

闽江流域森林生态研究

洪伟 主编

厦门大学出版社

1260034

S718.55

(5)

闽江流域森林生态研究

洪 伟 主编

徐州师大图书馆

0034



22596595

厦门大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

闽江流域森林生态研究/洪伟主编. —厦门:厦门大学出版社, 2000. 1

ISBN 7-5615-1561-8

I. 闽… II. 洪… III. 森林-生态系-研究-闽江-流域 IV. S718.55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 69051 号

厦门大学出版社出版发行

(地址:厦门大学 邮编:361005)

三明地质印刷厂印刷

(地址:三明市富兴路 15 号 邮编:365001)

2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:16.5

字数:422 千字 印数:1—2 000 册

定价:25.00 元

如有印装质量问题请与承印厂调换

福建省“百千万人才工程” 人选培养资金资助项目

The Project Sponsored By Fujian Provincial
Training Foundation For “Bai-Qian-Wan
Talents Engineering”

内 容 简 介

本书汇集了福建林学院从事生态学研究人员在十几年开展闽江流域森林生态研究所取得的科研成果,研究了闽江流域中亚热带地区具代表性的阔叶防护林群落、格氏栲群落、黄山松群落、米槠群落、毛竹群落、观光木群落及楠木等人工林群落的生物量与生产力、森林结构、能量分配、水文效应、土壤性质、物种多样性、生态位、种间联结、多度分布和空间分布格局、种内与种间竞争、种群增长动态、生命过程、密度调节及自然保护区评价等内容,丰富和发展了该领域研究的新技术和新途径。这些研究作为今后深入研究闽江流域森林生态系统奠定了良好的理论基础,为闽江流域森林可持续经营和天然林保护提供了科学依据,也为该领域研究提供新方法和新手段。本书对于森林生态、植物学、林学、环境科学、水文学、土壤学和自然保护等有关学科的教学、科研工作者、管理部门的工作人员、大学生及研究生都具有重要的参考价值。

闽江流域森林生态研究

FOREST ECOLOGY RESEARCH
IN MINJIANG RIVER VALLEY

主 编 洪 伟

编著者 洪 伟 吴承祯 刘金福 陈 辉

蓝 斌 何东进 郑郁善 林成来

前 言

闽江流域是福建省第一大江，水系全长 2 959 公里，主干流长 584 公里，年径流量为 629 亿立方米，全流域土地总面积 61 814.26 平方公里，地跨南平、三明、宁德、福州、龙岩、泉州、莆田等 7 个地（市）、36 个县（区），人口 797.62 万。流域内山多平原少、土地肥沃、气候温和、雨量充沛、水能、森林和矿产资源丰富，是我省主要林区，也是我省主要商品材、商品粮基地。但是，近年来，由于该流域森林过伐，成熟林的森林面积不断减少，林分质量下降，造成水土流失日趋严重、环境渐趋恶化、自然灾害不断加剧，严重破坏了闽江流域人类生存环境和阻碍社会经济的发展。1998 年的“六二二”特大洪灾，它不仅为人们敲响了保护环境的警钟，而且使人类充分认识到加强森林生态保护的必要性。尽管“六二二”特大洪灾所造成的损失是惨重的，但它却换来了我国天然林保护工程的启动，为保护好我们的地球和生存环境树立了新的里程碑。

森林生态系统是陆地上最大、最复杂的生态系统。森林是重要的自然资源，更是维护生物圈生态平衡的重要支柱。森林不仅具有防风固沙、净化空气等作用，还具有蓄水保水、降低洪峰的作用。当前森林对全球环境影响的研究已成为国际上“研究热点”之一，从某种意义上说它关系到全人类的共同生存问题。闽江流域以其具有代表性的中亚热带森林生态系统、高度的生物多样性和与人类经济发展和环境变化关系密切而备受广大生态学家和林业工作者关注。通过对闽江流域中亚热带地区具代表性的阔叶防护林群落、格氏栲群落、黄山松群落、米槎群落、毛竹群落、观光木群落及楠木等人工林群落的森林结构、生物量与生产力、能量分配、水文效应、土壤性质、物种多样性、生态位、种间联结、多度分布和空间分布格局、种内与种间竞争、种群增长动态、生命过程、密度调节及保护区评价等方面的深入研究，不仅填补了该领域的许多空白，丰富和发展了该领域的研究方法，而且为闽江流域森林持续经营、可持续发展及天然林保护提供了科学依据。

