

2021 年秋季学期

第 12 讲 种内关系和种间关系

沈显生

中国科学技术大学生命学院

主要内容

- 一、种内关系的多样性
- 二、种间关系的复杂性
- 三、种内与种间关系在进化中的意义

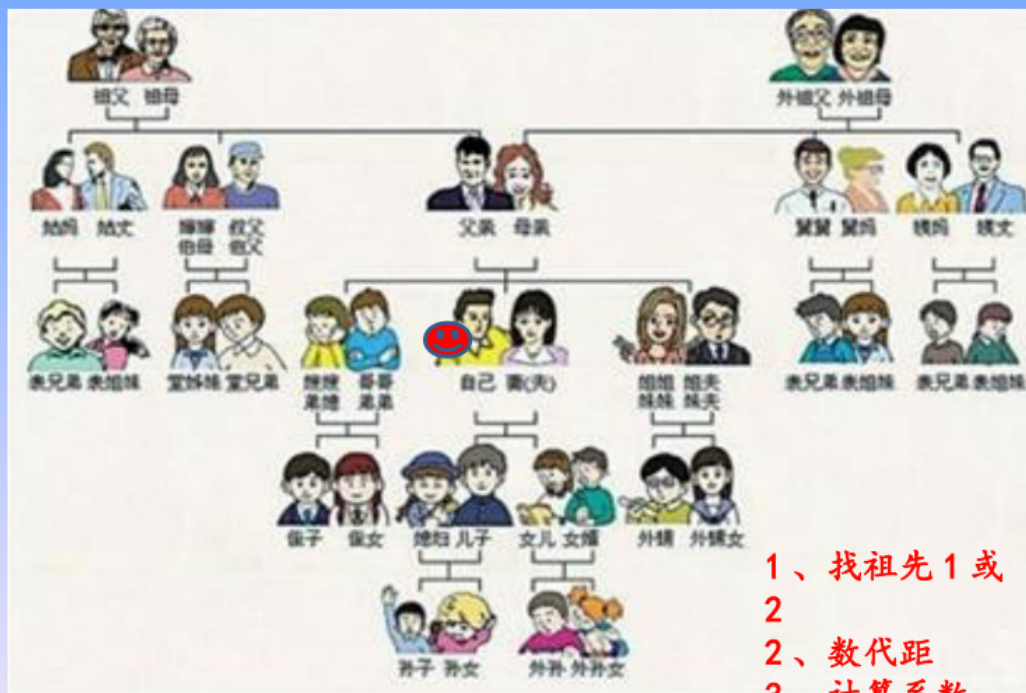
一、种内关系的多样性

种内关系是由物种的生物学特性和环境资源决定的。食欲和性欲是生物的首要本能。

种群内部各个体之间存在着竞争和互助或协同等多种多样的关系，既要保持个体的利益，又要兼顾群体的利益，维持着种群的生存和发展，这是群落内种间关系的基础。亲缘关系很重要。

亲缘关系系数的计算方法

$$\text{亲缘关系系数} = \text{祖先数} \times (1/2)^{\text{代距数}}$$

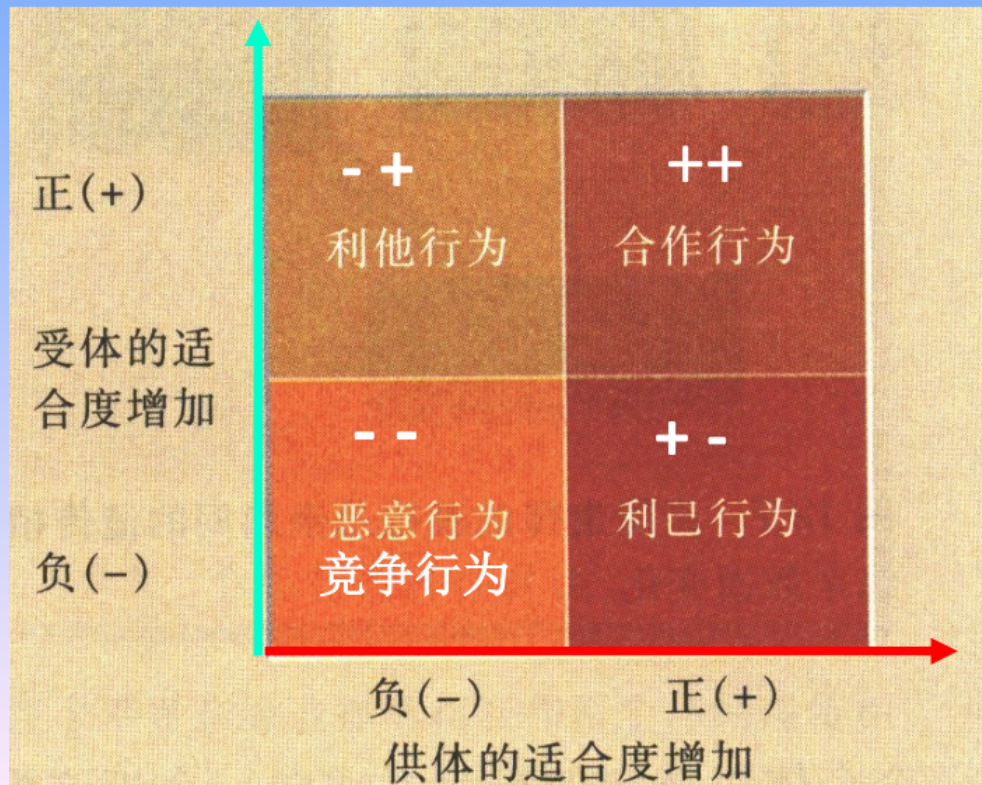


说明：同母异父或同父异母的祖先数为 1；
代距数：从目标个体向上数到祖先后再向下至另一目标个体的代数总和。

同卵双胞胎的亲缘系数为 1

种群内部个体间社会相互作用的 4 种类型

行为是体内外刺激所导致的生物体内生理状况的变化而引起的反应，也是动植物和人类适应环境的产物。



种内关系的类型

- (1) 合作，种内互助（负竞争，企鹅）
- (2) 利他行为 无条件利他；有条件利他（中国志愿者网）
- (3) 种内竞争：
 - ① 资源性竞争（具密度效应——植物种群的产量恒值法则， $-3/2$ 自疏法则）
 - ② 分摊竞争（资源平均分配，同甘共苦）；
 - ③ 植物自毒作用——豌豆，西瓜，西红柿
- (4) 自私行为，或恶意行为（拟谷盗蠹虫偷吃对方的卵）
- (5) 种内残杀（性选择的雄性杀幼，黄鳝食幼不属于捕食）

