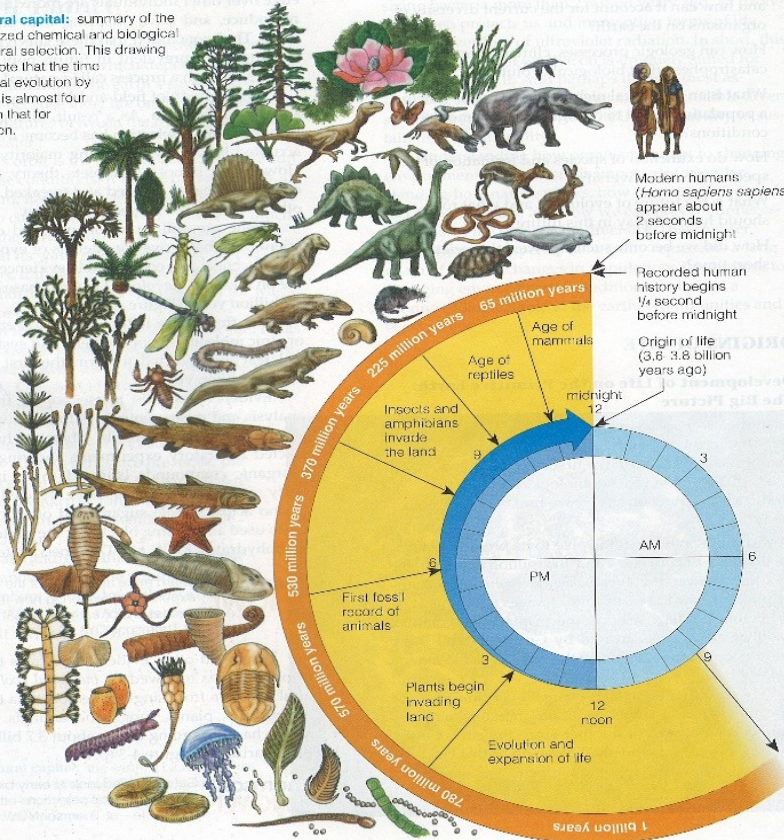
# Jaký ke vztah ekologie a evoluce ?

- **Evoluční biologie** je vědní obor zabývající se biologickou [evolucí organismů](#) a mechanismy, které se při ní uplatňují. Za jeho zakladatele je považován [Charles Darwin](#), který jako první přednesl světu obecně přijatelnou verzi [evoluční teorie](#). Vědci zaměřeni na tento obor se nazývají evoluční biologové či evolucionisté (kromě příznivců [evolucionismu](#)).
- Organismy se neustále přizpůsobují měnícím se podmínkám prostředí. Historické i současné výkyvy různých faktorů prostředí vedou k vývoji adaptací, včetně těch, které reagují na změny prostředí způsobené člověkem. Výzkumný směr Evoluční ekologie studuje, jaký mají ekologické faktory vliv na evoluční změny a jak souvisí určité evoluční znaky s ekologickými procesy. Konkrétně studujeme jak se mezidruhově a vnitrodruhově vyvíjí znaky spojené s reprodukcí a životními historií, jak jednotlivé druhy reagují na změny prostředí a zda a jak dochází ke koevoluci fenotypové formy a funkce. Typická výzkumná témata jsou:
  - evoluce životních historií a stárnutí;
  - pohlavní výběr, evoluce párovacích systémů a reprodukčního chování;
  - hnízdní parazitismus u ptáků a ryb;
  - vztahy predátor-kořist a hostitel-parazit;
  - migrace a disperze;
  - teplotní fyziologie a individuální energetický metabolismus;
  - funkční přístup k morfologickým adaptacím.

# Ekologie versus Evoluce

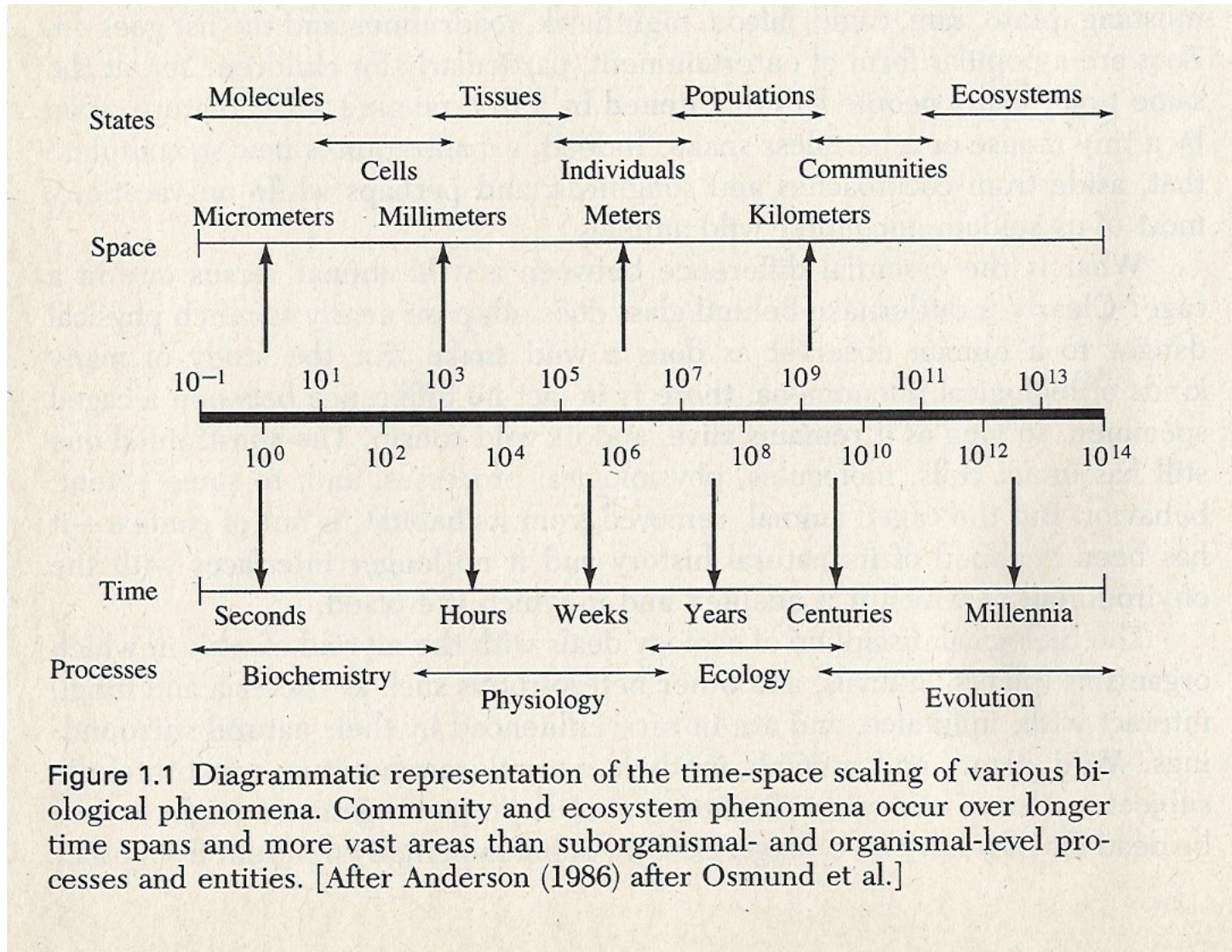


**Figure 4-2 Natural capital:** summary of the earth's hypothesized chemical and biological evolution by natural selection. This drawing is not to scale. Note that the time span for biological evolution by natural selection is almost four times longer than that for chemical evolution.



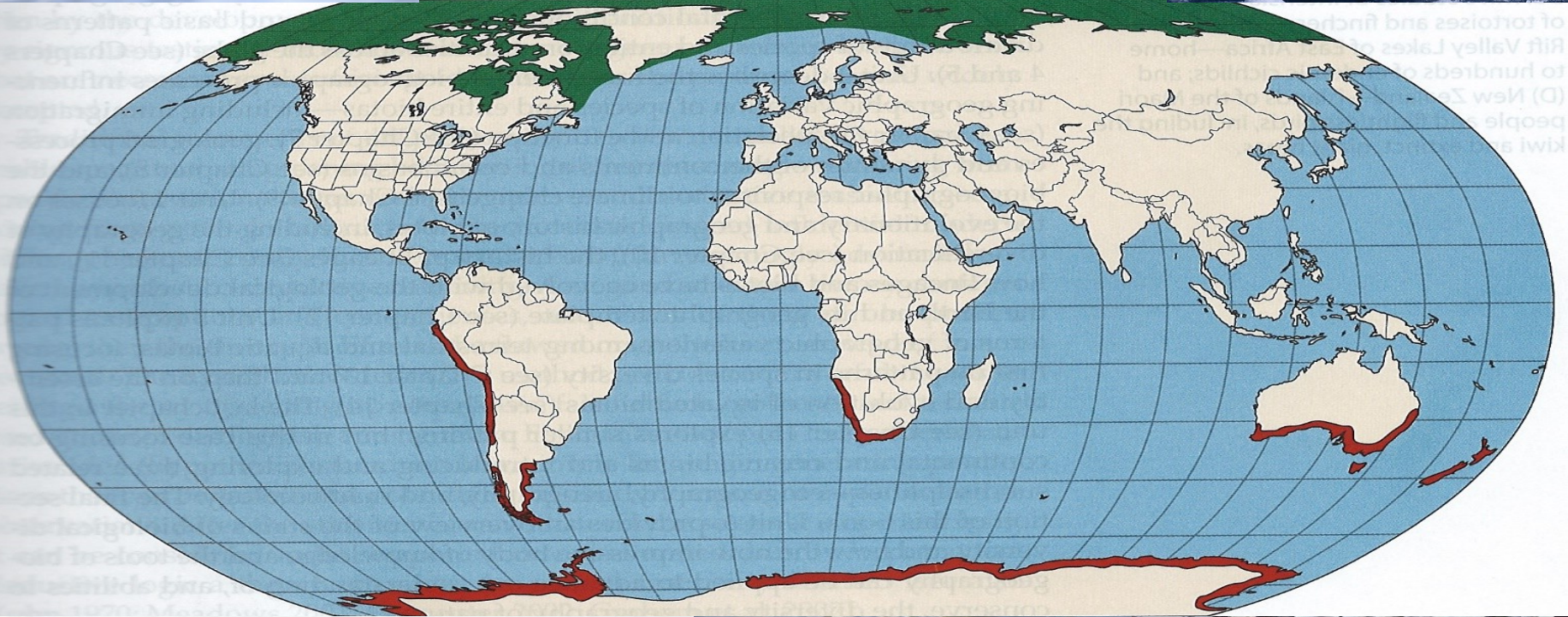


# Schéma časo-prostorného škálování různých biologických fenoménů



# Evoluční ekologie versus biogeografie

- Biogeografie je studium **geografického rozšíření** organismů a zodpovídá rovněž otázky související s populační a evoluční ekologií.
- Některé druhy se vyskytují doslova na několika km<sup>2</sup>, zatímco jiné osídlily celé kontinenty. Některé druhy jsou z hlediska svého **výskytu stabilní**, jiné prodělávají často i rozsáhlé **migrace**.
- Pokud se druhy šíří jako **škůdci v zemědělství**, nebo jsou **původci onemocnění**, je porozumění příčinám proč se jejich původní areály rozšíření zvětšují, často značného ekonomického významu.
- Biogeografie se rovněž zabývá tím, proč se některé druhy s malými areály vyskytují pouze na malém geografickém prost, zatímco jiné jsou náhodně rozptýleny po celé planetě.



# Evoluční ekologie versus Behaviorální ekologie

Behaviorální ekologie studuje ekologické faktory, které vedou ke **vzniku behaviorálních adaptací**. Tedy například, jak různé organismy získávají potravu a jak se chrání se před nepřáteli ? Proč například někteří ptáci migrují, zatímco jiní setrvávají na původním stanovišti? Proč někteří živočichové žijí ve skupinách a jiní jsou povětšinou solitérní ?

# Migrace živočichů

Souš

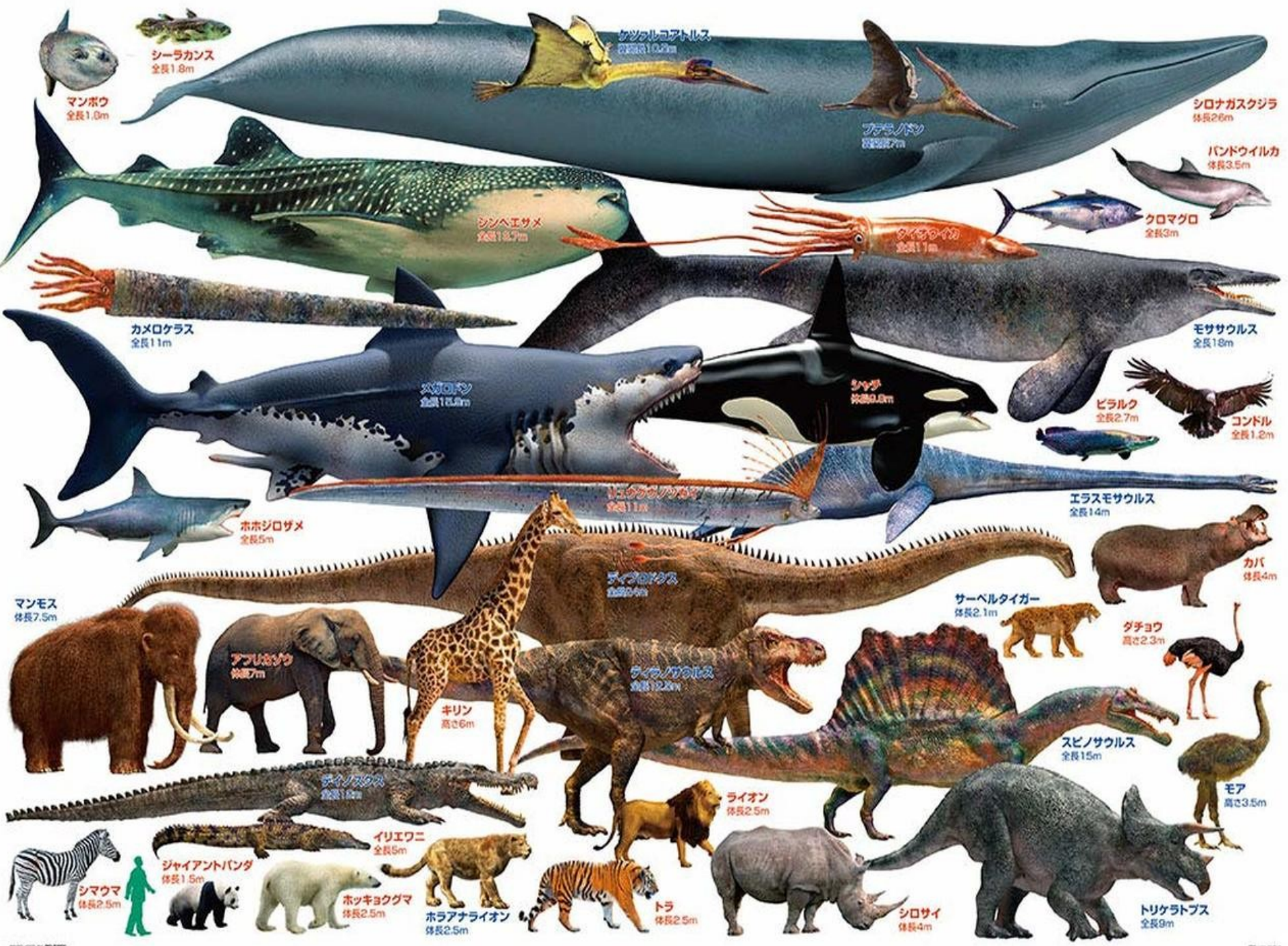
Vzduch

Voda



# Živočichové žijící ve skupinách





シーラカンス  
全長1.8m

マンボウ  
全長1.0m

ケツァルコアトルス  
全長13.2m

アザラシ  
全長2.7m

シロナガスクジラ  
体長26m

バンドウイルカ  
体長3.5m

シンヘエサメ  
全長13.7m

タチウオ  
全長1.1m

クロマグロ  
全長3m

カメクラス  
全長11m

メグロサメ  
全長15.0m

シャチ  
体長9.0m

モササウルス  
全長18m

ビルルク  
全長2.7m

コンドル  
全長1.2m

ホホジロザメ  
全長5m

メウナロウサメ  
全長11m

エラスモサウルス  
全長14m

カバ  
体長4m

マンモス  
体長7.5m

アフリカゾウ  
体長7m

ディプロドクス  
全長20.9m

サーベルタイガー  
体長2.1m

グチョウ  
高さ2.3m

キリン  
高さ6m

ティラノサウルス  
全長12.2m

スピノサウルス  
全長15m

モア  
高さ3.5m

シマウマ  
体長2.5m

ジャイアントパンダ  
体長1.5m

ホッキョクグマ  
体長2.5m

イリエワニ  
全長5m

ライオン  
体長2.5m

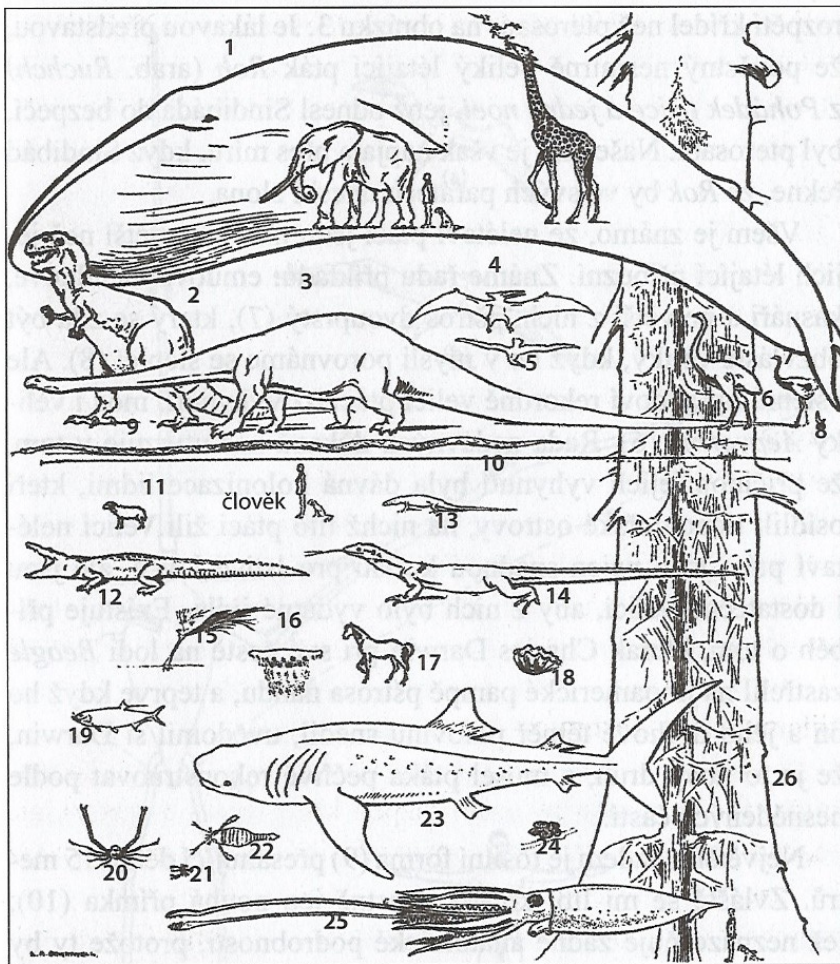
トラ  
体長2.5m

ホラアナライオン  
体長2.5m

シロサイ  
体長4m

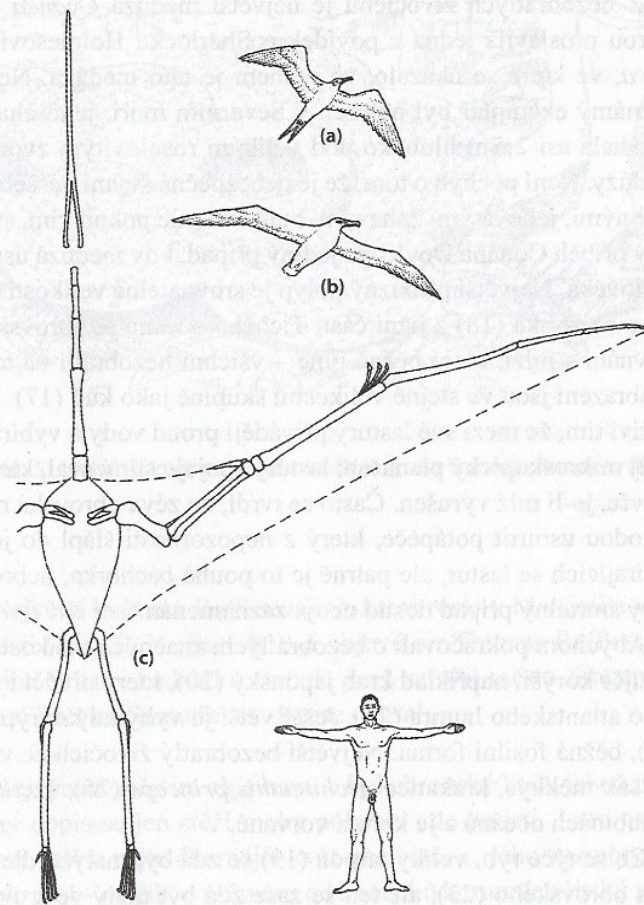
トリケラトプス  
全長9m

# Je velikost evolučně významná ?



Obr. 3. Největší živočichové a rostliny.

Z knihy H. G. Wellse, J. S. Huxleyho a G. P. Wellse Věda o životě (1931).

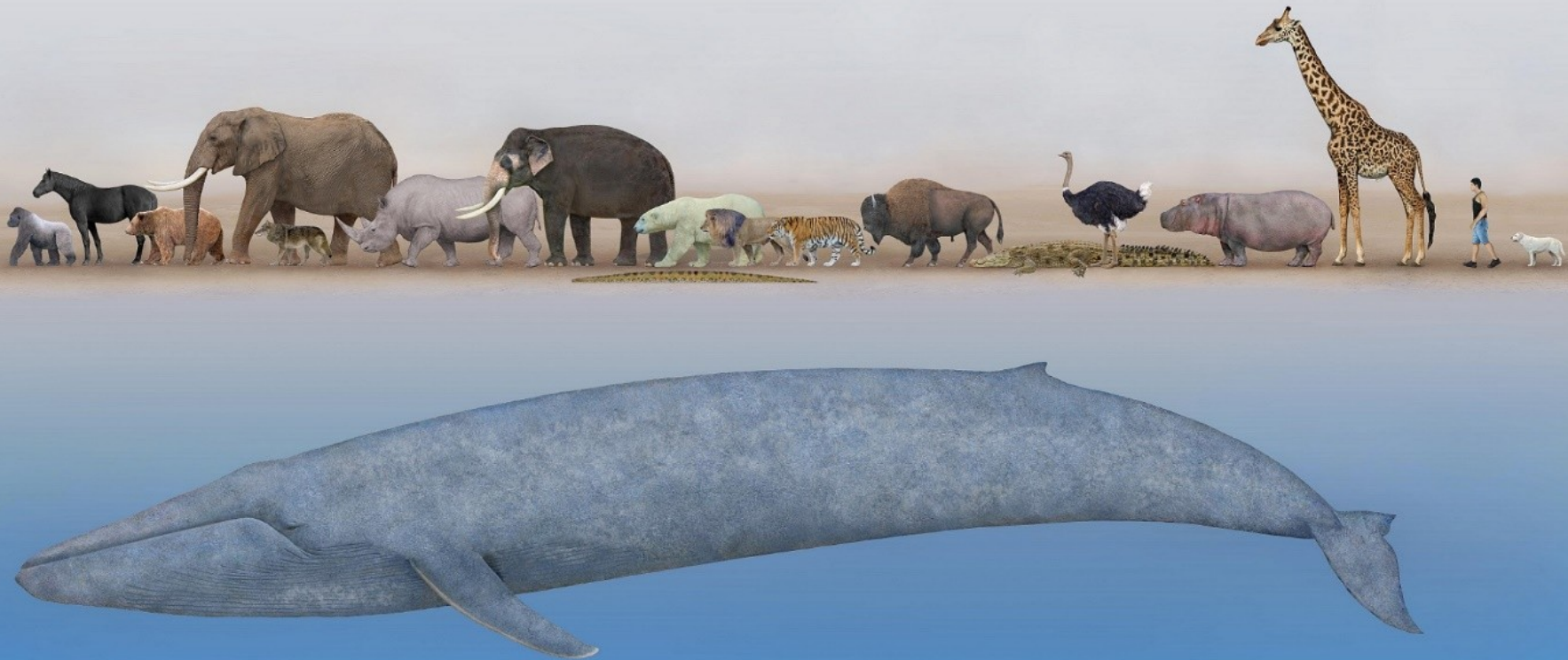


Obr. 4. (a) Fregatka vznešená má rozpětí křídel téměř 2 metry. (b) Albatros stěhovavý mívá rozpětí až 3,3 metry, je to největší žijící pták. (c) Největší létající živočich všech dob byl pterosaurus, jehož rozpětí bylo odhadnuto na 12 až 13,5 metru. (Podle T. A. McMahon a J. T. Bonnera, O velikosti a životě, 1983)

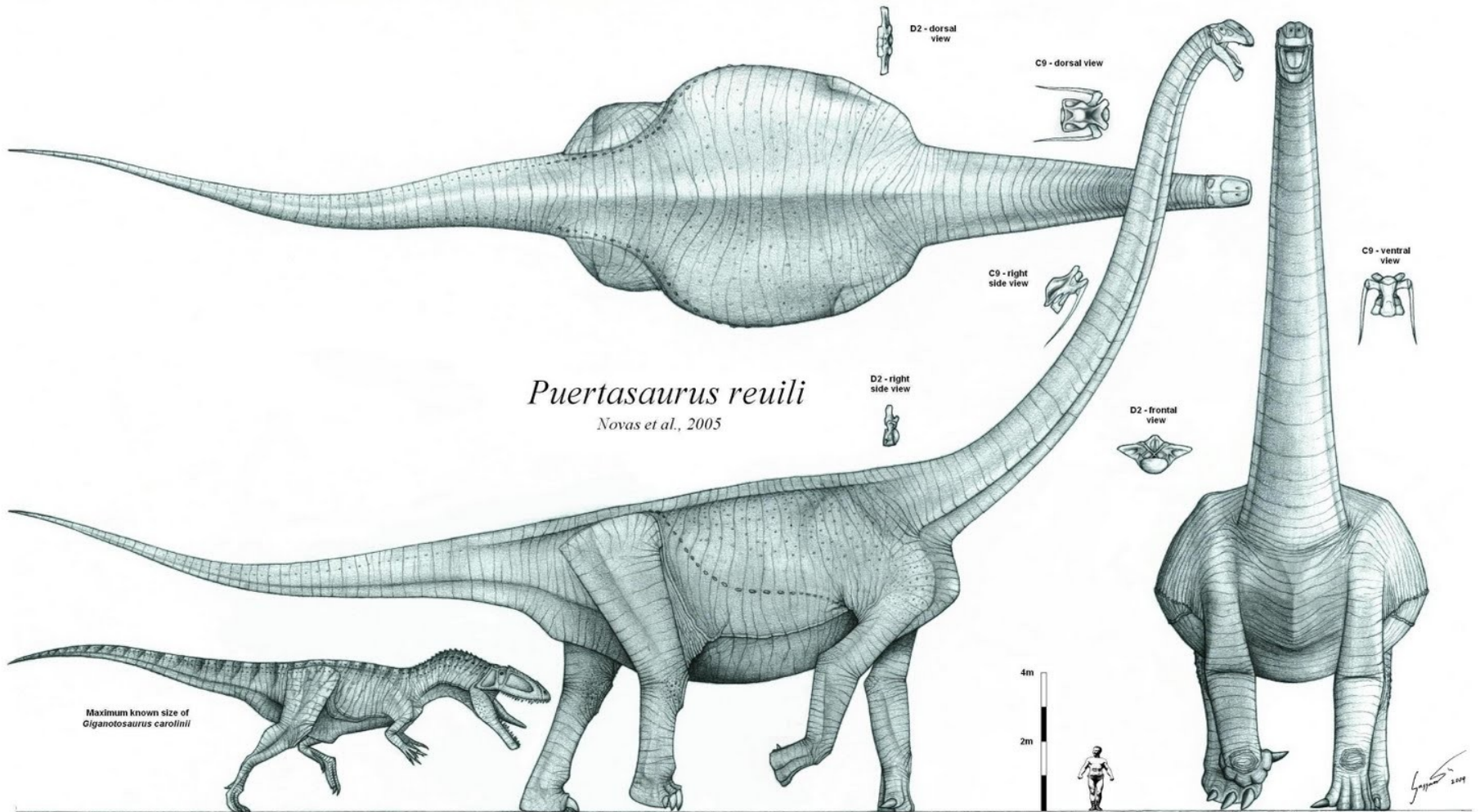


# Srovnání velikosti žijících organismů

SameerPrehistorica



# Srovnání velikosti vyhynulých živočichů





## Gigantické sekvoje



# Gigantické stromy



**Australian mountain ash**  
(*Eucalyptus regnans*)  
99.6 m  
Tasmania



**Manna gum**  
(*Eucalyptus viminalis*)  
89 m  
Tasmania



**Giant redwood**  
(*Sequoia sempervirens*)  
115.6 m  
California



**Giant sequoia**  
(*Sequoiadendron giganteum*)  
94.9 m  
California



**Yellow meranti**  
(*Shorea faguetiana*)  
88.3 m  
Borneo

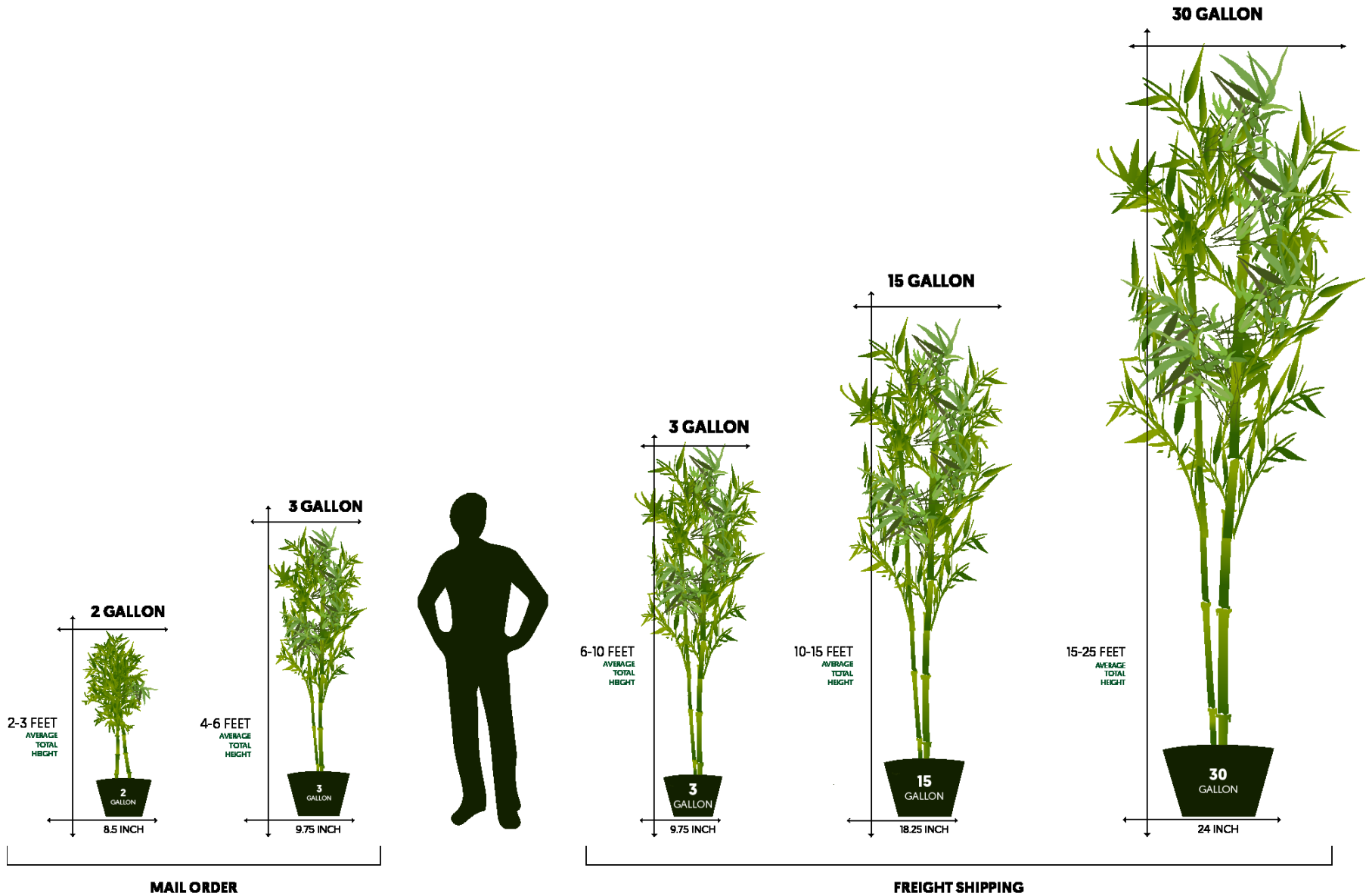


Human

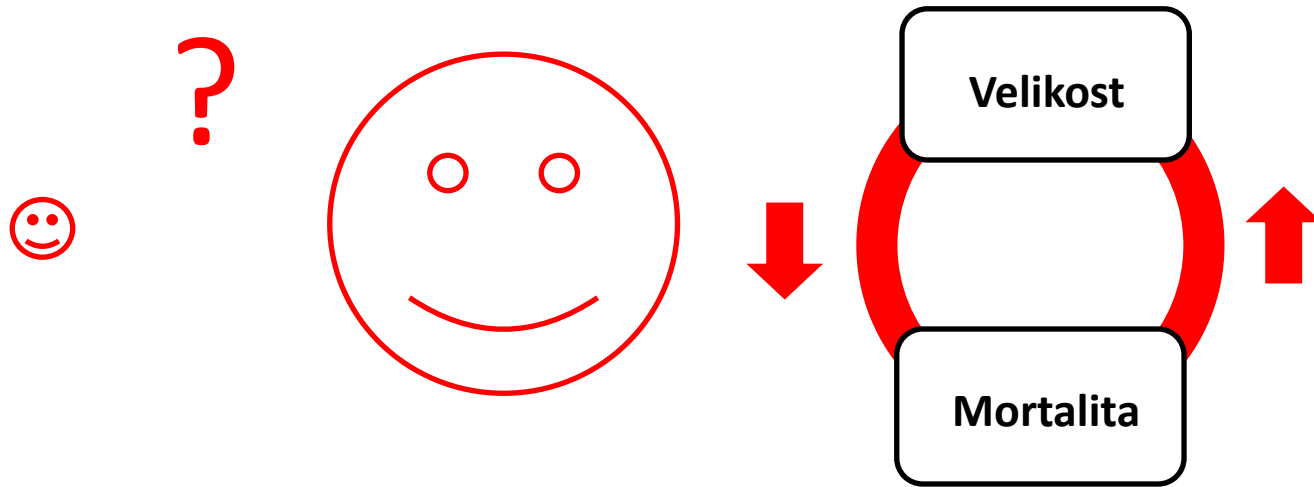
**English oak**  
(*Quercus robur*)  
25 m



# Velikost rosltin



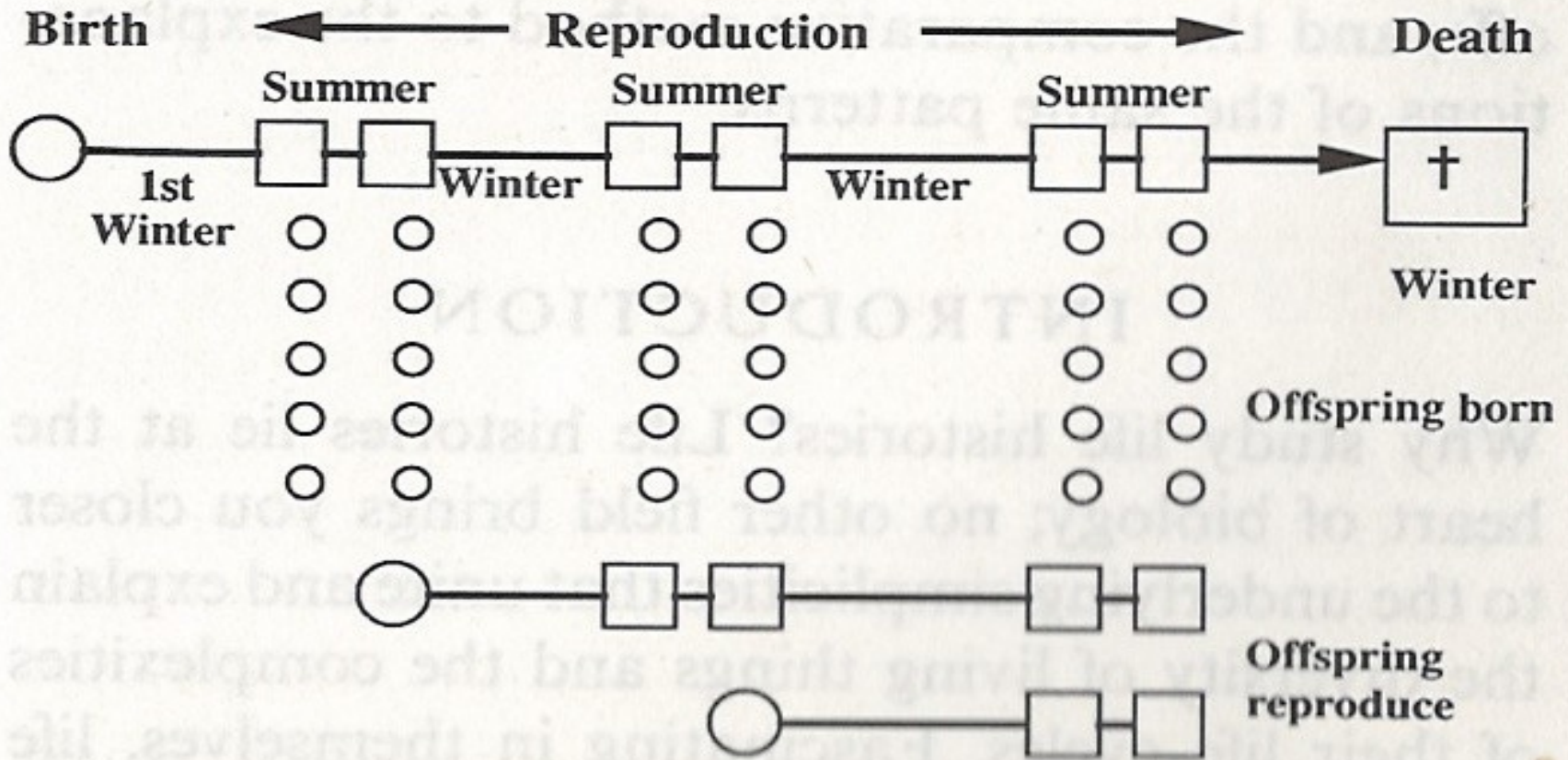
# Věk a velikost v dospělosti



Malé organismy nejsou obvykle malé proto, že být malým zvyšuje jejich plodnost nebo zmenšuje mortalitu. Jsou malé proto, že být velký vyžaduje určitý čas potřebný k růstu a při velké mortalitě se investice do velikosti nevyplatí pokud není kompenzována zvýšenou plodností. Optimální velikost těla tak přímo závisí na mortalitě, ale mortalita je často závislá na velikosti. Tato reciproční závislost je tak nepochybně zdrojem obrovské variability životních strategií v přírodě.

(Jan Kozlowski ,1991)

# Příklad schématu životní historie organismu



**Figure 1.1** An example of a life history. Circles indicate eggs, boxes reproductive events, and the rectangle, death.



Co je to životní historie organismu ?

Life History Trait

# Základní složky životních historií

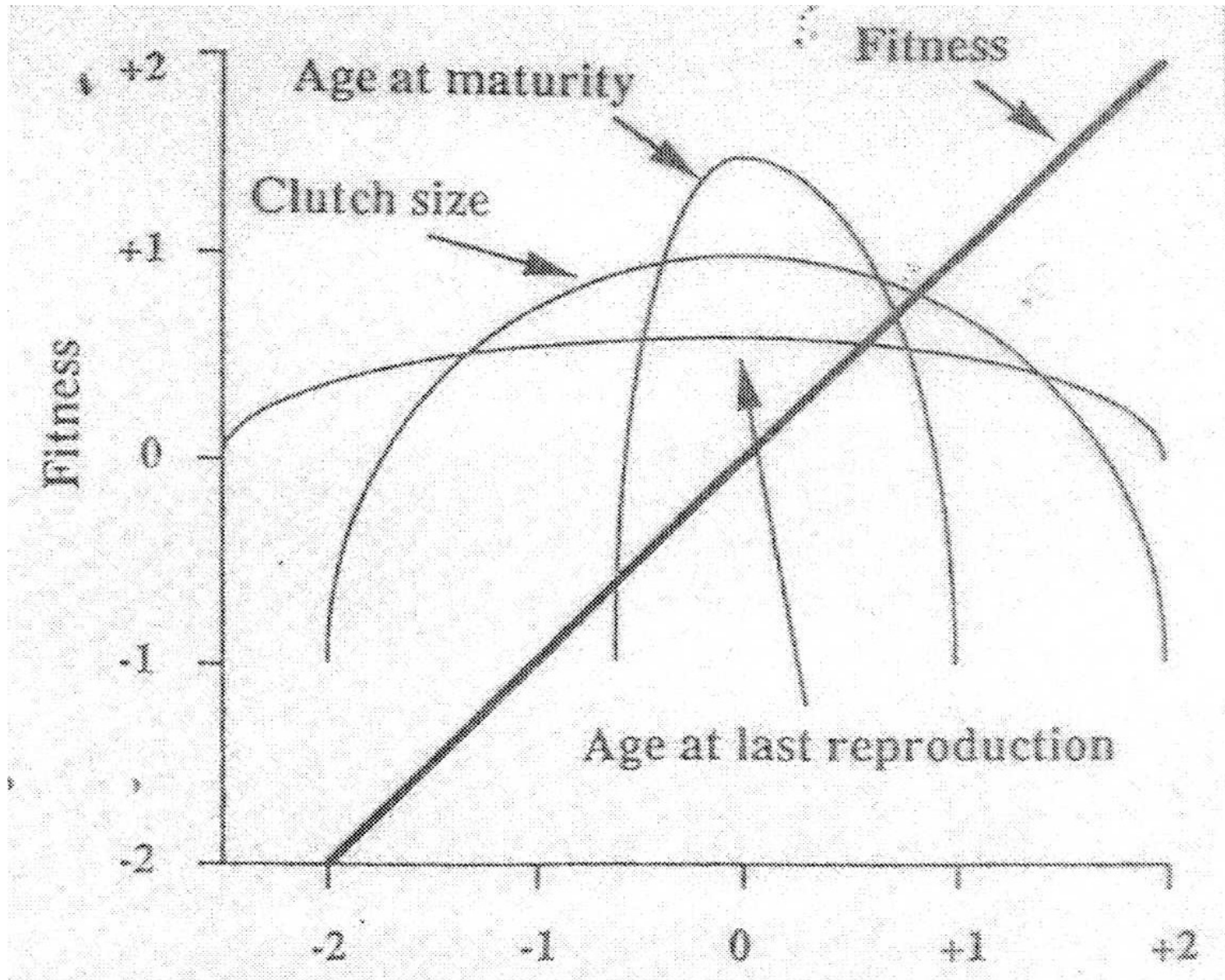
- Velikost po narození
- Růstové vztahy
- Věk v dospělosti
- Velikost v dospělosti
- Počet, velikost a poměr pohlaví u potomků
- Věkově a velikostně specifické reprodukční vklady
- Věkově a velikostně specifická mortalita
- Délka života

# Evolve složek životních historií (life history traits)

## Základní složky životních historií:

- Vycházejí přímo z procesu reprodukce a přežívání
- Kombinace těchto složek ovlivňuje fitness
- Fitness – fenotypická podmínka, variace fitness mezi jednotlivci daná přírodním výběrem
- Analýza evoluce komponent fitness – evoluce životních historií

# Fitness versus různé životní strategie



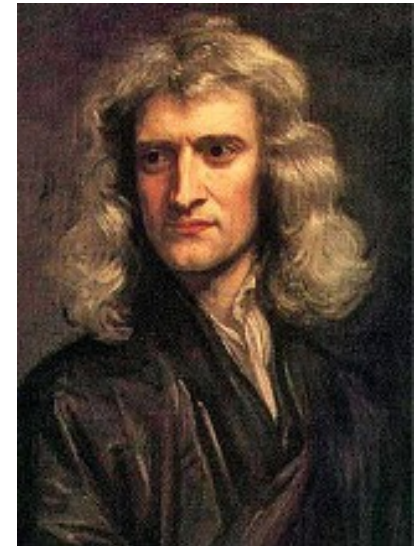
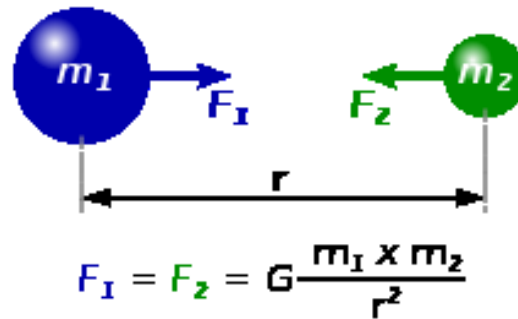
Proč je velikost organismu klíčová ?

