

[美] G. W. 考克斯 著

# 普通生态学 实验手册

科学出版社

3



## 内 容 简 介

本书主要内容有生态学、群落学抽样数据的基础统计分析,种群大小,种群扩散,生态型分析,动物行为,种内种间关系,种的多样性,群落排列,生态系统产量,生境主要因子等的测定方法。本书在美国是用来指导和培训高等院校大学生掌握生态学研究的基本方法。书中选用了近代生态学的新课题、新方法以及数量和统计技术、计算机程序设计技术等。同时,介绍的方法题材多样,并考虑到动物生态、植物生态、湖泊或海洋生态各分支都适用的基础,是作为生态学研究入门的方法性读物,因此,也适合从事生态学研究人员应用。

本书可供生态学研究人员、农林部门从事科学实验的技术人员以及高等院校有关专业的师生参考。

G. W. Cox

### LABORATORY MANUAL OF GENERAL ECOLOGY

Wm. C. Brown Company Publishers, 1972

## 普通生态学实验手册

〔美〕G. W. 考克斯 著

蒋有绪 译

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1979年6月第一版 开本: 787×1092 1/16

1979年6月第一次印刷 印张: 10 1/2

印数: 0001—17,160 字数: 240,000

统一书号: 13031·1024

本社书号: 1443·13—10

定价: 1.10 元

## 第二版前言

自本书第一版问世以来，作者更加确信，普通生态学课程实验部分的主要目的应当是帮助学生懂得如何研究生态学课题。为此，增加了一个认识生态学课题和检验生态学假设的专门练习，作为手册的第一个练习。由于电子计算机在生态学研究中的用途迅速增长，本书又增添了电子计算机程序设计的练习。该练习虽然放在手册的最后，但也可以在课程中早一些讲，使学生在以后的实习中能利用这一途径。

对若干新的论题，如对抗行为、负二项式、生态隔离和传粉生态学等也补充了一些练习。生态型分化练习是作为地区性植物种考察重新设计的。从第一版留下的大部分练习，也作了适当的修改和增新。

作者感谢 Boyd Collier、Darla Cox、Albert Johnson、Herbert Melchior、Joy 和 Paul Zedler 诸位为这次修订本书所给予的建议。

圣迭戈州立大学 George W. Cox

## 第一版前言

由有机体及其环境所组成的系统构成生态科学的题材。这本普通生态学实验手册着重分析这些系统的结构、功能的数量和统计技术。这两方面的叙述不仅用来介绍生态学题材和本专门性手册的途径,而且也为了引起作为一个学科的生态学现状的有益讨论。

首先,生态学被认为是一门科学。由于生态学缺乏科学理论的独特主体,这一名称在某些基础方面过去是,现在仍然是有疑义的。问题本身反映了生态学家发展早期野外描述工作的偏见。对物种自然集群的认识和命名以及对限制有机体分布的环境因子的描绘和分类,统治了这一描述途径。在极端的情况下,这一途径把生态学与“超描述”视为同义语了。然而,近年来生态学已经创立了从个体及其直接的小环境直到生态系统等不同集合程度的关于有机体及其环境相互关系理论的独特主体。这一理论主体在开始时是作为研究生态系统的功能途径的发展结果而出现的。这一途径涉及到了解生态系统是如何作用的,这个作用的机制如何在某一时间决定系统的结构,以及在整个时间内如何决定系统结构的变化格式的。近代生态学为了研究生态系统的功能,把描述性生态学技术多半作为“工具”来应用。

其次,本书是作为普通生态学的实验手册来介绍的。这一名称强调的事实是:对包括动物生态学、植物生态学、湖泊生态学、海洋生态学在内的各生态学分支,大量的理论和技术只要在细节上稍加修改就可以应用于所有的分类类群和主要生境。这种理论和技术共同部分随生态学功能手段的发展而增加了,并且现在对初学者介绍生态科学时要求应用统一的入门途径。

第三,强调了近代生态学数量和统计技术的重要性。一般对生态学家所用的原始数据的特点通常要求:必须从许多相对来讲是非控制性的、偶然的原因中筛选出有意义的差异来。对统计理论的基本了解和把它用于生态研究,对现代的生态学研究人员来讲是很重要的。

P. J. Newbould 在一篇关于着重生态学功能途径的近代生态学课题的评论中,简要地总结了近代生态学状况和方向(J. of Ecology, 52:449, 1964):

“功能生态学的训练也许需要更多的设备、更丰富的思想力,并最终搬掉植物生态学和动物生态学之间的壁垒,这个壁垒经常在理论上被大声反对而实际上却未敢侵犯。此外,还将不得不更多地注意物理与化学的方法和统计技术。也许生态学只有这样才能作为‘新生物学’的一个必不可少的和主要部分而得到挽救。在一些高等院校,生态学对那些物理学多少还是比较薄弱的优秀自然科学家来说,仍然规定为可选可不选的课程,这种思想只能把生态学贬黜到只当作好听名词的地步……。”

在编写本实验手册时,曾尽力扩充以上强调的一些练习。然而各练习特点不同,有些是用来检验生态理论的要点,或阐明有重要生态意义的广泛现象,有些是介绍广泛应用的分析技术,还有一些则提供在许多不同类型生态学研究中都有的物理和化学方法。统计分析的专门技术是作为任何时候都适用的数据分析的主要部分来介绍和应用的。