利他行为的适合度

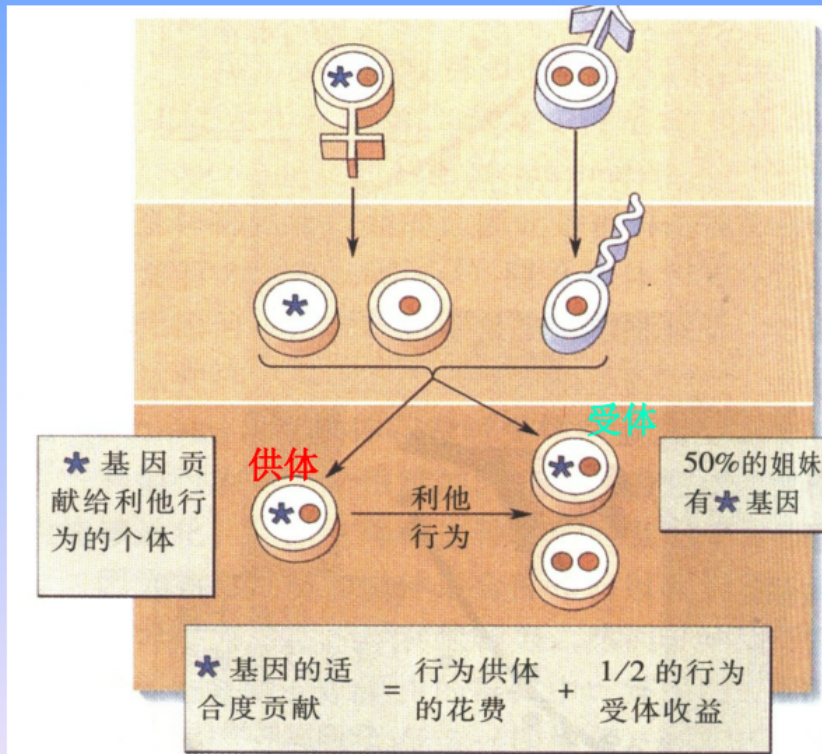
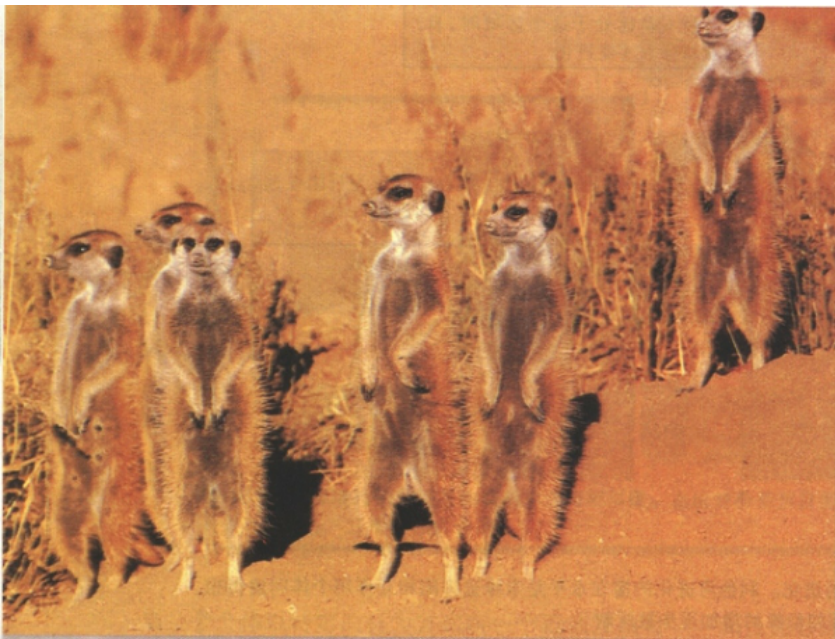


图 12.8 多数社会行为对于广义适合度都具有正的和负的影响。控制指向亲属行为的基因广义适合度,是供体的行为花费上受体收益乘亲缘系数



灰沼狸（南非）

站岗放哨（合作）

合作行为都是利他行为吗？

观察发现：供体站岗花费太少，有时有利可图，是一个近亲群体，站岗是个自觉的行为。

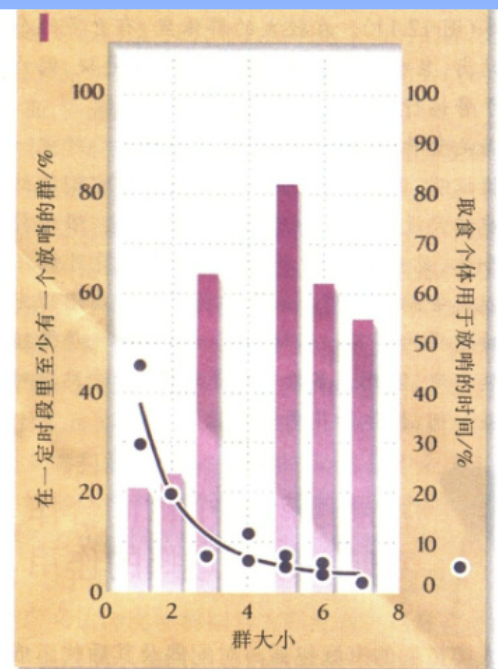


图 12.11 灰沼狸群体越大可能有越多哨兵。大群体中个体更多时间用于取食,更少时间用于警惕,因此,在较少时间里就满足



工蚁分化为3种，普通工蚁、兵蚁和储蜜工蚁。兵蚁的颚太大，不能够自己进食，需要工蚁喂养；一只蜜罐蚁储藏的蜜够100只工蚁吃10天-15天，它自己不采蜜，只装蜜。



社会性昆虫（超级有机体）：

北美洲沙漠的蜜壶（罐）蚁的社会性进化，典型的“**人人为我，我为人人**”的利他行为。

领土原则：是保证每个动物群体应有的生存空间的自然法则。

领地是食物供给与成功交配的关键，占据和保护领地已经成为动物的本能。

领域性（鸟的数量与花的数量）

领域性与社会等级（如虎鲸属社会性群体，雌性掌控群体）

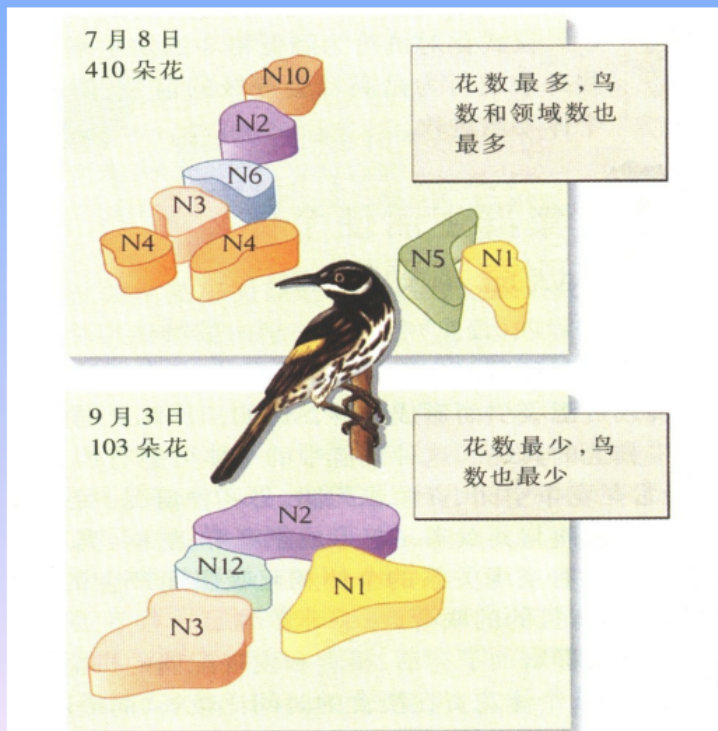


图 12.4 领域性程度随资源多度变化。新荷兰蜜雀 (*Phylidonyr*)

领地丧失：非洲狮种群的衰退（在博茨瓦纳、纳米比亚、南非和津巴布韦等非洲南部国家，多数狮种群是在有围栏的保护区内） PNAS Oct. 26, 2015, doi: 10.1073/1500664112

