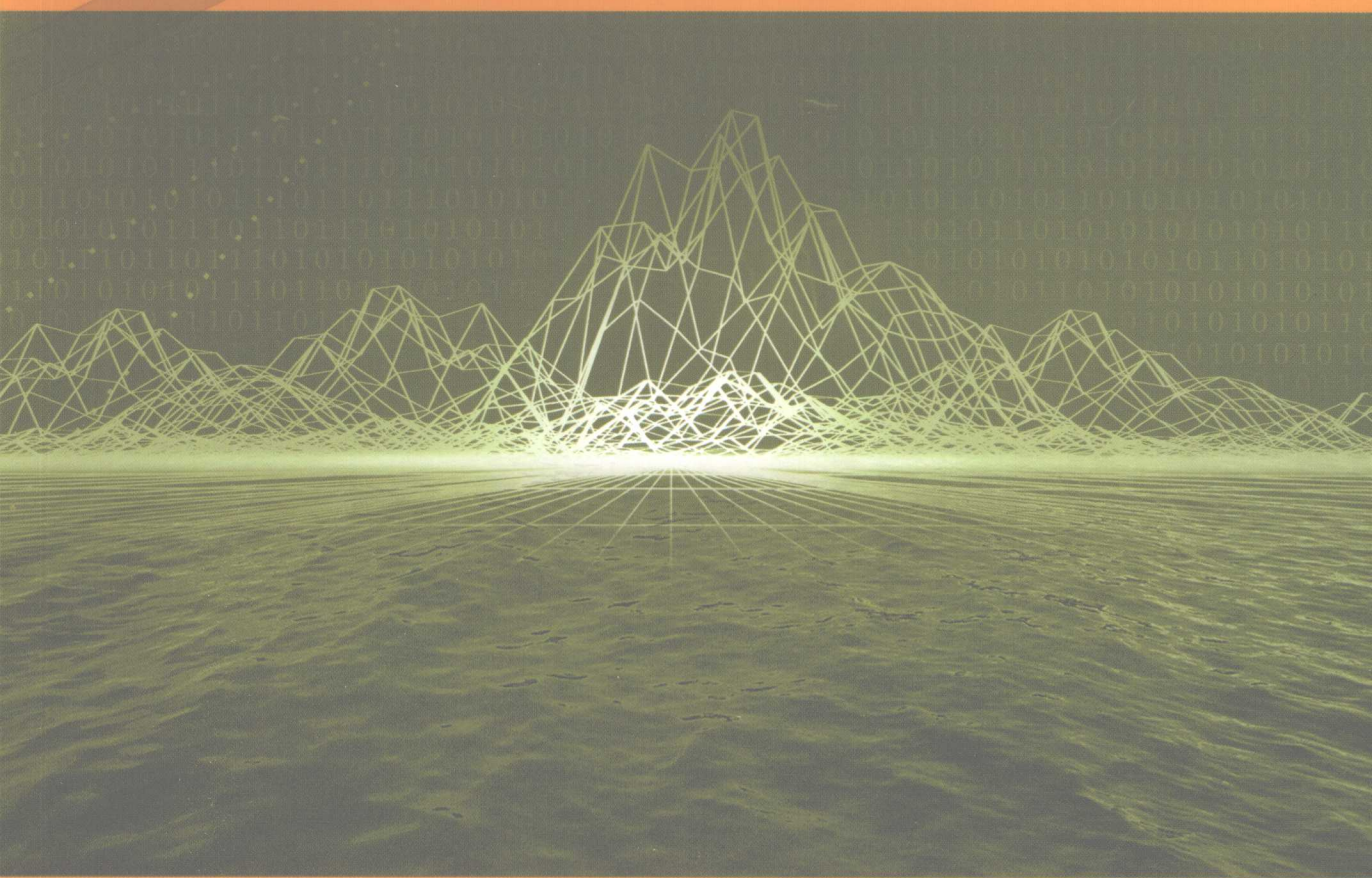


*The Application and Research
of Mathematical Model
in Ecology*

6

数学模型在生态学的 应用及研究

杨东方 苗振清 编著



海洋出版社

数学模型在生态学的应用及研究(6)

