

山西五鹿山白皮松群落乔木层的种间关联性分析

王丽丽, 毕润成, 闫明*

(山西师范大学 生命科学学院, 山西 临汾 041004)

摘要: 根据 2×2 联列表, 运用方差分析、 χ^2 检验、AC 指数、Ochiai 指数等技术, 对山西五鹿山白皮松群落 50 个样方内的 26 种乔木的种间总体联结关系以及各种对间关联显著性和关联系数进行分析与测定。结果表明: 该地区 26 种乔木的总体联结关系以正关联为主, 表明白皮松林与其外环境是相适应的; 种对间以正、负关联两种形式存在, 成对物种之间正负关联的出现, 是该群落内环境的表现, 也是由群落内环境异质性所致。

关键词: 五鹿山; 白皮松群落; 种间关联

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2012)01-0063-06

An analysis of interspecific association of species in tree layer of *Pinus bungeana* community in Wulu Mountain of Shanxi

WANG Li-Li, BI Run-Cheng, YAN Ming*

(College of Life Sciences, Shanxi Normal University, Linfen 041004, China)

Abstract: A series of techniques including the analysis of variance, χ^2 -test, AC coefficient and Ochiai's coefficient were calculated based upon a 2×2 contingency table to analyze and determine the overall association, the statistical significance, and the coefficient of the each species-pair association of 26 arbor species from 50 quadrats in *Pinus bungeana* community of Wulu Mountain of Shanxi Province. The result indicated that the overall association of 26 kinds of trees in Wulu Mountain of Shanxi Province showed positive correlation, which showed that the *P. bungeana* was suitable with its external environment. These species pairs existed in two forms: positive correlation and negative correlation, the emergence of positive and negative association between these species pairs, which showed the inner environment of the community and was caused by the heterogeneity of the environment within the community.

Key words: Wulu Mountain; *Pinus bungeana* community; interspecific association

种间联结是指不同物种在空间分布上的相互关联性, 与物种的生活环境密切相关, 反映了各物种在不同生活环境中相互影响、相互作用的关系(王伯荪等, 1985)。前人对五鹿山白皮松林的研究主要集中在其生长规律(张首军等, 2007)和更新(王永杰等, 2008)方面, 而种间关联方面尚未涉及。白皮松(*Pinus bungeana*)为松科(Pinaceae)松属(*Pinus*)植

物, 五鹿山白皮松林的生长状况、分布规模在整个白皮松分布区域实属少见, 因此建立保护区并全面开展白皮松的系统研究工作, 使这一具有华北暖温带特色的物种及其林型永久生存, 具有重要的生态学意义和学术价值。

此外, 五鹿山自然保护区白皮松林下生有虎榛子(华北特有种)、连翘、黄栌等近千种维管植物以及

收稿日期: 2011-06-21 修回日期: 2011-10-09

基金项目: 山西省留学基金(20081073); 山西师范大学校基金(YZ08009)[Supported by Fund for Overseas Scholar of Shanxi Province(20081073); Fundamental Research Fund of Shanxi Normal University(YZ08009)]

作者简介: 王丽丽(1989-), 女, 山西太原人, 硕士研究生, 主要从事植物生态学研究工作, (E-mail) Happy-wanglili@163.com。

* 通讯作者: 闫明(1974-), 男, 山西临汾人, 博士, 主要从事植物生态学研究, (E-mail) mycorrhiza@sina.com。

褐马鸡、金雕、豹等国家级珍稀濒危保护动物、近百种真菌和 800 余种昆虫,研究这一地区的白皮松林,能够为保护其林下的珍稀濒危物种及其栖息地、制定珍稀濒危物种保护措施、物种多样性的维持提供一定的理论依据(毕润成等,2004)。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

五鹿山自然保护区地处吕梁山南端,主要保护以国家一级保护动物褐马鸡为主的野生动物及白皮松林和辽东栎林为主的森林生态系统(111°8′~111°18′ E,36°23′45″~36°38′20″ N)。全区总面积 $2.06 \times 10^8 \text{ m}^2$ 属暖温带季风型大陆性气候区。年均气温 $8.7 \text{ }^\circ\text{C}$,年均降水量为 500~560 mm,该区内土壤类型自上而下共分为棕壤、褐土、草甸土、山地草甸土 4 个土类,7 个亚类,15 个土属,27 个土种,地带性植被是落叶阔叶林,植被类型具有明显的过渡性。尽管在局部地段保持了一些原始植被的特征,但现状植被却以天然次生林和人工林为主(毕润成等,2004)。其中,白皮松林所占面积较大,是褐马鸡的主要栖息地,落叶松林属人工造林。

