



## 生态学基础及实验 实验报告

实验名称种群 Logistic 增长及其温度响应的观测

实验地点 生物实验中心 312

姓 名

学 号

实验日期 September 22, 2024

指导老师

# 浙江大学实验报告

专业: 生物科学  
姓名: \_\_\_\_\_  
学号: \_\_\_\_\_  
日期: September 22, 2024  
地点: 生物实验中心 312

课程名称: 生态学基础及实验 指导老师: \_\_\_\_\_ 实验类型: 观测  
实验名称: 种群 Logistic 增长及其温度响应的观测 签 名: \_\_\_\_\_

## 一、实验目的

1. 理解环境容纳量和内禀增长率
2. 掌握 Logistic 增长曲线的绘制方法
3. 了解环境因子（如温度）对种群增长的调控

## 二、背景知识及实验原理

### 1. 种群 (Population)

#### (1) 定义:

特定时空内相互作用的同一物种的个体集合。种群是物种在自然界中存在的基本单元。

#### (2) 基本概念:

- a 种群的基本特征: 遗传特征、年龄结构、空间分布、个体数量
- b 种群增长: 种群内个体数量的增长
- c 种群动态: 种群个体数量在时间和空间分布上的变动规律

### 2. 种群的增长模型:

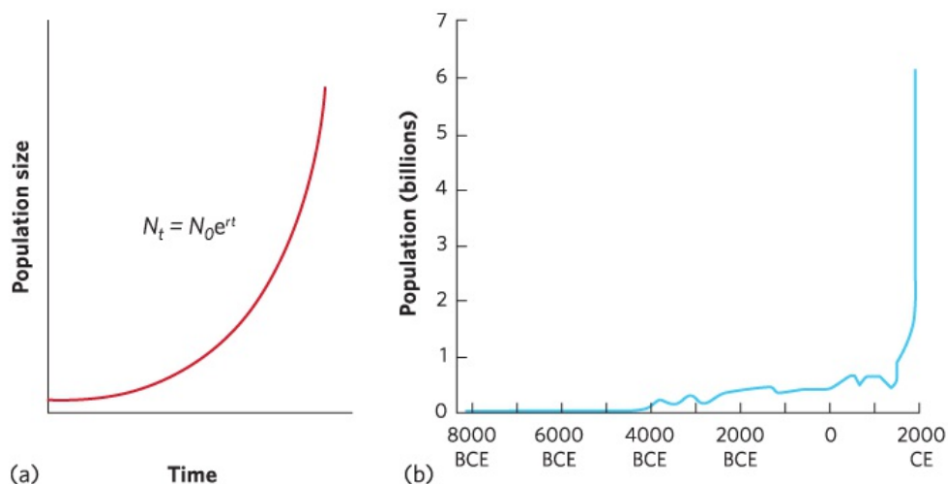
#### (1) 非密度制约型 (J 型):

资源或空间无限制的条件下, 个体数量以几何级数或指数增长, 见图 1。

$$\frac{dN_t}{dt} = N_t \times r \quad (1)$$

令  $t = 0$  时,  $N = N_0$ , 解上述微分方程得:

$$N_t = N_0 \times e^{rt} \quad (2)$$

Figure 1: J 型增长 (引自 *Ricklefs, Ecology: The Economy of The Nature, 8e, 2018*)

## (2) 密度制约型 (S 型)：

资源或空间有限的条件下，密度越大内禀增长率越小，见图 2。该模型在 J 型增长的基础上增加了两点假设：

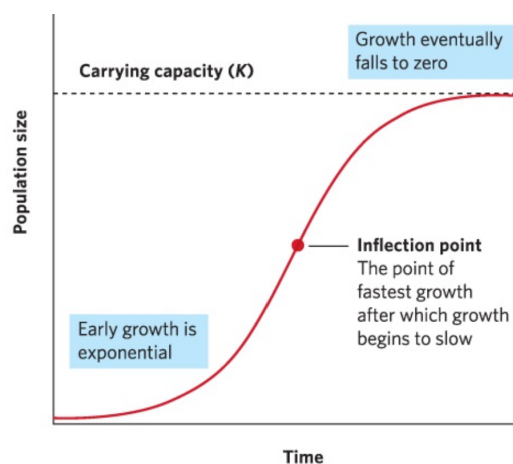
(1) 存在环境容纳量  $K$ ，且当  $N_t = K$  时， $\frac{dN_t}{dt} = 0$

(2) 内禀增长率随密度上升而降低，降低的量与种群密度成正比

$$\frac{dN_t}{dt} = N_t \times r \left(1 - \frac{N_t}{K}\right) \quad (3)$$

解上述微分方程，可得 (其中  $a$  为积分常数)：

$$N_t = \frac{K}{1 + e^{a-rt}} \quad (4)$$

Figure 2: S 型增长 (引自 *Ricklefs, Ecology: The Economy of The Nature, 8e, 2018*)