The Application and Research of Mathematical Model in Ecology(6)

杨东方 苗振清 编著

海洋出版社

2009年·北京

内 容 简 介

通过阐述数学模型在生态学的应用和研究,量化地展示了生态系统中环境因子和生物因子的变化过程,揭示了生态系统的规律和机制以及其稳定性、连续性的变化,使生态数学模型在生态系统中发挥巨大作用。在科学技术迅猛发展的今天,该书可以帮助读者了解生态数学模型的应用、发展和研究的过程;分析不同领域、不同学科的各种各样的生态数学模型;探索采取何种数学模型应用于何种生态领域的研究;掌握建立数学模型的方法和技巧。此外,该书还有助于加深对生态系统的量理解,培养量化研究生态系统的思维。

本书主要内容为:介绍了各种各样的数学模型在生态学不同领域的应用,如在地理、地貌、水文和水动力以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和结构以及数学模型应用的意义。

本书适合气象学、地质学、海洋学、环境学、生物学、生物地球化学、生态学、陆地生态学、海洋生态学和海湾生态学等有关领域的科学工作者和相关学科的专家参阅,也适合高等院校师生作为教学和科研的参考。

图书在版编目(CIP)数据

数学模型在生态学的应用及研究. 6/杨东方,苗振清编著. —北京:海洋出版社,2009. 7
ISBN 978 - 7 - 5027 - 7490 - 5

I. 数… II. ①杨… ②苗… III. 数学模型 - 应用 - 生态学 - 研究 IV. Q14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 086973 号

责任编辑:方 菁

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编:100081

北京海洋印刷厂印刷 新华书店北京发行所经销

2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

开本:787 mm × 1092 mm 1/16 印张:20

字数:580 千字 定价:60.00 元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《数学模型在生态学的应用及研究(6)》编委会

主 编 杨东方 苗振清

副主编 徐焕志 彭自然 曹 蕾 李文凤 陈 豫

编 委 (按姓氏笔画为序)

丁咨汝 方淑波 邓 婕 石 强 孙静亚

何文辉 张培新 李 龙 杨春茹 郭军辉

常彦祥 曹根庭 黄 宏 蔡丽娜 蔡惠文

数学是结果量化的工具
数学是思维方法的应用
数学是研究创新的钥匙
数学是科学发展的基础

杨东方

要想了解动态的生态系统的基本过程和动力学机制,尽可从建立数学模型为出发点,以数学为工具,以生物为基础,以物理、化学、地质为辅助,对生态现象、生态环境、生态过程进行探讨。

生态数学模型体现了在定性描述与定量处理之间的关系,使研究展现了许多妙不可言的启示,使研究进入更深的层次,开创了新的领域。

杨东方

摘自“生态数学模型及其在海洋生态学应用”

《海洋科学》(2000),24(6):21-24.

前 言

细大尽力,莫敢怠荒,远迹辟隐,专务肃庄,端直敦忠,事业有常。

——《史记·秦始皇本纪》

数学模型研究可以分为两大方面:定性和定量的,要定性地研究,提出的问题是:“发生了什么?或者发生了没有?”要定量地研究,提出的问题是:“发生了多少?或者它如何发生的?”前者是对问题的动态周期、特征和趋势进行了定性的描述,而后者是对问题的机制、原理、起因进行了定量化的解释。然而,生物学中有许多实验问题与建立模型并不是直接有关的。于是,通过分析、比较、计算和应用各种数学方法,建立反映实际的且具有意义的仿真模型。

生态数学模型的特点为:(1)综合考虑各种生态因子的影响。(2)量化描述生态过程,阐明生态机制和规律。(3)能够动态的模拟和预测自然发展状况。

生态数学模型的功能为:(1)建造模型的尝试常有助于精确判定所缺乏的知识和数据,对于生物和环境有进一步定量了解。(2)模型的建立过程能产生新的想法和实验方法,并缩减实验的数量,对选择假设有所取舍,完善实验设计。(3)与传统的方法相比,模型常能更好地使用越来越精确的数据,从生态的不同方面所取得材料集中在一起,得出统一的概念。

