

3 种典型立地荆条种群及种间分布的空间点格局

张金瑞, 高甲荣, 崔 强, 杨麒麟

(北京林业大学 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为了明确荆条 *Vitex negundo* var. *heterophylla* 群落种群及种间特征, 以空间点格局分析法对 3 种典型立地的荆条及种间空间格局进行分析。结果表明: 荆条空间分布格局整体为随机分布, 油松 *Pinus tabulaeformis* 林立地部分尺度下为集群分布; 在 99% 的置信区间下, 荆条与细叶小檗 *Berberis poiretii*, 小叶鼠李 *Rhamnus parvifolia*, 酸枣 *Ziziphus jujuba* var. *spinosa*, 臭椿 *Ailanthus altissima* 和油松种间格局相关关系不显著, 在样地中可以长期共存; 荆条与胡枝子 *Lespedeza bicolor*, 太平花 *Philadelphus pekinensis*, 叶底珠 *Securinega suffruticosa* 和三裂绣线菊 *Spiraea trilobata* 在小尺度下为正相关、互利共存; 随着尺度变大, 荆条与胡枝子、三裂绣线菊为极显著的负相关关系 ($P < 0.01$), 竞争生存空间; 并提出水源涵养林营造生物多样性配置建议。图 5 表 2 参 26

关键词: 森林生态学; 荆条; 水源涵养林; 点格局; 密云水库

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2013)02-0226-08

Point pattern analysis for relationships of *Vitex negundo* var. *heterophylla* in three typical stands

ZHANG Jinrui, GAO Jiarong, CUI Qiang, YANG Qilin

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: To determine community characteristics of *Vitex negundo* var. *heterophylla*, plant material from three types of typical sites were selected and studied with a 99% confidence interval from a point pattern analysis and with a correlation analysis. Results showed that the *V. negundo* var. *heterophylla* population spread stochastically over different stands, except for the *Pinus tabulaeformis* stand. *V. negundo* var. *heterophylla*, was not significantly correlated with *Berberis poiretii*, *Rhamnus parvifolia*, *Ziziphus jujuba* var. *spinosa*, *Ailanthus altissima*, and *P. tabuliformis*. Using a small-scale investigation, *V. negundo* var. *heterophylla* was significantly ($P = 99%$) and positively correlated with *Lespedeza bicolor* ($r < 2.8$), *Philadelphus pekinensis* ($1.1 < r < 2.6$), *Securinega suffruticosa* ($1.9 < r < 4.2$), and *Spiraea trilobata* ($0.8 < r < 1.9$). With a large-scale analysis, *V. negundo* var. *heterophylla* had a negative influence on *L. bicolor* and *S. trilobata*. Thus, long-term coexistence with *V. negundo* var. *heterophylla* was possible for the plant communities above that showed no significant relationship, but *V. negundo* var. *heterophylla* would compete for living space with *L. bicolor* and *S. trilobata*. [Ch, 5 fig. 2 tab. 26 ref.]

Key words: forest ecology; *Vitex negundo* var. *heterophylla*; water conservation forest; point pattern analysis; Miyun Reservoir

密云水库担负着北京市 65%~70% 生活用水, 对首都的发展具有重要意义^[1-3]。其上游的水源涵养林

收稿日期: 2012-03-16; 修回日期: 2012-05-29

基金项目: 国际科技合作计划项目(2009DFA32490)

作者简介: 张金瑞, 博士研究生, 从事山地灾害防治工程和林业生态工程研究。E-mail: zhangjinrui_0_0@163.com。通信作者: 高甲荣, 教授, 从事河流生态治理、山地灾害防治工程研究。E-mail: jiarong-gao@bjfu.edu.cn