Co velikost těla určuje ?

# Základní pravidla o velikosti

- Působení síly (**koheze, gravitace**) se mění v závislosti na velikosti.
- **Povrchy**, které umožňují difuzi kyslíku, potravy a tepla dovnitř i ven z těla se mění v závislosti na velikosti
- Dělbá práce (**strukturální složitost**) se mění v závislosti na velikosti těla.
- **Rychlost** různých **životních pochodů** se mění v závislosti na velikosti těla, např. látková výměna, doba generace, délka života, rychlost pohybu.
- **Početnost organismů** v přírodě se mění v závislosti na jejich velikosti.

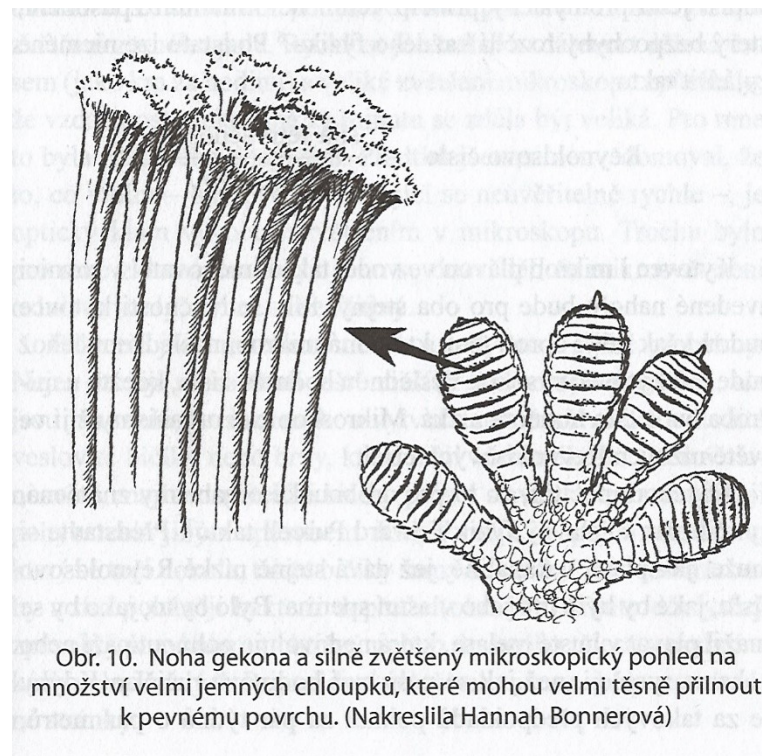
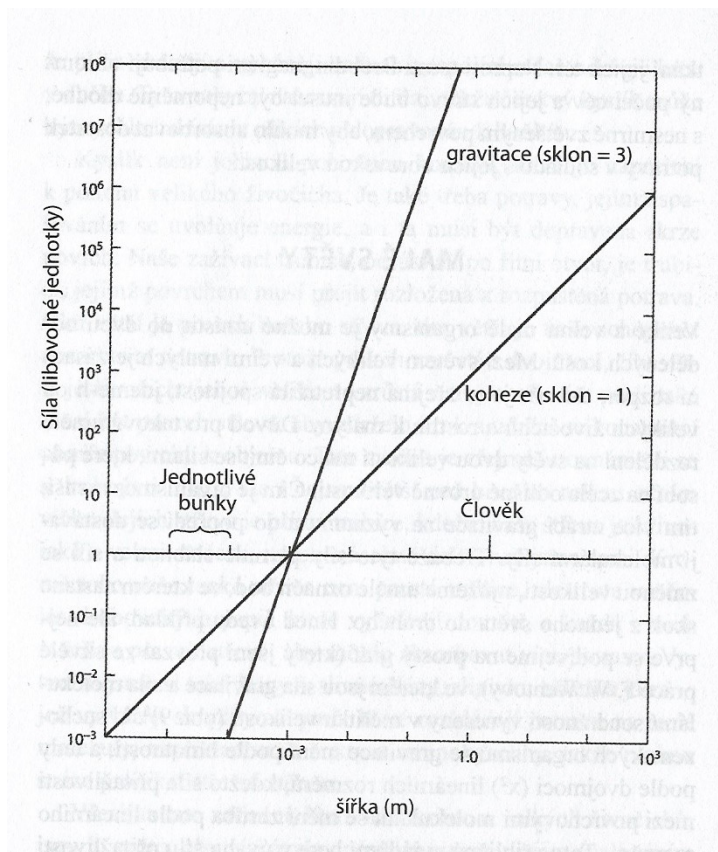
# Newtonův gravitační zákon a ekologie ?



**Newtonův gravitační zákon** je fyzikální [zákon](#), který popisuje [gravitaci](#) jako přitažlivou [sílu](#) – **gravitační sílu**, kterou na sebe působí [tělesa](#) v závislosti na svých [hmotnostech](#) a vzájemné vzdálenosti. Formuloval jej [Isaac Newton](#) na základě analýzy [pohybu Měsíce](#) kolem [Země](#), [planet](#) kolem [Slunce](#) a na základě znalosti [Keplerových zákonů](#).

Newtonův gravitační zákon je důležitou částí [klasické fyziky](#). Není však vhodný pro velmi hmotné vesmírné objekty a [rychlosti](#) blízké se [rychlosti světla](#), pro které platí přesnější a složitější definice gravitace [obecné teorie relativity](#). [Kvantovou teorii gravitace](#) se zatím nepodařilo vytvořit.

# Srovnání působení síly gravitace a molekulární koheze –

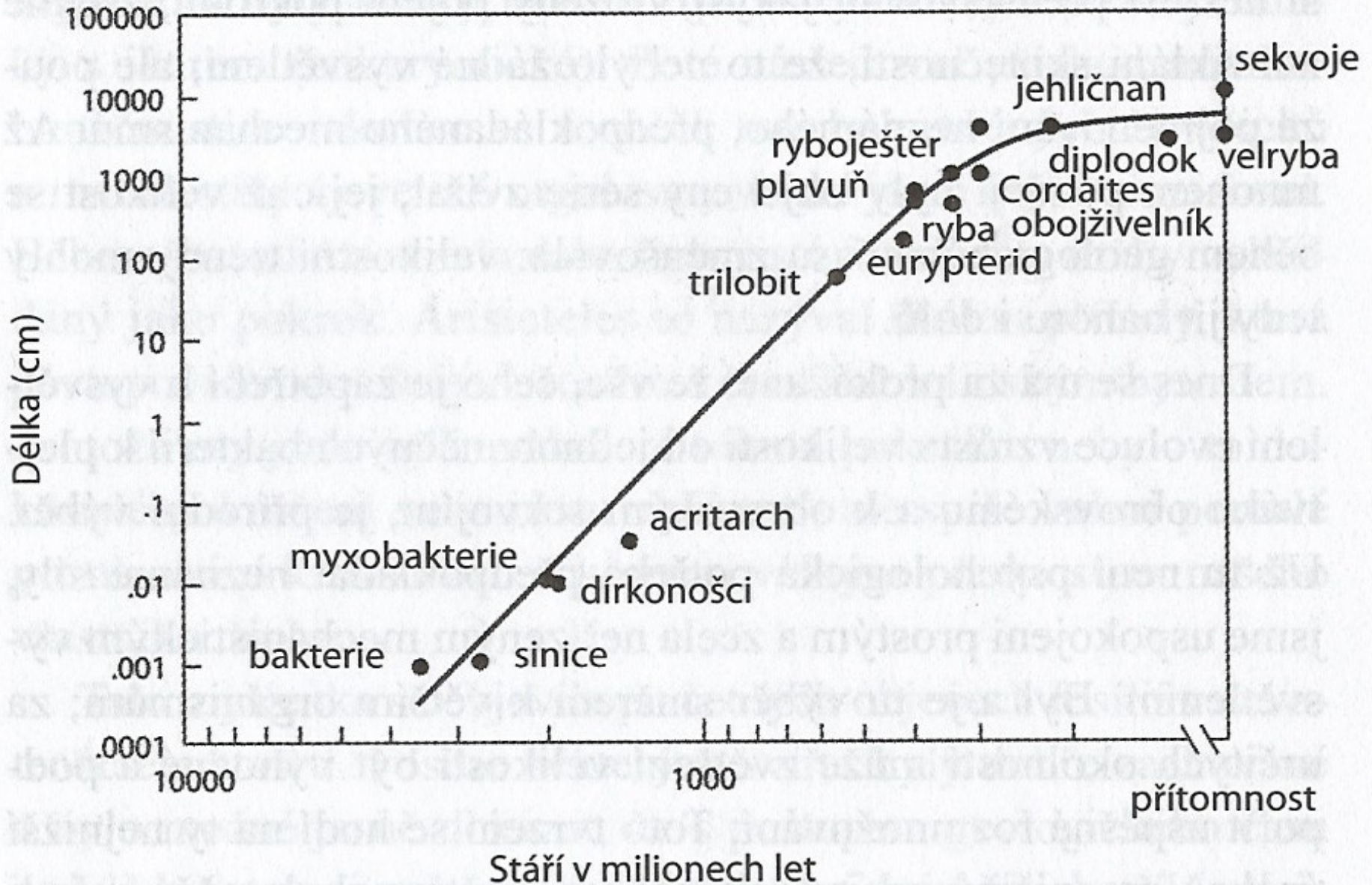


Obr. 10. Noha gekona a silně zvětšený mikroskopický pohled na množství velmi jemných chloupků, které mohou velmi těsně přilnout k pevnému povrchu. (Nakreslila Hannah Bonnerová)

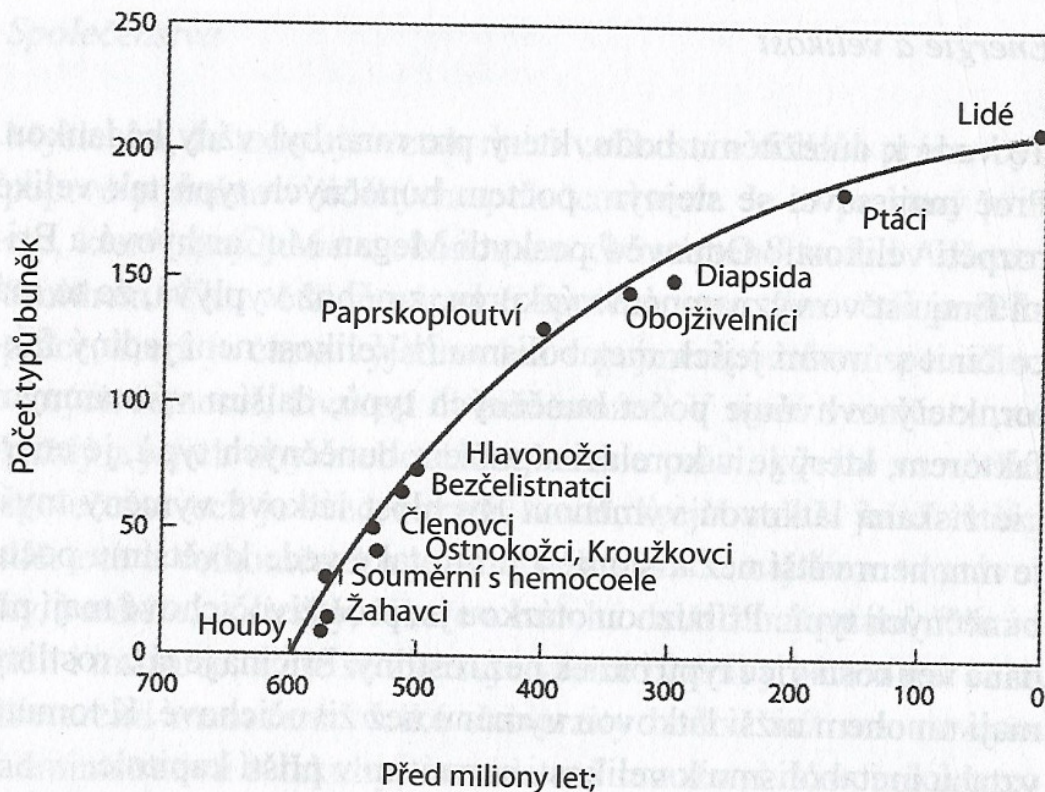
U drobných organismů (pod 1mm) převládají síly koheze na gravitací, kdežto u větších má větší význam působení sil gravitace.



# Hrubý odhad největších živočichů na Zemi

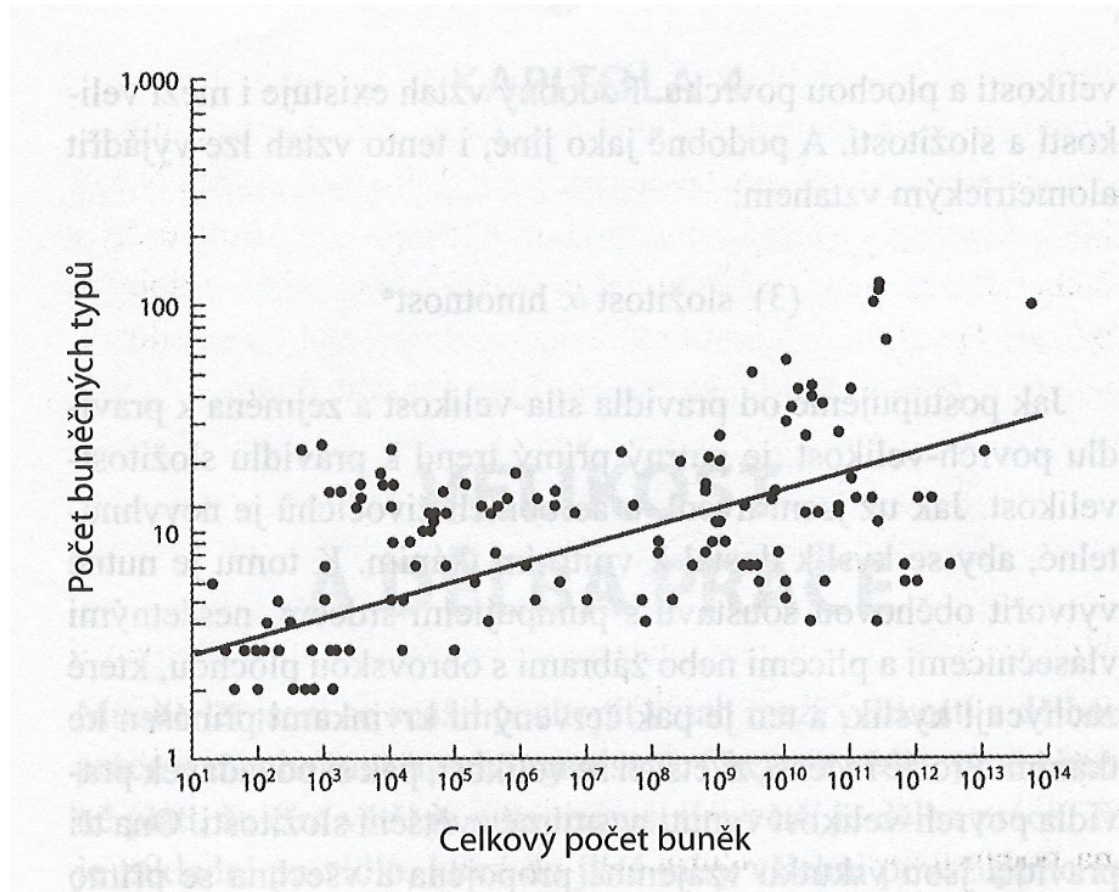


# Odhad počtu buněčných typů u raných zástupců různých skupin živočichů



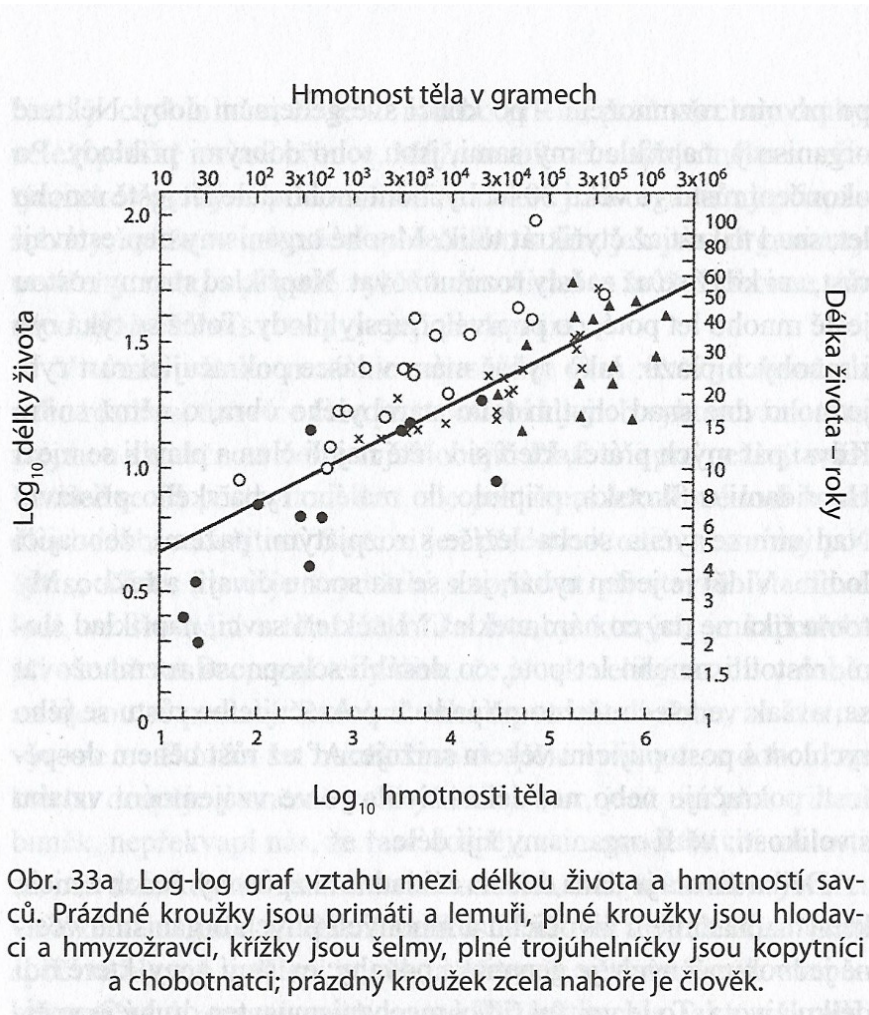
Obr. 26. Odhad počtu buněčných typů u raných zástupců různých skupin živočichů. Zařazení jsou jen ti členové skupin, kteří patrně byli dosti blízcí horní hranici počtů buněčných typů, když skupiny vznikaly. (Z Valentina et al., *Paleobiology* 20 [1994]: 131–142.)

# Vztah počtu typů buněk k celkovému počtu buněk u velké řady organismů

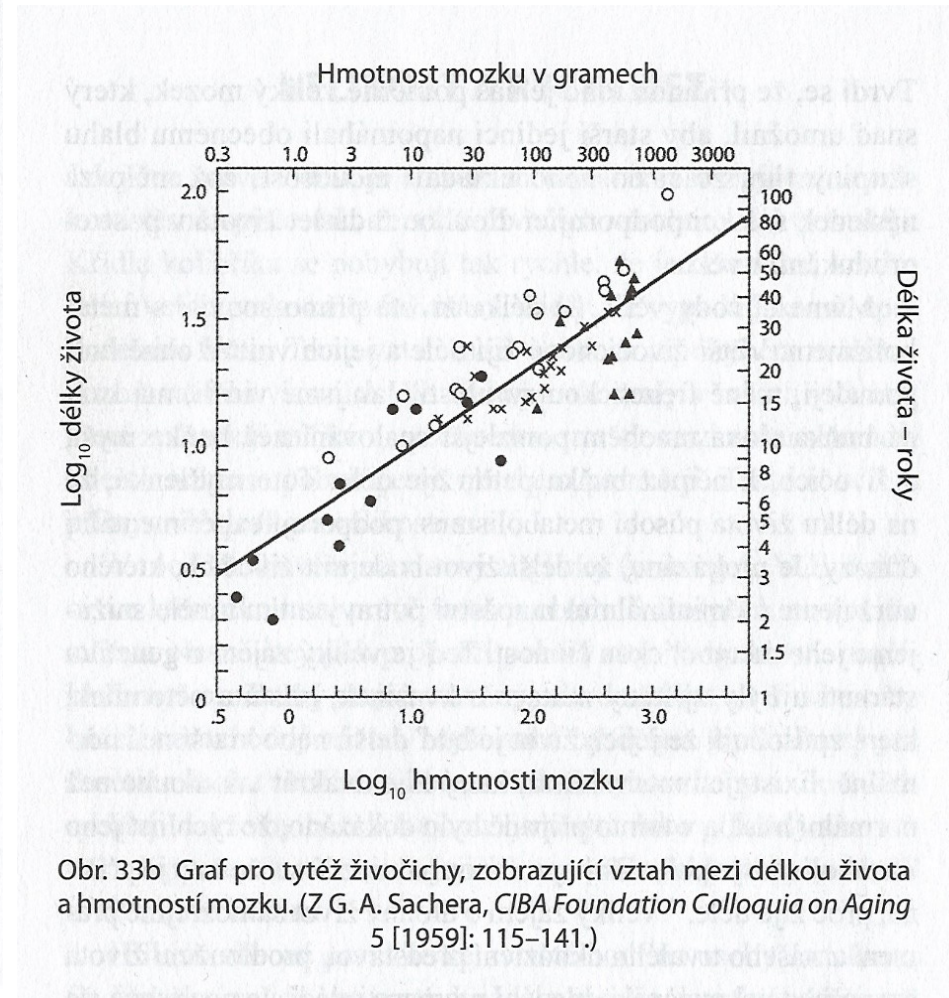


Obr. 19. Log-log graf počtu typů buněk vzhledem k celkovému počtu buněk u velké řady organismů, od velmi malých kolonií až po největší živočichy a rostliny. (Překresleno z G. Bella a A. Mooerse, *Biol. J. Linn. Soc.* 60 [1997]: 345–363.)

# Vztah mezi délkou života a hmotností a délkou života a velikostí mozku savců

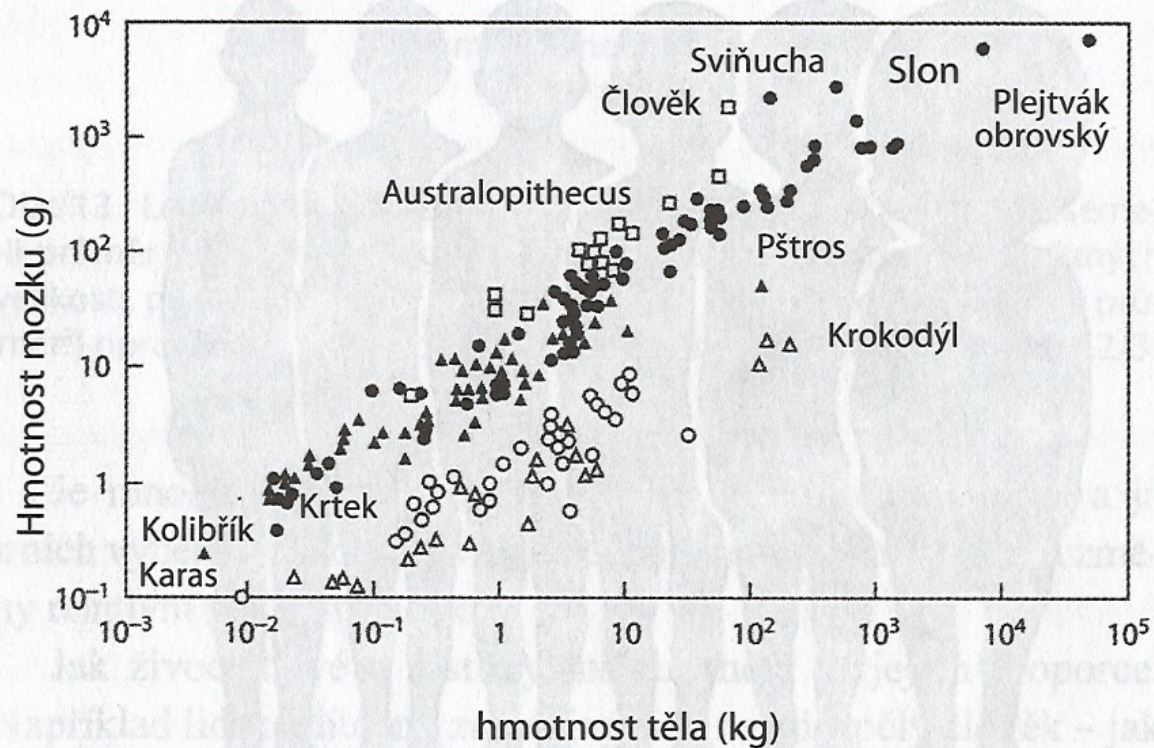


Obr. 33a Log-log graf vztahu mezi délkou života a hmotností savců. Prázdné kroužky jsou primáti a lemuři, plné kroužky jsou hlodavci a hmyzožravci, křížky jsou šelmy, plné trojúhelníčky jsou kopytníci a chobotnatci; prázdný kroužek zcela nahoře je člověk.



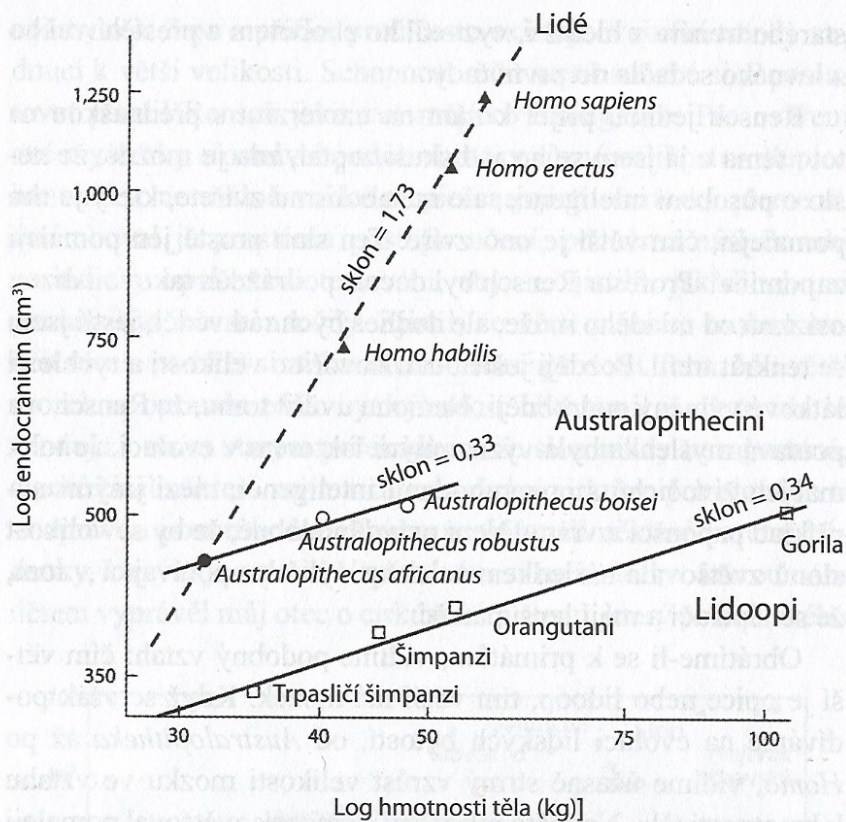
Obr. 33b Graf pro tytéž živočichy, zobrazující vztah mezi délkou života a hmotností mozku. (Z G. A. Sacher, *CIBA Foundation Colloquia on Aging* 5 [1959]: 115–141.)

# Velikost mozku 200 druhů obratlovců oproti velikosti těla



Obr. 15. Velikost mozku 200 druhů obratlovců, vynesena oproti velikosti těla v log-log grafu. Prázdné čtverečky jsou primáti; plné kroužky jsou ostatní savci; plné trojúhelníčky jsou ptáci; prázdné kroužky jsou kostnaté ryby; prázdné trojúhelníčky jsou plazi. (Podle H. J. Jerisona, *Evoluce mozku a inteligence*, 1973.)

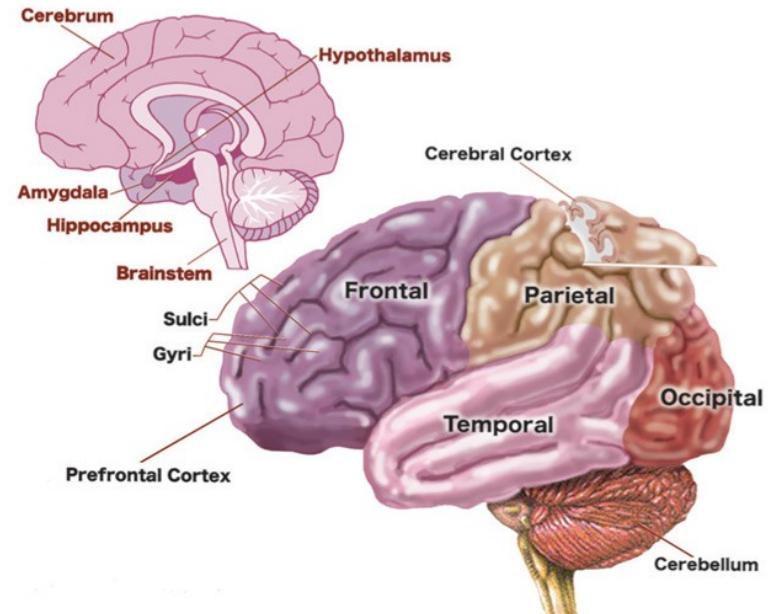
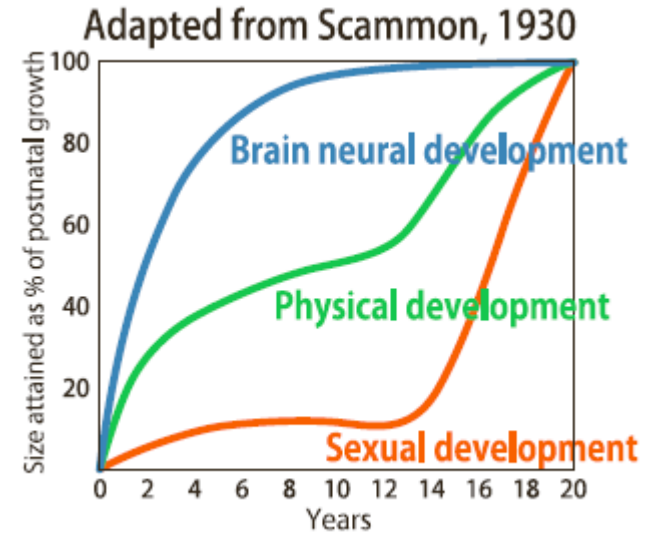
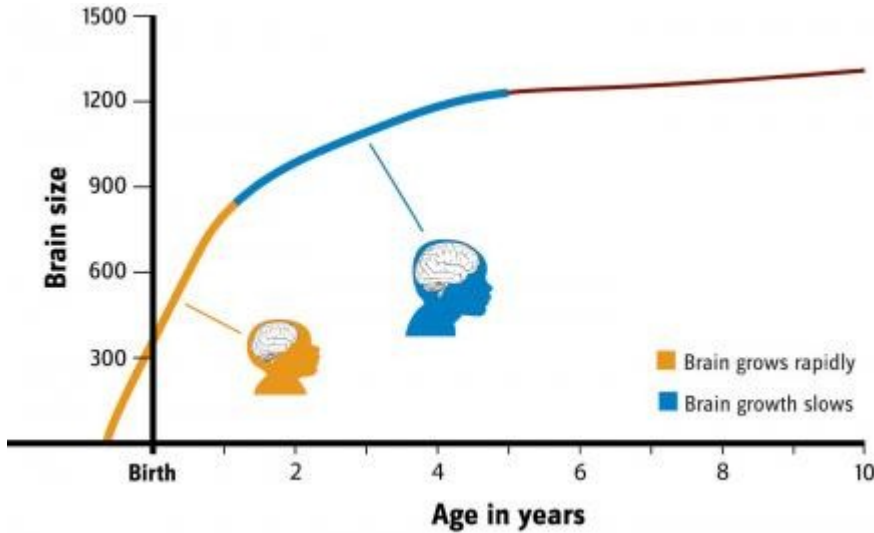
# Objem endokrania oproti hmotnosti těla lidoopů, australopitheků a linie Homo



Obr. 16. Objem endokrania vyneseny oproti hmotnosti těla lidoopů, australopitheků a linie Homo v logaritmické stupnici. Hmotnost fosilních forem je ovšem jen odhad. (Překresleno z D. Pilbeama a S. J. Goulda, *Science* 186 [1974]: 892–901.)

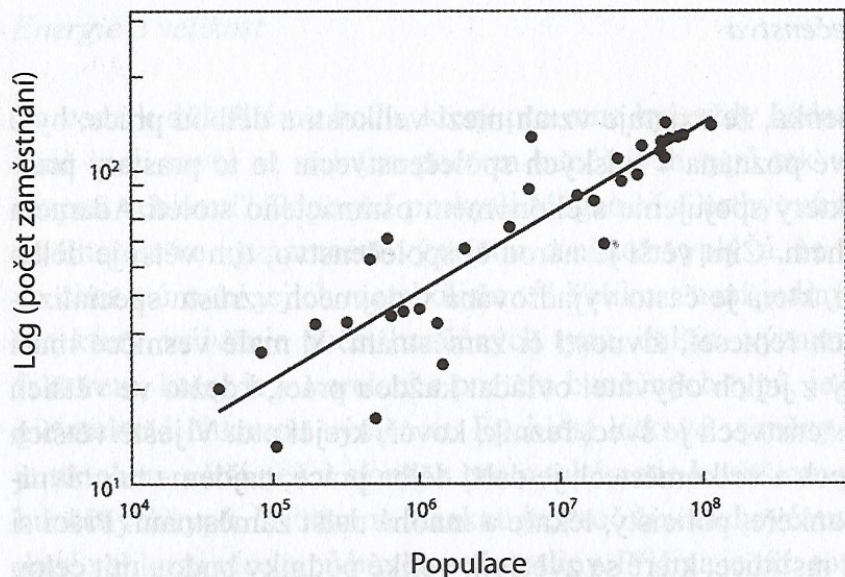


# Závislost růstu mozku na věku (velikosti)

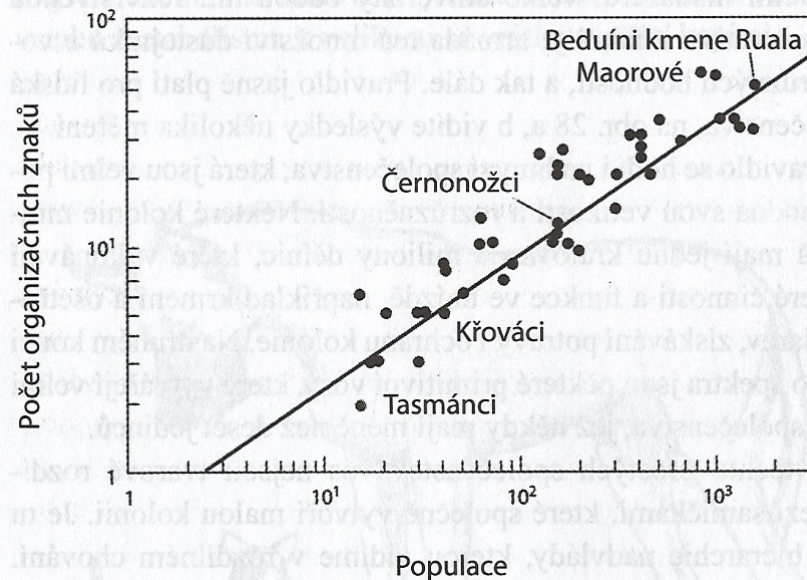


# Vztah velikosti-početnosti populace k dělbě práce ve společnosti

Počet zaměstnání v jednotlivých státech Indie



Počet organizačních znaků (specifických řemesel a zaměstnání)



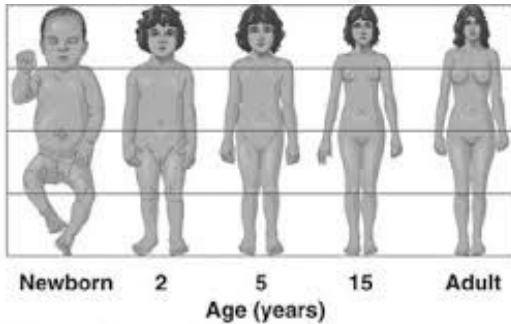
Obr. 28. Log-log grafy ukazující vztah velikosti k dělbě práce ve společnostech. (a) Počet zaměstnání v jednotlivých státech Indie (graf sestavil N. V. Joshi; v práci Bonner, *Current Science* 64 [1993]: 459–466). (b) Počet organizačních znaků (specifických řemesel a zaměstnání) ve vztahu k velikosti jednotlivého společenstva. (Pět takových společenstev je označeno názvy.) (Z Carniera, *Southwest Journal of Anthropology* 23 [1967]: 234–243.)