二、种间关系的复杂性

• 种间关系类型 6 种

	+	0	-
+	++ 互利共生	+0 偏利关系	+— 捕食关系
0		00 中性关系	0— 偏害关系
-			— — 竞争

除了复杂的生物因素外，不同物种居住在同一个地球上，却生活在不同世界里。

(一) 竞争关系

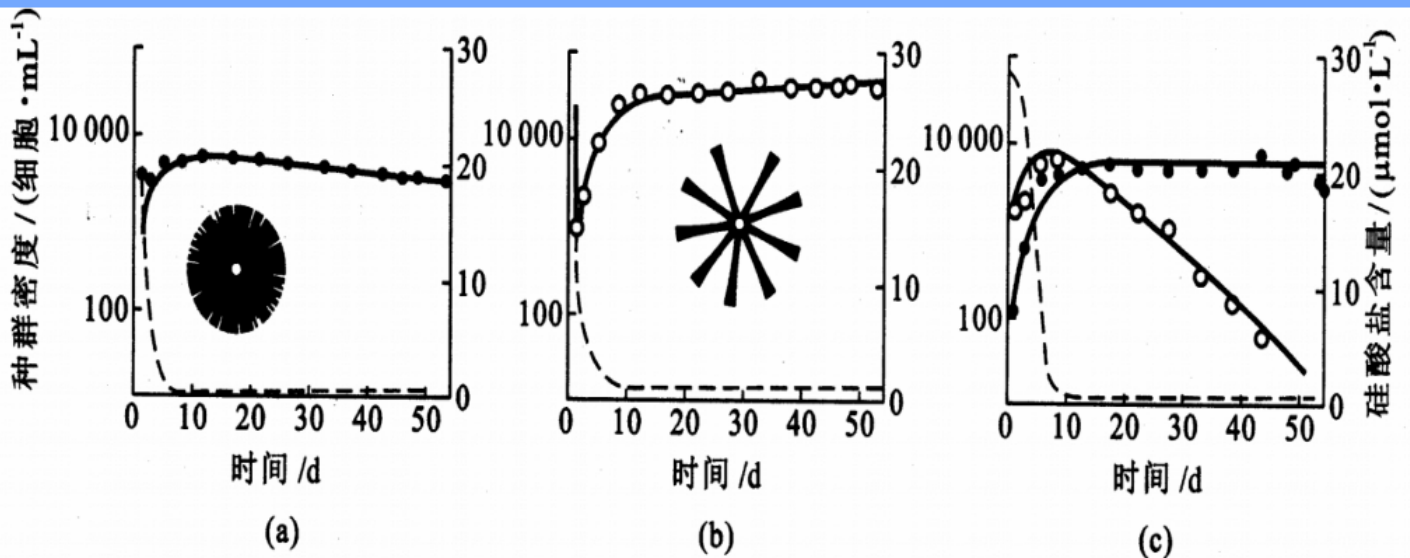


图 7-10 两种硅藻种之间的竞争(仿 Mackenzie 等, 1998)

(a) 只有针杆藻; (b) 只有星杆藻; (c) 两种在一起。点线表示硅藻含量

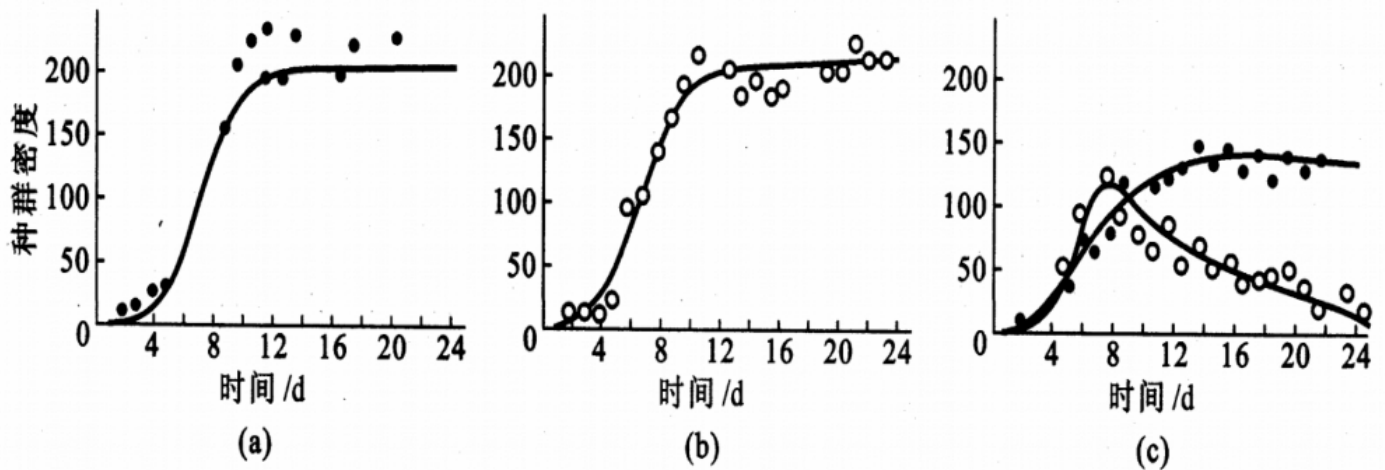


图 7-9 两种草履虫间的竞争(仿 Mackenzie 等, 1998)

(a) 只有双核小草履虫;(b) 只有大草履虫;(c) 两种在一起

高斯假说

- 高斯假说也称**竞争排斥原理**：亲缘关系接近的、具有同样习性或生活方式的物种不可能长期在同一地区生活，即**完全的竞争者不能够共存**。因为它们的生态位相同。如果它们在同一地区出现，它们必然利用不同的食物，或在不同的时间活动，或以其他方式占据不同的生态位，否则就不能长期共存。
- 例外极少。

Lotka-Volterra 竞争模型 (沃尔泰勒模型)

- 当两个不同种群生活在一起，竞争常是必然的。竞争系数的大小，对于一个种群的竞争能力或竞争结果起着重要作用。
- 设 a 是种群 2 对种群 1 的竞争系数；
- β 是种群 1 对种群 2 的竞争系数。

在竞争状态下，两个种群增长的方程分别是：

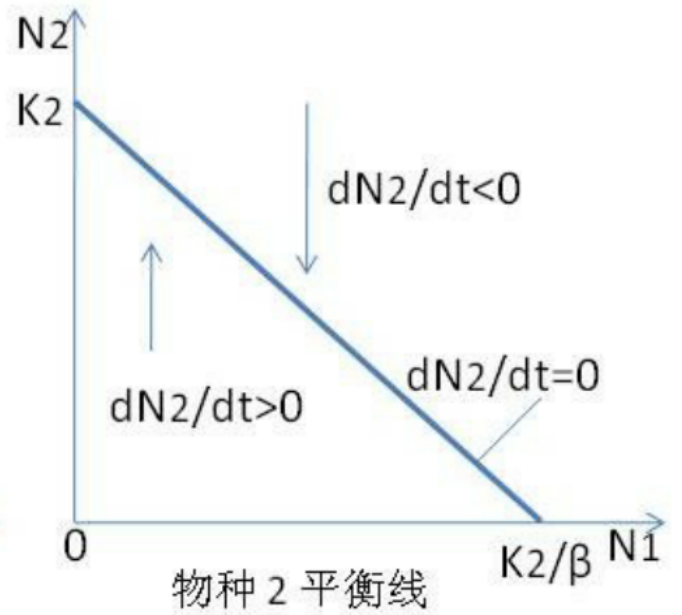
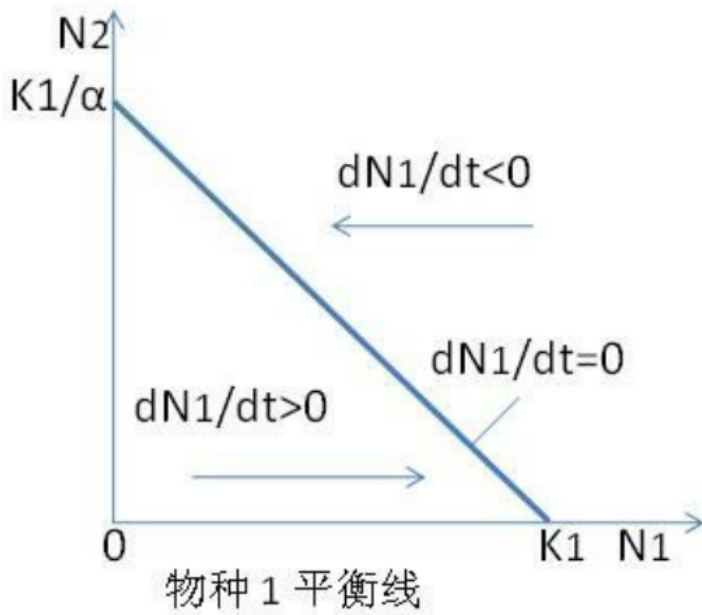
物种 1 增长的方程：