1.2 取样方法

2010 年 10 月在山西五鹿山进行野外调查,于海拔 500~1 400 m 间取 11 个样地,在这 11 个样地内共选取 50 个 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 具有代表性的乔木样方,进行每木调查,记录各主要乔木物种(基径 $> 5 \text{ cm}$)的编号、种名、株数、高度、胸径和冠幅。

1.3 数据处理

1.3.1 重要值计算 乔木(基径 $> 5 \text{ cm}$)的重要值,按以下公式计算,以确定该群落的优势种。相对多度 = (某一物种的个体数/全部物种个体数之和) $\times 100\%$; 相对频度 = (某一物种出现的样方数/所有物种出现的样方数之和) $\times 100\%$; 相对显著度 = (某一物种的胸径和 / 全部物种的胸径之和) $\times 100\%$; 重要值 = (相对多度 + 相对频度 + 相对显著度) / 3。

1.3.2 多物种间总体联结关系检验 用 Schuter (1984)提出的方差比率法(VR)对多物种间的总体联结关系进行测定,计算公式(许冬焱,2009)。

1.3.3 成对物种的关联性检验- χ^2 检验 用 Yates 的连续性校正公式计算 χ^2 值。

1.3.4 联结系数 AC 种间联结系数 AC 用于进一步验证由 χ^2 所测得的结果及说明种间联结的程度

(蒋有绪等,1979)。

1.3.5 用 Ochiai 指数测定种间关联程度 为避免点联结系数 AC 受 d 值影响大而造成的偏差(刘金福等,2001),本文选用测定两物种关联度较好的 Ochiai 指数来计算种间联结程度(朱利君等,2006)。

2 结果与分析

2.1 26 种乔木的重要值

五鹿山 11 个样地的 50 个样方中的乔木重要值计算结果(表 1)如下:白皮松的重要值最大为 28.24%,山杨的重要值最小为 0.20%,白皮松的重要值是山杨的重要值的 141.2 倍,相差较大,这充分说明白皮松在该群落中占优势地位。

2.2 多物种间总体联结性

根据 26 种乔木之间存在与否的 2×2 列联表,由多物种间关联公式计算得: $VR = 1.842 > 1$,所以该地区的 26 种乔木的种间总体联结情况为正关联;又因为 $W = N \times (VR) = 128.979$,查表可得 $\chi_{0.05}^2(50) = 67.505$, $\chi_{0.95}^2(50) = 58.091$, $W < \chi_{0.95}^2(50)$,没有落入 $\chi_{0.95}^2(50) < W < \chi_{0.05}^2(50)$ 区间,说明 VR 偏离 1 显著。可见所测得的 26 种乔木的种间整体联结关系为正关联,并具有一定的显著程度。

引起种间关联的原因很复杂,有化学、物理原因,也有生物原因。Whittaker 曾将物种之间的联结性归纳为以下几种复杂的相互关系即:①A 物种必须依赖于 B 物种而存在;②A 物种对 B 物种的依赖是可以被代替的;③A 物种的存在与 B 物种无关;④B 物种对 A 物种的存在有抑制或阻止作用(Kershaw,1985)。

本文中 26 种乔木间整体呈现出正关联关系(表 2),说明组成白皮松群落的乔木对环境的要求是一致的,目前白皮松林整体与其生长的外环境是相适应的。五鹿山白皮松林的生境地一般都是干旱瘠薄的石质山地,土层较薄(毕润成等,2004),白皮松林长期适应这种干旱瘠薄的外环境与其形成了一个协调、统一的整体。

2.3 成对物种的关联性检验

χ^2 检验用于揭示种对联结的性质和显著程度(王伯荪等,1996)。用 Yates 的连续性校正公式计算求所得 26 种乔木所构成的 325 个种对中 $\chi^2 > 3.841 (P < 0.05)$ 的有 9 对呈显著关联, $\chi^2 > 6.635 (P < 0.01)$ 的有 101 对呈极显著关联。如图 1 所