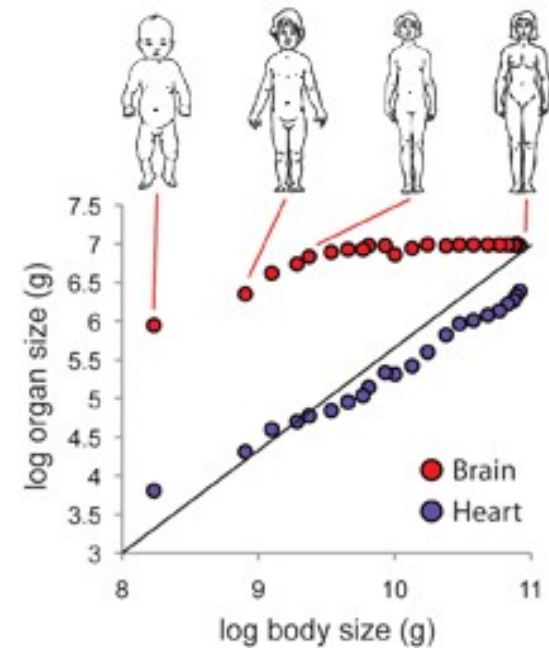
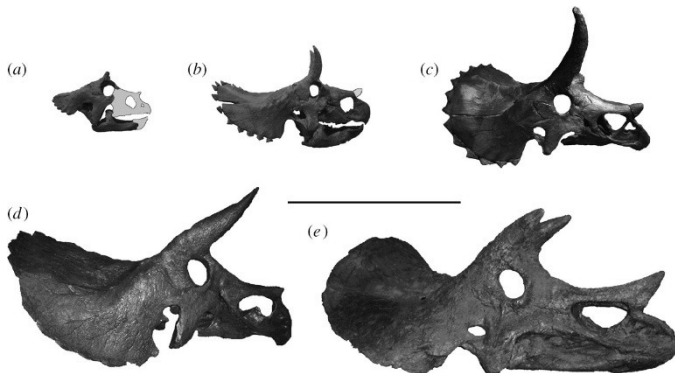
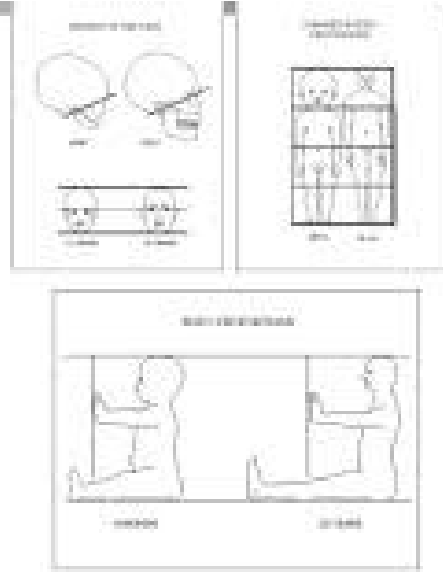
# Alometrie – jakákoliv změna tvaru s velikostí

- + změna proporcí těla
- = růstová alometrie
- + alometrie = jakákoliv změna tvaru s velikostí

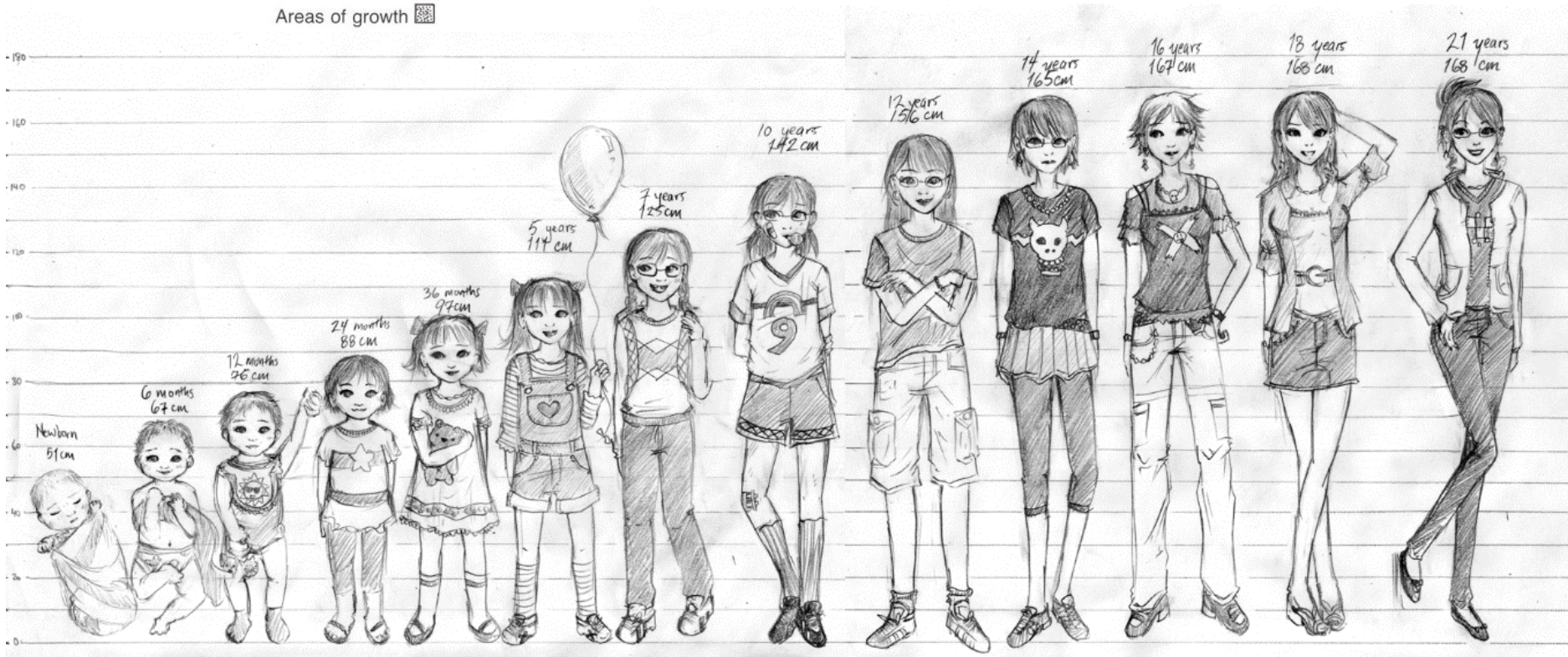
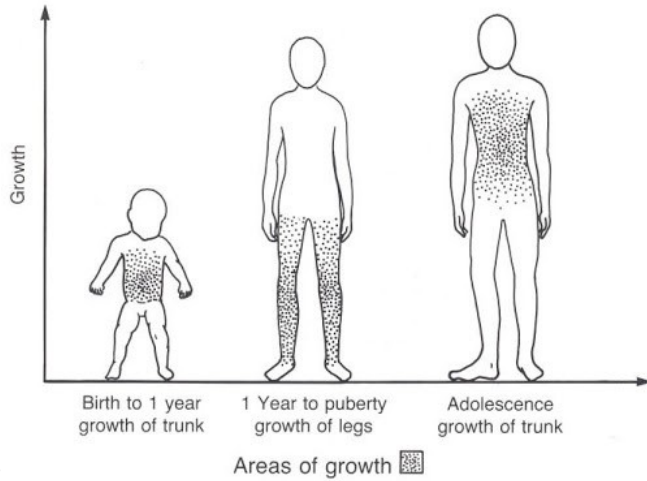
$$c = y/x \quad y = cx^n$$



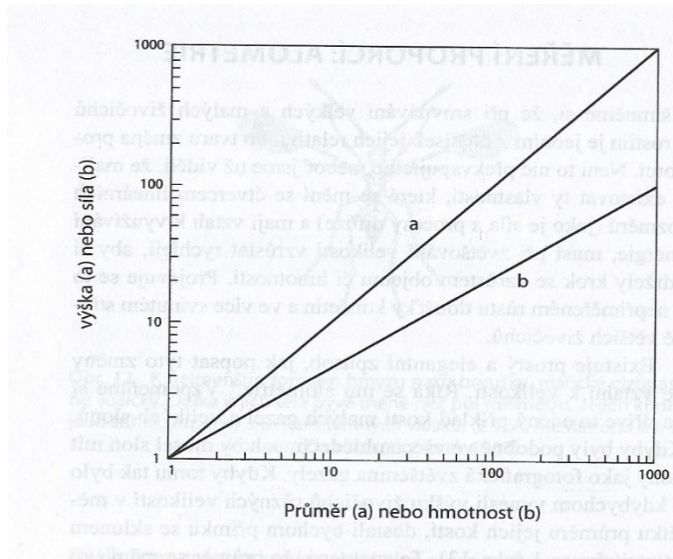
(a) Differential growth rates in a human



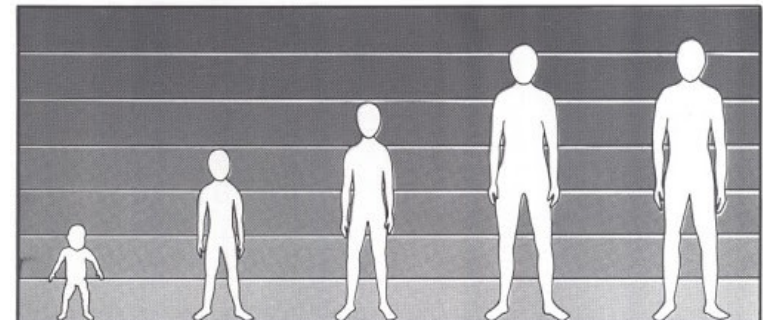
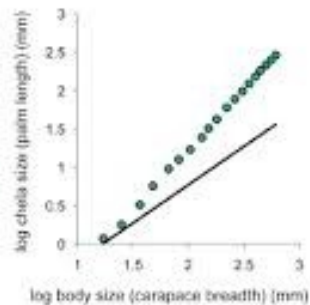
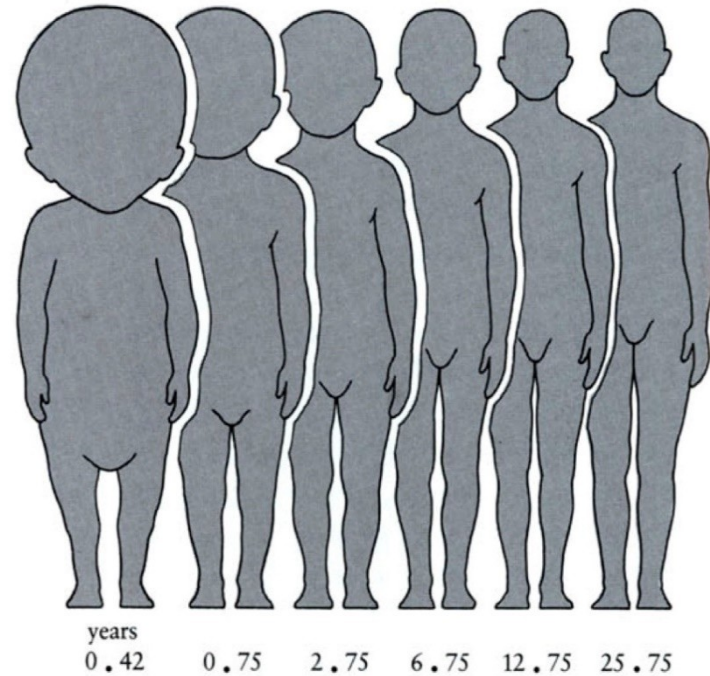
# Alometrie růstu lidského těla



# Alometrické vztahy

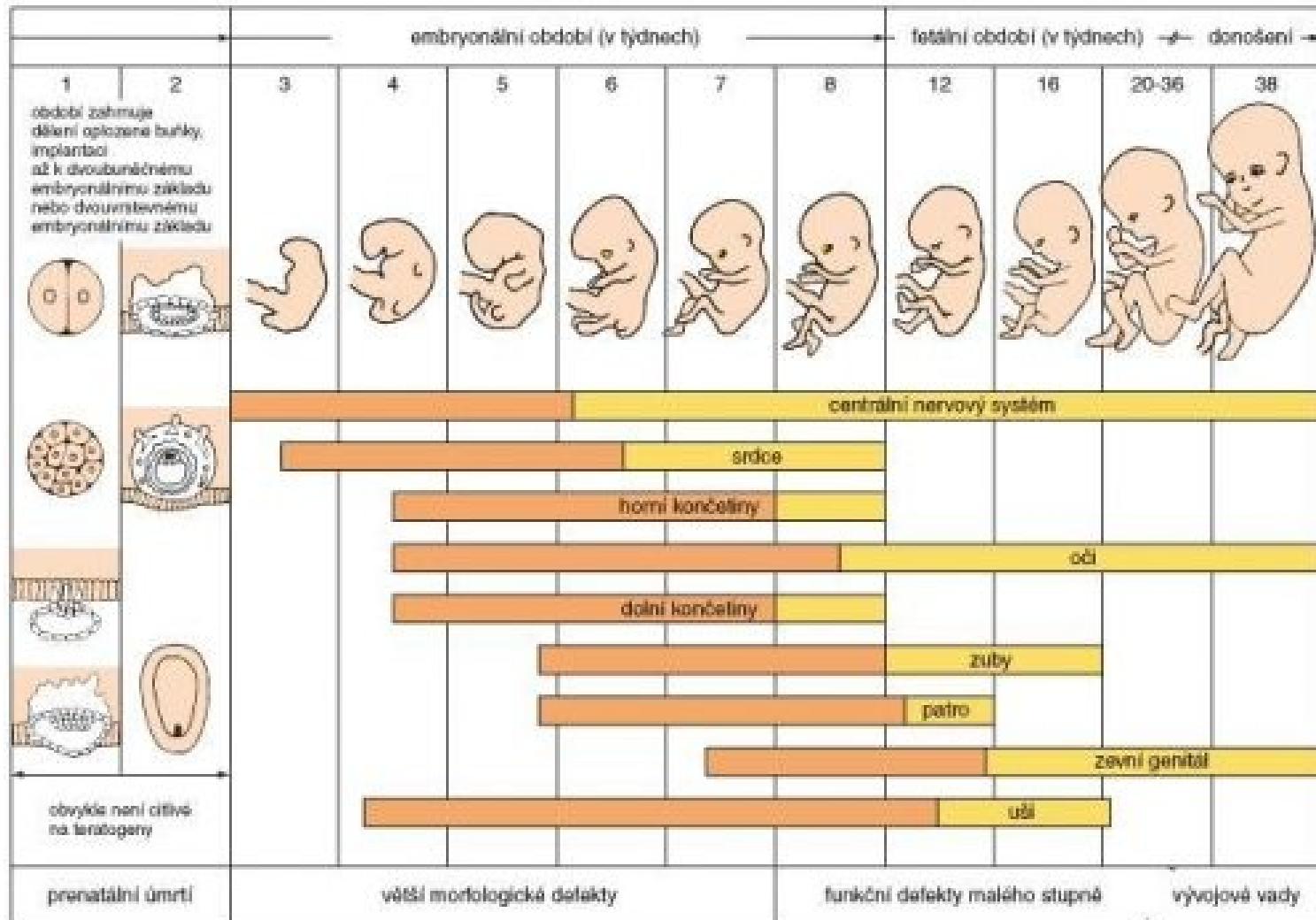


Obr. 13. Log-log graf ukazující alometrické vztahy. (Čára a) Vyneseme-li průměr oproti výšce u geometricky podobných organismů různé velikosti, pak se sklon čáry rovná 1. (Čára b) Vyneseme-li sílu (což je průměr<sup>2</sup>) oproti hmotnosti, což je lineární rozměr<sup>3</sup>, rovná se sklon čáry 2/3.

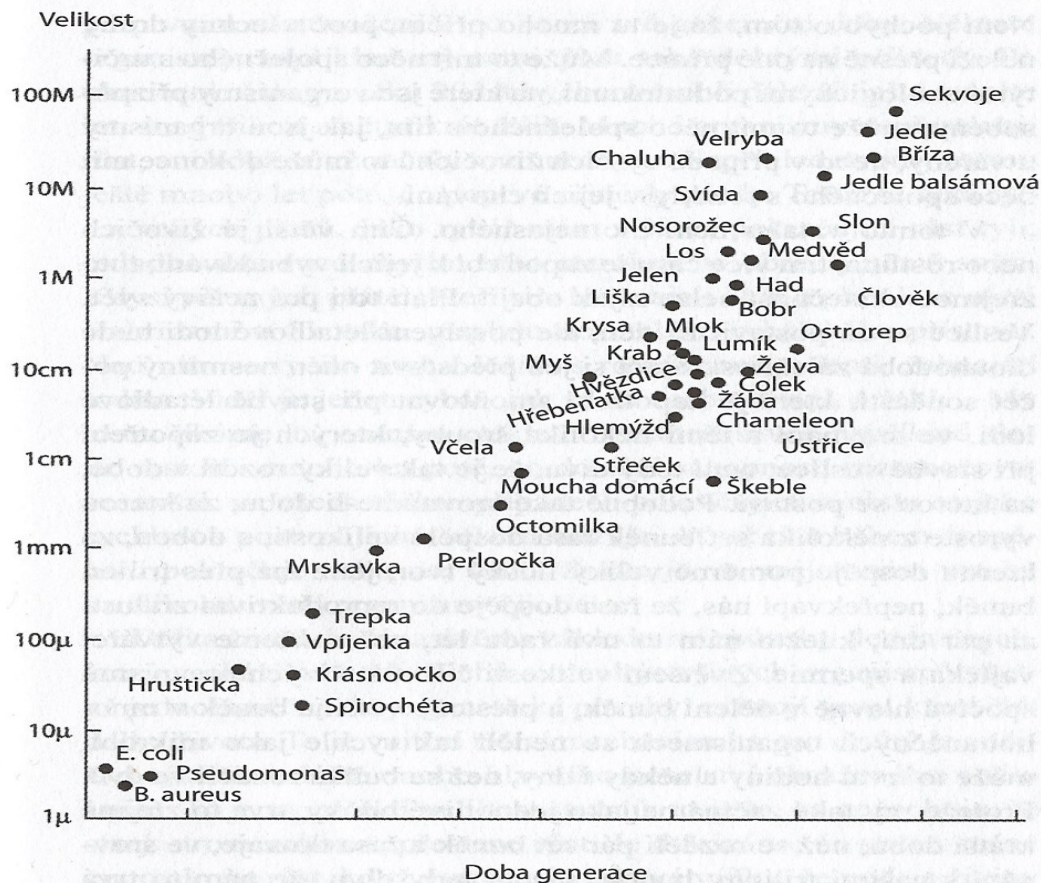


The increase in body size from birth to adult

# Ontogenetický vývoj jedince

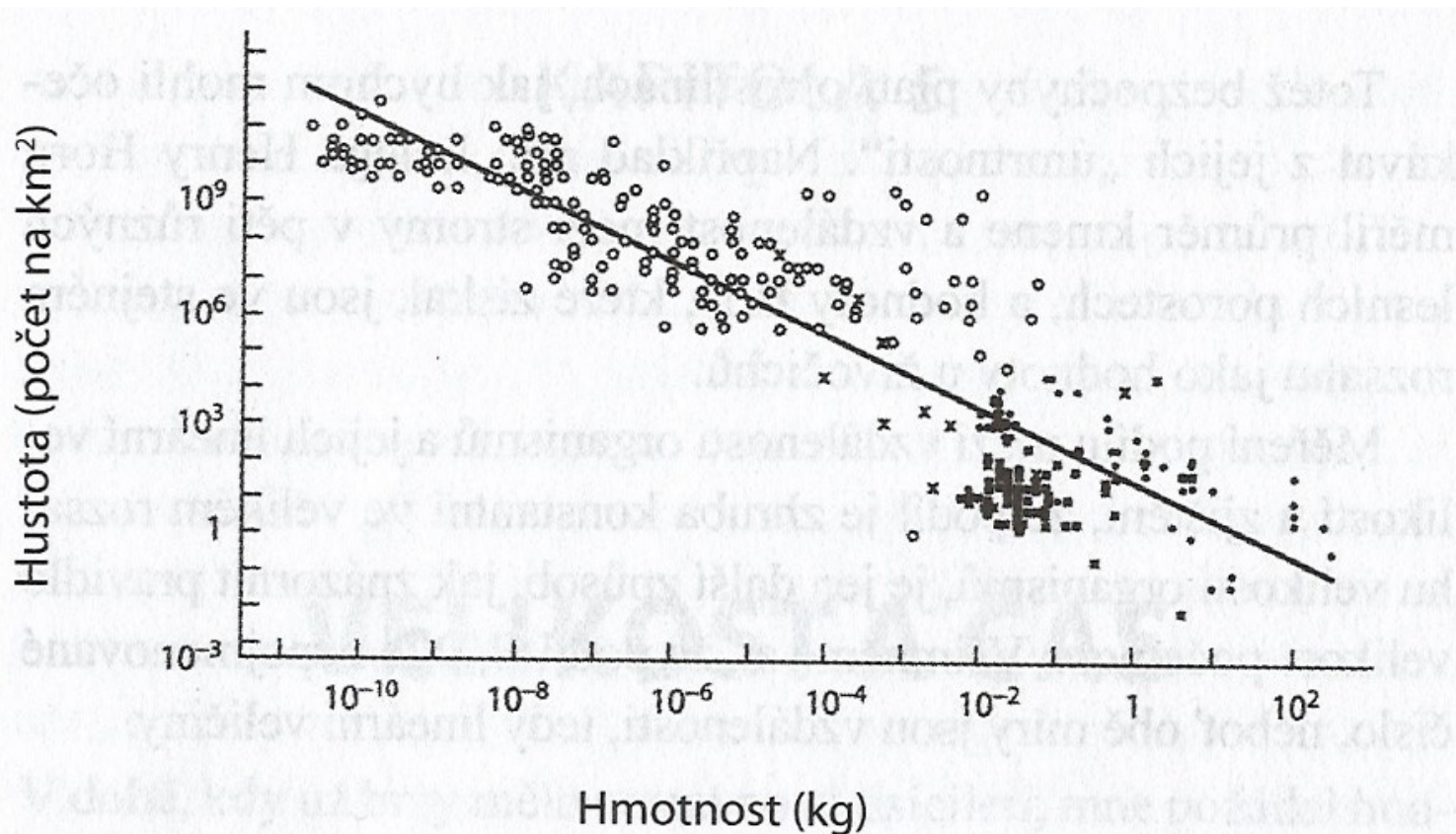


# Vztah mezi velikostí organismu v době rozmnožování a délkou generace



Obr. 32. Log-log graf vztahu mezi velikostí organismu v době rozmnožování a délkou generace. (Z Bonnera, *Velikost a cyklus*, 1965.)

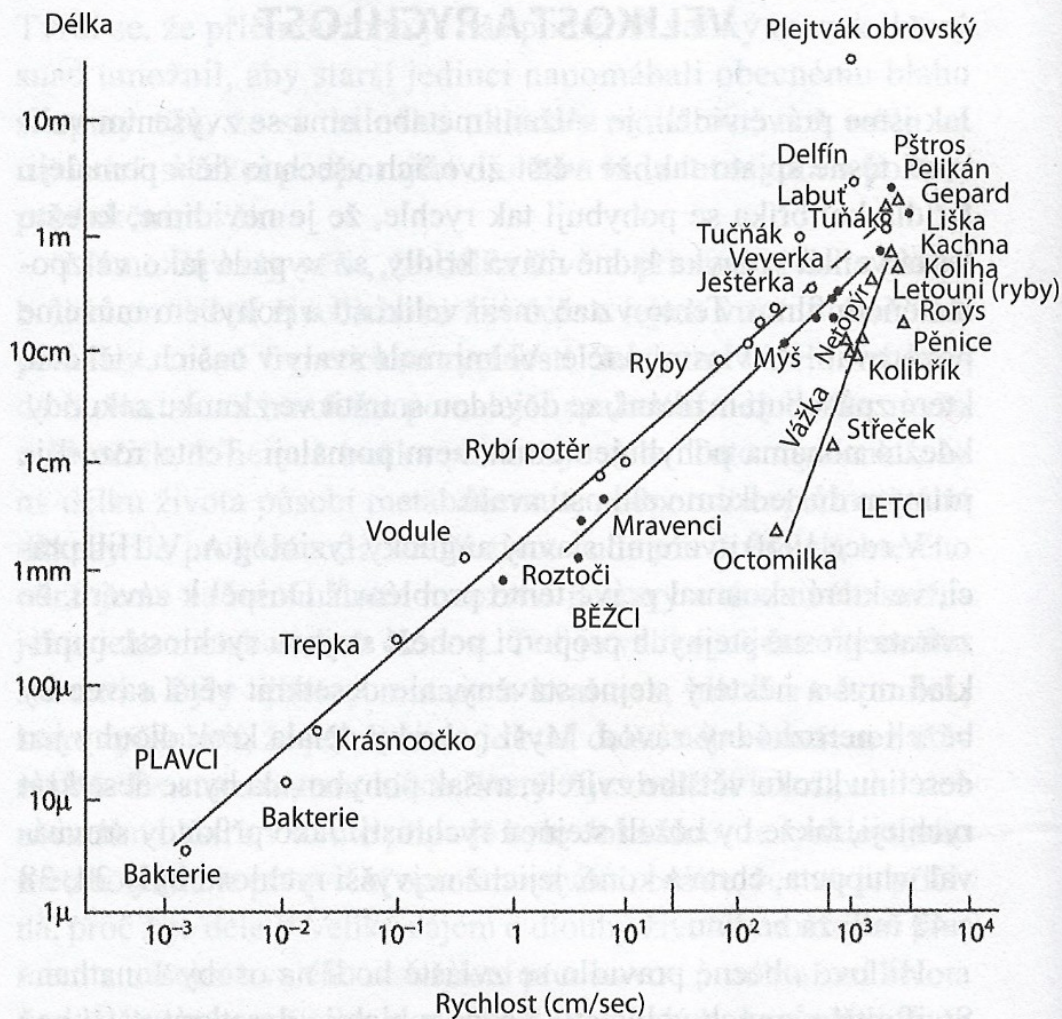
# Vztah velikosti živočichů a jejich početnosti



Obr. 30. Log-log graf ukazující velikost živočichů a jejich početnost v přírodě. Plné kroužky jsou savci; čtverečky jsou ptáci; prázdné kroužky jsou bezobratlí; křížky jsou plazi a obojživelníci.

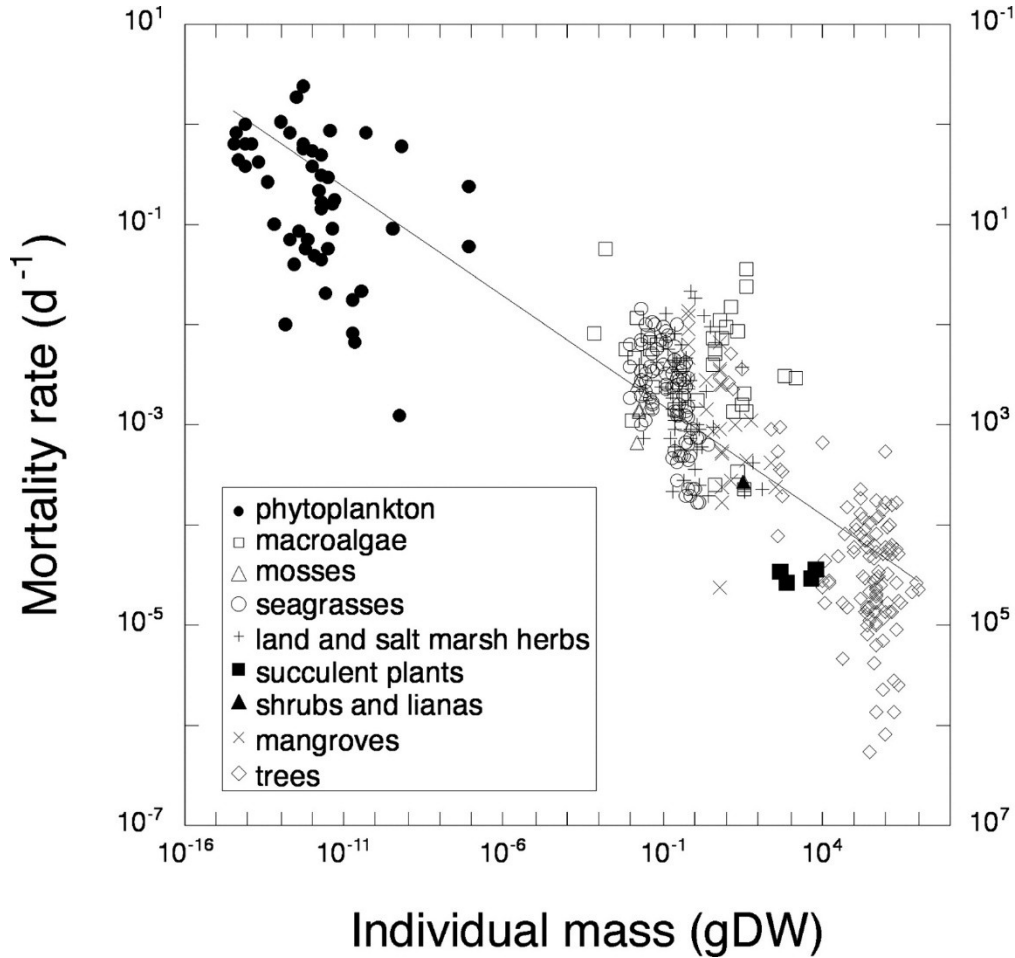
(Z knihy R. H. Peterse *Ekologické důsledky velikosti*, 1983.)

# Rychlost různých živočichů ve vztahu k velikosti těla



Obr. 34. Log-log graf rychlosti různých živočichů – plavců, běžců a letců – ve vztahu k délce těla. (Z Bonnerovy knihy *Život a cyklus*, 1965.)

# Závislost mortality různých skupin rostlin na jejich individuální biomase (velikosti)



Half-life (d)



# Rozsah velikosti psích plemen



# Alometrická rovnice

Mnoho charakteristik organismu má vzhledem k velikosti těla nelineární charakter. Funkce, která tento vztah vyjadřuje se označuje jako alometrická rovnice.

$$Y = aW^b$$

$Y$  = hodnota určitého znaku (charakteru)

$a, b$  = konstanty

$W$  = hmotnost těla

# Alometrická rovnice

Nejznámější příklad alometrické závislosti je vztah mezi plochou povrchu těla a jeho objemu.

Pokud se tvar (těla, orgánu aj.) s velikostí nemění roste plocha kvadraticky zatímco objem se zvyšuje kubickou funkcí.

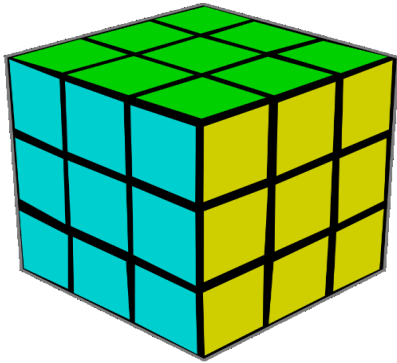
Bude-li hodnota  $x$  = lineární charakteristika délky (například kosti),  $S$  = bude plocha jejího povrchu a  $V$  = objem kosti. ( $a, b, c, d$  jsou konstanty).

$$S = ax^2 \quad a \quad V = bx^3$$

odtud tedy:

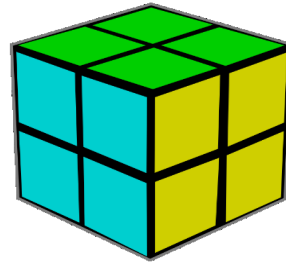
$$x = cV^{1/3} \quad a \quad S = dV^{2/3}$$

# Vztah povrchu k objemu



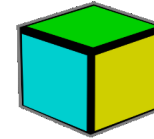
**sides = 3**  
**surface =  $3^2 \times 6 = 54$**   
**volume =  $3^3 = 27$**

**surface/volume = 2**



**sides = 2**  
**surface =  $2^2 \times 6 = 24$**   
**volume =  $2^3 = 8$**

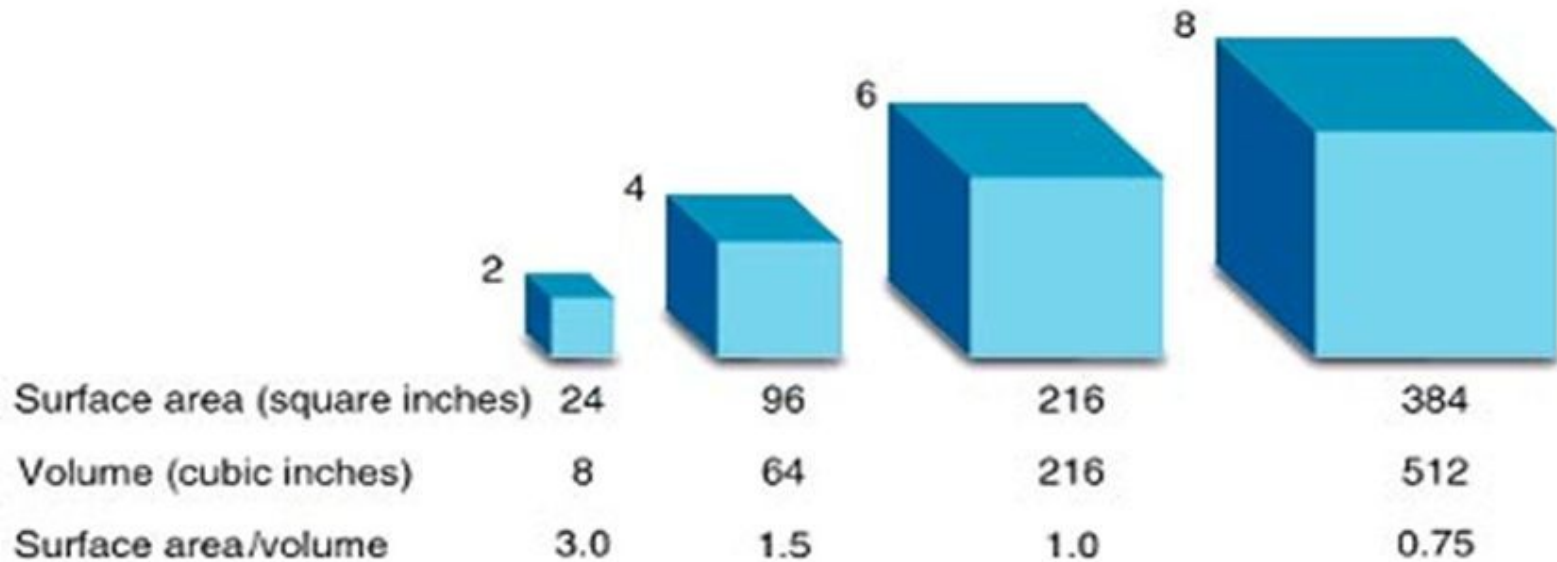
**surface/volume = 3**



**sides = 1**  
**surface =  $1^2 \times 6 = 6$**   
**volume =  $1^3 = 1$**

**surface/volume = 6**

# Surface Area to Volume Ratio



- The surface must allow sufficient exchange to support the contents of the cell.
- As these cubes illustrate the surface area to volume ratio of a small object is larger than that of a large object of similar shape. This ratio limits how large cells can be.

# Alometrické vztahy

Uvedené vztahy znamenají, že plocha povrchu se zvětšuje s funkcí s exponentem  $2/3$  velikosti objemu. Protože  $2/3 < 1$  bude se povrch zvyšovat pomaleji než objem.

Tento poměr mezi povrchem a objemem bude tím menší, čím větší bude objem.

Objem je proporcionální hmotnosti a biomase, tedy množství tkáně, která musí být zásobena živinami a kyslíkem.

Absorpční schopnost plic nebo střeva je proporčně závislá na velikosti povrchu těla.

Lze proto předpokládat, že délka střeva nebo plocha plic roste rychleji než hmotnost živočicha, což je nezbytné pro zachování chodu základních fyziologických funkcí.

# Alometrické vztahy

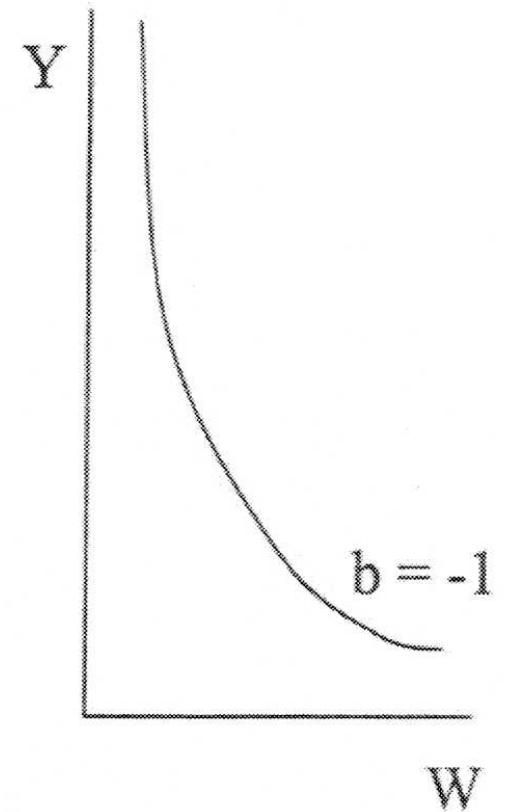
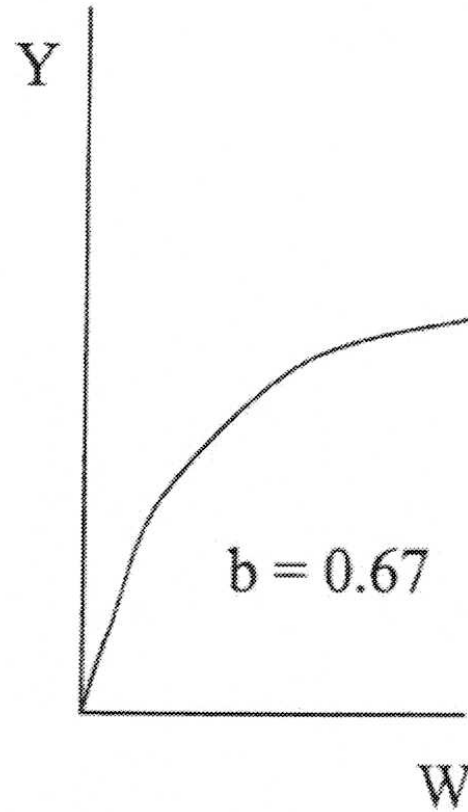
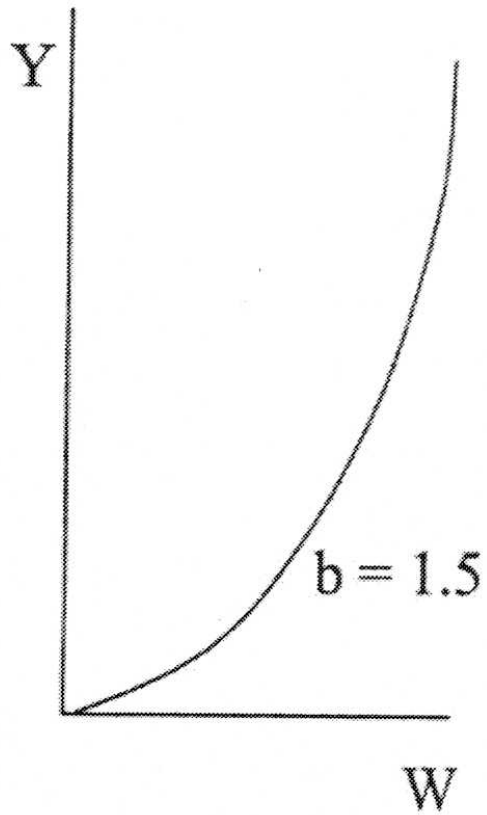
Rovnice, která tyto funkce vyjadřuje je:

$$Y = aW^b$$

Bude tedy platit:

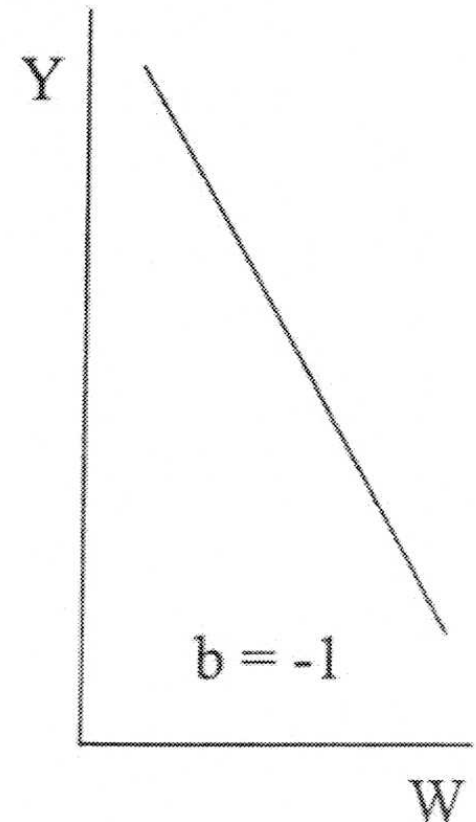
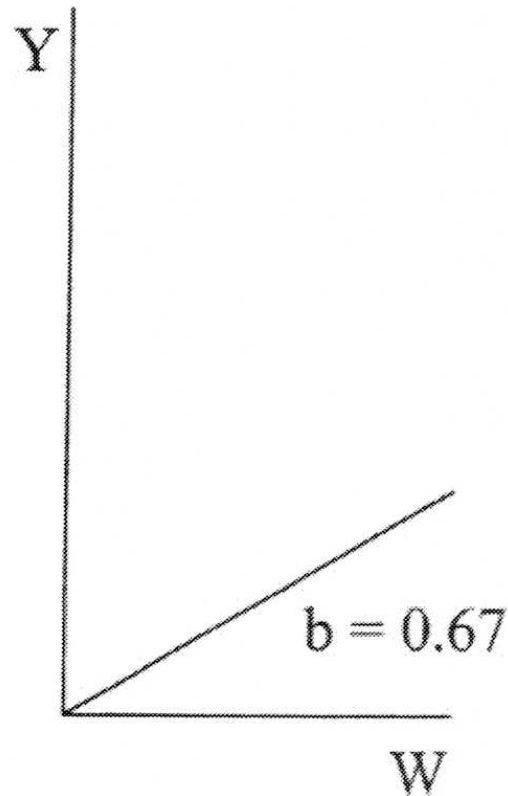
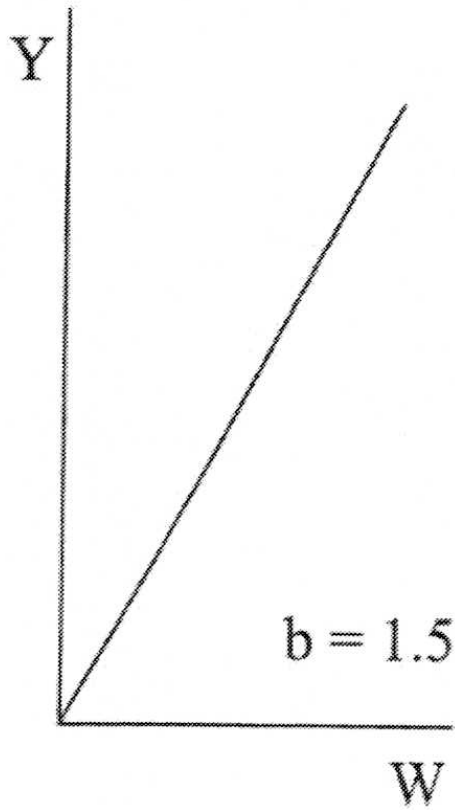
1.  $b > 1$ , poměr  $Y$  k  $W$  roste s růstem  $W$
2.  $b = 1$ , poměr se s růstem nemění
3.  $b < 1$ , poměr se s růstem zmenšuje
4. Exponent funkce vyjadřuje strmost přímky u log-log grafu

# Ekologie jedince – lineární plot





# Ekologie jedince – log-log plot



# Alometrické vztahy

Organismus potřebuje energii na udržování a obnovu tkání svého těla nebo na vlastní růst nebo na produkci potomstva.

- Organismus potřebující mnoho energie= vysoký metabolismus
- Organismus potřebující málo energie= nízký metabolismus

**Jak srovnat co je akorát ?**

# Bazální metabolismus

**Bazální metabolismus** = minimální množství energie potřebné k uchování života v podmínkách naprostého "fyziologického" klidu.

- Tři podmínky:
- 1) Organismus se musí nacházet v termoneutrálních podmínkách
  - 2) Organismus musí být naprostém klidu
  - 3) Organismus musí být post-absorptivní fázi

# Bazální metabolismus

Pro ekologa má znalost bazálního metabolismu relativně okrajový význam.

Roste však zájem ekologa o studium míry denního energetického výdaje organismu (daily energy expenditure) - tedy energie potřebné ke krytí všech životních potřeb jedince (lokomoce, termoregulace, růst, reprodukce aj).

Tato energie je obvykle určitým násobkem energie nutné k udržení bazálního metabolismu.

U člověka a některých jiných obratlovců je denní potřeba energie asi 7-násobně větší než míra bazálního metabolismu.

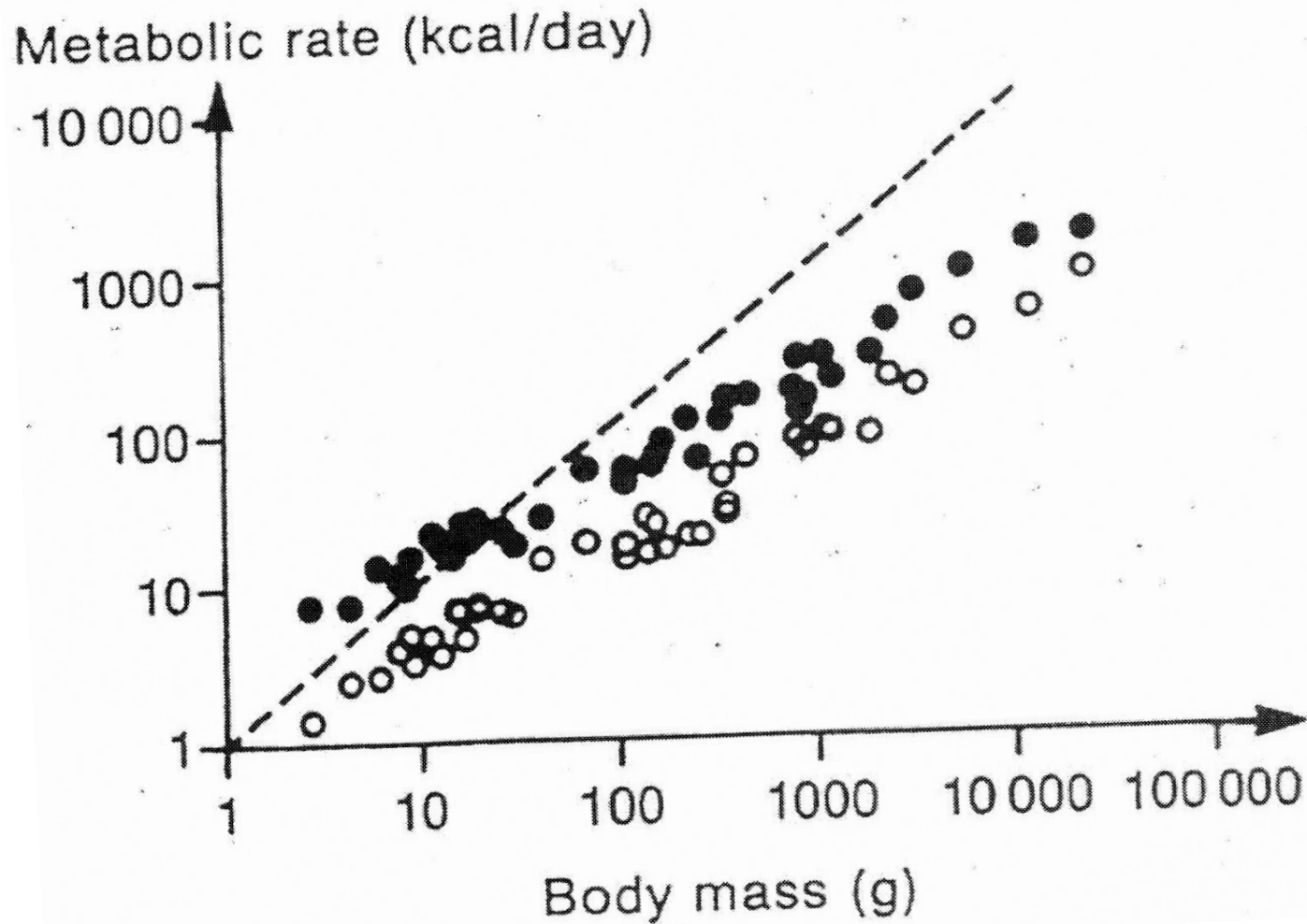
# Které faktory mají vliv na míru metabolismu ?