10 年来，科研工作者兢兢业业、以强烈的事业心和艰苦奋斗的吃苦精神，深入林区第一线以及武夷山国家级自然保护区、将乐龙栖山国家级自然保护区、三明格氏栲自然保护区、建瓯万木林自然保护区，获得了第一手原始资料，取得了一系列研究成果，绝大部分论文已被《生态学报》、《植物生态学报》、《应用与环境学报》、《应用生态学报》、《热带亚热带植物学报》、《林业科学》、《土壤学报》、《生物多样性》、《农业系统科学与综合研究》及《福建林学院学报》、《江西农业大学学报》等刊物刊用。本书是编著者 10 年来开展闽江流域森林生态研

究工作成果的总结。

此研究项目得到福建省“百千万人才工程”人选培养资金及福建省林业厅科学研究基金的资助，在此深表感谢。在野外工作中，得到了任承辉、李家和、郑丽萍、阮传成、廖正花、陈鸣煊、郑群瑞、郑康宏、龚其锦、刘玉宝、郑燕明、李茂瑾、管大耀、李仁昌、郭海涛、徐凤兰、陈登雄、谢芳、张运根、赖建明、陈昆、王昌文、廖金兰、王小龙、张炜银、李岩明、彭赛芬、游斌、陈清林等同志的鼎力协助，在此一并致谢。

编 著 者

1999 年元旦

目 录

Shannon—Wiener 指数的改进	洪 伟	吴承祯	(1)
邻体干扰指数通用模型及其应用	洪 伟	吴承祯 蓝 斌	(7)
闽北主要阔叶树种种间联结测定及其应用	洪 伟	陈鸣煊	(13)
毛竹林能量分配的研究	洪 伟 蓝斌	吴承祯 郑郁善	(20)
龙栖山黄山松种群优势度增长规律研究	洪 伟 吴承祯	林成来 张运根	(24)
闽北阔叶树种生态组的 Fuzzy 划分	洪 伟	谢 芳	(29)
福建龙栖山森林群落林窗边缘效应研究	洪 伟 吴承祯	林成来 赖建明	(36)
福建建溪流域常绿阔叶防护林物种多样性 特征研究	洪 伟 林成来 吴承祯	何东进 陈 昆	(43)
建溪流域常绿阔叶防护林物种多度分布 格局研究	洪 伟 吴承祯	林成来 王昌文	(50)
福建省森林植被潜在生产力的估算及其分析	洪 伟 吴承祯	彭赛芬	(58)
毛竹在杉木与毛竹混交林中的空间分布型的研究	洪 伟 郑康宏	龚其锦	(64)
闽北主要阔叶树种生态相似性研究	洪 伟 吴承祯	林成来 廖金兰	(71)
闽北毛竹生物量与生产力的研究	陈 辉 洪 伟 蓝 斌	郑郁善 何东进	(76)
闽北次生阔叶林主要树种空间分布格局及其 应用研究	陈 辉 刘玉宝	吴承祯 游 斌	(81)
楠木人工林生物产量模型的研究	陈 辉 任承辉 郑丽萍	阮传成 廖正花	(88)
闽北阔叶林主要种群分布格局取样技术的 研究	蓝 斌 洪 伟 陈 辉	吴承祯 王小龙	(94)
物种多度对数正态分布模型的一种数值计算方法	吴承祯 洪 伟	何东进	(99)
万木林中亚热带常绿阔叶林物种多样性 研究	吴承祯 洪 伟 陈 辉 蓝 斌	郑群瑞	(105)
万木林中亚热带常绿阔叶林主要种群 生态位研究	吴承祯 洪 伟 蓝 斌 陈 辉	郑群瑞	(110)
万木林中亚热带常绿阔叶林数量特征研究	吴承祯 洪 伟		(116)
观光木群落物种多度分布的 Weibull 模型研究	吴承祯 洪 伟		(121)
黄山松种群数量动态研究	吴承祯 洪 伟	林成来	(126)
不同经营模式土壤团粒结构的分形特征研究	吴承祯 洪 伟		(131)
采伐剩余物分解过程中土壤分形维数与土壤性质变化关系研究	吴承祯 洪 伟		(136)
格氏栲种群数量 特征研究	吴承祯 洪 伟 陈 辉 蓝 斌 刘金福 何东进 林成来		(142)

