

# 沈阳树木园木本植物优势种种间关联性研究

杜楠楠, 刘常富

(沈阳农业大学 林学院, 辽宁 沈阳 110866)

**摘 要:**运用方差比率法(VR)、 $\chi^2$ 检验、Ochiai 指数、联结系数 AC 对中国科学院沈阳树木园的 27 种木本植物优势种的关联性进行了分析。结果表明:园内优势种总体上表现为不显著的正关联,27 种优势种组成的 351 对树种对中, $\chi^2$ 检验有 18 对表现出显著或极显著关联性,其中 15 对表现为正关联,3 对表现为负关联;结合 OI、AC 值,得出 351 对种对中绝大部分呈不显著关联,极小部分表现出显著或极显著关联,说明优势种种群间关系松散,趋于独立,树木园这个近自然林群落具有明显的次生性和年轻性;综合种间联结关系和树种的生态习性,得出 13 个表现良好的生态组合,为城市人工林的营建以及退化植被的恢复提供了一定的参考。

**关键词:**树木园;近自然林;种间关联

**中图分类号:**S 718.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)10-0053-05

种间关联(Interspecific association)是指不同物种在空间分布上的相互关联性,通常是由于群落生境的差异影响了物种的分布而引起的<sup>[1-2]</sup>。种间联结性能够反映各个物种在不同生境下相互影响所形成的有机联系,是生态群落重要特征之一,对研究 2 个物种的相互作用和群落的组成及动态具有重要意义<sup>[3-4]</sup>。

**第一作者简介:**杜楠楠(1987-),女,辽宁大连人,硕士研究生,研究方向为城市森林景观生态学。E-mail:dunannan07@163.com

**责任作者:**刘常富(1972-),男,博士,教授,现主要从事城市森林生态学及园林生态学等研究工作。E-mail:liucf898@163.com

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31270490)。

**收稿日期:**2013-01-15

中国科学院沈阳树木园建于 1955 年,建园至今共引进 500 余种木本植物、150 余种草本植物,全园实行封闭式管理,园内植物经过逾 50 a 的生长和自然更新,已经形成一个多层次、多世代的典型城市近自然林群落,对沈阳城市环境的美化和改善发挥了重要作用,有“大城市里的小森林”的美誉<sup>[5]</sup>。对树木园优势树种关联性的研究不但可以反映不同树种间的相互关系,更好的保护和完善树木园的生态系统,还能为沈阳市人工林的构建以及退化次生林的恢复提供有价值的参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

中国科学院沈阳树木园占地面积 5 hm<sup>2</sup>,坐落于沈阳市内的东南部,南运河带状公园中段,地理坐标为北

## Effects of *Acorus calamus* on Nitrogen and Phosphorus Purification from Water

ZHOU Shi-ling<sup>1</sup>, FANG Yan<sup>2</sup>, SUN Gang<sup>2</sup>, DU Xing-li<sup>2</sup>, HU Zi-yi<sup>2</sup>

(1. Office of Continuing Education, Changchun Education Institute, Changchun, Jilin 130061; 2. School of Life Science, Changchun Normal University, Changchun, Jilin 130032)

**Abstract:** Using foam board with poles as planting plate, the effects of *Acorus calamus* on nitrogen and phosphorus purification were studied in sewages of three different concentrations. The results showed that after 30 days' experiment, *Acorus calamus*'s removal rates of TN in low, middle, high concentration sewages were 60.3%, 67.9%, 73.9%, respectively. *Acorus calamus*'s removal rates of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N in low, middle, high concentration sewages were 65.1%, 68.2%, 75.6%, respectively. *Acorus calamus*'s removal rates of TP in low, middle, high concentration sewages were 52.8%, 60.0%, 62.6%. *Acorus calamus* showed the best removal rate of TN, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, and TP for high concentration sewage, which could be used for biological/ecological rehabilitation of polluted water bodies.