- Velikost organismu
- Životní styl (životní strategie)

**Velikost těla je pravděpodobně jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících míru metabolismu jedince, tedy jeho energetické nároky !**

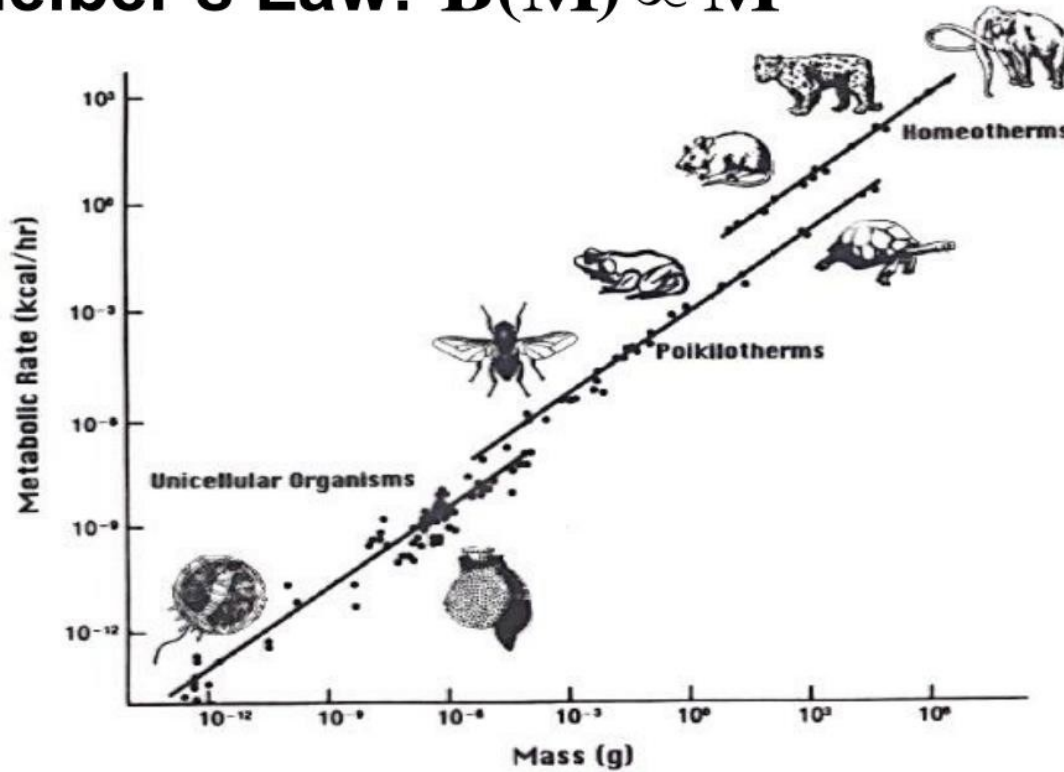
V důsledku toho např. větší ptáci spotřebují denně více energie. Závislost metabolismu na velikosti (hmotnosti) však není proporcionální !

# Denní energetický výdaj organismu a bazální metabolismus

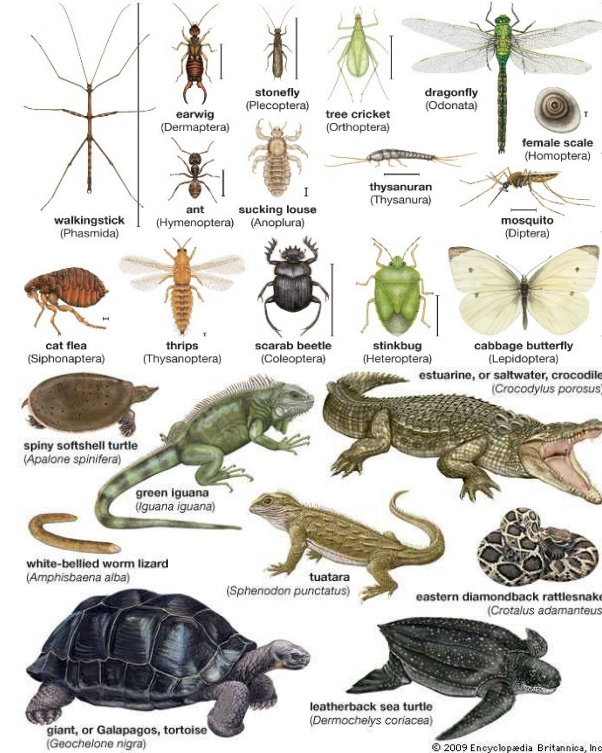


# Alometrická závislost míry metabolismu

**Kleiber's Law:  $B(M) \propto M^{3/4}$**



Allometric scaling of metabolic rate for a selection of homeotherms (birds and mammals), poikilotherms (fish, reptiles, amphibians, and invertebrates), and unicellular organisms. The solid lines all have a slope of .75. Modified from Hemmingen, 1960.



© 2009 Encyclopædia Britannica, Inc.



# Poikilothermní versus Homoiothermní

Mezi stejně velkými živočichy jsou velké rozdíly v jejich míře metabolismu.

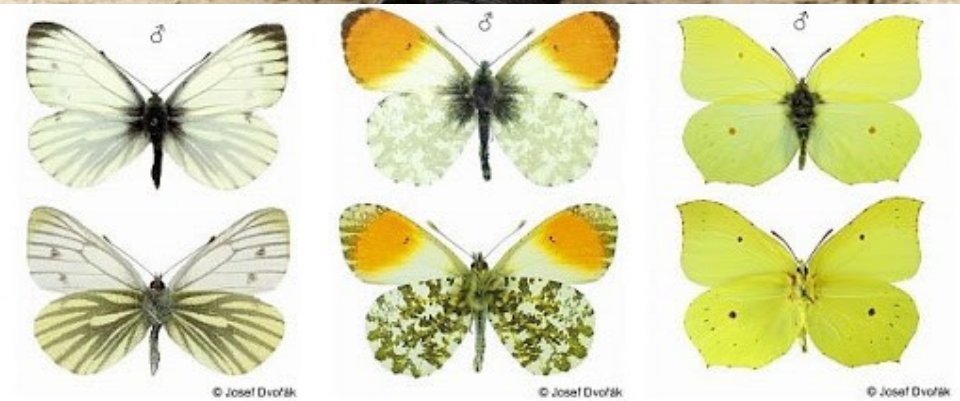
Z obrázku plyne, že homoiothermní živočichové potřebují asi 25 až 30 krát více energie než živočichové poikilothermní stejné velikosti!

**Je mnohem lacinější žít 5kg kraje, než 5kg psa!**

Dále je zajímavé, že poikilothermní živočichové mají míru metabolismu 8 až 10 krát větší než jednobuněční !

**Složitější organizace těla (mnohobuněční) je tedy energeticky mnohem nákladnější !**





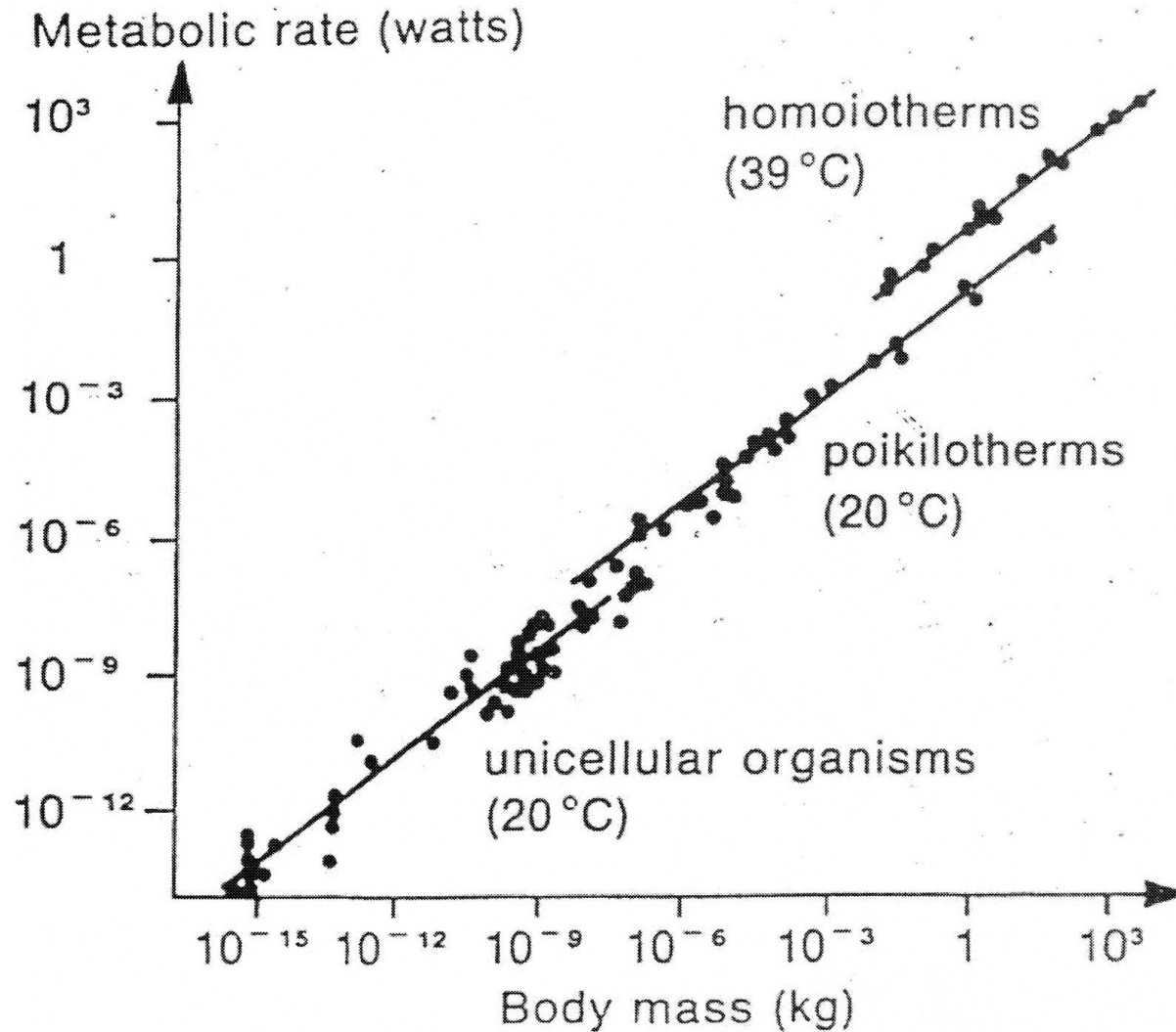
© Josef Dvořák

© Josef Dvořák

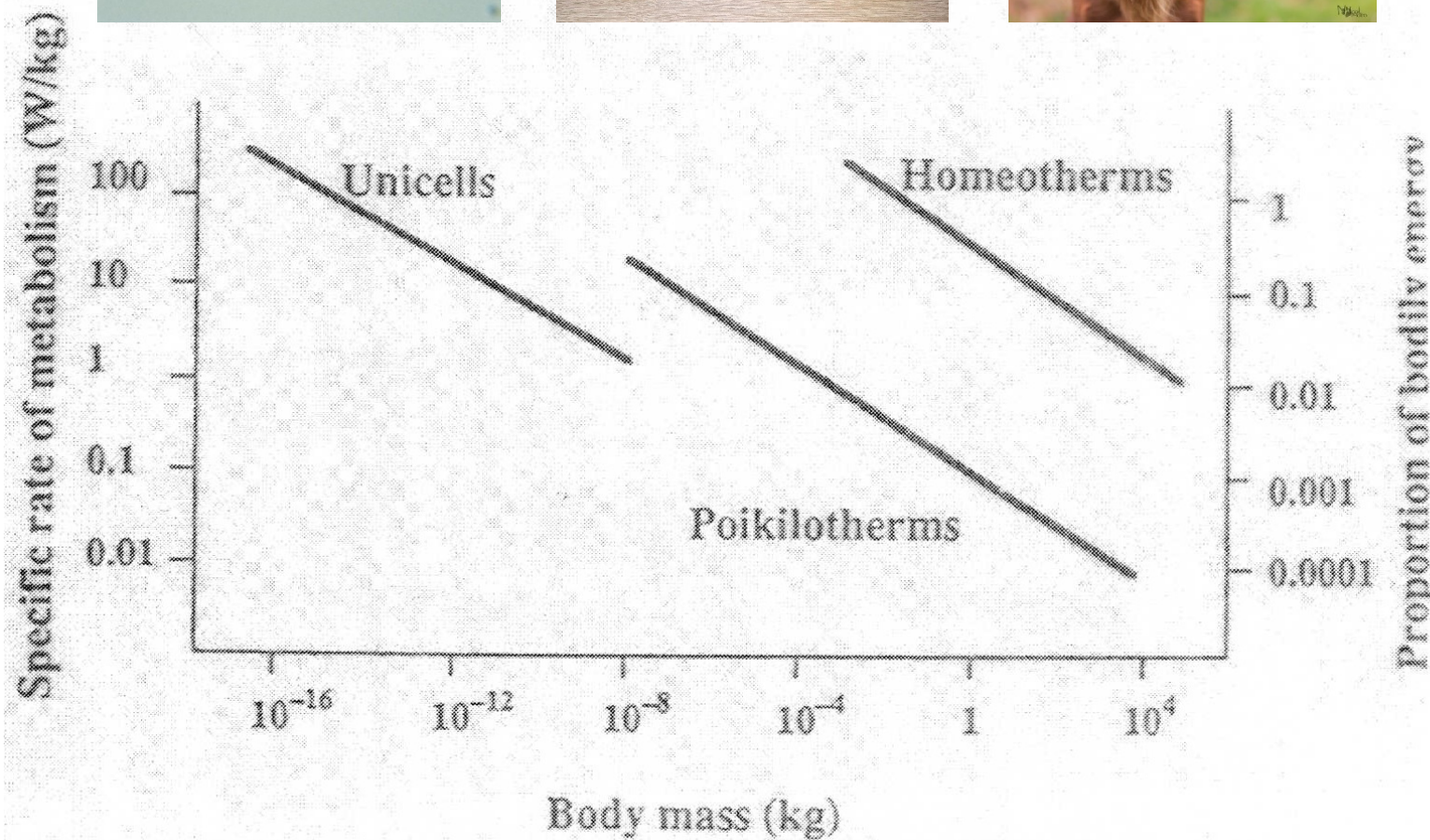
© Josef Dvořák



# Vztah životní strategie (míra metabolismu) a hmotnosti těla



# Specifická míra metabolismu *versus* hmotnost těla



# Vliv životní strategie

Příčiny těchto závislostí opět nejsou dosud plně analyzovány. Pouze v případě ptáků a savců byly prováděny srovnávací analýzy.

Příčiny:           1) životní styl (strategie)  
                      2) fylogenie

Např.) Savci lovící obratlovce mají ve vztahu k jiným obratlovcům, velmi vysoké hodnoty bazálního metabolismu.

Příčiny fylogenetického původu lze doložit u delfínů a ploutvonožců, u nichž převládá spíše podobnost ve způsobu života, než potravní zvyklosti.

# Míra metabolismu

Tyto skutečnosti znamenají, že např. pták s 10x větší hmotností nespotřebuje 10xvíce potravy.

Vztah mezi mírou metabolismu a hmotností vyjadřuje allometrická rovnice:

$$\text{míra metabolismu} = a (\text{hmotnost})^b$$

$b$  = exponent vyjadřující vztah mezi  $M_m$  a  $H$

$$\log (\text{míra metabolismu}) = \log a + b [\log (\text{hmotnost})]$$

Vztah log -log je vyjádřen na obrázku; je z něj zřejmé, že  $a$  = míra metabolismu v případě, když hmotnost = 1. Koeficient  $b$  vyjadřuje strmost přímky.

Hodnota koeficientu  $b$  se u různých skupin živočichu pohybuje od **0.5** do **0.9** a to bez ohledu na jednotky ve kterých je měřena hmotnost nebo míra metabolismu.

# Alometrické vztahy

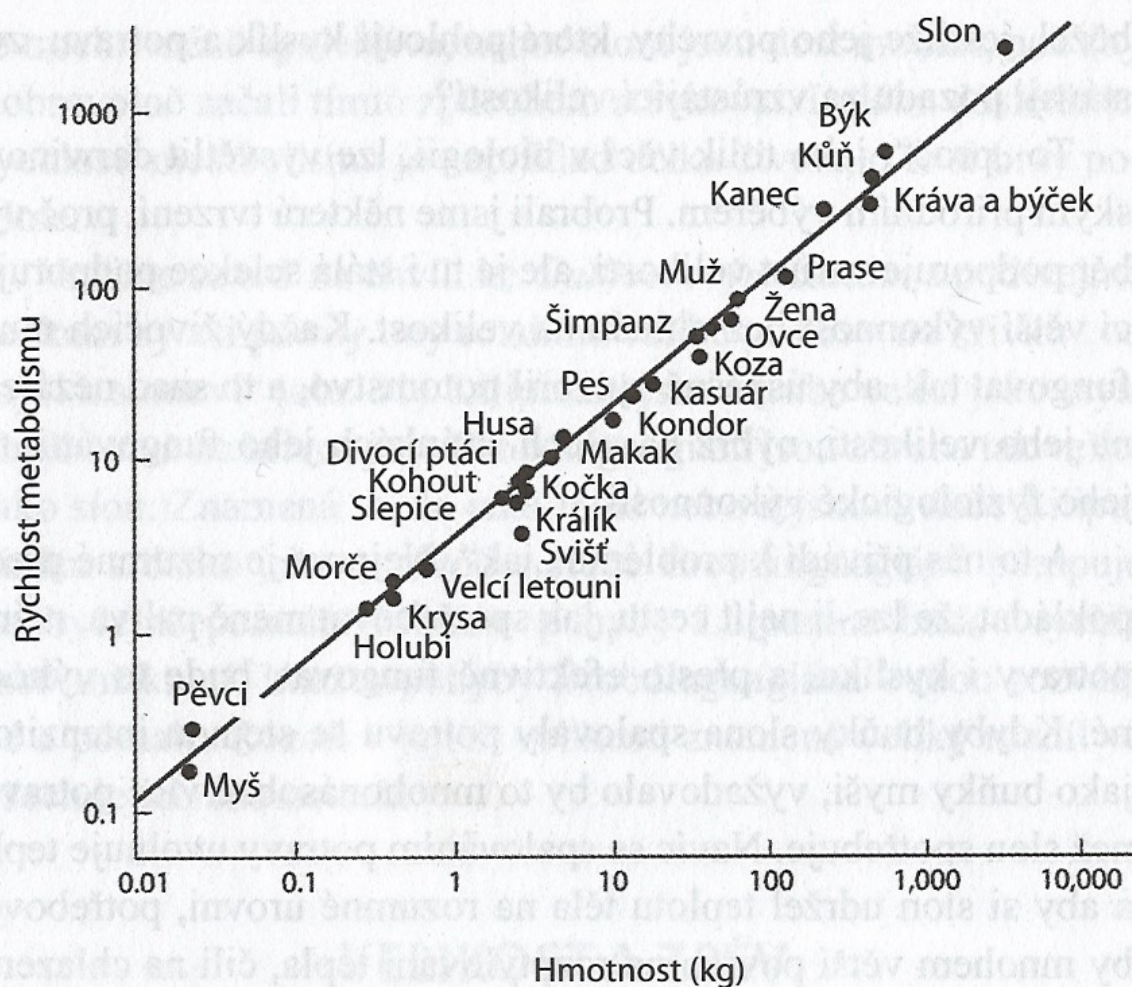
Rovnice, která tyto funkce vyjadřuje je:

$$Y = aW^b$$

Bude tedy platit:

1.  $b > 1$ , poměr  $Y$  k  $W$  roste s růstem  $W$
2.  $b = 1$ , poměr se s růstem nemění
3.  $b < 1$ , poměr se s růstem zmenšuje
4. Exponent funkce vyjadřuje strmost přímky u log-log grafu

# Vztah rychlosti metabolismu ku hmotnosti těla



Obr. 31. Křivka „od myši k slonovi“, ukazující vztah rychlosti metabolismu k hmotnosti těla. (Z knihy Schmidt-Nielsena *Měřítka: proč je velikost živočichů tak významná?* 1984, podle Benedicta, 1938.)

# Fraktální struktura soustav

Lze zobecnit, že hodnota koeficientu  $b$  se blíží 0.75. Příčiny této obecné závislosti nejsou dosud plně objasněny.

Zdá se, že u mnohobuněčných organismů mohou tyto příčiny mimo jiné spočívat ve **fraktální struktuře soustav** důležitých pro transport základních životně nezbytných médií a materiálu (cévy, dýchací soustava).

Při  $b < 1$  potřebují velikostně větší druhy méně energie, než jedinci menších druhů. Důsledkem této zákonitosti, je že živočichové jako např., rejsek mající v relaci ke své hmotnosti vysokou míru metabolismu spotřebují několikanásobně větší množství potravy, než sami váží. Naproti tomu slon spotřebuje potravu o váze rovnající se jeho hmotnosti za tři měsíce.





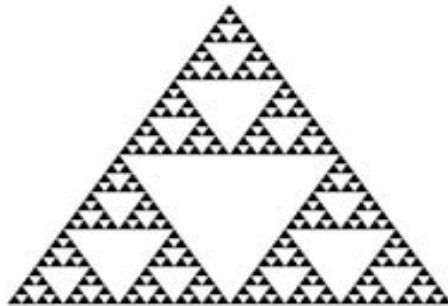
# Fraktální geometrie v přírodě



In nature:



In geometry:

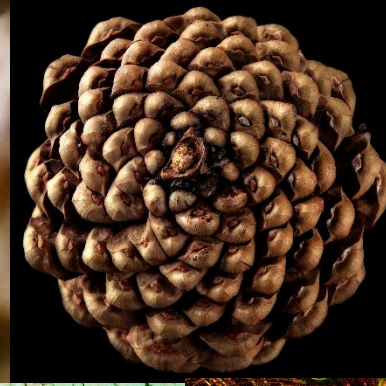


In algebra:

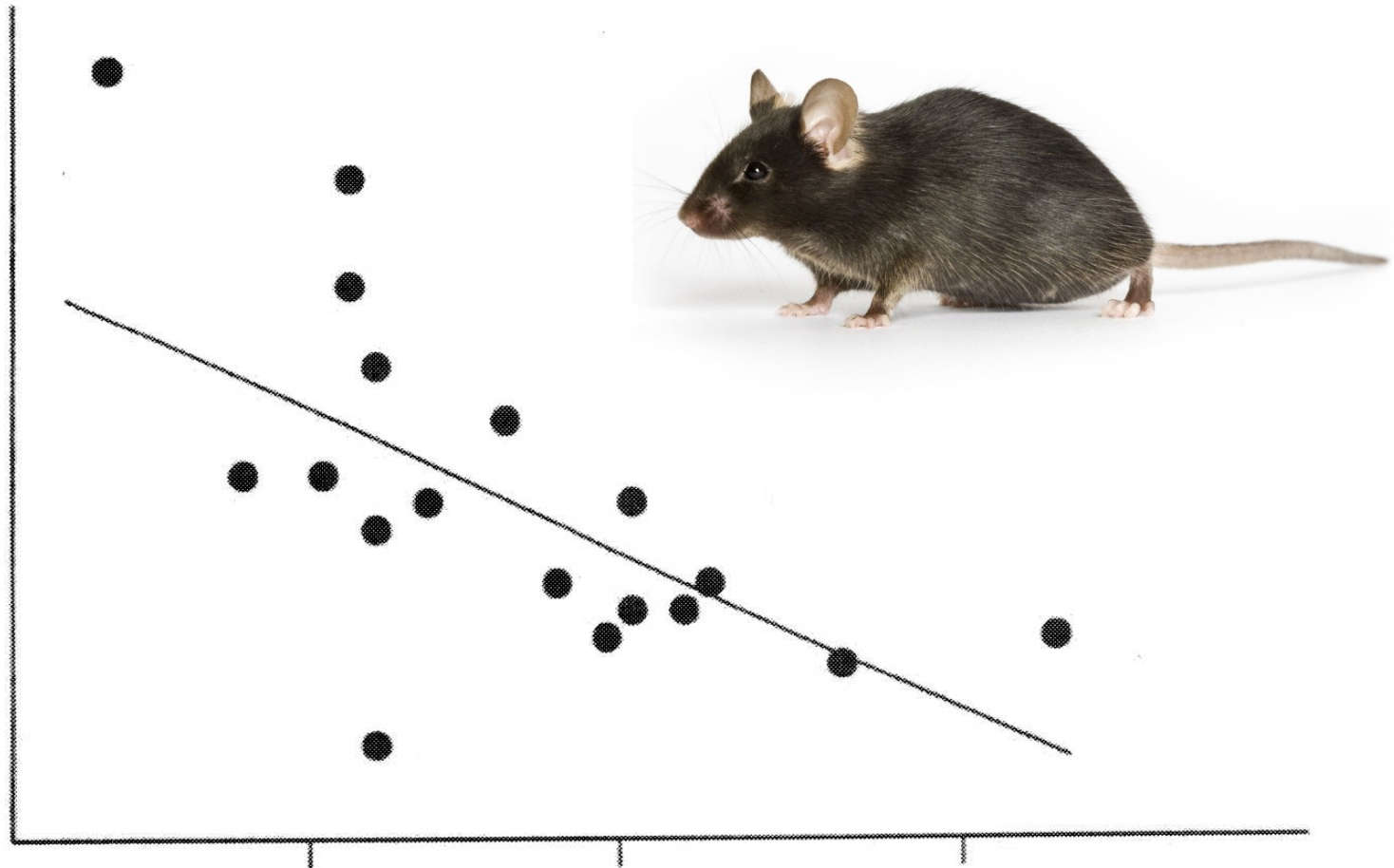


# FRACTALS IN NATURE

- River networks
- Fault lines
- Mountain ranges
- Craters
- Lightning bolts
- Coastlines
- Mountain Goat horns
- Trees
- Algae
- Geometrical optics
- Animal coloration patterns
- Romanesco broccoli
- Pineapple
- Heart rates
- Heart sounds
- Earthquakes
- Snowflakes
- Psychological subjective perception
- Crystals
- Blood vessels and pulmonary vessels
- Ocean waves
- DNA
- Soil pores
- Rings of Saturn
- Proteins



# Vztah mezi mírou bazálního metabolismu a váhou těla drobných savců



# Velikost těla determinuje mnohem více než jen míru metabolismu

## **Inkubační doba (hmotnost) $^{0.17}$**

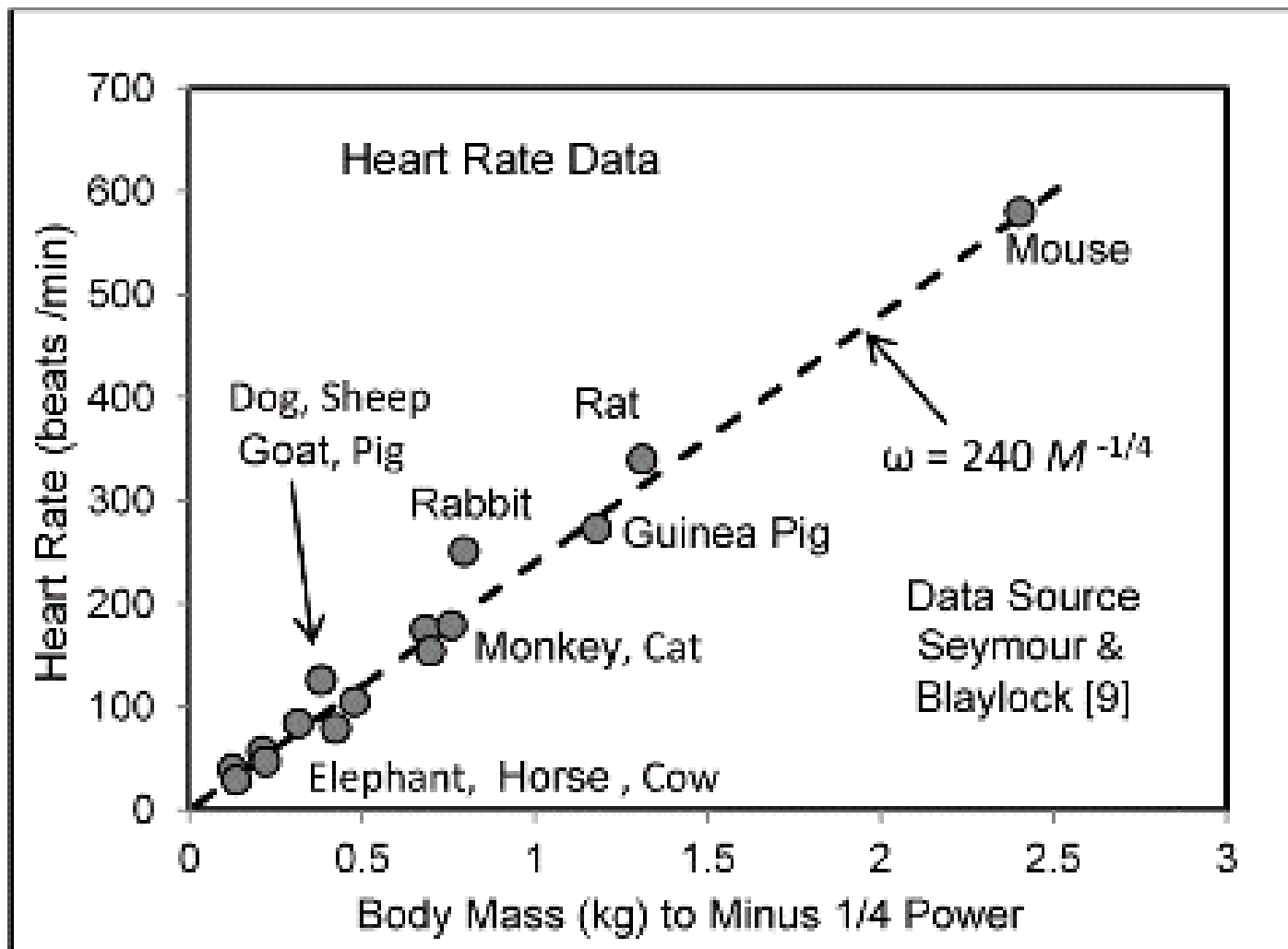
Tento vztah opět platí bez ohledu na jednotky hmotnosti a času, ve kterých je měření prováděno

V případě vztahu tepové frekvence savců a jejich hmotnosti je koeficient **b = -0.25 (záporný)**

## **Tepová frekvence (hmotnost) $^{-0.25}$**

Platí tedy, že čím je savec větší, tím nižší je jeho tepová frekvence. Například rejsek má srdeční frekvenci dosahující hodnoty 1200pulsu za minutu !

# Alometrická závislost srdečního tepu na biomase (velikosti) těla



# Velikost těla organismu podstatně ovlivňuje jeho ekologii !

Z velikosti živočicha můžeme usuzovat na typ jeho interakcí s jinými druhy ve společném prostředí.

Množství energie, které živočich potřebuje je do značné míry determinováno jeho velikostí.

**Jaký je však další osud této energie?**

**Kolik je věnováno na vývoj a růst a kolik na reprodukci ?**

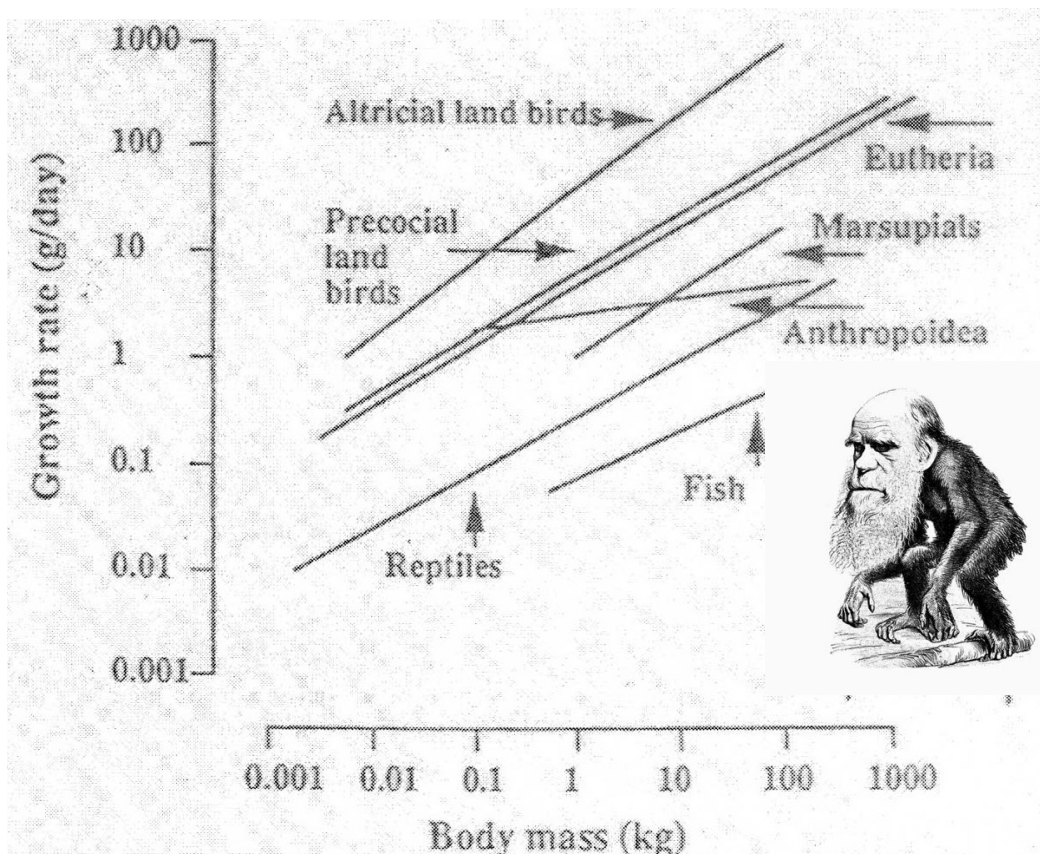
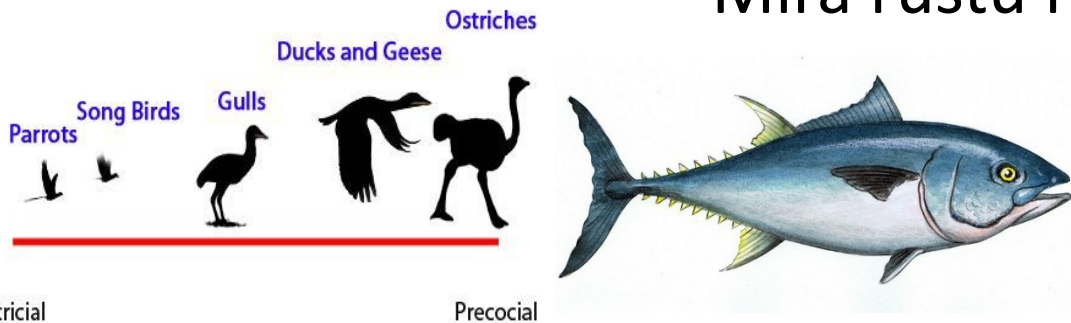
# Co determinuje velikost těla ?

Proměnná	Taxon	Exponent(b)
Velikost home range	savci	1.26
Hmotnost skeletu	chřestýši	1.17
Hmotnost skeletu	savci	1.09
Hmotnost skeletu	ryby	1.03
Objem plic	savci	1.02
Míra ingesce	korýši	0.80
Hmotnost mozku	savci	0.70
Délka gravidity	savci	0.24
Věk dospělosti	ryby	0.20
Délka inkubace vajec	ptáci	0.17
Tepová frekvence	savci	- 0.25
Míra dýchání	savci	- 0.26

Např. hodnota **b = 0.17** pro délku inkubace vajec u ptáků znamená, že doba, kterou ptáci různých druhů stráví seděním na vejcích je funkcí jejich hmotnosti vyjádřenou následující rovnicí

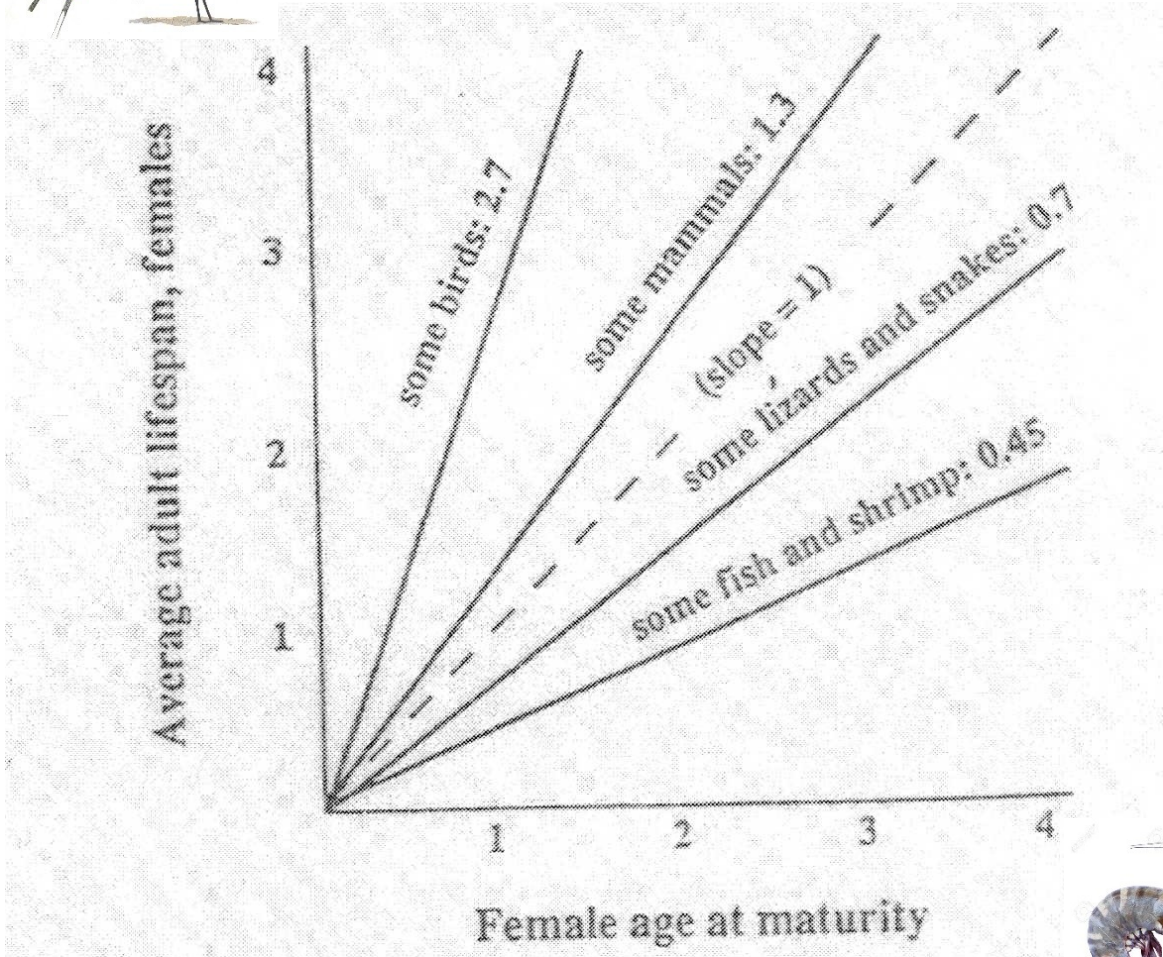
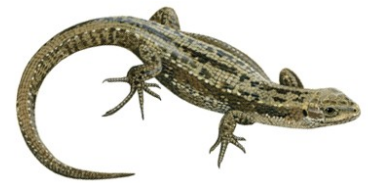
Altricial and Precocial  
A Spectrum of Breeding Strategies

# Míra růstu různých skupin obratlovců

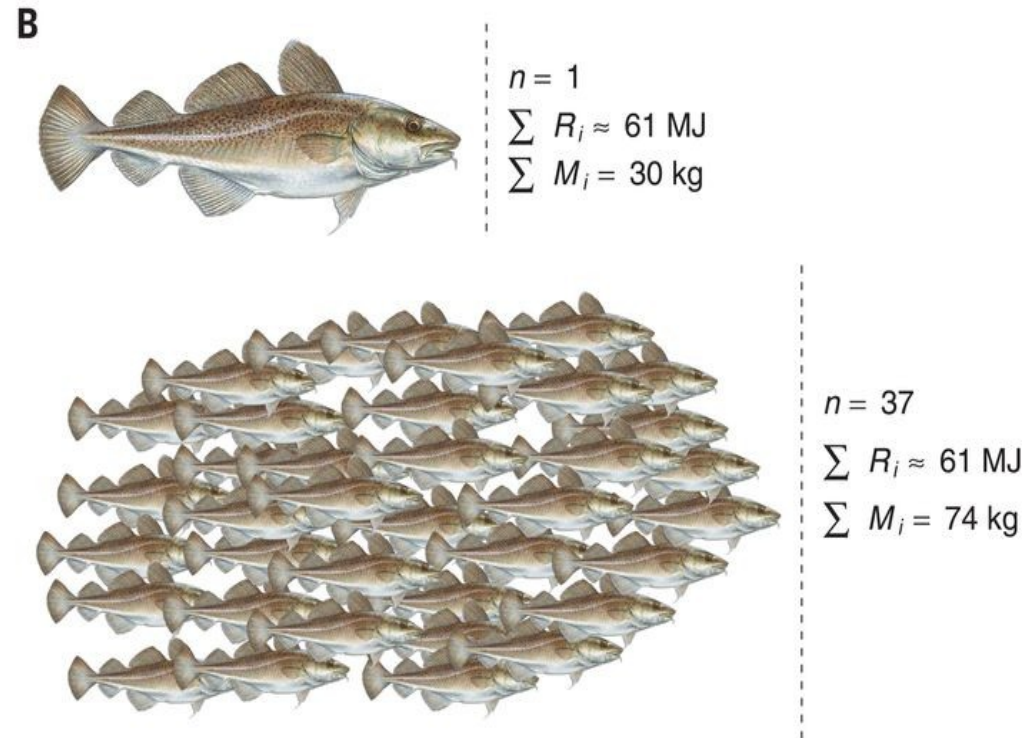
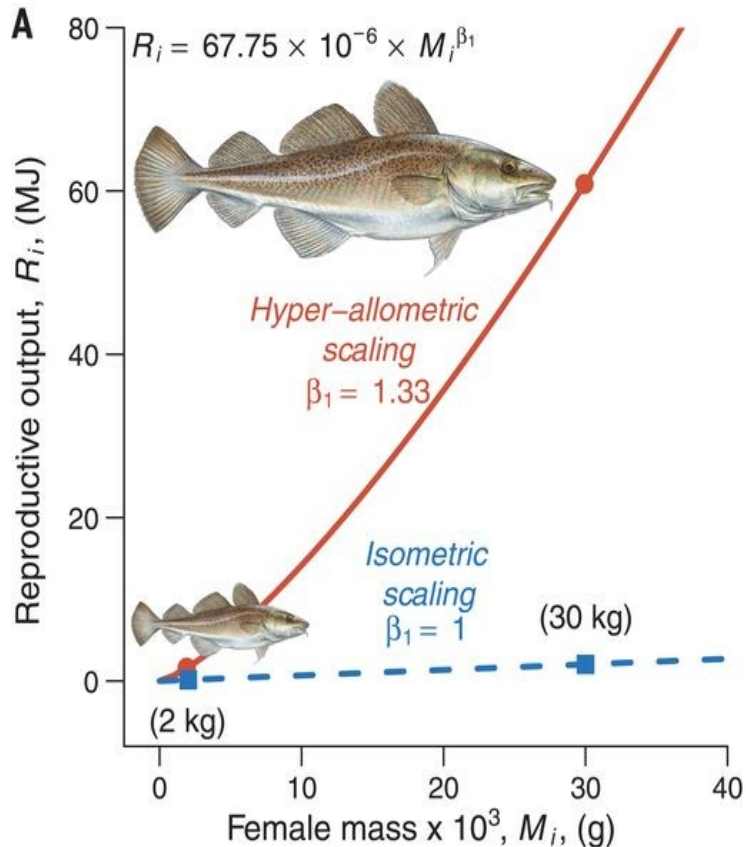




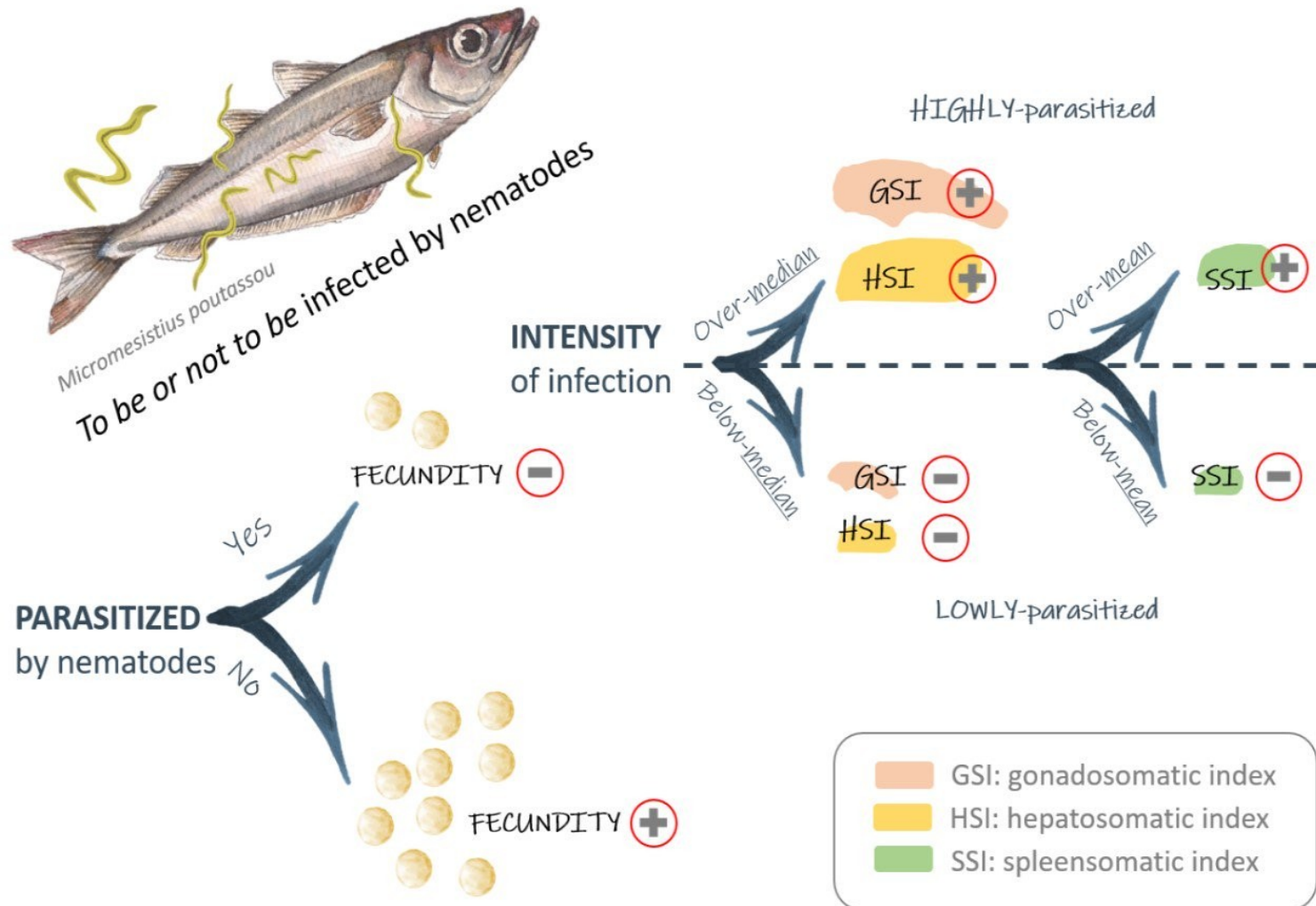
# Vztah délky života dospělců a věku dosažení zralosti – různé skupiny



# Vliv velikosti samice na množství potomstva u ryb



# Vliv parazitace hostitele na jeho imunofyziologii (life history)



# Proč organismy přijímají potravu ?

**Proč jíme ?**

**Jsou to opravdu hloupé otázky ?**

Evoluční úspěch kteréhokoliv organismu spočívá ve schopnosti rozmnožování, které by nebylo možné bez schopnosti organismu přijímat potravu a transformovat takto přijatou energii a výživu ve své potomky.