### 三、实验材料和条件

#### 1. 实验材料：

小球藻 *Chlorella protothecides*

#### 2. 实验设备：

- 小球藻培养液
- 三角瓶
- 移液枪
- 分光光度计
- 光照培养箱

#### 3. 实验条件：

- 处理 1 (T1) :20°C 恒温箱
- 处理 2 (T2) :30°C 恒温箱

### 四、实验步骤

#### 1. 藻种的萌发和扩繁

- 取 10ml 藻种转移至三角瓶中，并加入 100ml 培养液，在 25°C、每天光照 12 小时条件下培养一周
- 再按照同样的方法连续转接培养 3-4 次，培养出足够的量

#### 2. 配置小球藻培养液 FACHB3

加入下表中的成分并用纯水稀释到 1000ml

Table 1: 培养液成分表

成分	$(NH_4)_2SO_4$	$K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$Ca(NO_3)_2$	$NaHCO_3$	柠檬酸	柠檬酸铁
含量 (g/L)	0.2	0.1	0.08	0.02	0.3	0.005	0.005

#### 3. 设置实验组与对照组

- 对照组：在 2 个 250ml 三角瓶中各加入 110ml 营养液，瓶身上写日期、组名
- 实验组：在 6 个 250ml 三角瓶中各加入 100ml 营养液和 10ml 培养液并震荡均匀，瓶身上写日期、组名
- 将 6 个小球藻三角瓶随机分为 2 组，各分配一个空白对照三角瓶，两组分别置于 20°C 和 30°C 的光温培养箱中，以每日 12h 光照连续培养 1 周

