

国家级实验示范中心配套教材

生态学实验

Ecological
ExperimentS

简敏菲 王宁 主编



科学出版社

国家级实验示范中心配套教材

生态学实验

简敏菲 王 宁 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

全书分为6章,涵盖了生态学实验基础知识、生态学基础性实验和生态学综合性实验等主要内容。第一章主要介绍生态学实验的数学统计方法、常用的生态学实验技术和方法、应用软件等;第二章至第五章主要针对理论课涉及的生物与环境(即个体生态学)、种群生态学、群落生态学、生态系统生态学四个层次上的生态学原理进行验证性和设计性实验,并做部分拓展;第六章是让学生在具备一定的实验设计能力和科研能力的基础上,结合生态学野外调查研究的特点,整合一至多个生态学原理所开展的应用性较强的实验。

本书可供高等院校生物科学、生态学、环境科学、地理科学、农学、林学和科学教育等专业的师生使用,也可供有关科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

生态学实验/简敏菲,王宁主编.—北京:科学出版社,2012.9

国家级实验示范中心配套教材
ISBN 978-7-03-035281-1

I. ①生… II. ①简…②王… III. ①生态学—实验—高等学校—教材 IV. ①Q14-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第187186号

责任编辑:陈露封婷/责任校对:刘珊珊
责任印制:刘学 /封面设计:殷靓

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

南京展望文化发展有限公司排版

江苏省句容市排印厂印刷

科学出版社出版 各地新华书店经销

*

2012年9月第一版 开本:B5(720×1000)

2012年9月第一次印刷 印张:7 1/2

字数:133 000

定价:18.00元

《生态学实验》编辑委员会

主 编 简敏菲 王 宁

副主编 王国红 邵明勤

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 宁 王国红 朱丽霞 邵明勤

柯佳颖 简敏菲 熊建秋 戴小华

前 言

近年来,环境、健康、可持续发展等各方面的问題已备受人们关注,用以解决这些问題与困境的生态学也日益受到从政府到普通百姓的普遍关注,极大地促进了现代生态学的迅速发展。同时,越来越多的现代高新科学技术渗透进生态学研究领域,从研究手段上解决了许多传统生态学无法解决的难题,有力地促进了生态学从侧重于定性研究转向侧重于定量研究,并向更加注重实验性研究与应用型研究等方面发展。生态学教育在各国受到空前的重视,除加强生态学基础理论外,由于从事生态学相关工作的人员日益增多,对生态学研究方法、手段、应用及生态学实践等各方面教育的加强也是目前国际上生态学教育发展的一个重要趋势。

目前,国内出版的生态学实验用书已有不少,且基本上是根据生态学课程的理论体系进行编写的,显得较为规范、全面,具有较好的指导作用。但是,我国不同区域的高校在生态学实验教学的发展程度上存在一定差异,各高校的实验条件、教学对象、专业背景、地域环境等各不相同,其教学方法、手段和内容也应各有特色。此外,目前高等教育的改革对生态学的实验教学提出了更高的要求,不仅要让学生在实验过程中获取知识,发展技能,培养能力,更应该促进学生自主创新能力的培养,以倡导启发式教学和研究性学习为核心,探索新的教学理念、培养模式和管理机制。鉴于此,科学出版社结合地方师范院校生态学实验教学的现状和发展水平,组织了闽赣地区部分院校的一些具有丰富生态学教学经验的骨干教师编写了本教材。

本教材的编写理念是让学生在掌握生态学重要原理和方法的基础上,重点结合当地的动植物资源与环境特点,通过理解生物与环境的辩证关

系,加强学生生态学基础知识与实践技能的培养。本教材选编的实验内容及所使用的器材比较普及、操作过程不太复杂,对于学生开展设计性实验有较大的促进作用,并且能够在生产实践中得到应用。