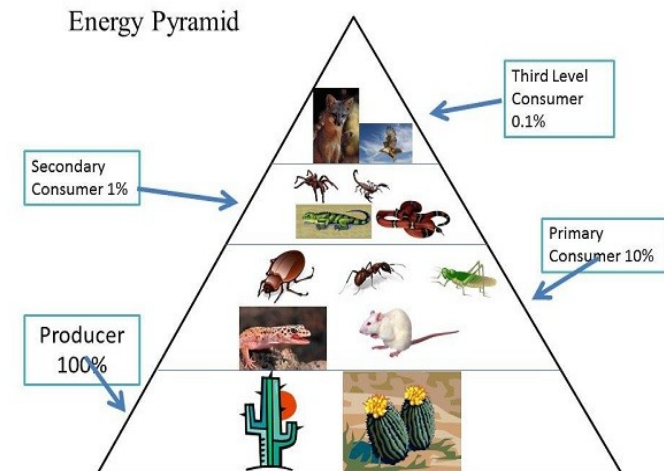
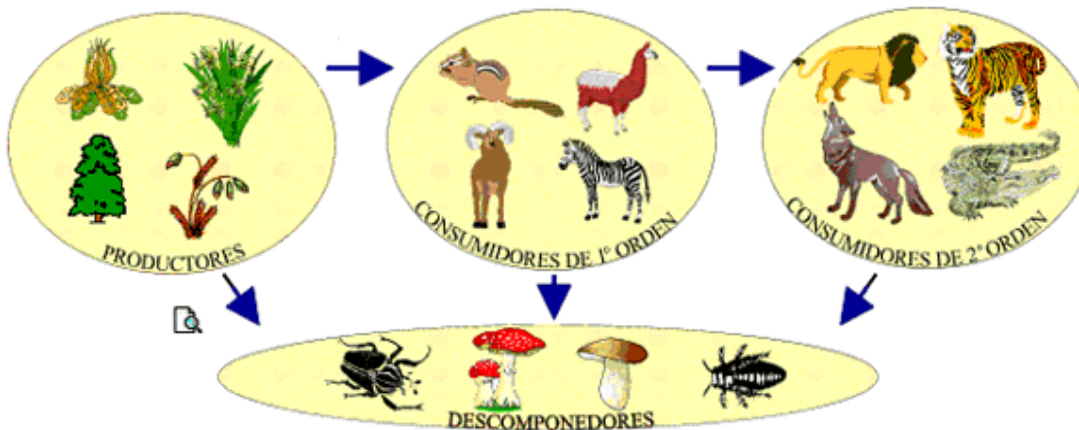
Každý dnes žijící organismus je pokračováním vývojové linie trvající téměř 4 miliardy let.

Organismy však netransformují všechnu přijatou energii pouze do potomstva.

Celkově využívají pouze poměrně malou část přijaté energie. Téměř 10 až 30% absorbované energie je využito jen na trávení přijaté potravy.

# Co je to asimilační účinnost ?

- Asimilační účinnost je proporce energie, kterou organismus přijal a je schopen ji využít.
- Různé druhy se velmi výrazně liší svou schopností využívat energii získanou v potravě.



# Asimilační účinnost

- Masožravci živící se obratlovci mají asimilační účinnost asi 90%; hmyzožravci zhruba 70 až 80% zatímco většina býložravců jen 30 až 60%.
- Panda velká (*Ailurupoda melanoleuca*) má nejmenší asimilační účinnost mezi savci dosahující hodnotu jen 20%
- Mnoho druhu živočichu však má tuto hodnotu ještě mnohem nižší, například organismy využívající jako potravu organické zbytky v sedimentech o koncentraci jen 1%.
- Krab druhu *Scopimera globosa* se živí potravou obsahující jen 0,19% organické hmoty. Jeho asimilační účinnost bude proto ještě nižší než 0.19%. Presto v jeho střevech dosahuje organická hmota koncentrace až 12 %. Krab proto přijímá jako potravu veliké množství materiálu a vylučuje velké množství nestavitelných zbytků.

# Asimilační účinnost - příklady



# Produkce a respirace

- Energie přijatá heterotrofním organismem je z části využita stavbu jeho těla a regeneraci tkání a z části se pak využívá pro růst a rozmnožování.
- Růst organismu a rozmnožování označujeme dohromady jako produkci.
- Proporce asimilované energie, která je využita pro růst organismu označujeme jako růstovou účinnost.
- Tento typ účinnosti je velmi důležitý pro farmáře. Selata mají velmi vysokou růstovou účinnost dosahující hodnoty 20%. Znamená to, že tuto proporcii přijaté energie prase konvertuje do produkce vepřového.



# Růstová účinnost

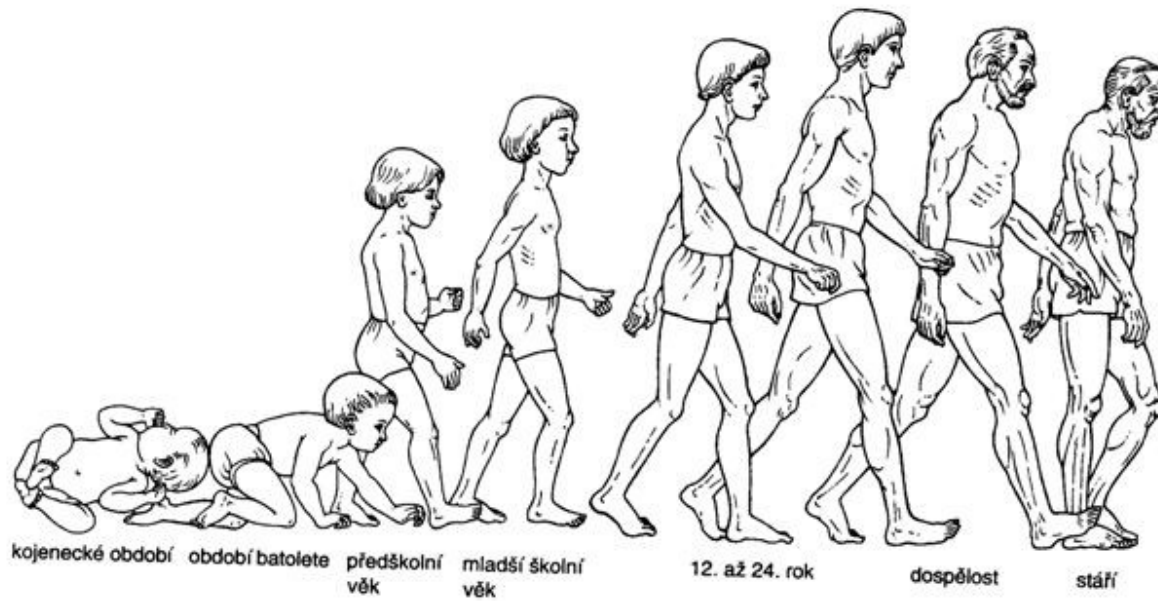
**Obecně platí, že růstová účinnosti je tím větší, čím menší je daný organismus.**

**Růstová účinnost se rovněž výrazně snižuje při dosažení dospělosti živočicha.**

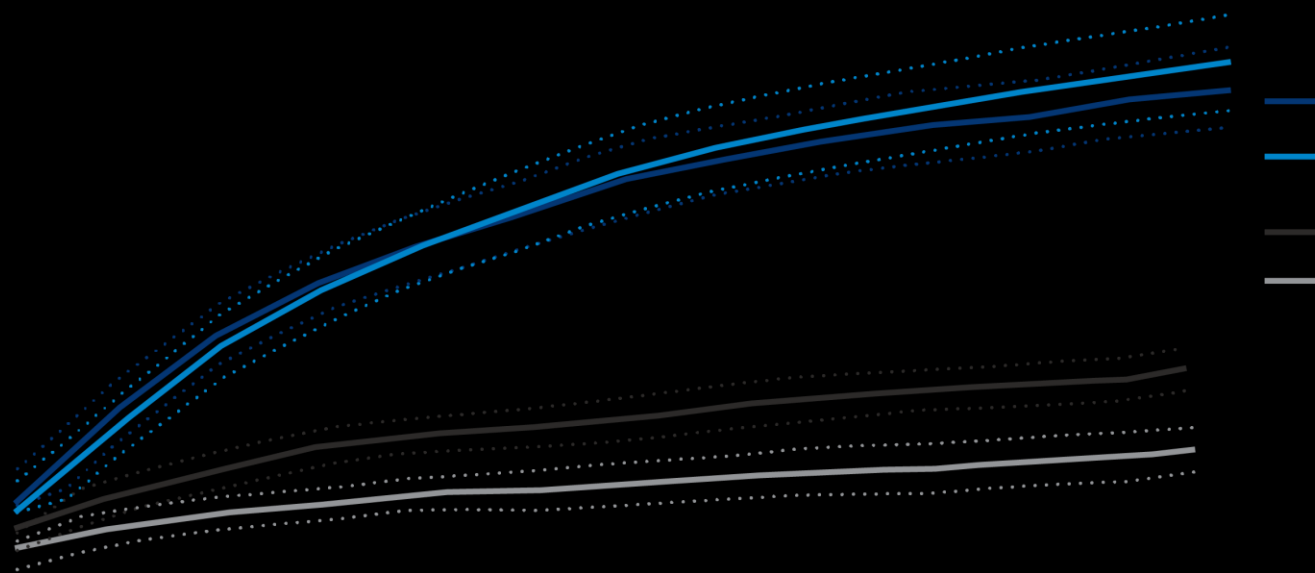
Z tohoto důvodu je velmi obtížné provádět mezidruhová srovnání růstové účinnosti.

# Ontogenetický vývoj jedince.

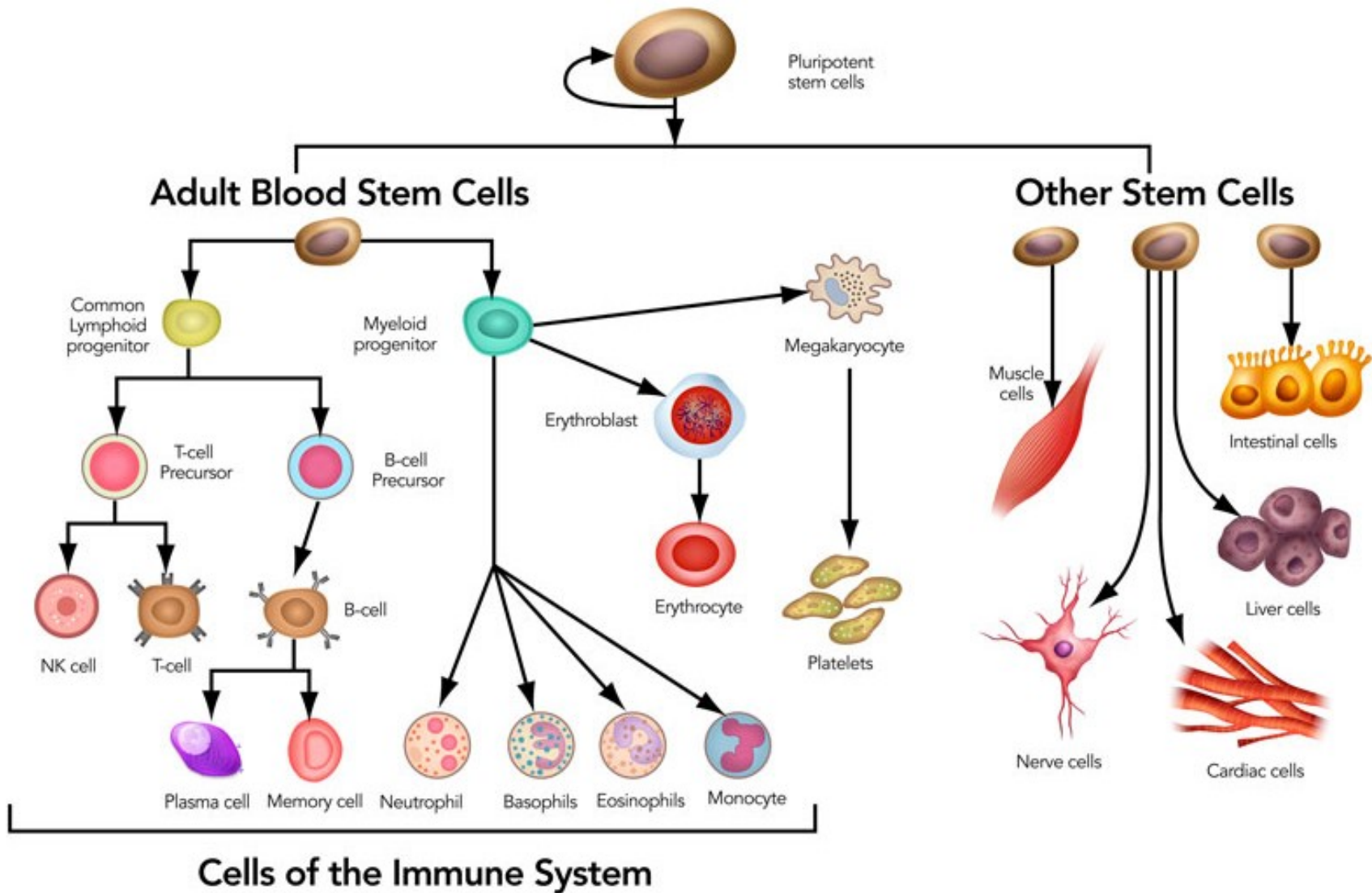
- Ontogeneze -
- Je vývoj jedince od narození po smrt.



# Závislost růstu lidského těla na věku

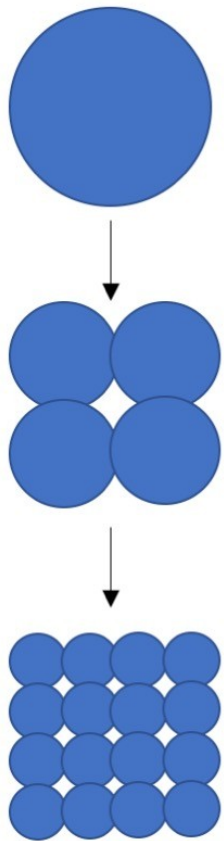


# Buněčná diferenciacie

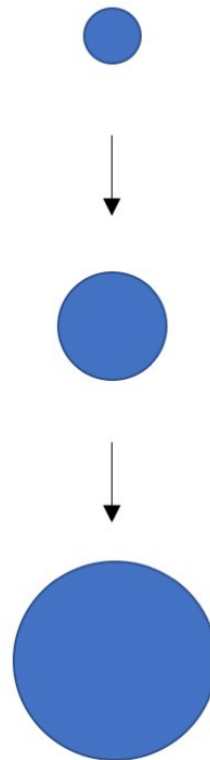


# Dělení a růst buněk

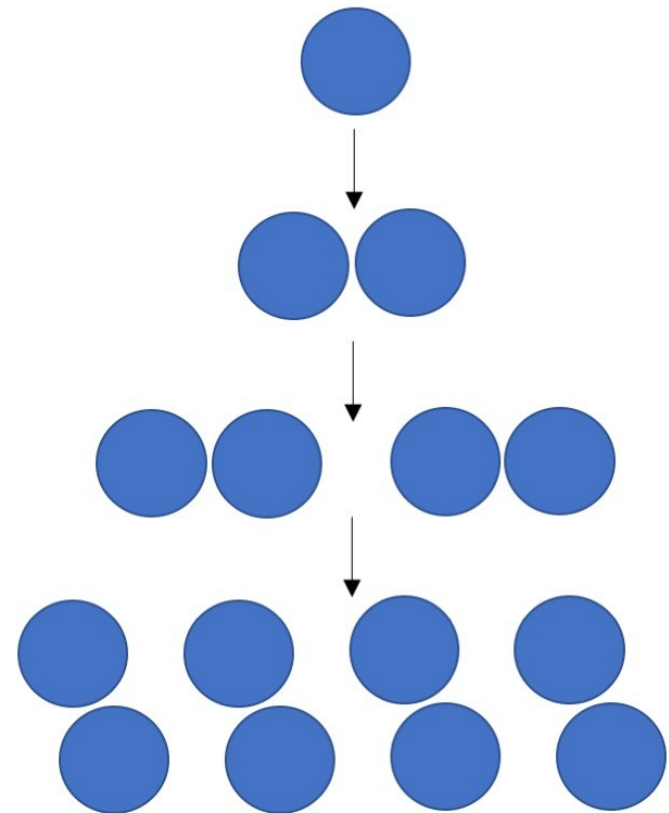
**Cell division**



**Cell growth**

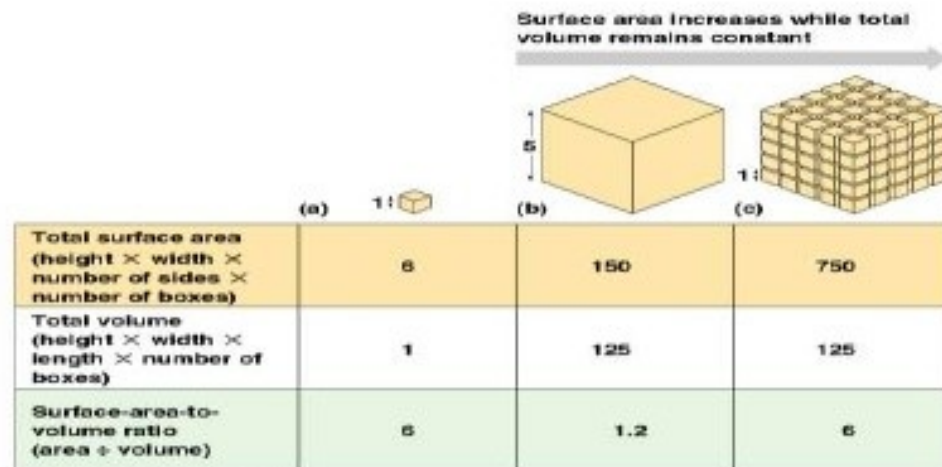


**Cell growth & division  
(Cell proliferation)**



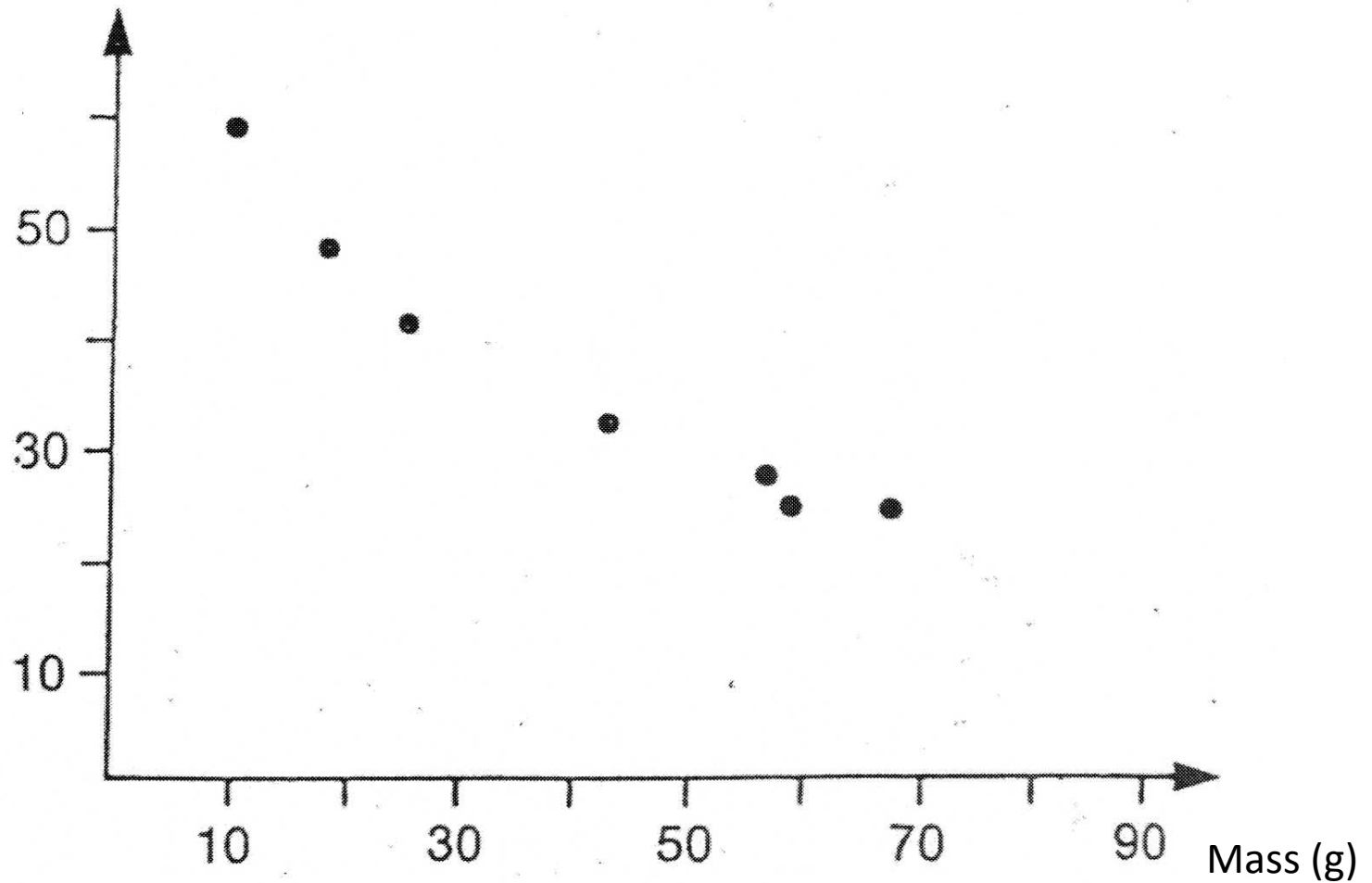
# Why are cells small?

- Surface area to volume ratio limits cell size
- Rate of heat production/waste/resource consumption – volume
- Rate of exchange material/energy – surface area
- As cell size increases, the surface area to volume ratio decreases
- Metabolic rates increase faster than the surface area's ability to exchange nutrients, hence a maximum size is reached.
- Cell size, therefore, remains small



# Růstová účinnost jako funkce velikosti těla

Growth efficiency (%)



# Vývojové kompromisy (trade-off)

- Početné kompromisy spojují složky životních historií
- kompromisy: současná reprodukce a přežívání  
současná reprodukce a  
reprodukce v budoucnosti  
počet, velikost a pohlaví  
potomstva



# Kompromisy (trade-off)

- Systém v rámci kterého může být vysvětlena variace životních historií obsahuje:
  - Demografii
  - Kvantitativní genetiku a reakční normy
  - Kompromisy
  - Rodově specifické elementy

# Demografie a kvantitativní genetika

- Mortalita a fekundita (plodnost) se mění v závislosti na věku a velikosti – demografie spojuje věkově a velikostně specifickou variaci ve fitness a porovnává ji se silou přírodního výběru na různé složky životních historií
- Většina životních historií je ovlivněna velkým počtem genů malého účinku  
Při studium přírodních populací v heterogením prostředí – efekt fenotypické plasticity - její význam v evoluci

# Trade offs

- Fyziologie přispívá k mechanismům, které vedou ke kompromisu
- Existuje, když účinek (benefit) realizovaný přes změnu v jedné složce je placený (cost) přes změnu ve složce jiné
- Účinek a náklady jsou odhadovány v jednotkách fitness

# Rodově specifické elementy

- Porovnání mezi vyššími taxony vedou k otázkám typu:  
Žijí organismy s opožděným dospíváním déle ?  
Mají větší organismy relativně méně potomstva ?

# Trade offs

- Spojení mezi složkami ŽH, které směřují k simultánní evoluci dvou a nebo i více složek
- Většinou jsou indikovány negativním vztahem mezi dvěma složkami
- Fyziologický trade off
- Mikroevoluční trade off
- Makroevoluční trade off

# Fyziologický trade off

- Energy allocation hypotéza – založená na rozdělení mezi dva a více procesů, které jsou přímo v kompetici o limitovaný zdroj (energie) u jedince – princip of allocation – Levins (1968) – organismus získává limitované množství materiálu a energie, pro něž jsou oba procesy v kompetici, proto zvýšení přiděleného materiálu a energie do jednoho procesu bude směřovat ke snížení materiálů a energie do procesu jiného

# Mikroevoluční trade off

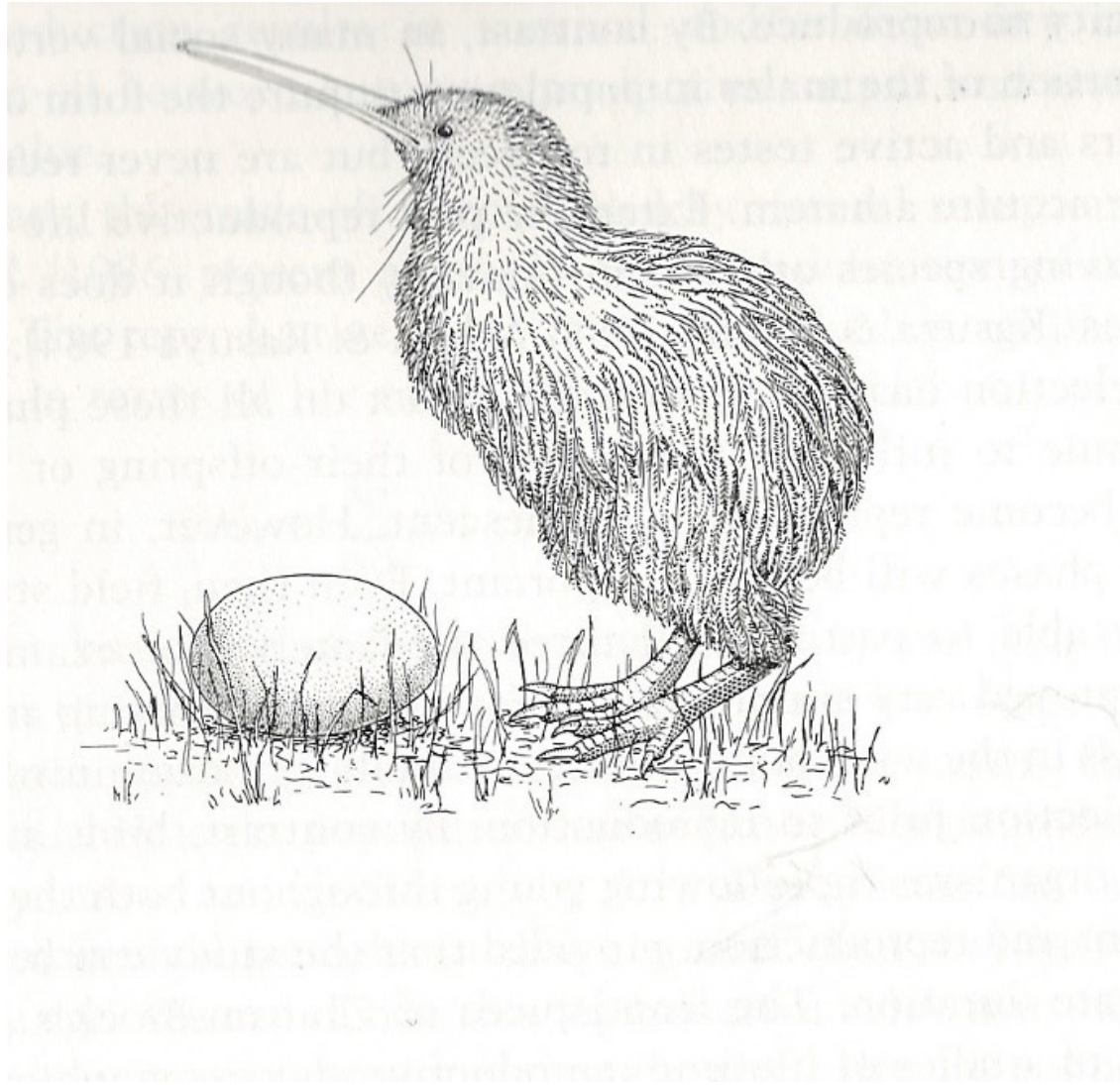
- Je širší jako fyziologický trade off
- Vyskytuje se v populacích, kde je vlivem selekce změna v jedné složce (zvyšující fitness) spojená se změnou v jiné složce (fitness snižující)
- Představuje odpověď populace na selekci genetické variability ve fyziologickém trade off
- Efekt reprodukce na přežívání je možné určit jako kompromis mezi:
  - Současnou reprodukce a přežíváním
  - Současnou reprodukci a reprodukci v budoucnosti
  - Reprodukci versus růst
  - Současnou reprodukci versus kondicí
  - Počet versus velikost potomstva

# Makroevoluční trade off

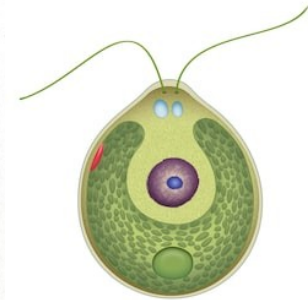
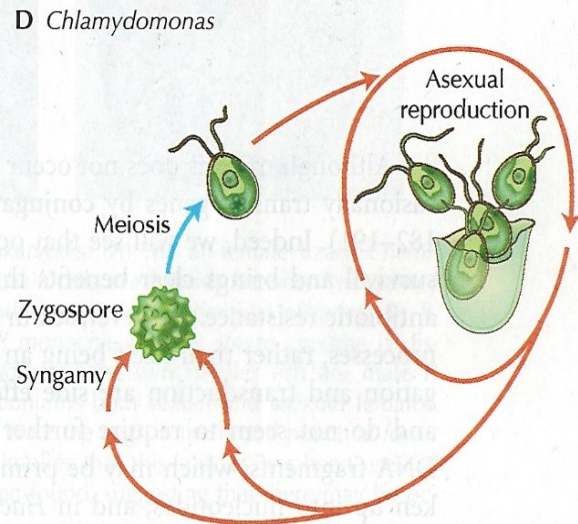
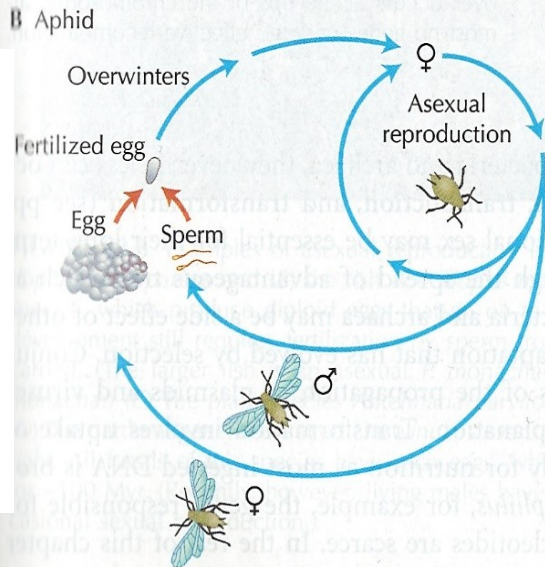
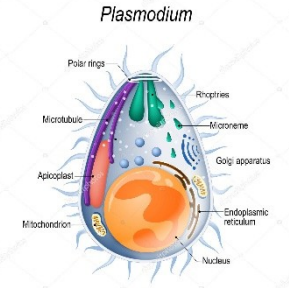
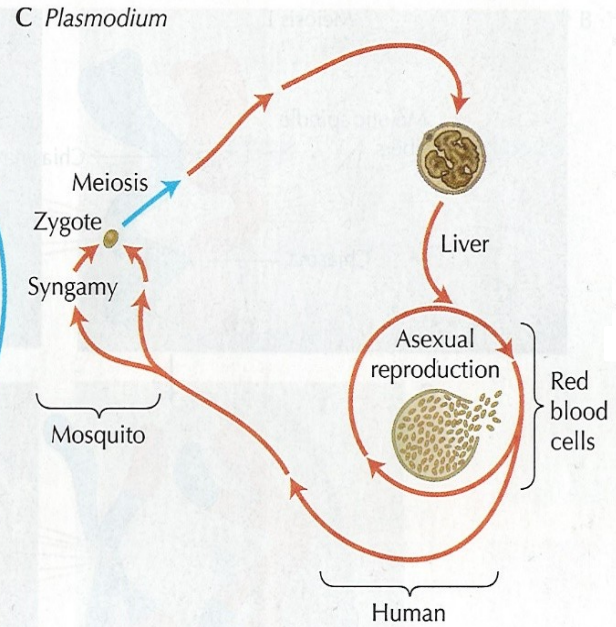
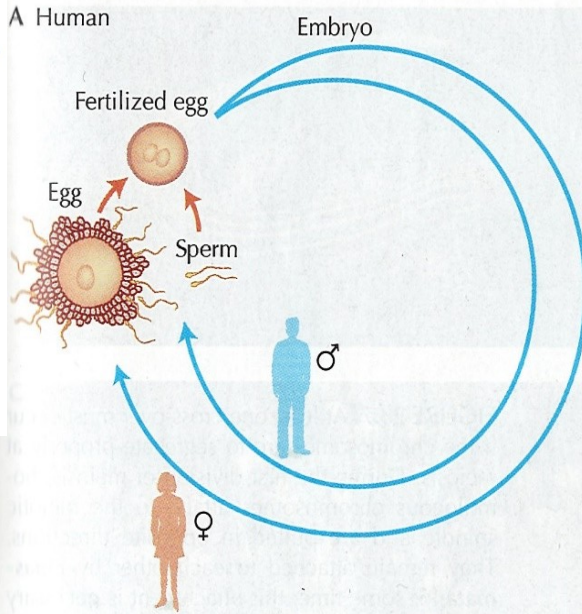
- Komparativní analýza variací ve složkách ŽH mezi fylogeneticky nezávislými událostmi
- Rodově závislé efekty – některé složky ŽH jsou fixovány na vyšší taxonomickou úroveň, ale nejsou variabilní na úrovni populační



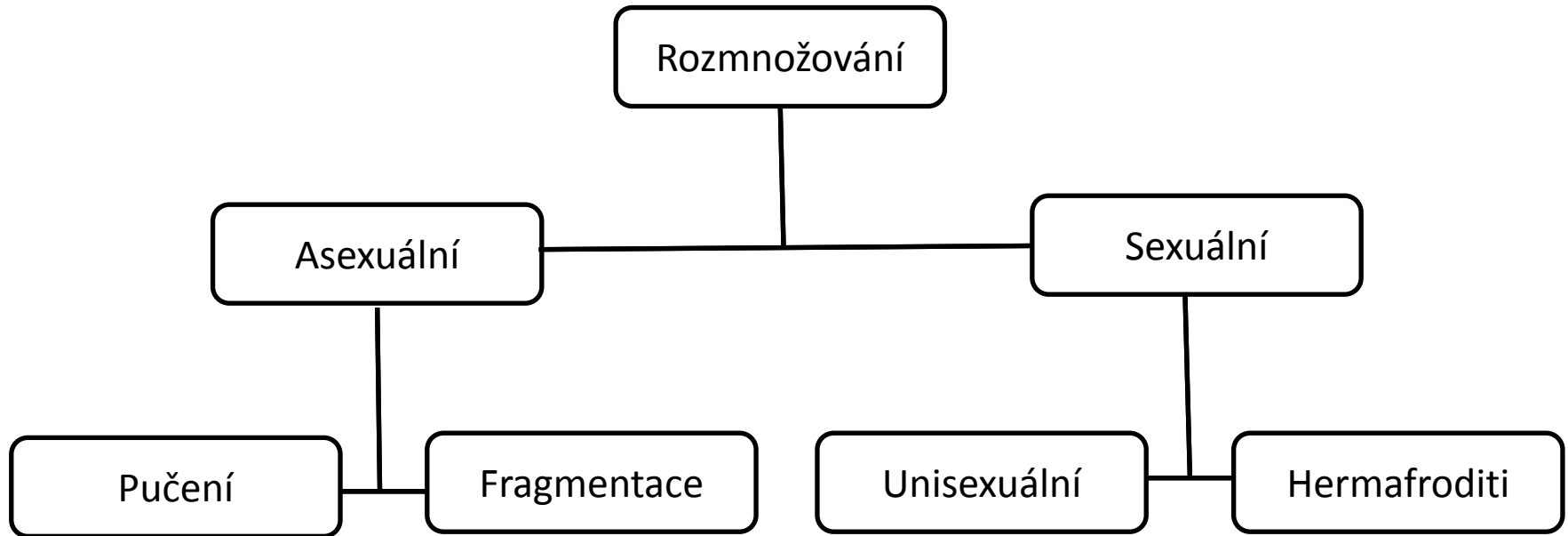
# Evoluční význam nákladů na reprodukci



# Typy rozmnožování organismů



# Typy rozmnožování organismů



Rozmnožování je biologický proces, při kterém je produkován nový jedinec daného druhu.