本手册在各练习的设计和組織上尽量考虑必要的可塑性。关于天然种群或群落研究的练习，是以能够在不同群落类型或不同动植物种类的种群都行得通的角度来编排的。对于需要利用专门特点的有机体的练习，则建议采用令人满意的、广泛分布的种类，少数是有商品来源的适当材料。练习的数量和多样化，使教师有相当自由为某个学期选择要用的练习。这个特点使课程的实验部分随各学期而有所不同。增加的可塑性在于：许多练习既可以作为正式的班级练习，也可以作为各个学生题目设计的基础。

没有想为特定的生境或地区性群落类型的野外短途调查提供详尽的提纲。这项工作留给了教师，因为他是地区性动植物区系最好的权威，最了解在其地理区域内进行野外短途调查的时机和项目。或者可以把设计的专门练习和介绍的分析技术结合到地区情况所需要的任何提纲中去。

在各练习的末了都有一组适当的参考文献，有些说明练习材料的出处，有些是练习题目以外的。希望它们在学生准备实验工作报告，考虑和进行课程研究设计时，对建议下一步研究项目有用。

最后，作者感到，对生态学关系最密切的是生物学的进化部分。生态学中任何有意义的过程都应当力求考虑两者的相互关系。本手册没有包括专门考察作为自然选择动因的环境因素作用的任何练习，这是为了鼓励学生自己用附在练习后的适当的讨论题来考察许多练习的进化关系。

作者谨向协助编写本手册的人们致谢。手册的主要部分曾蒙 Kurt K. Bohnsack、Richard F. Ford、William E. Hazen、Albert W. Johnson、William C. Sloan 和 Hale L. Wedberg 审阅批评。一些专门练习曾得到 T. J. Cohn、E. B. Edney、Philip C. Miller、Wilfred J. Wilson 和 S. R. J. Woodell 的大力支持。Martha B. Lackey 为本手册准备了图片。作者感谢他们全体为本著作所做的贡献。

圣迭戈州立大学 George W. Cox

# 目 录

练习 1	野外生态课题的选择	1
练习 2	抽样数据的基础统计分析	6
练习 3	估算种群大小的标志重捕技术	15
练习 4	有效单位的捕获量	19
练习 5	土壤节肢动物的抽样	22
练习 6	植被分析: 样方抽样技术	26
练习 7	植被分析: 无样地抽样技术	32
练习 8	植被分析: 样线技术	37
练习 9	植被分析: Bitterlich 可变半径技术	41
练习 10	陆生等足类的温度驯化	44
练习 11	生态型的分化	47
练习 12	树木气候学	53
练习 13	等级适度实验	60
练习 14	对抗行为的实验研究	66
练习 15	种群内扩散: Poisson 法	72
练习 16	种群内扩散: 无样地法	77
练习 17	种群内扩散: 负二项式	82
练习 18	寿命表和生存曲线	86
练习 19	生态隔离	91
练习 20	植物种内及种间竞争	94
练习 21	原生动物的种群研究	100
练习 22	种间联结	106
练习 23	传粉生态学	109
练习 24	高等植物的抗生物质	114
练习 25	植物生活型	117
练习 26	测定种的多样性	120
练习 27	群落的排序	124
练习 28	一个简单陆地生态系统的初级生产量	129
练习 29	湖泊生态系统的结构和动态	134
练习 30	溶解氧的测定	139
练习 31	水的氯含量和盐量的测定	142
练习 32	土壤质地的分析	145
练习 33	土壤有机质的测定	150
练习 34	空气水汽的测定	153
练习 35	电子计算机程序设计	156

# 练习 1

## 野外生态课题的选择

现代生态学可以明确为研究生态系统的结构和功能 (Odum, 1962; Cox, 1970)。这里, 结构反映某一时间生态系统的条件, 包括多度、生物量、现存种的分布格式、养分和能的数量与分配以及表现为系统特征的物理和化学条件。功能反映系统内对决定能量流通和养分循环以及对产生目前结构格式起作用的因果关系。

大多数野外或实验室生态研究的最根本的兴趣, 实际上是由结构关系的某些观察引起的。由此观察开始的研究, 一般包括两个阶段: (1) 描述阶段, 不管是否涉及存在重要功能关系的结构特征, (2) 功能阶段, 在此阶段对可能的功能关系要加以探究。

图 1.1 提出了一个由初步观察开始, 到描述和功能阶段研究的各步骤的理想顺序。初步观察通常是对两个或更多一些生态环境间若干差别的一种观测。一般, 这种观察实际是推测性的, 并假设这一差别是实际存在的。这一假设必需用重复的观测或抽样程序的检验来确定, 如果差别大于预期实际存在的机率或比之更有规律的话。这种程序可能需要应用无偏倚数量抽样技术, 用适当的统计检验来比较。这些步骤构成生态学的描述阶段, 很可能引出是否存在特别的结构关系的结论。

如果抽样和分析肯定了初步观察的话, 就可以探求出可能的功能关系。这些与论证的差别的起因, 或它对生态系统的影响后果有关。考察这些关系需要列出一个因果假设, 而此假设要受控制性实验或控制性观察程序的检验。这种程序应当以统计检验数量数据

