

# 35 种群的结构, 动态与数量调节

---

王强

July 17, 2022

南京大学生命科学学院

# Outline

35.1 种群的概念和特征

35.2 种群的数量动态

35.3 种群的数量调节

## 35.1 种群的概念和特征

---

## 35.1.1 种群是同一物种个体的集合体

**种群** 占有一定空间和时间的同一物种个体的集合体.

- 种群是物种存在的基本单位, 也是进化的基本单位.
- 种群是群落的基本组成.

## 35.1.2 出生率和死亡率

种群密度是对种群进行数量描述的重要指标.

影响种群密度的重要参数:

- 出生率: 单位时间每100个体的出生个体数
- 死亡率: 单位时间每100个体的死亡个体数
  - ▶ 人类的人口控制: 降低出生率
- 迁移率: 迁入率与迁出率

### 35.1.3 年龄结构预示着种群未来的增长趋势

- 种群的年龄结构: 不同年龄个体在种群的比例关系.
  - ▶ 动物的年龄分为生殖前期, 生殖期和生殖后期
- 年龄结构与未来种群数量动态
  - ▶ 增长型: 金字塔形, 出生率大于死亡率
  - ▶ 衰退型: 壶形, 出生率小于死亡率
  - ▶ 稳定型: 钟形, 出生率与死亡率持平
- 世界人口的年龄结构:
  - ▶ 欧洲, 北美, 俄罗斯: 稳定型
  - ▶ 南亚, 非洲和南美洲: 增长型

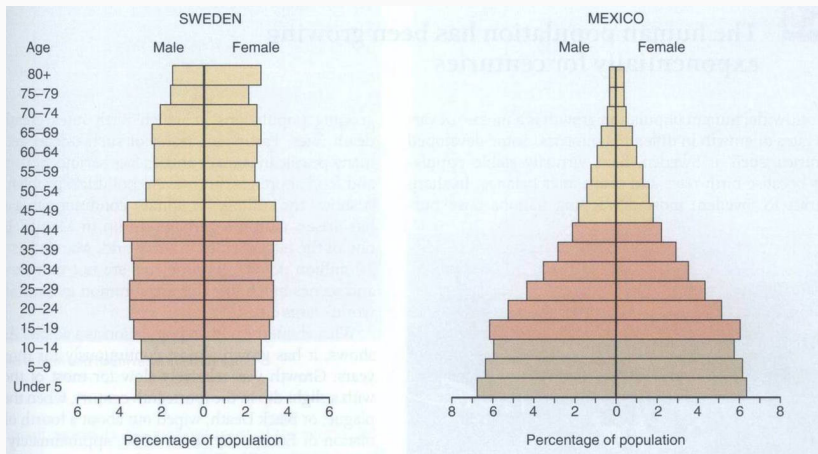
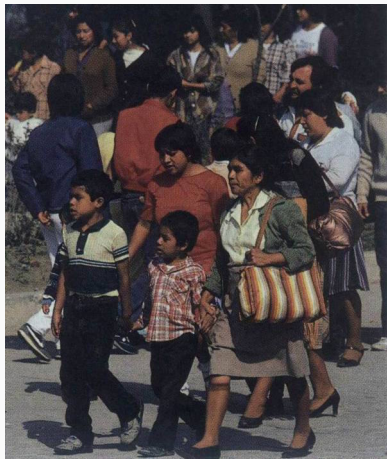