通过对降水在乔木层、灌草层、枯枝落叶层和土壤层中进行再分配, 起到涵养水源、调洪削峰、防止土壤侵蚀和净化水质的作用^[1,4-6], 对密云水库功能的正常发起到不可替代的作用。因此, 水源林建设和经营受到历届政府的重视^[6]。由于气候变化、人口激增、植被破坏和水资源过度开发利用等因素的共同作用, 使密云水库上游地区的水源涵养林存在着林种结构单一, 林分密度大, 林分质量差, 总体功能低下等不足^[2,7-8], 灌丛占水源林总面积的 39.4%^[9], 荆条 *Vitex negundo* var. *heterophylla* 灌丛是其面积最大的灌丛类型^[10], 在水源林中占有重要地位。荆条根系发达, 保土能力极强, 是华北土石山区优良先锋树种和建群种^[11-12]。目前, 关于荆条的研究多关注于荆条根系特征^[11-12]、年龄结构^[10]、群落生物多样性^[13-14]或其经济特性^[15], 关于其种群、种间空间分布格局的研究相对较少。因此, 开展荆条种群及荆条灌丛动态研究对明确密云水库水源涵养林的现状具有重要意义。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

潮关西沟林场地处密云县古北口镇潮关村, 40°40'N, 117°06'E。北与河北省滦平县接壤, 西与密云县原上甸子乡相邻; 三面环山, 出口为潮河, 形成一个全封闭式的流域。林场有西沟和桃园沟, 总面积为 933.3 hm²。地势东低西高, 呈东南、西北走向, 海拔为 210~1 158 m。平均坡度为 25°, 外侧山坡坡度较缓, 西北部山高坡陡, 石峰林立, 个别陡坡地段为 35°以上。土壤类型以山地褐土为主, 在西北部高海拔地带存在少量山地棕壤, 土壤平均厚度约 20 cm, 属薄土层, 基岩为石灰岩, 母质多为坚硬型。年均降水量为 600~900 mm, 且 70% 的降水集中在 7~9 月, 年平均气温为 9.0~11.0 °C, 雨热同期。

植被类型分布不均匀, 多呈斑块状或零星分布, 东南以杂灌丛为主, 西北以乔木为主; 乔木种以油松 *Pinus tabulaeformis*, 山杨 *Populus davidiana*, 桦木 *Betula* spp., 栎树 *Koelreuteria paniculata* 等为主, 有少量山里红 *Crataegus pinnatifida* var. *major*, 板栗 *Castanea mollissima*, 核桃 *Juglans regia* 等经济果木; 灌丛以鹅耳枥 *Carpinus turczaninowii*, 荆条, 三裂绣线菊 *Spiraea trilobata*, 鼠李 *Rhamnus davurica* 为主。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查 综合考虑研究区内人类活动干扰、林分类型及荆条分布状况, 共设置样地 3 个(表 1); 利用森林罗盘测定样地内物种二维坐标(x 轴代表东西方向, y 轴为南北方向), 并测定植株的基径、树高、冠幅, 并分别编号; 同时记录样地的坡向、坡位、坡度、海拔、地被物等。样地调查过程共调查到木本植物 25 种, 其详细信息见表 2。

表 1 典型样地基本信息表

Table 1 Information of the investigated standings

样地	地貌部位	面积/(m×m)	高程/m	坡度/(°)	郁闭度	位置	
						北纬	东经
平缓地	沟谷	10×10	245	<5	0.70	40.684 1	117.106 9
干旱阳坡	坡中	10×10	270	30	0.65	40.684 2	117.105 9
油松林	坡中	20×30	353	26	0.80	40.693 0	117.099 7

说明: 研究区内油松林为人工林。为了增加调查样地油松个体数, 特把样地面积增大到 20 m × 30 m。

1.2.2 数据分析方法 Ripley 和 Diggle 等^[16-17]共同发展的空间点格局分析(piont pattern analysis, PPA), 通过对物种二维空间分布点图格局分析, 定量描述群落物种空间配置及种间相互关系, 是研究群落种群、种间空间分布关系常用的方法^[17-22]。其基本理论及假设如下: λ 是单位面积内的点数期望, k 是点间距离分布的测定指标, k 与尺度 t 相关, 构造数据二次特征结构简化函数 $K(t)$ 。 $K(t)=\lambda^{-1}$ 。其中: t 为大于 0 的任意值; λ 为单位面积上的平均点数, 用 n/A 来估计; A 为样地面积; n 为植物个体数。实际操作中, 用下式来估计 $K(t)$:

$$K(t)=\left(\frac{A}{n^2}\right)\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^n\frac{1}{W_{ij}}I_t(u_{ij}), i\neq j。$$