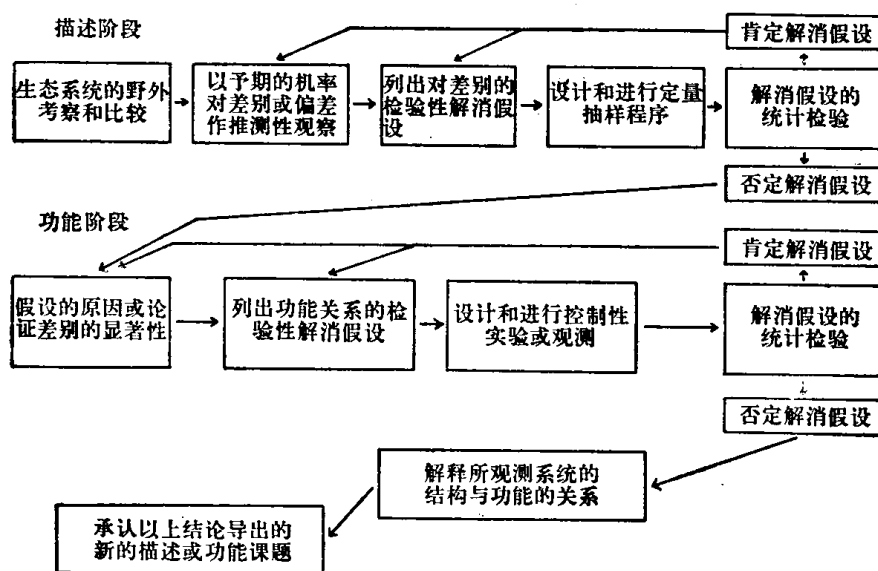


图 1.1 生态系统野外研究由初步观察到描述和功能阶段各步骤的理想顺序。  
引自 Cox, 1970。

为最后工序。这些步骤构成了生态学研究的功能阶段。

## 程 序

### 选题

设计生态研究最困难的步骤就是选择一个能完成考察功能关系的课题。虽然直观和经验有用处，但用系统方法进行初步观察还是有帮助的。其方法之一就是从容而谨慎地在不同生态系统之间或在单个系统的不同成分之间进行许多比较。这样的比较揭示出的差别，常常为有意义的生态研究提供了基础。对一些差别的初步观察，实际上很可能是推测的。这样，需要符合描述阶段的抽样和分析计划来论证所提出差别的真实性或一致性。然而在采取这样的计划之前，应当考虑是否可以用一个或更多的功能假设去说明差别或考察其重要性，如果描述分析支持其存在的话。

学生应当记住，在进行一系列比较时，题目不仅接触到一定的植物种或动物种，并且必须涉及不同种的有关系的种群，甚至涉及群落或生态系统范围的各种关系。虽然列出后一范围的题目可能比较困难，但生态学某些最有意义的题目，却恰好在此。

在下面提出了一个对生态系统进行某种比较研究的梗概，也提到了一些描述有关差别的功能关系的建议。这些比较包括了生态系统所有不同的组织水平，从有机体个体到整个生态系统。

最后建议，必需尽可能用专门术语来说明研究对象。这样，进行比较用的特性，应当越特殊越好，说明假定的差别，应当以所需要的测定方式来证实它。

#### 一、一个特定种在不同生境下特性的比较

一个种的特性可以从不同地理范围或生境，或同一地点的不同时间来加以比较。比较种的特性，应当结合观测物理和生物环境条件。比较生境，最好应当只有一个或少数因子的差别，这样更便于把观测种的特性差别和它们在功能上联系起来。

#### 专门因子的比较：

1. 多度。密度，或存在与否的差别，可以与环境的选择、与其它种的伤害关系、对一定环境资源的需要、或对物理环境的忍受力等行为机制有函数关系。

2. 形态特征。形状、大小、结构、颜色、或身体部位的数目与排列的差别，首先起因于有机体个体的遗传差别，或个体发育中不同环境的直接影响。许多形态特征反映对物理环境条件、或对食肉动物(对植物讲为食草动物)的适应。

3. 行为格式。季节或昼夜的活动周期、寻食方式、栖息场所的选择、进攻表现的频度和许多其它行为格式，在不同的生境可以是不同的。这些反映气候的差别、生境物理结构的差别、或研究情况下种的种群密度或其敌手的种群密度的差别。

4. 种群结构及扩散格式。个体的扩散格式(无规则地、成群地、均匀地)可以反映诸如环境异质性、或个体间正、负的相互关系等特性。繁殖的成效、肉食方式和其它死亡原因可以影响年龄结构和性比例等种群特性。



## 二、同一生境不同种的特性比较

共生的种可以具有适应或反应有利于它们的相互关系，或以行动来防止对方或双方伤害的相互关系。

### 专门因子的比较：

1. 形态和行为特征。这些特征的差异可以造成不同的资源利用情况，如对空间、食物、栖息场所的使用，从而减少种间竞争。它们也可说明不同的易受伤性，或对食肉动物的不同吸引力(对植物而言则指食草动物)。

2. 微空间分布。所占据的严格的场所不同，可以减少有关种间为资源的竞争，或可以反映对物理环境条件忍受力的不同格式。

3. 扩散格式。对两个或更多的种来讲可以是各种各样的，从一个种的个体对其它种彼此要求伴生的强烈倾向，直到具有不能共居的强烈倾向。这种格式反映出诸如共生、共食、竞争、相食关系等功能性相互作用，或一个种改变物理环境以允许或阻止其它种居住的行为。