**Key words:** *Acorus calamus*; nitrogen; phosphorus; purification effect; biological/ecological remediation

纬 41°46′、东经 123°26′;气候上属于暖温带半湿润季风型大陆性气候,四季分明,雨热同季;年平均气温为 7.4℃,极端最高气温 38.3℃,极端最低气温 -32.3℃;年平均降水量为 755.4 mm,主要集中在 6~8 月,占全年的 64.4%;无霜期为 150 d;园内地势平坦,土壤深厚肥沃,具有地带性棕壤特征,适于北方各类树种生长<sup>[6]</sup>。

## 1.2 试验方法

在对树木园全面踏查的基础上,采用样方法进行群

表 1 27 种优势种及其频度

Table 1 27 dominant species and their frequency

编号 Number	物种名称 Species name	频度 Frequency/%	编号 Number	物种名称 Species name	频度 Frequency/%
1	金银忍冬 <i>Lonicera maackii</i>	80	15	紫丁香 <i>Syringa oblata</i>	18
2	小叶朴 <i>Celtis bungeana</i>	74	16	榆树 <i>Ulmus pumila</i>	18
3	桑树 <i>Morus alba</i>	56	17	水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	16
4	水蜡 <i>Ligustrum obtusifolium</i>	56	18	茶条槭 <i>Acer ginnala</i>	12
5	无梗五加 <i>Acanthopanax sessiliflorus</i>	48	19	蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	12
6	黄檗 <i>Phellodendron amurense</i>	46	20	水榆花楸 <i>Sorbus alni folia</i>	12
7	卫矛 <i>Euonymus alatus</i>	38	21	榆叶梅 <i>Amygdalus triloba</i>	10
8	花曲柳 <i>Fraxinus rhynchophylla</i>	34	22	鼠李 <i>Rhamnus davurica</i>	10
9	稠李 <i>Padus racemosa</i>	34	23	槲栎 <i>Quercus aliena</i>	10
10	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	24	24	接骨木 <i>Sambucus williamsii</i>	10
11	大叶朴 <i>Celtis koraieris</i>	24	25	糠椴 <i>Tilia mandschurica</i>	10
12	山定子 <i>Malus baccata</i>	24	26	连翘 <i>Forsythia suspensa</i>	10
13	山里红 <i>Crataegus pinnatifida</i>	22	27	山樱桃 <i>Prunus verecunda</i>	10
14	刺榆 <i>Hemiptelea davidii</i>	18			

## 1.3 数据分析

### 1.3.1 总体关联性检验 多物种间总体关联性检验用

方差比率(VR)计算<sup>[7-8]</sup>:  $S_T^2 = (1/N) \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2$ ,  $\delta_T^2 = \sum_{i=1}^s P_i(1-P_i)$ ,  $P_i = n_i/N$ ,  $VR = S_T^2/\delta_T^2$ 。其中,  $S_T^2$  为总体样本方差,  $\delta_T^2$  为总物种数方差,  $P_i$  为物种  $i$  出现的频度,  $N$  为样方总数,  $n_i$  为物种  $i$  出现的样方数,  $T_j$  为样方  $j$  内出现的物种总数,  $t$  为样方中种的平均数。若  $VR > 1$ , 表示多物种间为正关联;  $VR < 1$ , 表示多物种间为负关联;  $VR = 1$ , 表示物种间相互独立。应用统计量  $W = N \times VR$ , 检验  $VR$  值偏离 1 的显著程度, 如果物种不显著相关联, 则  $W$  落入由下面  $\chi^2$  分布给出的界限的概率为 90%:  $\chi_{0.95}^2(N) < W < \chi_{0.05}^2(N)$ 。

1.3.2 成对物种的关联性检验 依据园内样地调查结果, 建立  $2 \times 2$  联列表, 分别计算 a、b、c、d 的值; 其中, a 为 2 个种同时出现的样方数, b、c 分别为只有 1 个种出现的样方数, d 为 2 个种都不出现的样方数<sup>[4]</sup>。

$$(1) \chi^2 \text{ 检验}^{[7-8]}: \chi^2 = \frac{N(|ad - bc| - N/2)^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)},$$