示,其中极显著正关联($P \leq 0.01$)的种对有:白桦(种 11)和鹅耳枥(种 12)、白桦(种 11)和山核桃(种 13)、五角枫(种 14)和青檀(种 15)、山杨(种 20)和小叶杨(种 21)、华北落叶松(种 24)和紫椴(种 25)5 对,呈显著正关联($0.01 < P \leq 0.05$)的种对只有白

桦(种 11)和五角枫(种 14)这一对,这可能是因为这些物种所组成的群落中一些种的存在为另一些种的生长发育及生存创造了良好的生存条件,它们对生境要求具有互补关系,或是它们对综合环境条件具有相同或相似的需求及适应性,使各物种之间能够

表 1 样方中 26 种主要乔木的重要值

Table 1 The important value of 26 main arbors in the quadrat

序号 No.	植物种类 Plant	种名 Species	相对多度(%) Relative density	相对频度(%) Relative frequency	相对显著度(%) Relative dominance	重要值(%) Important value
1	白皮松	<i>Pinus bungeana</i>	34.66	22.28	27.78	28.24
2	辽东栎	<i>Quercus liaotungensis</i>	20.98	12.94	14.29	16.07
3	油松	<i>Pinus tabulaeformis</i>	12.66	15.34	8.96	12.32
4	榆树	<i>Ulmus pumila</i>	6.11	8.53	11.94	8.86
5	三角槭	<i>Acer buergerianum</i> Miq.	4.89	6.88	7.94	6.57
6	白桦	<i>Betula platyphylla</i>	3.47	5.12	8.99	5.86
7	华北落叶松	<i>Larix principis-rupprechtii</i>	3.65	8.32	2.1	4.69
8	茶条槭	<i>Acer ginnala</i>	3.51	4.4	5.53	4.48
9	青檀	<i>Pteroceltis tatarinowii</i>	2.88	1.01	5.83	3.24
10	五角枫	<i>Acer oliverianum</i>	1.59	3.61	1.01	2.07
11	鹅耳枥	<i>Carpinus turczaninowii</i>	1.29	2.94	0.93	1.72
12	元宝枫	<i>Acer truncatum</i>	0.82	0.78	1.19	0.93
13	栓皮栎	<i>Quercus variabilis</i>	0.59	0.74	0.23	0.52
14	木梨	<i>Pyrus betulaefolia</i>	0.58	0.93	0.02	0.51
15	侧柏	<i>Platycladus orientalis</i>	0.29	0.94	0.21	0.48
16	刺槐	<i>Robinia pseudoacacia</i>	0.19	0.71	0.42	0.44
17	毛柞	<i>Cornus walteri</i>	0.16	0.47	0.63	0.42
18	山核桃	<i>Carya cathayensis</i>	0.21	0.63	0.39	0.41
19	蒙椴	<i>Tilia mongolica</i>	0.15	0.56	0.46	0.39
20	青皮槭	<i>Acer cappadocicum</i>	0.25	0.64	0.22	0.37
21	紫椴	<i>Tilia tuan</i>	0.15	0.47	0.25	0.29
22	杜梨	<i>Pyrus betulaefolia</i>	0.16	0.44	0.18	0.26
23	北京花楸	<i>Sorbus discolor</i>	0.12	0.43	0.14	0.23
24	小叶杨	<i>Populus simonii</i>	0.23	0.31	0.12	0.22
25	白腊树	<i>Fraxinus Americana</i>	0.15	0.37	0.11	0.21
26	山杨	<i>Populus davidiana</i>	0.27	0.12	0.21	0.2

表 2 多物种间总体联结性

Table 2 Overall interspecific association among these species

	方差比率 VR	检验统计量 W	χ^2 临界值	$\chi^2_{0.95}$ (50)	$\chi^2_{0.05}$ (50)
测定结果	1.842	128.979	58.091	67.505	显著正关联

相互兼容,促进生长,为对方提供良好的生存环境;而呈极显著负关联($P \leq 0.01$)的种对有木梨(种 5)和白腊树(种 10)、木梨(种 5)和杜梨(种 18)、木梨(种 5)和毛柞(种 19)等 96 对,呈显著负关联($0.01 < P \leq 0.05$)的种对有:辽东栎(种 1)和三角槭(种 16)、辽东栎(种 1)和刺槐(种 17)、油松(种 2)和元宝枫(种 23)、白皮松(种 4)和三角槭(种 16)、白皮松(种 4)和元宝枫(种 23)、白腊树(种 10)和五角枫