本教材编写的基本框架是体现生态学教学的三基要求(基本知识、基本概念和基本原理),并贯彻实验教学大纲的设计思想。全书分为6章,涵盖了生态学实验基础知识、生态学基础性实验和生态学综合性实验等主要部分。其中,第一章生态学实验基础知识主要介绍生态学实验的数据处理及分析方法、常用的生态学实验技术和方法、应用软件等,特别是与后述实验(基础性实验、综合性实验)密切相关的技术和方法;第二章至第五章的基础性实验主要针对理论课涉及的生物与环境(即个体生态学)、种群生态学、群落生态学、生态系统生态学四个层次上的生态学原理进行验证性和设计性实验,并做部分拓展;综合性实验是让学生在具备一定的实验设计能力和科研能力的基础上,结合生态学野外调查研究的特点,整合一至多个生态学原理所开展的应用性较强的实验。

教材是同行老师集体智慧的结晶,江西师范大学的简敏菲、邵明勤、熊建秋老师,井冈山大学的王宁老师,福建师范大学的王国红老师,赣南师范学院的戴小华老师,漳州师范学院的朱丽霞老师,泉州师范学院的柯佳颖老师等共同参与编写,全书由简敏菲老师统稿。在编写过程中参考了国内外相关专家编写的同类教材和相关文献,并由科学出版社出版,在此深表谢意!

由于编写时间仓促,编者水平有限,本教材难免存在许多问题和不足,衷心希望同行专家和广大师生们提出宝贵意见,以便我们不断改进与完善!

编者

2012年6月

目 录

前言

第一章 生态学实验基础知识	1
第一节 生态学实验数据的处理与分析	1
第二节 R 语言在生态学研究中的应用	7
第三节 3S 技术及其在生态学研究中的应用	10
第四节 实验报告的撰写	11
第五节 研究论文的撰写	13
第二章 生物与环境	15
实验 1 生态因子的测定仪器及使用	15
实验 2 植物叶的适光变态观察与植物耐阴性鉴别	17
实验 3 温度对动物能量代谢的影响	20
实验 4 金鱼对温度、盐度耐受性的观测	24
实验 5 植物受害或死亡原因诊断设计	26
实验 6 环境(水)因子对植物结构的影响	28
第三章 种群生态学	31
实验 7 种群数量大小的模拟观测	31
实验 8 植物种群密度和分布型的野外观测	34
实验 9 生命表的编制	36
实验 10 种群的年龄结构和性比调查	38
实验 11 种群在有限环境中的逻辑斯谛增长	40

实验 12	种群空间分布格局的调查	43
第四章	群落生态学	47
实验 13	植物群落内生态因子的测定	47
实验 14	校园内植物群落物种多样性的调查	49
实验 15	校园鸟类物种多样性调查	52
实验 16	地形因子对植物群落作用的分析	53
实验 17	天然次生林与人工林群落特性的比较	55
实验 18	植物群落的排序与分类	56
实验 19	光合测定仪的使用与光合速率的测定	61
实验 20	植被生态制图	66
第五章	生态系统生态学	68
实验 21	水域初级生产力的测定	68
实验 22	不同生态系统中土壤有机质含量的测定	72
实验 23	河流与湖泊(池塘)生态系统营养结构的观测	74
实验 24	影响水域生态系统营养结构变化的因素	75
实验 25	生态瓶的设计制作及生态系统的观察	77
第六章	生态学综合性实验	79
第一节	生态学野外实习的准备	79
第二节	生态学调查方法	80
第三节	植物群落种类组成、表现面积与生活型谱调查	87
第四节	典型植物群落数量结构特征调查	90
第五节	群落天然更新与演替调查	96
第六节	植物群落垂直分布及生态现象观测	99
附录	野外生存基本知识	104
参考文献	108

第一章 生态学实验基础知识

第一节 生态学实验数据的处理与分析

一、生态学数据的类型

1. **定量数据** 即数量数据,它说明的是事物的数量特征,是能够用有一个统一单位的数值来表示的。定量数据的取值是数字性的、度量性的,例如研究对象的数量、等级等。如用树高多少米来描述树的大小就是定量数据。

2. **定性数据** 即品质数据,它说明的是事物的品质特征,是无法用一个统一单位的数值来表示的。定性数据的取值是文字性的、描述性的,例如研究对象的名称、类型、特性等。如用“大树、小树和幼苗”来描述树的大小就是定性数据。