其中,  $N$  表示取样总数; 当  $P > 0.05$ , 即  $\chi^2 < 3.841$  时, 认为 2 个种无联结; 当  $0.01 < P < 0.05$ , 即  $3.841 < \chi^2 < 6.635$  时, 认为种间联结显著; 当  $P < 0.01$ , 即  $\chi^2 > 6.635$  时, 认为种间联结极显著。若  $ad - bc > 0$ , 则为正联结;

落调查, 根据园内群落特征, 设置 50 个面积为  $5 \text{ m} \times 10 \text{ m}$  的样方, 记录样地中木本植物的种名、株(丛)数、树高、胸径、冠幅、健康状况等。同时记录样地的群落特征及自然更新状况。

根据调查结果, 结合园内群落特征, 选出 27 种优势种(频度  $\geq 10\%$ ) 进行种间关联性分析, 所选树种及其频度见表 1。

$ad - bc < 0$ , 则为负联结。

$$(2) \text{Ochiai 指数}^{[7-8]}: OI = \frac{a}{\sqrt{(a+b)(a+c)}}, OI \text{ 指}$$

数表示物种相伴出现的几率和联结程度,  $OI$  为 0 时表示无关联,  $OI$  为 1 时表示关联程度最大。

$$(3) \text{联结系数 } AC^{[4,7]}: \text{若 } ad \geq bc, \text{ 则 } AC = \frac{(ad-bc)}{(a+b)(b+d)}; \text{若 } ad < bc \text{ 且 } d \geq a, \text{ 则 } AC = \frac{(ad-bc)}{(a+b)(a+c)}; \text{若 } ad < bc \text{ 且 } d < a, \text{ 则 } AC = \frac{(ad-bc)}{(b+d)(c+d)}。$$

$AC$  的值域为  $[-1, 1]$ ,  $AC$  值越近于 1, 表明物种间正联结性越强;  $AC$  值越接近 -1, 表明物种间的负联结越强; 当  $AC$  值为 0, 表示物种间完全独立。

## 2 结果与分析

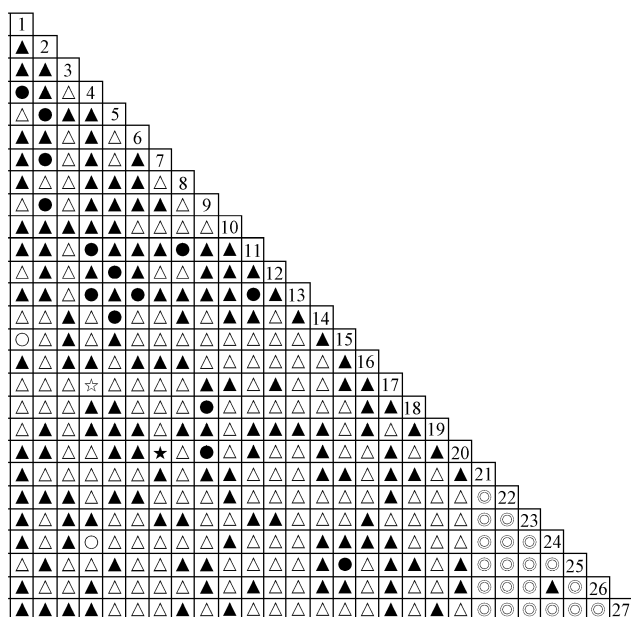
### 2.1 优势种总体关联性分析

对树木园木本植物优势种总体关联性进行计算, 得  $VR = 1.2485 > 1$ ,  $W = N \times VR = 62.425$ , 查表知  $\chi_{0.05}^2(50) = 67.5$ ,  $\chi_{0.95}^2(144) = 34.76$ , 由于  $VR > 1$  且统计量  $W$  落入  $\chi^2$  分布给出的界限, 即  $VR$  值偏离 1 不显著, 所以树木园近自然林群落优势树种总体上呈现出正联结关系, 表明园内优势种种间关联性比较松散, 各种群趋于独立分布。