(种 14)、五角枫(种 14)和毛柞(种 19)、五角枫(种 14)和紫椴(种 25)8 对,这可能是由于它们对微环境的需求不大一致,两者相互排斥,互不兼容,生态位重叠机会小所形成的;检验中负关联居多,体现了该群落中 26 种乔木的生态要求具有一定的差异性和相互排斥性,这是由于不同种长期适应不同的微环境,利用不同的资源空间的结果,也是生态位分离的反(Hurlburt, 1969);或是它们争夺有限的资源环境,产生竞争,使它们相互排斥、互不兼容;若它们间的竞争极强,会使得生态位的分离情况十分明显,形成显著负关联。显著、极显著关联的种对有 110 对,占 33.85%,说明物种间互相依赖或对资源竞争程度不强,群落中优势物种处于较为稳定的状态,与 VR 值的结果相符合。

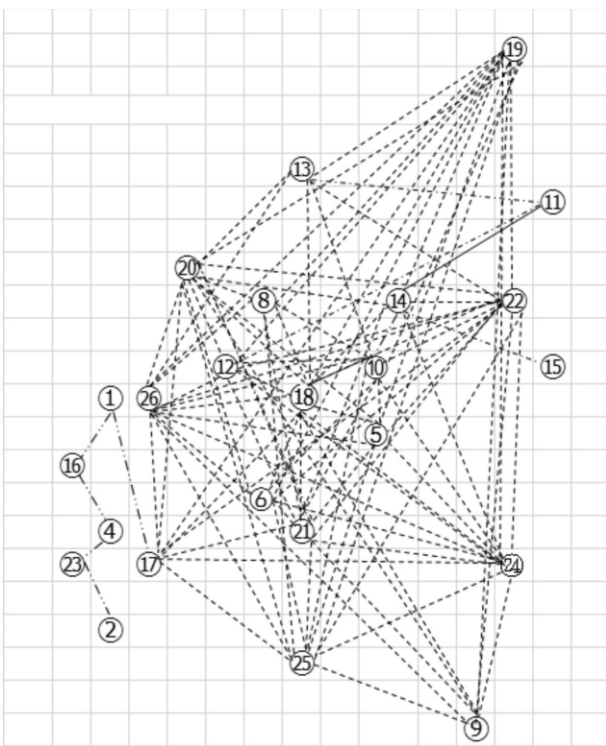


图1 种间关联星座图

Fig. 1 Constellation diagrams showing interspecific associations among the 26 main plants

(The number of species is consistent with Table 1)

物种编号与表1一致。负联结 $\chi^2 \geq 6.635, 3.841 < \chi^2 < 6.635$;

正联结 $\chi^2 \geq 6.635, 3.841 < \chi^2 < 6.635$ 。

No. of species is consistent with Table 1. Negative association

$\chi^2 \geq 6.635, 3.841 < \chi^2 < 6.635$; Positive association

$\chi^2 \geq 6.635, 3.841 < \chi^2 < 6.635$.

2.4 种间联结关系

很显然 AC 的值域为 $[-1, 1]$, AC 值越趋近于 1, 表明物种间的负联结越强; 反之, AC 值越近于 -1, 表明物种正联结性越强, AC 为 0 时, 表明物种间完全独立。如图 2 所示山西五鹿山自然保护区白皮松群落中 26 种乔木所构成的 325 个种对中无 AC 值等于 0 的种对, 这说明这些种对之间都是互相联系的, 没有完全独立的种对; 正关联中 AC 值大于等于 0.5 的种对占有种对的 1.23%, 负关联中 AC 值小于 -0.5 的种对占有种对的 74.15%, 上述分析说明本文中 26 个物种构成的 325 个种对中正联结程度弱于负联结。

2.5 种间关联程度的测定

OI 指数用于表示种对相伴出现的几率和联结性程度的大小, OI 的值越低物种同时出现的几率就越小, 但并不意味着种对间一定为负联结, 反之, OI

的值愈高, 种对同时出现的几率就愈大, 并不意味着种对间一定为正联结(刘金福等, 1998)。

如图 2、3 所示: 在 76 对正联结中 $OI \geq 0.6$ 的种对有 4 对, OI 值在 $[0.4, 0.6)$ 区域的种对有 13 对, OI 值在 $[0.2, 0.4)$ 区域的种对有 32 对, AC 值在 $[0, 0.2)$ 区域的种有 27 对。对于正联结, OI 值愈大种对间正联结性就愈强, 因此, 从以上分析结果可以看出白皮松群落中正关联不够紧密。

