

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

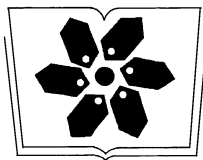
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 24 期 Vol.32 No.24 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 24 期

2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

从文献计量角度分析中国生物多样性研究现状.....	刘爱原,郭玉清,李世颖,等 (7635)
CO ₂ 浓度升高和模拟氮沉降对青川箭竹叶营养质量的影响.....	周先容,汪建华,张 红,等 (7644)
陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其与气候因子的关系——以洛川县下黑木沟村为例.....	吕素青,李月从,许清海,等 (7654)
长三角地区 1995—2007 年生态资产时空变化.....	徐昔保,陈 爽,杨桂山 (7667)
基于智能体模型的青岛市林地生态格局评价与优化.....	傅 强,毛 锋,王天青,等 (7676)
青藏高原高寒草地生态系统服务功能的互作机制.....	刘兴元,龙瑞军,尚占环 (7688)
北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估.....	张 彪,高吉喜,谢高地,等 (7698)
武汉市造纸行业资源代谢分析.....	施晓清,李笑诺,赵吝加,等 (7706)
丽江市家庭能耗碳排放特征及影响因素.....	王丹寅,唐明方,任 引,等 (7716)
基于分布式水文模型和福利成本法的生态补偿空间选择研究.....	宋晓谕,刘玉卿,邓晓红,等 (7722)
设施塑料大棚风洞试验及风压分布规律.....	杨再强,张 波,薛晓萍,等 (7730)
湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态.....	刘海洋,金晓玲,沈守云,等 (7738)
云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性.....	李萍萍,孟衡玲,陈军文,等 (7747)
沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗和幼苗生长的影响.....	杨慧玲,梁振雷,朱选伟,等 (7757)
栗山天牛天敌花绒寄甲在栎林中的种群保持机制.....	杨忠岐,唐艳龙,姜 静,等 (7764)
基于相邻木排列关系的混交度研究.....	娄明华,汤孟平,仇建习,等 (7774)
三种回归分析方法在 Hyperion 影像 LAI 反演中的比较.....	孙 华,鞠洪波,张怀清,等 (7781)
红松和蒙古栎种子萌发及幼苗生长对升温与降水综合作用的响应.....	赵 娟,宋 媛,孙 涛,等 (7791)
新疆杨边材贮存水分对单株液流通量的影响.....	党宏忠,李 卫,张友焱,等 (7801)
火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体排放动态影响及其影响因素.....	顾 韩,牟长城,张博文 (7808)
不同潮汐和盐度下红树植物幼苗秋茄的化学计量特征.....	刘滨尔,廖宝文,方展强 (7818)
腾格里沙漠东南缘沙质草地灌丛化对地表径流及氮流失的影响.....	李小军,高永平 (7828)
西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征.....	邓 云,唐炎林,曹 敏,等 (7836)
西南高山地区净生态系统生产力时空动态.....	庞 瑞,顾峰雪,张远东,等 (7844)
南北样带温带区栎属树种种子化学组成与气候因子的关系.....	李东胜,史作民,刘世荣,等 (7857)
模拟酸雨对龙眼叶片 PS II 反应中心和自由基代谢的影响.....	李永裕,潘腾飞,余 东,等 (7866)
沈阳市城郊表层土壤有机污染评价.....	崔 健,都基众,马宏伟,等 (7874)
降雨对旱作春玉米农田土壤呼吸动态的影响.....	高 翔,郝卫平,顾峰雪,等 (7883)
冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响.....	于天一,逢焕成,任天志,等 (7894)
施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响.....	杨蕊菊,柴守玺,马忠明 (7905)
微山湖鸟类多样性特征及其影响因素.....	杨月伟,李久恩 (7913)
新疆北部棉区作物景观多样性对棉铃虫种群的影响.....	吕昭智,潘卫林,张 鑫,等 (7925)
杭州西湖北里湖沉积物氮磷内源静态释放的季节变化及通量估算.....	刘静静,董春颖,宋英琦,等 (7932)
基于实码遗传算法的湖泊水质模型参数优化.....	郭 静,陈求稳,张晓晴,等 (7940)
气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的影响.....	王跃中,孙典荣,陈作志,等 (7948)
象山港南沙岛不同养殖类型沉积物酸可挥发性硫化物的时空分布.....	颜婷茹,焦海峰,毛玉泽,等 (7958)
专论与综述	
提高植物抗寒性的机理研究进展.....	徐呈祥 (7966)
植被对多年冻土的影响研究进展.....	常晓丽,金会军,王永平,等 (7981)
凋落物分解主场效应及其土壤生物驱动.....	查同刚,张志强,孙 阁,等 (7991)
街尘与城市降雨径流污染的关系综述.....	赵洪涛,李叙勇,尹澄清 (8001)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 40 * 2012-12	

封面图说: 永兴岛海滩植被——永兴岛是中国西沙群岛的主岛,也是西沙群岛及南海诸岛中最大的岛屿。国务院 2012 年 6 月批准设立的地级三沙市,管辖西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛的岛礁及其海域,三沙市人民政府就驻西沙永兴岛。永兴岛岛上自然植被密布,野生植物有 148 种,占西沙野生植物总数的 89%,主要树种有草海桐(羊角树)、麻枫桐、野枇杷、海棠树和椰树等。其中草海桐也称为羊角树,是多年生常绿亚灌木植物,它们总是喜欢倚在珊瑚礁岸或是与其他滨海植物聚生于海岸沙滩,为典型的滨海植物。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201203300443

娄明华, 汤孟平, 仇建习, 赵明水. 基于相邻木排列关系的混交度研究. 生态学报, 2012, 32(24): 7774-7780.