3. **0-1数据** 即二元数据,是具有两个状态的名称属性数据,属于定性数据的一种特例。对二元数据一般用1和0两个数码表示,1表示某性质的存在,而0表示不存在。例如一个样地中有栲树,记为1,如无则记为0。

4. **空间分布数据** 研究对象在一定的坐标系中的空间位置或几何定位,通常采用地理坐标的经纬度、空间直角坐标、平面直角坐标和极坐标等来表示。空间位置特征也称为几何特征,包括研究对象的位置、大小、形状和分布状况等。这些都属于空间分布数据,是一种特殊的定量数据。

5. **时间系列数据** 指在不同时间点上收集到的数据,这类数据反映了某一事物、现象等随时间的变化状态或程度,如种群数量的变化、群落的演替等,是一种特殊的定量数据。

6. **圆形分布数据** 圆形分布数据如角变量,不同于普通变量。例如 0° 和 360° 的平均值并非 180° ,而是 0° 。角变量一般应采用圆形分布统计(circular statistics),这时每个角度都被当作单位圆上的一个点。角度集中度(Concentration of angles)用于衡量角度数据集中出现在平均值附近的程度,取值为 $[0, 1]$,接近1说明角度数据高度集中于一个方向,而接近0则说明角度数据分布很散。Rayleigh均一性检验(rayleigh test of uniformity)则用于检验角度是否

存在集中趋势。圆形分布数据主要包括角度,昼夜时间及一年中的日期等,这些数据的特点都是有周期性的,常常是周而复始,无真正的零点,是一种特殊的定量数据。

二、生态学数据的基本统计

1. 平均数 平均数是统计学中最常用的统计量,用来表示资料中各观测值相对集中较多的中心位置。平均数主要包括有算术平均数(arithmetic mean)、中位数(median)、众数(mode)、几何平均数(geometric mean)及调和平均数(harmonic mean)。需要说明的是,这里及后文所采用的计算公式都是针对一般的定量数据的,空间数据、时间数据和圆形分布数据等的计算比较复杂,请参看有关的文献。

(1) 算术平均数:算术平均数是指数据中各观测值的总和除以观测值个数所得的商,简称平均数或均数,记为 \bar{x} 。算术平均数可根据样本大小及分组情况而采用直接法或加权法计算。

直接法主要用于样本 $n \leq 30$ 以下、未经分组数据平均数的计算。设某一数据包含 n 个观测值: x_1, x_2, \dots, x_n , 则样本平均数可通过下式计算:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (\text{式 1-1})$$

加权法用于样本 $n \geq 30$ 以上且已分组的数据,可以在频度分布表的基础上采用加权法计算平均数,计算公式为:

$$\bar{x} = \frac{\sum fx}{\sum f} = \frac{f_1 x_1 + f_2 x_2 + \dots + f_k x_k}{f_1 + f_2 + \dots + f_k} \quad (\text{式 1-2})$$

其中, x_i 为第 i 组的组中值, f_i 为第 i 组的次数, k 为分组数。

(2) 中位数:将数据中所有观测值从小到大依次排列,位于中间的那个观测值,称为中位数,记为 M_d 。当观测值的个数是偶数时,则以中间两个观测值的平均数作为中位数。中位数简称中数。当所获得的数据资料呈偏态分布时,中位数的代表性优于算术平均数。中位数的计算方法因资料是否分组而有所不同。

(3) 众数:一组数据中出现次数最多的那个观测值,称为众数,记为 M_0 。众数是在统计分布上具有明显集中趋势点的数值,代表数据的一般水平(众数可以不存在或多于一个)。用众数代表一组数据,可靠性较差,不过,众数不受极端数据的影响,并且求法简便。在一组数据中,如果个别数据有很大的变动,选择中位数表示这组数据的“集中趋势”就比较适合。

2. 方差、标准差和变异系数 平均数只能反映同质观察数据组的平均观测值

大小,而不能反映数据组的集中程度。方差、标准差则可以反映平均值的离散程度。

(1) 总体方差、总体标准差: 每个观测值 x_i 与该组观测值的总体平均数 μ 之差,称为离均差。离均差的平方和的平均数就是总体方差 σ^2 , 表示如下:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N} \quad (\text{式 1-3})$$