其中: u_{ij} 为点 i, j 之间的距离; 当 $u_{ij}\leq t$ 时, $I_t(u_{ij})=1$, 当 $u_{ij}>t$ 时, $I_t(u_{ij})=0$; W_{ij} 为以点 i 为圆心, U_{ij} 为

表2 种群空间格局样地调查物种总表

Table 2 Italic and Chinese names of the investigated woody species for PPA

编号	物种	编号	物种
1	荆条 <i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i>	13	叶底珠 <i>Securinega suffruticosa</i>
2	细叶小檗 <i>Berberis poiretii</i>	14	君迁子 <i>Diospyros lotus</i>
3	山杏 <i>Prunus armeniaca</i>	15	栎树 <i>Koelreuteria paniculata</i>
4	小叶鼠李 <i>Rhamnus parvifolia</i>	16	蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>
5	酸枣 <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i>	17	南蛇藤 <i>Celastrus orbiculatus</i>
6	山葡萄 <i>Vitis amurensis</i>	18	三裂绣线菊 <i>Spiraea trilobata</i>
7	小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i>	19	桑树 <i>Morus alba</i>
8	臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	20	照山白 <i>Rhododendron micranthum</i>
9	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	21	太平花 <i>Philadelphus pekinensis</i>
10	孩儿拳头 <i>Grewia biloba</i> var. <i>parviflora</i>	22	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>
11	土庄绣线菊 <i>Spiraea pubescens</i>	23	鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>
12	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	24	紫椴 <i>Tilia amurensis</i>
		25	白蜡 <i>Fraxinus chinensis</i>

半径的圆周长在面积 A 中的比例, 表征植物个体被观测到的概率。随机分布时, $k(t)/\pi$ 的平方根表现格局关系更有效, 其与 t 有线性关系, 可用 $h(t)$ 来表示 $k(t)/\pi$, 即: $h(t) = \sqrt{\frac{k(t)}{\pi}}$ 。将 $h(t)$ 减去 t , 得到 $H(t)$,

即: $H(t) = \sqrt{\frac{k(t)}{\pi}} - t$ 。

在随机分布下, $H(t)$ 在所有尺度 t 下均应等于 0; $H(t)$ 大于 0, 则在对应尺度下种群为集中分布; 若 $H(t)$ 小于 0, 则种群在对应尺度下为均匀分布。

为了检验拟合的准确性, 采用 Monte-Carlo 拟合上、下包迹线, 即置信区间。假定种群在空间上为随机分布, 以随机模型拟合新的坐标值 $(t, H(t))$; 重复上述过程达到预定次数 (95% 的置信水平为 20 次, 99% 的置信水平时为 100 次), 其中 $H(t)$ 的最大值和最小值分别为包迹线的坐标值; 若调查数据的 $H(t)$ 值在包迹线内, 则符合随机分布; 若在包迹线外, 则显著偏离随机分布。

种间格局分析就是 2 个种的点格局分析, 前文中的特定种的格局可以将 $K(t)$ 写为 $K_{11}(t)$, 第 2 个种的写为 $K_{22}(t)$, 2 个种个体在尺度 t 内的数目, 以下式求 $K_{12}(t)$ 和 $H_{12}(t)$:

$$\hat{K}_{12}(t) = \frac{A}{(n_1 n_2)^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1}{W_{ij}} I_t(u_{ij}); H_{12}(t) = \sqrt{\frac{\hat{K}_{12}(t)}{\pi}} - t。$$

其中: n_1, n_2 分别为物种 1 和物种 2 的个体数 (点数); i, j 代表种群 1 和种群 2 的个体; 其他符号含义同前文。当 $H_{12}(t)$ 等于 0 时, 说明 2 个种群在 t 尺度下无关联; $H_{12}(t)$ 大于 0, 表明它们正关联; $H_{12}(t)$ 小于 0 则为负相关。同样的, 仍用 Monte-Carlo 拟合包迹线以检验 2 个种群关联的显著性。