在 249 对负联结中 $OI \geq 0.6$ 的种对有 1 对, 无 AC 值在 $[0.4, 0.6)$ 区域的种对, OI 值在 $[0.2, 0.4)$ 区域的种对有 4 对, AC 值在 $[0, 0.2)$ 区域的种有 244 对。对于负联结, OI 值愈小, 负联结性就愈强; 因此, 从以上分析结果可以看出白皮松群落中负关联较强, 这恰好与联结系数 AC 的分析结果是一致的。

3 结论与讨论

(1) 在本文研究中, 白皮松群落中 26 种乔木间的整体关系以正关联为主, 说明组成白皮松群落的乔木对环境的要求是一致的, 即组成白皮松群落的乔木与其生长的外环境是相适应的, 说明以白皮松为建群种的群落性质具有对其生长的大环境的一致性。这与谢焱等甘肃省小龙山濒危珍稀植物白皮松群落种间关联研究结果一致。这可能是由于五鹿山白皮松林一般都生长在干旱瘠薄的石质山地, 土层较薄(毕润成等, 2004), 白皮松林长期适应这种干旱贫瘠的外环境与其形成了一个协调、统一的整体。

通过 χ^2 检验和联结系数 AC 的综合统计分析表明: 山西五鹿山自然保护区白皮松群落 26 种乔木种对间有正关联和负关联两种形式, 这与谢焱等甘肃省小龙山濒危珍稀植物白皮松群落种间关联研究结果也是一致的, 他们认为: 成对物种之间正负关联的出现正是该群落内环境的反应, 正关联说明, 以白皮松为建群种的少数主要物种为林下更多的物种提供了生存空间, 从而使白皮松林群落中的成员协调共存, 处于稳定状态; 负关联说明, 以白皮松为建群种的多数主要物种具有不同的生态学特征, 对微环境具有不同的生态适应性, 两者相互排斥, 互不兼容, 生态位重叠机会小; 或是它们争夺有限的资源环境, 产生竞争, 使它们相互排斥、互不兼容; 五鹿山自然保护区白皮松群落 26 种乔木种对间有之所以会出现正、负关联两种形式, 除了上述原因之外还有其特殊的原因即五鹿山白皮松林的生境地一般都是干

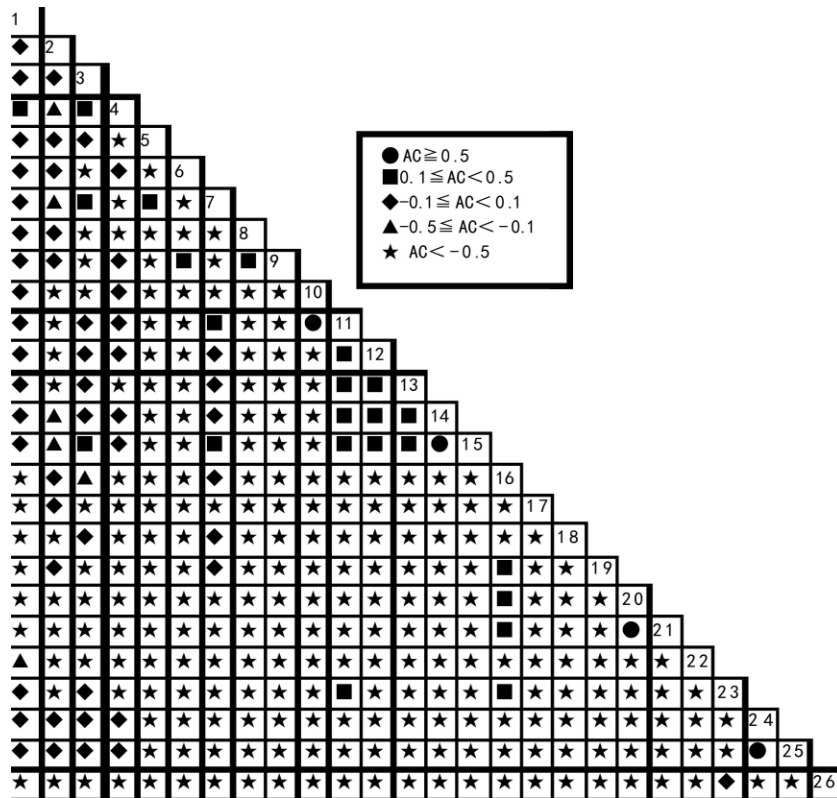


图 2 26 种主要乔木的 AC 值矩阵图

Fig. 2 Half-matrix diagram of AC of interspecific connection among the 26 main plants