总体方差的平方根,即为总体标准差 σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}} \quad (\text{式 1-4})$$

(2) 样本方差、样本标准差: 在实际应用中,样本数据个数 n 已知,但总体数据个数 N 一般未知。这时总体平均数 μ 是一个未知数,只能样本平均数 \bar{x} 用来估计 μ 。由于取样误差,这种估计会存在偏差。为了减少这种偏差,在统计学上我们用下式来计算样本标准差 s :

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{式 1-5})$$

样本方差常用 s^2 表示,计算如下:

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (\text{式 1-6})$$

(3) 变异系数: 变异系数又称离散系数,用 CV 表示,指的是标准差与平均数之比的百分数,公式为:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \quad (\text{式 1-7})$$

3. 生态学数据的基本检验

(1) 单样本的检验(样本平均数与总体平均数比较的 t 检验): 这种检验主要用于推断平均值为 \bar{x} 的某观测样本是否来自平均数为 μ_0 的已知总体,其零假设为 $\mu = \mu_0$, 计算统计量 t 。

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s_{\bar{x}}} = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s/\sqrt{n}} \quad (\text{式 1-8})$$

根据自由度 $df = n - 1$, 查 t 表得到 p 值,如果 $p > 0.05$, 一般认为差异不显著; 如果 $0.05 > p > 0.01$, 认为差异显著; $p < 0.01$, 认为差异极其显著。

(2) 两样本的检验

1) 两样本平均数比较的 t 检验

这种检验用于推断平均值分别为 \bar{x}_1 、 \bar{x}_2 的两个观测样本是否存在显著差异，其零假设为 $\mu_1 = \mu_2$ ，这时的 t 值为：

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sum x_{1i}^2 + \sum x_{2i}^2 - [(\sum x_{1i})^2 + (\sum x_{2i})^2]/n_2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (\text{式 1-9})$$

其中样本 1 有 n_1 个观测值，样本 2 有 n_2 个观测值。根据自由度 $df = n_1 + n_2 - 2$ ，查 t 表得到 p 值后判定样本平均数的差异性。

2) 成对数据平均数比较的 t 检验

这种检验用于两组成对数据的比较，是上述两样本比较的一种特例。首先计算各对数据之间的差值 d 及其平均数 \bar{d} ，这样就转化成为 \bar{d} 与 0 之间的比较，如果零假设 $\mu_d = 0$ 成立，那么零假设 $\mu_1 = \mu_2$ 也成立。这时的 t 值为：

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d/\sqrt{n}} = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{\sum d_i^2 - (\sum d_i)^2/n}{n-1}}/\sqrt{n}} \quad (\text{式 1-10})$$

根据自由度 $df = n - 1$ ，查表判定。

(3) 多样本的检验(ANOVA 与多重比较)：多样本平均数的比较，需要采用方差分析(analysis of variance, 缩写为 ANOVA)。根据方差分析的基本思想，首先要将测量数据的总变异进行拆分，分为处理效应和试验误差，然后将处理间方差与处理内方差(误差方差)进行 F 检验，判断处理效应与试验误差差异是否显著。设有 k 组样本，每组有 n 个观测值。计算统计量 F ：

$$F = \frac{s_i^2}{s_e^2} = \frac{\sum (\bar{x}_j - \bar{x})^2/(k-1)}{\sum \sum (x - \bar{x}_i)^2/[k(n-1)]} \quad (\text{式 1-11})$$

$$S_i^2 = \sum (\bar{x}_j - \bar{x})^2/(k-1) \quad (\text{式 1-12})$$

$$S_e^2 = \sum \sum (x - \bar{x}_i)^2/k(n-1) \quad (\text{式 1-13})$$

式中， S_i^2 为组间方差， S_e^2 为组内方差；组间自由度为 $k-1$ ，组内自由度为 $k(n-1)$ 。根据自由度 $df_i = k-1$ ， $df_e = k(n-1)$ ；查 F 表得 p 值，来判定处理差异是否显著。