模型研究要特别注意:(1)模型的适用范围:时间尺度、空间距离、海域大小、参数范围。例如,不能用每月的个别发生的生态现象来检测1年跨度的调查数据所做的模型。又如用不常发生的赤潮的赤潮模型来解释经常发生的一般生态现象。因此,模型的适用范围一定要清楚;(2)模型的形式是非常重要的,它揭示内在的性质、本质的规律,来解释生态现象的机制、生态环境的内在联系。因此,重要的是要研究模型的形式,而不是参数,参数是说明尺度、大小、范围而已;(3)模型的可靠性,由于模型的参数一般是从实测数据得到的,它的可靠性非常重要,这是通过统计学来检测。只有可靠性得到保证,才能用模型说明实际的生态问题;(4)解决生态问题时,所提出的观点,不仅从数学模型支持这一观点,还要从生态现象、生态环境等各方面的事实来支持这一观点。

本书以生态数学模型的应用和发展为研究主题,介绍数学模型在生态学不

同领域的应用,如在地理、地貌、气象、水文和水动力,以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和结构以及其数学模型应用的意义。认真掌握生态数学模型的特点和功能以及注意事项。生态数学模型展示了生态系统的演化过程和生态数学模型预测了自然资源可持续利用。通过本书的学习和研究,促进自然资源、环境的开发与保护,推进生态经济的健康发展,加强生态保护和环境恢复。

本书获得浙江海洋学院出版基金、浙江海洋学院承担的“舟山渔场渔业生态环境研究与污染控制技术开放”和“近海水域预防环境污染养殖模型”项目、上海市临港新城海岸带的景观格局演变及环境效应(B-8201-08-0280)、黄海海岸带湿地景观格局变化及生态健康评价(B-8101-09-0022)和国家海洋局北海监测中心主任科研基金——长江口、胶州湾、莱州湾及其附近海域的生态变化过程(05EMC16)的共同资助下完成。

此书得以完成应该感谢北海监测中心高振会主任和上海海洋大学的李家乐院长;还要感谢刘瑞玉院士、冯士桢院士、胡敦欣院士、唐启升院士、汪品先院士、丁德文院士和张经院士。诸位专家和领导给予的大力支持,提供良好的研究环境,成为我们科研事业发展的动力引擎。在此书付梓之际,我们诚挚感谢给予许多热心指点和有益传授的其他老师和同仁。

本书内容新颖丰富,层次分明,由浅入深,结构清晰,布局合理,语言简练,实用性和指导性强。由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,望广大读者批评指正。

沧海桑田,日月穿梭。抬眼望,千里尽收,祖国在心间。

杨东方 苗振清

2009年3月16日

目 次

木材常温干燥总应变表达式	(1)
种多度拟合模型	(3)
景观空间特征分析指标	(5)
土壤饱和贮水量和土壤水分入渗模型	(8)
种间联结测度	(11)
单一树种或草种的林草覆被率	(14)
复干涉测量相干	(16)
土壤密度修正	(18)
α 、 β 多样性测度	(20)
Farquhar 模型	(22)
加根效果和抗剪强度	(25)
电磁阀导通时间	(29)
α 、 β 多样性测度方法	(31)
数字高程模型和地形因子提取	(34)
叶绿素荧光参数	(36)
径阶与树龄的回归方程	(38)
果皮花青素含量	(41)
年平均利润法、净现值法和内部收益率法	(43)
横断面孔穴压缩变化率	(45)
Logistic 方程	(47)
材料的动态力学行为	(49)
功能效益及蒸腾耗水测定	(51)
X 射线成像	(53)
力学模型	(55)
计盒维数	(57)
冷杉林叶面积指数	(59)
$\delta^{13}\text{C}$ 、 $\Delta^{13}\text{C}$ 和 WUE 的计算方程	(61)
水分胁迫指数和恢复度	(63)
气孔限制值	(65)

