

寒地城市生态园林树种组合的植物群落关联性分析

于波涛, 杨天琪, 李 臣

(东北林业大学 经济管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 寒地城市因其气候的特殊性, 树种之间的关联性较为特殊。以黑龙江省为例, 调查常见园林树种的病虫害, 并对树种抗病虫害能力进行分析。运用 χ^2 统计量、联结系数分析树种间关联性; 根据相同树种间的负密度制约效应, 对树种种内关联性进行研究; 结合树种的抗病力得出 3 组关联性较好的树种, 可作为生态园林的基础植物群落。在关联性研究的基础上, 对树种的最适多度进行研究, 得到 2 种具有明显优势的树种——白桦 *Betula platyphylla* 和水曲柳 *Fraxinus mandschurica*, 可作为黑龙江省生态园林的骨干树种。图 2 表 7 参 22

关键词: 园林学; 寒地城市; 生态园林; 树种关联; 最适多度; 黑龙江

中图分类号: S731.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2016)02-0247-10

Analysis on phytocoenosis association of tree species composition in ecological gardens of winter cities

YU Botao, YANG Tianqi, LI Chen

(School of Economics and Management, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China)

Abstract: Due to the unique climate in the winter cities, the association among tree species in these cities is special. Taking Heilongjiang province as an example, this paper surveyed the diseases and insect pests of common garden tree species, and analyzed the disease and insect pest-resistant ability of different tree species. In addition, it analyzed inter-specific association of tree species applying χ^2 statistical magnitude and association coefficient, and conducted research on intra-specific association of tree species as per negative density restriction effect on the same tree specie; and obtained three groups of tree species with good association and strong resistance to disease, which can be used as the basic plant communities of ecological garden. On the basis of association research, it conducted research on the optimum abundance of tree species, and obtained two tree species with significant advantages-*Betula platyphylla* and *Fraxinus mandschurica*, which can be used as the dominant tree species of ecological garden. [Ch, 2 fig. 7 tab. 22 ref.]

Key words: landscape architecture; winter city; ecological garden; related species; optimal degrees; Heilongjiang Province

城市作为一个庞大的生态系统, 由社会、经济、自然等子系统有机构成, 具有开放性、脆弱性、依赖性等特征。在寒地城市中, 因其气温的特殊性, 生态环境变得尤为脆弱。在城市中生态园林是具有自净功能的重要组成部分, 在改善环境质量, 维护城市生态平衡、美化环境方面起着重要的作用^[1]。对于生态园林树种选择问题, 传统做法是依靠园林专家或有经验的园林工作者对树种进行定性选择, 而定量的对园林树种选择的方法很少运用。园林植物群落里的树种之间并不是孤立存在的, 而是与其他树种的相互作用, 相互影响中生长, 并表现为或有利或有害的种间关系。产生这种种间关系的原因一般有以下几点: ①相似(正联结)与不相似(负联结)的环境需要; ②一个树种为另一个树种的定居营造了合适条件

收稿日期: 2015-04-27; 修回日期: 2015-05-26

基金项目: 黑龙江省科学技术攻关项目(GC10C10101)

作者简介: 于波涛, 教授, 博士, 从事林业技术经济分析等研究。E-mail: hopebirdy@126.com

或者前者对后者实施加压力迫使二者形成正联结；③2个树种在资源竞争中互相排斥(生态位重叠)造成两者负联结；④不同树种之间在根系中通过化学因素或者物理因素相互影响，也可能造成树种间正联结或负联结^[2-3]。近年来国内外有不少关于植物群落内部种间关联性的研究，李凌浩等^[4]应用变量分析法、方差分析法， χ^2 统计量等试验方法对长芒草草原生态群落的10种主要植物种间的关联和种群间的关联格局进行了详细研究，结果表明存在45个种间对，其中正相关的种对有6个，负相关的种对有5个，其余皆为不相关种对。刘健等^[5]对天然阔叶混交林进行了研究，检验了105个种间对，11个呈显著正关联，4个呈现显著负相关。刘仲健^[6]根据植物的生长指数，对园林绿化树种进行选择，并根据树种的作用将园林树种分为基调树种、骨干树种和一般树种。先前的研究一般是以森林中的树木作为研究的唯一对象，很少有研究园林树种之间的关联性，对于寒地园林树种的研究更是罕见。对园林树种构成威胁的病虫害的种类较为繁杂，重点研究侵染性病虫害对寒地园林树木的影响。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于黑龙江省尚志市帽儿山地区东北林业大学实验林场内。该地区属于长白山系支脉张广才岭西坡小岭余脉，为松嫩平原向张广才岭过渡的地山丘陵区。45°14'~45°29'N，127°29'~127°44'E。总面积为26 291 hm²，其中林地面积20 383.1 hm²，非林地面积944.3 hm²，森林覆盖率为80%。该地区属于温带季风气候，具有明显的大陆性，四季分明，冬季长而寒冷，春季少雨，秋季气候干燥，夏季短而炎热。年平均气温为2.8℃，极端低温一般而言能达到-40℃，极端高温可达35℃，年均降水量为723.8 mm，主要集中于6-8月，年日照数为247.3 h，无霜期120~140 d^[7-8]。