F 检验得到的结果是一个整体差异，但并不说明两两处理的平均数之间是否存在显著差异，因此需要对各平均数进行多重比较。

多重比较方法很多,这里只介绍最常用的 Duncan 法,又称为新复极差测验(SSR),它的计算过程可以表示为以下步骤。

① 计算样本平均数的标准误差 SE 。当各样本的容量均为 n 时, SE 的计算方法如下。

$$SE = \sqrt{\frac{s_e^2}{n}} \quad (\text{式 1-14})$$

s_e^2 为处理内误差方差, n 为同一处理内重复次数。

② 查 SSR 表,可以得到在 s_e^2 在各自由度下, $p = 2, 3, \dots, k$ 时的 SSR_a 值,进而算得各个 p 下的最小显著极差 LSR_a (p 为某两极差间所包含的平均数个数):

$$LSR_a = SE \times SSR_a \quad (\text{式 1-15})$$

③ 将各平均数按大小顺序排列,用各个 p 的 LSR_a 值测验各平均数两极差的显著性:凡是两极差 $< LSR_a$, 即认为两个平均数间在 α 水平上没有差异;凡两极差 $\geq LSR_a$, 即两极差在 α 水平上差异显著。

④ 结果表示:多重比较的结果表示方法很多,但目前国际上生态学主要刊物大都采用 Duncan 法表示。它的表示方法如下:将全部平均数从大到小依次排列,然后在最大的平均数上标上字母 a,并将该平均数与以下各平均数相比,凡相差不显著的($< LSR_a$ 的),都标记上 a,直至遇到某个与之相差显著的平均数标以字母 b;再以标有 b 的平均数为标准,与上方各个比它的平均数比,凡不显著的继续以字母 b 标记,直到遇到某一个与之相差显著的平均数则标以 c。如此重复下去,直到最小的一个平均数有了标记字母为止。这样,各个平均数间,凡有一个相同字母的即为差异不显著;反之,具有不同字母的即为差异显著。在实际应用中,为了区分 0.05 和 0.01 水平上的差异性,以小写字母表示 0.05 水平,以大写字母表示 0.01 水平。

将需比较的两平均数之差与对应的 LSR_a 值比较,则可判断差异是否显著。 $|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| > LSR_a$, 则差异显著,反之不显著。

(4) 非参数检验(非正态分布数据的检验):传统检验方法如 t 检验、 F 检验等适于正态分布或者方差齐次的数据,而非参数检验则适合非正态分布的数据。例如,两样本的比较用 Wilcoxon-Mann-Whitney 检验,多样本的比较用 Kruskal-Wallis 检验和非参数多重比较。

4. 回归和相关分析

(1) 回归:用于判断两变量 x 、 y 间是否存在直线回归关系。 x 、 y 的回归直线可以表示为: $y = a + bx$ 。根据最小二乘法拟合与实际观察值最接近的回归方程,

这时：

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (\text{式 1-16})$$

$$b = \frac{s_p}{SS_x} \quad (\text{式 1-17})$$

$$s_p = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (\text{式 1-18})$$

$$SS_x = \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad (\text{式 1-19})$$

计算 t 值：

$$t = \frac{|b|}{s_b} \quad (\text{式 1-20})$$

$$s_b = \sqrt{\frac{s^2}{SS_x}} \quad (\text{式 1-21})$$

$$s^2 = \frac{SS_y - \frac{s_p^2}{SS_x}}{n-2} \quad (\text{式 1-22})$$

根据自由度 $df = n - 2$ 查表判断直线回归方程是否成立。

(2) 相关：用于判断两变量 x 、 y 间是否存在线性相关。常用相关系数计算如下：

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{式 1-23})$$

如果 $r > 0$ ， x 、 y 正相关； $r < 0$ ， x 、 y 负相关； $r = 0$ ，无相关。计算 t 值：

$$t = \frac{|r|}{s_r} \quad (\text{式 1-24})$$

$$s_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \quad (\text{式 1-25})$$

根据自由度 $df = n - 2$ 查表判断 x 、 y 是否线性相关。

(3) 回归和相关的关系：回归和相关都是研究若干变量间相互关系的统计方法，两者既有联系也有区别。两者的研究内容和对象相同，但相关分析主要研究变量间的密切关系，没有严格的自变量和因变量之分。而回归分析则研究变量之间的数学表达式，有自变量和因变量之分，可以用自变量来预测因变