Lou M H, Tang M P, Qiu J X, Zhao M S. Study of mingling based on neighborhood spatial permutation. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7774-7780.

基于相邻木排列关系的混交度研究

娄明华¹, 汤孟平^{1,2,*}, 仇建习¹, 赵明水³

(1. 浙江农林大学环境与资源学院, 临安 311300; 2. 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 临安 311300;

3. 天目山国家级自然保护区管理局, 临安 311300)

摘要:混交度是反映森林群落中树种相互隔离状况的一个重要指标, 目前已提出多种混交度指数。 M_g 考虑了对象木与最近相邻木的树种异同, M_v 和 M_s 进一步考虑了最近相邻木(空间结构单元)树种数, 但仍不能准确描述树种隔离程度。基于相邻木排列关系的混交度 M_p , 利用“1+4”结构的 17 个不同空间结构单元和天目山常绿阔叶林数据对 M_g 、 M_v 、 M_s 和 M_p 4 个混交度进行了比较分析。结果表明: M_p 的区分能力最强, M_v 和 M_s 次之, M_g 最差。 M_p 最适用于分析混交结构复杂的林分。在天目山常绿阔叶林分析中, 混交度水平为中度, 4 个最近邻体中有 2 个相同种顺序排列的空间结构单元个数明显多于交错排列的个数。基于相邻木排列关系的混交度 M_p 能准确区分树种隔离程度, 提高了混交度的区分度, 可反映森林实际混交状况。

关键词:混交度; 相邻木排列关系; 空间结构单元; 树种隔离程度

Study of mingling based on neighborhood spatial permutation

LOU Minghua¹, TANG Mengping^{1,2,*}, QIU Jianxi¹, ZHAO Mingshui³

1 School of Environmental & Resource Sciences, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Linan 311300, China

2 Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Linan 311300, China

3 Management Office, National Nature Reserve of Tianmu Mountain, Linan 311300, China

Abstract: Mingling, its concept was put forward by Gadow in 1992, is an important indicator to reflect species mutual segregation in a forest community, and is a significant forest spatial structure index. Currently, many mingling indices have been proposed. A simple mingling index M_g proposed by Gadow only involves the difference between objective trees and their nearest neighbor trees, and cannot accurately reflect the response of tree species to spatial segregation, which was noticed by Tang Mengping(2004) and Hui Gangying(2008). They put forward tree species diversity mingling M_v (further considering the number of nearest tree species) and tree species spatial status M_s (further considering the number of tree species in spatial structure unit), respectively. However, M_v and M_s cannot distinguish the difference between two of the same species on four of the nearest tree species and three of the same species on four of the nearest tree species. Actually, two of the same species on four of the nearest tree species are different in sequence and interleaving arrangement, but they are the same in the analysis of M_v and M_s . Virtually, neighborhood spatial permutation is a significant factor in describing tree species spatial segregation, which was ignored by M_v and M_s . Therefore, a new mingling index, M_p based on neighborhood spatial permutation has been put forward in this paper.

“1+4” structure, which was the abbreviation of optimum spatial structure unit proposed by Hui Gangying(2003), composed by one objective tree and four of its nearest trees, and has 17 spatial structure units that are different in tree species spatial permutation. M_p was compared with M_g , M_v and M_s through 17 spatial structure units and evergreen broad-leaved data from Tianmu Mountain, a national nature reserve in Zhejiang province. Data were collected in a 1 hm² (100 m ×

基金项目:国家自然科学基金(30871963, 31170595); 浙江省自然科学基金(Y3080261); 教育部留学回国人员科研启动金(20101561)

收稿日期:2012-03-30; **修订日期:**2012-09-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: goodtmp@sohu.com

100m) permanent plot that had been established in 2005. The results show that Mp has the strongest distinction among them, Mv and Ms are the second, Mg is the worst. The ranking of the different mingling values was: $Mg > Mp > Ms$, $Mg > Mv$. Ms and Mp are both able to adequately analyze the simple mixed stand. Mp is the best mingling index among them to analyze the complex mixed stand. Here, there is a high value of mingling, if Mg is used. Sometimes, Mv is unable to analyze the tree species spatial segregation. Spatial structure units which have two of the same species on four of the nearest tree species are different in sequence and interleaving arrangement, and the number of sequence arrangement is significantly more than that of interleaving, and thus there is a moderate mingling level on evergreen broad-leaved in Tianmu Mountain. Mp is based on neighborhood spatial permutation and can distinguish tree species spatial segregation accurately, and has higher distinction degree accuracy than that of traditional mingling. This better reflects the actual mixed situation of forest, and is an effective indicator to reflect species mutual segregation in a forest community. “1+4” structure has 17 different spatial structure units, however, what needs further study is the number of spatial structure units in the “1+n” structure, and how to determine the deduction relation. Further, the number of units may obey certain mathematic distributions in natural mixed forests, and the mathematic distribution function may be a significant reference to measure the near-natural degree of cultivation in mixed forests. These issues need further study.