# Typy rozmnožování

- Organismy se rozmnožují pohlavně (sexuálně) a nepohlavně (asexuálně).
- Při pohlavním rozmnožování dochází ke spojení, syngamii, dvou haploidních buněk, gamet, které vznikly buněčným dělením nazývaným meióza.
- Splynutím gamet vzniká diploidní zygota, která se dělí mitoticky a která posléze vyprodukuje přes meiotické dělení opět haploidní gamety.
- V životní strategii takových organismů se tedy střídají haploidní a diploidní formy.
- Asexuální rozmnožování je rozmnožování bez syngamie a rozeznává se několik typů

# Typy asexuálního rozmnožování

- **Partenogeneze** – vývoj s neoplodněného vajíčka (jsou zde tři varianty)
- **Adventivní embryonie** - nový jedinec se vyvíjí z jedné somatické buňky (často pod názvem sporofytová forma apomixie).
- **Vegetativní reprodukce** – vývoj nového jedince ze skupiny somatických buněk (u rostlin to jsou oddenky, hlízy, cibulky, nebo, šlahouny, u živočichů je to pučení či fragmentace).

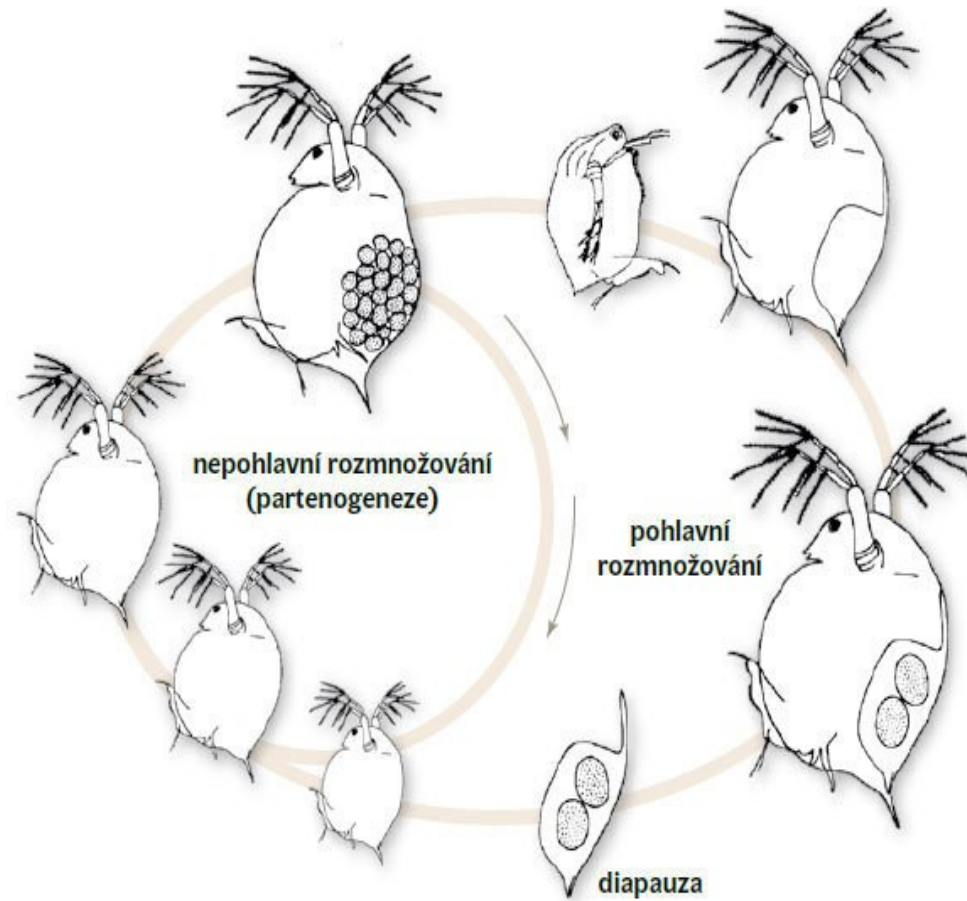
# Typy partenogeneze

- **Apomixe** – meióza je potlačena, jedinci vznikají mitoticky a jsou geneticky identičtí s rodičem. Rozlišují se dvě formy – gametofytová a sporofytová.
- **Automixe** – meióza je zachována a diploidie vzniká fúzí dvou haploidních gamet a nebo dvou jader vzniklých mitózou z haploidního jádra vajíčka. Nový jedinec je homozygotnější než rodič.
- **Endomitoza** – meiózou vzniká chromozomální replikací tetraploidní buňka a z ní meiózou diploidní gamety. Jedinci jsou geneticky identičtí jako rodič (např. ještěrky rodu *Lacerta*).

# Apomixe – pampeliška



# Partenogeze - buchanky



# Příklady partenoneze

**Komodo dragon**



**Bonnethead shark**



**Water flea**



**Bynoe's gecko**



**Warramaba virgo grasshopper**



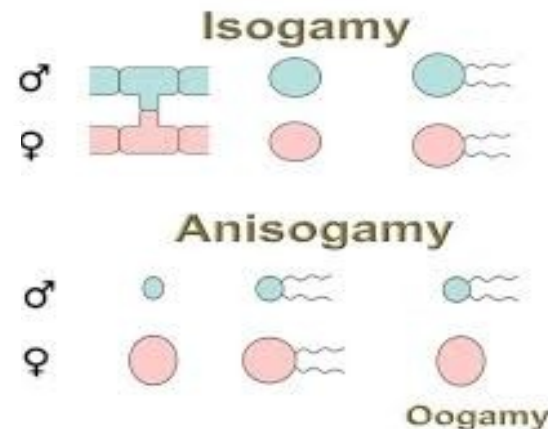
**Mulga trees**





# Typy pohlavního rozmnožování

- Syngamie
- Isogamie
- Anisogamie



- **Hologamie** - pohlavní proces u prvoků, při němž oba jedinci s funkcí gamety splývají v jedinou cystu. Mohou tak vznikat nové kombinace genů, zvětšuje se různorodost populace a schopnost přežití za zhoršených podmínek prostředí
- **Endogamie** - (z řeckého *endon*, uvnitř a *gamos*, sňatek) je velmi rozšířené kulturní pravidlo, určující **endogamní skupinu**, z níž si mladí muži a ženy mají vybírat své partnery. Endogamní skupinou bývá kmen, kasta, národ nebo jinak vymezená skupina. Pravidlo endogamie je tedy jakýmsi protějškem exogamie, pravidla, vymezujícího skupinu, z níž se partneři vybírat nemají.<sup>[</sup>
- **Exogamie** - (z řeckého *exó*, vně a *gamos*, sňatek) je velmi rozšířené kulturní pravidlo, určující **exogamní skupinu**, z níž si mladí muži a ženy nemají vybírat své partnery. Exogamní skupinou může být rod, klan, totem nebo jinak vymezená skupina. Pravidlo exogamie je tedy jakýmsi rozšířením téměř univerzálního zákazu incestu, pohlavního styku mezi nejbližšími příbuznými, a vyskytuje se hlavně v usedlých populacích. Protějškem exogamie je endogamie, pravidlo, vymezující skupinu, z níž se partneři mají vybírat.

# Pohlavní rozmnožování

## Pohlavní rozmnožování

zahrnuje meiosis = gamety = gametogonie

gamonti = buňky, z kterých vznikají gamety = gamontogamie

rozmnožování: amphimiktické = gamety od dvou rodičů

automiktické = gamety od jednoho rodiče

**syngamie**    *versus*    **konjugace**

# Pohlavní rozmnožování

**Syngamie** = spojení celých gamet (buněk)

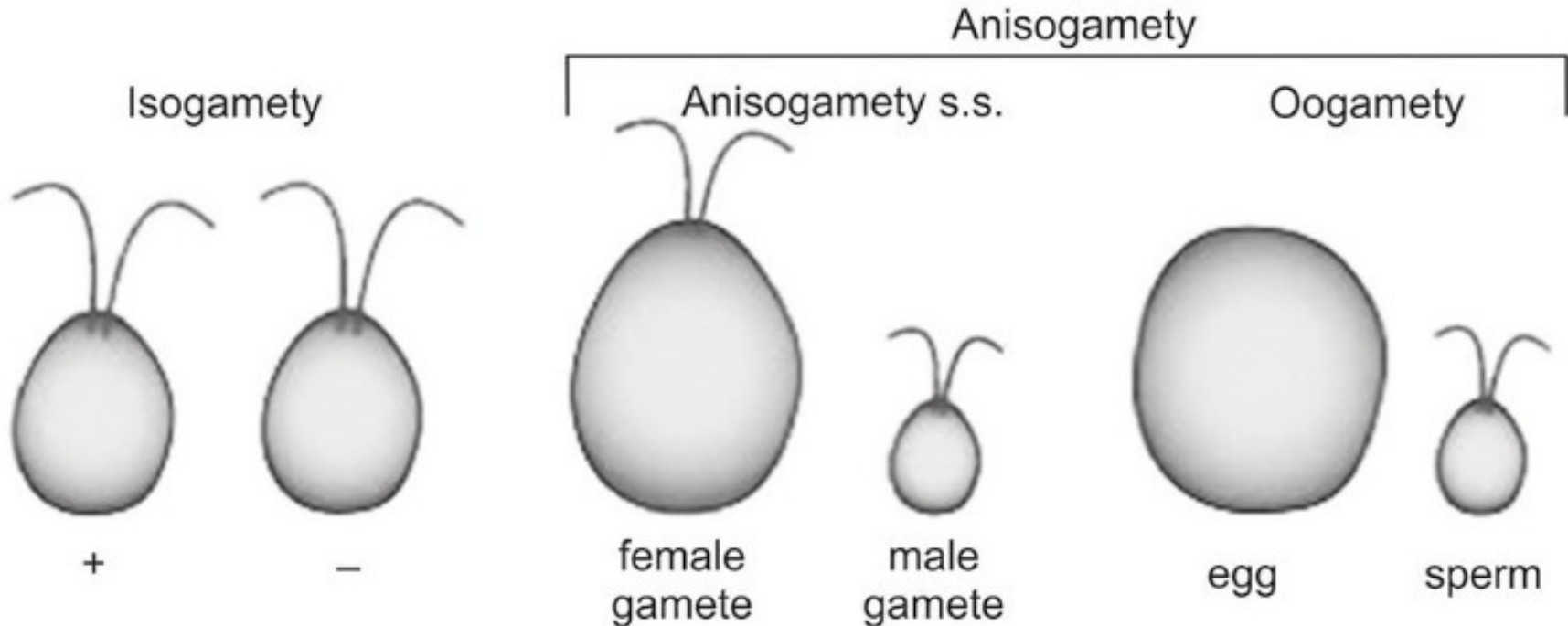
Syngamie: **isogamety versus anisogamety**

Anisogamety se liší velikostí: makrogamety - samičí  
mikrogamety - samčí

Fúze makro a mikrogamet = zygota

**Konjugace** = spojení pouze jader: macronucleus  
micronucleus

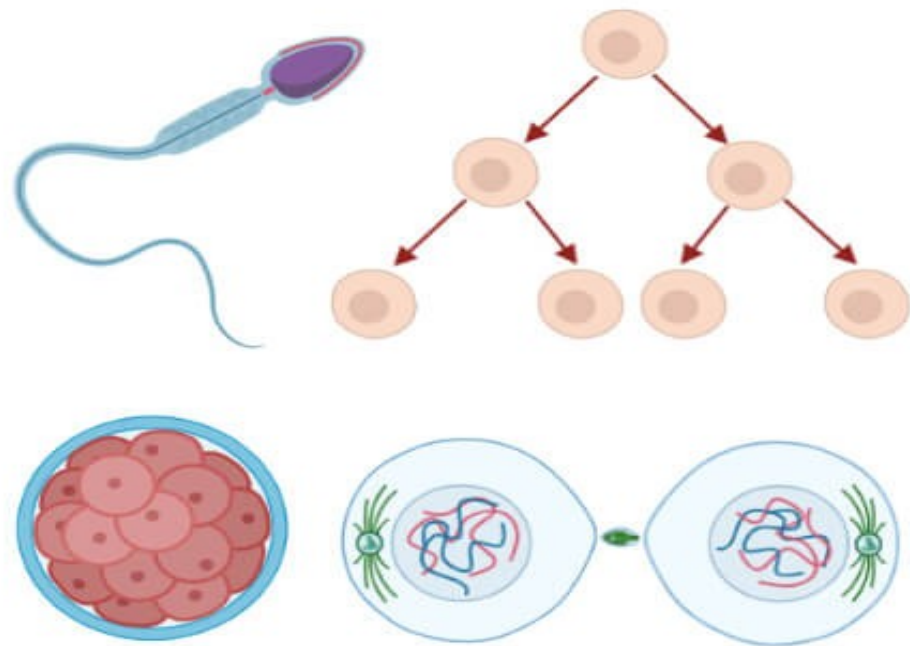
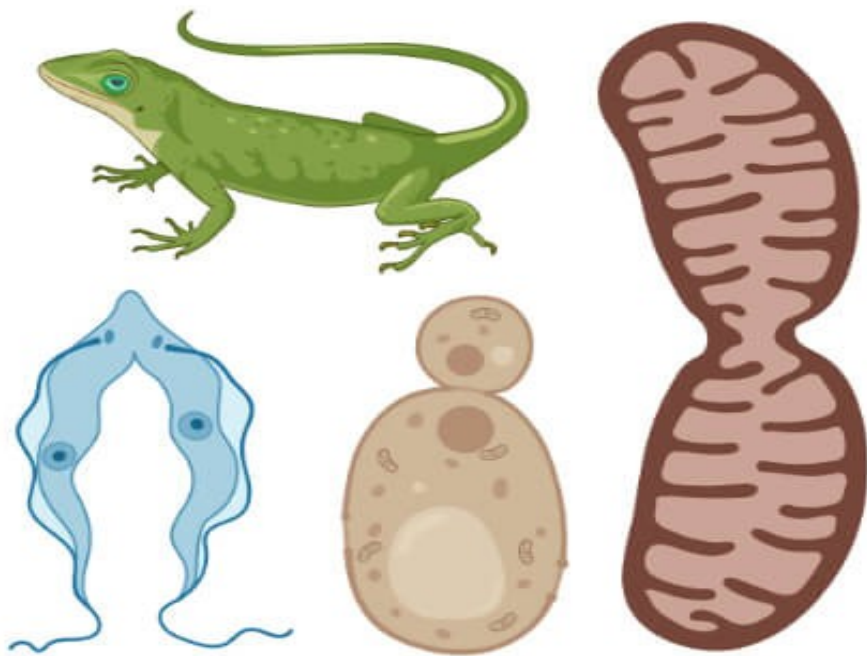
# Pohlavní rozmnožování



- Izogamie – organismy vyznačující se splýváním nediferencovaných gamet
- Anisogamie – sexuální organismy s morfologicky diferencovanými gametami

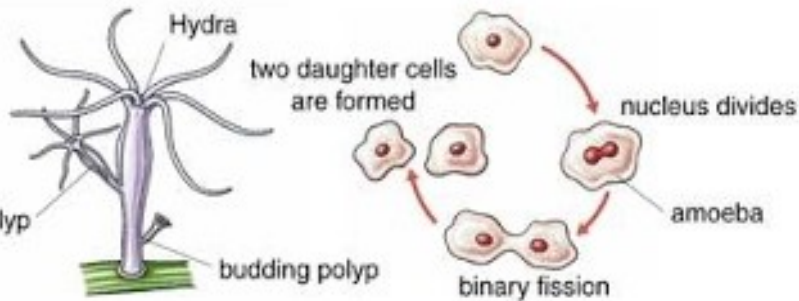
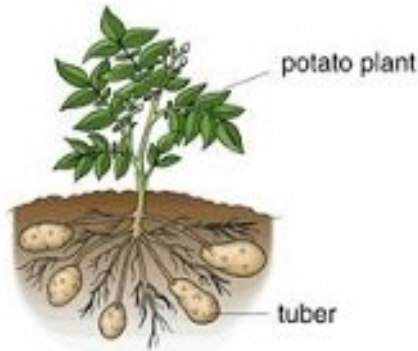


## Differences Between Asexual and Sexual Reproduction

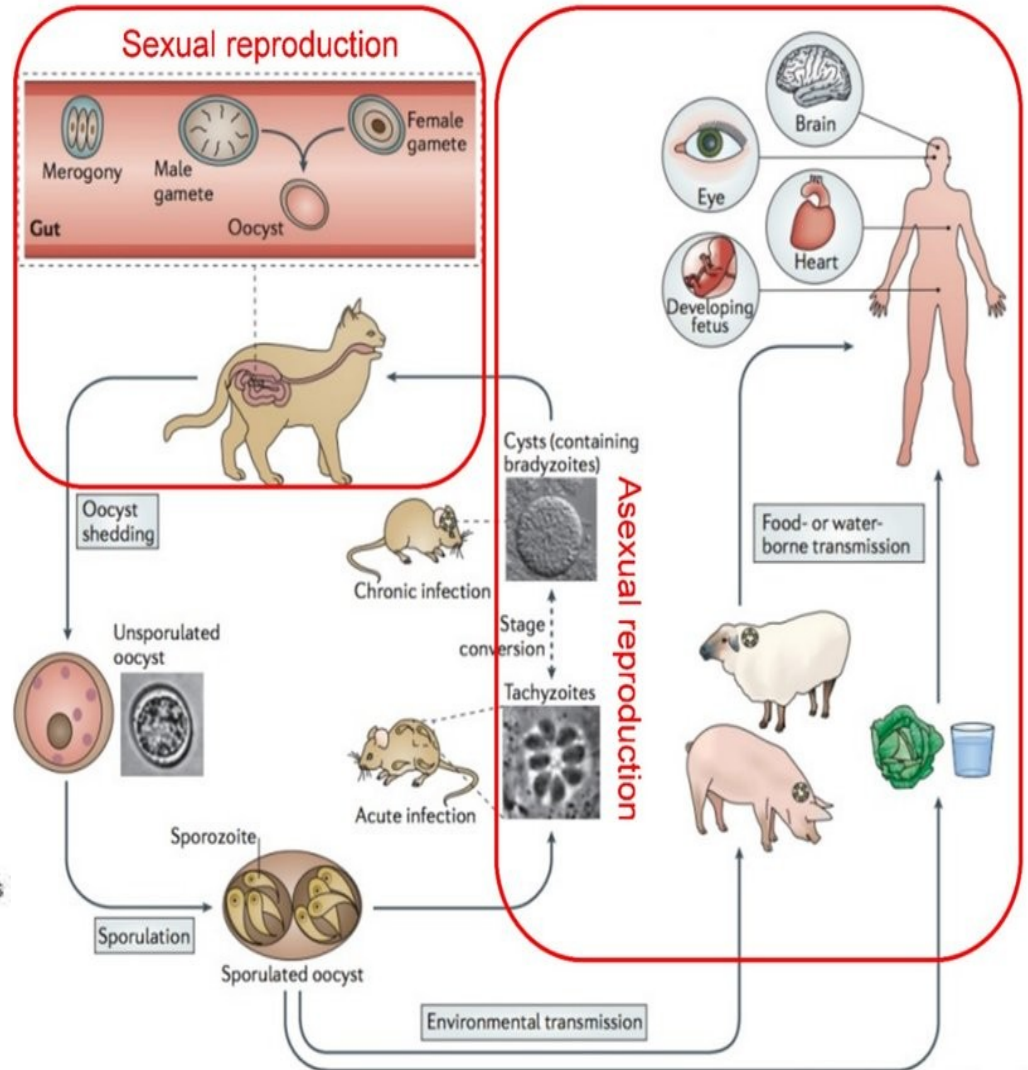


# Asexuální versus sexuální rozmnožování

## Asexual reproduction



## Sexual reproduction



# Co je lepší ?

Na čem to záleží ?

## Asexuální reprodukce

### Výhody

- Nepotřebuje tvořit speciální buňky nebo mnoho energie
- Rychlá produkce potomstva
- Ve stabilním prostředí vytváří velké populace

### Nevýhody

- Limitované schopnosti adaptace
- Masivní mortalita pokud se změní podmínky prostředí

## Sexuální reprodukce

### Výhody

- Velká heterogenita uvnitř druhu
- Schopnost přežívat v rozmanitém prostředí
- Schopnost se adaptovat změnám prostředí

### Nevýhody

- Potřebuje čas a energii
- Vytváří malé populace

# Pohlavní rozmnožování

- Drtivá většina eukaryot se rozmnožuje aspoň někdy pohlavně.
- Pohlavní rozmnožování je tedy evolučně úspěšnější než nepohlavní a to i přes dodatečné náklady na procesy meiosis a syngamie.
- Výhody nepohlavního rozmnožování



# Výhody nepohlavního rozmnožování

- Téměř všichni jedince se mnohou rozmnožovat
- Na kolonizaci nového území stačí pouze jeden jedinec
- Ušetří se zdroje na meiosu a a syngamii
- Ušetří se zdroje na namlouvání a páření
- Nevznikají v podstatě maladaptivní znaky intraspecifické kompetice o druhé pohlaví
- Na potomstvo se předává 100% a tím taky výhodný genotyp (např. triploidie).

# Evolutione pohlavnosti

---

## Paradox sexu

### – Co je to paradox sexu:

- Příroda klade důraz pro zajištění genetické přesnosti a je proto výhodou asexuální reprodukce
- Na druhé straně sexualita je zdrojem kombinací a rekombinací – zvýšení proměnlivosti
- Třetím paradoxem je cena za sex – cena za vznik samečka (výrazně například u včel)

### – Monogamie - polygamie:

- Monogamie je proti polygamii evolučně favorizována (při péči obou rodičů o mláďata větší šance na přežití).
- V umělém chovu zvířat platí opačný proces

# Rozmnožování domácích zvířat



# Evoluce sexu – strategie párování



# Hypotéza červené královny ?

## Vznik pohlavního rozmnožování !



# The Red Queen Strategy

---

"Now! Now!" cried the Queen. "Faster! Faster!" And they went so fast that at last they seemed to skim through the air, hardly touching the ground with their feet till, suddenly, just as Alice was getting quite exhausted, they stopped, and she found herself sitting on the ground, breathless and giddy.

The Queen propped her up against a tree, and said kindly, "You may rest a little now." Alice looked round her in great surprise. "Why, I do believe we've been under this tree the whole time! Everything's just as it was!"

"Of course it is," said the Queen. "What would you have it?"

"Well, in our country," said Alice, still panting a little, "you'd generally get to somewhere else – if you ran very fast for a long time, as we've been doing."

"A slow sort of country!" said the Queen. "Now, here, you see, it takes all the running you can do to keep in the same place. If you want to get somewhere else, you must run at least twice as fast as that!"

(Lewis Carroll, *Through the Looking Glass*, 1946: 178–179)

In order not to be competed away by the Red Queen effect during your career you will have to **continuously** develop and adapt new approaches and look for new evidence that you use to your advantage if you are to become the fastest runner in the Red Queen race.

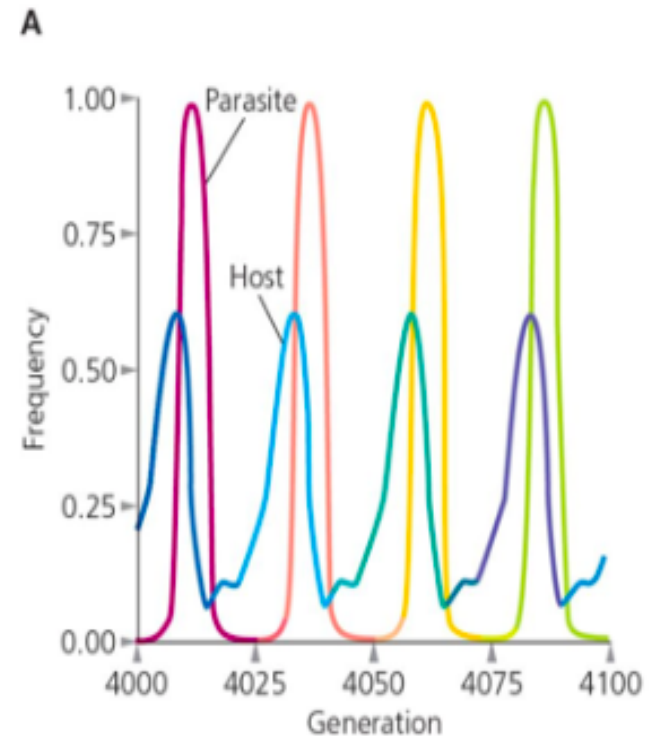


## Host – parasite coevolution and sex: the **Red Queen Hypothesis**

- One important component of the environment for many species is parasites
- Hosts and parasites are involved in a coevolutionary “arms race” in which the host evolves defenses against the parasite, and the parasite, in turn, evolves to overcome host defenses — both sides must constantly evolve just to maintain the *status quo*
- Evolution by the parasite represents a **changing environment** for the host, and sexual reproduction allows the host to produce offspring that are more likely to be resistant to prevalent parasite genotypes.

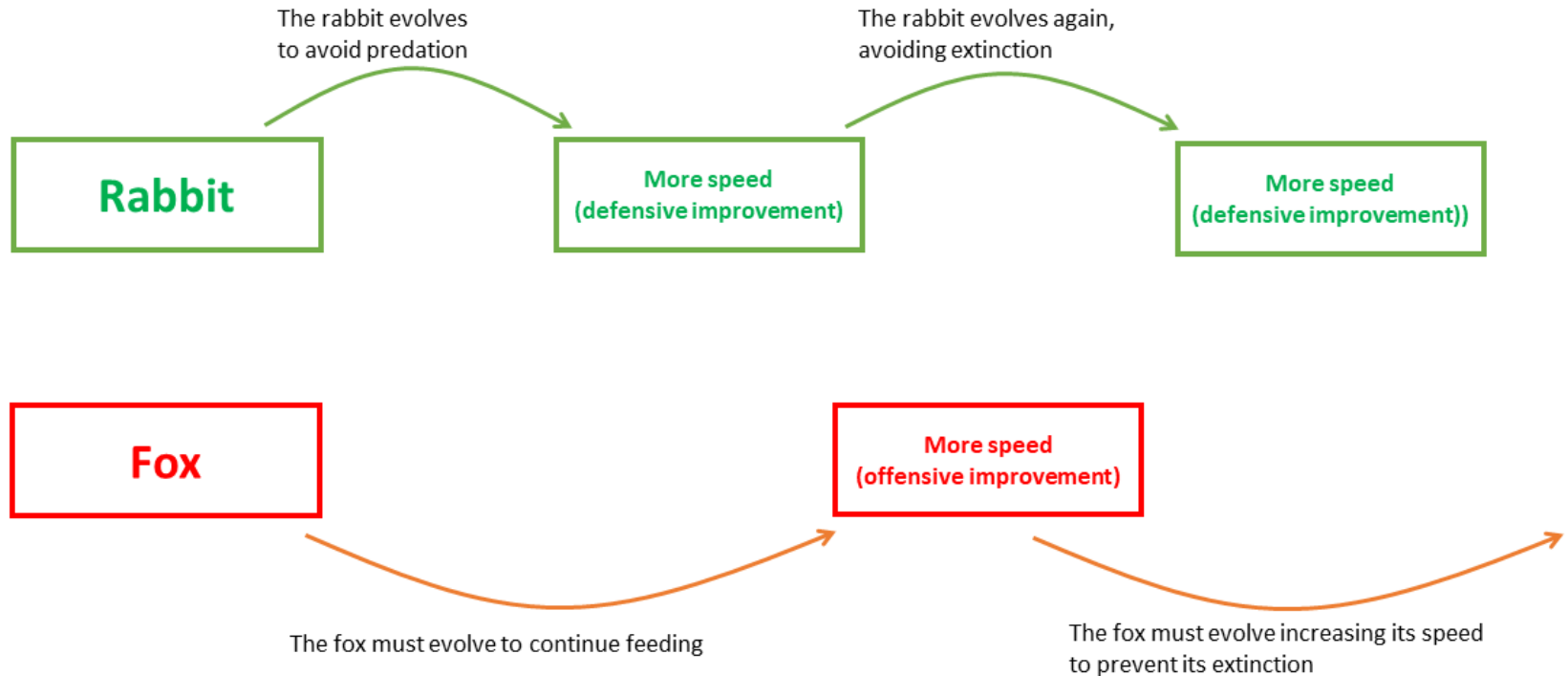
# Počítačová simulace parazito-hostitelské koevoluce – doklad RQH

- a. Host and parasite population sizes fluctuate over time.
- b. The frequency of parasite genotypes peak every 25 generations.
- c. The frequency of parasite infections tracks host populations with regularity.
- d. The graph shows how sex helps hosts evolve.
- e. The frequency of the parasite genotype that can infect the host genotype tracks the frequency of the host genotype.



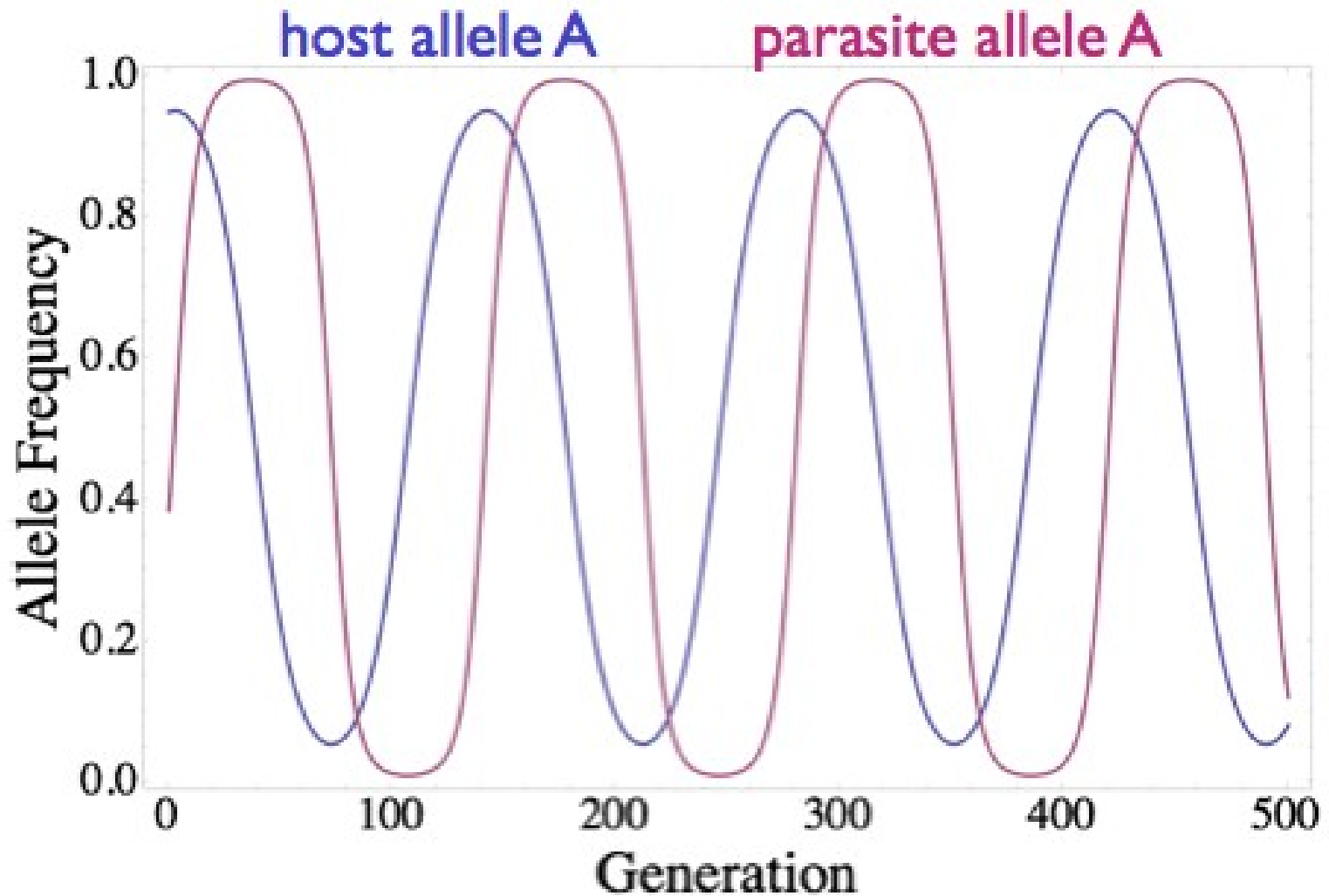


# Koevoluce systému dravec - kořist

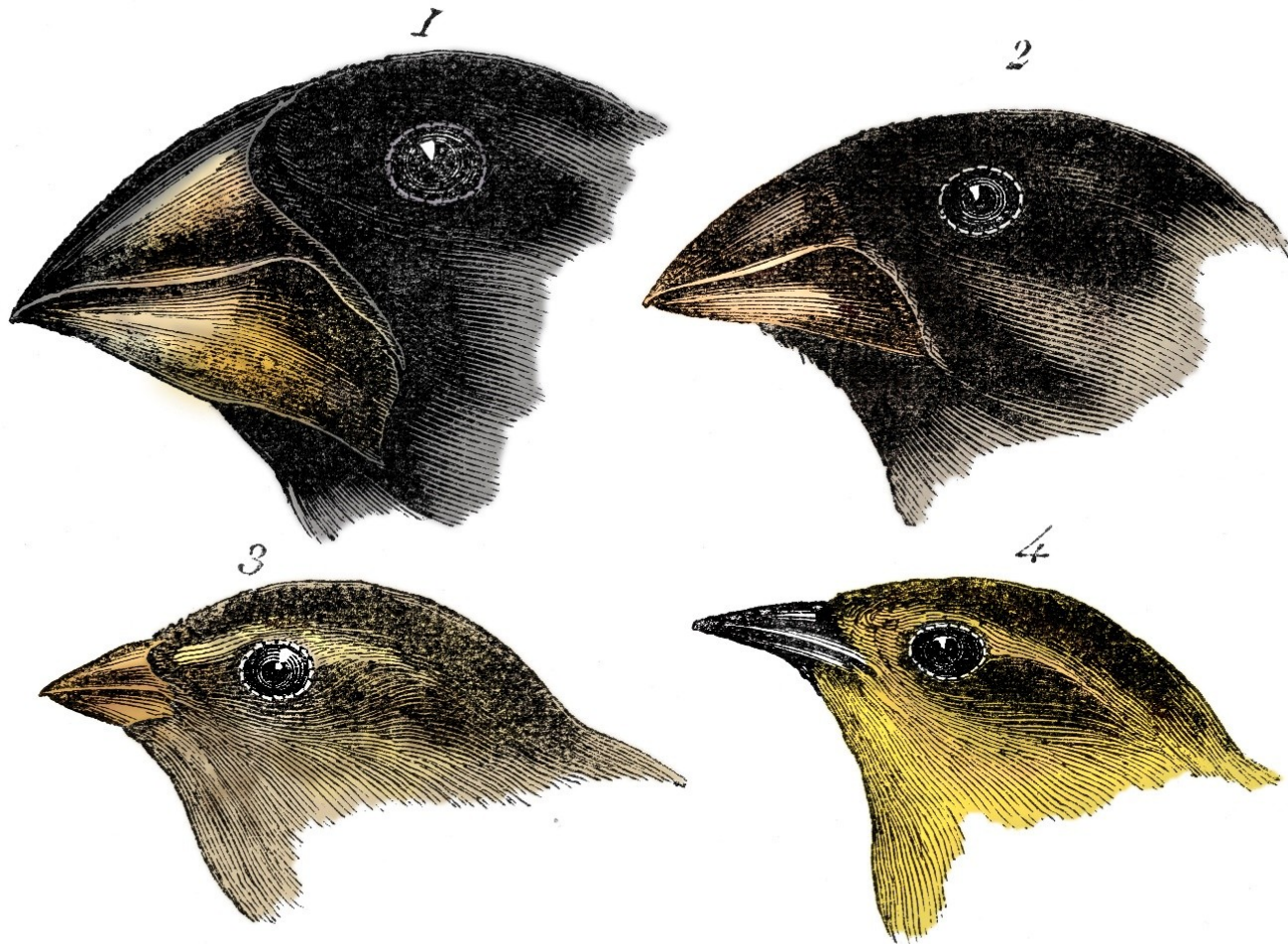


**Red Queen Hypothesis:** Predator and prey must be constantly evolving to avoid extinction.

# Koevoluce v systému dravec - kořist



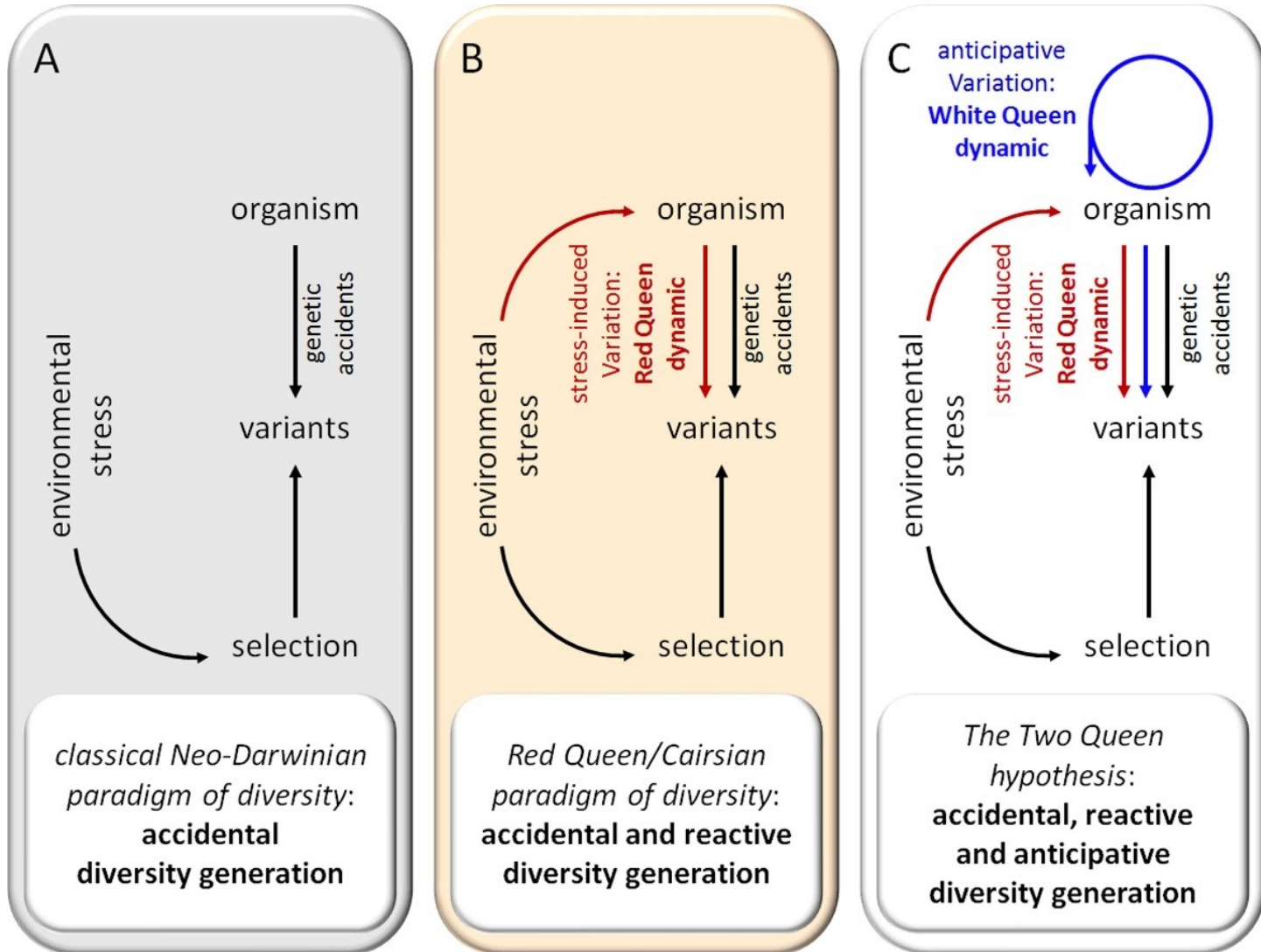
# Koevoluce zobáků pěnkav podle typů a velikosti potravy



1. *Geospiza magnirostris*.  
3. *Geospiza parvula*.

2. *Geospiza fortis*.  
4. *Certhidea olivacea*.

# Red Queen Hypothesis

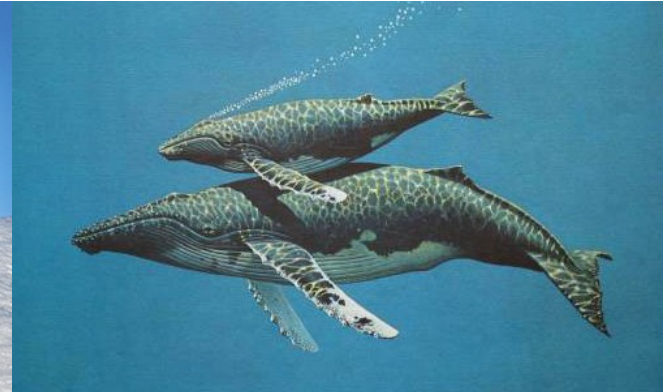


# Vznik pohlavního rozmnožování

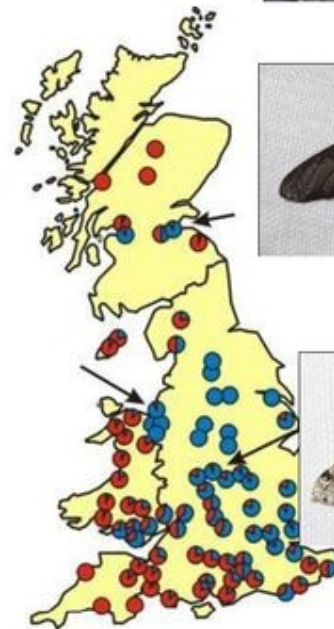
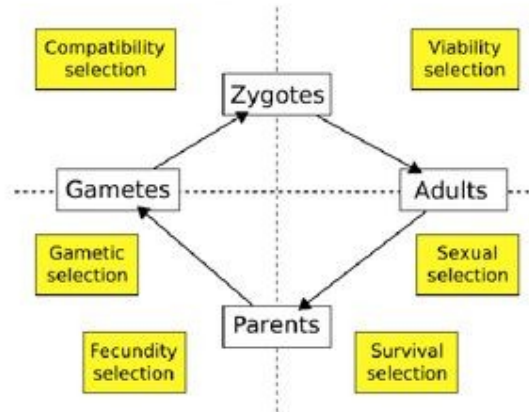
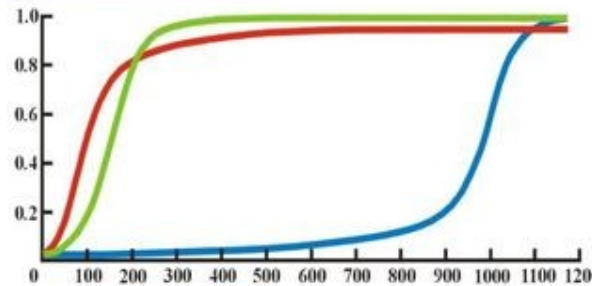
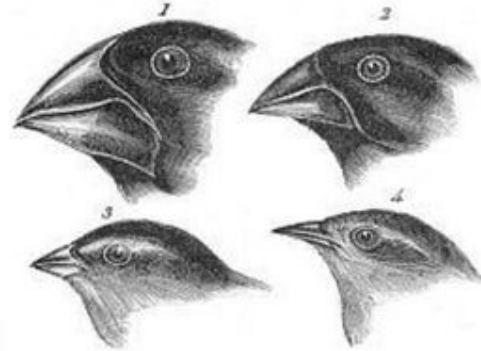
Sex – meióza, rekombinace

## Nevýhody pohlavního rozmnožování:

- Čas a energie potřebný k nalezení partnera a další úsilí před kopulací
- Složitý molekulární aparát determinující pohlaví
- Zvýšené riziko parazitace, pohlavní choroby
- Zvýšené riziko zabití predátorem
- Rozpad výhodných genových kombinací rekombinací
- Riziko, že rozmnožováním vznikne neplodné potomstvo



# PŘÍRODNÍ VÝBĚR (SELEKCE)

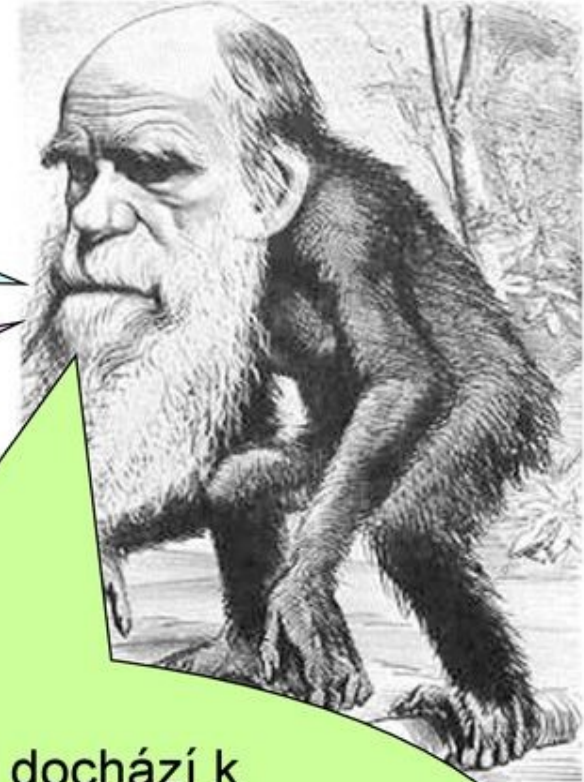


## Evoluce přírodním výběrem

Všechny organismy produkují více potomstva, než kolik může přežít a rozmnožit se.