## 三、不同生境的生态相近种的特性比较

这些种是由于同另一种相互竞争，或对物理或生物环境条件适应的相应方式而被限制在不同的生境内，或占有同一生境的不同时间。

### 专门因子的比较：

1. 形态和行为特征。对于利用相同资源的种来说，这些差别可能与彼此为竞争最好的特定生境条件的适应性有关。对其它条件来说，这种差异是反映资源利用上的差别，或种对环境条件不同的忍受力。

2. 种群结构和扩散格式。环境的异质性或适用性的差别可以反映在这些特性上。

## 四、不同生境的群落或生态系统特性的比较

环境的差异可以影响能量流程或养分循环过程，并因而影响到诸如生态系统中生产者、消费者、分解者等主要组合的再现。不同环境的生境，也可以指那些相应于生物演替不同阶段的条件。

### 专门因子的比较：

1. 现存种的特征：由组成不同系统的种所表现的形态或行为适应格式和种群结构格式，是不同的。它们反映不同的物理环境条件，群落内分配资源的不同基本机制，或不同的生物演替阶段。

2. 现存种的数目。诸如环境异质性、物理条件的稳定性、初级产量的稳定性和水平、地理隔离的程度、掠食者的多度、环境存在的时间长短等因子可以影响现存种的多样性。

3. 种间个体的分布。稀有的和常有种的频度差异与群落成员间分配资源的机制有关。

4. 不同营养群的数目和生物量。这些特征可与系统的能量输入速率，有机物质的输入、输出量，群落成员的“身体大小-新陈代谢”关系，养分循环格式，生物演替阶段以及许多其它因素有关。

## 列出检验性解消假设

描述差异或功能关系的假设,必需接受正式检验,以确定其是否以大于偶然的可能性存在。关于这种关系的主观印象由于初步观察不充分,或由于观察者的偏见往往促成错误。正式检验是用列出解消假设( $H_0$ ),收集无偏见观察或实验数据,和完成对解消假设的适当的统计检验来进行的。解消假设有下列形式:

$H_0$ : 两个(或更多)所观察或实验的生境之间的差异不大于预期的机率。

或

$H_0$ : 从一个观察实验或一系列观测所得到的值并不和以随机分布为基础的预期值有什么不同。

解消假设的统计检验,其结果要末肯定它,要末否定它。如果肯定的话,其结论是不存在差别,或者所得到的数据不能充分论证它。如果否定,可以结论为差别以符合于应用统计检验的显著性水准的概率存在着。否定解消假设在某种意义上包含承认第二个或备择的另一个假设( $H_a$ ),其具有下列形式:

$H_a$ : 两个(或更多)所观察或实验的生境间的差异是如此之大,以至看来似乎很不可能仅仅是由机会发生的。

或

$H_a$ : 一组实测值是如此不同于以随机分布为基础的预期值,以至看来似乎不可能仅仅是由机会发生的。

一个解消假设所希望的特点是简单,能提出确切测定的特征,并且能以适当的抽样或实验数据得到有关的相关性。

### 举例

下面的专门例子表明一个题目从初步观察开始到功能意义背景分析的顺序。

1. 初步观察。在两个地区观察一定的植物种,一是在临海峭壁上,一是在一哩远内地的相同生境内。海洋峭壁的植物出现有较厚的叶片。

2. 描述解消假设。 $H_0$ : 两地取得植物叶片的平均厚度没有差异。

3. 抽样和检验程序。例如,各地抽样30个植物,每一植物一个叶片,取其长度在3.5—4.0厘米之间的。叶片厚度用千分卡测定,精度0.1毫米。两地植物的平均值用t检验比较。

4. 功能解消假设。假定否定了描述性解消假设,那末可近似地假定,差异与其说是由直接的环境作用引起的,倒不如说是由植物遗传性差别引起的(还可以做出许多其它功能原因的假设)。因而可提出下列解消假设:

$H_0$ : 采自两种群种子的植物挨个地长着,而它们叶片平均厚度将无差别。

5. 实验性和检验程序。从两地植物采集种子,并且植物生长达到一定最低限度的大小。抽样并测量叶片,收集数据和检验如上。如果这次检验否定功能解消假设,则结论为,在对叶片厚度有关的因子方面,种群在遗传上以一定的概率表现有差别。假如功能解消假设未被否定,则结论是该数据不能证明存在有关叶片厚度的遗传性差异,但不是不存在遗传差异。

## 班级活动

班级可调查一个地区,那里环境条件不同,有条件进行某些比较。学生们在自己观察的基础上可以对照上述示例,列出推测性题目的大纲。

## 讨 论

描述和功能阶段的概念与生态学野外的全部历史有关吗?生态学所有的早期工作都是描述性的吗?最现代的研究贯串着对功能关系的检验吗?

考察一个由教师提出的已发表的研究。鉴定调查者检验过的描述和功能假设。它们是否构成题目的逻辑性和有理解力的考察?你能否提出其它可能的和应当检验的假设?

交换和批评你班其他学生所做的题目大纲。他们如何能做得更专门一些呢?在你自己的条件下,为了进行这样的研究,在时间上和采取有利条件上有什么考虑?

## 选 读 书 目

Baker, J. J. W., and Allen, G. E. Hypothesis, Prediction, and Implication in Biology. Menlo Park, California: Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1968.

Cox, G. W. "Lecture and laboratory approaches to the teaching of ecology." *Bioscience*, 20: 755—760, 1970.