格氏栲种群个体年龄与胸径的时间序列模型研究	刘金福	洪 伟	(150)
格氏栲林主要种群生态位的研究	刘金福	洪 伟	(156)
格氏栲林主要种群的竞争研究	刘金福	洪 伟 李家和	(164)
格氏栲种群优势度增长动态规律研究	刘金福 洪 伟	李家和 郑燕明	(169)
格氏栲种群空间格局及其动态的研究	刘金福	洪 伟 陈清林	(176)
格氏栲种群空间格局分布的 Weibull 模型研究	刘金福	洪 伟	(184)
格氏栲种群分布格局的强度与纹理分析研究	刘金福	洪 伟	(190)
福建三明格氏栲自然保护区评价	刘金福	洪 伟	(196)
青钩栲种群增长动态预测研究	刘金福	洪 伟	(203)
格氏栲种群调节模型的研究	刘金福	洪 伟 李茂瑾	(212)
格氏栲种群个体年龄确定方法的研究	何东进	洪 伟 吴承祯	(218)
建溪流域常绿阔叶防护林优势树种生态相似关系研究			
—— I. 主要乔木种群生态相似关系			
研究	何东进 吴承祯	洪 伟 林成来 李岩明	(224)
建溪流域常绿阔叶防护林优势树种生态相似关系研究			
—— II. 主要灌木种群生态相似关系			
研究	何东进 吴承祯	洪 伟 林成来 李岩明	(230)
观光木杉木混交林水文特征研究	郑郁善	张炜银	(235)
杉木 (19 年生) 毛竹混交林水源涵养能力研究	郑郁善	管大耀 李仁昌	(240)
福建含笑杉木混交林水源涵养功能差异研究	郑郁善 郭海涛	徐凤兰 陈登雄	(246)

CONTENTS

Modification of Shannon—Wiener index	Hong Wei Wu Chengzhen (1)
A general model for neighborhood interference index and its application	Hong Wei Wu Chengzhen Lan Bin (7)
Calculation and application of interspecific association of broad—leaved trees in the north Fujian	Hong Wei Chen Mingxuan (13)
Study on energy distribution of <i>Phyllostachys heterocycla</i> Cv. Pubescens forest	Hong Wei Lan Bin Wu Chengzhen et al. (20)
Study on growth law of dominance of <i>Pinus taiwanensis</i> population in Longxi mountain	Hong Wei Wu Chengzhen Lin Chenglai et al. (24)
Fuzzy cluster analysis of ecological group of deciduous trees in the north Fujian	Hong Wei Xie Fang (29)
Study on edge effect of the gap of the forest communities in Longxi Mountain of Fujian	Hong Wei Wu Chengzhen Lin Chenglai et al. (36)
Research on species diversity characteristics of evergreen broad—leaved shelter—forests in Jianxi river valley in Fujian	Hong Wei Lin Chenglai Wu Chengzhen et al. (43)
Research on species abundance distribution of evergreen broad—leaved shelter—forests in Jianxi river valley	Hong Wei Wu Chengzhen Lin Chenglai et al. (50)
Evaluation and analysis of forest vegetation potential productivity in Fujian province	Hong Wei Wu Chengzhen Pen Saifen (58)
A study on the distribution pattern of <i>Bamboo</i> in the mixed forest of Chinese fir—bamboo	Hong Wei Zheng Kanghong Gong Qijin (64)
Study on the ecological proportional similarity of broad—leaved trees in the north Fujian	Hong Wei Wu Chengzhen Lin Chenglai et al. (76)
Study on biomass and productivity of <i>Phyllostachys heterocycla</i> Cv. Pubescens forest in the north of Fujian	Chen Hui Hong Wei Lan Bin et al. (76)
Spatial distribution pattern of dominant trees of secondary broad—leaved forest in the	

