

现代生物学导论

XIII 生态学基础

(书上第10章)

(期末考试安排参看网络学堂公告)

闫永彬

ybyan@tsinghua.edu.cn



1

生物进化

达尔文的自然选择学说

+ 遗传机理

现代综合进化论

+ 分子机制

分子进化的中性学说



2

中性/有利/有害突变 vs. 生物进化?



2008-12:英国出生无耳兔



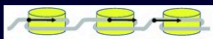
4

新物种的产生?



5

染色体结构影响生物进化?



《科学》：核小体结构影响生物进化
Sasaki et al. 2008.11.11 on line

核小体（染色质的基本单位）结构影响着脱氧核糖核酸的变异，从而影响着生物进化。



6

Nothing in biology makes sense except
in the light of evolution.

——Dobzhansky



7

生命世界从微观到宏观的组织层次

细胞 → 组织 → 器官 →
个体 → 种群 → 群落 → 生态系统 → 生物圈

生态学 (Ecology) :

研究生物与环境相互依赖、制约和
协调关系的科学。

1869年, 德国进化论者海克尔创立
1950s后, 数学的引入发展成定量科学



8

13.1 生态系统概述

13.1.1 概念

→ 生态系统 (ecosystem)

生物群落与其生存环境之间, 以及生物种群
相互之间密切联系、相互作用, 通过物质交换、
能量转换和信息传递, 成为占据一定空间、具
有一定结构、执行一定功能的动态平衡整体,
称为生态系统。



9

13.1.2 生态系统的基本组分

◆生物组分——生物群落 (biotic community)

在一定地理区域内，生活在同一环境下的各种动物、植物和微生物等的种群，彼此相互作用，组成具有独特成分、结构和功能的不同种群集合体。

自然群落有着漫长的发展历程
森林群落中一英亩中大约有400多个物种，40000000个个体
种群之间有错综复杂的关系，群落具有自我调节能力
每一种生物都不是孤立的，一个物种的变化会影响整个群落



THU-SLS

10

13.5.3 生态学问题举例-1

■《物种起源》第三章，达尔文举了一个有趣的生态平衡的例子，被认为是科学史上对生态系统的首次描述：

三色堇和红三叶草必须依靠土蜂来受精，如果土蜂都绝灭了或变得极稀少，三色堇和红三叶草也会变得极稀少或全部灭亡。任何地区的土蜂数量很大程度上是由田鼠的多少来决定的，因为田鼠会毁灭蜂窝。而老鼠的数量又大部分决定于猫的数量。

因此，一个地区的猫的数量可以决定某一类花的数量！

■狐狸彻底改变了阿留申群岛岛屿的生态系统
从草原变成了苔原 (Science, 2005.3.25)

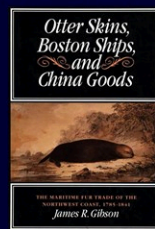
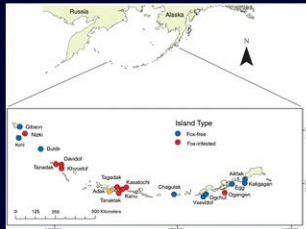


THU-SLS

11

13.5.3 生态学问题举例-21

■狐狸彻底改变了阿留申群岛岛屿的生态系统 (Science, 2005.3.25)



THU-SLS

12

<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1108485>

◆群落中物种的多样性和优势种

优势种：数量多，生产量大，在群落结构中起主要作用

◆群落结构：垂直分布、水平分布、时间分布

◆生态位 (ecological niche)

生物种群在群落中的生活方式和它们在时间和空间上所占有的地位。



THU-SLS

14



THU-SLS

15



美国佛罗里达州北部的蚊子泄湖 (Mosquito Lagoon) 的小岛

Science
2014-10



THU-SLS

16



美丽的绿安乐蜥，最喜爱的栖息地是低矮而又粗糙的树干

1995年“入侵”的棕安乐蜥



THU-SLS

17



绿安乐蜥的左后肢扫描图像。更大的足垫和更多的鳞片能帮助绿安乐蜥适应高处的树枝。
十数年间，这些蜥蜴不过繁衍了约20代，这样的演化速度无疑是惊人的。



THU-SLS

18

➤ 生态位不同于栖息地:

栖息地代表种群的“住址”，而生态位是种群赖以生存的“职业”；生态位除了说明栖息地外，还说明这一物种在这一群落中的营养地位，所需的物理和生物条件以及在时间和季节变化时的节律性变化等

➤ 生态位的多样性是群落结构相对稳定的基础。

➤ 生态位相似的物种，发生竞争。



THU-SLS

19

1964
雷文
埃利希
coevolution

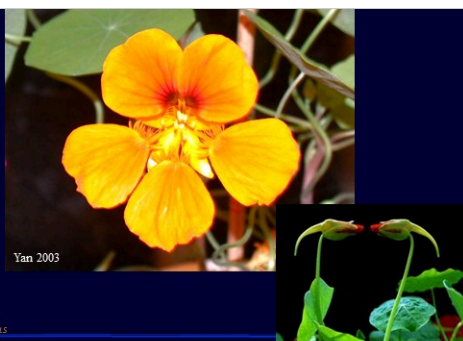


蜂鸟的喙与花朵的形状
Science 2003



THU-SLS

20



THU-SLS

21



THU-SLS

22

◆ 环境组分

◆ 无机与物理性环境因子:

辐射(光)、温度、湿度与水分、化学因素(大气成分、水中盐分、酸碱度)、土壤等。



THU-SLS

24



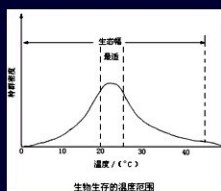
THU-SLS

25

◆ 生物对环境因子的耐受性和限制因子

每种生物对环境因子的耐受范围，称生态幅 (ecological amplitude)；

各种生物的生长速度受它所需环境因子最低量因素的限制，称为最低量定律 (law of minimum)



THU-SLS

26

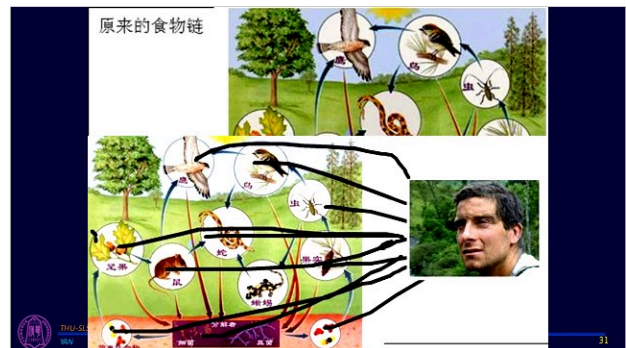
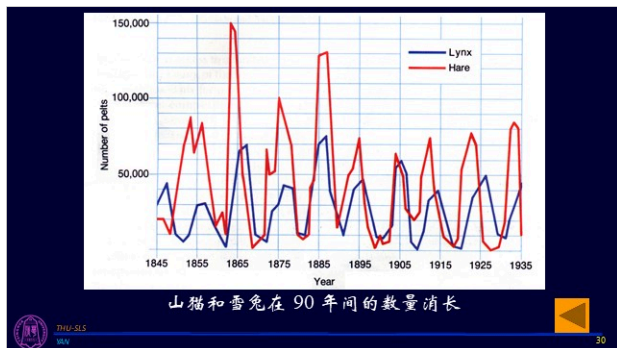
13.1.3 种内与种间关系

- ◆ 捕食 (predation)
- ◆ 竞争 (competition)
- ◆ 寄生 (parasitism)
- ◆ 共栖 (commensalism)
- ◆ 合作 (protocooperation) 与 互利共生 (mutualism)
- ◆ 化学互助和拮抗



THU-SLS

27



13.1.3 种内与种间关系

- ◆ 捕食 (predation)
- ◆ 竞争 (competition)
- ◆ 寄生 (parasitism)
- ◆ 共栖 (commensalism)
- ◆ 合作 (protocooperation) 与 互利共生 (mutualism)
- ◆ 化学互助和拮抗

Slide 32 is part of a presentation from Tsinghua University (THU-SLS) and is labeled with the number 32 in the bottom right corner.