遗传参数	(67)
群落指数和群落相似系数计算	(69)
生境评价	(72)
森林生态资源价值补偿	(75)
盆栽土壤和草坪土壤	(77)
反应活化能回归计算	(80)
非直角双曲线模型理论	(83)
分类函数	(85)
细胞重心计算	(87)
最小面积的计算和丰富度指数	(89)
化感作用效应指数	(92)
可变生长截距模型	(95)
估测树干呼吸	(97)
树干液流测算公式	(99)
菌株的相似系数	(102)
叶片电导率	(104)
杉木自然稀疏线公式	(106)
银杏种子中淀粉含量和蛋白质含量测定	(108)
光化学猝灭和非光化学猝灭	(110)
水量平衡公式	(113)
能量平衡表达式	(115)
海滩滩角地形变化模型	(117)
遗传变异参数和聚类分析模型	(119)
营养状态质量指数法计算公式	(122)
生态服务价值估算公式	(124)
SLA 数据计算公式	(126)
SST 的累计频率分布计算公式	(128)
气体交换通量计算公式	(131)
东亚夏季风指数表达式	(133)
微型浮游动物种群组成和摄食的公式	(135)
Boussinesq 数值模拟	(138)
地积累指数法	(141)
筛选公式和海水富营养化的判定公式	(143)
沙通量年内变化规律的数学模型	(145)

海域营养水平和有机污染评价模型	(148)
测定海洋沉积物碳酸盐含量和粒度分布的公式	(151)
潮汐调和公式	(154)
三次样条插值函数的原理	(156)
采矿车的运动学模型	(158)
浮游植物鉴定公式	(162)
SOD 活力和 MDA 含量的测定公式	(164)
综合评价指数模型	(167)
潜在生态风险指数法	(169)
叠后振幅反演模型	(172)
ECOMSED 模型	(175)
半方差函数	(177)
生物降解动力学模型	(180)
Longuet-Higgins 模型	(182)
海浪模式和模型风场	(185)
流体动力学方程组和污染物二维输移扩散模型	(188)
多样性指数和均匀度公式	(191)
COHERENS 模式在长江口赤潮源推测中的应用	(193)
典型相关分析方法	(196)
滤食率推算公式	(199)
标准物质总不确定度公式	(201)
溶血度计算	(203)
光系统 II 能量流模型	(205)
特征值计算公式	(209)
有关参数指标的定义和计算	(211)
螺旋度分析模型	(213)
潮流数值模拟公式	(216)
海表面温度的测量原理	(218)
大洋环流的诊断计算公式	(221)
抛泥扩散淤积计算模式	(224)
稀释法估算摄食率	(227)
总悬浮颗粒物浓度的计算	(230)
T-R 方法测量的样品的光学密度公式	(233)
基于通量算法(Flux)的蒸发波导诊断模型	(236)

普适函数关系	(238)
表观光学量与固有光学量经验区域性模型模式	(240)
不同波段相互关系模型	(242)
水文系统的混沌识别方法之饱和分维数和 Lyapunov 指数	(244)
灰色模块建模原理	(247)
锚碇系统之浮标的设计计算公式	(249)
高锰酸钾光度法检测 COD	(251)
斯奈尔折射定律的应用公式	(253)
声学测量之掠射角与声能量的关系	(256)
水体后向散射系数	(259)
基于 HS6 的后向散射系数数据校正原理	(261)
系缆式剖面测量平台运动的驱动力公式	(264)
海底管线损伤的计算方法	(267)
支持向量机的曲线拟合问题模型	(271)
新的小波阈值去噪模型	(274)
水声定位系统递推最小二乘(RLS)算法原理	(276)
随机平均法和奇异边界理论	(279)
GNSS 海面散射信号的理论模型	(281)
拟合航迹模型	(284)
拟合测线模型	(287)
磁探测方法之磁异常分布特征分析模型	(290)
海浪功率谱的 ARMA 模型	(294)
基于非结构化四边形网格的 VOF 法	(297)
基于空间投影理论的 RPC 模型	(300)
空间斜墨卡托投影公式	(302)
尾流振子模型	(304)