Mezi jedinci (genotypy) existují geneticky podmíněné rozdíly v přežívání a reprodukci.

V každé generaci dochází k odlišnému přispění jednotlivých genotypů do generace následující, kdy nejschopnější genotypy přispívají do genofondu více než genotypy méně schopné.



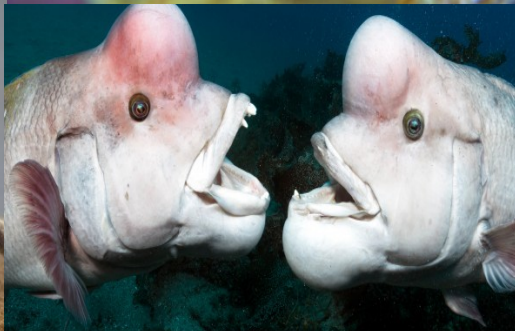
# Náklady na pohlavní rozmnožování - kompetice mezi samci o přístup k samicím





# Kompetice samců

- Intrasexuální selekce
- Samci podstupují často extrémní kompetici, aby si zajistili přístup k samicím a páření
- Ke kompetici jsou často využívány sekundární znaky, které nejsou k vlastnímu páření využívány



# Pohlavní výběr – vybírá si samice

- Intersexuální selekce
- Samice si vybírá samce, který zvyšuje šanci na přežití potomstva
- Porovnává jejich sekundární sexuální znaky
- Samice vybírá samce podle toho jak vypadá, jak se chová a podle okolností





## Pohlavní výběr



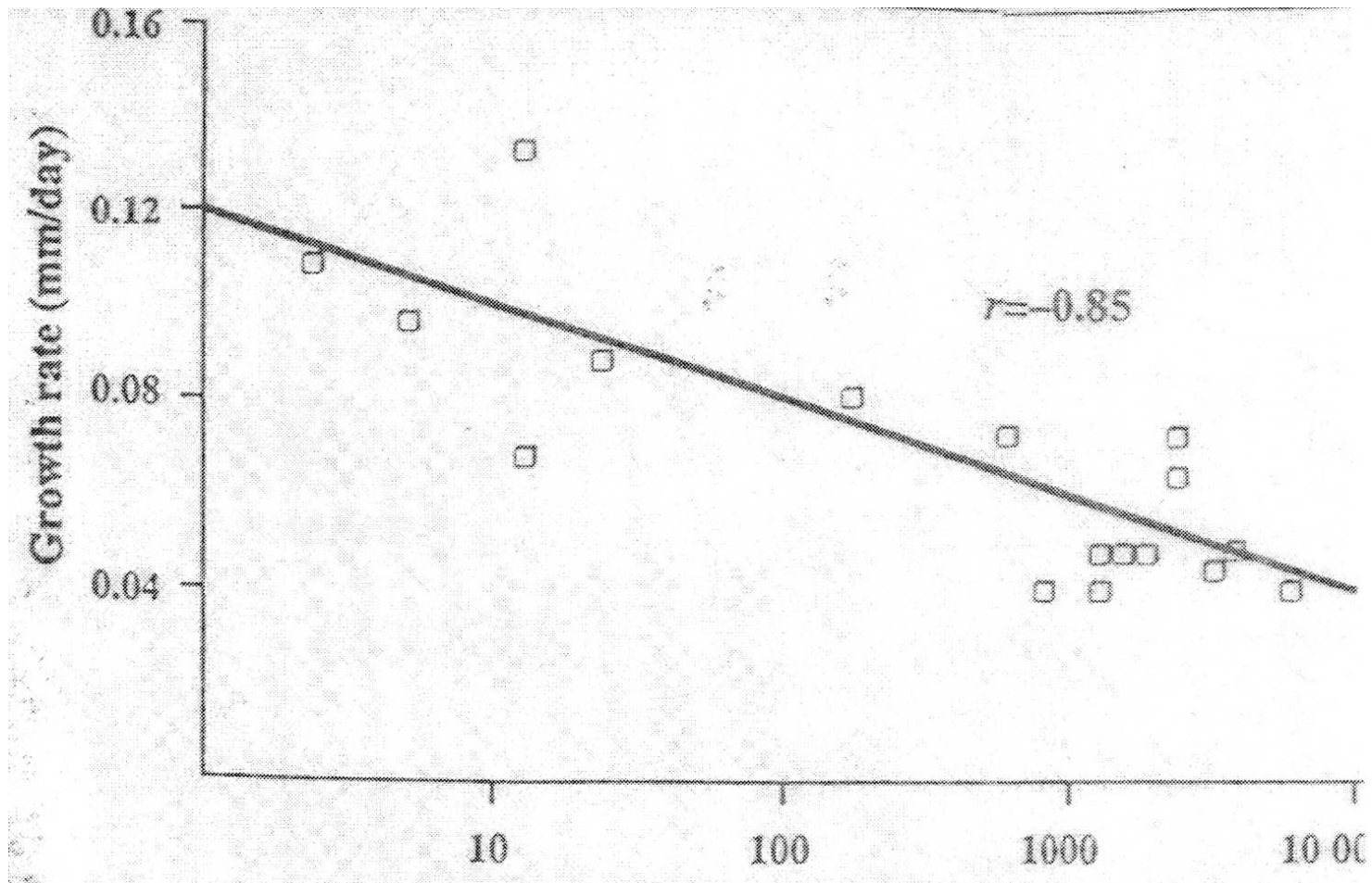
Tvorba párů - nápadné (nákladné) adaptace samců



# Alokace energie do rozmnožování

- Lze zobecnit, že juvenilní poikilotermní živočichové mají větší růstovou účinnost, než juvenilní homoitermní.
- U velmi mladých juvenilů také homoitermové dosahují značných hodnot 50 až 70%, což odpovídá hodnotám typickým pro poikilotermy.
- Doposud existuje jen velmi málo údajů o tomto typu transformace energie a o této tzv. reprodukční účinnosti.
- U živočichu lze očekávat, že homoiotermní organismy budou do rozmnožování alokovat mnohem méně energie, než živočichové poikilotermní.

# Vztah mezi mírou růstu a reprodukční aktivitou



# Celkový energetický rozpočet organismu

Příklad studie Isopoda přílivového pásma druhu *Idotea baltica*

$$C = P + R + Ex + U + F$$

C = energie získaná ingescí

P = součet  $P_g$  (energie akumulovaná k růstu)

$P_r$  = energie využita na tvorbu gamet

Ex = energie spotřebovaná, metabolické ztráty

U = energie využitá na tvorbu všech typů exkrementů

F = energie obsažená ve výkalech



# Věk a velikost v dospělosti

Malé organismy nejsou obvykle malé proto, že být malým zvyšuje jejich plodnost nebo zmenšuje mortalitu. Jsou malé proto, že být velký vyžaduje určitý čas potřebný k růstu a při velké mortalitě se investice do velikosti nevyplatí pokud není kompenzována zvýšenou plodností. Optimální velikost těla tak přímo závisí na mortalitě, ale mortalita je často závislá na velikosti. Tato reciproční závislost je tak nepochybně zdrojem obrovské variability životních strategií v přírodě.

(Jan Kozlowski ,1991)



# V jakém rozsahu determinuje velikost organismu typ jeho životní strategie

Příklad: parazito-hostitelské systémy

- Předpokladem je, že pravý parazit by měl být menší než jeho hostitel
- Predátoři, např. draví filtrátoři, mohou být naopak i větší než jejich kořist
- Velikost těla konzumenta (parazita) je velmi plastická a je pod přímým vlivem hostitelského organismu
- Allometrický vztah mezi hostitelem-krabem a jeho parazitickým kastrátorem

*Portunium conformis* – celková délka



$r = 0.84, P < 0.1$

*Hemigrapsus oregonensis* – šířka karapaxu

# Věk a velikost v dospělosti

Dosažení dospělosti dělí život jedince na dvě části:

- 1) **vývoj jedince** – tedy na přípravu k rozmnožování
- 2) **na období reprodukce** – tedy naplnění tohoto poslání

**Velikost těla, při které živočichové dosahují zralosti  
je klíčová !**

Z hlediska fitness organismu je tento znak mnohem citlivější na změny, než jakýkoliv jiný charakter.

# Věk a velikost v dospělosti

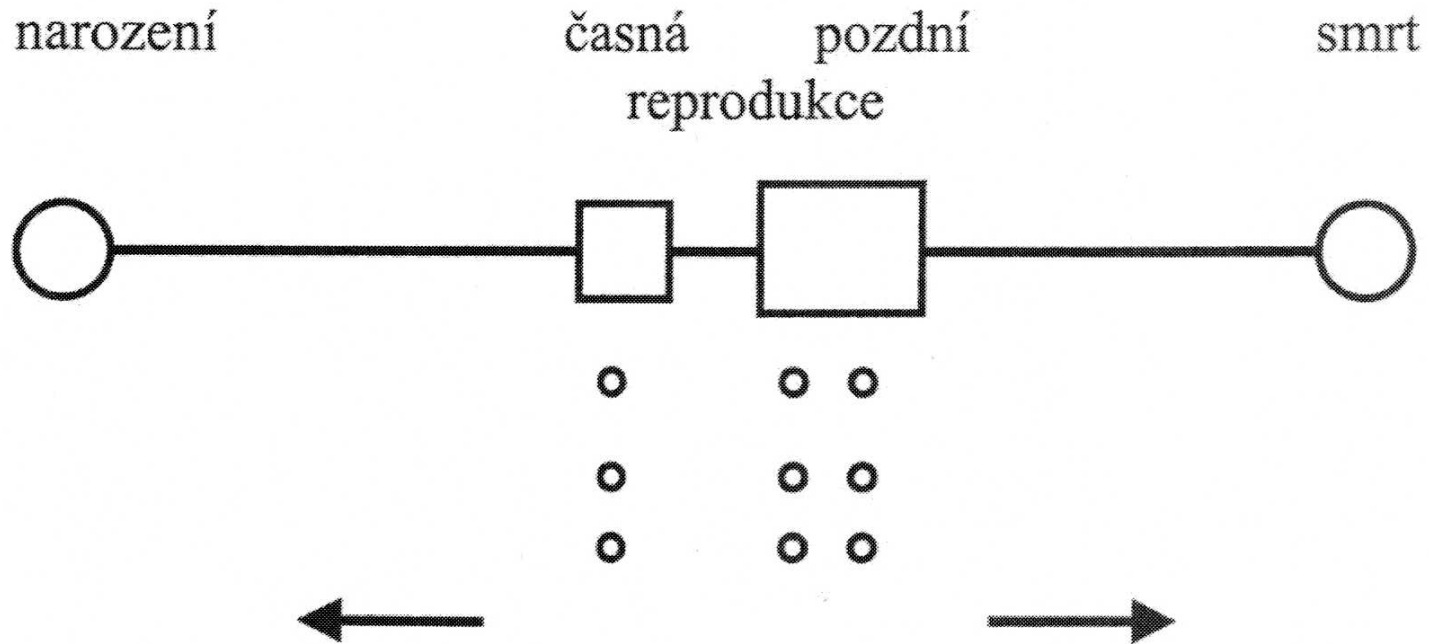
Z hlediska fitness organismu je tento znak mnohem citlivější na změny, než jakýkoliv jiný charakter.

S dosažením dospělosti (zralosti) se selekční tlak na organismus dramaticky mění.

Druhy, které se rozmnožují později jsou obvykle větší, žijí dlouho.

- Pokud se jedná o ptáky nebo savce, produkují obvykle málo potomků, ale jejich velikost je poměrně značná.
- Naproti tomu u plazů je charakteristický velký počet menších potomků.

# Výhody a nevýhody časně a pozdní reprodukce



## **Výhody časně reprodukce**

Kratší generační čas

Větší přežití v dospělosti dané kratším obdobím juvenilů

## **Výhody pozdní reprodukce**

Větší počáteční plodnost daná delším obdobím růstu

Nižší míra mortality juvenilů  
Větší celková plodnost daná delším obdobím růstu

# Výhody časně reprodukce

- Principiální výhody časně reprodukce vyplývají z demografie, tedy z ekologie populací – kratší generační čas.
- Při tomto typu rozmnožování stráví organismu ve stadiu juvenilů kratší dobu, což zvyšuje pravděpodobnost úspěšného dosažení dospělosti.
- Organismy s časnou reprodukcí mají rovněž větší fitness, protože jejich potomci se rodí dříve a začínají se také dříve rozmnožovat.

# Nevýhody časně reprodukce

Důležité jsou především následující dva faktory.

- 1) Pozdní reprodukce dovoluje další růst jedince a plodnost tak se může zvyšovat s velikostí. Pozdní reprodukce vede k větší počáteční plodnosti. Tato skutečnost může převážit výhody plynoucí z časně reprodukce. Z tohoto důvodu může být reprodukce odložena na pozdější dobu, protože růst fitness mající svůj původ ve větší plodnosti je převažuje nad poklesem fitness z důvodu delšího generačního času a menší mírou přežívání do dospělosti.
- 2) Pokud pozdní reprodukce má za následek větší kvalitu produkovaných potomků nebo se díky rodičovské péči snižuje jejich mortalita, bude tento typ reprodukce redukovat míru mortality juvenilních stádií. Tento efekt může rovněž převážit nad výhodami časně reprodukce. Maturace tak bude z tohoto důvodu odložena do té míry, kdy dojde růstu fitness vlivem většího přežívání juvenilů díky matčině větší velikosti při prvním porodu.

# **Existuje optimální věk a velikost, při které se organismus rozmnožuje ?**

Optimální věk a velikost organismu v dospělosti bude určitě výsledkem evolučních kompromisů (trade-off), které zajišťují rovnováhu mezi výhodami a nevýhodami rozmnožování při rozdílném věku a velikosti organismů.

Existují dva přístupy ke studii tohoto problému:

- 1) Spočívá v analýze dvou typů evolučních kompromisů;
  - jednoho mezi časným rozmnožováním a plodností
  - druhého mezi časným rozmnožováním a přežíváním potomků
- 2) Spočívá v analýze vztahu mezi růstem a plodností a za kritérium fitness organismu považuje počet vyprodukovaných potomků:

# Doba dosažení zralosti

**Lze tak uzavřít, že pokud pozdní reprodukce (doba dosažení zralosti) bude znamenat delší dobu života organismu, jeho větší velikost, více reprodukčních období, větší plodnost při větším věku nebo prostě bude znamenat větší reprodukční úspěch v pozdějším věku, bude reprodukce (maturace) odložena na pozdější dobu!**

**Jaký je výskyt různých typů maturace v taxonomickém přehledu živočichů?**

**Jaké jsou příčiny časných a pozdních maturací ?**



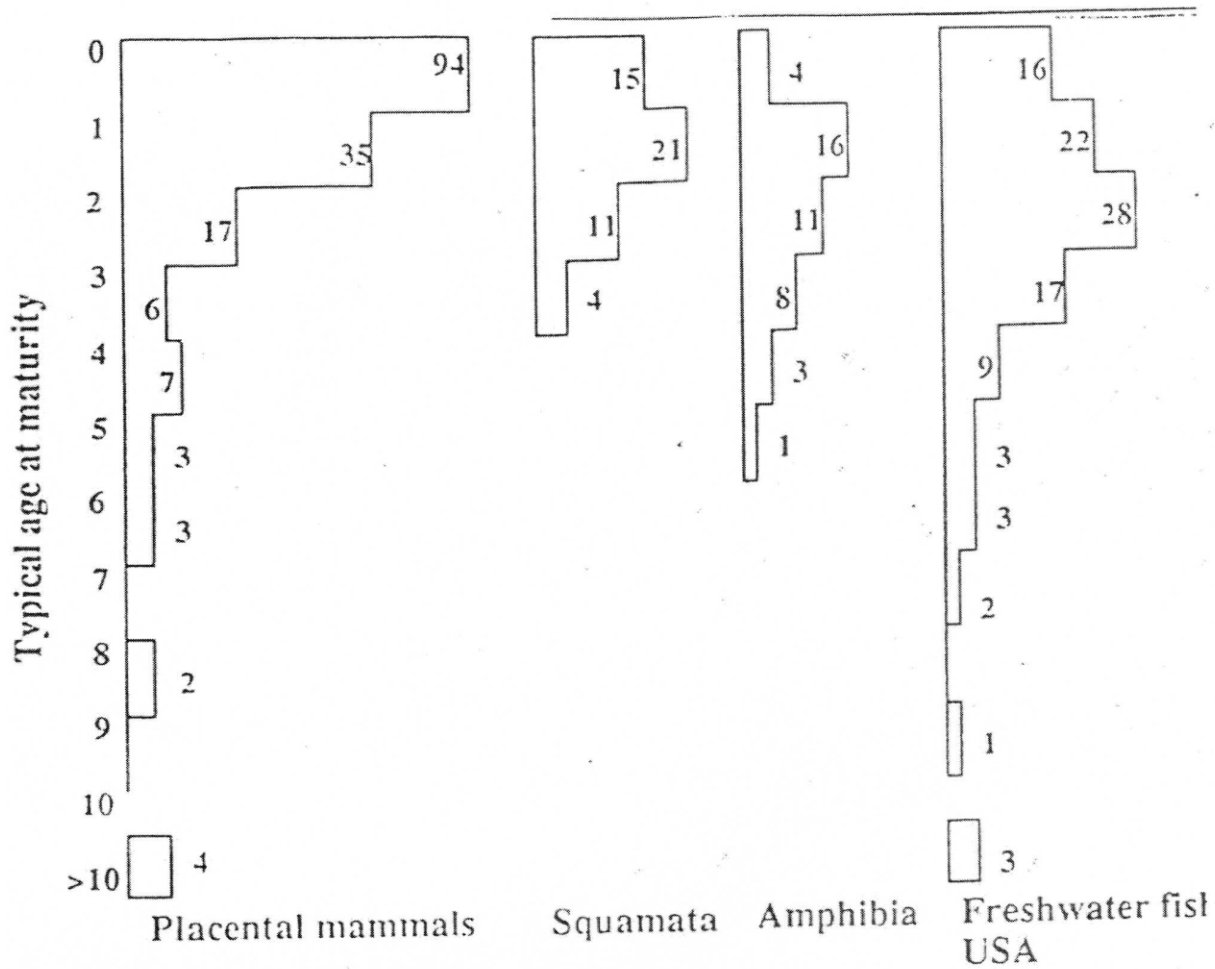
# Frekvence typického věku zralosti

Jasný trend k časnější reprodukci placentálních savců ve srovnání se Squamata, Amphibia i rybami – viz obr

Rozsah věkových kategorií je velký jen u savců a ryb.

Existují variace v dosahování maturace u různých populací téhož druhu?

# Frekvence distribuce typického stáří dospívání u čtyř skupin obratlovců



# Sociální vlivy - bimaturationismus

## **Jaký bude vliv pohlavní struktury populace na rozdíly v dosahování dospělosti ?**

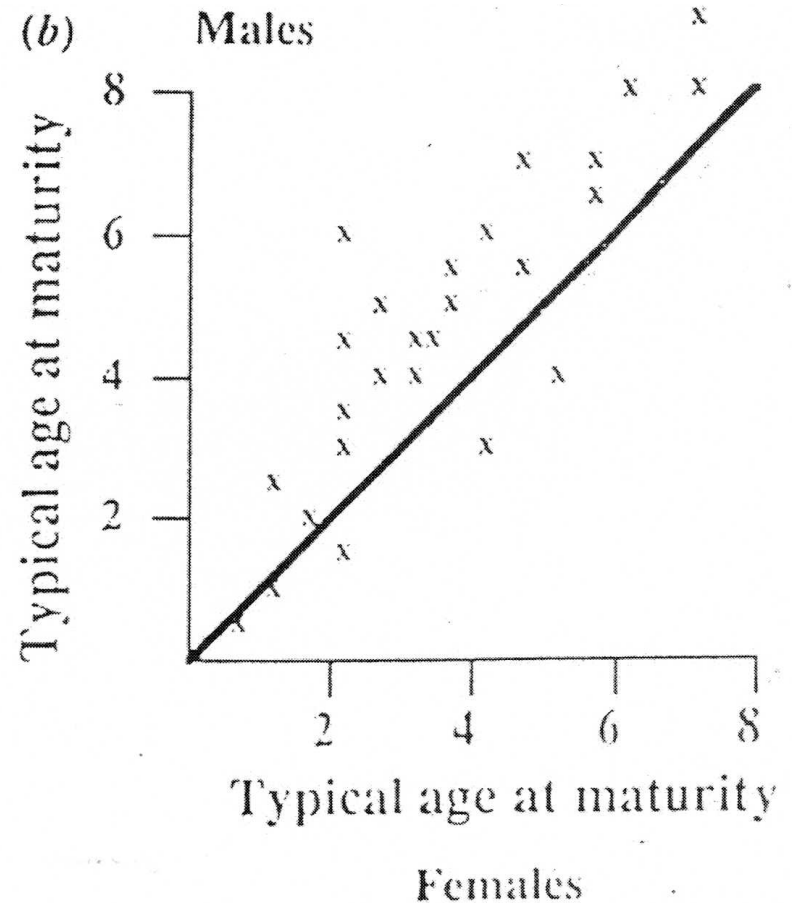
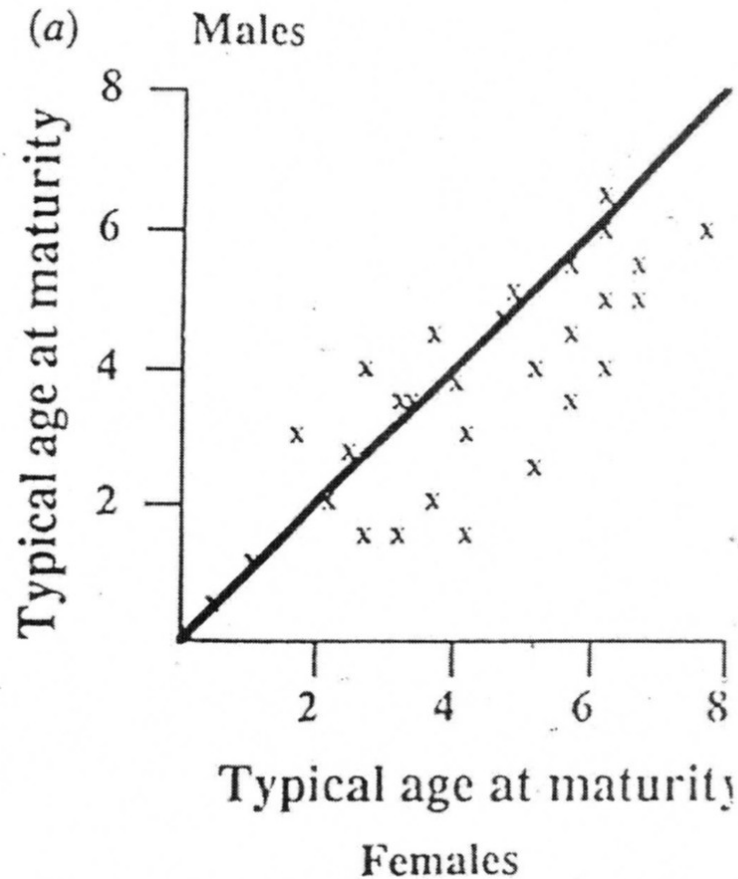
U polygenních druhu, kde samci bojují mezi sebou o samice bude tendence oddálit dobu dosažení zralosti. Prodlužuje se tak období růstu a míra nabytých zkušeností, které jedinec samec využívá pro dosažení reprodukčního úspěchu.

Je to známo u tulenu, lvounů, delfínů, koní, koz, ovcí, jelenů, tetřevů, pyskounů a primátů- viz. obr.

Naproti tomu u promiskuitních druhu, u druhu s vnějším oplozením a vyznačujících se neomezeným růstem, kde samci nemají kontrolu na přístupem k samicím, budeme očekávat opačnou situaci.

Samice jsou v tomto případě větší než samci a jejich plodnost roste s jejich velikostí – platí pro většinu ryb – viz obr

# Sociální efekty: bimaturlsmus



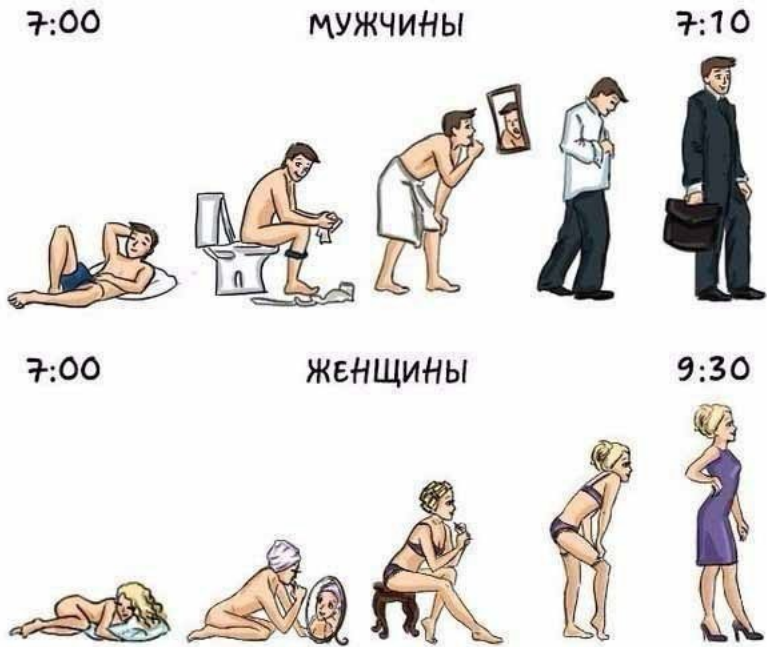
**Sexuální bimaturlsmus** popisuje rozdíl v načasování vývoje mezi muži a ženami stejného druhu. Sexuální bimaturlsmus může vyústit v [sexuální dimorfismus](#), ale sexuální dimorfismus by se mohl vyvinout také prostřednictvím různých rychlostí vývoje

# Sexuální bimaturationismus u primátů



# Bimaturismus u lidí ☺

## СОБИРАЮТСЯ НА РАБОТУ



## ВИДЯТ СЕБЯ В ЗЕРКАЛЕ



# Modely optimalizace vztahu mezi věkem a velikostí těla

## **Modely optimalizace vztahu mezi věkem a velikostí těla při dosažení zralosti**

Základní idea těchto modelů spočívá v tom, že existuje rovnováha mezi výhodami a nevýhodami, která je determinující pro daný charakter (znak) mající určitou míru variability.

**Cena výhody a nevýhody reprodukce je placena "měnou" fitness !**

# Modely optimalizace

Vyjádříme-li vztah mezi výhodami a nevýhodami vůči věku dosažení zralosti dostaneme grafické znázornění, ze kterého vyplývají následující skutečnosti- viz obr.

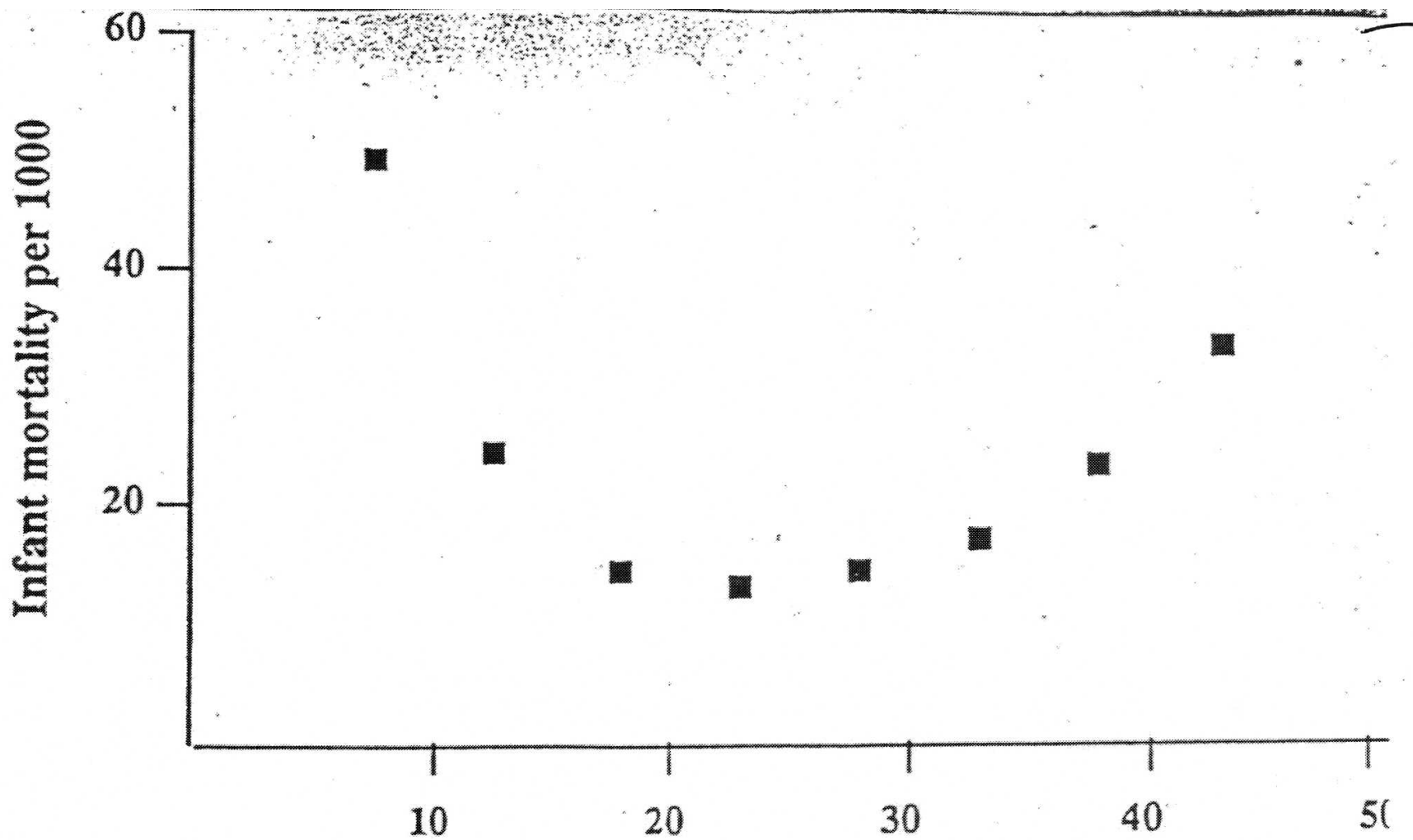
Pokud převládají výhody nad nevýhodami určitého typu reprodukce vzhledem k danému věku samic bude cena odpovídat míře růstu populace ( $r > 0$ ).

Pokud samice dospívají příliš brzy je cena reprodukce příliš vysoká a převládají nevýhody ( $r < 0$ ).

Například u lidí existuje studie založená navíc než 100 000 případech úmrtí novorozenců v závislosti na věku matky. Je-li věk matky příliš nízký nebo naopak vysoký, zvyšuje se riziko úmrtí narozeného dítěte - viz. obr.



# Mortalita kojenců jako funkce věku matek



# Existuje optimální věk a velikost, při které se organismus rozmnožuje ?

Optimální věk a velikost organismu v dospělosti bude určitě výsledkem evolučních kompromisů (trade-off), které zajišťují rovnováhu mezi výhodami a nevýhodami rozmnožování při rozdílném stáří a velikosti organismu.

Existují dva přístupy ke studii tohoto problému:

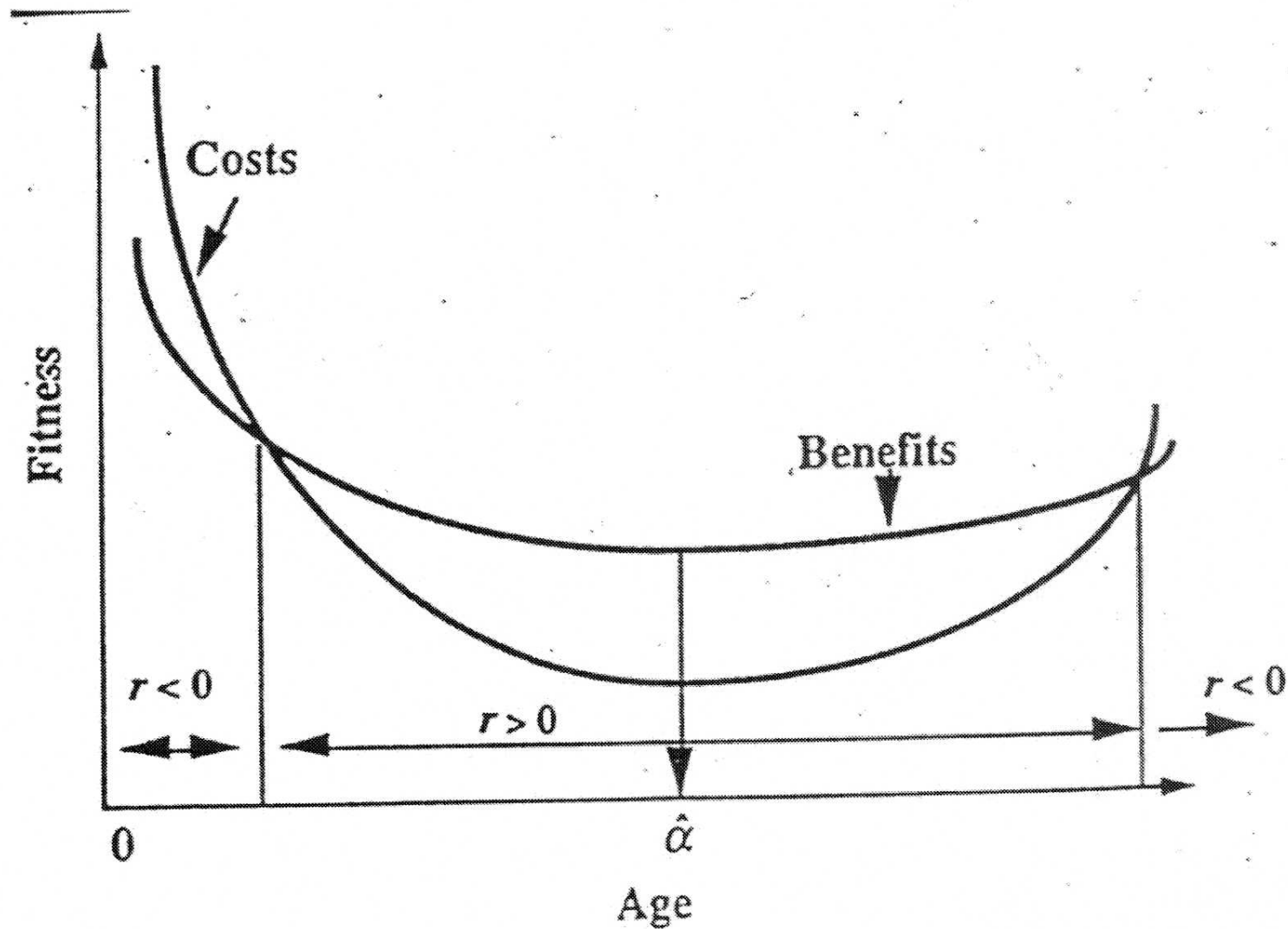
1) Spočívá v analýze dvou typů evolučních kompromisů:

- jednoho mezi časným rozmnožováním a plodností
- druhého mezi časným rozmnožováním a přežíváním potomků

2) Spočívá v analýze vztahu mezi růstem a plodností a za kritérium

- fitness organismu považuje počet vyprodukovaných potomků

# Predikční model optimálního věku dosažení dospělosti



# Optimální věk a velikost

Vztah:

$$R_0 = l_x m_x$$

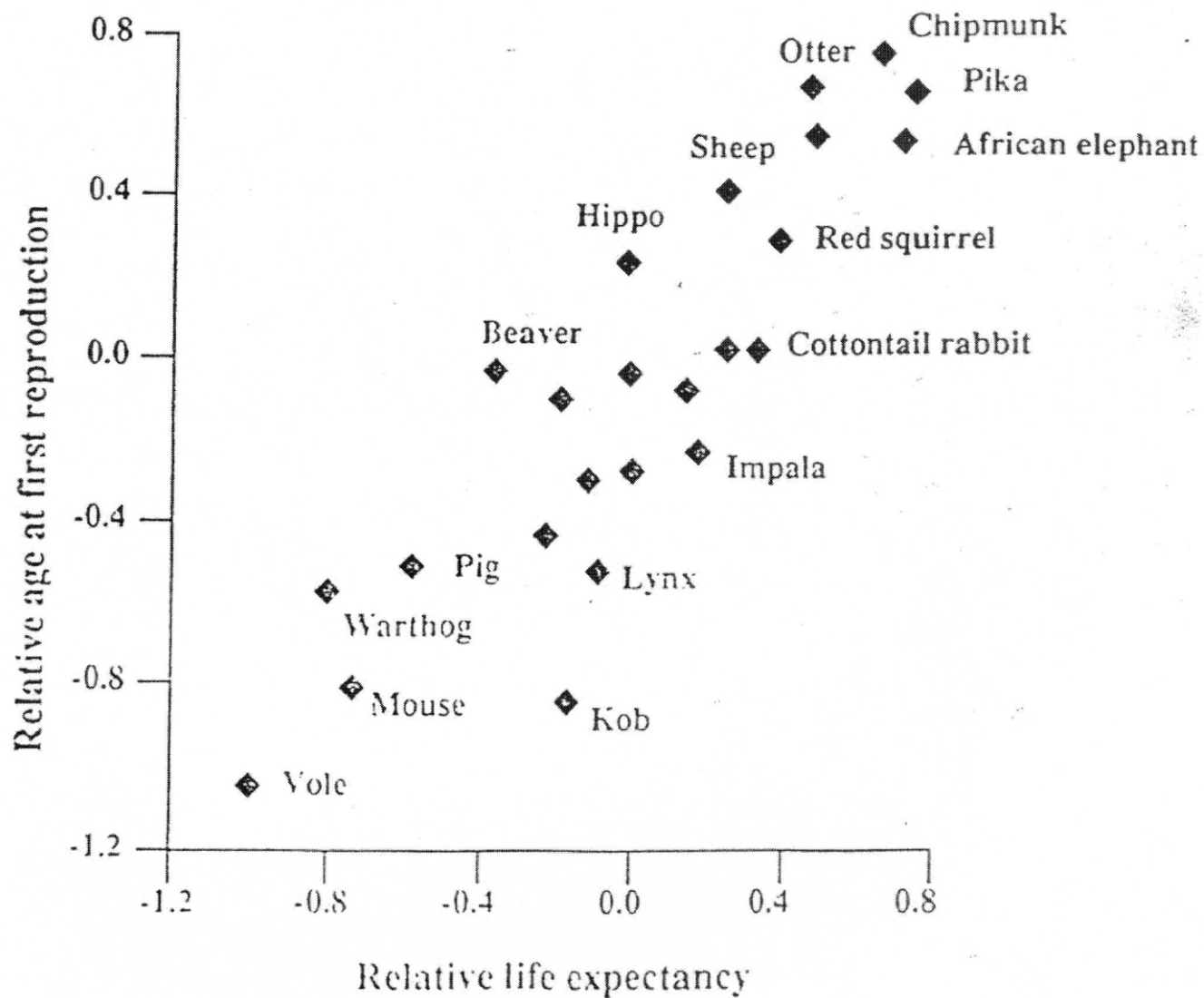
$R_0$  = míra růstu populace

$l_x$  = přežití do věku  $x$

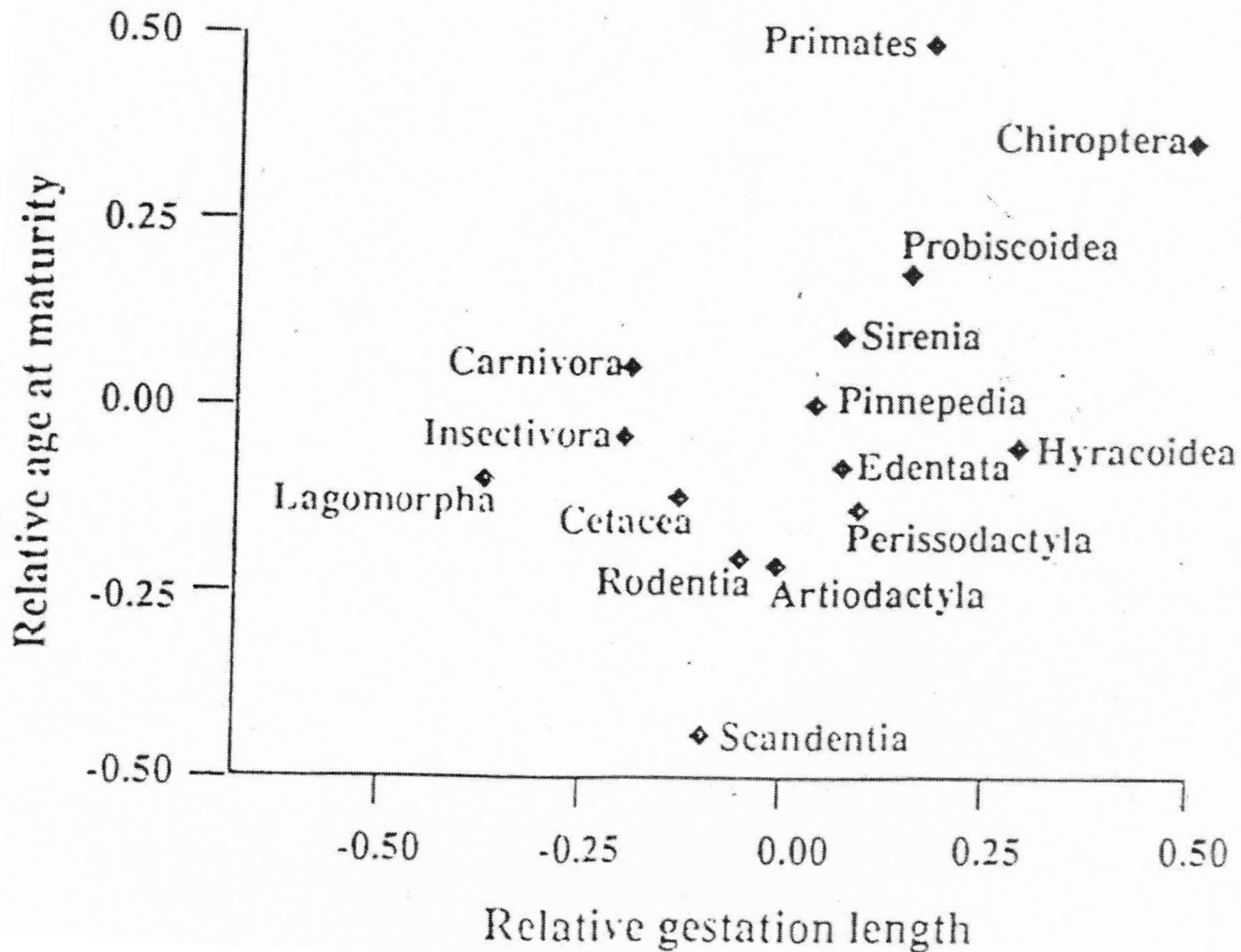
$m_x$  = míra mortality

Oba přístupy předpokládají určitou optimalizaci reakcí organismů při daném věku a velikosti