1.2 研究方法

1.2.1 受害程度分析法 以黑龙江省为例，对哈尔滨市、伊春市、黑河市、牡丹江市的主要的园林树种所遭受的病虫害情况进行调查；采用抽样调查的试验方法，采集主要的病虫害信息及树木受害程度。所选取的试验地为黑龙江省森林植物园(哈尔滨)、梅花山国家森林公园(伊春市)、黑河森林公园、牡丹江人民公园。采取定点抽样的调查方法，根据园林中绿化区域的实际情况选取50~60株树木进行详细调查，并记录病虫害的寄主、为害树木的部位及为害程度。将它划分为4个等级(表1)。根据上述标准对园林常见树木进行详细调查。

表1 树木病虫害危害等级评价标准

Table 1 Evaluation standard on hazardrating of treediseases and insect pests

树木受害等级	受害表现
+	叶片危害率低于20%；杆茎部危害低于1/4周长
++	叶片危害率在20%~50%；干茎部危害在1/4~2/4周长之间
+++	叶片危害率在50%~70%之间，干茎部危害在2/4~3/4周长之间
++++	叶片受害率大于70%或者死亡，干茎部危害大于3/4周长或者死亡

1.2.2 取样方法 2012年6月在帽儿山林场试验区建立100 m × 100 m的检测样地，将监测样地按照网格法划分成100个10 m × 10 m的样方，从中选择出具有群落代表性的样地45块并做好标记以备复查。对于样方中生长指数大于60的树种进行详细调查。记录树种的名称、种类、树高级别、胸径、健康等级，健康等级的划分条件^[9]见表2。参照上表并根据公式(1)计算每类植物的生长指数。

表2 树木健康等级评价标准

Table 2 Evaluation standard on tree health level

健康等级	植物表现
0	枝条干枯，整株濒死，甚至死亡，观赏价值丧失
1	生长态势衰弱，病虫害严重，树相残破，有碍观赏
2	生势较好，姿态一般，时有病虫害或风折，有一定观赏价值
3	姿态及生势良好，有少量病虫害，具有较大的观赏价值
4	姿势优美，生长态势较好，无病虫害，具有较强的抵挡自然灾害能力，相当高的观赏价值

$$\text{生长指数} = \frac{\sum \text{每级株树} \times \text{各该级代表数值}}{\text{总株数} \times \text{最高一级数}} \quad (1)$$

1.2.3 种间关联度计算方法 对树种种间关联性分析, 首先要根据树种在其样方内的存在与否的数据编制 2×2 联列表。表 3 内 a 为物种 A 和 B 存在的样方数; b 为物种 B 存在而 A 不存在的样方数; c 为 A 存在而 B 不存在的样方数; d 为 2 个物种都不存在的样方总数; N 为样方总数。基于 2×2 列表, 使用 χ^2 统计量检测物种间的关联性。公式为: $\chi^2 =$

表 3 2×2 列表Table 3 2×2 contingency table

项目	物种 B		总计	
	有	无		
物种 A	有	a	b	$a+b$
	无	c	d	$c+d$
总计	$a+c$	$b+d$	$N=a+b+c+d$	

$\frac{n[|ad-bc|-n/2]^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$ 。其中, n 为调查的小样方的总数, χ^2 近似服从自由度为 1 的 χ^2 分布, 当 $\chi^2 < 3.84$ 时, 相比较的两物种间相互独立; 当 $3.84 \leq \chi^2 < 6.64$ 时 2 个物种间存在一定的生态关联; 当 $\chi^2 \geq 6.64$ 时, 物种间存在着显著的生态关联。 χ^2 不存在负值, 这一指标只能反映物种间的关联强度, 但是无法判定正负关联。判定正负关联的方式为: 当 $ad > bc$ 时, 物种间为正关联; 当 $ad < bc$ 时, 物种间为负关联^[10]。为进一步测定物种间的关联度, 采用物种间联接系数 A_c , A_c 的值域为 $[-1, 1]$ 。若 A_c 的值趋近于 1, 表明物种间具有较强的正关联; 若 A_c 的值趋近于 -1, 表明物种间具有较强的负关联; 若 A_c 值为 0, 表明物种间完全独立^[11-14]。 A_c 的计算公式为: 如 $ad > bc$, $A_c = \frac{ad-bc}{(a+b)(b+d)}$; 如 $ad < bc$, 且 $d \geq a$, $A_c = \frac{ad-bc}{(a+b)(a+c)}$; 如 $ad < bc$, 且 $d < a$, $A_c = \frac{ad-bc}{(d+b)(d+c)}$ 。

1.2.4 物种重要值计算方法 在植物群落内物种重要值是衡量某个物种的在群落中的作用和地位的综合数量指标, 进而确定群落的优势度与显著度。对于园林树木群落而言, 通过进行物种重要值进行分析, 可以确定出园林中的优势树种。在研究植物群落的重要值时, 常常将多度、优势度、频度、盖度作为度量植物群落重要值的指标^[15-17]。重要值(importance value, I_v)的计算公式为: 乔木群落重要值 $I_v = (\text{相对多度} + \text{相对优势度} + \text{相对频度})/3$; 灌木群落重要值 $I_v = (\text{相对多度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度})/3$; 其中: 相对多度 = (某植物的个体总数/同一生活型植物个体总数) $\times 100\%$; 相对盖度 = (某植物的盖度/全部植物的总盖度) 100% ; 相对优势度 = (该种个体胸面积和/样方中全部个体面积总和) 100% ; 相对频度 = (该种的频度/所有种的频度之和) 100% 。