- north of Fujian and its application
..... Chen Hui Liu Yubao Wu Chengzhen et al. (81)
- Study on the models of biomass for the *Phoebe bournei* stands
..... Chen Hui Ren Chenghui Zhen Liping et al. (88)
- Study on sampling techniques for spatial distribution pattern of main tree species
population in broad-leaved forest in northern Fujian
..... Lan Bin Hong Wei Chen Hui et al. (94)
- A calculating method of the log-normal distribution model
of species abundance
..... Wu Chengzhen Hong Wei He Dongjin (99)
- Species diversity of subtropical evergreen broad-leaved forest
in Wanmulin
..... Wu Chengzhen Hong Wei Chen Hui et al. (105)
- A study on the niche of the dominant herb species in the subtropical evergreen
broad-leaved woodland in the natural reserve of Wanmulin
..... Wu Chengzhen Hong Wei Lan Bin et al. (110)
- Study on quantitative characteristics in the subtropical evergreen
broad leaved woodland in the natural reserve
of Wanmulin Wu Chengzhen Hong Wei (116)
- Study on Weibull model for species abundance distribution
of *Tsoongiodendron odorum* forest Wu Chengzhen Hong Wei (121)
- Study on quantitative dynamics of *Pinus taiwanensis* population
..... Wu Chengzhen Hong Wei Lin Chenglai (126)
- study on fractal feature of soil aggregate structure
in different management pattern Wu Chengzhen Hong Wei (131)
- Study on relationship between soil fractal dimension and the change of soil feature
during the decomposition of surplus of cutting
..... Wu Chengzhen Hong Wei (136)
- A study on quantitative characteristics of *Castanopsis kawakamii*
..... Wu Chengzhen Hong Wei Chen Hui et al. (142)
- A study on time series model of individual age and diameter
in *Castanopsis kawakamii* population Liu Jinfu Hong Wei (150)
- Study on the niche of the main tree population
in *Castanopsis kawakamii* community
..... Liu Jinfu Hong Wei (156)
- A study on the competition of dominant species
in *Castanopsis kawakamii* forest
..... Liu Jinfu Hong Wei Li Jiahe (164)
- Growth dynamics of dominance of *Castanopsis kawakamii* population
..... Liu Jinfu Hong Wei Li Jiahe et al. (169)

The spatial distribution pattern and dynamics of <i>Castanopsis kawakamii</i> population	Liu Jinfu Hong Wei Chen Qinglin (176)
Study on Weibull model for the spatial distribution pattern of <i>Castanopsis kawakamii</i> population	Liu Jinfu Hong Wei (184)
The distribution pattern and grain for <i>Castanopsis kawakamii</i> population	Liu Jinfu Hong Wei (190)
The evaluation on Sanming natural reserve of <i>Castanopsis kawakamii</i>	Liu Jinfu Hong Wei (196)
A study on forecast of population dynamics of <i>Castanopsis kawakamii</i>	Liu Jinfu Hong Wei (203)
A study on regulative model of <i>Castanopsis kawakamii</i> population	Liu Jinfu Hong Wei Li Maojin (212)
A study on the method to determine individual age of <i>Castanopsis kawakamii</i> population	He Dongjin Hong Wei Wu Chengzhen (218)
A study on the ecological relationships of dominant tree species of evergreen broad leaved shelter forest in Jianxi river valley in Fujian	He Dongjin Wu Chengzhen Hong Wei et al. (224)
A study on the ecological relationships of dominant shrub species of evergreen broad leaves shelter forest in Jianxi river valley in Fujian	He Dongjin Wu Chengzhen Hong Wei et al. (230)
Study on hydrology of mixed forest of <i>Cunninghamia lanceolata</i> and <i>Tsoongiodendron odorum</i>	Zheng Yushan Zhang Weiying (235)
Water—holding capacity of mixed forest in <i>Cunninghamia lanceolata</i> and <i>Phyllostachys pubescens</i>	Zheng Yushan Guan Dayao Li Renchang (240)
Hydrogic effect of mixed stands of <i>Michelia fujianensis</i> with <i>Cunninghamia lanceolata</i>	Zheng Yushan Guo Haitao Xu Fenglan et al. (246)

Shannon-Wiener 指数的改进

洪 伟 吴承祯

(福建林学院, 南平 353001)