木材常温干燥总应变表达式

1 背景

干燥时板材内各部分因干缩量的不一致而分别承受拉应力或压应力,在应力作用下经历含水率变化将产生机械吸附蠕变。若在达到目标含水率时立即出窑,则板材内存在较大的含水率梯度和残余机械吸附蠕变,为板材的后续加工利用带来严重的影响。

无论是干燥中还是调湿处理过程中,干燥应力均是绝大多数干燥缺陷产生的直接原因,因此,国内外众多学者开展了干燥中应力应变特性的研究。长期以来调湿处理在生产中日益受到重视,现在国内外的调湿处理多参照 Mcmillen^[1]的方法进行,但学术研究多集中于处理方法的优化和处理时间的预测方面,极少研究调湿处理过程中的应力应变特征,而国内用流变力学理论分析调湿处理中的应力未见报道。陈太安等^[2]以赤桉为研究对象,采用改进的切片法分析调湿处理,探讨残余应变的消除机理。

2 公式

木材的常温干燥总应变可分为弹性、黏弹性、机械吸附和干缩应变 4 个组分,如图 1 所示。

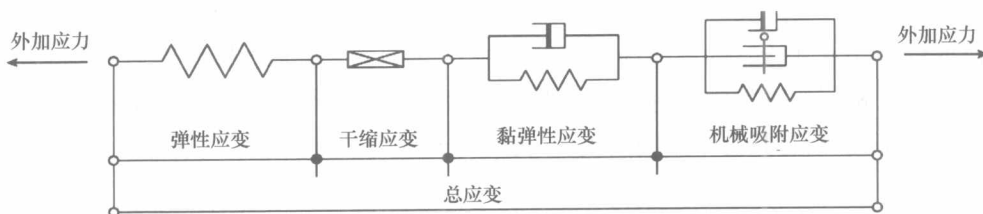


图 1 干燥应力应变组分模拟

弹性应变可以被视为干燥应力水平的体现,开裂、翘曲变形等干燥缺陷与其密切相关,一直是木材干燥的研究重点。表示为:

$$\varepsilon_E = \sigma / E(u, T)$$

式中, σ 为外加应力; $E(u, T)$ 为木材受力方向的弹性模量; u 为含水率; T 为温度。

黏弹性应变即是纯流变力学中的延迟弹性应变,其量相对较小,尤其是在干燥后期,对

木材干燥进程和质量影响甚微。可用如下的开尔文体本构方程表述:

$$\varepsilon_{VE} = \sigma \cdot A[1 - \exp(-k_1 t)]/E$$

式中, A 为与应力状态有关的参数; k_1 为常数; t 为应力松弛时间。

机械吸附应变, 在含水率变化方向单一时是永久变形, 与含水率变化量和应力水平有关, 但与时间无关。当应力超过比例极限点时, 压缩状态下的应变大于拉伸状态下的应变。表示为:

$$\varepsilon_{MS} = m \cdot \sigma \cdot \Delta u$$

式中, m 为机械吸附系数; Δu 为含水率变化值。

干缩为木材在纤维饱和点以下的固有属性, 图 1 中以干缩因子表示。特征常数干缩系数与干燥应力无关, 传统观点认为其为常数, 研究表明其在纤维饱和点以下也受含水率的影响^[3], 但不受干燥工艺的影响, 当含水率变化量确定时, 干缩量也是确定的。干缩应变的数学表达式为:

$$\varepsilon_S = \alpha_u \cdot [\min(u, u_{FSP}) - u_{FSP}]$$

干缩系数 $\alpha_u = f(u)$, u_{FSP} 为纤维饱和点。

总应变的数学表达式为:

$$\begin{aligned} \varepsilon_T = \varepsilon_E + \varepsilon_{VE} + \varepsilon_{MS} + \varepsilon_S = & \frac{\sigma}{E} + \frac{\sigma}{E} \cdot A[1 - \exp(-k_1 t)] \\ & + m \cdot \sigma \cdot u + \alpha_u \cdot [\min(u, u_{FSP}) - u_{FSP}] \end{aligned}$$