13.1.3 种内与种间关系

- ◆ 捕食 (predation)
- ◆ 竞争 (competition)
- ◆ 寄生 (parasitism)
- ◆ 共栖 (commensalism)
- ◆ 合作 (protocooperation) 与 互利共生 (mutualism)
- ◆ 化学互助和拮抗

Slide 34 is part of a presentation from Tsinghua University (THU-SLS) and is labeled with the number 34 in the bottom right corner.





管老同穴

又称维纳斯花篮。因其原腔内有一对自幼进入、长大后仍
在其中生长的偏虾与之共栖，“生则同食，死则同穴”。

13.1.3 种内与种间关系

- ◆捕食 (predation)
- ◆竞争 (competition)
- ◆寄生 (parasitism)
- ◆共栖 (commensalism)
- ◆合作 (protocooperation) 与
互利共生 (mutualism)
- ◆化学互助和拮抗

小鸟帮助犀牛清除寄生虫。

13.1.3 种内与种间关系

- ◆捕食 (predation)
- ◆竞争 (competition)
- ◆寄生 (parasitism)
- ◆共栖 (commensalism)
- ◆合作 (protocooperation) 与
互利共生 (mutualism)
- ◆化学互助和拮抗

白蚁消化道中原生动物帮助白蚁消化木屑
(互利共生)

13.1.3 种内与种间关系

- ◆捕食 (predation)
- ◆竞争 (competition)
- ◆寄生 (parasitism)
- ◆共栖 (commensalism)
- ◆合作 (protocooperation) 与
互利共生 (mutualism)
- ◆化学互助和拮抗

1928年，英国细菌学家弗莱明，青霉，青霉素

13.3 生态系统的能量流动、物质循环和信息传递

13.3.1 生态系统能量流动

◆ 生态系统能量存在的形式

辐射能、化学能、机械能、电能、生物能

◆ 生态系统的能量流动遵循热力学定律

能量守恒与转化

生态系统是一个开放系统，通过光合作用引入负熵；
通过呼吸，把正熵值转到环境。



52

13.3.1 生态系统中的能源和能流 (energy flow)

◆ 能流和营养水平 (trophic levels)

地球上依赖于绿色植物和各种藻类利用日光进行光合作用，每年生产约1 700亿吨有机物。

■ 各类生物以地球生态系统初级生产者的总生产量/年为起点，能量按食物链顺序的流动，即能流

■ 能流过程中，各类生物所处的地位称为营养水平。营养水平和食物链的环节是有限的 (通常4~5个)



53

◆ 能量转化效率和生态金字塔

■ 能量转化效率：指某一营养级所固定的能量与上一营养级所携有的能量之比。

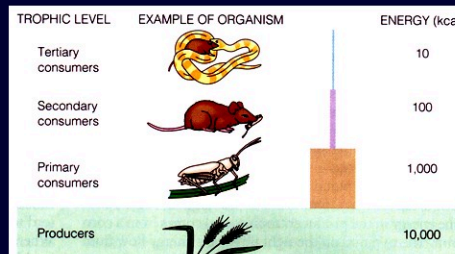
■ 十分之一定律：营养水平每上升一级所得能量只有原来营养水平的10%。

■ 生态金字塔 (ecological pyramid)

生态系统中，当能量传递其营养级由低向高推进时，每级的个体数目、生物量或所含能量呈递减式塔型分布，称生态金字塔。



54



从10⁶千卡太阳光照开始，生态系统中能量效率大约为10%。



55

13.3.2 生态系统中的物质循环

◆ 物质循环的有关概念

■ 生物地球化学循环 (biogeochemical cycle)

在生态系统乃至生物圈内，各种化学元素沿特定途径，从环境到生物体，又从生物体再回归到环境，这种不断流动和循环过程。

■ 水循环、气体循环 (碳、氧、氮的循环)、沉淀循环 (钙、钾、钠、镁、磷等盐类的循环)

■ 生物富集作用 (biological enrichment)