旱瘠薄的石质山地, 土层较薄, 林内的各个成员之间难免会因为争夺有限的土壤、水分等资源而相互竞争, 从而形成负关联, 若它们之间的竞争及强, 会使得生态位的分离情况十分明显形成显著负关联。其中绝大多数种对间呈负关联, 可能是由于受海拔地形和森林等因素的影响, 五鹿山自然保护区内形成许多典型的山地小气候(毕润成等, 2004), 林内的不同成员长期适应不同的微环境, 利用不同的资源空间, 使得它们的生态位相互分离, 从而使绝大多数种对间呈现出负关联性。不过, 以上所列举的原因还有待于更进一步考证, 在今后的工作中我们将会专门针对这方面做更加详细的研究。

(2) 近年来, 五鹿山自然保护区周围煤炭资源的无序开采和旅游业的兴起, 对该区珍稀濒危物的生境造成了破坏, 使其数量下降, 因此, 对这种特殊的生态系统要进行合理开采, 控制旅游规模, 实行生态旅游; 另外, 由于近年来城市绿化对白皮松种苗的需求较大, 白皮松资源受到严重破坏, 因此, 建议将白皮松我国这一特有树种列为五鹿山保护区的重点保护对象之一, 实行封山育林, 保护其生境, 特别是要

保护好幼苗, 使其免受认为干扰和破坏, 以确保白皮松林的更新; 其次, 应对其生存的内部环境进行深入的研究, 加强那些对其生存、发展有利的物种的保护, 使物种间建立长期稳定的互惠关系, 协调共存, 为林内珍稀濒危物种提供丰富的食物资源, 为其繁殖、生存和发展创造良好的环境, 使其数量逐渐得到恢复。对在自然情况下很难恢复并且面临灭绝的物种, 可以进行迁地保护。

(3) 物种间的相互作用具有一定的空间范围, 一旦超过此界限, 它们就不再有相互作用。此外, 在温带落叶阔叶林内, 由于物种数目和群落结构比较少和简单, 根据种-面积关系可知当其最小样地面积为 100 m² 时能表现群落的全部特点, 因此, 本研究的取样面积为 100 m²。

参考文献:

王伯荪, 余世孝, 彭少麟. 1996. 植物群落学实验手册[M]. 广州: 广东高等教育出版社: 19-26
 毕润成, 魏学智. 2004. 山西五鹿山自然保护区科学考察报告 [M]. 中国科学技术出版社: 1-249
 张金屯. 1995. 植被数量生态学方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社: 87-89