Figure 1. 两种年龄结构



(a) 墨西哥



(b) 菲律宾



(c) 印度

Figure 2 人口快速增长的发展中国家



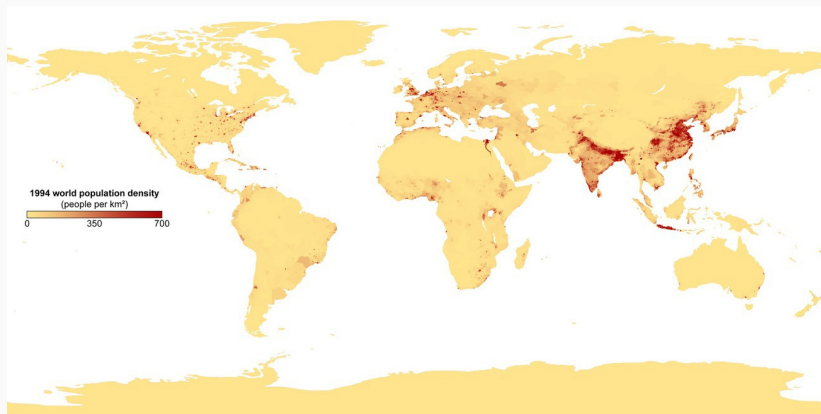


Figure 3. 世界人口分布



Figure 4. 哈利法塔



Figure 5. 香港的公共屋村

## 35.1.4 种群密度调查

**种群密度** 单位面积上 (同种生物) 个体数量.

■ 调查方法: 取样调查法, 随机取样.

▶ 动物: 标志重捕法. 应用条件:

1. 均匀混合
2. 不伤害动物 & 不影响动物行为
3. 无迁入, 迁出

▶ 植物: 样方法, 分别调查后统计计算

## 35.1.5 种群中的个体有3种分布型

- 种群的空间结构: 种群中个体的空间分布格局.
- 分布格局:
  - ▶ 集群分布: 种群成员间有一定程度相互关系.
    - 生境差异, 生殖方式, 社会行为.
  - ▶ 均匀分布: 种群成员间相互竞争.
    - 动物领域行为; 植物自毒现象, 自疏现象
  - ▶ 随机分布: 生境均一, 种群成员间无吸引或排斥.

## 35.2 种群的数量动态

---

## 35.2.1 种群在资源无限条件下呈指数增长

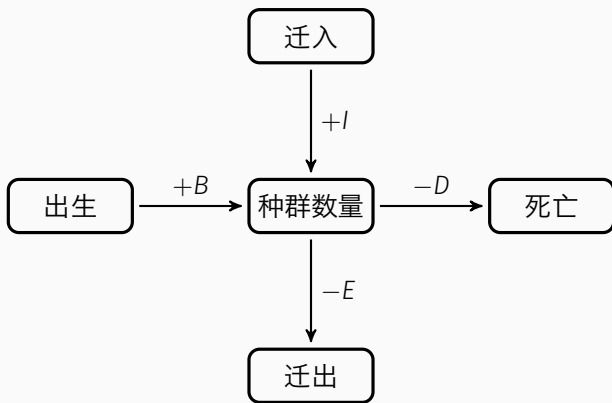
基本假设: 世代重叠的生物种群, 资源无限.

微分方程(瞬时增长率):

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

指数增长:

- 特点: 增长不受资源, 空间及其他因素控制, “种群爆炸”
- J型曲线



$$N_1 = N_0 + B - D + I - E$$



$$N_1 = N_0 + B - D$$

$$N_1 = N_0 + B - D$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = B - D$$

$$N_1 = N_0 + B - D$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = B - D$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = bN - dN$$

$$N_1 = N_0 + B - D$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = B - D$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = bN - dN$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = (b - d)N$$

$$N_1 = N_0 + B - D$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = B - D$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = bN - dN$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = (b - d)N$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = rN$$

$$N_1 = N_0 + B - D$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = B - D$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = bN - dN$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = (b - d)N$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = rN$$

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

$$N_1 = N_0 + B - D$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = B - D$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = bN - dN$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = (b - d)N$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = rN$$