Odum, Eugene P. "Relationships between structure and function in the ecosystem." *Japanese J. of Ecol.*, 12(3): 108—118, 1962. Reprinted in Cox, G. W. *Readings in Conservation Ecology*. New York: Appleton-Century-Crofts, pp. 6—20, 1969.

Vogl, R. J. "Quantitative ecology: Comments and criticism." *The Biologist*, 51: 85—90, 1969.

## 练习 2

# 抽样数据的基础统计分析

在现代生态学研究中,很强调对环境条件和对个体的、种群的、群落的和生态系统的许多属性收集定量数据。然而,生态学家用的许多定量数据中本来就有较高度度的变异性。数据分析的统计技术作为一种结果,对帮助生态学家客观地描述一组抽样数据,确定可取均值的置信程度,和比较从不同样本所得到的值是非常有用的。本练习介绍一些广泛为生态学家用于上述目的的基础统计技术。

### 程 序

为了对任何类型的统计分析都有效,抽样必需在随机方式进行。随机抽样程序要求所希望归纳一些专门属性的物体总体在抽样中都有同等的机率。上述要求的必然结果是,选择物体的一部分作为样本并不影响以后选用物体的其它某部分。这样,用以测定一定属性的个体应当从所有全体个体中随机选出。在抽样种群密度时,样地应随机设置于要估算种群的整个面积内。

抽样程序的随机性可由几个方法得到。例如,在选择为测定或实验用的有机体个体时,所用的个体可以编号并随机选择其中一组。随机数字组可安排一套小的、大小相同的数字卡片,装在一个容器内,在卡片混合后,一次一张地抽出来。同时,随机数字组可从随机数字表(表2.1)得到。应用随机数字表时,表中的起点必需由一些任意的方法来决定,以免在选择开始的数字中有偏倚。当起点一俟决定后,一系列随机数字可以简单地从入始点往行下读出。

在选择抽样面积上,样本的全部面积应当首先用格子或基线标出来。格子排列实际上只为了分出比较小的部分。当格子设置后,对单个小方块编号,并且用抽出一组随机数字来抽样小方块。当面积大大超过格子时,应当安排一对互为直角的基线,并通过该抽样面积的主轴。抽样地点就可用抽一对随机数字组作为个体样本位置取点的坐标,参照两条基线选出。

所取样本的数量和大小,与抽样数据所得到的计算精度有很大关系。一般讲,大数量的小、中等样本比少量的大样本要好,因为前者提供抽样数据中变差的较详细情况。对大多数生态研究来讲,通常应当采取20—25个样本。在抽样包括计算每样本个体数或项数的地方,样本的大小就应当调整为所有样本都包含有可观的数目。这种调整增加样本值为钟形或正态频度分布的可能性。

表 2.1 随机数字

855	346	070	675	915	842	966	401	542	766	892	514	973	957	143	469
343	854	630	428	722	031	568	266	641	829	850	008	319	216	532	349
407	225	993	012	353	005	283	254	701	168	128	250	623	839	160	852
315	707	853	288	883	008	600	302	943	581	467	369	087	607	635	091
272	637	089	545	414	864	938	307	435	776	556	420	800	254	029	642
743	118	528	574	096	282	924	248	560	561	608	270	494	747	651	399
547	599	368	560	104	761	855	860	005	399	440	305	163	575	715	405
624	247	292	942	013	687	586	571	047	045	562	309	872	389	501	739
405	757	932	822	026	152	326	042	076	212	982	994	014	049	734	647
464	195	737	644	647	308	845	733	340	159	830	107	460	913	679	605
307	176	137	494	544	706	571	894	477	885	104	414	837	553	655	677
080	899	161	702	822	366	265	393	945	094	683	360	171	694	270	341
488	015	003	567	186	188	564	131	527	002	147	210	432	210	359	868
707	592	718	999	538	290	576	971	230	540	170	998	234	805	422	531
239	593	768	352	842	437	459	869	678	261	597	613	932	247	910	369
136	332	304	096	577	705	755	321	234	449	333	282	805	744	143	096
766	506	079	821	470	950	458	884	318	292	678	436	562	199	215	157
541	177	296	914	241	649	006	622	691	356	416	434	571	070	360	663
605	883	930	615	274	605	420	237	013	190	917	223	732	138	408	850
157	432	718	366	821	249	027	368	370	978	294	322	391	789	826	979
558	539	479	547	563	323	535	001	817	266	092	669	355	960	035	595
355	332	275	029	221	211	951	621	282	316	636	196	393	656	292	350
821	385	788	388	261	245	312	958	366	130	572	095	967	311	133	687
325	679	673	868	520	586	837	094	248	132	986	489	824	952	909	138
113	297	200	296	960	639	973	621	274	557	070	641	246	149	609	361
268	101	306	980	542	827	930	550	793	818	260	624	237	615	504	706
728	862	052	154	852	758	325	246	481	179	180	965	995	285	503	697
460	105	027	764	807	281	507	855	016	485	938	118	025	316	246	609
409	677	370	180	400	693	827	831	304	910	924	864	940	013	698	077
358	078	882	266	457	836	452	749	853	308	698	510	348	002	996	156
614	949	535	934	996	423	334	523	651	680	982	634	818	301	489	219
086	912	979	073	169	045	521	949	112	283	594	822	214	704	242	282
437	487	160	760	213	669	141	666	347	999	828	379	479	250	279	671
199	150	527	643	453	098	051	855	242	124	430	860	776	720	636	403
142	010	174	906	358	273	333	568	441	821	788	143	343	371	938	677
735	347	111	183	761	996	738	390	283	132	734	932	513	119	143	441
047	162	002	755	794	838	364	257	727	445	699	924	393	653	853	617
896	712	795	431	751	760	789	823	577	535	687	767	654	684	206	255
158	786	535	065	095	899	824	467	356	553	188	731	800	936	883	351
523	899	538	911	561	908	822	471	338	497	972	356	241	407	832	722
635	507	617	898	211	850	636	528	373	906	993	349	087	115	885	107
990	838	186	376	287	114	061	995	636	045	860	021	527	820	472	253
077	949	161	537	988	531	508	665	154	734	885	471	979	596	730	834
738	438	523	209	009	402	500	896	951	815	337	487	897	011	998	905