2 结果与分析

2.1 寒地园林树种关联性的受害程度分析

通过对黑龙江省 4 地的园林树种受害情况的调查, 采集到为害园林树种的虫害 30 种, 其中鞘翅目 Coleoptera 类昆虫 10 种占 33%, 鳞翅目 Lepidoptera 类昆虫 13 占 43%, 其他类害虫 7 种占 17%。在这 30 种虫害中较为常见为害树种严重的有 5 种, 分别为 榆毒蛾 *Ivela ochropoda*, 四点象天牛 *Coleoptera*, 黄褐天幕毛虫 *Malacosoma neustria testacea*, 榆木蠹蛾 *Holcocerus vicarius*, 榆紫叶甲 *Ambrostoma quadri-impressum*。其中榆毒蛾、黄褐天幕毛虫、榆木蠹蛾为叶部害虫, 四象点天牛、榆紫叶甲为枝干部害虫。在调查的这 30 种虫害中, 叶部害虫较为普遍, 在调查全区均有分布, 总体发生率达到 36.4%。在园林中害虫大量取食树叶, 但是很少发现树木因虫害死亡现象。在食叶害虫中, 危害最大是黄褐天幕毛虫, 主要以蔷薇科 Rosaceae 植物为主要取食对象, 虫害大面积爆发时每株树上可见几十个网幕。蛀干部害虫种类较少, 发生大面积灾害的几率较低, 但对园林树木的破坏严重, 能够造成树木的风折、肿瘤甚至是整株死亡。更为严重是目前在生产上还没有十分有效的控制办法。根部害虫较少, 虫子主要危害一些幼树。

本次试验采集到园林树木病害 12 种, 从树种的为害部位统计, 叶部病害 6 种, 枝干部病害 3 种, 根部病害 3 种。其中, 为害树种较为主要的病害有锈病、白粉病、煤污病、炭球菌病腐、根腐病、白腐病。对树种危害最为严重的为枝干部病害, 虽然其发病率仅为 3.6%, 一旦发病, 凭借其侵染力, 能够

导致树木大面积的严重损害甚至死亡。

根据实验数据,分析得到黑龙江省主要树种的病虫害情况,见表4。通过对树种的病虫害的分析研究可知,在常见的17种树种中,抗性较好的树种有白桦 *Betula platyphlla*, 暴马丁香 *Syringa reticulata* var. *amurensis*, 早花忍冬 *Lonicera ruprechtiana*, 黄檗 *Phellodendron amurense*, 色木槭 *Acer mono*, 紫椴 *Tilia amurensis*, 易感病虫害的树种有柳树 *Salix*, 春榆 *Ulmus propinqua*, 榆树 *Ulmus laciniata*, 山杨 *Populus davidiana*。易感病树种对多种病虫害的抗性都较为薄弱,在寒地园林设计中应减少对易感病树种的应用,在种植期间应当重点关注,做到预防为主,及时防治。在虫害中对四点天象天牛对树种具有较为普遍的影响,由于其属于枝干部害虫,防治较为困难,对树种的危害较为严重,在树种配置时应当将易感四点象天牛的树种分开种植。在病害中,对树木危害较为普遍和严重的是白粉病与根腐病。通过对树木之间的病虫害调查研究,得出较为满意的树种组合有:①黄檗,紫椴,早花忍冬,白桦;②水曲柳 *Fraxinus mandshurica*, 白桦,色木槭,落叶松 *Larix gmelinii*;③兴安茶藨 *Ribes pauciflorum*, 枫桦 *Betula costata*, 紫椴,色木槭。

表4 寒地园林常见树种病虫害发生情况调查

Table 4 Questionnaire for common garden tree pest in cold region

树种	虫害					病害					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>		++		+				+			+
春榆 <i>Ulmus propinqua</i>	++	+		+	+						+
榆树 <i>Ulmus laciniata</i>	++	++		++	++			+	+	+	+
山杨 <i>Populus davidiana</i>	+					+	+	+	+	+	
白桦 <i>Betula platyphlla</i>			+							+	
暴马丁香 <i>Syringa reticulata</i> var. <i>amurensis</i>											
柳树 <i>Salix</i> sp.	+	+++	++	+			++	++			
兴安茶藨 <i>Ribes pauciflorum</i>										+	
核桃楸 <i>Juglans mandshurica</i>		++						+			++
枫桦 <i>Betula costata</i>			+					+		+	
暖木条荚蒾 <i>Viburnum burejaeticum</i>											
早花忍冬 <i>Lonicera ruprechtiana</i>	+										
落叶松 <i>Larix gmelinii</i>						++				++	
紫椴 <i>Tilia amurensis</i>								+			
蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>		+	++					+		+	
黄檗 <i>Phellodendron amurense</i>						+	+			+	
色木槭 <i>Acer mono</i>										+	