摘 要 针对多样性测定的 Shannon-Wiener 指数缺陷, 运用分形理论, 建立一个测定多样性的新的 Shannon-Wiener 指数, 并推导了 Shannon-Wiener 新指数的均匀度公式。应用武夷山国家自然保护区的米槠群落多样性调查的 100~1 500 m² 不等的样地资料进行 Shannon-Wiener 新指数及其均匀度的测定, 结果表明, 新指数能客观表征多样性特性, 是一个值得应用的新模型。

关键词 多样性测定; 分形维数; 物种多样性

Modification of Shannon-Wiener Index

Hong Wei Wu Chengzhen

(Fujian Forestry College, Nanping 353001)

Abstract In this paper, a new index for measuring diversity is established using fractal theory, based on analyzing the defect of method of Shannon-Wiener index in measuring diversity, and its evenness formula is deduced. The Shannon-Wiener new index and its evenness are used to measure the species diversity of *Castanopsis carlesii* community by the investigated data from 100 m² to 1 500 m² in Wuyishan state natural reservation, the results show that new index can reflect the property of diversity objectively, and that it is worthy applying as a new model.

Key words Diversity measurement; Fractal dimension; Species diversity

物种多样性能表征生物群落和生态系统的结构复杂性; 体现群落的结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度和生境差异, 具有重要的生态学意义。因此, 引起生态学家们对多样性研究的关注和极大兴趣, 并相继提出了许多定量描述多样性的模型, 例如, Simpson^[1]将物种数目及个体分配均匀度两者综合, 提出了 Simpson 多样性指数; Malntosh^[2]提出一种几何方法测定多样性; Hendrickson 和 Ehrlich 把 Simpson 多样性加以修改, 提出体现物种间的生态位对多样性的影响作用的多样性指数^[3], 等^[4]。其中 Shannon-Wiener 根据信息论知识, 提出的多样性计算公式 Shannon-Wiener 指数 (简称 SW 指数) 影响最大^[5~9]。金翠霞等^[5]在青海草甸生态系统绳类群落的多样性测定方法的对比中, 据野外调查和直观经验, 认为 SW 指数比较符合实际情况, 较 Simpson 指数和相遇机率为合适。彭少麟^[10]对南亚热带常绿阔叶林群

落分析,也得到基本一致的认识。可见,SW 指数由于既体现物种数量又体现物种个体的分布状况而显示其优越性和实用性,但是笔者认为 SW 指数也存在不足之处。本文将针对其问题提出改进,建立一个新的指数——Shannon-Wiener 新指数。

1 问题提出

SW 指数: $D = - \sum_{i=1}^r P_i \ln P_i$, 其中 P_i 属于第 i 物种个体的十分数; r 为物种数。该公式也可以转化为:

$D = 3.3219 (\lg N - 1/N \sum n_i \lg n_i)$, 式中: N 为所有物种个体总数; n_i 为第 i 物种个体数。

从上述两个公式可以看出,测定多样性时,既要考虑物种的数量 r ,又要考虑每个物种的个体数。从前人的许多研究来看,都认为多样性随时间变化,也随空间变化,且它们的变化趋势明显。对于多样性随空间变化而言,许多生态学家只注意到某一梯度的大变化范围的影响,而对于具体测定某一群落的某一梯度的小范围变化,即样地面积的大小的变化对多样性大小的影响注意不够^[5]。从许多学者的研究中都可以看出样地面积大小对定量描述的多样性值将产生较大影响。由于样地面积大小不一致,一方面可能未充分反映该群落的多样性,另一方面也不便于对前人的许多多样性研究进行比较。因此希望能有一个测定公式,既能体现 SW 指数的优点又能克服样地面积大小对多样性测定值产生影响的新的多样性指数。

2 Shannon-Wiener 新指数

B. B. Mandelbrot 总结了自然界中非规整几何图形之后,于 1975 年第一次提出分形这一概念。从数学的观点看,在分形中产生了从欧氏测度到豪斯道夫测度的转变,在物理上表现为量纲的转变,这是分形理论的主要特征^[11~13],它为描述复杂性问题提供了一个得力的方法。分形的核心是自相似性,分形的特征量是分数维。Hausdorff 定义分数维:

$$D_o = \lim \frac{\ln N(L)}{\ln L} \quad (1)$$

在自然界中具有自相似层次的现象十分普遍。某一特定的群落在相同地带中以及同一环境梯度下,其物种分布根据全息生物学理论^[14],可以认为其具有自相似性,即同一群落中,不同组成地段的物种组成及种类分布均匀状况具有自相似性,可视其为一个分形。但在传统多样性测定方法中,往往忽视这一自然现象,采取人为方法确定多样性测定的具体调查面积,从而出现两种可能:1) 面积过大,虽然反映了物种的分布规律,但浪费人力、物力和财力;2) 面积过小,则不能反映群落中所有物种的分布,多样性测定不准确。为此,本文试图利用森林群落中物种分布具有自相似性这一客观存在的自然现象,建立一个新的多样性指数——Shannon-Wiener 新指数,以克服用传统多样性测定方法测定时存在的上述两种缺陷。

由于物种在森林群落中的分布可以视为一个分形,那么在整个分形内以任一点为原点,设置一个边长为 L 的正方形,在这个正方形内分形所占有的物种个数记为 $N(L)$,显然 $N(L)$ 随着边长 L 的增大而不断增大(但存在一个极限)。对抽取的正方形样地面积内的物种进行编号,并计它们在分形中落入该正方形样地中的概率为 P_i ,那么用边长为 L 的正方形样地面积进行抽样所测算的平均多样性信息量为:

$$I = - \sum_{i=1}^{N(L)} P_i \ln P_i \quad (2)$$

如果用信息量 I 取代 $N(L)$ 的对数,根据分维数定义为^[13]:

$$D_1 = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{N(L)}{\ln L} = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{-\sum_{i=1}^{N(L)} P_i \ln P_i}{\ln L} \quad (3)$$

而 $N(L)$ 可写成如下形式:

$$N(L) = \sum \rho(\alpha), 0 \leq |\alpha \sin \theta, \alpha \cos \theta| \leq L \quad (4)$$

式中: α 为物种在群落中的位置矢量, θ 为位矢的极角, $\rho(\alpha)$ 为一参数。它的取值规则如下: 若一个物种在抽样面积中, 则与它相应的 $\rho(\alpha) = 1$; 否则, $\rho(\alpha) = 0$ 。笔者将测量值即 (3) 式称为多样性测定的 Shannon-Wiener 新指数。这里定义 $L = S^{0.5}$ (S 为多样性测定的调查面积), 因此, 随着调查面积的增大, L 值随之增大。由于 L 尺度越大, 该正方形面积下抽样得到的物种数也随之增加, 但存在一个极限, 这与群落物种组成及群落调查实践相一致。

笔者构造的新指数, 其测量值可以看成是 Shannon-Wiener 指数的一种改进形式, 它是 SW 指数值的 $1/\ln L$ 倍。但是 Shannon-Wiener 指数公式是假定该指数取样应来自无限总体, 而在调查的实际工作中是难以做到的, 也就是说并非真正在满足假设的条件下取样和测定其 Shannon-Wiener 指数值, 因而与现实系统多样性存在偏差。本文所提出的 Shannon-Wiener 新指数取样并不需要满足这样的假设, 只需对它求极限, 以寻求真实的多样性值, 从而减少与现实系统的偏差。因此 Shannon-Wiener 新指数测定多样性不仅考虑物种总数和个体的分布状况, 而且在考察多样性时, 是在标准的 $1/\ln L$ 的单位面积下同等测定, 并求其多样性指数的稳定值 (极限值), 使多样性的测定更加合理, 更具有可比性。

3 Shannon-Wiener 新指数的测定方法

上述定义明确指出用 (3) 式测定群落的多样性, 但其具体测定是比较困难的。为此, 使用 Sandbox 的实验方法以及数据处理方法来求解其测定值^[12]。当用一个特定 L 测定 D_1 时, 有:

$$D_1 = -\sum_{i=1}^{N(L)} P_i \ln P_i / \ln L \quad (5)$$

即有, 不难看出 D_1 是 $-\sum_{i=1}^{N(L)} P_i \ln P_i$ 和 $\ln L$ 的实验直线的斜率, 因此, 要测定 D_1 即可用回归分析方法。

取定 L_j 值 ($j = 1, 2, \dots, p$), 可以得到一组 $\{(-\sum P_i \ln P_i)_j, \ln L_j\}$, 按照回归分析的要求, 有:

$$\sum_{j=1}^p \{(-\sum_{i=1}^{N(L)} P_i \ln P_i)_j - D_1 \ln L_j\}^2 = \min \quad (6)$$