2 结果分析

2.1 荆条种群格局

在沟谷平缓地带样地中, 调查木本植物 8 种 (图 1), 草本植物有瓦松 *Orostachys fimbriata*, 白莲蒿 *Artemisia gmlinii*, 茜草 *Rubia cordifolia* 和狗尾草 *Setaria viridis* 等 4 种; 灌丛中, 各物种空间分布上相对比较分散, 无明显集群的现象; 样地内荆条种群的点格局分析显示, 随着尺度 t 的变化, 荆条种群格局出现一定的波动, $H(t)$ 分布曲线呈波浪消退形; 在 $t \in (2.7, 2.8)$ 时, $H(t)$ 曲线超出包迹线, 表现为显著的集群分布; 在其他的尺度下, 荆条种群属于显著的随机分布。说明在沟谷平缓地带, 在人为活动的干扰下, 荆条种群空间分布上部分区域可能出现集群的现象, 但是整体表现为显著的随机分布。这样的分布规律表明, 沟谷地带的荆条空间分布上更多地受限于立地条件, 种内竞争现象不明显^[10,21]。

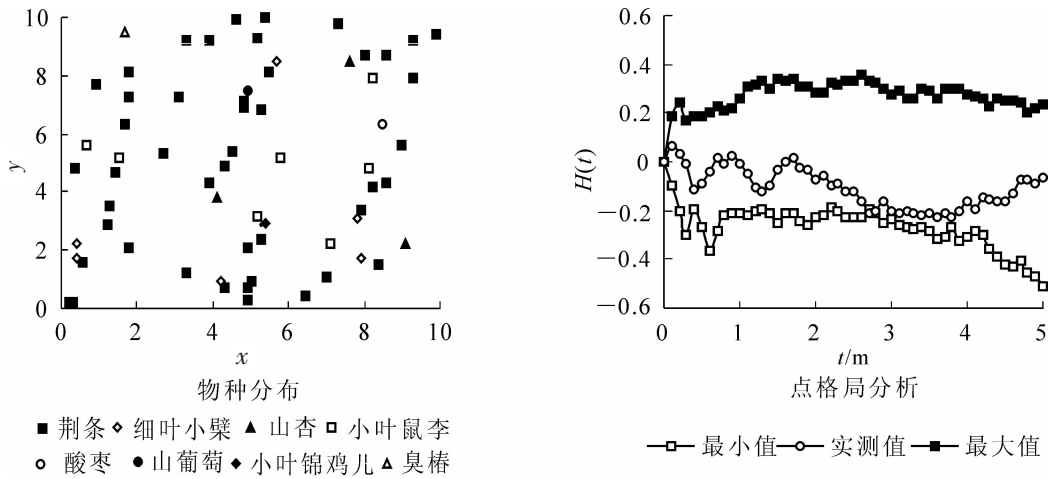


图 1 沟谷样地内物种空间分布及荆条种群点格局分析

Figure 1 Species distributions and point pattern analysis of *Vitex negundo* var. *heterophylla* population in the valley sample

干旱阳坡样地中，调查到木本植物 9 种(图 2)，荆条、酸枣、臭椿为样地内的优势种，在空间分布上存在一定的相关性；与沟谷地带的荆条种群相似，其 $H(t)$ 值曲线呈现波浪消退形；在尺度 $t \in (2.6, 2.8)$ ， $t \in (2.95, 3.05)$ ， $t \in (3.25, 3.55)$ 时，荆条的空间格局表现为显著的集群分布。这主要是由于干旱阳坡生境恶劣种群内个体竞争加剧导致部分个体死亡，同时荆条以无性繁殖(根系)为主^[10,23]；在其他尺度下，荆条种群呈现为随机分布。