Key Words: mingling; neighborhood spatial permutation; spatial structure unit; tree species spatial segregation

空间结构是森林群落的重要特征,反映了森林群落内物种的空间关系即林木的分布格局及其属性在空间上的排列方式^[1]。树种混交是森林空间结构的重要组成部分^[2],反映森林群落中树种相互隔离状况,是衡量森林群落结构复杂性的一个重要指标。近年来,学者们提出各种描述森林群落树种隔离程度的表达式。Fisher 等^[3]的多样性,只反应物种丰富度。Pielou^[4]的分隔指数,只分析两物种间的分隔程度,对于多个物种的分析也只能进行两两比较^[5]。Gadow 等^[6]提出了混交度(下面简称 Gadow 混交度,用 Mg 表示),对描述森林树种相互隔离关系具有重要历史意义。汤孟平等^[7]提出的多样性混交度(用 Mv 表示)和惠刚盈等^[8]提出的物种空间状态(用 Ms 表示)先后对此混交度进行了修正。计算公式分别为:

$$Mg_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (1)$$

$$Mv_i = \frac{n_i}{n^2} \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (2)$$

$$Ms_i = \frac{s_i}{5} \cdot \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (3)$$

式中, n 为最近相邻木株数, v_{ij} 为离散变量,当对象木 i 与第 j 株最近相邻木非同种时 $v_{ij}=1$,反之, $v_{ij}=0$, n_i 为最近相邻木树种数, s_i 为空间结构单元树种数, Mg_i 、 Mv_i 和 Ms_i 分别表示 3 种不同的林木点混交度,取值范围均为 $[0,1]$ 。

应当指出,关于(1)、(2)和(3)式中 n 的取值有很大争议。Fueledner^[9]认为 $n=3$ 。惠刚盈等^[10]指出由对象木与其 4 株最近相邻木可以构成最佳空间结构单元,为便于叙述,将此空间结构单元简称为“1+4”结构。本文采用这一结论, $n=4$ 。

但是,这些传统混交度仍不能准确描述树种隔离程度。为了说明传统混交度的不足,建立 3 个典型混交结构单元(图 1)。图 1a 为 4 个邻体中有 3 个相同种的树种混交,图 1b 为 4 个邻体中 2 个相同种顺序排列的树种混交,图 1c 为 4 个邻体中 2 个相同种交错排列的树种混交。利用公式(1)、(2)和(3),分别计算 3 个典型

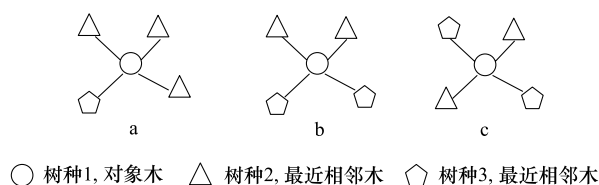


图 1 3 个典型混交结构单元

Fig. 1 Three typically mixed structure units of three tree species

混交结构单元的林木点混交度,计算结果见表1。

从表1可知, M_g 、 M_v 和 M_s 均不能区分图1中的3个典型混交结构单元。原因是 M_g 没有考虑 n 株最近相邻木之间的异同, M_v 虽考虑了 n 株最近相邻木之间的异同,但不全面,明显混淆了4个邻体中有3个相同种和4个邻体中有2个相同种的林木混交度^[8],也不能区别4个邻体中2个相同种顺序排列和交错排列的林木混交度。 M_s 与 M_v 存在同样的缺陷。

可见,最近相邻木间的排列关系是准确描述树种隔离程度的关键因素之一,而 M_s 与 M_v 均忽视了这一点。鉴于此,本文提出了基于相邻木排列关系的混交度(用 M_p 表示),克服了传统混交度的缺陷,旨在分析复杂森林群落混交结构提供较理想的指标。

1 研究方法

1.1 基于相邻木排列关系的混交度 M_p

M_p 是考虑对象木与最近相邻木间的树种异同,并考虑最近相邻木间的树种数及其排列关系而提出的。为准确描述最近相邻木排列关系,需分如下步骤。

第1步 建立极坐标系,以对象木为极点,平面直角坐标系中的 x 轴正方向为极轴,极径 $\rho \geq 0$,极角 $\theta \in [0, 2\pi]$,计算各最近邻木的极角 θ ,从小到大对 θ 排序,并在对应最近邻木上标序号(图2),图2中0为对象木,1、2、3、4为最近邻木, $\theta_1 < \theta_2 < \theta_3 < \theta_4$ 。

第2步 依次顺序比较相邻序号最近邻木的树种异同 $v_{j,j+1}$,不同时 $v_{j,j+1} = 1$,反之, $v_{j,j+1} = 0$,规定 $v_{n,n+1} = v_{n,1}$, n 为最近邻木株数。图2可知 $v_{1,2} = 1, v_{2,3} = 1, v_{3,4} = 0, v_{4,5} = v_{4,1} = 1$,统计最近邻木树种数 n_i 。

第3步 令 $u_1 = v_{1,2}, u_2 = v_{2,3}, u_3 = v_{3,4}, u_4 = v_{4,1}$,可得 $u_1 = 1, u_2 = 1, u_3 = 0, u_4 = 1$ 。依次顺序比较 u_1, u_2, u_3, u_4 的值 $u_{j,j+1}$,当且仅当相邻两个 u 值都等于零时, $u_{j,j+1} = 0$;反之, $u_{j,j+1} = 1$ (例如 $u_1 = u_2 = 0$ 时,则 $u_{1,2} = 0$; $u_1 = 1, u_2 = 0$ 时,则 $u_{1,2} = 1$),可知 $u_{1,2} = 1, u_{2,3} = 1, u_{3,4} = 1, u_{4,1} = 1$,规定 $u_{m,m+1} = u_{m,1}$, m 为 u_j 值的个数, $j = 1, 2, 3, \dots, m$ 。