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

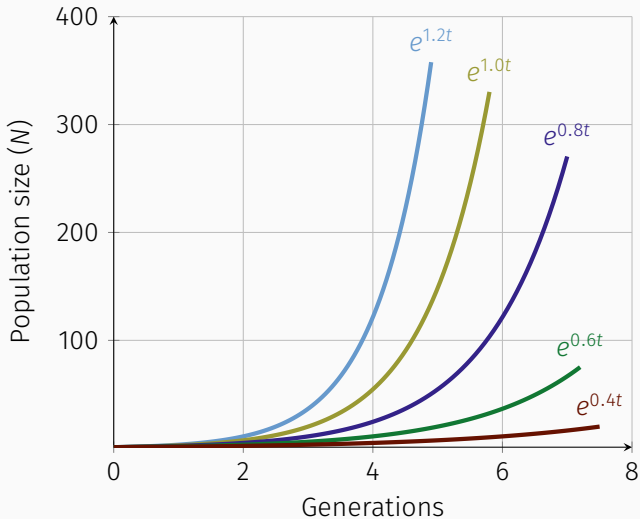


Figure 6. 指数增长,  $N_0 = 1$ ,  $N_t = e^{rt}$



# $e$ 是什么?

$e$                   自然对数的底  
自然对数        以  $e$  为底的对数

# $e$ 是什么?

$e$                   自然对数的底  
自然对数        以  $e$  为底的对数

$$e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$$

# $e$ 是什么?

$e$  自然对数的底  
自然对数 以  $e$  为底的对数

$$e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$$

$$\frac{d}{dx} e^x = e^x$$

## 35.2.2 资源有限条件下呈逻辑斯谛增长

基本假设: 资源有限.

环境容纳量  $K$  有限资源条件所能允许的种群最大值.

种群密度对种群增长率影响: 逐渐, 按比例增加 ( $1/K$ )

微分方程:

$$\frac{dN}{dt} = rN\left(\frac{K - N}{K}\right)$$

逻辑斯谛增长:

- 特点: 种群数量趋向于环境容纳量  $K$
- 曲线: S 型增长曲线

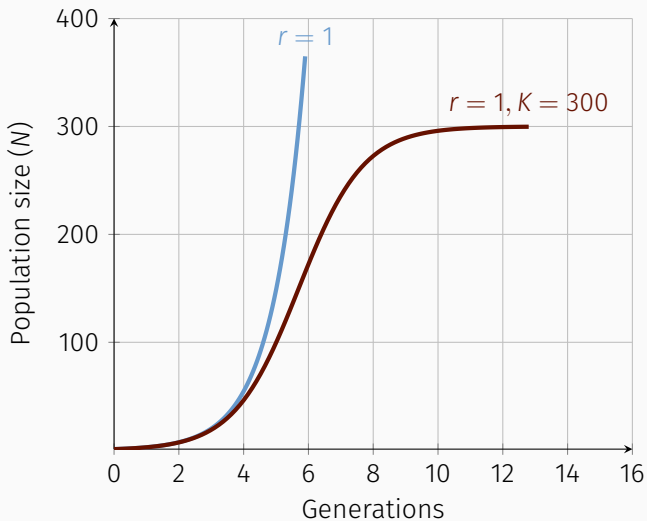


Figure 7. 逻辑斯谛增长,  $N_0 = 1$ ,  $N_t = \frac{300e^t}{300+(e^t-1)}$

## 逻辑斯谛曲线的意义

- 农林牧渔业的应用 (最大持续产量)
- 生物进化对策

## 35.2.3 人类人口不能无限增长

- 人口的增长速度越来越快
  - ▶ 人口激增的重要标志: 人口加倍需时越来越短
- 人口控制:
  - ▶ 人口问题不仅是生物学问题, 更是社会问题

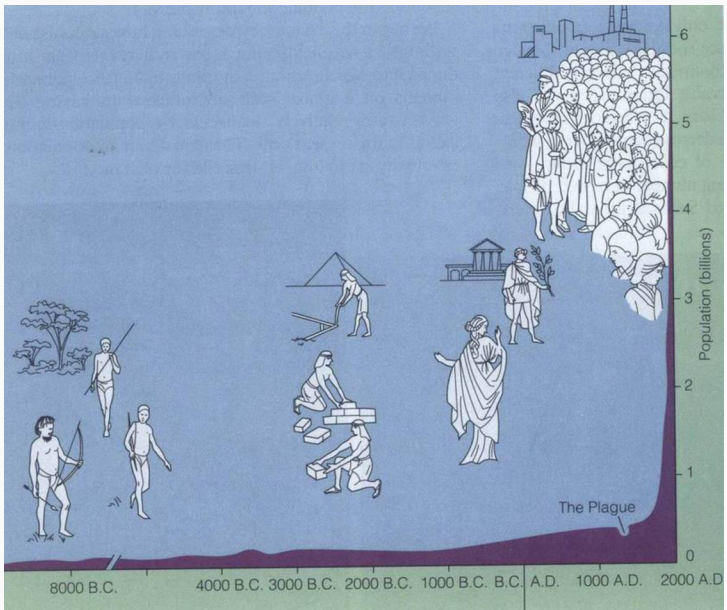


Figure 8. 历史上的人口增长





Figure 9. 神秘物品<sup>1</sup>

---

1



Figure 9. 神秘物品<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Lu, H. *et al.* Culinary Archaeology: Millet Noodles in Late Neolithic China. *Nature* 437, 967–968 (2005)



Figure 10. 托马斯·罗伯特·马尔萨斯



Figure 11. 弗里茨·哈伯, 1918年诺贝尔化学奖



Figure 12. Norman Borlaug, 1970年诺贝尔和平奖



Figure 13. 袁隆平

## 35.2.4 两种生活史对策

生活史对策: 生物在生存斗争中获得了生存的对策, 这些对策通过生物在进化过程中形成了特有的生活史.

$r$  对策: 以“量”取胜.

- 死亡因素: 环境变化导致 (大量) 死亡.
- 特点: 个体小, 寿命短, 生殖力强存活率低, 亲代对子代缺乏保护, 易迁移散布.
- 种类: 无脊椎动物, 昆虫, 小型哺乳动物 & 鸟类, 一年生植物 (群落演替早期).

K 对策: 以“质”取胜.

- 特点: 个体大, 寿命长, 生殖力弱存活率高, 亲代对子代有很好保护, 迁移散布能力弱.
- 死亡因素: 密度制约因素.
- 种类: 大型鸟兽及林木, 较大的昆虫, 群落演替的晚期阶段.





(a)  $r$  - 选择者



(b)  $K$  - 选择者

Figure 14. 两种生活史对策

# 两种生活史对策的比较

不同自然选择压力下形成的不同对策:

- $r$  对策: 选择高增长率的基因型, 利于种群繁殖
- $K$  对策: 选择更好适应环境的基因型, 利用环境
- $K$  对策: 稳定平衡点  $S$ , 灭绝点  $X$  (濒危物种)
- $r$  对策: 一个稳定平衡点  $S$ , 无灭绝点 (害虫)

## 35.2.5 种群的数量波动

- 种群数量波动的原因: 环境条件发生变化.
- 不规则波动
  - ▶ 例: 东亚飞蝗 (干旱)
- 周期波动: 任两个波峰之间间隔的时间相.
  - ▶ 例: 猓猓 & 雪兔

## 35.3 种群的数量调节

---

## 35.3.1 密度制约因子和非密度制约因子

- 密度制约因素: 对种群大小很敏感, 当种群增加时, 该机制更有效.
  - ▶ 传染病等生物因子.
- 非密度制约因素: 起作用时与种群大小无关, 对拥挤种群和数量稀少种群都有相似的效应.
  - ▶ 气候等非生物因子.
- 密度制约因子的反馈调节: 生物种群的相对稳定和有规则的波动和密度制约因素的作用有关 (食物, 生殖力, 抑制物, 疾病和寄生物等).
- 非密度制约因子的作用: 生物种群的不规则的波动和非密度制约因素的作用有关. 蝗灾.

## 35.3.2 种群数量周期波动现象

种群数量周期波动是自然环境中的某些因素或种群自身的一些因素引起.

有关理论:

- 食物不足, 捕食作用
- 营养恢复学说
- 多物种系统的种群周期波动调节机制