## 2.2 成对物种的关联性分析

$\chi^2$  检验计算结果(图 1)显示,树木园 27 种优势树种组成的 351 对物种对中,正关联 163 对,负关联 183 对,

无关联 5 对。有 18 对种对表现出显著或极显著关联性,其中有 15 对表现出正关联,占总种对数的 4.27%;有 3 对表现为负关联,占总种对数的 0.9%。

图 1 27 种优势树种  $\chi^2$  检验半矩阵图

注:◎:无关联;★:极显著正关联;●:显著正关联;▲:不显著正关联;☆:极显著负关联;○:显著负关联;△:不显著负关联。

Fig. 1 Semi-matrix diagram of  $\chi^2$  test of 27 dominant species

Note:◎:No correlation;★:Extremely significant positive correlation;●:Significant positive correlation;▲:Non positive correlation;☆:Extremely significant negative correlation;○:Significant negative correlation;△:Non negative correlation.

$\chi^2$  检验能够较为准确地刻划种间关联性之间的差异<sup>[9]</sup>,但其只能反映出种间关联显著的种对,而那些经检验呈不显著关联的种对不代表不具有联结性,因此需要结合 OI 指数、联结系数 AC 对种间联结程度进行进一步的测定。

351 对种对间的 OI 值结果(图 2)显示, $OI \geq 0.6$  的种对有 13 对, $0.4 \leq OI < 0.6$  的种对有 54 对, $0.2 \leq OI < 0.4$  的种对有 122 对, $0 < OI < 0.2$  的种对有 105 对, $OI = 0$  的种对有 56 对。 $OI \geq 0.4$  的种对占种对总数的 19%,显示出树木园优势树种种群之间联结程度不高。在  $OI \geq 0.4$  的 67 对种对中,由金银忍冬、小叶朴、桑树、水蜡、无梗五加、黄檗分别与其它树种构成的种对占据了 82%,这 6 种树种在样地中的频度很高,所以与其它种共同出现的几率大。

351 对种对间联结系数 AC 值计算结果(图 3)显示, $AC > 0.6$  的种对有 24 对, $0.4 < AC \leq 0.6$  的种对有 9 对, $0.2 < AC \leq 0.4$  的种对有 45 对, $-0.2 < AC \leq 0.2$  的种对有 148 对, $-0.4 < AC \leq -0.2$  的种对有 33 对, $-0.6 < AC \leq -0.4$  的种对有 32 对, $AC \leq -0.6$  的种对有 60 对。其中  $AC \geq 0.4$  的种对仅占种对总数的 9.4%,大部分种对间联结性较弱。有 56 对种对 AC 值为 -1,表示为强负联结,这 56 对种对中只有水蜡-接骨木的  $\chi^2$  检验表现