$$dN_1/dt = r_1 N_1 (K_1 - N_1 - a N_2) / K_1$$

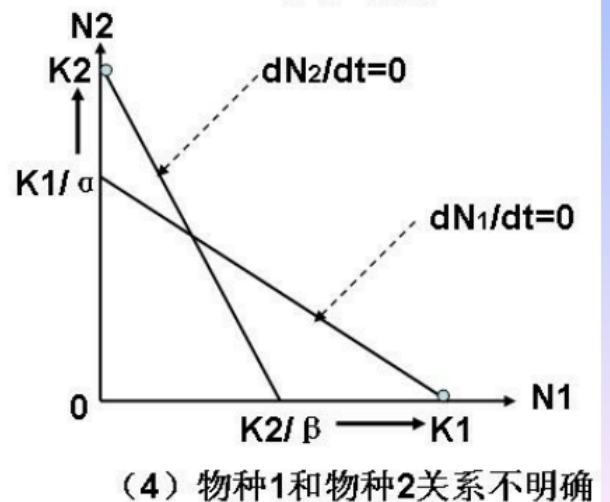
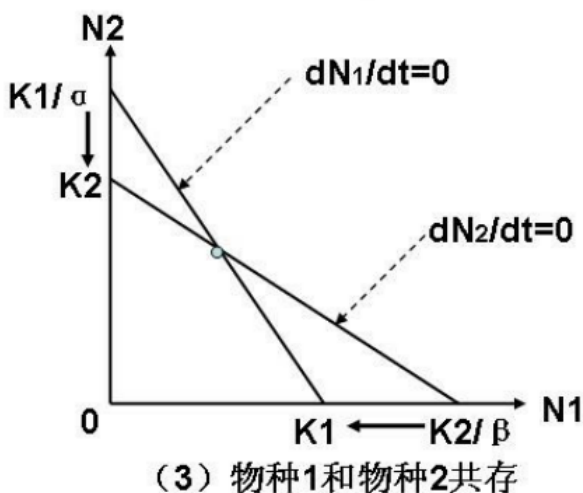
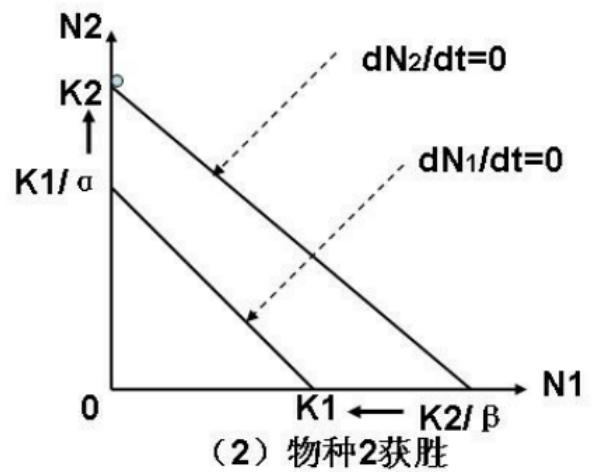
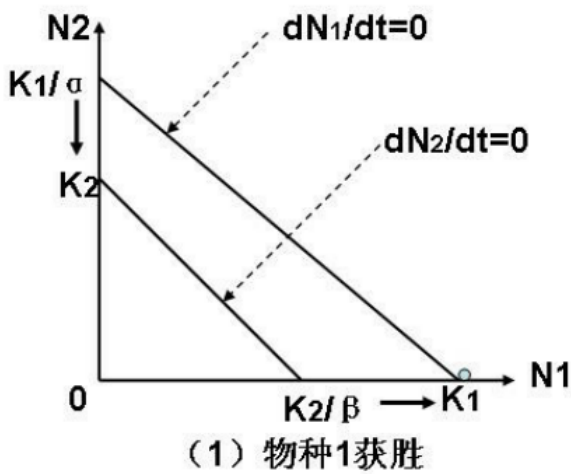
物种 2 增长的方程：

$$dN_2/dt = r_2 N_2 (K_2 - N_2 - \beta N_1) / K_2$$

两个种群竞争情况下各自的平衡线



两个物种的 4 种竞争结局

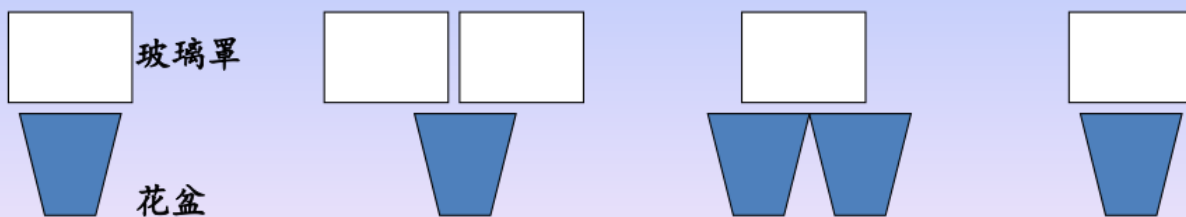


竞争叠加效应

车轴草和粉苞苣的根竞争和冠竞争
1986

Begon

单独生长	根竞争	冠竞争	根 + 冠竞争
100%	65%	47%	31%
	$65+47=112$		$0.65 \times 0.47 = 0.3055$



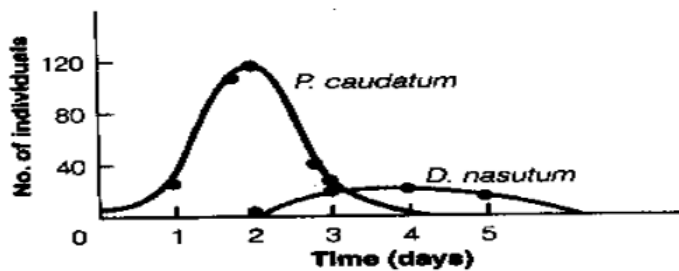
种间的基因延伸作用

- 蜗牛的壳的厚度是受寄生的吸虫控制的。
- 蛔虫寄生在中美洲蚂蚁体内，蚂蚁的行为和外观发生改变。行动迟缓，腹部变红并上举在空中，腹胸连接处变脆，不释放报警素。
- 蜗牛与寄生螨，被寄生的蜗牛向树顶爬，触角内充满了寄生螨的卵，触角变大变红，吸引鸟类捕食。（属于催眠术控制）

(二) 捕食关系

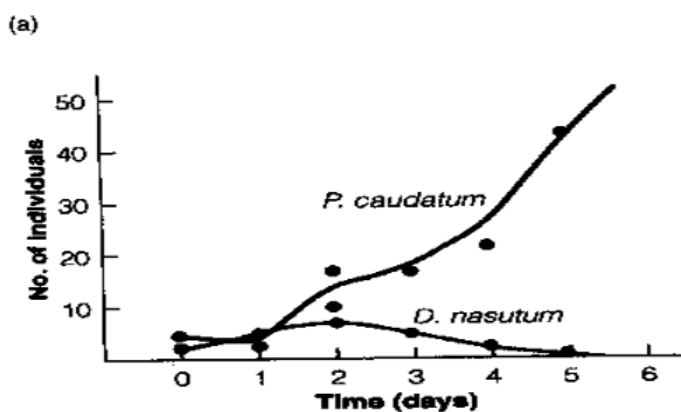
- (一) 捕食者与猎物各自单独生长的情况
- (二) 捕食者与猎物相遇情况下增长模型
- (三) 种间数量周期动态