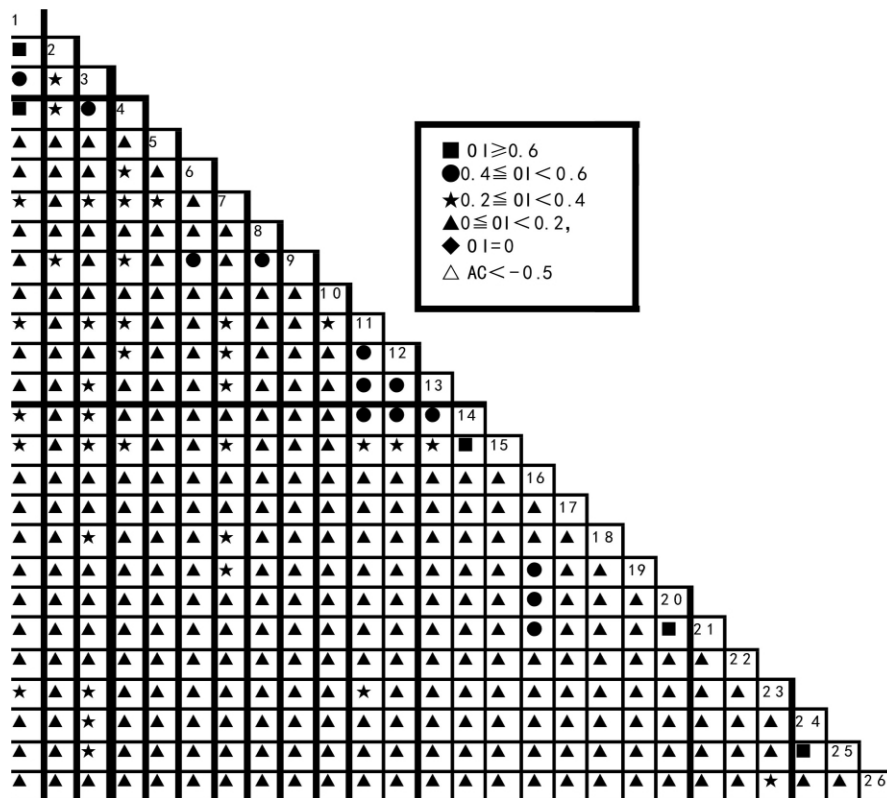


图 3 26 种主要乔木的 OI 值矩阵图

Fig. 3 Half-matrix of Ochiai's coefficient of interspecific connection among the 26 main arobrs

- G. W 考克斯著, 蒋有绪译. 1979. 普通生态学实验手册[M]. 北京: 科学出版社: 106—108
- Greig-Smith P. 1983. Quantitative Plant Ecology[M]. 3rd ed. Blackwell Scientific Publications
- Hurlburt SH. 1969. A coefficient of interspecific association[J]. *Ecology*, **50**: 1—9
- Kershaw. 1985. Quantitative and Dynamic Plant Ecology[M]. London: Edward Arnold Limited: 12—26
- Liu JF(刘金福), Hong W(洪伟). 2001. Study on the interspecific association of species in the vegetation layer in castanopsis kawaka Mii Forest(天然格氏栲林乔木层种群间关联性研究)[J]. *Acta Phytocol Sin*(林业科学), **37**(4): 117—123
- Liu JF(刘金福), Hong W(洪伟), Li JH(李家和). 1998. A study on the community ecology of *Castanopsis kawakamii* (格氏栲群落生态学研究)II. A study on the competition of dominant species in *Castanopsis kawakamii* forest(格氏栲林主要种群的竞争研究)[J]. *J Fujian Coll Fore*(福建林学院学报), **19**(3): 30—36
- Schluter D. 1984. A variance test for detecting species association, with some example applications [J]. *Ecology*, **65**: 998—1 005
- Shi ZM(史作民), Liu SR(刘世荣), Cheng RM(程瑞梅), et al. 2001. Interspecific association of plant populations in deciduous broad-leaved forest in BaoTianman[J]. *Sci Silv Sin*(林业学), **37**(2): 29—35
- Wang YJ(王永杰), Zhang SJ(张首军). 2008. The study of regeneration of *Natura Pinus bungeana* different forest canopy closure(不同郁闭度下天然白皮松林更新的研究)[J]. *Shanxi Norm Univ*(山西师范大学学报), **22**(4): 83—85
- Xie T(谢焱), Ju TZ(巨天珍), Shi HX(师贺雄), et al. 2010. Interspecific association of rare and endangered *Pinus bungeana* community in Xiaolongshan of Gansu(甘肃省小龙山濒危珍稀植物白皮松群落种间关联)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), **29**(3): 448—453
- Xu DY(许冬焱). 2009. Interspecific association of principal tree species in the restorable community of the winddamaged slash in Junyun Mountain(缙云山风灾迹地恢复群落主要乔木树种种间关联性)[J]. *Guihaia*(广西植物), **29**(3): 321—326
- Zhang SJ(张首军), Yang ZF(杨志芳), Liu RT(程瑞梅), et al. 2007. Study on the growth regulations of *pinus bungeana* Zuccini Wulu Mountain National Nature Reserve(五鹿山国家级自然保护区白皮松生长规律研究)[J]. *J Henan Univ*(河南大学学报), **37**(3): 285—288
- Zhu LJ(朱利君), Su ZX(苏智先), Hu JY(胡进耀), et al. 2006. Studies on the relationship of species in *Davidia involucreta* community(珙桐群落种间关系的研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **26**(1): 32—37