说明: 1. 榆毒蛾 *Ivela ochropoda*, 2. 四点象天牛 *Coleoptera*, 3. 黄褐天幕毛虫 *Malacosoma neustria testacea*, 4. 榆木蠹蛾 *Holcocerus vicarius*, 5. 榆紫叶甲 *Ambrostoma quadriimpressum*, 6. 锈病 *Gymnosporangium asiaticum*, 7. 白粉病 *Uncinula mandshurica*, 8. 煤污病 *Capnodium* spp., 9. 炭球菌病腐 *Daldinia concentrica*, 10. 根腐病 *Heterobasidion annosum*, 11. 白腐病 *Trametes abietis*。

2.2 寒地园林树种联结关系分析

根据对45块样地调查数据可知,在帽儿山试验林区内共有树种28种,其中乔木16种,灌木12种。乔木树种的平均高度18.0~20.0 m,覆盖率为60%,林下灌木的平均高度为3.5~4.0 m,覆盖率为75%。在试验区选取生长指数大于60的树种进行研究。

在试验区符合要求的乔木有11种,分别为:水曲柳,色木槭,黄波罗 *Phellodendron amurense*, 山杨,白桦,核桃楸 *Juglans mandshurica*, 枫桦,春榆,紫椴,蒙古栎 *Quercus mongolica*, 榆树;灌木9种分别为三裂绣线菊 *Spiraea trilobata*, 暴马丁香,东北山梅花 *Philadelphus schrenkii*, 灯笼果 *Ribes pauciflorum*, 早花忍冬,卫矛 *Evonymus sacrosanta*, 兴安茶藨,暖木条荚蒾,鼠李 *Rhamnus davurica*。树种的代码、频度,胸径、生长指数数据见表5。

表 5 样地树种状况

Table 5 Status of the plant species in sampling plots

代码	种名	类别	频度/%	平均胸径/cm	生长指数
1	水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	乔木	94.2	20.4	78.5
2	三裂绣线菊 <i>Spiraea trilobata</i>	灌木	90.7	8.5	75.0
3	色木槭 <i>Acer mono</i>	乔木	90.2	10.3	76.0
4	黄檗 <i>Phellodendron amurense</i>	乔木	90.1	20.0	76.3
5	山杨 <i>Populus davidiana</i>	乔木	85.6	24.2	74.6
6	白桦 <i>Betula platyphlla</i>	乔木	82.5	14.1	79.5
7	暴马丁香 <i>Syringa reticulata var.amurensis</i>	灌木	80.7	5.3	75.0
8	东北山梅花 <i>Philadelphus schrenkii</i>	灌木	80.3	19.6	79.6
9	兴安茶藨 <i>Ribespauciflorum</i>	灌木	74.9	10.6	75.2
10	核桃楸 <i>Juglans mandshurica</i>	乔木	72.2	22.9	68.3
11	枫桦 <i>Betula costata</i>	乔木	60.6	23.7	73.1
12	春榆 <i>Ulmus japonica</i>	乔木	55.3	12.6	75.0
13	早花忍冬 <i>Lonicera ruprechtiana</i>	灌木	45.6	9.2	73.6
14	卫矛 <i>Evonymus sacrosanta</i>	灌木	40.6	15.6	60.6
15	鸡树条荚蒾 <i>Viburnum sargentii</i>	灌木	40.5	10.6	75.0
16	紫椴 <i>Tilia amurensis</i>	乔木	20.3	20.0	78.0
17	蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	乔木	20.3	23.6	68.4
18	暖木条荚蒾 <i>Viburnum burejaeticum</i>	灌木	19.6	9.8	65.3
19	榆树 <i>Ulmus laciniata</i>	乔木	10.1	23.5	72.6
20	鼠李 <i>Rhamnus dawurica</i>	灌木	6.5	2.3	60.4

2.2.1 植物群落内树种的种间关联性 分别根据树种间 χ^2 检验的的数值和 A_c 值，做出树种联结星座图和树种关联半矩阵图(图 1)。除了卫矛种群与其他树种没有明显的关联外，其余的 19 种树种之间都存在着一一定的关联，19 种树种之间有 28 个种对存在显著的关联，其中显著正关联的要比显著负关联的种对多。白桦和水曲柳表现为极显著的正相关，这有可能是由于两者作为混交林的先锋物种，都具有较强的侵入性，两者共同构成了混交林的初始群落群落的主要树种，但随着其他树种的不断侵入和土壤种子库中原有群落树木种子的萌发，它们的优势地位被替代，但是两者之间还是保持着极显著的关联，水曲柳与白桦具生态属性相近，都喜光，喜湿润土壤^[18]。白桦与暖木条荚蒾，暖木条荚蒾与榆树之间同样存在着显著的正关联，原因是它们喜光、耐荫。山杨与白桦、榆树与白桦之间存在着显著负关联，主要原因是白桦喜湿润土壤，而山杨与榆树则属于抗寒性较强的树种。灌木与乔木之间大致表现为弱负相关，因为乔木的树高较高，遮挡灌木。由图 2 可以看出：在 20 个树种种群、190 个种对之间的联结强度 A_c 中，正负关联的强度与数量大致相同，其中有 45 个关正联的树种对，40 个负关联的树种对；显著正关联的树种($A_c \geq 0.2$)有 9 对，占总对数的 4.7%；显著负关联的树种($A_c \leq -0.2$)有 9 对总数的 4.7%。综合图 1 与图 2 的结果我们可以看出具有较好关联的树种组有：①白桦、早花忍冬、紫椴、鸡树条荚蒾