栉毛虫捕食草履虫的实验



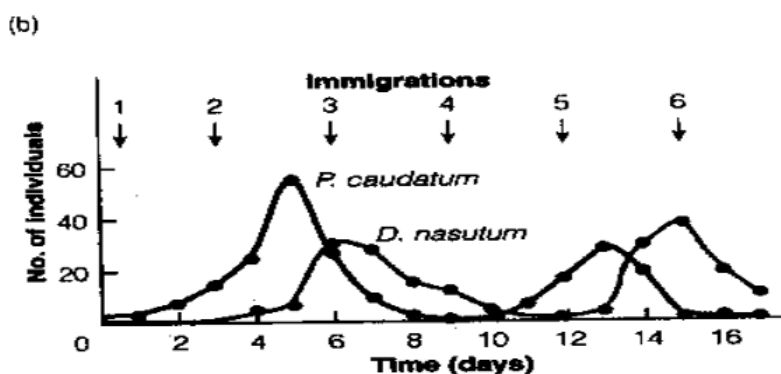
Paramecium

1934
Gause
实验



Didinium

草履虫捕食
细菌和酵母



根据 Lotka-Volterra 捕食模型：猎物种群在没有捕食者的情况下，是按照指数增长：

$$dN/dt=r_1N \quad (r_1 \text{ 为猎物的瞬时增长率, } N \text{ 为猎物数量}) ;$$

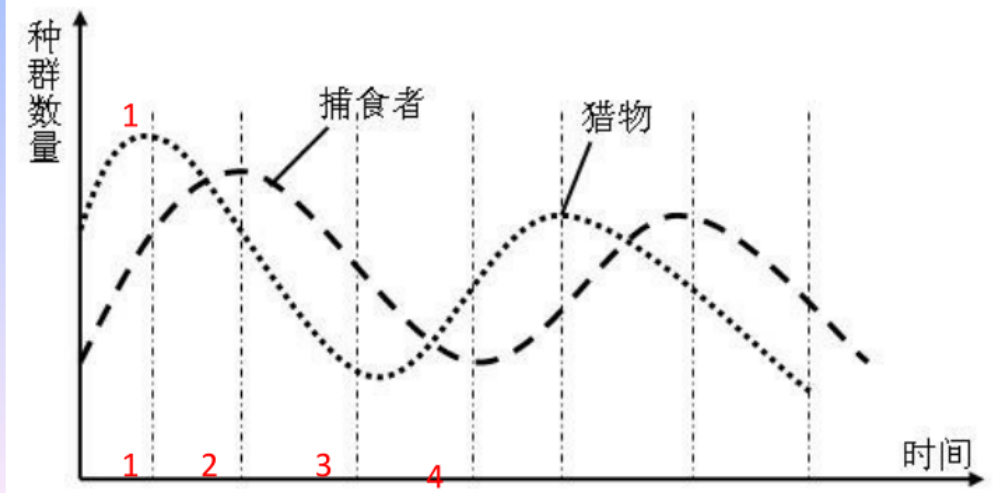
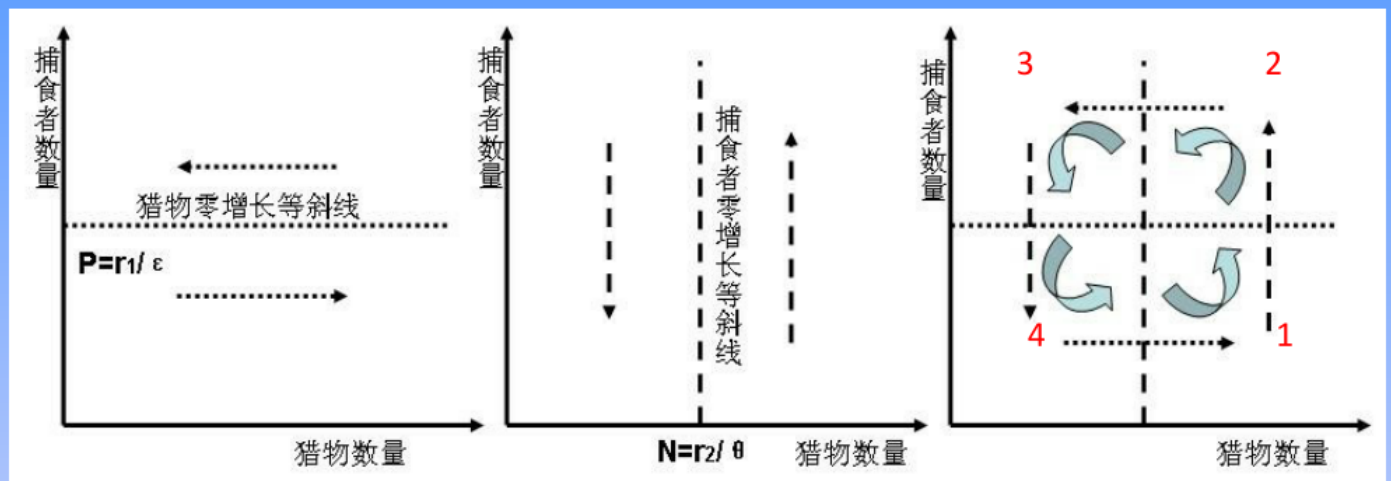
而捕食者在没有猎物的情况下，则是按照指数下降：

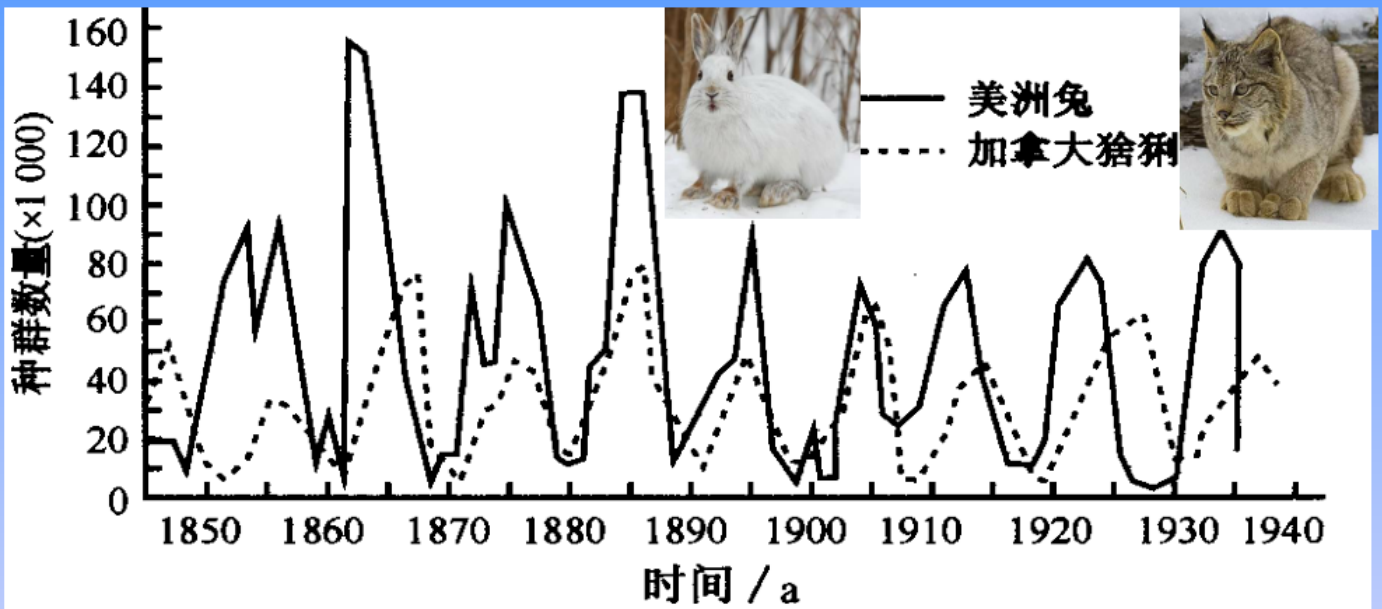
$$dP/dt=-r_2P \quad (r_2 \text{ 为捕食者的瞬时增长率, } P \text{ 为捕食者数量}) 。$$

设 ε 为捕食者对猎物的捕食效率， θ 为捕食者利用猎物的营养转化为捕食者的增长常数，修正后的方程是：

$$\text{猎物种群变化的方程: } dN/dt=r_1N-\varepsilon PN$$

$$\text{捕食者种群变化的方程: } dP/dt=-r_2P+\theta PN$$





3-6 北美的美洲兔和猞猁的种群数量的9~10年周期性波动

在捕食者与猎物的数量变化模型关系中，还应该考虑其他捕食者的影响，实际上，鹰、枭、狼、貂都是美洲兔的捕食者。另外，发现在没有猞猁分布的地区，美洲兔也是约10年的周期。