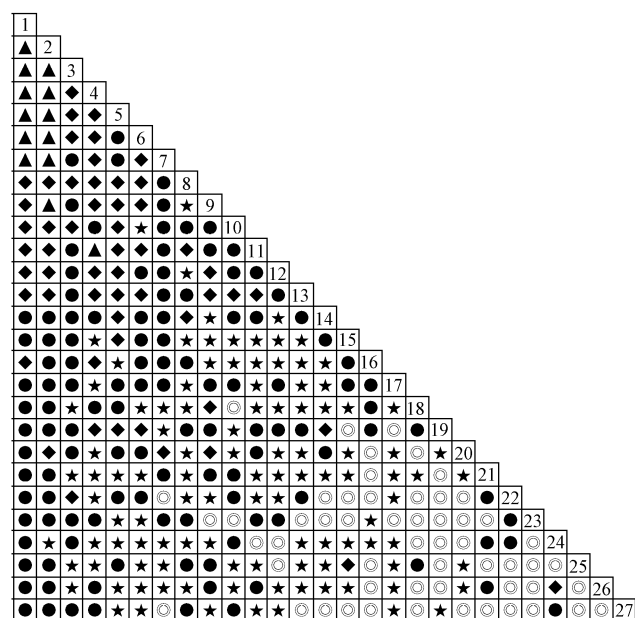


图 2 27 种优势树种种间联结 OI 值半矩阵图

Fig. 2 Semi-matrix diagram of Ochiai's coefficient (OI) of 27 dominant species

注:◎:OI=0;★:0<OI<0.2;●:0.2≤OI<0.4;◆:0.4≤OI<0.6;▲:OI≥0.6。

出显著负关联,其余种对均为不显著负关联,可见过多的  $AC=-1$  是不合理的。56 对  $AC=-1$  的种对其  $OI$  值都为 0,表示 56 对树种没有在同一样方中同时出现,  $a=0$  所以  $AC$  值为  $-1$ 。树木园内的树木受人工定点栽培的限制,许多树种分布在特定的位置上,其自然更新又没有形成规模,所以频度较低,与其它一些树种不在同一样方中同时出现。在树种出现次数较少,尤其是当  $a=0$  时,  $AC$  值会夸大物种间的联结性<sup>[10]</sup>,此时,应该以  $\chi^2$  检验为基础,结合样地的实际情况来分析。

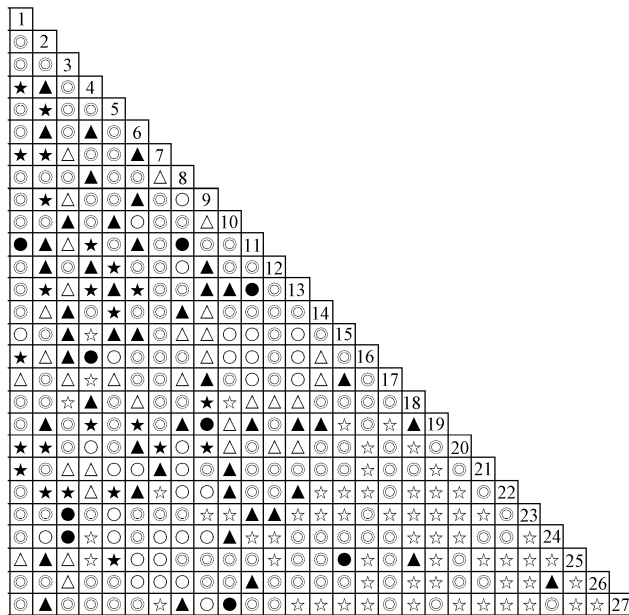


图 3 27 种优势树种间联结  $AC$  值半矩阵图

Fig. 3 Semi-matrix diagram of association coefficient ( $AC$ ) of 27 dominant species

注:☆:  $AC \leq -0.6$ ; ○:  $-0.6 < AC \leq -0.4$ ; △:  $-0.4 < AC \leq -0.2$ ; ●:  $-0.2 < AC \leq 0.2$ ; ▲:  $0.2 < AC \leq 0.4$ ; ●:  $0.4 < AC \leq 0.6$ ; ★:  $AC > 0.6$ 。

成对物种关联性测定结果发现,  $\chi^2$  检验呈显著或极显著正关联的种对其  $OI$ 、 $AC$  值均大于 0.4, 3 个测定方式在揭示这 15 对种对间的关联性和联结程度上表现一致。其中,卫矛-水榆花楸的  $OI$  值为 0.56、 $AC$  值为 1,  $\chi^2$  统计量为 8.335,表现出极显著正关联。卫矛适应性强,不同于树木园内多数分布于群落边缘的灌木,其往往分布于林下,良好的耐阴性使得它在光照不足时也能正常生长;水榆花楸喜阴湿,多生于混交林或灌木丛中。水蜡-大叶朴的  $OI$ 、 $AC$  值均大于 0.6,  $\chi^2$  检验表现出显著正关联,这 2 个树种都具备较强的适应性,喜光照也稍耐阴,且对土壤要求不严。正联结体现了物种利用资源的相似性和生态位的重叠性<sup>[11]</sup>。

