


第1章

种群及其动态

任何物种都不可能以单一个体生存和繁衍。在一定的空间范围内，同种生物所有个体形成的集合就是种群。

你听说过东北豹吗？它分布在我国东北、俄罗斯远东等地，是我国一级保护动物。它有灵敏的嗅觉和听觉，有健壮的四肢、锋利的爪子和牙齿，是山林中的捕猎能手。然而，我国的野生东北豹一度不足 10 只，濒临灭绝。为什么强悍凶猛的动物也会濒危呢？

濒危动物保护、有害生物防治、渔业上合理捕捞量的确定等，都离不开种群的研究。种群研究的中心问题是种群的数量特征及其变化规律：该种群的个体数量状况如何？其数量将会怎样变化？影响其数量变化的因素有哪些？



威震山林也有衰亡时刻，
群体共存才有生命长河。
从个体到种群，
从种群到群落，
无不揭示一个原理——
“整体大于部分之和”！

第1节

种群的数量特征

问题探讨

2015年,我国科学家基于长期的野外观测查明:在我国东北长白山脉北部地区,共监测到东北豹42只,其中,幼体2只,雄性和雌性的成体分别为21只和17只,未能判断性别的成体2只。

讨论

1. 调查东北豹的种群数量对于保护它们有什么意义?
2. 调查东北豹种群中雌雄个体的数目对于预测该种群的发展趋势有什么意义?



红外触发相机拍摄到的东北豹

本节聚焦

- 怎样估算种群密度?如何提高估算的准确性?
- 种群的数量特征有哪些?
- 如何根据种群的特征预测其未来的发展趋势?

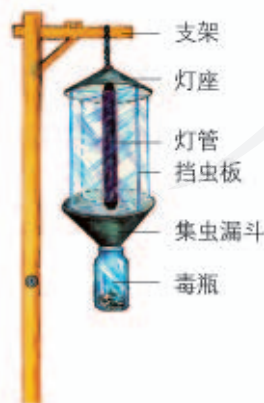
“问题探讨”中所说的长白山脉北部地区有42只东北豹,以及组成种群个体的年龄状况和雌雄个体的数目,都是种群的数量特征。如果你进一步追问在某区域内平均每只东北豹有多大的生活面积,这个问题就涉及东北豹的种群密度。

种群密度及其调查方法

种群在单位面积或单位体积中的个体数就是种群密度(population density)。种群密度是种群最基本的数量特征。濒危动物保护、农田杂草状况调查、农林害虫的监测和预报、渔业上捕捞强度的确定等,都需要对种群密度进行调查研究。

在调查分布范围较小、个体较大的种群时,可以逐个计数,如调查某山坡上的珙桐密度。在多数情况下,逐个计数非常困难,需要采取估算的方法。例如,对于有趋光性的昆虫,可以用黑光灯进行灯光诱捕的方法来估算它们的种群密度(图1-1)。

样方法 估算种群密度最常用的方法之一是样方法:在被调查种群的分布范围内,随机选取若干个样方,通过计数每个样方内的个体数,求得每个样方的种群密度,以所有样方种群密度的平均值作为该种群的种群密度估算值。调查草地上蒲公英的密度,农田中某种昆虫卵的密度,作物植株上蚜虫的密度、跳蝻的密度等,都可以采用样方法。



▲ 图1-1 黑光灯的示意图

标记重捕法 许多动物的活动能力强，活动范围大，不宜用样方法来调查它们的种群密度。常用的方法之一是标记重捕法。这种方法是在被调查种群的活动范围内，捕获一部分个体，做上标记后再放回原来的环境，经过一段时间后进行重捕，根据重捕到的动物中标记个体数占总个体数的比例，来估算种群密度。例如，在对某种鼠的调查中，调查范围为 1 hm^2 ，第一次捕获并标记39只鼠，第二次捕获34只鼠，其中有标记鼠15只，这样就可以估算出这种鼠的种群密度为 $39 \times 34 \div 15 = 88.4$ 只/ hm^2 。

种群密度反映了种群在一定时期的数量，但是仅靠这一特征还不能反映种群数量的变化趋势。要想知道种群数量的消长，还需要研究种群的出生率（birth rate）和死亡率（death rate）等其他数量特征。