量。多变量的回归、相关分析,以及非线性回归、相关分析可参阅有关统计学教材。

三、主要统计软件简介

SAS 软件: SAS 适合高级用户使用。其应用程序相对较复杂,因此它的学习过程极其艰苦。然而它还是以强大的数据管理和可同时处理大批数据文件的功能,得到高级用户的青睐。

Stata 软件: Stata 较好地实现了使用简便和功能强大两者的结合。既简单易学,同时在数据管理和许多前沿统计方法中的功能也非常强大。用户可以很容易地下载到别人已有的程序,也可以自己去编写,并使之与 Stata 紧密结合。

SPSS 软件: SPSS 致力于简便易行,并且取得了成功。但随着时间推移,一般的高级用户会对它失兴趣。SPSS 是制图方面的强手,但由于缺少稳健和调查的方法,处理前沿的统计过程是其弱项。

PAST 软件: PAST 是一个免费好用的数据处理软件,包括了常用的统计、作图和模型功能,适合古生物学和生态学领域。

Excel: Excel 电子表格是 Microsoft 公司推出的 Office 系列产品之一,是一个功能强大的电子表格软件。特点是在对表格的管理和统计图制作方面功能强大,容易操作。Excel 的数据分析插件 XLSTAT,也能进行数据统计分析,但不足的是运算速度慢,统计方法不全。一般不建议用 Excel 进行生态学的统计分析。

R 语言: R 语言是强大的统计分析工具,超越上述统计软件。例如,R 语言中有专门处理圆形分布统计的功能包: circular 和 CircStats。有关 R 语言的更多介绍请参看本章第二节。

第二节 R 语言在生态学研究中的应用

一、R 语言简介

R 语言是基于 S 语言的一个 GNU 项目,跟 S 语言有很多相通的地方。由于两位开发者(Ross Ihaka 和 Robert Gentleman)名字的第一个字母都是 R,所以称为 R 语言。R 语言是一种新型的计算机语言,具备非常强大的数学统计分析和科学数据可视化功能,并提供各种数据处理、统计分析及图形显示工具。R 语言同时是一个开放的统计编程环境,可以方便地编写函数和建立模型,提供大量现成的扩展功能包,具有良好的扩展性,几乎可以完成所有的统计和作图。更重要的是,R