干缩是木材的固有性质, 不受人为影响, 不予重点研究, 试验重点探讨终了调湿处理中弹性应变、黏弹性应变与机械吸附应变的变化规律。

3 意义

陈太安等^[2]在实验室的小型调温调湿箱中对 25 mm 厚赤桉干燥材进行终了调湿处理, 并以切片法分析调湿过程中的弹性应变和机械吸附应变特性。采用该方法使研究不仅具有一定的创新性, 而且具有一定的实用性, 为制定合理的干燥工艺提供理论借鉴。

参考文献

- [1] Mcmillen J. Stresses in wood during drying. Res Rep 1652 USDA Forest Service. Forest Products Lab Madison, WI. 1963.
- [2] 陈太安, 顾炼百. 赤桉材干燥终了调湿处理中的流变行为. 林业科学, 2007, 43(3): 84-89.
- [3] Wu Q L, Millota M R. Rheological behavior of Douglas Fir perpendicular to the grain at elevated temperature. Wood and Fiber Science, 1995, 27(3): 285-295.

种多度拟合模型

1 背景

测度物种多度是现代群落生态学和种群生态学研究的最基本工作^[1]。最早的多度分析始于 1932 年 Motomure 提出的几何级数模型,随后种多度分布研究迅速发展,并建立了许多适用于不同类型群落或集合的模型^[2]。统计模型及生态位模型是应用较为广泛的两类模型^[3]。为克服统计模型的局限性,一些学者结合生态位原理提出不同的生态位模型,为群落多度研究开辟了新的思路^[2,4]。对于种多度关系研究中多度指标的测度也从单一的个体数量指标扩展到多元的、广义的综合性指标,如生物量、生产力、盖度、频度、基面积及重要值等^[2,5-6]。郭道宇等^[7]在总结群落内部生态规律的基础上分析已采取的若干措施的可行性,应用不同生态位模型对矿区物种进行拟合,揭示不同群落类型的物种多度分布规律。

2 公式

种多度关系的拟合通常是以每一个种的个体数量为基础的,但群落调查中由于草本层的个体数难以确定,因此采用相对盖度值为指标拟合种多度分布。

生态位优先模型(niche preemption model, NM),这一模型假定第 1 个种先占用群落总生态位比额的 K 份,第 2 个种占用剩下的 K 份即 $K \times (K-1)$ 份,第 3 种再占用剩下的 K 份即 $K \times (K-1)^2$,依次类推。因此第 i 个种所占的比例为:

$$P_i = K(K-1)^{i-1} \quad (i = 1, 2, 3 \dots)$$

分割线段模型(broken stick model, BM),这一模型假定一个群落中 S 为物种总生态位是等于 1 的一条棍,在棍上设 $S-1$ 个点,把棍分割为 S 段,代表生态位被 S 个种所占有。该模型假定 S 个种分类地位接近,竞争能力也相似,而且同时在群落中出现。该模型第 i 个种所占的比例为:

$$P_i = \frac{1}{S} \sum_{x=1}^S \frac{1}{x} \quad (i = 1, 2, 3 \dots)$$

生态位重叠模型(overlapping niche model, OM)该模型仍然把群落生态位总量作为一条棍,每个种的种多度等于棍上随机两点间的距离,各个种彼此独立。每个种在棍上取其所需资源比例,这样各个种之间有重叠,群落的总生态位或资源总量不再是 1。该模型第 i 个种