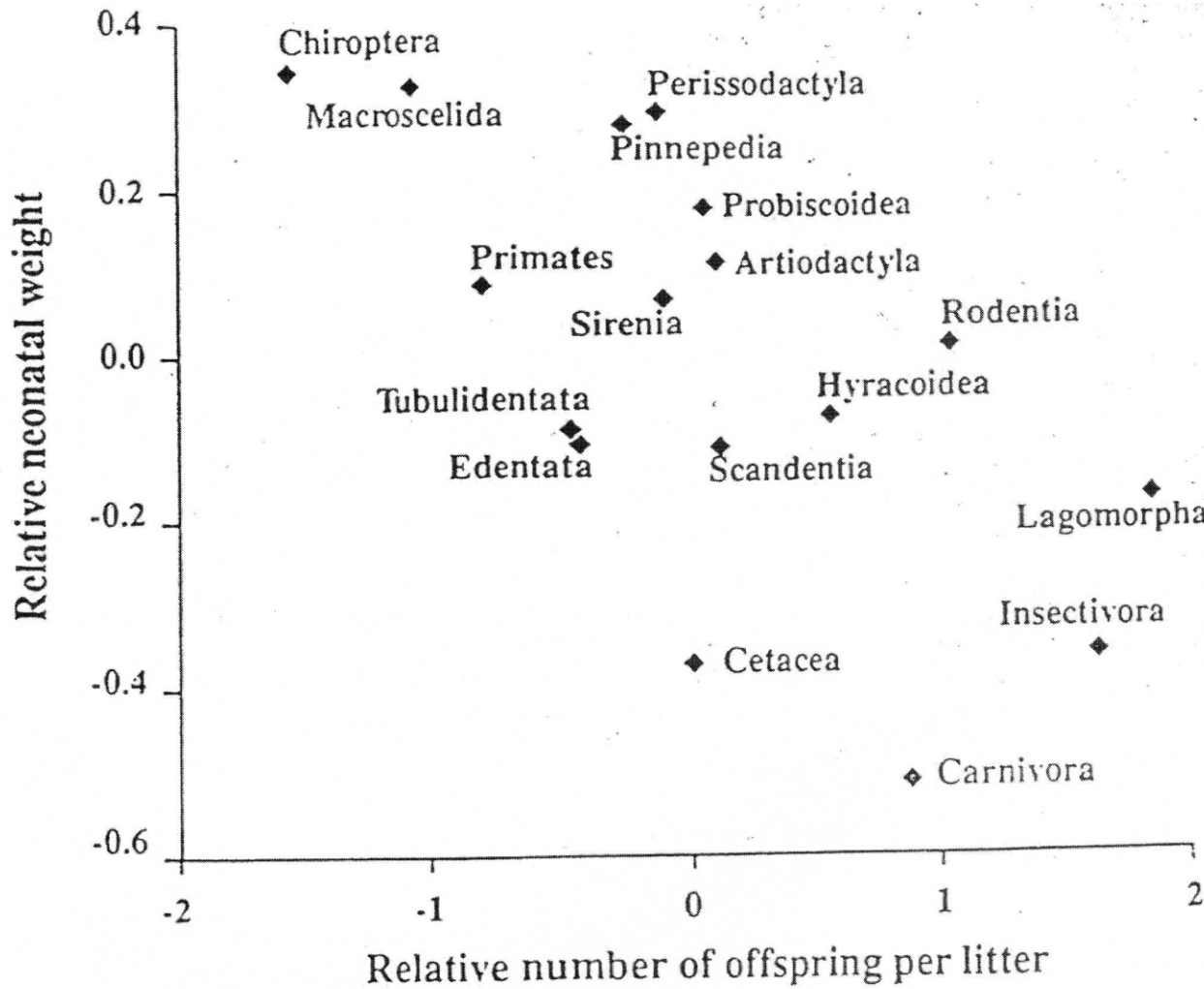
# Vztah relativního stáří při rozmnožování a relativní délky života



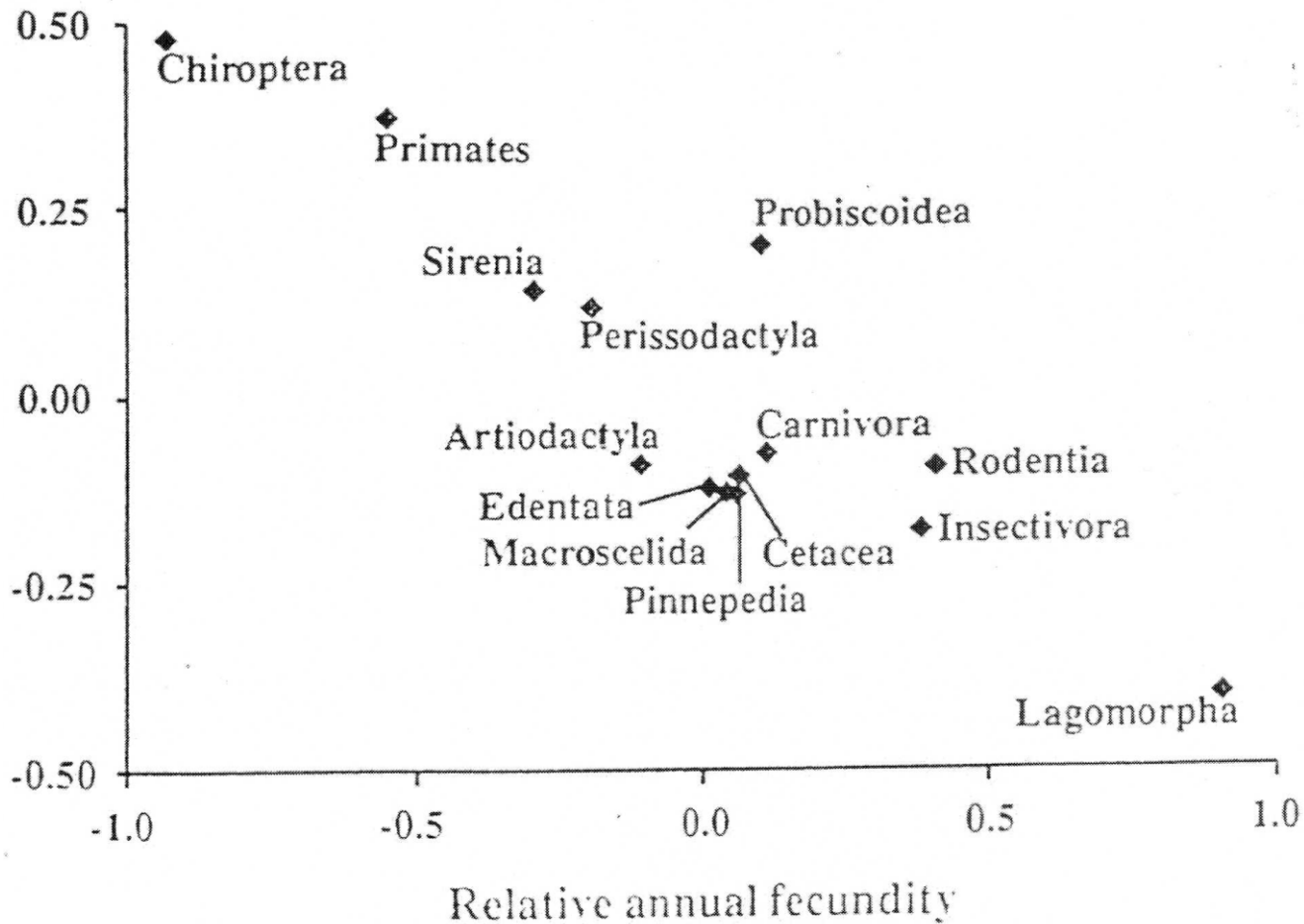
# Vztah relativní délky březosti a relativní délky života



# Vztah mezi počtem potomků a jejich hmotností při porodu

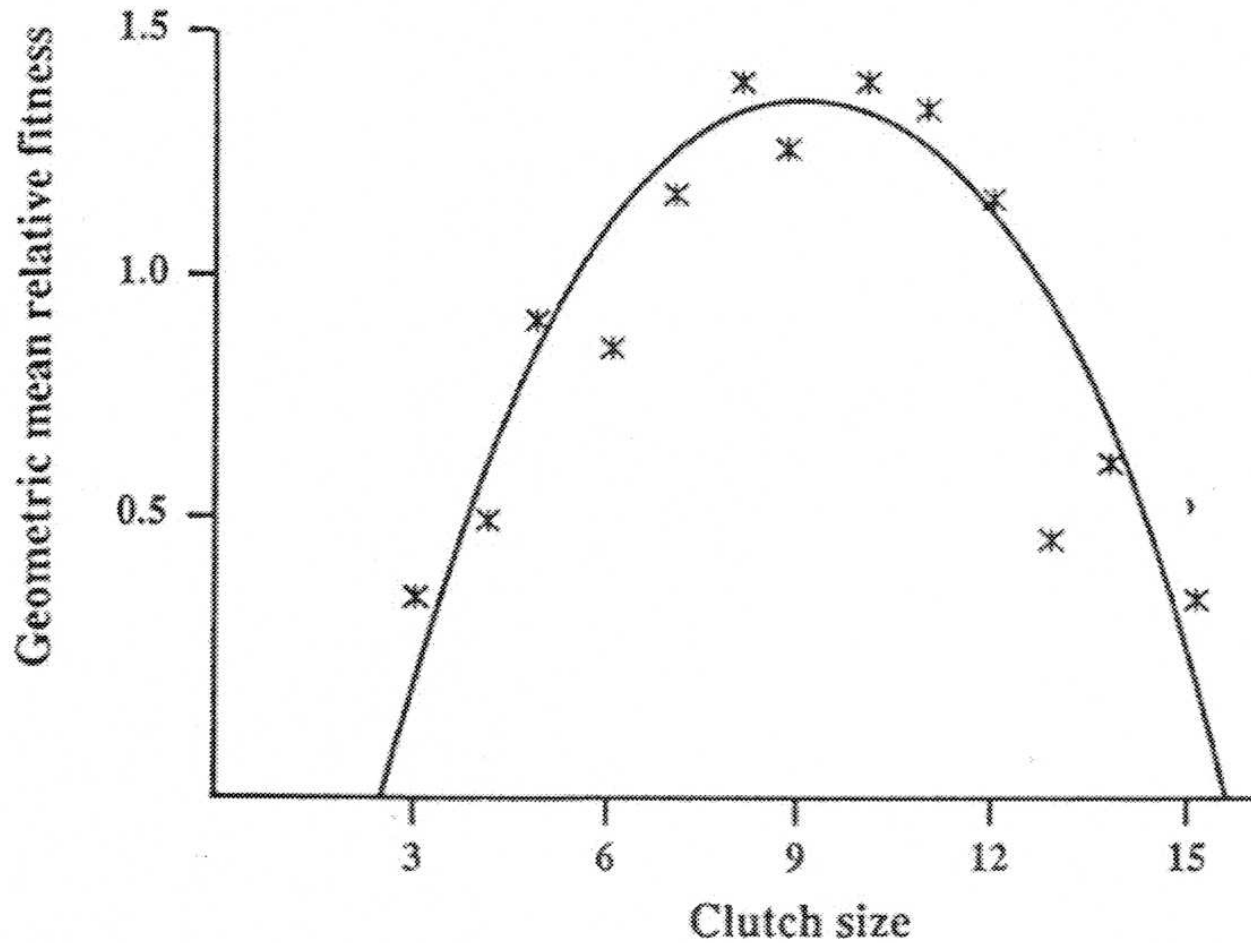


# Vztah mezi roční plodností a délkou investice samice do potomstva





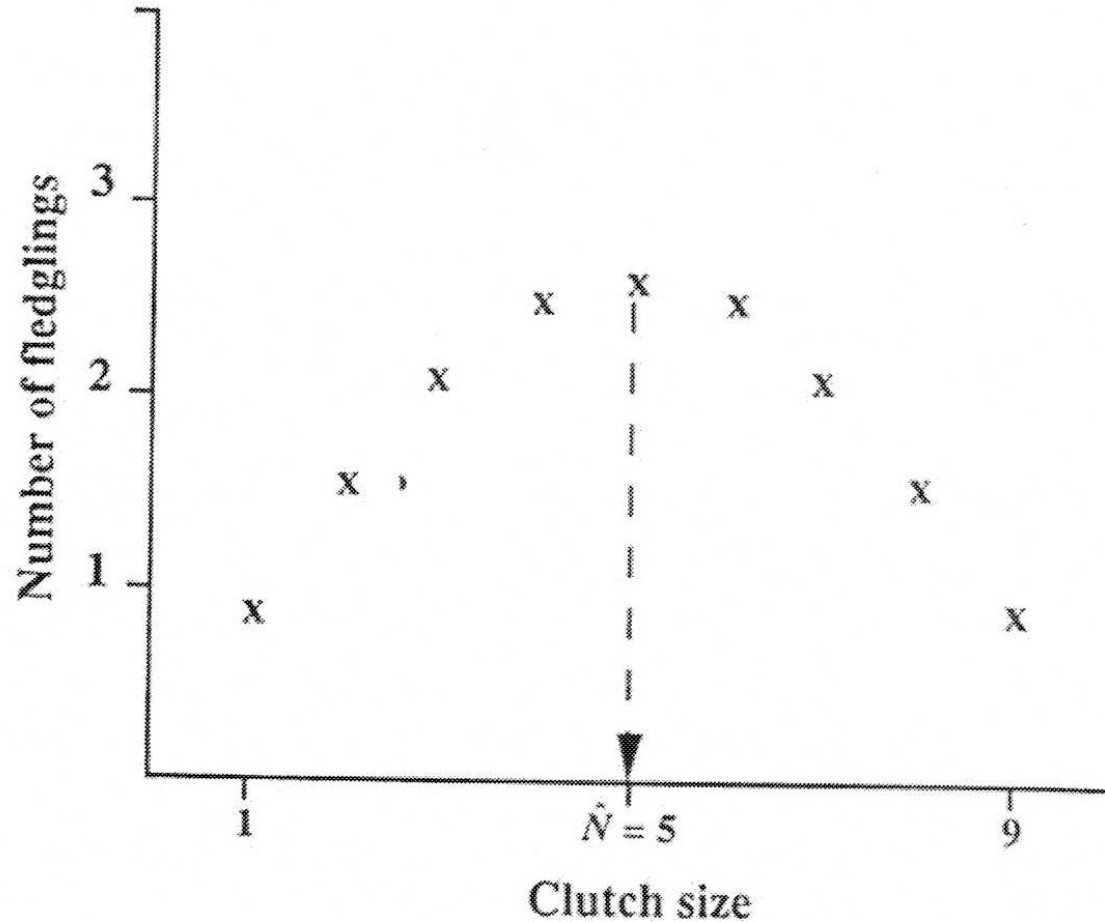
# Geometrický model průměrného fitness jako funkce velikosti snůšky



# Shrnutí dat o velikosti snůšek: vliv růst velikosti snůšek

Trait	Number of studies		Effect of increase			% negative
	Reported	Not reported	+	-	0	
<b>Offspring</b>						
$N_f$ = number fledged	53	2	40	7	6	
$M_f$ = weight of fledglings	40	15	0	27	13	68
$S_o$ = survival in nest	44	11	0	28	16	64
$S_f$ = survival to next season	15	40	0	8	7	53
$B_o$ = future reproduction	3	52	0	3	0	100
<b>Parents</b>						
$M_p$ = weight of parents	17	38	0	7	10	41
$S_p$ = survival to next season	14	41	0	5	9	36
$B_p$ = future reproduction	14	41	0	8	6	57

# Lackův model hypotézy nejproduktivnější velikosti snůšky



# Evoluční (životní) strategie



# V jakém rozsahu determinuje velikost organismu typ jeho životní strategie ?

## **Příklad parazito-hostitelské systémy:**

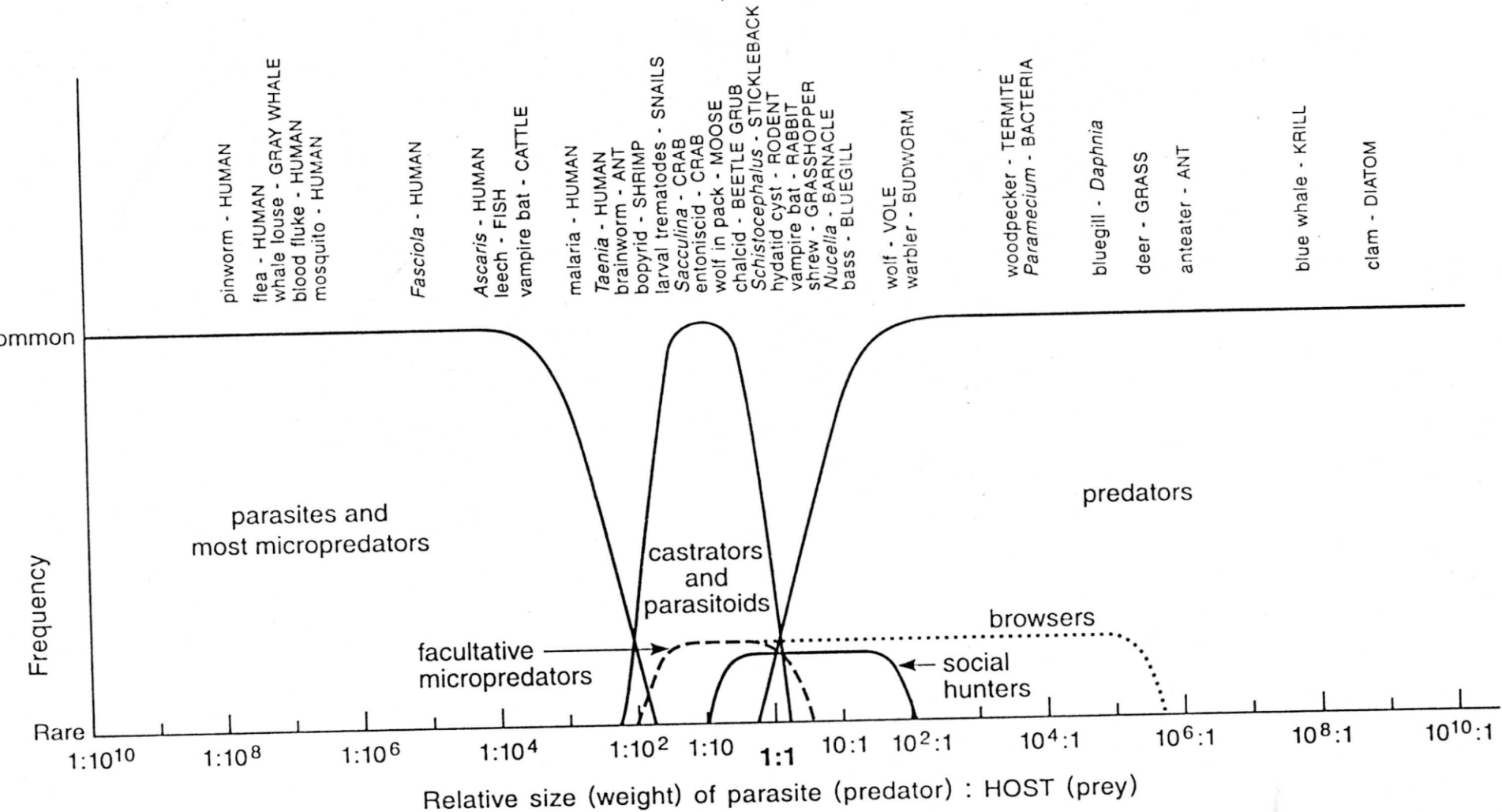
Předpokladem je, že pravý parazit by měl být menší než jeho hostitel.

Predátoři, např. draví filtrátoři, mohou být naopak i větší než jejich kořist.

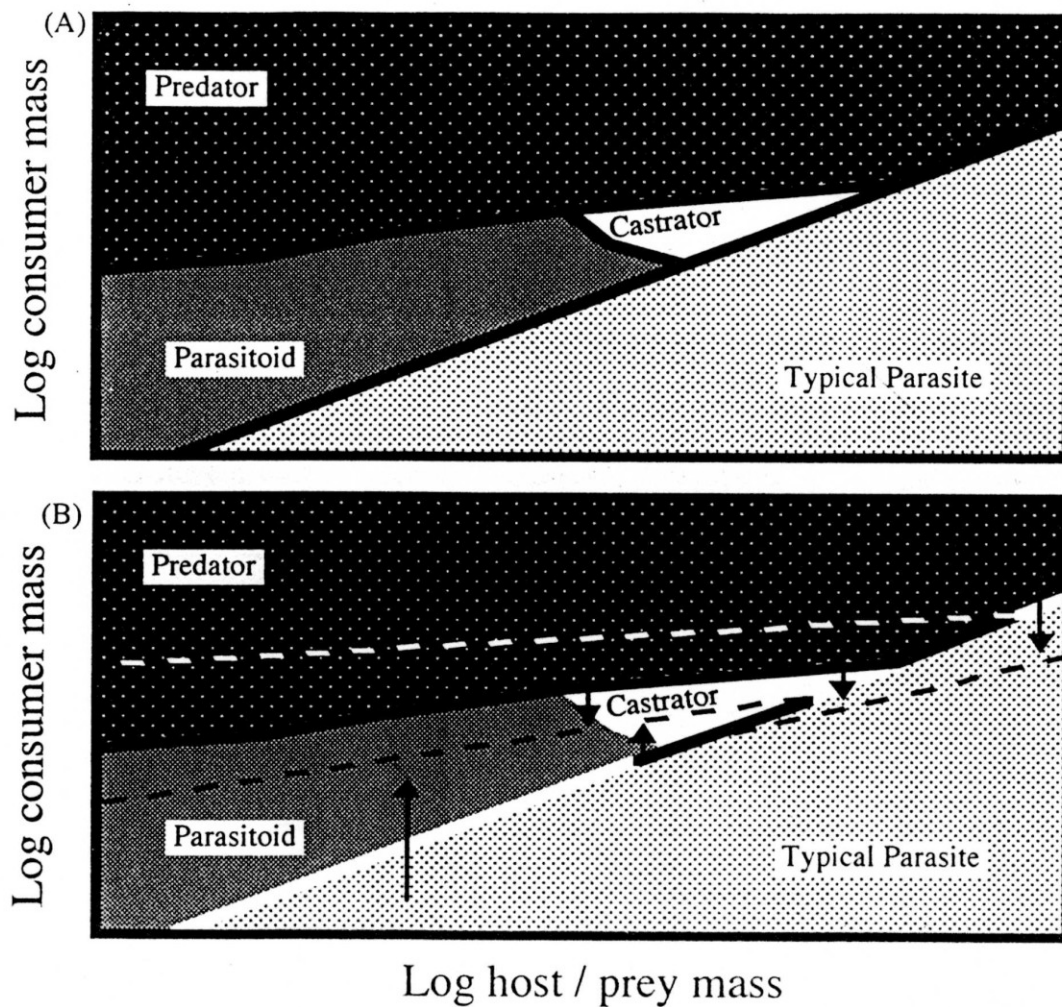
Důležité je si uvědomit, že velikost těla konzumenta (parazita) je velmi plastická a je pod přímým vlivem hostitelského organismu (paraziti, parazitoidi, kastrátoři).

Allometrický vztah mezi hostitelem-krabem druhu *Hemigrapsus oregonensis* a jeho parazitickým kastrátorem *Portunion conformis* (Isopoda).

# Frekvence relativní velikosti těla konzumentů a jejich kořisti/hostitelů



# Vztah mezi evoluční strategií konzumentů a hmotností jejich kořisti/hostitelů



# Existuje vztah mezi velikostí těla a typem evoluční strategie ?

Konzumenty můžeme podle povahy trofické závislosti na potravě rozlišit do těchto čtyř kategorií:

**Parazit** = individuální konzument napadající jednoho hostitele a působící mu obvykle malou patogenní reakci.

**Parasitoid** = individuální konzument napadají pouze jednoho jedince hostitele, kterého vždy zabíjí. Parasitoidům jsou velmi podobni parazitární kastrátoři, kteří zabíjejí jedince v evolučním slova smyslu. Neovlivňují nijak život jedince u kterého parazitují, avšak energii, kterou jejich hostitel věnuje do svého rozmnožování využívají ke své reprodukci. Funkční podobnost parasitoidů a kastrátorů vyplývá také z toho, že zde existují symbiontičtí zástupci.

**Predátor** = individuální konzument napadá a zabíjí během svého života více než jednoho jedince kořisti. Většina predátorů nemá povahu symbiontů. Výjimku tvoří například Copepoda čeledi Nicothoidae; zástupci Nemertini živící se snůškami vajec krabů a mnoho vysoce specifických nahožábřých žijící v koloniích a živícími se mechovkami, polypy aj.

**Mikropredátor** = individuální konzument napadající během svého života více než jednoho jedince kořisti/hostitele a působící malou nebo žádnou patogenní reakci. Odnímá pouze malé množství potravy a pak kořist opouští. Mikropredátoři jsou často vektory jiných patogenních agens a mohou mít se svými hostiteli řadu jiných typů interakcí.



# Typy životních strategií

**Typický parazit**

**adultní motolice  
Ichthyophthirius multifiliis**

**Patogen**

**Giardia intestinalis  
Coccidae – Homoptera**

**Troficky přenosný  
typický parazit**

**metacerkarie motolic  
larva Anisakis**

**Troficky přenosný  
patogen**

**cysta Echinococcus  
sporozoiti Toxoplasma  
Trypanosoma – na vektor**

**Částečný kastrátor**

**cysticerkoid Hymenolepis diminuta  
Bopyridae – Isopoda**

**Parazitární kastrátor**

**Rhizocephala  
Strepsiptera  
redia a sporocysty motolic**

# Typy životních strategií

**Částečný kastrátor**

**cysticerkoid *Hymenolepis diminuta*  
Bopyridae – Isopoda**

**Parazitární kastrátor**

**Rhizocephala  
Strepsiptera  
redia a sporocysty motolic**

**Troficky přenosný  
parazitární kastrátor**

**plerocerkoid *Schistocephalus*  
cystacanth vrtejšů  
cysticerkoid dilepidních tasemnic  
v mravencích**

**Parasitoid**

**Braconidae – vosy  
Bruchidae – larvy brouků**

# Typy životních strategií

**Mikropredátor**

**komáři**

**Cicadellidae – Homoptera**

**Koala**

**Herbivor**  
**(pastva/ regenerace)**

**jeleni**

**plazi požírající části končetin ještěrek**

**Sociální predátor**

**vlci ve smečce**

**kosatky**

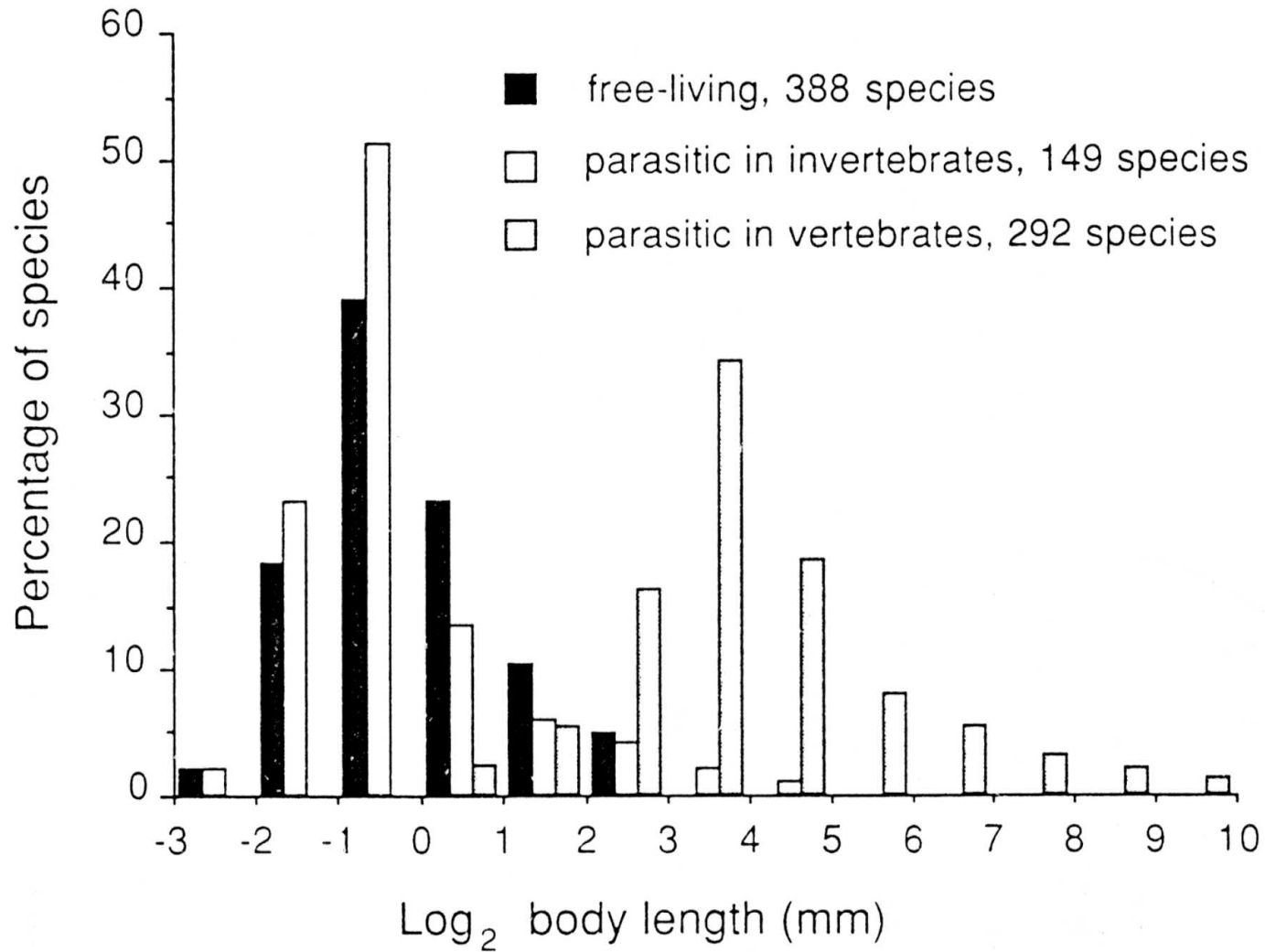
**Predátor**

**hvězdice**

**Tunicata**

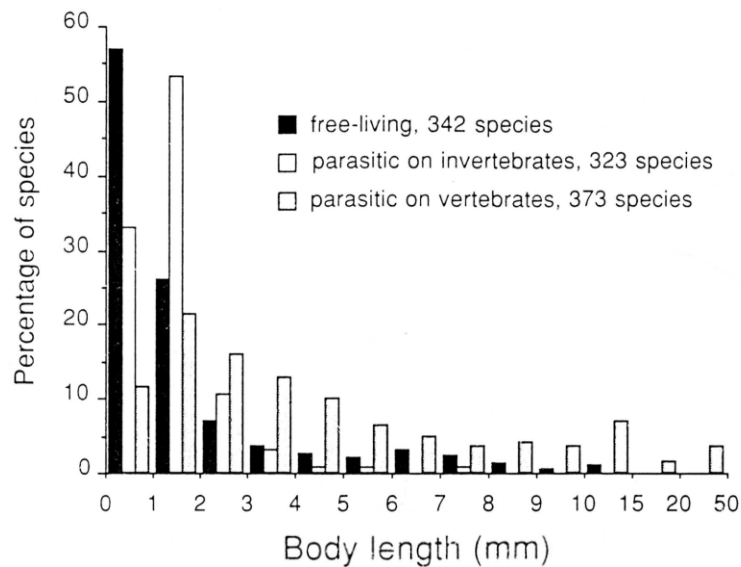
**vrabci**

# Frekvenční distribuce velikosti těla nematodů

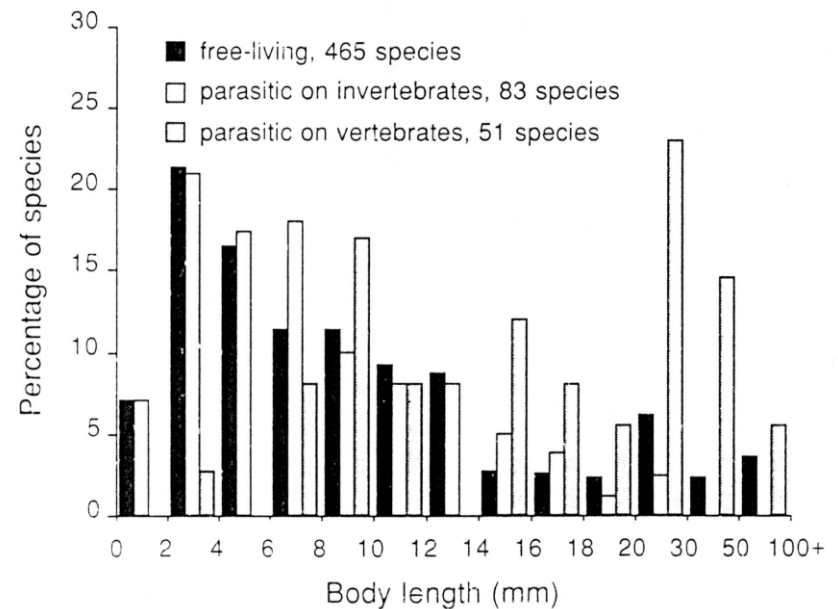


# Frekvenční distribuce velikosti těla korýšů

## Copepoda



## Isopoda



# Jaké známe antagonistické interakce ?

- V závislosti na intenzitě můžeme rozlišit celkem 12 typů antagonistických interspecifických interakcí.
- Z tohoto počtu má 8 povahu parazito-hostitelského vztahu a čtyři zbývající jsou různé typy predace.

# Typy antagonistických interakcí

		Počet hostitelů / napadené kořisti		
		1 hostitel	> 1 hostitel / kořist	
		Je smrt hostitele nezbytná ?		
		Ne	Ano	
RRV	> 0	typický parazit patogen	troficky přenosný typický parazit troficky přenosný patogen	mikropredátor pastva / regenerace
	= 0	částečný kastrátor parazitární kastrátor	Troficky přenosný parazitární kastrátor parasitoid	sociální predátor predátor

# Je nezbytné zabít svého hostitele ?

- Dichotomie 2 x 2 oddělující parazity vyžadující smrt hostitele.
- Umožňuje oddělit parasitoidy a kastrátory.
- Vzniká nová kategorie troficky přenosných parazitů



# Je smrt hostitele nezbytná ?

		Počet hostitelů / napadené kořisti	
		1 hostitel	> 1 hostitel / kořist
		Je smrt hostitele nezbytná ?	
		Ne	Ano
RRV	> 0	typický parazit	troficky přenosný typický parazit
	= 0	parazitární kastrátor	parasitoid
		mikropredátor	
		predátor	

# Typy interspecifických interakcí podle povahy trofického vztahu mezi konzumentem a jeho kořistí/hostitelem

Vliv na RRV hostitele	Počet hostitelů napadených individuálním konzumentem	
	Jeden hostitel	Více hostitelů
RRV > 0 (hostitel přežívá)	<b>Parazit</b> metacerkárie adultní motolice Giardia Coccidae (Homoptera) malárie	<b>Mikropredátor</b> komáři pijavky mihule Cicadellidae (Homoptera) koala
RRV = 0 (hostitel je usmrcen)	<b>Parasitoid</b> Braconidae (vosy) Tachinidae (mouchy) Gordius (larva) Hyperiididae (amphipoda)	<b>Predátor</b> hvězdice kočkovití vlci Tunicata
	<b>Parasitární kastrátoři</b> redie a sporocysty plerocerkoid Schistocephalus Rhizocephala Entoniscidae (Isopoda) Srepsiptera	

\*) RRV = residual reproductive value

# Typy antagonistických vztahů

Trofické (antagonistické) vztahy mezi jednotlivými konzumenty a jejich kořistí (hostiteli) můžeme dělit podle těchto čtyř hledisek:

- počet využívaných jedinců kořisti (hostitelů)
- nezbytnost usmrcení kořisti (hostitele)
- způsob působení na fitness kořisti (hostitele)
- závislost působení na intenzitě působení

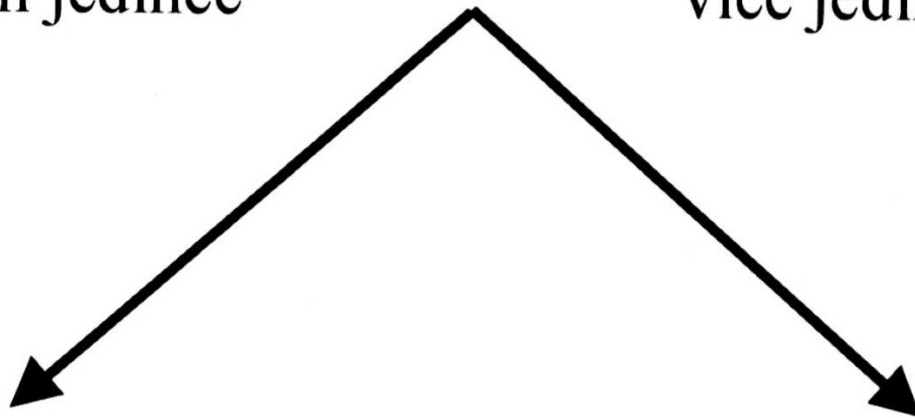
# Podle počtu využívaných jedinců kořisti (hostitelů)

jeden jedinec

více jedinců

**PARAZIT**

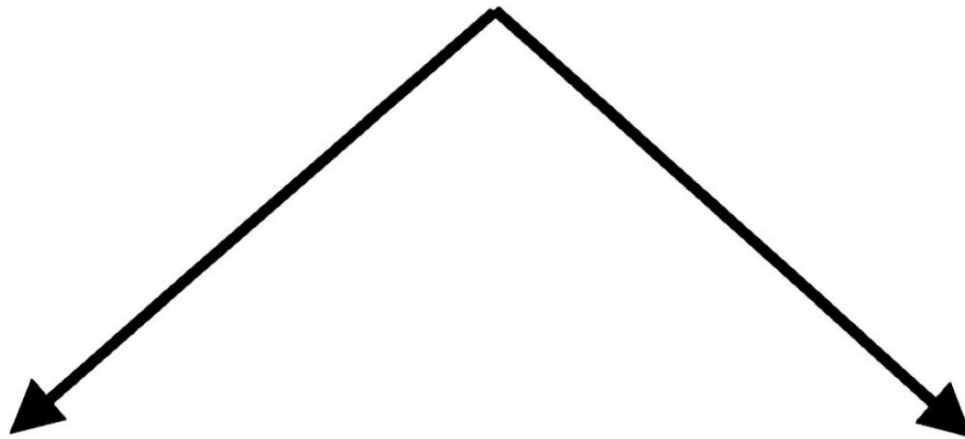
**PREDÁTOR**



**Podle způsobu působení na fitness hostitele**  
(RRV = residual reproductive value)

**RRV > 1**

**RRV = 0**



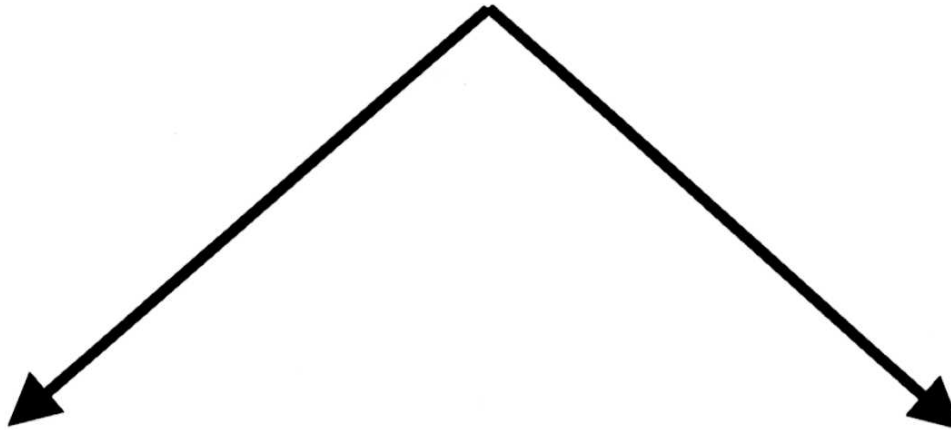
**PARAZIT**

**KASTRÁTOR**

# Podle nezbytnosti usmrtit kořist (hostitele)

**Ne**

**Ano**



**PARAZIT**

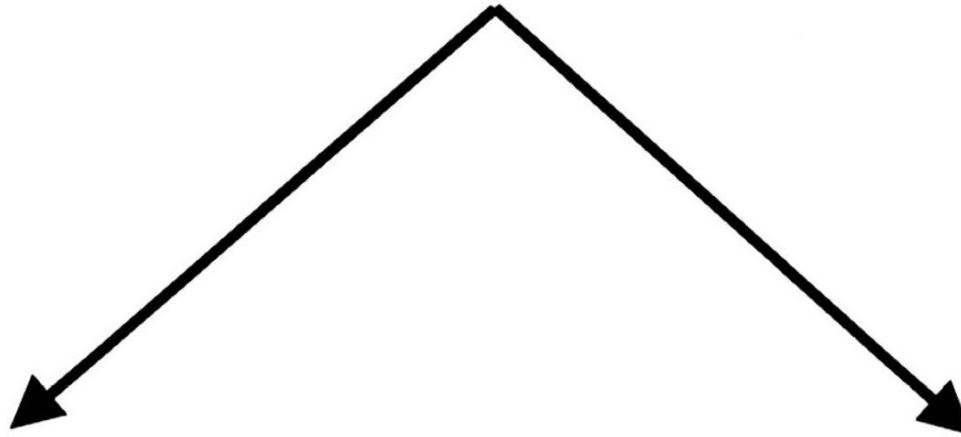
**PARASITOID**

# Podle závislosti na intenzitě působení

závislý

na intenzitě

nezávislý



**PARAZIT**

**PATOGEN**

Děkuji za pozornost !