考虑最近相邻木间的树种数及其排列关系,只是对 M_g 的修正,统计 n_i 、 $\sum_{j=1}^n v_{j,j+1}$ 和 $\sum_{j=1}^n u_{j,j+1}$ 时,均需加上权重 $\sum_{j=1}^n v_{ij}$,取三者的几何平均数作为 M_g 的修正系数 R :

$$R = \sqrt[3]{\frac{1}{(2n)^3} \cdot (n_i + \sum_{j=1}^n v_{ij}) \cdot (\sum_{j=1}^n v_{j,j+1} + \sum_{j=1}^n v_{ij}) \cdot (\sum_{j=1}^n u_{j,j+1} + \sum_{j=1}^n v_{ij})} \quad (4)$$

式中, R 为修正系数, n 为最近相邻木株数, v_{ij} 为对象木与最近相邻木的树种异同数,不同时 $v_{ij} = 1$,反之, $v_{ij} = 0$; $v_{j,j+1}$ 为相邻序号最近相邻木的树种异同数,不同时 $v_{j,j+1} = 1$,反之, $v_{j,j+1} = 0$; $u_{j,j+1}$ 见步骤3; n_i 为最近相邻木的树种数, $R \in [0, 1]$ 。

因此,基于相邻木排列关系的混交度 M_p 公式:

$$M_{p_i} = R \cdot \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (5)$$

表1 混交度比较

Table 1	Comparison of minglings		
典型混交结构单元 Typically mixed structure units	M_{g_i}	M_{v_i}	M_{s_i}
图1a Fig. 1a	1	0.5	0.6
图1b Fig. 1b	1	0.5	0.6
图1c Fig. 1c	1	0.5	0.6

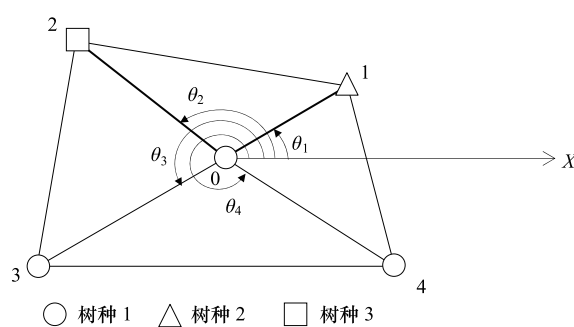


图2 3个树种的混交

Fig. 2 Three mixed species

式中, Mp_i 为对象木 i 的林木点混交度, R 为修正系数, $\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$ 即公式(1), $Mp_i \in [0, 1]$ 。

公式(5)为林木点混交度, 林分混交度是林木点混交度的算术平均值:

$$Mp = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Mp_i \quad (6)$$

式中, Mp 为基于相邻木排列关系的林分混交度, Mp_i 为林分中第 i 株林木点混交度, N 为林木株数。

根据(5)式, 可计算图2中林木点混交度 $Mp_i = 0.3321$, 计算图1a、图1b和图1c中的3个典型混交结构, 混交度依次为 0.7895, 0.8255, 0.9086, 符合实际混交情况。

1.2 样地调查

2005年, 在浙江省天目山国家级自然保护区内, 设置典型的常绿阔叶林样地, 样地大小为 100 m×100 m, 样地中心海拔 630 m。采用相邻网格法, 将样地划分为 100 个 10 m×10 m 的调查单元。在每个调查单元内, 对胸径 5 cm 以上的树木进行每木检尺, 用激光对中全站仪(徕卡 TCR702Xrange)测定三维坐标 (X, Y, Z), 并记录树种, 测定每木的胸径、树高、枝下高等林分调查因子。

2 四个混交度的比较分析

2.1 理论分析

惠刚盈等^[10]指出由对象木与其4株最近相邻木可以构成最佳空间结构单元, 简称“1+4”结构, 实际上有 17 个树种排列关系不同的空间结构单元(图3)。图3a—图3q, 空间结构单元的混交结构由简单到复杂进行排序。图3中, 圆表示对象木的树种, 三角形、正五边形、菱形和梯形表示最近相邻木的树种。