#### 4. 观察测定

每天中午 12:00-13:00 测定三角瓶溶液的  $OD_{650}$  值并记录，持续一周

## 五、实验结果及数据分析

### 1. 实验结果

实验测得  $OD_{260}$ （原始数据见附录）与小球藻种群大小存在以下的经验关系：

$$Density = 2069.8[OD_{650}] + 391.67 (\times 10^4 \text{ cells/ml})$$

将  $OD_{260}$  值数据转化为种群密度后使用 Origin 软件作图，得到 20°C（图 3）和 30°C（图 4）下的小球藻增长曲线：

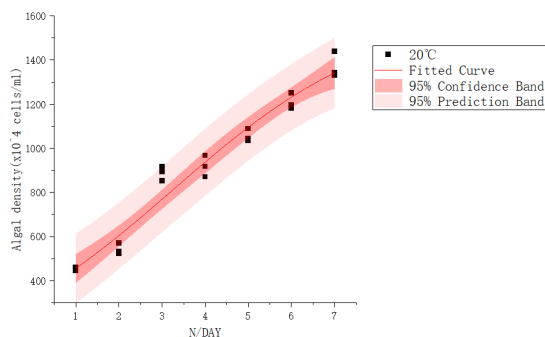


Figure 3: 20°C 增长曲线

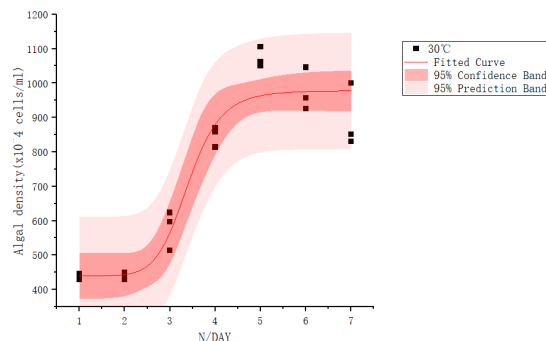


Figure 4: 30°C 增长曲线

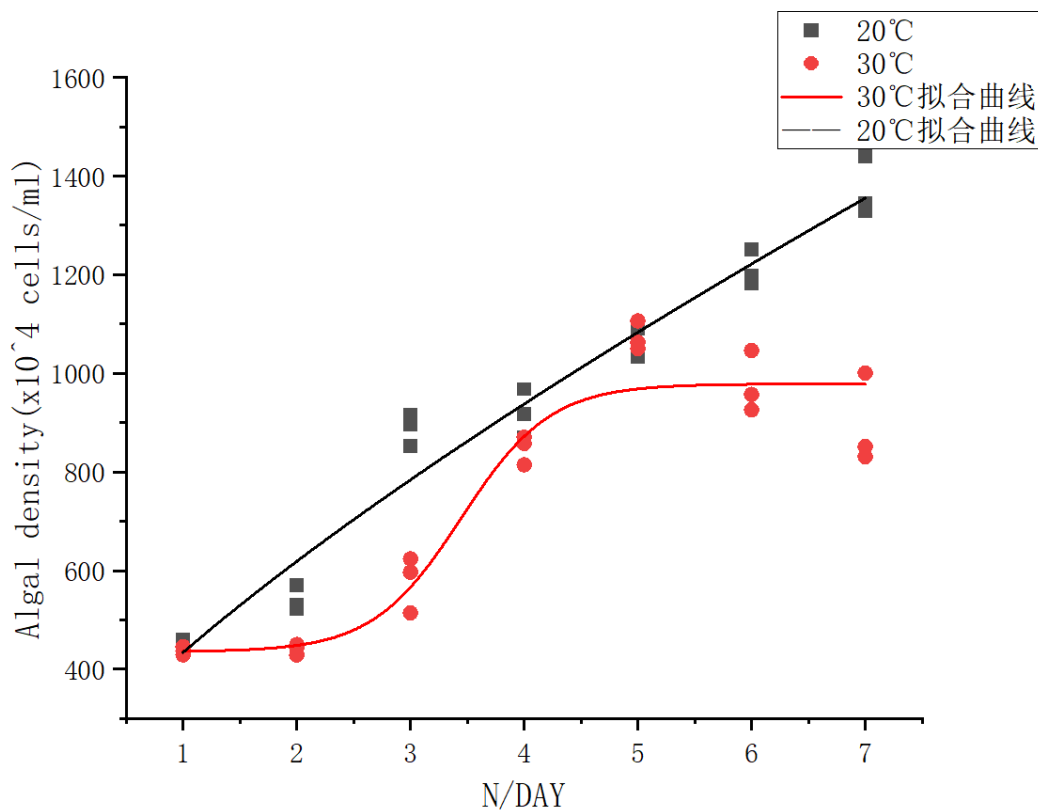


Figure 5: 20°C 与 30°C 增长曲线

## 2. 数据分析

20°C 组曲线拟合方程为

$$y = \frac{1621.58}{1 + e^{-0.42x + 1.37}} \quad (5)$$

30°C 组用标准模型拟合效果不佳， $R^2$  较小。现对模型进行修正，添加常数项和指数项参数，拟合方程为

$$y = 997.93 + \frac{-557.92}{1 + \frac{x^{9.32}}{89822}} \quad (6)$$

可以发现，小球藻在 20°C 条件下培养的增长速率较为恒定，用 Logistic 曲线拟合的结果也是一条相对平滑的一次函数状曲线，没有出现预计的 S 状曲线结果。推测 20°C 环境的环境容纳量较大，7 天的测量时间较短，小球藻还处在快速增长的阶段，该增长曲线无法体现出逻辑斯蒂增长的特点。

而 30°C 条件下培养的小球藻呈现出明显的逻辑斯蒂增长，1-3 天增长相对缓慢，3-5 天种群数量快速增长，并在第 5 天达到峰值，后种群数量有所回落，最终应会稳定在 K 值附近。呈现出这种趋势的原因或许是 1-3 天由于个体数量较少，增长相对缓慢，3-5 天种群数量仍未达到环境容纳量，仍能快速增长。5 天之后种群数量增加过快，资源即将消耗殆尽，环境阻力增加，对小球藻的繁殖造成了不利影响，甚至导致一部分小球藻死亡，所以种群数量略有下降并逐渐稳定。

现在根据公式计算两种条件下的 K 值理论值：

$$K = \frac{2N_1N_2N_3 - N_2^2(N_1 + N_3)}{N_1N_3 - N_2^2} \quad (7)$$

其中  $N_1N_2N_3$  为时间间隔基本相等的种群大小观测值，取第 1/4/7 天的观测结果计算该实验条件下小球藻的环境容纳量，结果为：

$$K_{20^\circ\text{C}} = 1.8 \times 10^9, K_{30^\circ\text{C}} = 9.3 \times 10^8 \quad (\text{单位：个})$$

而根据小球藻密度换算而来的种群数量，第 7 天 20°C 组的种群数量为  $1.4 \times 10^9$  个，还为达到环境容纳量，仍处于增长阶段，与实验结果基本符合。第 7 天 30°C 组的种群数量为  $9.3 \times 10^8$  个，已经达到环境容纳量了，数量基本稳定，与实验结果吻合。