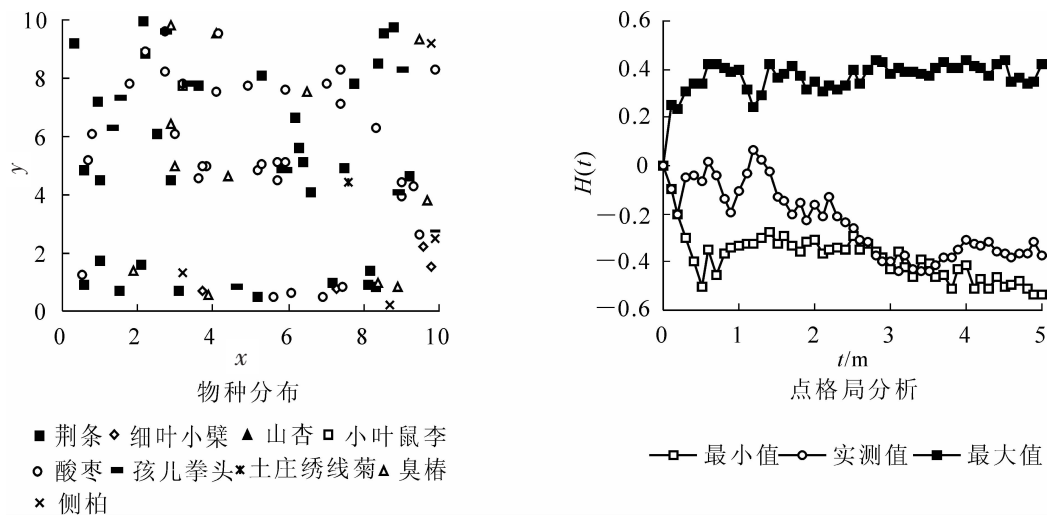


图 2 阳坡样地内物种空间分布及荆条种群点格局分析

Figure 2 Species distributions and point pattern analysis of *V. negundo* var. *heterophylla* population on the sunny slope

油松林样地中调查到木本植物 21 种(灌木 12 种，乔木 9 种)。由图 3 可以看出：荆条、孩儿拳头、三裂绣线菊、太平花等物种在空间分布表现出的集群现象；其他物种空间分布上无明显的规律性。荆条种群的 $H(t)$ 值曲线表现为多峰线型，在 t 等于 1.1 和 5.8 时分别达到峰值；当 $t \in (1.1, 2.4)$ 时，荆条种群表现为显著的集群分布，主要是因为荆条为喜光物种，所以在油松林中主要集中分布在林窗下^[23]；其他尺度上为随机分布。

2.2 群落种间格局

荆条、细叶小檗和小叶鼠李是沟谷平缓地带样地优势种，荆条+细叶小檗、荆条+小叶鼠李种间关系如图 3 所示：荆条+细叶小檗间的 $H_{12}(t)$ 值呈波浪消退型，荆条+小叶鼠李则为波浪上涨型；整体上，荆条与两者的相关关系不显著。该现象与国内学者用生态位、种间联结得到的结论相似^[24-26]。干旱阳坡样地中优势种为荆条、酸枣和臭椿，荆条与后两者间的相关关系不显著，种间相互促进或竞争关系不明显。