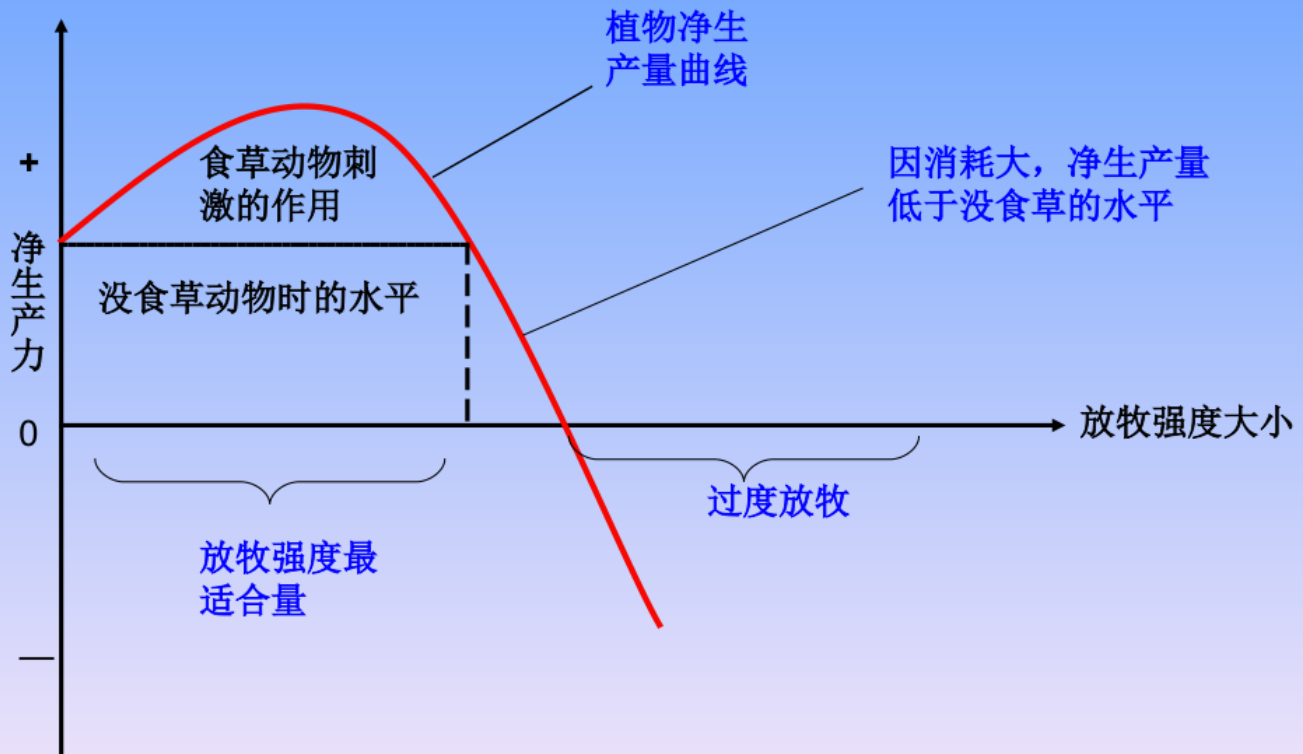
协同进化——在花与访花昆虫、捕食者与猎物，以及病原菌与宿主之间，存在着相互动态适应或对抗的进化过程。

捕食者与猎物协同进化的不对称性

- 猎物的世代比捕食者的要短。
- 捕食者的密度小于猎物的密度。
- 根据“活命——饱餐”理论两者的压力不同。
- 捕食者多数以多种猎物为捕食对象。
- 捕食者有避稀效应。
- 在捕食中，猎物的一般性防御出现较早。

像鼠和猫的协同进化：鼠昼伏夜出—猫眼睛调节光线；鼠装死—猫假睡；鼠警觉性相当高—猫具肉垫身软。

讨论：过度放牧和停止放牧都会破坏草原植被而适度放牧有利于草场群落生物量的增长。为什么？



课外阅读：植物与食草动物之间的协同进化与适应，王德利，生态学报，2004，24（11）：2641-48

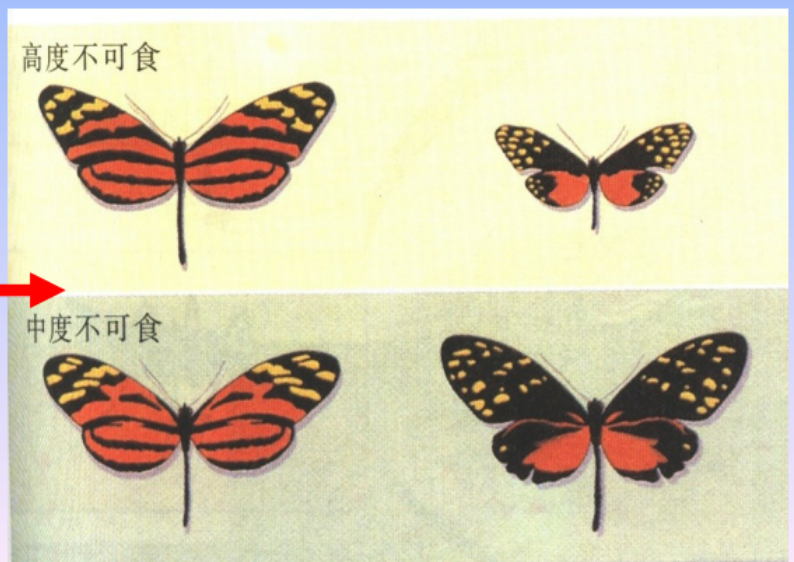
逃避捕食
的策略之一
——拟态



图 17.12 贝茨拟态是可食的猎物模拟有毒物种。图中可食无害的螳蛉(中)和蛾(右)都很像是一种蜂(左)(Larry Jon Friesen)

贝茨拟态 (Batesian mimicry) ——

没有毒的生物模仿有毒的生物，以保护自己。



缪勒拟态 (Mullerian mimicry) ——

具有中等毒性的生物模仿有剧毒的生物，以便更加安全地保护自己。

拟态生物学意义的实证方法

雪蝶 (snowberry fly) 拟态生物学意义的实验验证

捕食者：跳蛛 (zebra spider)

猎物：雪蝶

现象：雪蝶翅膀的图案为何类似跳蛛的腿形

设问：跳蛛真的被迷惑吗？

实验：改变蝴蝶翅膀的图案
实验结果如何？

雪蝶拟态意义实证 (1)