测定集中趋势和离差

对大多数抽样数据类型来讲，集中趋势最好以均值( $\bar{x}$ )表示，它是个体样本值( $x$ )的算术平均值。当个体样本值组成几级时，每一级包括一些具有一定数值或数值范围的样本，均值是把级值或级范围值的中值乘以级的样本数，并把所有级的积加以总和，再除以样本的总数( $N$ )得来的。

方差( $S^2$ )是个统计数，表示抽样数据中以个体样本值偏离它们均值的偏差为基础的可变性。方差等于个体样本值对均值的偏差总和的平方，除以样本总数减 1。可写成为下式：

$$S^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N - 1}$$

当统计成级的数据时，方差可以从级值或级的中值对均值偏差的平方，乘以级的频度，并总和所有的积，再除以  $N - 1$ 。

由计算机计算时，能同时积累数字的总和或其平方的话，则方差可以更方便地以下列“机械”公式计算：

$$S^2 = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}{N-1}$$

由此方法得到的结果相同于前一公式(除了整化数字所产生的误差)。

标准差(S)作为方差的平方根算出,它的意义在下面要讨论到。

### 均值标准差和置信界限

从一系列样本得到的均值当然只是抽样物体真正均值的估值。样本均值的可能精度是与计算抽样数据中样本的变差有关。这两个因子合并命为均值标准差( $S_{\bar{x}}$ )。此值由下式计算:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{N}}$$

可应用均值标准差计算界限值,如所周知,在样本均值的置信界限间可能有物体的真正均值。这些界限由下式计算:

$$\bar{x} \pm t(S_{\bar{x}})$$

式中,t是由N-1的自由度和预期置信程度下t分布的临界值表(表2.2)中得到的。自由度的统计概念反映一组数据中能独立的项数。在此情况下,均值是固定不变的,因为其余

表 2.2 t 分布点的百分比\*

d. f.	50%	75%	90%	95%	97.5%	99%	99.5%
1	1.000	2.414	6.314	12.706	25.452	63.657	127.32
2	0.816	1.604	2.920	4.303	6.205	9.925	14.089
3	0.765	1.423	2.353	3.182	4.176	5.841	7.453
4	0.741	1.344	2.132	2.776	3.495	4.604	5.598
5	0.727	1.301	2.015	2.571	3.163	4.032	4.773
6	0.718	1.273	1.943	2.447	2.969	3.707	4.317
7	0.711	1.254	1.895	2.365	2.841	3.500	4.029
8	0.706	1.240	1.860	2.306	2.752	3.355	3.832
9	0.703	1.230	1.833	2.262	2.685	3.250	3.690
10	0.700	1.221	1.812	2.228	2.634	3.169	3.581
11	0.697	1.214	1.796	2.201	2.593	3.106	3.497
12	0.695	1.209	1.782	2.179	2.560	3.054	3.428
13	0.694	1.204	1.771	2.160	2.533	3.012	3.372
14	0.692	1.200	1.761	2.145	2.510	2.977	3.326
15	0.691	1.197	1.753	2.132	2.490	2.947	3.286
16	0.690	1.194	1.746	2.120	2.473	2.921	3.252
17	0.689	1.191	1.740	2.110	2.458	2.898	3.222
18	0.688	1.189	1.734	2.101	2.445	2.878	3.197
19	0.688	1.187	1.729	2.093	2.433	2.861	3.174
20	0.687	1.185	1.725	2.086	2.423	2.845	3.153
21	0.686	1.183	1.721	2.080	2.414	2.831	3.135
22	0.686	1.182	1.717	2.074	2.406	2.819	3.119
23	0.685	1.180	1.714	2.069	2.398	2.807	3.104
24	0.685	1.179	1.711	2.064	2.391	2.797	3.090
25	0.684	1.178	1.708	2.060	2.385	2.787	3.078
26	0.684	1.177	1.706	2.056	2.379	2.779	3.067
27	0.684	1.176	1.703	2.052	2.373	2.771	3.056
28	0.683	1.175	1.701	2.048	2.368	2.763	3.047
29	0.683	1.174	1.699	2.045	2.364	2.756	3.038
30	0.683	1.173	1.697	2.042	2.360	2.750	3.030
40	0.681	1.167	1.684	2.021	2.329	2.704	2.971
60	0.679	1.162	1.671	2.000	2.299	2.660	2.915
120	0.676	1.156	1.658	1.980	2.270	2.617	2.860
∞	0.674	1.150	1.645	1.960	2.241	2.576	2.807

\* 经“生物统计”编者同意,本表修改自 Merrington, Maxine “t-分布点的百分比表”,“生物统计” 32:300, 1942。

样本值已确定，仅仅有  $N-1$  的样本值可独立选定。置信程度反映选定的物体均值能包含在计算范围内的所期望的概率。对大多数生态工作来讲，95%或99%的置信程度是合适的。