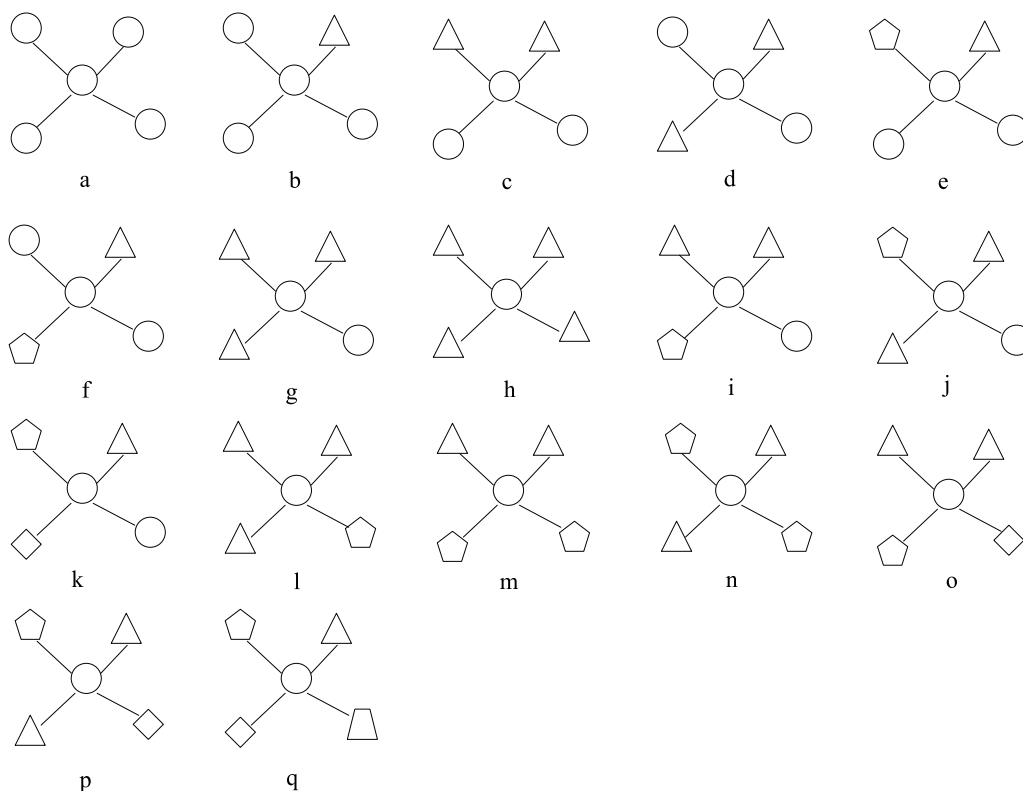


图3 空间结构单元

Fig.3 Spatial structure units

利用 Mg 、 Mv 、 Ms 和 Mp 对“1+4”结构进行比较分析, 结果见表2。由表2可得以下5个结论:

(1) Mg 有 5 个理论取值 $[0, 0.25, 0.5, 0.75, 1]$, Mv 有 8 个理论取值 $[0, 0.125, 0.25, 0.375, 0.5, 0.563, 0.75, 1]$, Ms 有 9 个理论取值 $[0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.45, 0.6, 0.8, 1]$, Mp 考虑了最近相邻木排

列关系,共有 17 个理论取值[0, 0.103, 0.286, 0.328, 0.332, 0.353, 0.498, 0.539, 0.592, 0.623, 0.656, 0.790, 0.825, 0.909, 0.915, 0.956, 1]。说明, M_p 能完全区分“1+4”结构中的 17 个不同的空间结构单元, M_p 的区分能力最强, M_v 和 M_s 次之, M_g 最差。

(2) M_s 和 M_p 比较相似,混交度随着空间结构单元的复杂化而增大。 M_s 考虑了空间结构单元内的树种数,但忽视了最近相邻木间的排列关系,只能粗略区分各个空间结构单元,从图 3c 开始便不能一一区分不同混交程度的空间结构单元,随着混交结构的复杂化, M_s 区分能力减弱。 M_p 考虑了最近相邻木间的排列关系,能够细致地区分不同混交程度的空间结构单元,区分能力明显强于 M_s 。表明, M_s 只能分析简单混交情况, M_p 适用于分析复杂混交状况。

(3) 图 3a—图 3q, M_g 逐渐增大(除图 3h)。 M_g 只考虑对象木与最近相邻木间的异同,将图 3h、图 3l、图 3m、图 3n、图 3o 和图 3p 的混交度均视为 1,这显然与事实不符。因此, M_g 计算的林分混交度值偏大。

(4) 图 3a—图 3q, M_v 有增大趋势,但 M_v 不能准确地分析树种混交情况。例如, M_v 分析图 3g 和图 3h,混交度依次为 0.375, 0.25, 说明图 3g 的混交程度比图 3h 高,与实际混交情况相矛盾。

(5) 17 个不同空间结构单元的混交度大小均为: $M_g > M_p > M_s$, $M_g > M_v$ 。 M_p 与 M_v , M_v 和 M_s 的混交度大小不定,应视具体混交林分中不同空间结构单元个数分布而定。

表 2 各混交度比较

Table 2 Comparison of minglings

空间结构单元 Spatial structure units	M_g	M_v	M_s	M_p	空间结构单元 Spatial structure units	M_g	M_v	M_s	M_p
图 3a Fig. 3a	0	0	0	0	图 3b Fig. 3b	0.25	0.125	0.1	0.103
图 3c Fig. 3c	0.5	0.25	0.2	0.286	图 3d Fig. 3d	0.5	0.25	0.2	0.328
图 3e Fig. 3e	0.5	0.375	0.3	0.332	图 3f Fig. 3f	0.5	0.375	0.3	0.353
图 3g Fig. 3g	0.75	0.375	0.3	0.498	图 3h Fig. 3h	1	0.25	0.4	0.539
图 3i Fig. 3i	0.75	0.563	0.45	0.592	图 3j Fig. 3j	0.75	0.563	0.45	0.623
图 3k Fig. 3k	0.75	0.75	0.6	0.656	图 3l Fig. 3l	1	0.5	0.6	0.790
图 3m Fig. 3m	1	0.5	0.6	0.825	图 3n Fig. 3n	1	0.5	0.6	0.909
图 3o Fig. 3o	1	0.75	0.8	0.915	图 3p Fig. 3p	1	0.75	0.8	0.956
图 3q Fig. 3q	1	1	1	1					

2.2 实例分析

M_g 、 M_v 、 M_s 和 M_p 比较分析天目山调查所得的 1603 株树木数据,采用平移式 8 邻域大样地^[11]进行边缘校正,利用 Visual Basic 程序进行编程计算,绘制林木点混交度与株数关系图和“1+4”结构中 17 个不同空间结构单元个数分布图(图 4 和图 5)。