所占的比例为:

$$P_i = \frac{1}{2S + 1} \quad (i = S, S - 1, S - 2, \dots)$$

对数级数模型(logarithmic series distribution, LM)它适合描述不含零的正整数,即没有个体存在的种不予考虑,这一模型对有 r 个个体的种的频度预测为:

$$f_r = \alpha \frac{x}{r} \quad x = \frac{N}{\alpha + N} \quad S = a \ln \left[1 + \frac{N}{2} \right]$$

这里 α 代表群落的特点,可作为多样性指数,其值大于 0, x 是一个常数,界于 0 和 1 之间,它与样品的大小有关。

3 意义

种多度分析是通过物种多度值及其排列来反映群落多样性的,但事实上它比多样性更能全面地反映群落特征。种多度分析结果不仅可以直观地反映群落多样性,而且可以间接地反映群落结构。因而其在群落演替过程中解释群落时空变化规律方面具有很大的发展空间。郭逍宇等^[7]应用不同生态位模型对矿区物种进行拟合,揭示不同群落类型的物种多度分布规律,为中国矿区植被恢复过程群落演替,群落结构变化,群落稳定性评价,物种多样性保护提供科学的依据。

参考文献

- [1] Bebon M, Harper J L, Townsend C R. Ecology: Individuals, populations and communities. Blackwell Scientific, Oxford, 1986.
- [2] 彭少麟,殷柞云,任海,等. 多物种集合的种—多度关系模型研究进展. 生态学报, 2003, 23(8): 1 590 - 1 605.
- [3] Tokeshi M. Niche apportionment or random assortment: species abundance patterns revisited. Journal of Animal Ecology, 1990, 59: 1 129 - 1 146.
- [4] 张金屯. 美国纽约州阔叶林物种多度格局的研究. 植物生态学报, 1999, 23(6): 481 - 489.
- [5] 喻理飞,朱守谦,魏鲁明. 贵州喀斯特台原亮叶水青冈林种—多度结构研究. 山地农业生物学报, 1998, 1(1): 9 - 15.
- [6] 安树青,陈兴龙,李国旗,等. 南京灵谷寺森林种多度结构变化的研究. 南京大学学报:自然科学版, 1999, 35(2): 156 - 160.
- [7] 郭逍宇,张金屯,宫辉力,等. 安太堡露天矿区人工植被的物种多度分布分析. 林业科学, 2007, 43(3): 118 - 121.

景观空间特征分析指标

1 背景

为在有限的空间内合理规划布局城市绿地系统,需要在景观水平上研究城市绿地系统的结构特征,遥感和地理信息系统技术为该领域提供了有力的技术支持^[1]。陈浮等^[2]应用 3 期卫星影像分析了无锡市马山区 1988—1998 年城市边缘区景观变化与人为影响的关系;车生泉^[3]对上海和南京分别进行了城市绿地现状遥感调查;上海和宁波等东部发达城市以及三峡已经有了基于遥感和 GIS 的城乡交错带景观演变研究和应用成果^[4]。近年来,高分辨率卫星如 IKONOS 和 QuickBird 卫星数据的空间分辨率分别达到 1 m 和 0.61 m,这为城市绿地系统的研究提供了良好的条件。侯碧清^[5]利用 QuickBird 高分辨率卫星数据调查株洲市城市绿地系统对株洲市城市绿地系统景观结构特征进行了分析。

2 公式

城市绿地系统景观结构特征分析就是采用反映景观空间结构、特征、景观多样性等指标分析绿地景观的结构、功能和变化^[1,6]:

嵌块体平均面积,公式:

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i$$

式中, A 为嵌块体的平均面积, A_i 为各嵌块体的面积, n 为嵌块体的数量。

内缘比,公式:

$$S = P/A$$

式中, P 为嵌块体的周长, A 为嵌块体的面积。

隔离度,公式:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}$$

式中, d_{ij} 为相邻嵌块体间的距离, n 为相邻嵌块体的数目。

破碎度,公式:

$$F = n/A$$

式中, n 嵌块体数目, A 为景观面积(km^2),单位面积内的嵌块体面积(m^2/m^2)。