

老秃顶子保护区水源林主要乔木树种种间关系

郭文体¹, 陈丽华¹, 周娟¹, 李长暄¹, 李海燕², 徐英华²

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 辽宁老秃顶子国家级自然保护区抚顺管理局, 辽宁 抚顺 113208)

摘要: 在群落调查的基础上, 应用 χ^2 检验、Ochiai 关联度指数、Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析, 研究了老秃顶子自然保护区水源涵养林群落内 16 种主要乔木树种的种间联结性和相关性。结果表明, 所有种对中, 多数种对间关联程度为不显著水平, 呈极显著相关和显著相关的种对数相对较少, 表明群落内多数乔木树种间关系较松散, 未形成明显的总体关联性, 群落处于相对稳定状态; 种间关系分析中, χ^2 检验、Ochiai 关联度和 Pearson 相关分析的结果比 Spearman 秩相关分析结果的灵敏度要低; 根据分析结果, 结合乔木种群的生物学和生态学特征, 可将老秃顶子保护区水源林群落中 16 种主要乔木树种划分为 3 个生态种组, 同一生态种组内物种的生态要求和资源利用方式相近, 联结紧密, 而不同种组间联结较为松散。

关键词: 水源涵养林; 种间联结; 种间相关; 生态种组; 老秃顶子自然保护区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0079-07

中图分类号: Q948.1

Interspecific Relationships Among Main Tree Species of Water Conserving Forest in Laotudingzi Natural Reserve

GUO Wen-ti¹, CHEN Li-hua¹, ZHOU Juan¹, LI Chang-xuan¹, LI Hai-yan², XU Ying-hua²

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Fushun Authority of Laotudingzi National Nature Reserve, Fushun, Liaoning 113208, China)

Abstract: Water conserving forest in the Laotudingzi Natural Reserve of Liaoning Province was investigated. Based on the important values of population, a study was performed to discuss the interspecific relationships among 16 main tree species by χ^2 -test, Ochiai association index, Pearson's correlation coefficient and Spearman's rank correlation coefficient. Results showed that the connection degree of most species-pairs did not reach a level of significance and the proportion of species-pairs which had highly significant or significant correlation was less, indicating that the interspecific relationships among forest tree species were loose and did not form a significant overall association, so the community was relatively stable. Compared with χ^2 -test, Ochiai association test and Pearson's correlation coefficient test, Spearman's rank correlation coefficient test was sensitive. According to the analysis results and combined with the tree species population biology and ecological adaptations, the 16 main tree species in the water conserving forest can be divided into three ecological species groups. The ecological requirements and resource use patterns of tree species within the same ecological species group are similar, exhibiting a close connection between the tree species and however, there is a loose coupling between different ecological species groups.

Keywords: water conserving forest; interspecific association; interspecific correlation; ecological species group; Laotudingzi Natural Reserve

在一个群落中, 共存的多个物种之间必然存在一定的相互关系, 正是物种间的这些相互关系使得群落具有不同的结构, 多个物种能够共同生活在一起, 从而推动群落的发展变化^[1]。作为植物群落重要的结

构和数量特征之一, 种间关系可以用种间联结性和相关性来表示^[2], 同为不同物种出现的相似性尺度的两个指标, 种间联结性是一种定性数据, 而种间相关性是一种定量关系。森林群落内的种间关系非常复杂,

收稿日期: 2013-09-19

修回日期: 2013-09-24

资助项目: “十二五”农村领域国家科技计划课题“辽河上游水源涵养林体系构建技术与示范”(2011BAD38B0502)

作者简介: 郭文体(1987—), 男(汉族), 河南省周口市人, 硕士研究生, 主要从事水土保持方面的研究。E-mail: guowenti@163.com。

通信作者: 陈丽华(1957—), 女(汉族), 北京市人, 教授, 博士生导师, 主要从事植物力学性质和水土保持方面的研究。E-mail: c_ljhua@bjfu.edu.cn。

既有互利与合作,也有竞争与排斥,弄清群落内的种间关系,对于准确认识群落的结构和功能以及分类和动态等十分必要^[3]。依据种间作用方式的不同,一般可以把其分为负关联、正关联和无关联。近年来,从草原到山区再到湿地^[1,4-5],国内外学者对不同群落中植物的种间关系进行了大量的研究。

老秃顶子自然保护区位于辽东山区,是辽河和太子河的发源地、鸭绿江的重要源头之一,是重要的水源涵养林区^[6]。保护区内水源涵养林主要为天然次生林,是由原生地带性顶极群落——红松(*Pinus koraiensis*)针阔混交林经采伐和破坏后逐渐演替形成的^[7]。不同乔木树种间关联程度的测定对研究水源涵养林群落内种间相互作用和群落的结构与功能具有重要意义,它不仅表现了水源涵养林现阶段的结构特点,并且很大程度上反映了群落未来的演替趋势及进程。乔木在群落空间结构中起着主导作用,其直接或间接影响着林内灌木和草本的生长与分布,进而对森林水源涵养功能的发挥起着重大的作用^[8]。在对老秃顶子自然保护区水源涵养林群落调查的基础上,应用 χ^2 检验、Ochiai 关联度指数、Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析对水源涵养林群落内主要乔木树种的种间关联特征进行了分析,进而对群落内主要乔木树种间的相互关系进行了探讨,以期对认识群落结构特征、功能地位及其动态变化奠定基础,为老秃顶子自然保护区水源涵养林的合理经营与保护提供理论依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

研究区地处辽宁省抚顺市老秃顶子国家级自然保护区(以珍稀动植物及北温带中山山地森林生态系统为主要保护对象),保护区位于辽宁省抚顺市新宾县和本溪市桓仁县两县交界处,地理坐标为东经 $124^{\circ}41'13''$ — $125^{\circ}05'15''$,北纬 $41^{\circ}11'11''$ — $41^{\circ}21'34''$,总面积为 $15\,217.3\text{ hm}^2$ 。保护区属北温带大陆性季

风气候,受海洋气候影响较大,雨量充沛,年平均降水量 $900\sim 1\,200\text{ mm}$,多集中在6—8月,年平均相对湿度 67% ,极端高温 $37.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端低温 $-37.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均气温 $5.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,年无霜期 133 d 。老秃顶子自然保护区属长白山余脉,区内山体主要由沙岩、页岩、砾岩等岩石构成,土壤类型主要为棕壤和暗棕壤,土壤湿润,有机质含量高,pH值 $5.5\sim 6.2$,棕壤主要分布在海拔 900 m 以下的低山地带,为该区的地带性土壤,暗棕壤主要分布在海拔 900 m 以上的中山地带,为该区的垂直地带性土壤。老秃顶子自然保护区水资源丰富,适宜森林植被的生长,区内森林植被覆盖率达 97% ,并具有较完整的植被垂直分布带谱,是重要的水源涵养林区。

自然保护区内森林主要为天然次生林,主要乔木树种有蒙古栎(*Quercus mongolica*)、山杨(*Populus davidiana*)、色木槭(*Acer mono*)、枫桦(*Betula costata*)、紫花槭(*Acer pseudo-sieboldianum*)、花曲柳(*Fraxinus rhynchophylla*)、刺楸(*Kalopanax septemlobus*)、白桦(*Betula platyphylla*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)等。

1.2 样地调查

群落调查采用样方法,样地均设在地理位置较偏、人为干扰较轻的山地深处,海拔 $571\sim 651\text{ m}$,坡度 $10^{\circ}\sim 16^{\circ}$,半阳坡或半阴坡,立地条件良好,林分郁闭度 0.9 左右。在水源涵养林内设置 4 个面积均为 $2\,500\text{ m}^2$ 的标准地,总面积 $10\,000\text{ m}^2$,将每个标准地分成 25 个 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 的小样方,以小样方为单元进行调查。

调查记录样地的小样方号、经纬度、海拔、地形地貌、坡度、坡向和坡位等因子,并记录每株乔木的名称、坐标、胸径、树高、枝下高、冠幅、干型质量、损伤状况、病虫害和起源等。在 4 个标准地内共记录乔木树种 22 种,其中 6 种频率小于 5% ,低频率物种的种间关联较小,因此予以剔除,将剩余 16 个乔木树种(表1)列成 16×100 的原始数据矩阵。

表 1 老秃顶子自然保护区 16 种主要乔木种

序号	种名	拉丁学名	序号	种名	拉丁学名
1	蒙古栎	<i>Quercus mongolica</i>	9	白桦	<i>Betula platyphylla</i>
2	山杨	<i>Populus davidiana</i>	10	胡桃楸	<i>Juglans mandshurica</i>
3	色木槭	<i>Acer mono</i>	11	千金榆	<i>Carpinus cordata</i>
4	枫桦	<i>Betula costata</i>	12	黄檗	<i>Phellodendron amurense</i>
5	紫花槭	<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	13	水曲柳	<i>Fraxinus mandschurica</i>
6	花曲柳	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	14	紫椴	<i>Tilia amurensis</i>
7	刺楸	<i>Kalopanax septemlobus</i>	15	山槐	<i>Maackia amurensis</i>
8	大青杨	<i>Populus ussuriensis</i>	16	青楷槭	<i>Acer tegmentosum</i>

1.3 数据处理

用重要值来反映物种特征,乔木重要值的计算采用:重要值=(相对多度+相对优势度+相对频度)/3。其中:相对多度=(某乔木树种个体数/全部乔木树种个体数之和)×100;相对优势度=(某乔木树种胸高断面积之和/全部乔木树种胸高断面积之和)×100;相对频度=(某乔木树种频度/所有乔木树种频度之和)×100。

1.3.1 种间联结性分析 首先按物种在各样方中存在与否构建 16×100 的 0,1 形式的二元数据矩阵,“0”表示不存在,“1”表示存在,然后将乔木两两配对组成种对,分别建立种对间的 2×2 列联表,在此基础上计算 χ^2 值, χ^2 值的计算公式^[9]为:

$$\chi^2 = \frac{n(ad-bc)^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)} \quad (1)$$

式中: n ——样方总数; a ——两物种都存在的样方数; d ——两物种都不存在的样方数; b,c ——只有一物种存在的样方数。下同。当 a,b,c,d 中任一个值的期望值小于 1 或多于 2 个值的期望值小于 5 时, χ^2 值被认为有偏差,这时要用 Yates 连续校正系数进行校正^[10]。Yates 系数校正公式为:

$$\chi^2 = \frac{(|ad-bc| - 0.5n)^2 n}{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)} \quad (2)$$

当 $ad > bc$ 时为正联结; $\chi^2 > 6.635$ 表示种间联结性极显著($p < 0.01$), $3.841 \leq \chi^2 < 6.635$ 表示种间联结性显著($0.01 < p < 0.05$), $\chi^2 < 3.841$ 表示种间联结性不显著($p > 0.05$)。

1.3.2 种间关联程度测定 采用测定种间关联程度较好的 Ochiai 指数来计算种间联结度,Ochiai 指数计算公式为:

$$Q_i = \frac{a}{\sqrt{(a+b)(a+c)}} \quad (3)$$

Ochiai 指数表示种对共同出现的机率 and 联结性程度,当其等于 0 时,种间关联性最小;当其等于 1 时,种间关联性最大。

1.3.3 Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析

用 16 种乔木树种的重要值作为进行 Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析的数量指标^[9],衡量物种间的相关程度。

Pearson 相关分析基于野外调查的连续性数据,其假定原始数据服从正态分布,计算公式为:

$$r_{p(i,j)} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^n (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}} \quad (4)$$

式中: $r_{p(i,j)}$ ——物种 i 和 j 间的 Pearson 相关系数; x_{ik}, x_{jk} ——物种 i, j 在样方 k 中的重要值; \bar{x}_i, \bar{x}_j ——物种 i, j 在所有样方中重要值的平均; $d_k = (x_{ik} - x_{jk})$ 。

而 Spearman 秩相关分析基于数据秩的大小,不需要原始数据服从正态分布,属于非参数检验,计算公式为:

$$r_{s(i,j)} = 1 - \frac{6 \sum_{k=1}^n d_k^2}{n^3 - n} \quad (5)$$

式中: $r_{s(i,j)}$ ——物种 i 和 j 间的 Spearman 秩相关系数; $d_k = (x_{ik} - x_{jk})$ 。

2 结果与分析

2.1 χ^2 检验分析

从表 2—3 中可以看出,老秃顶子自然保护区水源涵养林群落中 16 个主要乔木树种组成的 120 个种对中,有 15 个种对的联结性达到了极显著或显著水平,其中极显著和显著正关联 12 对,极显著和显著负关联 3 对,共占有种对数的 12.5%,其余种对间联结性不显著。由此结果表明乔木种对间联结性较松散,群落内乔木种对间的独立性较强,存在相当程度的独立分布格局。呈正关联和负关联的种对数分别有 63 对和 57 对,分别占全部种对数的 52.5% 和 47.5%,正负关系比约为 1.1,正关联的种对数比负关联的种对数稍多一点,说明水源涵养林群落中乔木种群存在一定的差异,物种间对资源的竞争程度或相互依赖程度不强,群落优势种处于较稳定状态,对外界环境的干扰具有一定抵抗力。

表 2 主要乔木树种种间关联与相关统计

检验方法	极显著相关 ($p < 0.01$)		显著相关 ($p < 0.05$)		不显著相关 ($p > 0.05$)	
	正关联	负关联	正关联	负关联	正关联	负关联
χ^2 检验	6	1	6	2	51	54
Pearson 检验	5	4	4	4	43	60
Spearman 检验	7	3	8	6	38	58

63 对正关联的种对中,山杨与枫桦,色木槭与紫花槭,色木槭与胡桃楸,色木槭与青楷槭,紫花槭与千金榆,黄檗与水曲柳呈极显著水平;蒙古栎与山槐,枫桦与白桦,白桦与黄檗,白桦与水曲柳,胡桃楸与青楷槭,千金榆与青楷槭呈显著水平。57 个负关联的种对中,仅有蒙古栎与山杨呈极显著水平;山杨与刺楸,枫桦与紫花槭呈显著水平。

表 3 χ^2 统计检验结果

种对	关系	种对	关系	种对	关系	种对	关系	种对	关系	种对	关系
1—2	☆	2—8	—	3—15	+	5—12	—	7—13	—	10—12	+
1—3	—	2—9	+	3—16	★	5—13	—	7—14	+	10—13	+
1—4	—	2—10	+	4—5	○	5—14	—	7—15	—	10—14	+
1—5	+	2—11	+	4—6	+	5—15	+	7—16	—	10—15	+
1—6	—	2—12	+	4—7	—	5—16	+	8—9	—	10—16	●
1—7	+	2—13	—	4—8	+	6—7	—	8—10	—	11—12	—
1—8	+	2—14	+	4—9	●	6—8	—	8—11	—	11—13	—
1—9	—	2—15	+	4—10	—	6—9	+	8—12	+	11—14	—
1—10	+	2—16	—	4—11	—	6—10	+	8—13	—	11—15	—
1—11	—	3—4	—	4—12	+	6—11	+	8—14	+	11—16	●
1—12	—	3—5	★	4—13	+	6—12	—	8—15	—	12—13	★
1—13	—	3—6	—	4—14	+	6—13	+	8—16	—	12—14	—
1—14	—	3—7	—	4—15	—	6—14	+	9—10	+	12—15	—
1—15	●	3—8	—	4—16	+	6—15	+	9—11	+	12—16	—
1—16	—	3—9	—	5—6	+	6—16	+	9—12	●	13—14	—
2—3	—	3—10	★	5—7	—	7—8	+	9—13	●	13—15	+
2—4	★	3—11	+	5—8	—	7—9	+	9—14	+	13—16	+
2—5	—	3—12	—	5—9	—	7—10	+	9—15	—	14—15	+
2—6	+	3—13	—	5—10	+	7—11	+	9—16	+	14—16	—
2—7	○	3—14	+	5—11	★	7—12	—	10—11	+	15—16	+

注：★极显著正相关；●显著正相关；+正相关；☆极显著负相关；○显著负相关；—负相关。下同。

2.2 种间关联程度分析

χ^2 检验一般仅用来判断种间联结性显著与否及其联结性的正负,但是那些检验不显著的种对间也可能存在联结性,并且 χ^2 检验也不能判断联结强度的大小,因此,有必要用 O_i 值测定种间关联程度的大小。由表 4 中可以看出,关联度 O_i 在 $[0, 2, 0, 4)$ 范围内的种对数最多,有 64 对,占有种对数的 53.3%,表明多数乔木与其他乔木间的关联程度较弱,这与 χ^2 检验的结果较为一致。关联度 O_i 大于 0.6 的种对数很少,仅有 4 对,仅占有种对数的 3.3%,分别为蒙古栎与色木槭,蒙古栎与紫花槭,山杨与枫桦,色木槭与紫花槭。其中最大的色木槭与紫花槭的 O_i 值达到 0.769,表明色木槭与紫花槭的关联程度最强。而蒙古栎与色木槭,蒙古栎与紫花槭的 O_i 值虽然也超过了 0.6,但这与 χ^2 检验中这两种对为不显著水平的结果并不一致,这表明要想精确分析研究对象,还需要将定性分析的 χ^2 检验与其他的定量分析方法相结合^[11]。

2.3 Pearson 相关分析

从表 2,5 中可以看出,在所有 120 个种对中,表现为极显著和显著相关的种对数共有 17 对,其中正相关有 9 对,占全部种对数的 7.5%;负相关有 8 对,占全部种对数的 6.7%。不显著相关的种对数有 103 对,占全部种对数的 85.8%,且负相关种对数多于正相关。总体上极显著和显著相关的种对数仍是较少,

而且呈极显著和显著正相关的种对数仍是大于负相关的种对数,这与 χ^2 检验的结果较为一致。但是, χ^2 检验结果为极显著和显著水平的种对中仅有 7 对与 Pearson 相关分析结果相符合,这是由于 Pearson 相关分析假定数据服从正态分布,而植被数据不能满足这一假设,所以结果会有偏差。

2.4 Spearman 秩相关分析

Spearman 秩相关分析并不要求物种服从正态分布,属于非参数检验,所以应用起来较为灵活和方便。从表 2,6 中可以看出,所有 120 个种对中呈极显著和显著相关的种对数共有 24 对,其中正相关有 15 对,占有种对数的 12.5%,负相关有 9 对,占有种对数的 7.5%,包含大部分 χ^2 检验结果中呈极显著和显著水平的种对;不显著相关的种对数有 96 对,占有种对数的 80%,且负相关种对数多于正相关。Spearman 秩相关分析的极显著和显著相关的种对数均比 χ^2 检验和 Pearson 相关分析的多,这是因为 χ^2 检验只能检验种间关联存在与否,关联程度大小的分析需要结合 Ochiai 指数才能较为准确;而 Pearson 相关分析假定物种服从正态分布,但自然界多数物种不能满足这一假设^[12],这就限制了 Pearson 相关分析的准确性,所以 Spearman 秩相关分析的结果灵敏度最高,这与前人的研究结果^[3,13]较为一致。

2.5 生态种组的划分

生态种组是一个群落中具有相似生物学特征和

生态习性的一些种的组合,根据种间关联和相关分析的结果,参考物种生物学特征、生态习性、分布范围等可以将群落中相似的物种划分为一个生态种组^[14],同一生态种组中的物种的资源利用能力、环境适应能力、在群落内的功能和作用等较为一致,具有较大的

种间联结性和相关性^[15]。划分生态种组有助于深入地研究和认识群落的结构与功能和发展与演替。根据前面 4 种关联指数的分析结果,结合物种的生物学特征和生态习性,可将老秃顶子自然保护区水源涵养林群落中 16 种主要乔木树种划分为 3 个生态种组。

表 4 Ochiai 关联指数测定结果

种对	关系	种对	关系	种对	关系	种对	关系	种对	关系	种对	关系
1-2	◆	2-8	■	3-15	■	5-12		7-13		10-12	■
1-3	◎	2-9	◆	3-16	◆	5-13		7-14	■	10-13	■
1-4	◆	2-10	■	4-5		5-14		7-15		10-14	■
1-5	◎	2-11	■	4-6	■	5-15	■	7-16		10-15	■
1-6	◆	2-12	■	4-7	■	5-16	■	8-9		10-16	■
1-7	◆	2-13	■	4-8	■	6-7		8-10		11-12	
1-8	◆	2-14	■	4-9	◆	6-8		8-11		11-13	
1-9	■	2-15	■	4-10	■	6-9	■	8-12	■	11-14	
1-10	◆	2-16	■	4-11		6-10	■	8-13		11-15	
1-11	■	3-4	■	4-12	■	6-11	■	8-14	■	11-16	■
1-12	■	3-5	◎	4-13	■	6-12		8-15		12-13	◆
1-13	■	3-6	■	4-14	■	6-13	■	8-16		12-14	
1-14	■	3-7	■	4-15		6-14	■	9-10	■	12-15	
1-15	■	3-8		4-16	■	6-15	■	9-11	■	12-16	
1-16	■	3-9	■	5-6	■	6-16	■	9-12	■	13-14	
2-3	■	3-10	◆	5-7	■	7-8	■	9-13	■	13-15	
2-4	◎	3-11	◆	5-8		7-9		9-14	■	13-16	
2-5	■	3-12		5-9	■	7-10		9-15		14-15	
2-6	◆	3-13		5-10	■	7-11	■	9-16	■	14-16	
2-7	■	3-14	■	5-11	◆	7-12		10-11	■	15-16	■

注: ○:0≤O_I<0.2; ■:0.2≤O_I<0.4; ◆:0.4≤O_I<0.6; ◎:0.6≤O_I。下同。

表 5 Pearson 相关系数检验结果

种对	关系	种对	关系	种对	关系	种对	关系	种对	关系	种对	关系
1-2	☆	2-8	○	3-15	-	5-12	-	7-13	-	10-12	+
1-3	-	2-9	+	3-16	★	5-13	-	7-14	+	10-13	+
1-4	☆	2-10	-	4-5	☆	5-14	-	7-15	-	10-14	●
1-5	+	2-11	+	4-6	+	5-15	+	7-16	-	10-15	+
1-6	-	2-12	+	4-7	-	5-16	+	8-9	-	10-16	+
1-7	+	2-13	-	4-8	+	6-7	-	8-10	-	11-12	-
1-8	+	2-14	-	4-9	+	6-8	-	8-11	-	11-13	-
1-9	-	2-15	+	4-10	-	6-9	-	8-12	+	11-14	-
1-10	-	2-16	-	4-11	-	6-10	+	8-13	-	11-15	-
1-11	-	3-4	○	4-12	+	6-11	+	8-14	+	11-16	+
1-12	-	3-5	★	4-13	-	6-12	-	8-15	-	12-13	★
1-13	+	3-6	-	4-14	+	6-13	●	8-16	-	12-14	-
1-14	-	3-7	-	4-15	-	6-14	-	9-10	+	12-15	-
1-15	-	3-8	-	4-16	+	6-15	+	9-11	-	12-16	-
1-16	-	3-9	-	5-6	+	6-16	+	9-12	+	13-14	-
2-3	☆	3-10	★	5-7	-	7-8	●	9-13	+	13-15	-
2-4	●	3-11	+	5-8	-	7-9	-	9-14	+	13-16	+
2-5	○	3-12	-	5-9	-	7-10	+	9-15	-	14-15	+
2-6	+	3-13	-	5-10	+	7-11	-	9-16	+	14-16	-
2-7	○	3-14	+	5-11	★	7-12	-	10-11	+	15-16	+

表 6 Spearman 秩相关系数检验结果

种对	关系	种对	关系	种对	关系	种对	关系	种对	关系	种对	关系
1—2	☆	2—8	—	3—15	—	5—12	—	7—13	—	10—12	+
1—3	—	2—9	+	3—16	★	5—13	—	7—14	+	10—13	+
1—4	☆	2—10	—	4—5	☆	5—14	—	7—15	—	10—14	★
1—5	+	2—11	+	4—6	+	5—15	+	7—16	—	10—15	+
1—6	○	2—12	+	4—7	—	5—16	+	8—9	—	10—16	●
1—7	+	2—13	—	4—8	+	6—7	—	8—10	—	11—12	—
1—8	+	2—14	—	4—9	●	6—8	—	8—11	—	11—13	—
1—9	○	2—15	+	4—10	—	6—9	—	8—12	+	11—14	—
1—10	—	2—16	—	4—11	—	6—10	+	8—13	—	11—15	—
1—11	—	3—4	○	4—12	+	6—11	+	8—14	+	11—16	●
1—12	—	3—5	★	4—13	+	6—12	—	8—15	—	12—13	★
1—13	+	3—6	—	4—14	+	6—13	★	8—16	—	12—14	—
1—14	—	3—7	—	4—15	—	6—14	—	9—10	+	12—15	—
1—15	●	3—8	—	4—16	+	6—15	+	9—11	—	12—16	—
1—16	—	3—9	—	5—6	+	6—16	+	9—12	●	13—14	—
2—3	○	3—10	●	5—7	—	7—8	●	9—13	●	13—15	—
2—4	★	3—11	—	5—8	—	7—9	—	9—14	+	13—16	+
2—5	○	3—12	—	5—9	—	7—10	—	9—15	—	14—15	+
2—6	+	3—13	—	5—10	+	7—11	+	9—16	+	14—16	—
2—7	○	3—14	+	5—11	★	7—12	—	10—11	+	15—16	+

第一生态种组为种 2(山杨)、种 4(枫桦)、种 6(花曲柳)、种 9(白桦)、种 12(黄檗),这些树种均为阳性树种,不喜荫,具有一定的耐旱性,大多生长于排水良好的阳坡或半阳坡;第二生态种组为种 3(色木槭)、种 10(胡桃楸)、种 11(千金榆)、种 13(水曲柳)、种 14(紫椴)、种 16(青楷槭),这些树种不喜光,具有一定的耐寒性,多生长于肥沃湿润的阴坡或沟谷两旁;第三生态种组为种 1(蒙古栎)、种 5(紫花槭)、种 7(刺楸)、种 8(大青杨)、种 15(山槐),这些树种均为耐寒树种,喜光照,喜凉爽湿润气候,多生长于海拔 700 m 以上在向阳山坡。

3 讨论

由于种内及种间的竞争,在长期的发展与演替过程中,群落的组成成分将逐渐地趋于稳定。演替过程中,不同物种间生态习性的差异促使各物种均占据最有利于自己的位置,物种间的竞争进而大为减弱,所以多数种对间关联程度较弱,关系松散,独立性强^[16]。本文应用 4 种关联指数对老秃顶子自然保护区水源涵养林群落中 16 种主要乔木树种分析的结果,一方面表现出种对间的联结性大多数未能达到显著性水平,种对间关系较松散,种对间具有相当程度的独立性,这与老秃顶子自然保护区水源涵养林群落

当前的演替阶段及物种的生物生态学特性有关;另一方面,不同分析方法的检验结果均为负关联种对数大于正关联种对数或两者相近,说明群落正处于演替的中期阶段,仍具有较明显的次生性,物种间关系还不紧密,并未形成明显的群落总体关联性。随着群落演替的进行,负关联种对数将逐渐下降,群落结构和物种组成将逐渐趋于稳定和完善,种间关系也多将趋于正关联,以使得多物种能稳定共存^[14,17]。

物种间呈正关联,主要是因为它们的生物学特性相似,对环境的生态适应性相近,并具有相互重叠的生态位;物种间呈负关联,则主要是因为它们的生物学特性不同,对环境的生态适应性不同,并具有相互分离的生态位^[18]。前人的研究表明,同一生长环境和竞争条件下,对环境要求相同或相似的物种间往往表现出显著的正关联,对环境要求及资源利用差异较大的物种间往往表现出显著的负关联^[17,19-21],本研究进一步证实了这一规律。本研究中耐旱不喜荫的阳性树种山杨与枫桦,耐寒、喜凉爽湿润土壤的色木槭与青楷槭,耐寒喜光向阳的树种蒙古栎与山槐以及刺楸与大青杨都表现出显著正关联;生长在干燥阳坡的山杨与生长在阴坡喜肥沃湿润土壤的色木槭以及喜凉爽湿润气候的蒙古栎与有一定耐旱性的山杨则表现为显著负关联。其他物种间呈显著正相关或负相

关也多是由物种间的生物学及生态学特性相似或不同所致的,当然,还有很多其他影响种间关系的因素,这其中的具体原因还有待于进一步的研究。

4 结论

本文运用 χ^2 检验、Ochiai 关联指数、Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析对老秃顶子自然保护区水源涵养林 16 种主要乔木树种的种间联结性和相关性进行了研究,结果表明:

(1) 群落中乔木树种间的总体联结性不强,多数物种间的联结性不显著,说明水源涵养林群落内多数乔木树种间关系松散,未形成明显的总体关联性,群落演替处于相对稳定的中期阶段。

(2) χ^2 检验、Ochiai 关联度指数、Pearson 相关指数和 Spearman 秩相关指数是 4 个检验种间联结性和相关性比较常用的指数,在本文中 4 个指数计算的结果有较大的相似性,但是,由于 Pearson 相关检验本身的局限性,在该研究中存有较大的偏差,而 Spearman 秩相关分析的灵敏度总体上要好于 χ^2 检验和 Pearson 相关分析。

(3) 根据 χ^2 检验、Ochiai 关联度指数、Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析的结果,结合乔木种群的生物学和生态学特征,可将老秃顶子自然保护区水源涵养林群落中 16 种主要乔木划分为 3 个生态种组。

[参 考 文 献]

- [1] 钟彦龙,王银山,徐敏,等. 艾比湖湿地植物种间关系研究[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(5):153-157.
- [2] Greig-Smith P, Quantitative Plant Ecology [M]. 3rd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1983:23-245.
- [3] 尹林克,李涛. 塔里木河中下游地区荒漠河岸林群落种间关系分析[J]. 植物生态学报,2005,29(2):226-234.
- [4] 张丽霞,张峰,上官铁梁. 芦芽山植物群落种间关系的研究[J]. 西北植物学报,2001,21(6):1085-1091.
- [5] 王正文,祝廷成. 松嫩草原主要草本植物种间关系及其对水淹干扰的响应[J]. 应用生态学报,2003,14(6):892-896.
- [6] 吕刚,张由松,祝业平. 老秃顶子自然保护区不同森林类型土壤贮水与入渗特征研究[J]. 水土保持通报,2011,31(1):109-113.
- [7] 李德志,秦艾丽,杨茂林,等. 天然次生林群落中主要树木种群间联结关系的研究[J]. 植物生态学报,1996,20(3):263-271.
- [8] 徐锦海,许冬焱,王辉. 肇庆九龙湖水源涵养林黑桫欏群落主要灌木种群的种间联结性研究[J]. 安徽农业大学学报,2008,35(3):390-395.
- [9] 张金屯. 植被数量生态学方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1995:79-87.
- [10] 张震云,周伶,上官铁梁,等. 半干旱区锦鸡儿群落优势种种间关系[J]. 生态学杂志,2011,30(9):1868-1874.
- [11] 孙勃,张金屯. 天龙山木本群落种间关系的研究[J]. 西北植物学报,2004,24(8):1457-1461.
- [12] Legendre L, Legendre P. Numerical Ecology [M]. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1998:139-144.
- [13] 李晶,上官铁梁. 山西北部沙棘群落优势种种间关系[J]. 山地学报,2006,24(2):222-227.
- [14] Mueller-Dombois D, Ellenberg H. 植被生态学的目的与方法[M]. 鲍显诚译. 北京:科学出版社,1986.
- [15] 周先叶,王伯荪,李鸣光,等. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替过程中群落的种间联结性分析[J]. 植物生态学报,2000,24(3):332-339.
- [16] 邓贤兰,刘玉成,吴杨. 井冈山自然保护区栲属群落优势种群的种间联结关系研究[J]. 植物生态学报,2003,27(4):531-536.
- [17] 杜道林,刘玉成,李睿. 缙云山亚热带栲树林优势种群间联结性研究[J]. 植物生态学报,1995,19(2):149-157.
- [18] 刘喆,岳明. 太白山独叶草及其伴生种的种间关联研究[J]. 武汉植物学研究,2007,25(5):445-450.
- [19] 赵则海,祖元刚,杨逢建,等. 东灵山辽东栎林木本植物种间联结取样技术的研究[J]. 植物生态学报,2003,27(3):396-403.
- [20] 王乃江,张文辉,陆元昌,等. 陕西子午岭森林植物群落种间联结性[J]. 生态学报,2010,30(1):67-78.
- [21] 邓福英,臧润国. 海南岛热带山地雨林天然次生林的功能群划分[J]. 生态学报,2007,27(8):3240-3249.