由此应用回归分析法可以得到:

$$D_1 = \frac{\sum_{j=1}^p (\sum_{i=1}^{N(L)} P_i \ln P_i)_j \cdot \ln L_j}{\sum_{j=1}^p (\ln L_j)^2} \quad (7)$$

综上所述, (7) 式即为 (3) 式的数据处理公式以及 Shannon-Wiener 新指数测量值。

4 Shannon-Wiener 新指数均匀度推导

均匀度指样地中各物种的多度的均匀程度, 即每物种个体数间的差异。其计算通常用观察多样性和最高多样性的比值为表示。最高多样性即所有种的多度都相等时的多样性。因此

为推导出 Shannon-Wiener 新指数均匀度, 必须求出最高多样性 Shannon-Wiener 新指数。

当各物种在分形中出现的概率相等时, 即 $P_i = 1/N(L)$, 此时

$$D_1 = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{-\sum_{i=1}^{N(L)} P_i \ln P_i}{\ln L}$$

即为 Shannon-Wiener 新指数最高多样性。

事实上, 由于 $P_i = 1/N(L)$, 有

$$D_1 = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{-\sum_{i=1}^{N(L)} \frac{1}{N(L)} \cdot \ln \frac{1}{N(L)}}{\ln L} = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{\ln N(L)}{\ln L} = D_0$$

即在等概率的情况下, Shannon-Wiener 新指数与豪斯道夫维数 D_0 相等^[13]。

于是有豪斯道夫测量维数:

$$D_0 = \frac{\ln N(L)}{\ln L}$$

同样采用 Sandbox 实验方法和回归处理方法求解 D_0 , 即 D_0 为 $\ln N(L) - \ln L$ 图中实验直线的斜率, 按回归分析要求, 有:

$$\sum_{j=1}^p [\ln N(L_j) - D_0 \ln L_j]^2 = \min$$

由此解出

$$D_{\max} = D_0 = \frac{\sum_{j=1}^p \ln N(L_j) \cdot \ln L_j}{\sum_{j=1}^p (\ln L_j)^2} \quad (8)$$

所以, Shannon-Wiener 新指数的均匀度指数为:

$$E = \frac{D_1}{D_0} = \frac{\sum_{j=1}^p \left(\sum_{i=1}^{N(L)} -P_i \ln P_i \right)_j \cdot \ln L_j}{\sum_{j=1}^p \ln N(L_j) \cdot \ln L_j} \quad (9)$$

5 Shannon-Wiener 新指数的应用实例

武夷山国家级自然保护区位于福建省武夷山、建阳、光泽、邵武四县(市)交界处, 北部与江西省毗连。地理坐标为北纬 $27^{\circ}33' - 27^{\circ}54'$, 东经 $117^{\circ}27' - 117^{\circ}51'$, 东西宽 22 km, 南北长 52 km, 总面积 565.27 km²。该区位于武夷山北段, 平均海拔 1 200 m, 属中山地貌。该区保存着较为完整的中亚热带常绿阔叶林, 该区的森林群落绝大多数都属于天然原始林, 它是我国中亚热带季风气候区的地带性植被。本文选择地带性植被米槠 (*Castanopsis carlesii*) 群落为研究对象, 探讨多样性测定的 Shannon-Wiener 新指数的具体应用。

在 1996 年 6 月对武夷山米槠群落进行全面踏查的基础上, 采用相邻格子法抽样技术, 选择有代表性的米槠群落设置样方, 样方大小为 10 m × 10 m。在样地取样时按正方形布置样方, 并由中心开始向四周逐渐扩展进行。考虑到亚热带常绿阔叶林最小表现面积为 1 200 m², 本文取样面积为 1 500 m²。测定每个样方的乔木、灌木、幼苗幼树和层间植物及草本植物的种类、高度、胸径 (>5 cm)、株数、盖度等指标, 并记录样地的立地因子。现以乔木层物种多样性测定为例说明 Shannon-Wiener 新指数的具体应用。

根据调查资料, 可以得到如下分组资料(表 1)。从表中计算可以看出, 当抽样面积从 100