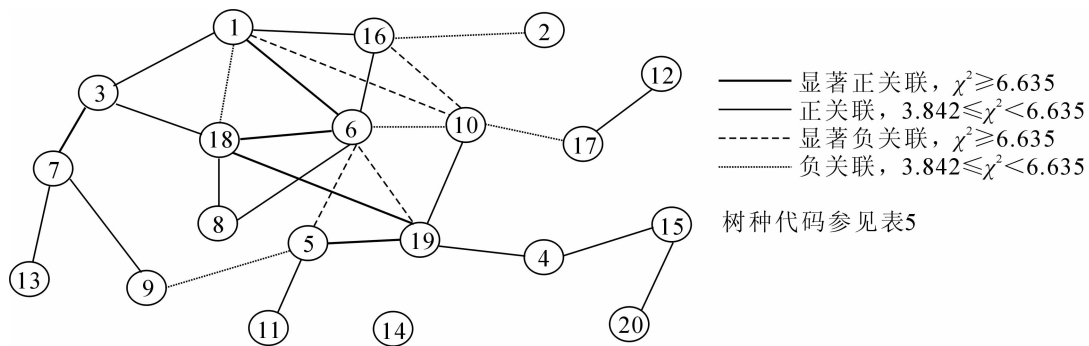


图 1 树种种间关联星座图

Figure 1 Association constellations between various trees

Viburnum sargentii; ②榆树、暴马丁香、三裂绣线梅、卫矛; ③水曲柳、黄檗、白桦、兴安茶藨; ④色木槭、兴安茶藨、枫桦、鼠李。

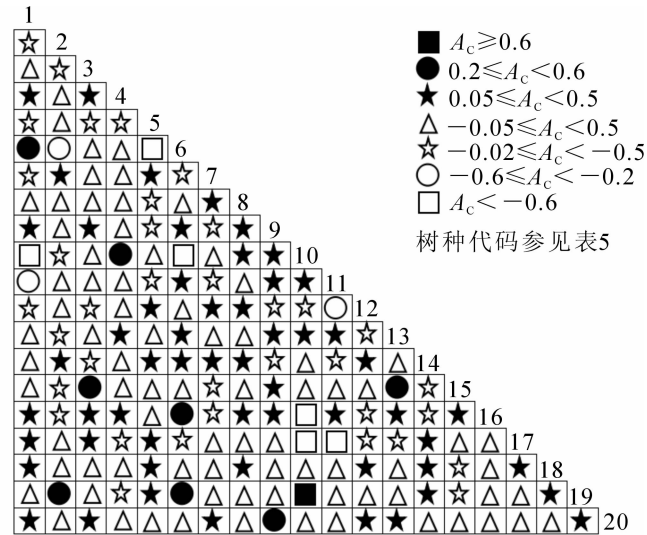


图2 树种间关联半矩阵图

Figure 2 Semi-matrix graph of inter-specific association of tree species

根据上述的试验分析结论并结合寒地树种病虫害分析, 可知两者的试验结论相近, 在对于关联性较好的树种组合上具有明显的相似性。将上述实验的结论相结合得出4组较好的树种组合。①白桦、早花忍冬、紫椴、水曲柳、色木槭。白桦、紫椴、水曲柳、色木槭为落叶乔木, 早花忍冬为落叶灌木, 适宜生长在杂木林下并且具有较好的耐阴性, 乔灌木的有机组合适宜生态系统的恢复。在病虫害方面上述5种树木没有相同的易感病虫害, 这为树种在园林中的应用提供了生物学基础。在关联性试验中, 白桦、早花忍冬、紫椴为较好的关联组合, 水曲柳与白桦的具有较显著的正关联, 色木槭与紫椴、水曲柳也存在正关联, 关联度一般。这5种树木在关联性试验中树种之间并没有出现负关联现象。②水曲柳、白桦、兴安茶藨、暴马丁香、黄檗。水曲柳、白桦、暴马丁香属于落叶乔木, 黄檗属于阔叶乔木、兴安茶藨属于落叶灌木。上述5种树木在病虫害试验方面, 不存在相同的易感病虫害, 有利于增强园林树种对病虫害的抵御能力, 同时可以降低生态园林的管理维护成本。在关联度试验方面水曲柳与白桦、兴安茶藨、黄檗之间存在明显正相关; 水曲柳与暴马丁香之间存在着负相关, 究原因是两者都是大乔木, 成株株高均超过10 m, 不耐阴, 喜光, 两者的冠幅较大, 竞争较为激烈, 在栽植时加大两者的株间距即可解决这一负相关问题。③色木槭、兴安茶藨、枫桦、紫椴、早花忍冬。色木槭、枫桦、紫椴为落叶乔木, 兴安茶藨、早花忍冬为落叶灌木。这5种树木在病虫害实验方面大致不相关, 其中兴安茶藨与色木槭都受到根腐病的影响, 但两者均是能够感染根腐病, 根腐病对两者的影响不大, 主要影响对树种的幼苗产生影响, 在栽培初期对这两种树种稍加看护, 能避免根腐病的发生。