zebra spider

跳蛛

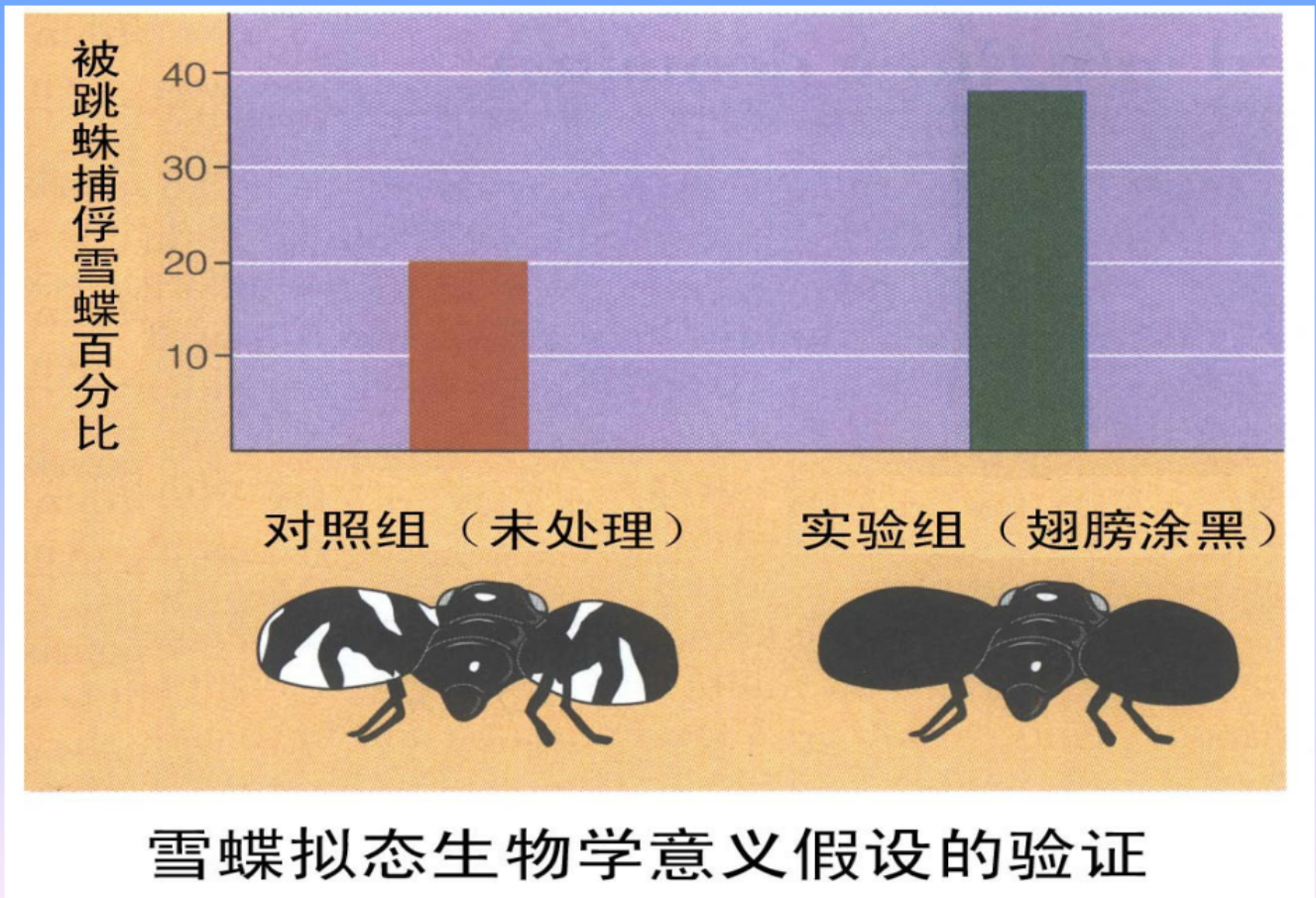


snowberry fly

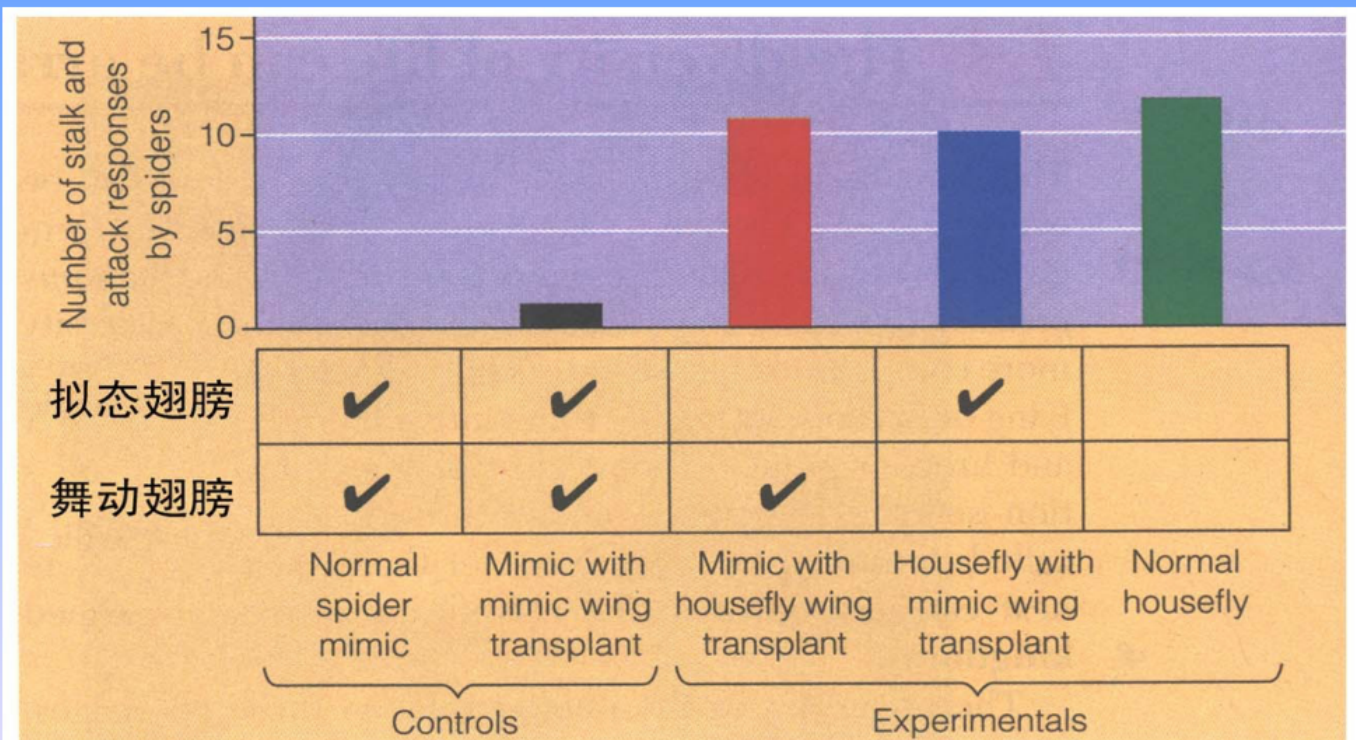
雪蝶

从后看雪蝶的拟态类似跳蛛的腿形，跳蛛总是用腿的动作来赶走竞争者。

雪蝶拟态意义实证 (2)



雪蝶拟态意义实证 (3)



将家蝶 (housefly) 和雪蝶的翅膀用外科手术互相移植, 移植的翅膀可保持舞动或静止。依拟态程度被捕获的蝴蝶数差异明显。

(三) 其他种间关系

1、互利共生

- 行为上的互利共生——裂唇鱼与笛鲷；响蜜列与食蜜獾
- 种植或饲养的互利共生——切叶蚁与真菌；人类与农作物
- 传粉的的互利共生——萝藦科；兰科
- 动物消化道的互利共生——白蚂蚁与鞭毛虫
- 维管植物与真菌的互利共生——菌根（松树，石杉）
- 被子植物的根瘤菌——（豆科等）-紫云英
- 生活在动植物组织的互利共生——蟑螂脂肪体与细菌；满江红与鱼腥藻

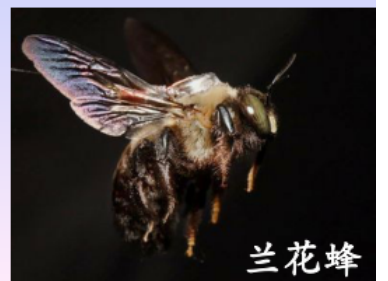
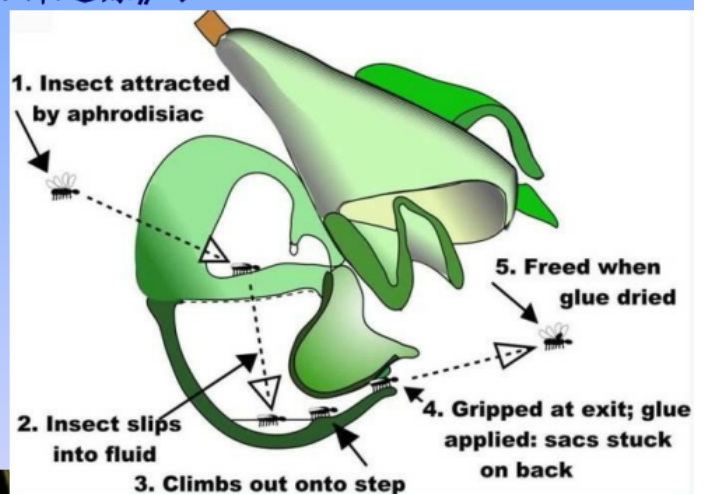
共生比竞争更重要。 --- 马古利斯，生物共生的行星， 2009，上海科学技术出版社