有 9 对种对(忍冬-卫矛、黄檗-蒙古栎等)的  $AC$ 、 $OI$  值均大于 0.4,联结程度较高,但其  $\chi^2$  检验为不显著正关联。可见联结度高并不一定表示关联性显著,反之亦

然<sup>[12]</sup>。  $\chi^2$  检验揭示的是种对之间联结的性质和显著程度,  $Ochiai$  指数、联结系数  $AC$  表示的是种对间的联结程度,它们之间是有区别的。

$\chi^2$  检验、 $Ochiai$  指数、联结系数  $AC$  的结果显示,树木园 27 种优势树种组成的 351 对种对的关联性,不显著的占绝大部分,呈显著或极显著的种对所占比例很小,大部分树种对之间的联结程度较低,说明了树木园优势树种间联结关系比较松散。在对树木园进行群落调查的过程中发现,小叶朴、黄檗、桑树、刺榆、花曲柳、水曲柳等树种的天然更新能力很强,园内近自然林群落表现出显著的次生性,优势树种处于此消彼长的动态变化之中,这说明了树木园这个近自然林群落的结构和功能尚未达到稳定状态,测定结果与园内的实际情况是相符的。

### 3 结论与讨论

树木园木本植物优势种的种间关联测定结果表明,优势种总体上表现为不显著的正关联;27 种优势树种组成的 351 对种对中,关联性不显著的占绝大部分,显著或极显著的种对所占比例很小,种对间关联程度较弱,优势种之间趋于独立分布。

根据 27 个优势树种的种间关联性和联结程度,结合其生态习性,得到 13 个表现良好的生态组合:小叶朴-卫矛-稠李-水榆花楸、水蜡-大叶朴-山里红、忍冬-水蜡-大叶朴、忍冬-水蜡-榆树、水蜡-黄檗-蒙古栎、黄檗-山里红、小叶朴-无梗五加、无梗五加-山定子、无梗五加-刺榆、花曲柳-大叶朴、稠李-茶条槭、紫丁香-糠椴、忍冬-卫矛。树木园作为一个典型的城市近自然林群落,是沈阳市城市森林建设的成功典范,这些生态组合对沈阳市人工林的营建以及退化植被的恢复具有一定的参考价值。

树木园内树种繁多,但许多树种的个体数量很小。为使调查合理,样地的设置避开了稀有树种聚集的群落,并尽可能覆盖全园。样方的大小对种间关联的测定结果存在较大影响,在南亚热带常绿阔叶林种间联结性测定时,张桥英等<sup>[9]</sup> 研究认为最适取样面积在 50~100  $m^2$ ,取样数目在 30~50 个;还有学者在种间关联测定研究中发现<sup>[13]</sup>,正关联与负关联的物种对数越接近时,取样面积越合理。该调查设置了 50 个 50  $m^2$  的样方对树木园优势树种关联性进行测定,27 种优势树种组成的 351 对种对,正关联 163 对,负关联 183 对,无关联 5 对,正负关联种对数比较接近,取样方法是合适的。

树木园中联结性显著的树种大部分为沈阳市的地带性树种。陈玮等<sup>[14]</sup> 曾对沈阳市地带性质植被油松栎林 10 种木本植物的关联性进行了测定,结果显示,除了黄檗与山里红呈现出显著的正关联外,其余种对的联结性都较低。在树木园的调查中,黄檗与山里红同样表现出显著正关联,而在油松栎林中表现为不显著正关联的



花曲柳-大叶朴、大叶朴-山里红在此表现出了显著的正关联。这反映出了植物种对间的关联性会受到群落类型、演替阶段、环境条件、取样方法等因素的影响。在油松栎林与树木园中,花曲柳-大叶朴、大叶朴-山里红的联结性质是一致的,正关联表示着种对中一方的存在对另一方或双方是有利的。