图 4A、图 4B、图 4C 和图 4D 的柱条个数依次为 5、8、9 和 17,说明考虑最近相邻木间的排列关系的 M_p 能更加准确地描述树种隔离程度,验证了理论分析中的结论 1 和结论 2。图 4A 的株数随林木点混交度的增大而增加,当林木点混交度为 1 时,株数最多为 559,而图 4B、图 4C 和图 4D 对应的株数都为 99,验证了理论分析中的结论 3。

利用 M_g 、 M_v 、 M_s 和 M_p 计算的林分混交度,依次为:0.7066、0.5044、0.4733 和 0.5565,可见 M_g 最大, $M_g > M_p > M_s$,验证了理论分析中的结论 5。由理论分析中的结论 3 可知, M_g 计算的林分混交度值偏大,从混交强度的极强度、强度、中度、弱度和零度 5 个等级^[12]来看,天目山常绿阔叶林的混交强度水平应应为中度。

由图 5 可见,天目山常绿阔叶林中,4 个最近邻体中有 2 个相同种顺序排列的空间结构单元个数明显多于交错排列的个数,顺序排列的有图 3c、图 3e、图 3i、图 3m 和图 3o,对应的交错排列是图 3d、图 3f、图 3j、图 3n 和图 3p,其中个数最多的 2 个为图 3i 和图 3o,分别为 214 和 180,个数最少的两个是图 3n 和图 3d,分别为 5 和 16。

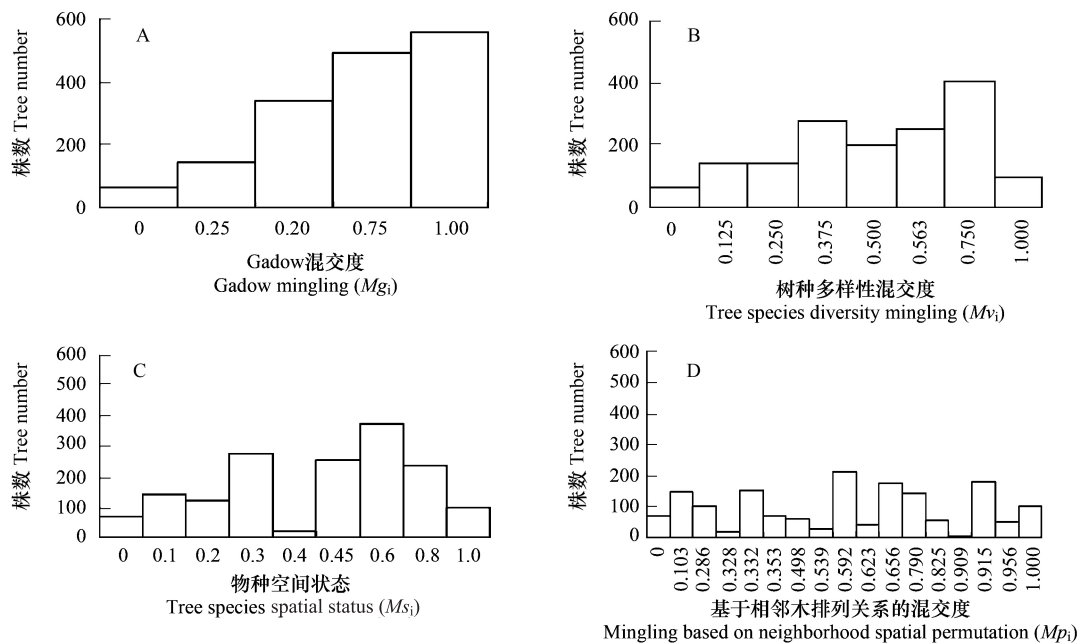


图4 林木点混交度与株数的关系

Fig.4 Relationship between tree number and mingling based on individual tree

3 结论与讨论

树种隔离程度的准确描述是衡量森林群落结构复杂性的关键。对象木与最近相邻木的树种异同,最近相邻木的树种数及其排列关系,是准确描述树种隔离程度的3个关键因素。 M_g 只考虑了对象木与最近相邻木的树种异同, M_v 和 M_s 考虑了对象木与最近相邻木的树种异同和最近相邻木树种数这2个因素,基于相邻木排列关系的混交度 M_p 全面考虑了这3个关键因素。通过

比较分析表明, M_p 具有最强的区分能力且最适分析复杂林分混交结构, M_v 和 M_s 次之, M_g 最差, M_p 能准确描述树种隔离程度,更符合实际混交情况,是衡量森林群落结构复杂性比较理想的指标。

天目山常绿阔叶林中,4个最近邻体中有2个相同种顺序排列的空间结构单元个数明显多于交错排列的个数,这是常绿阔叶林的一般性结论还是天目山常绿阔叶林特有的结论,这有待进一步验证。对于“1+4”结构共有17种可能的排列关系,而对于“1+n”结构有多少种可能的排列关系,推导出对应的关系式是有待进一步研究的问题,但关于 n 的取值问题,汤孟平等^[13]引入Voronoi图确定 n 值,发现天目山常绿阔叶林中 n 取值为3—13,郝月兰等^[14]研究发现天然云冷杉针阔混交林中的 n 值为3—11,说明常绿阔叶林的 n 值个数多于针阔混交林。这里,当 n 取不同值时,只需分析其“1+n”结构的树种排列关系即可计算 M_p 。在天然混交林中,“1+n”结构的各种不同空间结构单元个数分布是否服从某种分布,并将该分布函数作为衡量营造混交林近自然化程度的一个重要参考依据,有待深入研究。