2.2.2 植物群落内树种的种内关联性分析 相同树种之间的关联性(称之为种内关联性), 是由于同种树种之间的资源竞争、有害生物的侵害等原因可能发生相互损害的行为, 我们称这种行为为负密度制约效应^[19]。负密度制约机制主是在较小范围内降低附近群落中同种植物个体的成长率, 同时提高同种个体死亡率, 进而为其他植物的在其周围的生存提供了有利的条件, 促进了物种间的共同生存^[20]。对于负密度制约效应的存在应当在园林应用时尤其注意, 同种树种之间不适宜进行过分密植, 植株之间应保持一定的间距或是保持适当的混交比例, 从而避免此类效应的发生。通过生物学试验不难发现, 许多树种对某一病害的抵抗力较为薄弱, 在园林配植时应当尤为关注。榆树对病虫害的抵抗力较为薄弱, 尤其是榆紫叶甲。榆紫叶甲成虫大量取食榆树的嫩芽和幼叶, 具有较快的繁殖速度, 一旦将榆树也全部吃完后将集体进入休眠状态, 在榆树间具有极强的侵染力, 在种植榆树时, 同种树木间距应当加大, 防止榆紫叶甲的大面积爆发, 在树种关联性试验中发现生长态势较好的榆树之间的间距一般在5 m以上。分别统计树种易感病虫害, 分析病虫害所具备的侵染力及影响范围, 并据此得出同种树种之间适宜树种生长的

最小植株间距(表 6)。

表 6 树种最小植株间距

Table 6 Minimum spacing between plant species

代码	种名	株间距/(m × m)	代码	种名	株间距/(m × m)
1	水曲柳	1.5 × 2.0	11	枫桦	1.5 × 2.0
2	三裂绣线菊	2.0 × 2.0	12	春榆	2.0 × 3.0
3	色木槭	2.0 × 2.0	13	早花忍冬	1.5 × 1.5
4	黄檗	1.2 × 2.0	14	卫矛	1.5 × 2.0
5	山杨	3.0 × 3.0	15	鸡树条荚蒾	1.5 × 2.0
6	白桦	2.0 × 2.5	16	紫椴	2.5 × 3.0
7	暴马丁香	1.5 × 1.5	17	蒙古栎	2.5 × 3.0
8	东北山梅花	1.2 × 1.5	18	暖木条荚蒾	1.2 × 1.5
9	兴安茶藨	1.5 × 1.5	19	榆树	5.0 × 4.0
10	核桃楸	2.0 × 2.0	20	鼠李	1.5 × 1.5

2.3 植物群落的物种重要值分析

物种的多样性决定着生态系统的稳定性，植物群落中的优势树种决定着生态园林的恢复力，在树种关联性的基础上，将物种重要值引入到生态园林的研究中。为更好地研究群落各树种的重要值，使样本具有更好的代表性，将上述实验地划分为 20 m × 20 m 的标准样方 25 个，对各样方中的树种情况进行统计分析。由表 7 可知：在 25 个标准样方中，白桦和水曲柳的重要值都排在前 2 位。这 2 种树种的个体数多、拥有较高的生物量、投影盖度较大、体积较大、生长寿命长、生存能力强、优势度较大，对整个帽儿山试验林场的植物群落环境与结构的形成具有主导作用。这表明试验样地的整体群落处于相对稳定的状态，并且整群落的建群种、优势种也是相对稳定。在每个样方群落内部都存在着显著的差异，除第 1 位和第 2 位的树种相对稳定外第 3~5 位的树种都是在不断变化。这表明在寒地城市的树种选择上应当优先考虑使用白桦与水曲柳，将二者作为寒地城市园林建设的骨干树种。

3 结论

树种的选择对于城市园林的发展至关重要，城市园林中树种的分布不仅受到自然因素的影响，还要受到社会因素的干扰^[21-22]。在自然条件下，树种自身的生长状况不仅仅与生长的地域环境有关而且还受到树种间相互作用的影响。对帽儿山试验林场的调查可知，生长指数在 60 以上的树种，已基本适应黑龙江省的气候条件，可将其作为发展寒地城市园林的骨干树种着重发展，生长指数处于 50~60 的树种，经过驯化也可以在寒地园林中种植，以增加城市园林树种的多样性和观赏性。

通过对黑龙江省常见的 17 种树种对病虫害的抗性进行分析，获得了 3 组较好的树种组合，综合经帽儿山树种关联性试验得出的 4 组树种组合，更为准确地得到较好的树种组合为：①白桦、早花忍冬、紫椴、水曲柳、色木槭；②水曲柳、白桦、兴安茶藨、暴马丁香；③色木槭、兴安茶藨、枫桦、紫椴、早花忍冬。这 3 组树种组合可以作为城市园林设计中的基调树种进行运用，在进行生态园林设计时作为参考。在树种配置方面，要保持生态群落内植物的最大正关联。根据上述树种组合形成基础植物群落，为增加物种多样性可进行植物群落内的交叉组合，在组合时要避免呈现显著负关联树种的出现。

通过对相同树种之间的关联性分析可知，相同树种之间存在负密度制约效应，同种树栽培时一定要注意树间距，也就是要控制树种的密度，在一定的空间内种植合适的数量，以求生态效益的最大化。在树种关联度分析的基础上，通过对植物的重要值的研究确定了帽儿山地区的优势树种，水曲柳与白桦，可以将这 2 种树种作为寒地地区园林的骨干树种，这 2 种树种的适应性强对其他树种的影响多为正相关的关联。减少对榆树、春榆、杨柳易感病虫害的树种在寒地生态园林中的应用。