查阅资料发现，有文献报道了温度对小球藻的增长率的影响（见图 6），20°C 时小球藻的增长率大于 30°C，这也和实验结果较符合。

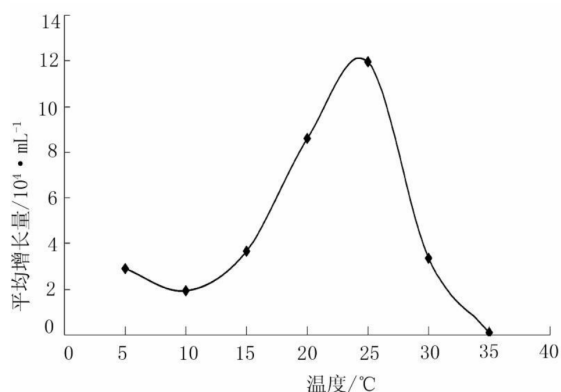


Figure 6: 温度对小球藻增长率的影响（引自杨桂娟等，温度对小球藻生长量和溶氧量的影响研究，2008）

综上所述，20°C 条件下的 K 值比 30°C 条件下的 K 值大。温度对内禀增长率  $r$  的影响表现为先增后减，20°C 大于 30°C，并且文献中报道在 25°C 左右达到最大值。温度对数学模型中的积分常数  $a$  无影响，取决于初始投放的小球藻数量。

### 3. 思考题

#### 自然界中的种群是否可能无限地增长，为什么？

不可能，一个种群所处的环境中空间与资源有限，而种群中个体的生存需要占有空间和消耗资源，这就导致了某个环境所能承载的个体数量是有限的，不可能无限制地增长。只有满足空间与资源无限的条件，才有可能无限增长。

#### 逻辑斯蒂增长模型有什么局限？

- a 环境容纳量恒定假设：该模型假设环境容纳量（K 值）是恒定的，但在实际中，K 值可能会受到多种因素的影响而发生变化，如气候变化、栖息地破坏、资源竞争等，这使得模型对种群数量的长期预测准确性受到限制。
- b 种群内部因素简化假设：忽略了种群内部的年龄结构、性别比例等因素对种群增长的影响。不同年龄阶段的个体具有不同的繁殖能力和生存概率，性别比例也会影响种群的繁殖速度，而这些因素在逻辑斯蒂增长模型中未被充分考虑。
- c 仅适用于单一种群：描述的是世代重叠的单个种群的增长动态过程，没有考虑与其它生物种群的相互依存和相互制约等关系。然而，在自然生态系统中，物种之间存在着复杂的相互作用，如竞争、捕食、寄生等，这些相互作用会对种群的增长产生重要影响，而逻辑斯蒂增长模型无法直接反映这些因素。
- d 参数确定困难：模型中的参数（如内禀增长率  $r$  和环境容纳量  $K$ ）通常需要通过实验数据或观察来估计，但在实际中，准确获取这些参数的值可能比较困难，尤其是对于一些难以观测或研究的种群。
- e 对初始条件敏感：种群增长的结果对初始条件比较敏感，即初始种群数量的微小变化可能会导致模型预测结果的较大差异。但在实际中，很难精确确定种群的初始数量和状态，这也会影响模型的准确性和可靠性。

六、 附录

Table 2: 20°C 拟合报告

$y = a/(1 + \exp(-k*(x-xc)))$	
Reduced Chi-Sqr	4640.69193
Adj. R-Square	0.95435
a	1621.58624 ± 166.57606
xc	3.24575 ± 0.57319
k	0.41744 ± 0.06972

Table 3: 30°C 拟合报告

$y = A2 + (A1-A2)/(1 + (x/x0)^p)$	
Reduced Chi-Sqr	5624.26583
Adj. R-Square	0.91077
A1	440.0016 ± 31.73712
A2	977.92636 ± 28.69948
x0	3.40575 ± 0.15655
p	9.31837 ± 2.75305

Table 4: 原始数据

N	20-Density	30-Density	20-Population Size	30-Population Size	20°C-OD650	30°C-OD650
1	445	445	490033280	490033280	0.026	0.026
1	445	437	490033280	480926160	0.022	0.026
1	460	429	505970740	471819040	0.018	0.033
2	570	443	626640080	487756500	0.025	0.086
2	530	450	583381260	494586840	0.028	0.067
2	522	429	574274140	471819040	0.018	0.063
3	915	514	1006862340	565167020	0.059	0.253
3	851	623	936282160	685836360	0.112	0.222
3	895	597	984094540	656238220	0.099	0.243
4	967	814	1063781840	895300120	0.204	0.278
4	870	870	956773180	956773180	0.231	0.231
4	917	857	1009139120	943112500	0.225	0.254
5	1044	1106	1148022700	1216326100	0.345	0.315
5	1089	1050	1198111860	1154853040	0.318	0.337
5	1033	1062	1136638800	1168513720	0.324	0.310
6	1251	1046	1375700700	1150299480	0.316	0.415
6	1197	957	1316504420	1052397940	0.273	0.389
6	1182	926	1300566960	1018246240	0.258	0.382
7	1329	1000	1462218340	1100210320	0.294	0.453
7	1439	830	1582887680	913514360	0.212	0.506
7	1344	851	1478155800	936282160	0.222	0.460