References:

- [1] Hui G Y, Gadow K V, Hu Y B, Chen B W. Characterizing forest spatial distribution pattern with the mean value of uniform angle index. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(6): 1225-1229.
- [2] Tang M P. Advances in study of forest spatial structure. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(1): 117-122.
- [3] Fisher R A, Corbet A S, Williams C B. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal

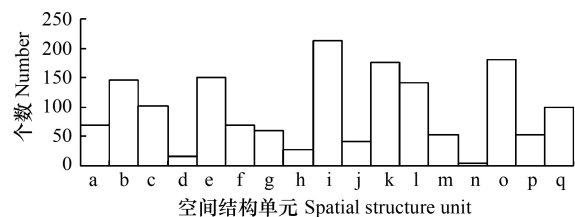


图5 空间结构单元个数分布

Fig.5 Distribution of spatial structure units

- population. *The Journal of Animal Ecology*, 1943, 12(1): 42-58.
- [4] Pielou E C. Segregation and symmetry in two-species populations as studied by nearest-neighbour relationships. *Journal of Ecology*, 1961, 49(2): 255-269.
- [5] Zhang J T. *Quantitative Methods in Vegetation Ecology*. Beijing: China Science and Technology Press, 1995: 87-89.
- [6] Gadow K V, Bredenkamp B. *Forest Management*. Pretoria: Academica, 1992.
- [7] Tang M P, Tang S Z, Lei X D, Zhou G M, Xie Z X. Comparison analysis on two minglings. *Forest Resources Management*, 2004, (4): 25-27.
- [8] Hui G Y, Hu Y B, Zhao Z H. Evaluating tree species segregation based on neighborhood spatial relationships. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(4): 131-134.
- [9] Fuldner K. *Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz Mischwäldern*. Göttingen: Cuvillier Verlag Göttingen, 1995: 146-146.
- [10] Hui G Y, Gadow K V. *Quantitative Analysis of Forest Spatial Structure*. Beijing: China Science and Technology Press, 2003.
- [11] Tang M P. *The Theory and Practice of Forest Spatial Management*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2007.
- [12] Hui G Y, Hu Y B. Measuring species spatial isolation in mixed forests. *Forest Research*, 2001, 14(1): 23-27.
- [13] Tang M P, Zhou G M, Chen Y G, Zhao M S, He Y B. Mingling of evergreen broad-leaved forests in Tianmu Mountain based on voronoi diagram. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(6): 1-5.
- [14] Hao Y L, Zhang H R, Tang S Z. Study on the adaptability of voronoi diagram on determining the nearest neighboring trees of natural mixed spruce-fir forests. *Forest Resources Management*, 2011, (6): 59-64.

参考文献:

- [1] 惠刚盈, Gadow K V, 胡艳波, 陈伯望. 林木分布格局类型的角尺度均值分析方法. *生态学报*, 2004, 24(6): 1225-1229.
- [2] 汤孟平. 森林空间结构研究现状与发展趋势. *林业科学*, 2010, 46(1): 117-122.
- [5] 张金屯. *植被数量生态学方法*. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 87-89.
- [7] 汤孟平, 唐守正, 雷相东, 周国模, 谢志新. 两种混交度的比较分析. *林业资源管理*, 2004, (4): 25-27.
- [8] 惠刚盈, 胡艳波, 赵中华. 基于相邻木关系的树种分隔程度空间测度方法. *北京林业大学学报*, 2008, 30(4): 131-134.
- [10] 惠刚盈, Gadow K V. 森林空间结构量化分析方法. 北京: 中国科学技术出版社, 2003.
- [11] 汤孟平. *森林空间经营理论与实践*. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [12] 惠刚盈, 胡艳波. 混交林树种空间隔离程度表达方式的研究. *林业科学研究*, 2001, 14(1): 23-27.
- [13] 汤孟平, 周国模, 陈永刚, 赵明水, 何一波. 基于 Voronoi 图的天目山常绿阔叶林混交度. *林业科学*, 2009, 45(6): 1-5.
- [14] 郝月兰, 张会儒, 唐守正. Voronoi 图方法确定云冷杉林最近邻木的适用性研究. *林业资源管理*, 2011, (6): 59-64.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 24 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