表7 试验样方中重要值前5位的树种

Table 7 Top-5 tree species with important value in experiment quadrat

样地	植物名	重要值	样地	植物名	重要值	样地	植物名	重要值
1	白桦	35.52	10	水曲柳	35.66	19	水曲柳	36.33
	山杨	19.44		白桦	31.28		白桦	30.25
	水曲柳	18.63		三裂绣线梅	30.67		色木槭	28.43
	榆树	12.25		胡桃楸	28.66		黄檗	26.58
	东北山梅花	10.21		山杨	25.43		核桃楸	24.36
2	白桦	36.33	11	白桦	34.36	20	水曲柳	31.25
	水曲柳	24.35		水曲柳	33.03		白桦	28.73
	黄檗	22.84		核桃楸	26.59		山杨	24.56
	山杨	15.74		暴马丁香	24.99		东北山梅花	23.19
	暖木条荚蒾	15.64		山杨	20.65		枫桦	19.81
3	水曲柳	33.75	12	水曲柳	36.25	21	水曲柳	33.49
	白桦	29.56		白桦	34.31		白桦	30.56
	山杨	26.32		黄檗	30.09		色木槭	27.63
	核桃楸	19.31		核桃楸	25.33		兴安茶藨	24.17
	色木槭	16.54		紫椴	21.95		春榆	19.86
4	水曲柳	35.46	13	白桦	32.39	22	水曲柳	29.83
	白桦	32.65		水曲柳	27.63		白桦	24.66
	暖木条荚蒾	28.36		山杨	24.33		核桃楸	20.63
	核桃楸	24.57		核桃楸	20.19		山杨	18.43
	黄檗	19.62		黄檗	18.54		色木槭	16.91
5	水曲柳	42.96	14	白桦	30.56	23	水曲柳	31.51
	白桦	35.4		水曲柳	28.86		白桦	29.13
	榆树	30.62		黄檗	26.31		色木槭	26.37
	暖木条荚蒾	25.63		色木槭	20.45		黄檗	24.13
	山杨	19.5		核桃楸	17.16		三裂绣线菊	22.16
6	水曲柳	36.32	15	水曲柳	32.88	24	白桦	34.59
	色木槭	30.96		白桦	30.69		水曲柳	32.13
	白桦	28.63		核桃楸	28.79		山杨	28.34
	山杨	24.19		色木槭	25.44		黄檗	22.17
	紫椴	19.56		暴马丁香	21.06		色木槭	20.19
7	白桦	32.67	16	白桦	37.56	25	水曲柳	35.48
	水曲柳	29.88		水曲柳	34.11		白桦	30.91
	榆树	24.63		色木槭	30.97		山杨	27.88
	核桃楸	19.56		胡桃楸	26.49		色木槭	23.18
	黄檗	17.36		榆树	21.59		核桃楸	19.55
8	水曲柳	36.98	17	水曲柳	31.55			
	白桦	31.36		色木槭	28.37			
	山杨	30.36		白桦	27.19			
	榆树	26.38		榆树	24.71			
	色木槭	19.56		蒙古栎	20.53			
9	白桦	35.56	18	水曲柳	29.55			
	水曲柳	32.39		白桦	25.86			
	山杨	24.36		山杨	20.63			
	黄檗	22.56		榆树	17.56			
	蒙古栎	19.64		紫椴	14.33			