生态系统中同一营养级上众多种群或个体，从环境中积蓄某种元素或难于分解的化合物，致使生物体内该物质的浓度超过环境中的浓度的现象。例：DDT的富集



56



DDT 经食物链浓缩 10⁷ 倍



57

DDT的光荣与惨痛

- 1874年德国化学家Othmar Zeidler首次合成
- 1939年瑞士保罗·赫尔曼·穆勒发现杀虫功效
- DDT与青霉素、原子弹被誉为第二次世界大战时期的三大发明
- 1955年，WHO号召使用DDT抗疟，世界因疟疾死亡的比例从192下降到70万人
- 1962年，美国蕾切尔·卡逊发表《寂静的春天》
- 1972年，联合国通过《人类环境宣言》禁用DDT，中国1983禁用
- 2000年，科学家在Nature发表论文建议重新评估
- 2006年9月15日，WHO在禁止DDT 30多年后又重新推荐广泛使用DDT来防治疟疾。
- 斯德哥尔摩会议制定了2020年淘汰DDT的计划

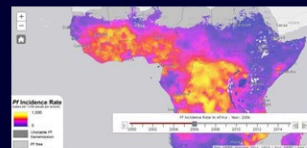


目前全世界有3亿疟疾病患者，每年死亡人数超过100万

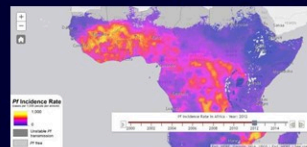


58

2006年非洲地区疟疾发病率



2012年非洲地区疟疾发病率



59

13.3.3 生态系统中的信息传递 (了解)

生态系统中信息流 (传递、接受和感应) 存在于不同组织水平, 是生物长期进化的结果。

■ 生态系统中的信息种类

- ◆ 物理信息: 声、光、电、热等
- ◆ 化学信息: 代谢分泌物、植物次生代谢物等
- ◆ 营养信息: 影响生物的迁徙等
- ◆ 行为信息

■ 生态系统中信息传递的特征

- ◆ 具有可传扩性、永续性;
- ◆ 具有时效性、分享性与转化性



THU-SLS

13.3

60



THU-SLS

13.3

印随学习 (imprinting)

61



THU-SLS

13.3

63



THU-SLS

13.3

64



THU-SLS

13.3

65

■ 生态系统中的信息传递

- ◆ 动物之间的信息传递是通过神经系统和内分泌系统进行的;
- ◆ 动物之间的信息传递决定生物的多种行为。
 - ◆ 取食: 视觉、味觉、听觉信号对动物取食的影响
 - ◆ 居住: 物理信号和食物信号影响栖息地的选择。
 - ◆ 防护行为: 拟态 (mimicry)、警戒色、保护色
 - ◆ 性行为: 性外激素 (pheromone);
- ◆ 生物的群集作用: 食物、环境和信息素的作用。



THU-SLS

13.3

66



THU-SLS

13.3

67



一种像石头样的植物，不易被动物发现

69

13.5 生态平衡及其重大问题

13.5.1 生态平衡 (ecological equilibrium)

- **概念：** 一个生态系统在长时间内，其结构和功能相对稳定，物质与能量的输入、输出接近平衡，在外来干扰下，通过自然调节（或人为调控）能恢复原初的稳定状态。
- **生态平衡是动态的平衡过程。** 自然界生态系统的发展过程与各类群落的演替过程是一致的，因此生态平衡是长期生态适应的结果。
- **生态平衡失调** 当外来干扰超过生态系统自我调节能力，而不能恢复到原初的稳定状态。

70

13.5.3 生态学问题举例-13

■ 珊瑚虫月光下产卵的原因

■ (Science, 2007.13.19)

- 每年的晚春，一种建礁珊瑚虫在满月后的月光下产卵，是什么引起澳洲大堡礁上的珊瑚 *Acropora millepora* 每年一次地半夜同步产卵一直是个谜。
- 研究揭示，原始的名为“隐色素(cryptochrome)”的感受蓝光的受体很可能是其原因。隐色素在高等动物和植物中调节生物钟的导引。研究人员在珊瑚虫 *A. millepora* 中发现了隐色素基因。对珊瑚的 *cry1* 和 *cry2* 基因的检验显示，*cry2* 的表达随着满月而变化。

72

本节重点

生物进化 → 生态学

生态系统的定义：
生物群落与其生存环境之间，以及生物种群相互之间密切联系、相互作用，通过物质交换、能量转换和信息传递，成为占据一定空间、具有一定结构、执行一定功能的动态平衡整体，称为生态系统。

87