吊桶兰与传粉昆虫兰花蜂的协同进化

两种生物互为条件的军备竞赛或相互适应，最终形成稳定的或相互依赖的种间关系。（引自达尔文《物种起源》）

盔兰属吊桶兰

（*Coryanthes* spp.）蜂滑入“水牢”，从洞钻出，背上花粉块，进入下一朵花

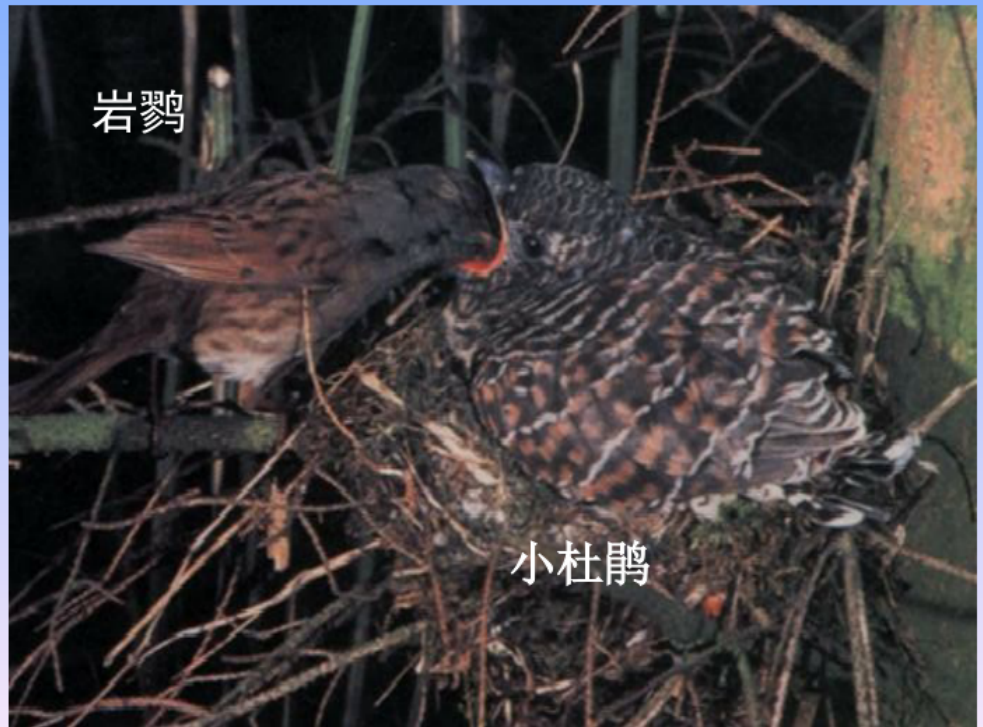


社会性寄生 (brood parastism)

一种生物自己不育雏，把卵产在另一种生物的巢穴中，依靠其孵化和养育的生活方式。

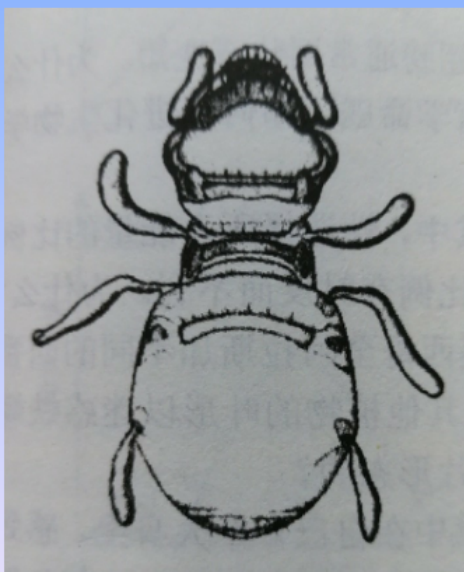
响蜜鸺、杜鹃、黄莺等鸟将卵产在其他鸟巢里的社会寄生现象。

播放视频 2个

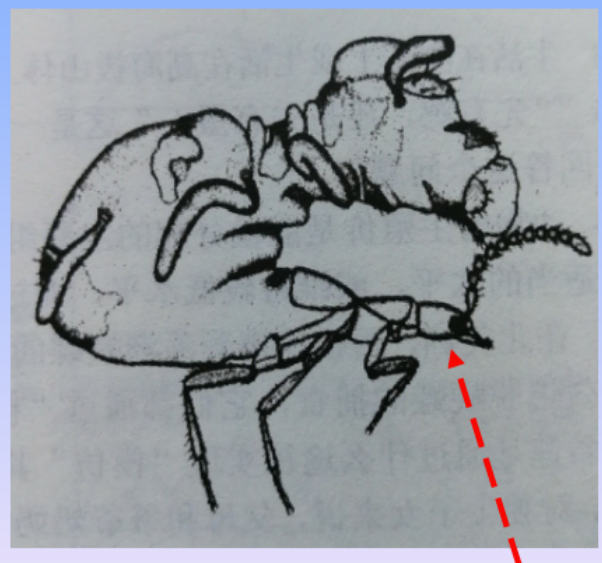


社会性寄生兼拟态的“神虫”——隐翅甲

- 在非洲，长期客居在奇齿白蚁巢穴中的隐翅甲，通过腹部变态成白蚁幼虫状，只吃不干活，以迷惑白蚁，真正的头和胸部仅占身体的5%。属于大自然拟态的高手!!!



俯视的形态



侧面观的形态

头-胸-触角

进化的飞跃，随机突变无法解释。

整天背着沉重的“道具”也很辛苦!

——引自威尔逊，昆虫的社会，2007

三、种内与种间关系在进化中的意义

• （一）种内关系的进化意义

达尔文过分强调竞争。种内竞争的本质：资源竞争和交配权竞争。

克鲁泡特金的《互助论》（1902）反对种内斗争，合群与互助在生存斗争中是最有力武器，保证种群的生存与繁殖，又合理利用精力减少浪费，是进化的主要因素。

现代进化论学者认为，种内斗争与自然选择无关。但从种间角度看呢？

— 庚镇城著，《达尔文新考》，2009，上海科学技术出版社

人类社会的竞争与合作

• 人类社会竞争

当初的竞争，为了争夺生存；

以后的竞争，为了不虚活一生；

日后更进一步竞争，以充沛的天赋在所能的事业上竞争，不让这种事业与自己的生命一同消失。

——《天演论》赫胥黎著，严复旧译，杨和强新译，2007，P. 77

当今世界，人类社会的合作非常重要。习近平主席提出：“人类命运共同体”的理念。作为新时代的大学生，既要有竞争，更需要合作。

(二) 种间关系的意义

- 在**单一种群**情况下，仅有种内关系，有竞争或互助。竞争主要是争夺资源和交配权。
- 在**两个以上种群**同时存在的时候，种间关系上升为主要矛盾，种内关系降为次要矛盾。
- 在群落中，种内和种间两种关系共存，通过调整或改变生态位，以降低种间矛盾，实现种内与种间关系的和谐与兼顾。
- 种间关系是**自然选择**的内涵，**捕食、竞争、共生**是主要进化动力。

种内与种间关系（续）

- 在热带雨林，或在北极，植物和动物都积极适应竞争激烈的环境。一年生植物只在温带地区占优势。
- 大型哺乳动物的种群分布区很大，需兼顾种内关系与种间关系。而像北极燕鸥、企鹅和沙丁鱼等，大种群集合可更好应对捕食者。
- 在自然界里，为什么会存在着明显不公平的偏害或偏利关系的呢？你对此是怎么理解的？

主要内容回顾

- 一、种内关系的多样性
- 二、种间关系的复杂性
- 三、种内与种间关系在进化中的意义