4 参考文献

- [1] 王祥荣. 生态园林与城市环境保护[J]. 中国园林, 1998, **14**(2): 12 – 14.
WANG Xiangrong. Ecological landscape architecture and urban environmental protection [J]. *Chin Landsc Archit*, 1998, **14**(2): 12 – 14.
- [2] 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.
ZHOU Xianye, WANG Bosun, LI Mingguang, *et al.* An analysis of interspecific associations in secondary succession forest communities in Heishiding Natural Reserve Guangdong Province [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2000, **24**(3): 332 – 339.
- [3] 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.
ZHAO Zehai, ZU Yuangang, YANG Fengjian, *et al.* Study on the sampling technique of interspecific association of ligneous plant in *Quercus liaotungensis* forest in Dongling Mountain [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2003, **27**(3): 396 – 403.
- [4] 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.
LI Linghao, SHI Shibin. Preliminary study on interspecific association and combined population patterns of *Stipa bungeana* Steppe community [J]. *Chin J Ecol*, 1994, **13**(3): 62 – 67.
- [5] 刘健, 邓旺灶, 韦德煌, 等. 天然针阔混交林优势种群间联结关系[J]. 应用与环境生物学报, 1999, **5**(5): 468 – 472.
LIU Jian, DENG Wangzao, WEI Dehuang, *et al.* Interspecific association of the predominant species in a natural coniferous-broadleaved mixed forest [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 1999, **5**(5): 468 – 472.
- [6] 刘仲健. 深圳市园林绿化的植物配置和树种选择的分析[J]. 中国园林, 1992, **8**(1): 26 – 32.
LIU Zhongjian. Landscaping plants and trees chosen configuration analysis of Shenzhen [J]. *Chin Landsc Archit*, 1992, **8**(1): 26 – 32.
- [7] 李淑娟. 帽儿山地区森林景观动态过程及景观生态评价[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004.
LI Shujuan. *Dynamic Processes of Forest Landscape and Evaluation of Forest Landscape Ecology in Maoershan Region* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2004.
- [8] 闫明准. 帽儿山地区天然次生林单木生长模型的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
YAN Mingzhun. *The Study on the Individual Tree Growth Models of the Natural Secondary Forest in Maoershan Forest Region* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2009.
- [9] 王晓春, 徐强, 周晓峰, 等. 扬州城市绿地植物群落树种组合的选择[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, **32**(3): 74 – 78.
WANG Xiaochun, XU Qiang, ZHOU Xiaofeng, *et al.* Selection of tree species composition of urban green-space in Yangzhou City [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Edi*, 2008, **32**(3): 74 – 78.
- [10] 奇凯, 张春雨, 侯继华, 等. 赤峰市沙地油松林草本植物多样性及种间关联动态[J]. 生态学报, 2010, **30**(18): 5106 – 5112.
QI Kai, ZHANG Chunyu, HOU Jihua, *et al.* Dynamics of species diversity and interspecific associations of herbaceous plants in a *Pinus tabulaeformis* forest on a sandy site in Chifeng, China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30**(18): 5106 – 5112.
- [11] 杜楠楠, 刘常富. 沈阳树木园木本植物优势种间关联性研究[J]. 北方园艺, 2013(10): 53 – 57.
DU Nannan, LIU Changfu. Interspecific association research on the dominant species of woody plant in Shenyang arboretum [J]. *Northern Hortic*, 2013(10): 53 – 57.
- [12] 程瑞梅, 王瑞丽, 刘泽彬, 等. 三峡库区栲属群落主要乔木种群的种间联结性[J]. 林业科学, 2013, **49**(5): 36 – 42.
CHENG Ruimei, WANG Ruili, LIU Zebin, *et al.* Interconnection among species of dominant tree populations of *Castanopsis* community in Three Gores Reservoir Region [J]. *Sci Silv Sin*, 2013, **49**(5): 36 – 42.
- [13] 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.

LIU Jinfu, HONG Wei, FAN Houbao, *et al.* Study on the inter specific association of species in the vegetation layer in *Castanopsis kawakamii* forest [J]. *Sci Silv Sin*, 2001, **37**(4): 117 – 123.

- [14] WARD J S, PARKER G R, FERRANDINO F J. Long term spatial dynamics in an old growth deciduous forest [J]. *For Ecol Manage*, 1996, **83**(3): 189 – 202.
- [15] 李雪梅, 程小琴. 生态位理论的发展及其在生态学各领域中的应用[J]. 北京林业大学学报, 2007, **29**(增刊2): 294 – 298.
- LI Xuemei, CHENG Xiaoqin. Development of niche theory and its application in each fields of ecology [J]. *J Beijing For Univ*, 2007, **29**(supp 2): 294 – 298.
- [16] JONATHAN S, MIKE D, DAVID G. Phylogeny and the niche structure of meadow plant Communities [J]. *J Ecol*, 2001, **89**(3): 428 – 435.
- [17] 刘常富, 何兴元, 陈玮, 等. 沈阳市建成区树种结构分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2004, **35**(2): 116 – 121.
- LIU Changfu, HE Xingyuan, CHEN Wei, *et al.* Analysis of tree species structure in Shenyang Built-Up Area [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 2004, **35**(2): 116 – 121.
- [18] 郭忠玲, 马元丹, 郑金萍, 等. 长白山落叶阔叶混交林的物种多样性、种群空间分布格局及种间关联性研究[J]. 应用生态学报, 2004, **15**(11): 2013 – 2018.
- GUO Zhongling, MA Yuandan, ZHENG Jinping, *et al.* Biodiversity of tree species, their populations spatial distribution pattern and interspecific association in mixed deciduous broadleaved forest in Changbai Mountains [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **15**(11): 2013 – 2018.
- [19] 徐建, 韦新良, 王敬, 等. 龙王山落叶阔叶林优势树种的种内种间竞争[J]. 浙江农林大学学报, 2014, **31**(6): 868 – 876.
- XU Jian, WEI Xinliang, WANG Jing, *et al.* Intraspecific and interspecific competition of dominant species in a deciduous, broadleaf forest of Longwang Mountain [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2014, **31**(6): 868 – 876.
- [20] 王薇, 饶米德, 陈声文, 等. 负密度制约和生境过滤对古田山幼苗系统发育多样性时间变化的影响[J]. 科学通报, 2014, **59**(19): 1844 – 1850.
- WANG Wei, RAO Mide, CHEN Shengwen, *et al.* Effects of negative density dependence and habitat filtering on temporal variation in phylogenetic community structure of seedlings in a mid-subtropical forest [J]. *Chin Sci Bull*, 2014, **59**(19): 1844 – 1850.
- [21] 姚泽. 武威市城市园林绿化树种选择及适宜性评价[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2006.
- YAO Ze. *Suitability Evaluation and Selection of urban Landscaping Tree Species in Wuwei* [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2006.
- [22] 于波涛, 齐木村. 寒地城市功能性生态园林树种选择技术[J]. 浙江农林大学学报, 2015, **32**(5): 743 – 748.
- YU Botao, QI Mucun. Species selection for ecological garden trees in winter cities [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2015, **32**(5): 743 – 748.