A bibliometric study of biodiversity research in China	LIU Aiyuan, GUO Yuqing, LI Shiyong, et al (7635)
Effects of elevated CO ₂ and nitrogen deposition on leaf nutrient quality of <i>Fargesia rufa</i> Yi	 ZHOU Xianrong, WANG Jianhua, ZHANG Hong, et al (7644)
Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau: a case in Xiaheimugou, Luochuan County	LÜ Suqing, LI Yuecong, XU Qinghai, et al (7654)
Spatial and temporal change in ecological assets in the Yangtze River Delta of China 1995—2007	 XU Xibao, CHEN Shuang, YANG Guishan (7667)
Evaluation and optimization of woodland ecological patterns for Qingdao based on the agent-based model	 FU Qiang, MAO Feng, WANG Tianqing, et al (7676)
Interactive mechanism of service function of alpine rangeland ecosystems in Qinghai-Tibetan Plateau	 LIU Xingyuan, LONG Ruijun, SHANG Zhanhuan (7688)
Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing	 ZHANG Biao, GAO Jixi, XIE Gaodi, et al (7698)
Resources metabolism analysis for the pulp and paper industry in Wuhan, China	 SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, ZHAO Linjia, et al (7706)
The characteristics and influential factors of direct carbon emissions from residential energy consumption: a case study of Lijiang City, China	WANG Danyin, TANG Mingfang, REN Yin, et al (7716)
Spatial targeting of payments for ecosystem services Based on SWAT Model and cost-benefit analysis	 SONG Xiaoyu, LIU Yuqing, DENG Xiaohong, et al (7722)
The wind tunnel test of plastic greenhouse and its surface wind pressure patterns	 YANG Zaiqiang, ZHANG Bo, XUE Xiaoping, et al (7730)
Population quantitative characteristics and dynamics of rare and endangered plant <i>Davidia involucrata</i> in Hunan Province	 LIU Haiyang, JIN Xiaoling, SHEN Shouyun, et al (7738)
Phenotypic diversity in populations of germplasm resources of <i>Rodgersia sambucifolia</i> and related species	 LI Pingping, MENG Hengling, CHEN Junwen, et al (7747)
Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. (Fabaceae) ...	 YANG Huiling, LIANG Zhenlei, ZHU Xuanwei, et al (7757)
Population-keeping mechanism of the parasitoid <i>Dastarcus helophoroides</i> (Coleoptera: Bothrideridae) of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) in oak forest	YANG Zhongqi, TANG Yanlong, JIANG Jing, et al (7764)
Study of mingling based on neighborhood spatial permutation	LOU Minghua, TANG Mengping, QIU Jianxi, et al (7774)
Comparison of three regression analysis methods for application to LAI inversion using Hyperion data	 SUN Hua, JU Hongbo, ZHANG Huaiqing, et al (7781)
Response of seed germination and seedling growth of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Quercus mongolica</i> to comprehensive action of warming and precipitation	ZHAO Juan, SONG Yuan, SUN Tao, et al (7791)
Impacts of water stored in sapwood <i>Populus bolleana</i> on its sap flux	DANG Hongzhong, LI Wei, ZHANG Youyan, et al (7801)
Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from <i>Alnus sibirica</i> forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen (7808)
Different tide status and salinity alter stoichiometry characteristics of mangrove <i>Kandelia candel</i> seedlings	 LIU Biner, LIAO Baowen, FANG Zhanqiang (7818)
Effects of shrub encroachment in desert grassland on runoff and the induced nitrogen loss in southeast fringe of Tengger Desert	 LI Xiaojun, GAO Yongping (7828)
Community structure and throughfall erosivity characters of artificial rainforest in Xishuangbanna	 DENG Yun, [TANG Yanlin], CAO Min, et al (7836)
Temporal-spatial variations of net ecosystem productivity in alpine area of southwestern China	 PANG Rui, GU Fengxue, ZHANG Yuandong, et al (7844)

Relationships between chemical compositions of <i>Quercus</i> species seeds and climatic factors in temperate zone of NSTEC	LI Dongsheng, SHI Zuomin, LIU Shirong, et al (7857)
Effects of simulated acid rain stress on the PS II reaction center and free radical metabolism in leaves of longan	LI Yongyu, PAN Tengfei, YU Dong, et al (7866)
Assessment of organic pollution for surface soil in Shenyang suburbs	CUI Jian, DU Jizhong, MA Hongwei, et al (7874)
The impact of rainfall on soil respiration in a rain-fed maize cropland	GAO Xiang, HAO Weiping, GU Fengxue, et al (7883)
Effects of winter crops on enzyme activity and morphological characteristics of root in subsequent rice crops	YU Tianyi, PANG Huancheng, REN Tianzhi, et al (7894)
Dynamic changes of soil moisture and nitrate nitrogen in wheat and maize intercropping field under different nitrogen supply	YANG Ruiju, CHAI Shouxi, MA Zhongming (7905)
Characteristics of the bird diversity and the impact factors in Weishan Lake	YANG Yuewei, LI Jiuen (7913)
The effect of cropping landscapes on the population dynamics of the cotton bollworm <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera, Noctuidae) in the northern Xinjiang	LU Zhaozhi, PAN Weilin, ZHANG Xin, et al (7925)
The seasonal variations of nitrogen and phosphorus release and its fluxes from the sediments of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake	LIU Jingjing, DONG Chunying, SONG Yingqi, et al (7932)
Optimization of lake model salmo based on real-coded genetic algorithm	GUO Jing, CHEN Qiuwen, ZHANG Xiaoqing, et al (7940)
The influence of climatic environmental factors and fishing pressure on changes of hairtail catches in the northern South China Sea	WANG Yuezhong, SUN Dianrong, CHEN Zuozhi, et al (7948)
Seasonal and spatial distribution of acid volatile sulfide in sediment under different mariculture types in Nansha Bay, China	YAN Tingru, JIAO Haifeng, MAO Yuze, et al (7958)
Review and Monograph	
Research progress on the mechanism of improving plant cold hardiness	XU Chengxiang (7966)
Influences of vegetation on permafrost: a review	CHANG Xiaoli, JIN Huijun, WANG Yongping, et al (7981)
Home-field advantage of litter decomposition and its soil biological driving mechanism: a review	ZHA Tonggang, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (7991)
Research progress on the relationship of pollutants between road-deposited sediments and its washoff	ZHAO Hongtao, LI Xuyong, YIN Chengqing (8001)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 24 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 24 (December, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元