出生率和死亡率

为什么东北豹、大熊猫等动物在人为保护的措施下，种群数量仍不能迅速增长，而鼠、蝗虫等动物，尽管人们采取各种防除措施，却仍然数量繁多，屡屡为害？原因固然是多方面的，但繁殖能力的差别是重要原因。繁殖能力强的种群出生率高，种群增长快。

出生率是指在单位时间内新产生的个体数目占该种群个体总数的比值。例如，截至2015年年末，我国大陆总人口约为13.7亿，2015年出生1 655万人，我国大陆人口在这一年的出生率约为12‰。死亡率是指在单位时间内死亡的个体数目占该种群个体总数的比值。例如，2015年，我国大陆死亡人口为975万，死亡率约为7‰。

迁入率和迁出率

几十年前，我国东北地区广袤无边的森林里，生活着很多东北豹。随着人类在这片森林里采伐林木、垦荒种地、建设铁路，东北豹逐渐从这里迁出，几近消失。近些年来，国家高度重视对东北虎、东北豹等濒危动物的保护，采取了一系列有效的措施，如全面禁猎，禁止商业性采伐林木，建立自然保护区、国家公园等（图1-2）。随着环境的大大改善，东北豹逐渐回归、迁入我国东北地区。其实，许多生物的种群都存在个体迁入和迁出现象。对一个种

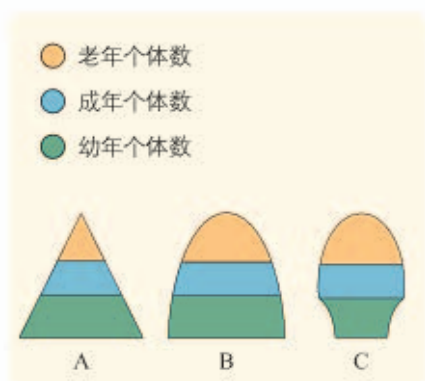


东北豹的繁殖能力和鼠的差别有多大？这对于它们的种群数量有哪些影响？



鼠一年可生数胎，每胎产多只小鼠

▼图1-2 东北虎豹国家公园



▲ 图 1-3 种群年龄结构的三种类型

群来说，单位时间内迁入或迁出的个体占该种群个体总数的比值，分别称为迁入率（immigration rate）或迁出率（emigration rate）。如果你研究一座城市人口的变化，迁入率和迁出率更是不可忽视的因素。

年龄结构和性别比例

种群的年龄结构（age structure）是指一个种群中各年龄期的个体数目的比例，大致可以分为图 1-3 所示的三种类型。

思考·讨论

分析种群的年龄结构

讨论

1. 图 1-3 中 A、B、C 三种年龄结构的种群，哪种类型的种群数量会越来越大，属于增长型？哪种类型的种群数量会越来越小，属于衰退型？哪种类型的种群数量会在一段时间内保持相对稳定，属于稳定型？为什么？

2. 年龄结构为稳定型的种群，种群数量在近期一定能保持稳定吗？年龄结构为衰

退型的种群呢？

3. 据统计，1990—2013 年的 24 年间，我国 0~14 岁少年儿童的人口占总人口的比例由 27.69% 下降到 16.41%；15~64 岁人口的比例由 66.74% 上升到 73.92%；65 岁及以上老龄人口比例由 5.57% 上升到 9.67%。这说明我国人口的年龄结构发生了什么变化？

性别比例（sex ratio）是指种群中雌雄个体数目的比例。性别比例对种群密度也有一定的影响。例如，利用人工合成的性引诱剂（信息素）诱杀某种害虫的雄性个体，改变了害虫种群正常的性别比例，就会使很多雌性个体不能完成交配，从而使该种害虫的种群密度明显降低。

综上所述，种群密度是种群最基本的数量特征。种群的其他数量特征是影响种群密度的重要因素，其中出生率和死亡率、迁入率和迁出率直接决定种群密度，年龄结构影响出生率和死亡率，性别比例影响出生率，进而影响种群密度。

与社会的联系 自 20 世纪 80 年代以来，我国出生人口的男女性别比例持续升高，1982 年第三次人口普查显示全国的出生人口性别比例为 108.5（以 100 名女婴所对应的男婴数目为结果），2010 年第六次人口普查的这一数据为 121.2，严重偏离了世界人口性别比例的正常值 102~107。对此，我国政府采取了多种措施进行综合治理。例如，通过法律禁止“非医学需要的胎儿性别鉴定”和“非医学需要的性别选择性人工流产”，启动了“关爱女孩行动”，等等。

调查草地中某种双子叶植物的种群密度

单子叶草本植物常常是丛生或蔓生的，从地上部分难以辨别是一株还是多株；而双子叶草本植物则易于辨别个体数目。单子叶植物的叶片一般呈条形或披针形，叶脉一般是平行脉；双子叶植物的叶脉一般是网状脉。

提出问题

你可以调查同一地块中不同双子叶植物的种群密度，也可以调查不同地块中一种或几种双子叶植物的种群密度。通过小组讨论，确定要探究的问题_____。

制订计划

1. 结合自己的生活经验，想一想什么地方适合做这样的调查。在老师指导下确定调查地点和范围。

2. 确定调查时间。

3. 讨论需要携带哪些材料用具，列出清单。

4. 讨论确定小组成员间的分工。

实施计划

1. 准备：来到调查地点后，先大致观察一下地形，分析有没有安全隐患，提出安全注意事项。

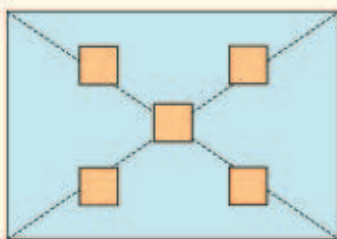
2. 确定调查对象：观察该地段中有哪些双子叶草本植物，记录下这些植物的名称。确定本小组要调查的种群。



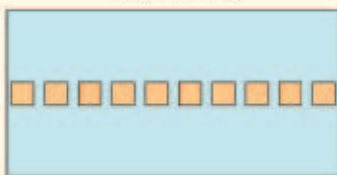
3. 确定样方：观察调查对象的分布状况和地段的形状，根据观察结果，结合下面的提示，讨论确定样方的多少、样方大小和取样方法。

样方的大小一般以 1 m^2 的正方形为宜。如果该种群个体数较少，样方面积可适当扩大。

取样的关键是要做到随机取样，不能掺入主观因素。下图所示的五点取样法和等距取样法都是常用的取样方法，可供参考。



五点取样法



等距取样法

4. 计数：计数每个样方内所调查植物的数量，做好记录。

5. 计算种群密度。

! 调查时要做到爱护植被，不攀折花木，不破坏草坪，不毁坏庄稼，不采食野果，不伤害野生动物。

结论

分析调查结果，得出结论。将结论写在记录本上。

讨论

1. 为什么要强调随机取样？

2. 样方的多少会影响调查结果吗？

3. 比较各小组对同一种群的种群密度的调查结果，就发现的问题进行讨论。

练习与应用

一、概念检测

1. 种群密度是种群最基本的数量特征。判断下列与种群密度有关的表述是否正确。

(1) 一块草地上所有蒲公英的数量就是这个蒲公英种群的种群密度。 ()

(2) 调查青蛙等活动范围不大的动物的种群密度可以用样方法。 ()

(3) 种群密度与出生率成正比。 ()

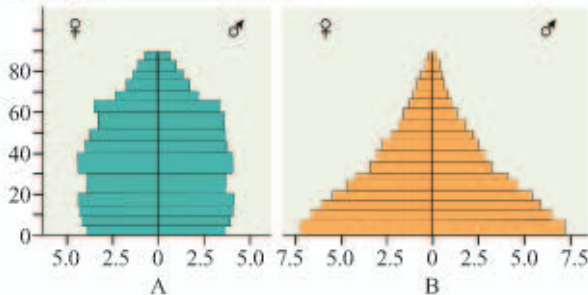
2. 科技人员为了检验某新型除草剂对麦田杂草猪殃殃的防治效果, 随机选3块麦田, 在每块麦田中做对照实验, 施药60天后调查猪殃殃密度。取样方法为每个处理随机取5个样方, 每个样方为 1 m^2 。调查结果为对照组 $411.75\text{ 株}/\text{m}^2$, 实验组 $35.00\text{ 株}/\text{m}^2$ 。下列分析正确的是 ()

- A. 样方数量过少, 面积适当
- B. 样方面积过小, 数量适当
- C. 杂草株数应为整数, 对照组数据有误
- D. 实验组数据可信, 该除草剂施用效果显著

二、拓展应用

1. 在某池塘中, 第一次捕获鲫鱼106条, 做上标记后放回; 第二次捕获鲫鱼91条, 其中有标记的为25条。由此估算该池塘中共有鲫鱼____条。

2. 下图A、B分别为两个国家人口的年龄结构图, 纵轴示年龄, 横轴示各年龄段人口占总人口的百分比。据此图可判断, 未来人口增长率高的国家是_____。



3. 2003年, 我国颁布法律, 禁止“非医学需要的胎儿性别鉴定”和“非医学需要的性别选择性人工流产”, 请简要说明这一规定的意义。

生物科技进展

调查种群数量的其他方法

调查动物种群密度的常用方法, 如样方法、标记重捕法, 往往需要直接观察或捕捉个体。在调查生活在隐蔽、复杂环境中的动物, 特别是猛兽和猛兽时, 这些方法就不适用了。为此, 科学家开发出一些不需要直接观察或捕捉, 就能调查种群密度或种群数量的新方法。

在动物的栖息地布设若干台红外触发相机, 恒温动物一靠近, 就会触发相机自动拍照或录像。经过一段时间, 科学家利用计算机分析处理这些照片或视频, 就能确定所调查动物的种群数量。运用这种方法, 我国科学家于2015年查明, 我国东北长白山脉北部地区至少有27只东北虎和42只东北豹。

不同动物的粪便具有不同的特征。先区分粪便来自哪种动物, 再分析这种动物的粪便来自多少个个体, 就可以获得种群的数

量信息。例如, 在四川王朗国家级自然保护区, 科学家采集了大量大熊猫的粪便, 通过分析其中的微卫星DNA分子标记, 查明在2003—2004年, 这一地区大熊猫的种群数量为66只, 其中雄性35只, 雌性31只。

动物的声音也存在个体差异, 成熟个体的声音特征往往可以长期保持稳定。因此, 动物的声音可以作为一种非损伤、低干扰的标记, 用于对不同个体进行识别, 进而进行种群数量的监测。利用这种基于声音的个体识别技术, 科学家成功地对鲸、长臂猿等哺乳动物以及鸚、秧鸡等鸟类开展了野外种群数量的监测。



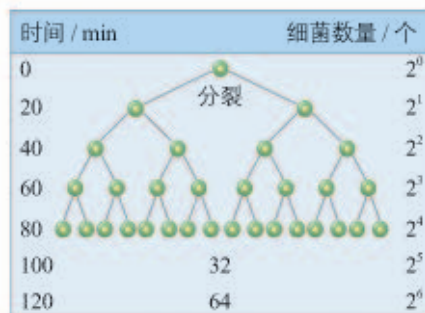
第2节 种群数量的变化

问题探讨

我们的手上难免沾染细菌。细菌的繁殖速率很快，因而我们要常洗手。假设在营养和生存空间没有限制的情况下，某种细菌每20 min就通过分裂繁殖一代。

讨论

1. 第 n 代细菌数量的计算公式是什么？
2. 72 h后，由一个细菌分裂产生的细菌数量是多少？
3. 在一个培养瓶中，细菌的数量会一直按照这个公式描述的趋势增长吗？如何验证你的观点？



细菌繁殖产生的后代数量

描述、解释和预测种群数量的变化，常常需要建立数学模型。在上面的“问题探讨”活动中，你已经尝试对某种细菌种群的数量变化建立数学模型。

本节聚焦

- 怎样建构种群增长的模型？
- 种群的数量是怎样变化的？

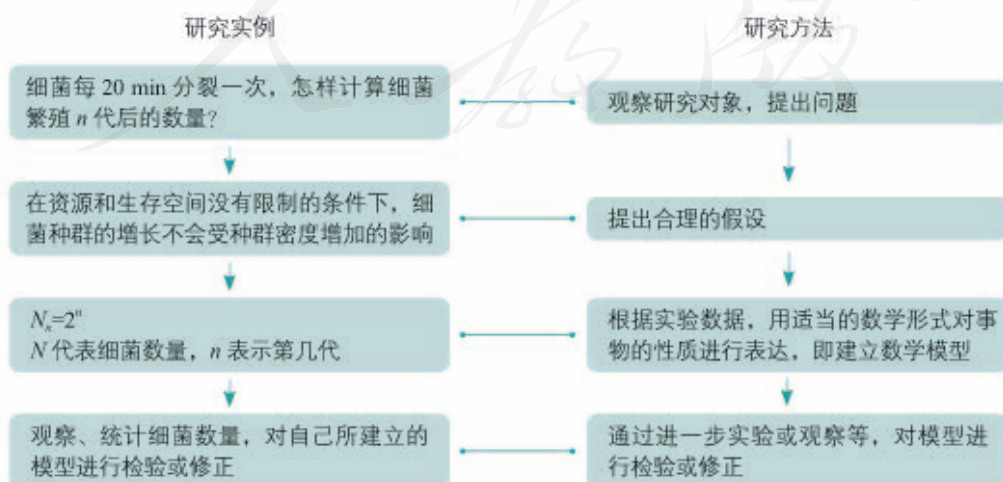
建构种群增长模型的方法

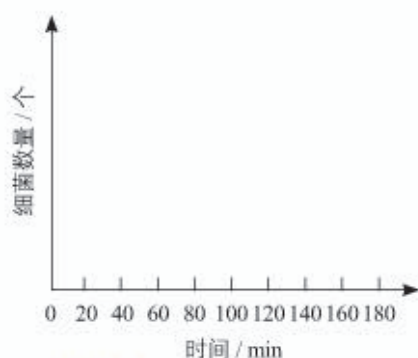
科学方法

建立数学模型

数学模型是用来描述一个系统或它的性质的数学形式。建立数学模型一般包括以下步骤

(以“问题探讨”中的素材为例)：





▲图 1-4 细菌种群的增长曲线

下面请你算出一个细菌产生的后代在不同时间（单位为 min）的数量，并填入下表，然后以时间为横坐标，细菌数量为纵坐标，画出细菌种群的增长曲线（图 1-4）。

时间/min	20	40	60	80	100	120	140	160	180
细菌数量/个									

这样的曲线图是数学模型的另一种表现形式。同数学公式相比，它能更直观地反映出种群的增长趋势。

你所得出的公式和增长曲线，只是对理想条件下细菌数量增长的推测。

在自然界中，种群的数量变化情况是怎样的呢？



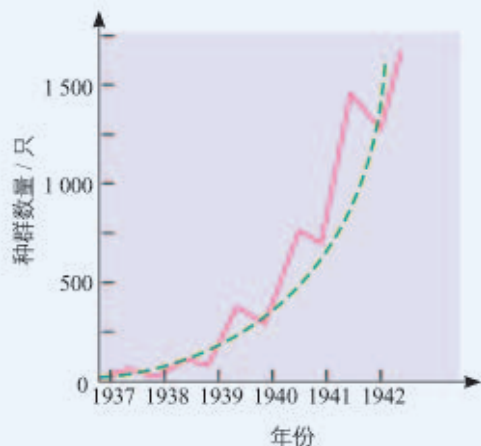
同数学公式相比，曲线图表示的模型有什么局限性？

思考·讨论

分析自然界种群增长的实例

资料 1 1859 年，一位来到澳大利亚定居的英国人在他的农场中放生了 24 只野兔。让他没有想到的是，一个世纪之后，这 24 只野兔的后代竟超过 6 亿只。漫山遍野的野兔不仅与牛羊争食牧草，还啃噬树皮，造成植被破坏，导致水土流失。后来，人们引入了黏液瘤病毒才使野兔的数量得到控制。

资料 2 20 世纪 30 年代，人们将环颈雉引入某地一个岛屿。1937—1942 年，这个种群数量的增长如右图所示。



某岛屿环颈雉种群数量的增长曲线

讨论

1. 这两个资料中的种群增长有什么共同点？

2. 种群出现这种增长的原因是什么？

3. 这种种群增长的趋势能不能一直持续下去？为什么？

种群的“J”形增长

通过上述两个实例可以看出，自然界有类似细菌在理想条件下种群增长的形式，如果以时间为横坐标，种群数量为纵坐标画出曲线来表示，曲线则大致呈“J”形。这种类型的种群增长称为“J”形增长。

“J”形增长的数学模型(以数学公式表示)是怎样的?

模型假设:在食物和空间条件充裕、气候适宜、没有天敌和其他竞争物种等条件下,种群的数量每年以一定的倍数增长,第二年的数量是第一年的 λ 倍。

建立模型: t 年后种群数量为 $N_t = N_0 \lambda^t$

模型中各参数的意义: N_0 为该种群的起始数量, t 为时间, N_t 表示 t 年后该种群的数量, λ 表示该种群数量是前一年种群数量的倍数。

如果遇到资源、空间等方面的限制,种群还会呈“J”形增长吗?

种群的“S”形增长

生态学家高斯(G. F. Gause, 1910—1986)曾经做过单独培养大草履虫的实验:在0.5 mL培养液中放入5个大草履虫,然后每隔24 h统计一次大草履虫的数量。经过反复实验,得出了如图1-5所示的结果。从图中可以看出,大草履虫的数量在第二天和第三天增长较快,第五天以后基本维持在375个左右,像这样,种群经过一定时间的增长后,数量趋于稳定,增长曲线呈“S”形。这种类型的种群增长称为“S”形增长。

上述大草履虫种群的数量之所以呈“S”形增长,这是由于随着大草履虫数量的增多,它们对食物和空间的竞争也趋于激烈,导致出生率降低,死亡率升高。在自然界,当一种生物迁入一个条件适宜的新分布地时,初始阶段一般会出现较快增长,但是,资源和空间总是有限的。当种群密度增大时,种内竞争就会加剧,这就会使种群的出生率降低,死亡率升高。当死亡率升高至与出生率相等时,种群的增长就会停止,有时会稳定在一定的水平。可见,种内竞争对种群数量起调节作用。

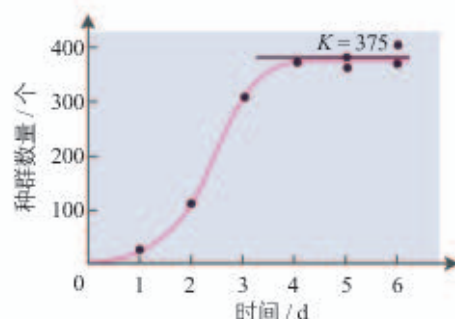
一定的环境条件所能维持的种群最大数量称为环境容纳量(carrying capacity),又称 K 值。上述高斯实验中,大草履虫种群的 K 值是375个。

同一种群的 K 值是不是固定不变的呢?

这里以野生大熊猫种群为例来说明。大熊猫栖息地遭到破坏后,由于食物的减少和活动范围的缩小,其 K 值就会变小。这是野生大熊猫种群数量锐减的重要原因。因此,建立自然保护区,给大熊猫更宽广的生存空间,改善它们的栖息环境,从而提高环境容纳量,是保护大熊猫的根本措施。



查一查历年来世界和我国人口增长的数据,分析人口是否呈“J”形增长。



▲图1-5 大草履虫种群的增长曲线



环境容纳量与现实生活

讨论

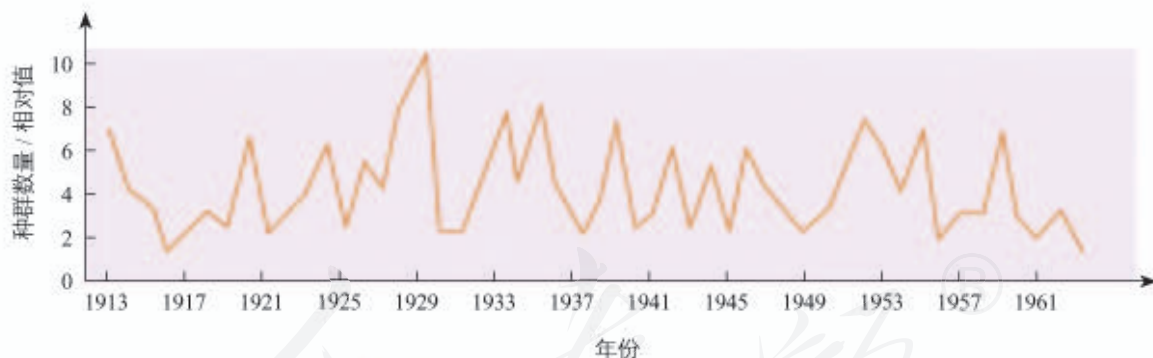
1. 有人说目前全世界人口数量已经达到地球的环境容纳量，必须采取更加严格的措施控制人口出生率；有人却认为科技进步能提高地球对人类的环境容纳量，例如，育种和种植技术的进步，能提高作物产量，从