### 参数与非参数统计

许多统计程序要求抽样数据频度分布依照一个理论形式或曲线。确定该理论分布的数学因子或参数可用到程序中去。这类的统计叫参数统计。理论分布最普通的是假定抽样数据分析是正态的或钟形分布。在此分布中，样本值假定均匀地围绕均值。样本值的分布格式如此，即其95%都在1.96均值标准差的距离内，99%在2.58均值标准差距离内。不少生物数据是依照正态分布的。然而，在做这个假定以前，样本值应当计算出来。分布的形式应当考察出来。如果分布保持单一和均匀形式，则可假设正态分布是适用的。如分布不均匀，即大部分样本值靠近范围的一端，则不能假设为正态分布，以此假设为基础的分析就不应当进行。在下面提到的确定置信界限的程序，以及用  $t$  检验来检验均值间的差都是参数程序。

非参数程序不涉及抽样数据分布形式的假设。这类技术应当用于分布形式不定的，或怀疑或已知是不正态分布的情况下。二样品秩和检验为一种非参数检验。

### 连续数据与计数数据

抽样数据有两种不同类型，表示连续变差的测定数据，或由整数构成的计数数据。测定数据例如为某些对象的长度或重量值。这种值的精度是受测定设备的精度限制的。计数数据则例如为样品中所找到的个体数，或具有与其它一些相对立属性的个体数。这种数据只能由整数组成。

如早所述，参数  $t$  检验假定抽样数据符合正态分布。这对计数数据往往不真实，甚至不少类型的测定数据也不符合正态分布。例如，测定的比率（如叶片长与宽的比率）经常是不正态分布的。

这样，应用  $t$  检验的样本均值的参数比较只能用于一定类型的连续性测定数据。包括比率、或个体或属性计数在内的几组样品均值的比较，一般必需用非参数检验来做，如秩和检验。

### 样本均值和方差的参数比较

对两组样本值的比较要列出解消假设。这个解消假设表示在两组样本值间的差别不大于所希望从同一物体中抽出的样本值。那末，这假设被检验，并且或者被肯定，就表示在两组样本值中没有显著差异，或者被否定而表示两组样品值有显著差异。

在此程序中，两组样本的方差必需首先用简单的比率来比较。这比率是用构成分子的大数来计算的。该计算提供  $F$  值，它可以对照为每个样本选定置信界限（95%或99%）和  $N-1$  自由度的临界值表（表 2.3）。计算的  $F$  值超过表上的值，则表示否定解消假设。在此情况下，两组样本表示内在方差有显著差异。假如两组样本的方差找到显著差异的话，它们的均值不能再进一步以  $t$  检验来比较。样本均值只可以用以后要谈到的秩和检验来比较。

表 2.3 95%和99% F 分布点表\*

		具有较大方差样品的自由度														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	60	∞	
d.f.	1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	248.01	250.09	252.20	254.32	
	2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.330	19.353	19.371	19.385	19.396	19.446	19.462	19.479	19.496	
	3	10.128	9.5521	9.2766	9.1172	9.0135	8.9406	8.8658	8.8452	8.8123	8.7855	8.6602	8.6166	8.5720	8.5265	
	4	7.7086	6.9443	6.5914	6.3883	6.2560	6.1631	6.0942	6.0410	5.9988	5.9644	5.8025	5.7459	5.6878	5.6281	
	5	6.6079	5.7861	5.4095	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759	4.8183	4.7725	4.7351	4.5581	4.4957	4.4314	4.3650	
	6	5.9874	5.1433	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2066	4.1468	4.0990	4.0600	3.8742	3.8082	3.7398	3.6688	
95%	7	5.5914	4.7374	4.3468	4.1203	3.9715	3.8660	3.7870	3.7257	3.6767	3.6365	3.4445	3.3758	3.3043	3.2298	
	8	5.3177	4.4590	4.0662	3.8378	3.6875	3.5806	3.5005	3.4381	3.3881	3.3472	3.1503	3.0794	3.0053	2.9276	
	9	5.1174	4.2565	3.8626	3.6331	3.4817	3.3738	3.2927	3.2296	3.1789	3.1373	2.9365	2.8637	2.7872	2.7067	
	10	4.9646	4.1028	3.7083	3.4780	3.3258	3.2172	3.1355	3.0717	3.0204	2.9782	2.7740	2.6996	2.6211	2.5379	
	20	4.3513	3.4928	3.0984	2.8661	2.7109	2.5990	2.5140	2.4471	2.3928	2.3479	2.1242	2.0391	1.9464	1.8432	
	30	4.1709	3.3158	2.9223	2.6896	2.5336	2.4205	2.3343	2.2662	2.2107	2.1646	1.9317	1.8409	1.7396	1.6223	
	60	4.0012	3.1504	2.7581	2.5252	2.3683	2.2540	2.1665	2.0970	2.0401	1.9926	1.7480	1.6491	1.5343	1.3893	
∞	∞	3.8415	2.9957	2.6049	2.3719	2.2141	2.0986	2.0096	1.9384	1.8799	1.8307	1.5705	1.4591	1.3180	1.0000	
	1	4052.2	4999.5	5403.3	5624.6	5763.7	5859.0	5928.3	5981.6	6022.5	6055.8	6208.7	6260.7	6313.0	6366.0	
	2	98.503	99.000	99.166	99.249	99.299	99.332	99.356	99.374	99.388	99.399	99.449	99.466	99.483	99.501	
	3	34.116	30.817	29.457	28.710	28.237	27.911	27.672	27.489	27.345	27.229	26.690	26.505	26.316	26.125	
	4	21.198	18.000	16.694	15.977	15.552	15.207	14.976	14.799	14.659	14.546	14.020	13.838	13.652	13.463	
	5	16.258	13.274	12.060	11.392	10.967	10.672	10.456	10.289	10.158	10.051	9.527	9.3793	9.2020	9.0204	
	6	13.745	10.925	9.7795	9.1483	8.7459	8.4661	8.2600	8.1016	7.9761	7.8741	7.358	7.2285	7.0568	6.8801	
99%	7	12.246	9.5466	8.4513	7.8467	7.4604	7.1914	6.9928	6.8401	6.7188	6.6201	6.1554	5.9921	5.8236	5.6495	
	8	11.259	8.6491	7.5910	7.0060	6.6318	6.3707	6.1776	6.0289	5.9106	5.8143	5.3591	5.1981	5.0316	4.8588	
	9	10.561	8.0215	6.9919	6.4221	6.0569	5.8018	5.6129	5.4671	5.3511	5.2565	4.8080	4.6486	4.4831	4.3105	
	10	10.044	7.5394	6.5323	5.9943	5.6358	5.3858	5.2001	5.0567	4.9424	4.8492	4.4054	4.2469	4.0819	3.9090	
	20	8.0960	5.8489	4.9382	4.4307	4.1027	3.8714	3.6987	3.5644	3.4567	3.3682	2.9377	2.7785	2.6077	2.4212	
	30	7.5625	5.3904	4.5097	4.0179	3.6990	3.4735	3.3045	3.1726	3.0665	2.9791	2.5487	2.3860	2.2099	2.0062	
	60	7.0771	4.9774	4.1259	3.6491	3.3389	3.1187	2.9530	2.8233	2.7185	2.6318	2.1978	2.0285	1.8363	1.6006	
∞	∞	6.6349	4.6052	3.7816	3.3192	3.0173	2.8020	2.6393	2.5113	2.4073	2.3209	1.8783	1.6964	1.4730	1.0000	