语言是完全免费的开源软件,并适用于多种操作系统。因此,R语言在许多科学研究中应用极其广泛。图 1-1 为 R 语言软件运行的界面。

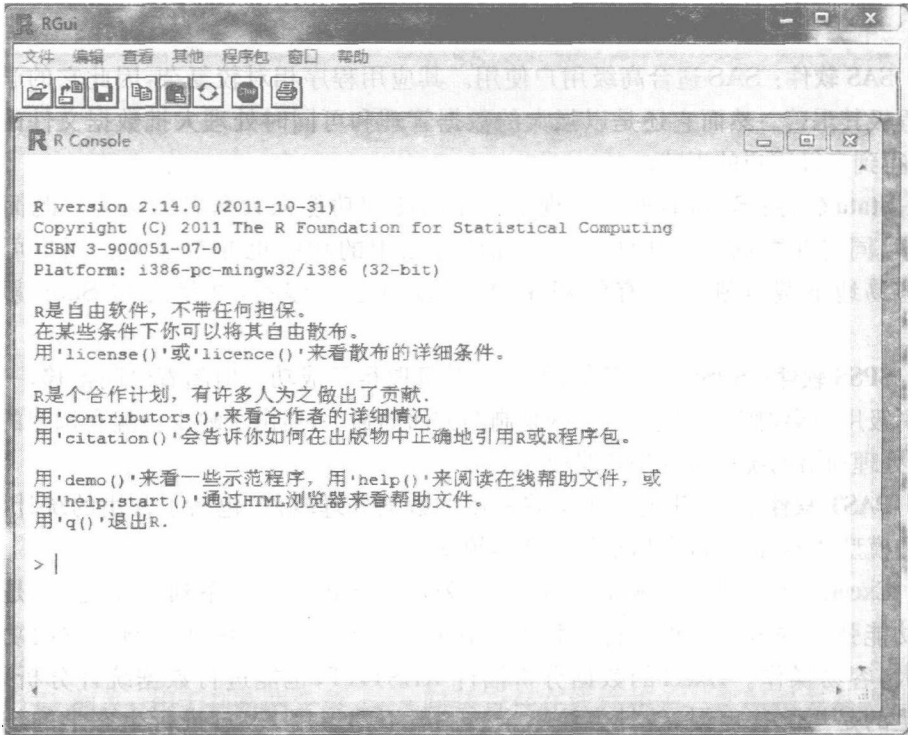


图 1-1 R 语言软件运行界面

二、R 语言的主要特点

R语言具备以下一些特点,与一些商业统计软件如 SPSS、SAS 相比,优势明显:

- 1) R语言可以运行于 UNIX(也包括 Free BSD 和 Linux), Windows 和 Mac 操作系统;
- 2) R语言可以免费和自由地使用,包括 R 语言的源代码和可执行文件;
- 3) R语言是函数型程序设计与面向对象程序设计的综合体;
- 4) 由于 R语言本身是一个统计语言环境,再新的统计模型也很快能实现,所以在结构方程模型、项目反应理论、认知诊断等众多心理测量所使用的功能上,没有现成的统计软件包,使用 R语言则完全可以自己编写算法。同样,由于 R语言是完全开源的,可以基于研究者已经开发出的算法编写更适合自己的算法;

5) R 语言自带多种统计学及数字分析功能,并可通过功能扩展包增强,几乎包括了生态学中所涉及的所有统计分析;R 语言在功能上已经远远超过 SPSS,而与 SAS 不相上下;比如基因分析常用的 Bioconductor 在在线基因数据库连接等众多功能上甚至已经远远超出商业软件;

6) R 语言具有强大的绘图功能,其作图质量可与一些商业化软件媲美;

7) 可以通过邮件列表向为数众多的 R 语言使用者和统计学权威人士咨询问题。

三、R 语言的操作

R 语言主要以命令行操作,但也具备各种图形用户界面;用户可以自行编写脚本,也可以调用功能扩展包中的大量有用函数。

四、学习 R 语言的途径

(1) 主页、镜像和搜索:在官方网站(<http://www.r-project.org>)和 CRAN(<http://cran.r-project.org>)可以下载到 R 语言的安装程序、各种功能扩展包和文档。目前全世界有超过 100 个 CRAN 的镜像站点。R 语言站点有关的搜索可以访问:<http://finzi.psych.upenn.edu/search.html>,在这里能找到关于 R 语言、相关统计和功能扩展包的许多答案。

(2) 中文 R 语言导论:http://www.biosino.org/R/R-doc/files/R-intro_cn.pdf。

(3) R 语言常见问题解答:<http://cran.r-project.org/doc/contrib/Liu-FAQ.pdf>。

(4) R 语言读书笔记:http://cran.r-project.org/doc/contrib/Xu-Statistics_and_R.pdf。

(5) R 语言参考卡:英文版下载地址为:<http://cran.r-project.org/doc/contrib/Short-refcard.pdf>,中文版下载地址为:<http://cran.r-project.org/doc/contrib/Liu-R-refcard.pdf>。

五、生态学相关的 R 语言扩展功能包

R 语言中有关生态环境数据分析的任务视图可参见网址:<http://cran.r-project.org/web/views/Environmetrics.html>,里面提供了非常丰富的生态学功能扩展包。如:ade4 包用于环境科学的探索性方法和欧几里得方法;adehabitat 包用于分析动物的栖息地选择和运动;simecol 用于模拟生态动力系统;CircStats 和 circular 用于圆周变量统计;pastecs 包用于时空序列的分解和分析;vegan 包用于群落和植被生态学中的排序;BiodiversityR 包提供了生物多样性和群落生态分析