而养活更多人口。对此你持什么观点？你有哪些证据支持你的观点？

2. 鼠害导致作物减产，蚊、蝇会传播疾病。从环境容纳量的角度思考，对家鼠等有害动物的控制，应当采取什么措施？

种群数量的波动

在自然界，有的种群能够在一段时期内维持数量的相对稳定。例如，某地野牛、狮的种群数量往往比较稳定。但对于大多数生物的种群来说，种群数量总是在波动中。例如，对某地区东亚飞蝗种群数量多年的变化情况所做的研究表明，该东亚飞蝗的种群数量在1913—1961年一直处于不规则的波动状态（图1-6）。处于波动状态的种群，在某些特定条件下可能出现种群爆发。蝗灾、鼠灾、赤潮等，就是种群数量爆发增长的结果。



▲ 图 1-6 某地区东亚飞蝗种群数量的波动

当种群长久处于不利条件下，如遭遇人类乱捕滥杀和栖息地破坏，种群数量会出现持续性的或急剧的下降。种群的延续需要有一定的个体数量为基础。当一个种群的数量过少，种群可能会由于近亲繁殖等原因而衰退、消亡。例如，多种鲸在遭遇人类过度捕捞后，种群数量急剧下降，有的鲸濒临灭绝。因此，对那些已经低于种群延续所需要的最小种群数量的物种，需要采取有效的措施进行保护。

培养液中酵母菌种群数量的变化

酿酒和做面包都需要酵母菌，这些酵母菌可以用液体培养基（培养液）来培养。

问题

培养液中酵母菌种群的数量是怎样随时间变化的？

材料用具

酵母菌、无菌马铃薯培养液或肉汤培养液、试管、血细胞计数板、滴管、显微镜等。

讨论探究思路

在制订计划前，你需要思考以下问题，并与同学讨论。

1. 怎样对酵母菌进行计数？

（1）对一支试管中的培养液（可定为10 mL）中的酵母菌逐个计数是非常困难的，可以采用抽样检测的方法：先将盖玻片放在血细胞计数板的计数室上，用吸管吸取培养液，滴于盖玻片边缘，让培养液自行渗入。多余的培养液用滤纸吸去。稍待片刻，待酵母菌全部沉降到计数室底部，将计数板放在载物台的中央，计数一个小方格内的酵母菌数量，再以此为根据，估算试管中的酵母菌总数。

盖玻片下的培养液厚度为0.1 mm，请推导出将一个小方格范围内的酵母菌数目，换算成10 mL培养液中酵母菌总数的公式。

（2）从试管中吸出培养液进行计数之前，建议你将试管轻轻振荡几次。这是为什么？

（3）如果一个小方格内酵母菌过多，难以数清，应当采取什么措施？

（4）对于压在小方格界线上的酵母菌，应当怎样计数？



血细胞计数板

2. 本探究需要设置对照吗？如果需要，请讨论对照组应怎样设计和操作；如果不需要，请说明理由。

3. 要做重复实验吗？为什么？

4. 怎样记录结果？

记录表怎样设计？

制订计划

写出探究方案，确定小组同学间的分工。向老师汇报本小组的探究计划，以获得老师的指导。

实施计划

首先通过显微镜观察，估算出10 mL培养液中酵母菌的初始数量（ N_0 ），在此之后连续观察7天，分别记录下这7天的数值。

分析结果，得出结论

将所得数值用曲线表示出来。

探究的结论是_____。

表达和交流

1. 向全班汇报本小组7天的数据，计算每天全班各组数据的平均值，根据平均值重新绘制酵母菌种群数量的增长曲线。将这个增长曲线与本小组的曲线进行比较，分析其相似程度，并作出合理的解释。

2. 根据各组平均数据画出的增长曲线有没有什么总趋势？如果有，请作出说明。

3. 影响酵母菌种群数量增长的因素可能是什么？

进一步探究

根据你对影响酵母菌种群增长的因素作出的推测，设计实验进行验证。



利用数码显微镜进行酵母菌计数