\* 经“生物统计”编者同意，本表压缩自 Merrington, Maxine 和 Thompson, Catharine M. 的  $\beta$  反数(F)分布点的百分比表，“生物统计”，33:73—88, 1943。



如计算的  $F$  值低于表上的值, 其结论为两组样本的方差相似。在此条件下, 两组样本的均值可以  $t$  检验来比较。在检验时, 两均值的差对照用来测定均值可能精度的标准差。差的标准差 ( $S_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}$ ) 按下式计算:

$$S_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{(N_1 - 1)S_1^2 + (N_2 - 1)S_2^2}{N_1 + N_2 + 2}}$$

式中,  $\bar{x}_1, S_1^2, N_1 =$  一个组样本值

$\bar{x}_2, S_2^2, N_2 =$  第二组样本值

则  $t$  值按下式计算:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}}$$

算出的  $t$  值按所要求的置信程度和  $N_1 + N_2 - 2$  的自由度对照表上的值(表2.2)。计算值超过表上值则导致否定假设, 并结论为均值比之期望以机率为基础的要差好多。

### 样本均值的非参数比较

非参数的秩和检验可用以比较两组样本均值而不考虑样本数据的分布形式。对正态分布的数据, 检验几乎与上述的  $t$  检验一样灵敏。

为此检验, 两组样本的个体值首先按大小增加的简单次序排好。每一值在此次序中被指定为以最小值为 1 开始的一个秩。在相持的情况下, 每一值对它所相持的秩来讲被指定为秩的均值。在次序中的最大值的秩则等于两组样本值的数目总和。

然后, 秩数按两组样本分开总计。对 20 或较少项数的样本来讲, 随便那一个秩和 ( $W$ ) 可按下式计算  $U$  和  $U'$  值:

$$U = N_1 N_2 + \frac{N_1(N_1 + 1)}{2} - W_1$$

$$U' = N_1 N_2 - U$$

式中,  $N_1 =$  样本 1 内的数目

$N_2 =$  样本 2 内的数目

$W_1 =$  样本 1 的秩和

则  $U$  或  $U'$  的较小值可按 95% 和 99% 置信程度对照表 2.4 上的临界值。若  $U$  值等于或小于相应样本大小的表上值, 则在所选定的概率程度上样本均值有显著差异。

对大于 20 个项数的样本, 需要一个备择的方法。对该大小的样本来讲, 从单个种群中随机抽出的样本所算出的秩和表现为围绕一定均值的正态分布。这一理论均值以及围绕它的秩和的值的标准差可由抽出的样本的项数加以确定。因此, 任何被观测的秩和值对理论均值的偏差可对照于理论分布的标准差, 和已确定大小的偏差出现的概率。进行时,  $Z$  值是以观测的秩和对理论均值的偏差, 除以理论分布的标准差。这样,  $Z$  表示实测值对标准差平均数的偏差。因而, 在正态分布时, 95% 的值位于 1.96 的均值标准差内, 和 99% 的值位于 2.58 的均值标准差内,  $Z$  值大于这些则表明两组样本在此概率程度上差异显著。

$Z$  值按下式计算: