

南方丘陵人工林林下植物种间关系分析*

胡理乐^{1,3} 闫伯前^{2,3} 刘琪^{3,4,*} 朱教君¹

(¹ 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; ² 北京农学院食品系, 北京 102206; ³ 中国科学院研究生院, 北京 100039; ⁴ 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

【摘要】 在 2 × 2 联列表的基础上, 应用 χ^2 检验和联结系数, 检测南方丘陵人工林林下植物种间关系, 以期分析南方丘陵人工林植被恢复程度及其稳定性。结果表明, 灌木两层联结程度达到显著的种对很少; 灌木层极显著的有 12 种对, 显著的有 19 种对, 其余 200 种对联结程度不显著; 草本层极显著和显著各有 11 种对, 其余 83 种对联结程度不显著。按组间联系及种间的正负关联性, 灌木层植物可分为 2 个种组: 四川红淡比、三叶赤楠、乌饭树、满树星、长托菝葜、格药铃; 大叶胡枝子、白马骨、牡荆。种组 与种组 之间许多种群间存在显著负关联。优势种往往在种间关系中起着关键作用。草本层优势种狗脊蕨、暗鳞毛蕨、扇叶铁线蕨之间存在极显著正关联, 且与多种群存在极显著或显著正关联; 灌木层中 2 个种组均以优势种为联结核心。灌木层中正负关联的比例反映了灌木层和草本层物种处在动态变化中。灌木层正负关联比例为 125/106, 草本层 42/63。最后分析了种间联结方法的几个缺陷, 并对该方法的使用提出建议。

关键词 种间联结 χ^2 检验 联结系数 2 × 2 联列表 人工林

文章编号 1001 - 9332(2005)11 - 2019 - 06 **中图分类号** Q948.12⁺2.1 **文献标识码** A

Interspecific association between understory species in a southern highland plantation. HU Lile^{1,3}, YAN Boqian^{2,3}, LIU Qijing⁴, ZHU Jiaojun¹ (¹ Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; ² Department of Food Science, Beijing Agricultural College, Beijing 102206, China; ³ Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; ⁴ Institute of Geographical Sciences and Natural Resource Researches, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China). - Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(11): 2019 ~ 2024.

Based upon 2 × 2 contingency table, χ^2 test and association coefficient were used to determine the interspecific association between understory species in a southern highland plantation, and to analyze the restoration degree and the stability of southern highland vegetations originated from plantation. The Qianyanzhou in Taihe County of Jiangxi Province, a typical sample of southern highland plantation, was chosen to make the study. The results showed that both in shrub layer and in herb layer, species pair with χ^2 reaching significant level ($P < 0.05$) was few in number. In shrub layer, 12 species pairs' association was highly significant ($P < 0.01$), 19 pairs 'was significant ($P < 0.05$), and other 200 pairs 'was nonsignificant, while in herb layer, 11 pairs 'was highly significant, 11 pairs 'was significant and other 83 pairs 'was nonsignificant. According to interspecific association and correlation, shrub layer was divided into two species groups: Group . *A. dinandra bockiana*, *Syzygium grijsii*, *Vaccinium bracteatum*, *Ilex aculeolata*, *Smilax ferox*, *Eurya muricata* and Group . *Lespedeza davidii*, *Serissa serissoides*, *Vitex negundo* var. *cannabifolia*. Many species in Group had a significantly negative association with the species in Group, and dominant species always played a key role in the relationships among species. The three dominant species in herb layer, *Woodwardia japonica*, *Dryopteris atrata* and *Adiantum flabellulatum*, had a highly significant positive correlation between each other, and moreover, had a significant or highly significant positive association with many other herbaceous species. Similarly, dominant species in shrub layer played a key role on the interspecific association in the two species groups. The ratios of positive and negative association indicating the species compositions of the two layers were fluctuating, which was 125/106 in shrub layer and 42/63 in herb layer. Several shortcomings of interspecific association method were pointed out, with some proposals put forward.

Key words Interspecific association, χ^2 -test, Association coefficient, 2 × 2 contingency table, Plantation.

1 引 言

由于人类对森林的大量砍伐, 致使天然林面积锐减, 进行合理有效的植被恢复日益受到关注与重视。在我国, 由于历史原因, 原始植被残留很少, 目前森林覆盖率很低, 且多为经过破坏后的天然次生林或人工林。人工林占全国森林面积的 30 % 左右^[39]。植被恢复

主体虽是乔木, 但林下植被也是人工林生态系统的一个重要组成部分, 是森林植被整体功能恢复过程中的重要环节和必然趋势^[23], 对改善表层土壤肥力、减少林地水土流失、促进树木凋落物的分解等都具有明显

* 国家重点基础研究发展规划资助项目 (2002CB4125)。
* * 通讯联系人。

2005 - 01 - 19 收稿, 2005 - 05 - 24 接受。

的作用^[1,14]. 目前对人工林的研究主要集中在结构特征和功能方面^[12~19,23~27,30,32,37]. 植被稳定性是植物群落结构与功能的一个综合特征. 稳定性的维持受群落内的生物多样性、种间关系等一系列生物学、生态学过程的控制^[33]. 分析林下植物种间联结是研究人工林的恢复程度及稳定性的重要方法之一, 对研究人工林群落演替、森林经营管理以及植被恢复和重建具有重要的意义^[13,36,38].

种间联结是指不同物种在空间分布上的相互关系, 通常是由于群落生境的差异影响了物种的分布而引起的^[6,20]. 不同种个体在空间联结程度的客观测定, 对研究群落水平格局的形成、种群进化和群落演替动态具有重大的意义^[15]. 种间联结的测定方法很多, 如² 检验、联结系数 (association coefficient, AC)、共同出现百分率 (percentage cooccurrence, PC)、点相关系数 (point correlation coefficient) 等^[11]. 它们都各具特色. 但目前的方法都基于 2 ×2 联列表, 该表只涉及 2 种属性的数据, 即物种在样方中的存在与否, 所以其测定结果受样方大小和数目多少影响很大^[22]. 物种间的相互作用有空间效应, 随着样方大小的变化, 物种间的相互作用也在变化.

本研究的对象为经过长期樵采沦为荒草坡, 后经人工恢复形成的森林. 在小流域治理前, 草丛成为主要植被类型, 零星散布着小面积灌丛. 1983 年, 中国科学院在地方政府支持下, 选择干烟洲进行红壤丘陵综合开发治理试验. 经过 20 年的植被恢复, 干烟洲生态环境得到明显改善, 原来的荒草坡演变成了茂密的森林, 流域森林覆盖率由不足 1 %^[24] 提高到 93 % 以上^[29]. 本文采用² 检验和联结系数, 研究了南方丘陵人工林林下植被的种间联结, 以期分析干烟洲人工林植被恢复程度及稳定性, 为合理调节人工林结构, 最大限度地提高群落生产力提供理论基础和科学依据.

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区概况

干烟洲试验站位于江西省中部吉泰盆地典型红壤丘陵区 (115°04'13"E, 26°44'48"N). 试验区总面积约 200 hm², 海拔多在 100 m 左右, 相对高度 20~50 m, 属典型的红壤丘陵区. 试区年平均气温 17.9℃, 0℃活动积温 6 523℃, 10℃活动积温 6 015℃; 平均降水量 1 489 mm, 年日照时数 1 406 h, 年日照百分率 43%, 太阳年总辐射量 4 349 MJ·m⁻², 无霜期 323 d, 具有典型亚热带季风气候特征. 主要土壤类型有红壤、水稻土、潮土、草甸土等, 成土母质多为红色砂岩、砂砾岩或泥岩以及河流冲积物^[24].

2.2 研究方法

2.2.1 植物群落调查 野外调查于 2003 年 7~9 月在中国科学院干烟洲生态试验站进行. 选择不同人工林类型, 分别在阴、阳坡设 20 m ×20 m 或 10 m ×10 m 样地, 共 10 个 20 m ×20 m 样地, 14 个 10 m ×10 m 样地, 总面积 5 400 m². 10 m ×10 m 样地分成 4 个 5 m ×5 m 样方进行灌木调查, 并在每个 5 m ×5 m 灌木样方随机作 1 个 1 m ×1 m 草本样方; 在 10 m ×10 m 样方中进行乔木调查, 在每个 10 m ×10 m 样方内随机做 2 个 5 m ×5 m 灌木样方、4 个 1 m ×1 m 草本样方. 对乔木层植株进行每木检尺, 记录树高、枝下高、胸径、冠幅以及郁闭度; 灌木层记录每一植物种类的优势高度、株数、盖度及总盖度; 草本记录每一种类的平均高度、多度、盖度及总盖度. 测量海拔、坡度、坡向、经纬度等环境因子.

2.2.2 种间联结测定 供试植物见表 1. 在 2 ×2 联列表 (contingency table) 基础上, 运用² 检验检测种间联结性^[28]. 2 ×2 联列表自由度为 1, *a* 为 2 个种均出现的样方数, *b*、*c* 分别为有物种 2 或物种 1 出现的样方数, *d* 为 2 个物种均不出现的样方数. 其 $\chi^2_{0.05} = 3.841$, $\chi^2_{0.01} = 6.635$. 当 $\chi^2 < 3.841$ 时, 说明种间无显著关联; 当 $3.841 < \chi^2 < 6.635$ 时, 说明种间关联显著; 当 $\chi^2 > 6.635$ 时, 说明种间关联极显著. 种间关联分 3 种情况: 若 *ad* > *bc*, 则说明种间存在正关联, 2 个物种趋向于同时出现; 若 *ad* < *bc*, 则说明种间存在负关联, 两物种趋向于互斥; 若 *ad* = *bc*, 则说明种间无关联性. 若种间存在显著关联, 则进一步测定其关联程度的大小. 测定种间关联程度的指数很多, 本文采用联结系数, 检测各种对间的联结程度^[9]. 联结系数 (*A_c*) 的取值范围为 +1 ~ -1,

表 1 供试植物

Table 1 Plant species tested for interspecific association analysis

灌 木 Shrub				草 本 Herb			
编号 Code	种类 Species	学名 Latin name		编号 Code	种类 Species	学名 Latin name	
1	白栎	<i>Quercus fabri</i>	9.80	1	狗脊蕨	<i>Woodwardia japonica</i>	15.87
2	樟木	<i>Loropetalum chinense</i>	11.33	2	暗鳞鳞毛蕨	<i>Dryopteris atrata</i>	10.34
3	乌饭树	<i>Vaccinium bracteatum</i>	5.51	3	扇叶铁线蕨	<i>Adiantum flabellulatum</i>	5.54
4	山莓	<i>Rubus corchorifolius</i>	4.76	4	芒萁	<i>Dicranopteris dichotoma</i>	8.60
5	土茯苓	<i>Smilax glabra</i>	2.04	5	海金沙	<i>Lygodium japonicum</i>	4.33
6	盐肤木	<i>Rhus chinensis</i>	3.54	6	弯隆苔草	<i>Carex gibba</i>	5.66
7	白檀	<i>Symplocos paniculata</i>	2.89	7	球米草	<i>Oplismenus undulatifolius</i>	3.67
8	长托菝葜	<i>Smilax ferox</i>	2.42	8	锈点苔草	<i>Carex bodimieri</i>	3.76
9	满树星	<i>Ilex aculeolata</i>	2.50	9	井栏边草	<i>Pteris multifida</i>	3.08
10	格药铃	<i>Eurya muricata</i>	3.33	10	地锦	<i>Melastoma doxandrum</i>	2.70
11	白马骨	<i>Serissa serissoides</i>	8.17	11	疏花雀麦	<i>Bromus remotiflorus</i>	4.06
12	四川红淡比	<i>Adinandra bockiana</i>	3.30	12	淡竹叶	<i>Lophatherum gracile</i>	2.47
13	牡荆	<i>Vitex negundo</i>	4.90	13	乌蕨	<i>Stenoloma chusanum</i>	2.69
14	小果蔷薇	<i>Rosa cymosa</i>	1.56	14	蕨	<i>Pteridium aquilinum</i>	3.68
15	大叶胡枝子	<i>Lespedeza davidii</i>	2.57	15	白茅	<i>Imperata cylindrical</i>	5.22
16	栀子	<i>Gardenia jasminoides</i>	1.59				
17	鸡血藤	<i>Millettia reticulata</i>	1.18				
18	紫薇	<i>Lagerstroemia indica</i>	1.79				
19	黄檀	<i>Dalbergia hupehana</i>	1.68				
20	长叶冻绿	<i>Rhamnus crenata</i>	0.96				
21	三叶赤楠	<i>Syzygium grijsii</i>	1.13				
22	算盘子	<i>Glochidion puberum</i>	0.92				

按频度从大到小排序 Ordered by the frequency from high to low.

在物种共同出现最大可能情况下是 +1,最小可能情况下是 -1,当 A_c 值为 0 时,表示实测的 2 个种共同出现的频度恰与概率统计的期望值相等。 A_c 值的正负与 $ad - bc$ 的差值的正负一致。选取灌木层频度较高的种类 22 个、草本层 15 个,分析种间联结。

2.2.3 重要值计算 重要值(importance value, IV)计算方法如下: $IV_{\text{灌木}} = (\text{相对高度} + \text{相对密度} + \text{相对频度}) / 3 \times 100$; $IV_{\text{草本}} = (\text{相对高度} + \text{相对多度} + \text{相对频度}) / 3 \times 100$ 。

3 结果与分析

3.1 χ^2 检验结果

本研究调查的样地总面积为 5 400 m²,累计 150 种植物,其中灌木层种类最多(包括乔木幼树),共 100 种,乔木层与草本层中分别有 49、47 种。将灌木层、草本层的 χ^2 检验值分别绘制星座图(图 1),联结系数(A_c 值)绘制成半矩阵图(图 2)。

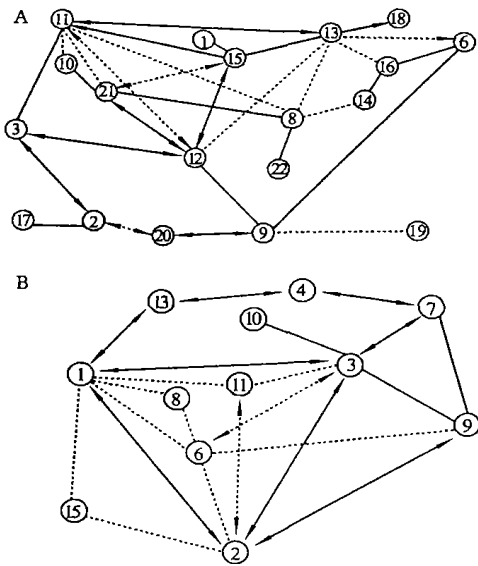


图 1 χ^2 检验星座图
Fig. 1 Constellation chart based on χ^2 -test.
正关联 Positive association: $\longrightarrow P < 0.01$; $\longrightarrow P < 0.05$. 负关联 Negative association: $\longrightarrow P < 0.01$; $\longrightarrow P < 0.05$.
A: 灌木层 Shrubs. 1) 白栎 *Quercus fabri*; 2) 白栎 *Loropetalum chinense*; 3) 乌饭树 *Vaccinium bracteatum*; 4) 山莓 *Rubus corchorifolius*; 5) 土茯苓 *Smilax glabra*; 6) 盐肤木 *Rhus chinensis*; 7) 白檀 *Symplocos paniculata*; 8) 长托菝葜 *Smilax ferox*; 9) 满树星 *Ilex aculeolata*; 10) 格药铃 *Eurya muricata*; 11) 白马骨 *Serissa serissoides*; 12) 四川红淡比 *Adinandra bockiana*; 13) 牡荆 *Vitex negundo*; 14) 小果蔷薇 *Rosa cymosa*; 15) 大叶胡枝子 *Lespedeza davidii*; 16) 栀子 *Gardenia jasminoides*; 17) 鸡血藤 *Millettia reticulata*; 18) 紫薇 *Lagerstroemia indica*; 19) 黄檀 *Dalbergia hupehana*; 20) 长叶冻绿 *Rhamnus crenata*; 21) 三叶赤楠 *Syzygium grijsii*; 22) 算盘子 *Glochidion puberum*. B: 草本层 Herbs. 1) 狗脊蕨 *Woodwardia japonica*; 2) 暗鳞鳞毛蕨 *Dryopteris atrata*; 3) 扇叶铁线蕨 *Adiantum flabellulatum*; 4) 芒萁 *Dicranopteris dichotoma*; 5) 海金沙 *Lygodium japonicum*; 6) 穹隆苔草 *Carex gibba*; 7) 球米草 *Oplismenus undulatifolius*; 8) 锈点苔草 *Carex bodimieri*; 9) 井栏边草 *Pteris multifida*; 10) 地锦 *Lastoma docleandrum*; 11) 疏花雀麦 *Bromus remotiflorus*; 12) 淡竹叶 *Lophatherum gracile*; 13) 乌蕨 *Stenoloma chusanum*; 14) 蕨 *Pteridium aquilinum*; 15) 白茅 *Imperata cylindrical*. 下同 The same below.

χ^2 检验(图 1)表明,灌木层联结程度达到显著的种对很少,极显著 12 种对,显著 19 种对,其余 200 种对联结程度不显著。按组间联系及种间的正负关联性,灌木层植物可分出 2 种组: 四川红淡比(*Adinandra bockiana*)、三叶赤楠(*Syzygium grijsii*)、乌饭树(*Vaccinium bracteatum*)、满树星(*Ilex aculeolata*)、长托菝葜(*Smilax ferox*)、格药铃(*Eurya muricata*); 大叶胡枝子(*Lespedeza davidii*)、白马骨(*Serissa serissoides*)、牡荆(*Vitex negundo*)。种组 以四川红淡比、三叶赤楠为联结核心,关联紧密,其中乌饭树是灌木层优势种(重要值排第 4 位),且与第 1 优势种白栎(*Loropetalum chinense*)存在极显著正关联。由于优势种的种群稳定性对群落稳定有决定作用^[33],所以该组植物是灌木层中具有关键意义的类群。种组 的 3 个种群任意二者之间表现紧密关联,其中白马骨、牡荆在灌木层中占优势地位(重要值分别排在 3、5 位),且大叶胡枝子与第 2 优势种白栎(*Quercus fabri*)存在显著关联,所以种组 也占有重要地位。种组 与种组 之间的许多种群间存在显著负关联。

草本层种间联结达到极显著和显著的各 11 种对,其余 83 种对联结程度不显著。草本层优势种狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)、暗鳞鳞毛蕨(*Dryopteris atrata*)、扇叶铁线蕨(*Adiantum flabellulatum*)俩俩之间存在极显著正关联,井栏边草(*Pteris multifida*)、球米草(*Oplismenus undulatifolius*)、地锦(*Melastoma docleandrum*)、乌蕨(*Stenoloma chusanum*)分别与这 3 个种群中的 2 个或 1 个种群存在极显著或显著正关联,这 7 种植物构成的种组在草本层占有重要地位,它们均是耐荫植物。该种组中共有 5 种蕨类植物,可见蕨类在草本层占有重要地位。穹隆苔草(*Carex gibba*)、疏花雀麦(*Bromus remotiflorus*)、锈点苔草(*Carex bodimieri*)、白茅(*Imperata cylindrical*)均与该种组中多个种群存在强的负关联。白茅喜光,多生长在林间空隙处,是流域治理前的优势种^[29]。调查发现,随着林冠郁闭度的增加,白茅数量逐渐减少。

3.2 联结系数检测结果

χ^2 检验提供了判断种间联结性显著与否的结论,但那些经检验不显著的种对,并不意味着它们之间不存在联结性。此外, χ^2 检验不能区分联结强度的大小,因此有必要用 A_c 值测定联结强度。从 A_c 值(图 2A)来看,灌木层 125 对种群间表现为正关联,106 对种群间为负关联,2 对种群间无关联。关联

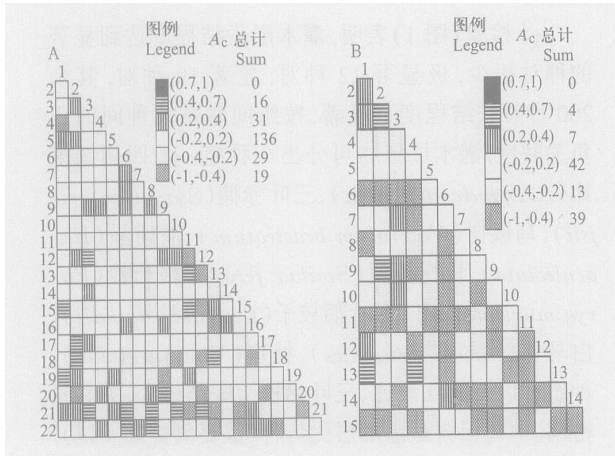


图2 种间关联图(A_c 值)
Fig. 2 Half-matrix diagram of interspecific association.

度低 ($-0.2 < A_c \leq 0.2$) 的种对最多,共 136 对,占 58.4 %;其次分别是 $0.2 < A_c \leq 0.4$ (较低正关联度) 的和 $-0.4 < A_c \leq -0.2$ (较低负关联度) 的种对; $0.4 < A_c \leq 0.7$ (较强正关联度) 的种对仅有 16 对; $-1 < A_c \leq -0.4$ (较强负关联度) 的种对有 19 对, 仅占 8.2 %。由此可见,灌木层种群间关联度低的种对多,与 χ^2 检验结果一致。由关联度较强的种对绘制的星座图可知,灌木层植物可分出 2 种组: ①. 三叶赤楠、四川红淡比、乌饭树、山莓 (*Rubus corchorifolius*)、盐肤木 (*Rhus chinensis*)、长托菝葜、格药铃、算盘子 (*Glochidion puberum*); ②. 白马骨、牡荆、大叶胡枝子、白栎、紫薇 (*Lagerstroemia indica*) (图 3)。种组 ① 以三叶赤楠为关联核心,与种组 ② 存在较强的排斥作用,2 种组在灌木层中均占有重要地位,分别占据着不同的生态位。这与 χ^2 检验的结果很一致。

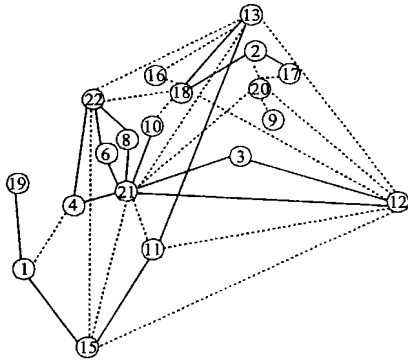


图3 灌木层 A_c 值星座图
Fig. 3 Constellation chart based on A_c value of shrubs.

图 2B 表明,草本层 42 对种群间表现为正关联, 63 对种群间为负关联,1 对种群间无关联。 $-0.2 < A_c \leq 0.2$ 的种对最多,共 42 对,表明草本层种群间关联度低的种对多,这一结论与 χ^2 检验结果一致。

其次是 $-1 < A_c \leq -0.4$ (较强负关联) 的种对,共 39 对。其中穹隆苔草与 10 个种群存在较强负关联,包括前 3 个优势种:狗脊蕨、暗鳞鳞毛蕨、芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*)。白茅 (15) 与 8 对种群存在较强负关联,也包括前 3 个优势种。这意味着穹隆苔草与白茅消失的几率大。 $0.4 < A_c \leq 0.7$ (较强正联结) 的种对仅 4 对,分别是:狗脊蕨与乌蕨、暗鳞鳞毛蕨与扇叶铁线蕨、暗鳞鳞毛蕨与井栏边草、芒萁与乌蕨。可见,草本层较强正关联种对远比较强负关联种对少。

4 讨 论

草本层优势种狗脊蕨、暗鳞鳞毛蕨、扇叶铁线蕨俩俩之间存在极显著正关联,且与多个种群存在极显著或显著正关联;灌木层中 2 个种组均以优势种为联结核心。可见,优势种往往是种间联结的关键种。优势种在群落中占有重要地位,分布范围广,对群落的稳定起着重要作用。

群落在长期的演替过程中,由于种内种间的竞争,群落的组成成分逐渐趋于稳定。由于生态学特性的差异,各个物种都占据有利于自己的位置,和谐共处,相互竞争大为减弱,所以多数种对联结程度不强,关系松散,独立性较强^[3]。 χ^2 检验表明,灌木层和草本层均以联结程度不显著的种对占优势; A_c 值也表明,灌木层和草本层中关联度很低的种对占绝对优势,这在一定程度上反映了千烟洲人工林灌木层和草本层的物种已恢复到一个比较稳定的阶段。另外,群落成熟度也大致可以从正负关联种对数的比例中得出结论。一般来说,随着群落演替的进展,群落结构及其种类组成将逐渐趋于稳定,种间关系也将趋于正相关,达到物种间的稳定共存^[4,31]。群落恢复过程中种间联结关系的研究表明,恢复时间愈长,即群落演替时间愈长或越接近成熟,正关联的种对愈多^[9,34]。笔者 2001 年调查研究了湖北省宣恩七姊妹山林龄上百年的珙桐原始群落乔木层 19 个优势种的种间联结,其正负关联的比值为 2.9^[9]。从千烟洲正负关联种对数的比例来看,灌木层正关联种对数略大于负关联,这在一定程度上反映了灌木层种类尚处于变化之中,与人工林的快速生长是一致的。草本层正关联数小于负关联,其中较强关联的正关联远小于较强关联的负关联;另外,物种不及灌木层丰富,且蕨类植物在草本层占据绝对优势地位。由此可见,研究区域的林下植被由于上层林冠结构的变化而处于动态阶段。但这些结果有待于生理生

态方面实验的验证,这是因为种间联结方法自身的缺陷,其结果反映的是物种间关联的现状,对于其内在原因无法进行解释。

本文灌木、草本样方总数分别为 136、216 个,满足种间联结所需的最小样方数^[21,38]。如果将灌木层和草本层²半矩阵图叠加到对应的 A_c 值半矩阵图上,可发现²检验显著(包括极显著)关联种对的 A_c 值的绝对值都较大,这说明²检验与 A_c 值得出的结论十分一致。但种间联结方法有其缺陷:1)测定结果受样方面积大小和样方数目多少的影响很大^[21,22]。赵则海^[36]研究了取样技术对种间联结的影响,认为正负关联比、平均物种出现率、多物种间²值、物种对间²值与显著率以及物种间联结系数的变化范围均可作为确定样方数目与面积的参数。2)仅能测定群落中 2 个物种间的关系,而群落中种群间的关系不局限于两两之间^[9]。为了全面检测多物种之间的关系需借助于多物种间联结(multi-species association),多物种间联结可检测 3, 4, ..., n 个物种间的相互关系^[2]。例如,种间联结检测到物种 A 与物种 B 间存在强的关联性,但我们无法知道 A 与 B 的这种关联性是否与物种 C 有关,多物种间联结方法可做到这一点。但随着 n 的增大,多物种间联结变得复杂,且置信度下降。由于多物种间联结算法复杂,且没有相关软件,这方面研究工作尚未见报道。3)种间联结是对种群之间关系的外在现象的描述,不能揭示其过程^[5];要深入到内在机制需要借助其它生态学方法。生态位理论在研究物种关系方面有广阔的应用前景^[35]。李新荣^[13]认为,植物种间的正联结体现了植物利用资源的相似性和生态位的重叠性,负联结体现了植物间的排斥性,是植物长期适应微环境,利用不同资源空间的结果,也是生态位分离的反映。而笔者认为,正联结反映了 2 物种趋向出现于同一生境(同一样方),负联结反之。生态位是一个复杂、抽象的概念^[5,7,8,18],目前大家普遍接受 Hutchinson^[10]提出的 n 维生态位(n -dimensional niche),通常人们只选择几个甚至 1 个重要因子进行生态位分析,如温度、水、空间分布(即所分布的样方)、重要值等。根据所选择的因子不同,得到的生态位结果也不一致,而种间联结的结果仅可能与“空间分布”生态位结果存在相关性。负联结也不一定是种间排斥的结果,可能是对环境喜好不同所致。由于种间联结的原因是复杂的,为合理解释种间联结,有学者提出设置固定样地长期监测种间联结的变化^[4]。彭少麟等^[20]研究了鼎湖山地带性植被厚壳桂属

(*Cryptocarya*)群落种间联结 15 年的变化,并想揭示群落演替过程中种间关系的变化情况,但并未对种间联结的变化内在原因进行更多的解释。笔者认为,在固定样地中监测生态因子,并根据生态因子计算生态位,然后讨论生态位及生态位重叠与种间联结的关系,这有助于揭示种间联结的内在机制。

参考文献

- 1 Cai X-A(蔡锡安), Xia H-P(夏汉平). 2003. Ecological functions of herbaceous layer in forest ecosystem. *J Trop Subtrop Bot* (热带亚热带植物学报), **11**(1): 67 ~ 74 (in Chinese)
- 2 Dale MRT. 1999. *Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology*. New York: Cambridge University Press. 147 ~ 167
- 3 Deng X-L(邓贤兰), Liu Y-C(刘玉成), Wu Y(吴杨). 2003. Interconnection among dominant plant populations of *Castanopsis* community in Jinggang mountain nature reserve. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), **27**(4): 531 ~ 536 (in Chinese)
- 4 Du D-L(杜道林), Liu Y-C(刘玉成), Li R(李睿). 1995. Studies on the interspecific association of dominant species in a subtropical *Castanopsis fargesii* forest of Jinyun Mountain, China. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), **19**(2): 149 ~ 157 (in Chinese)
- 5 Elton C. 1927. *Animal Ecology*. London: Sidgwick & Jackson.
- 6 Greig SP. 1983. *Quantitative Plant Ecology*. 3rd ed. London: Blackwell Scientific Publications.
- 7 Grinnell J. 1917. The niche-relationships of the California Thrasher. *Auk*, **34**: 93 ~ 427
- 8 Grinnell J. 1924. Geography and evolution. *Ecology*, **5**: 29 ~ 225
- 9 Hu L-L(胡理乐), Li X(李新), Jiang M-X(江明喜), et al. 2003. Studies on the interspecific association of canopy trees in *Davidia involurata* community of Mt. Seven-sister in western Hubei. *J Wuhan Bot Res* (武汉植物学研究), **21**(3): 203 ~ 208 (in Chinese)
- 10 Hutchinson GE. 1957. Concluding remarks: Cold spring symposia on quantitative. *Biology*, **22**: 27 ~ 415
- 11 Kershaw KA, Looney JH. 1985. *Quantitative and Dynamic Plant Ecology*. London: Edward Arnold Publication.
- 12 Li J(李江), Chen H-W(陈宏伟), Feng X(冯弦). 2003. Carbon stock and rate of carbon sequestration assessment of hardwood plantations in tropical Yunnan, China. *Guihaia* (广西植物), **23**(4): 294 ~ 298 (in Chinese)
- 13 Li X-R(李新荣). 1999. Interspecific association and correlation of shrub layer in the coniferous-broad leaved mixed geobotanical zone of Russia plain. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **19**(1): 55 ~ 60 (in Chinese)
- 14 Lin K-M(林开敏), Yu X-T(俞新妥), Huang B-L(黄宝龙), et al. 2001. Dynamical characteristics of undergrowth plant diversity in Chinese fir plantations. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), **7**(1): 13 ~ 19 (in Chinese)
- 15 Liu P-P(刘萍萍), Cheng J-M(程积民). 2000. Study on plant interspecific association. *Res Soil Water Cons* (水土保持研究), **7**(3): 179 ~ 184 (in Chinese)
- 16 Liu W-Y(刘文耀). 1995. Studies in biomass and productivity of *Acacia dealbata* plantation in the protected district of water sources in north Kunming. *Guihaia* (广西植物), **15**(4): 327 ~ 334 (in Chinese)
- 17 Lu F(陆凡), Li Z-Z(李自珍). 2003. Evaluation and analysis about ecosystem health of artificial plants in Shapotou area. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), **23**(10): 1731 ~ 1734 (in Chinese)
- 18 Manuel C, Molles J. 2002. *Ecology*. Second Edition. Beijing: Higher Education Press. 302 ~ 323
- 19 Pang X-Y(庞学勇), Liu Q(刘庆), Liu S-Q(刘世全), et al. 2004. Changes of soil fertility quality properties under subalpine spruce plantation in western Sichuan. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **24**(2): 261 ~ 267 (in Chinese)

- 20 Peng S-L(彭少麟), Zhou H-C(周厚诚), Guo S-C(郭少聪), et al. 1999. Studies on the changes in interspecific association of zonal vegetation in Dinhuashan. *Acta Bot Sin* (植物学报), **41** (11): 1239 ~ 1244 (in Chinese)
- 21 Peng S-L(彭少麟). 1996. Community Dynamics in South Subtropical Forest. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 22 Pielou EC. 1982. Trans. Lu Z-Y(卢泽愚). 1988. Mathematical Ecology. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 23 Qin X-S(秦新生), Liu Y-Q(刘苑秋), Xing F-W(邢福武). 2003. Species diversity in undergrowth of artificial forests on lower hilly land. *J Trop Subtrop Bot* (热带亚热带植物学报), **11** (3): 223 ~ 228 (in Chinese)
- 24 Southern Mountain Area Scientific Investigation Troop of Chinese Academy of Sciences, Management Office of Natural Resources in Ji'an Prefecture of Jiangxi Province. 1989. Management and Development of Red Earth Hills. Beijing: Science Press. 1 ~ 23 (in Chinese)
- 25 Su Y-Z(苏永中), Zhao H-L(赵哈林), Zhang T-H(张铜会), et al. 2004. Characteristics of plant community and soil properties in the plantation chronosequence of *Caragana microphylla* in Horqin sandy land. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **28** (1): 93 ~ 100 (in Chinese)
- 26 Tang C-Y(唐常源). 1992. A research on the effects of artificial *Pinus massoniana* forest on rainfall partitioning in subtropic humid area. *Acta Geogr Sin* (地理学报), **47** (6): 545 ~ 551 (in Chinese)
- 27 Tian D-L(田大伦), Xiang W-H(项文化). 2003. Nutrient characteristics in hydrological processes of Chinese fir plantation ecosystem. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **23** (7): 1369 ~ 1376 (in Chinese)
- 28 Wu D-R(吴大荣). 1997. Analyses of correlations between *Phoebe bournei* and dominant ferns at Lnoboyan Natural Reserve in Fujian. *J Plant Resour Environ* (植物资源与环境), **6** (1): 15 ~ 19 (in Chinese)
- 29 Yang B-Z(杨宝珍). 1998. The change of vegetation types and its characteristics of distribution through development and management in Qianyanzhou experimental area. In: Cheng T(程彤), ed. Studies of Ecological System Restoration and Agricultural Sustainable Development of Red Earth Hills. Vol. 2. Beijing: Meteorology Press. 34 ~ 43 (in Chinese)
- 30 Yang D(杨东), Yang X-Q(杨秀琴). 2004. Studies on biomass and productivity *Pinus tabulaeformis* plantation in the Wufengshang of Wudu, Gansu Province. *J Northwest Nor Univ* (西北师范大学学报), **40** (1): 70 ~ 75 (in Chinese)
- 31 Yang Y-C(杨一川), Zhuang P(庄平), Li X-R(黎系荣). 1994. Ecological studies on the forest community of *Castanopsis platyacantha*-*Schima sinensis* on Emei Mountain. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **18**: 105 ~ 120 (in Chinese)
- 32 Yu X-J(于小军), Wang S-L(汪思龙), Deng S-J(邓仕坚), et al. 2003. Nutrient characteristics of stem flow and through fall in evergreen broad-leaved forest and *Cunninghamia lanceolata* plantation forest. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **22** (6): 7 ~ 11 (in Chinese)
- 33 Zhang J-Y(张继义), Zhao H-L(赵哈林). 2003. Review on the study of vegetation stability. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **22** (4): 42 ~ 48 (in Chinese)
- 34 Zhang W-H(张文辉), Xu X-H(徐学华), Li D-W(李登武). 2004. Study on interspecific association in course of *Sophora davidii* communities recovering in Loess Plateau hilly region. *Acta Bot Borreal-Occident Sin* (西北植物学报), **24** (6): 1018 ~ 1023 (in Chinese)
- 35 Zhao Y-H(赵永华), Lei R-D(雷瑞德), He X-Y(何兴元), et al. 2004. Niche characteristics of plant populations in *Quercus aliena* var. *acuteserrata* stands in Qinling Mountains. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15** (6): 913 ~ 918 (in Chinese)
- 36 Zhao Z-H(赵则海). 2003. Study on the sampling technique of interspecific association of ligneous plant in *Quercus liaotungensis* forest in dangling mountain. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **27** (3): 396 ~ 403 (in Chinese)
- 37 Zheng Y-S(郑郁善), Chen Z-M(陈卓梅), Qiu E-F(邱尔发), et al. 2003. Study on runoff in *Dendrocalamus latiflorus* plantation used for shoot by the different management measures. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **23** (11): 2387 ~ 2395 (in Chinese)
- 38 Zhou X-Y(周先叶), Wang B-X(王伯荪), Li M-G(李鸣光), et al. 2000. An analysis of interspecific associations in secondary succession forest communities in Heishiding Natural Reserve, Guangdong Province. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **24** (3): 332 ~ 339 (in Chinese)
- 39 Zhu J-J(朱教君), Liu Z-G(刘足根). 2004. A review on disturbance ecology of forest. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15** (10): 1703 ~ 1710 (in Chinese)

作者简介 胡理乐,男,1979年生,博士生.主要从事群落生态学与森林生态学研究.发表论文5篇. E-mail: hull@iae.ac.cn