植物种对的负关联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<sup>[11]</sup>。树木园 351 对种对中负关联的种对数目过半,偏多的负关联可能是由于园内许多树种频度较低造成的。调查样地中金银忍冬-紫丁香、水蜡-水曲柳、水蜡-接骨木 3 对种对的  $\chi^2$  检验和联结系数的测定结果均表现出了显著负关联,表示树种间对生境要求的不同,沈阳树木园面积较小,园内生境因子差异不大,且适合引种北方各类树种,其负关联可能是由于种间竞争、干扰、他感作用或人为栽植形式等原因造成的,尚有待进一步研究。

#### 参考文献

- [1] 王伯荪. 群落生态学[M]. 北京:高等教育出版社,1987:50-54.
- [2] 彭少麟,周厚诚,郭少聪,等. 鼎湖山地带性植被种间联结变化研究[J]. 植物学报,1999,41(11):1239-1244.
- [3] 李凌浩,史世斌. 长芒草原群落种间关联与种群联合格局的初步研究[J]. 生态学杂志,1994,13(3):62-67.
- [4] 王伯荪,彭少麟. 亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究:I. 种间联结测式的探讨与修正[J]. 植物生态学报,1985(4):274-285.
- [5] 何兴元. 沈阳城市森林[M]. 北京:科学出版社,2004:84-85.
- [6] 何兴元,陈玮,刘常富,等. 城市近自然林的群落生态学剖析[J]. 生态学杂志,2003,22(6):162-168.
- [7] 刘金福,洪伟,樊后保,等. 天然格氏栲林乔木层种群间关联性研究[J]. 林业科学,2001,37(4):117-123.
- [8] 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.
- [9] 张桥英,彭少麟,张素梅,等. 澳门松山市政公园优势种的种间关联性分析[J]. 生态环境,2008,17(4):1541-1547.
- [10] 郭志华,卓正大,陈洁,等. 庐山常绿阔叶、落叶阔叶混交林乔木种群间联接性研究[J]. 植物生态学报,1997,21(5):424-432.
- [11] 孙中伟,赵士洞. 长白山北坡椴树阔叶红松林群落木本植物种间联结性与相关性研究[J]. 应用生态学报,1996,7(1):1-5.
- [12] 郭相亿,李裕红,林慧萍. 牛姆林区青钱柳群落的主要种群种间关联特征[J]. 福建林学院学报,2001,21(2):181-185.
- [13] 祝宁,邵彬,常健斌,等. 原始红松林下木本植物种间结合性初探[J]. 东北林业大学学报,1988,16(2):1-9.
- [14] 陈玮,徐文铎. 沈阳东陵区油松栎林群落数量特征的研究[J]. 北京林业大学学报,2005,27(6):36-42.

## Interspecific Association Research on the Dominant Species of Woody Plant in Shenyang Arboretum

DU Nan-nan, LIU Chang-fu

(College of Forestry, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866)

**Abstract:** Variance ratio (VR),  $\chi^2$  test, Ochiai's coefficient (OI) and association coefficient (AC) were used to study the association of 27 dominant species in Shenyang Arboretum, Chinese Academy of Sciences. The results showed that the overall association among dominant species were not significantly positive correlation. 27 dominant species composed 351 species-pairs. According to the result of  $\chi^2$  test, the interspecific associations of 18 species-pairs were significant or extremely significant, 15 species-pairs revealed significant or extremely significant positive correlation, 3 species-pairs revealed significant or extremely significant negative correlation. Combined with Ochiai's coefficient (OI) and association coefficient (AC), it concluded that the majority of the 351 species-pairs showed no significant association, a very small part of species-pairs showed significant or extremely significant correlation. It indicated that the dominant species were not closely related to each other and they were relatively independent distribution, which showed the obvious secondary and juvenility characteristics. According to the interspecific association and the ecological habits of dominant species, 13 ecological species groups were obtained. These ecological species groups would provide a certain reference on the construction of urban forest and the restoration of degraded vegetation.

**Key words:** arboretum; near natural forest; interspecific association