如图 4 和图 5 所示：油松林中，当 $t < 2.8$ 时，荆条与胡枝子表现出显著的正相关关系， $t > 4.6$ 时，

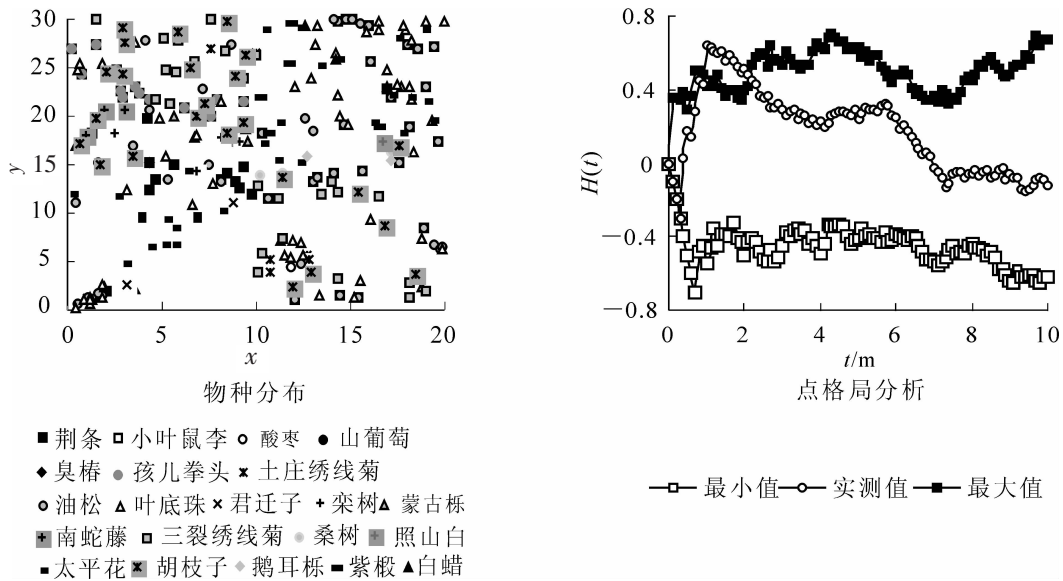


图3 油松林样地内物种空间分布及荆条种群点格局分析

Figure 3 Species' distributions and point pattern analysis of *Vitex negundo* var. *heterophylla* population in the *P. tabulaeformis* forest

为显著的负相关关系，其他尺度下则不相关；荆条与油松种间关系在整个研究尺度上不显著；荆条与太平花在尺度 $1.1 < t < 2.6$ 时，为显著的正相关关系，其他尺度下则不显著；在 $1.9 < t < 4.2$ 尺度下，荆条与叶底珠为显著的正相关，其他尺度下相关不显著； $0.8 < t < 1.9$ ，三裂绣线菊与荆条为显著的正相关关系，而在 $t > 8.7$ 时，为显著的负相关关系，其余尺度下相关关系不显著。

3 结论与讨论

荆条种群在研究区的沟谷平地、阳坡及油松林中的分布格局随尺度的变化有所浮动，在 99% 的置信水平上种群整体分布格局为随机分布；油松群落中 $t \in (1.1, 2.4)$ 时除外，在该尺度下荆条表现为集群分布；随着样地中生物物种数量的增多，荆条种群的 $H(t)$ 曲线波动变大。

种间点格局分析表明：荆条与细叶小檗、小叶鼠李、酸枣、臭椿、油松 5 个物种的种间格局相关关系不显著，表明荆条与它们在群落中相互竞争较弱，可以长期共存；当 $t < 2.8$ ， $1.1 < t < 2.6$ ， $1.9 < t < 4.2$ ， $0.8 < t < 1.9$ 时，荆条分别与胡枝子、太平花、叶底珠、三裂绣线菊成显著的正相关关系，存在着种间相互促进的关系；而在尺度 $t > 4.6$ ， $t > 8.7$ 时，荆条分别与胡枝子、三裂绣线菊表现为负相关关系（99% 置信区间），存在着竞争关系；

荆条群落的定向配置时，阳坡中可以选择细叶小檗、小叶鼠李、酸枣等物种；阴坡或者成林的林下层在小尺度上可以选择胡枝子、太平花、叶底珠和三裂绣线菊等耐阴物种，而在大尺度上胡枝子、三裂绣线菊则不合适。

参考文献：

[1] 宋秀瑜. 密云水库南岸水源涵养林生态功能研究[J]. 北京水务, 2006 (3): 52 - 55.
 SONG Xiuyu. Study of eco-environment function of water conserving in afforestation at the south bank of the Miyun Reservoir [J]. *Beijing Wat*, 2006 (3): 52 - 55.
 [2] 孙鹏森, 马履一, 蔡永茂. 京北山区水源保护林的现状与发展策略[J]. 北京林业大学学报, 1999, 21 (6): 58

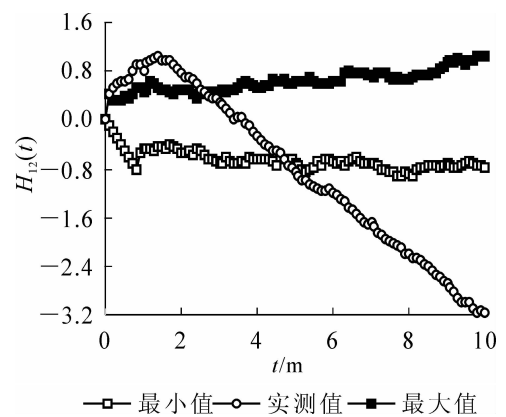


图4 油松林群落中荆条与胡枝子种间关系点格局分析

Figure 4 Point pattern analysis within *V. negundo* var. *heterophylla* and *L. bicolor* in *P. tabulaeformis* forest

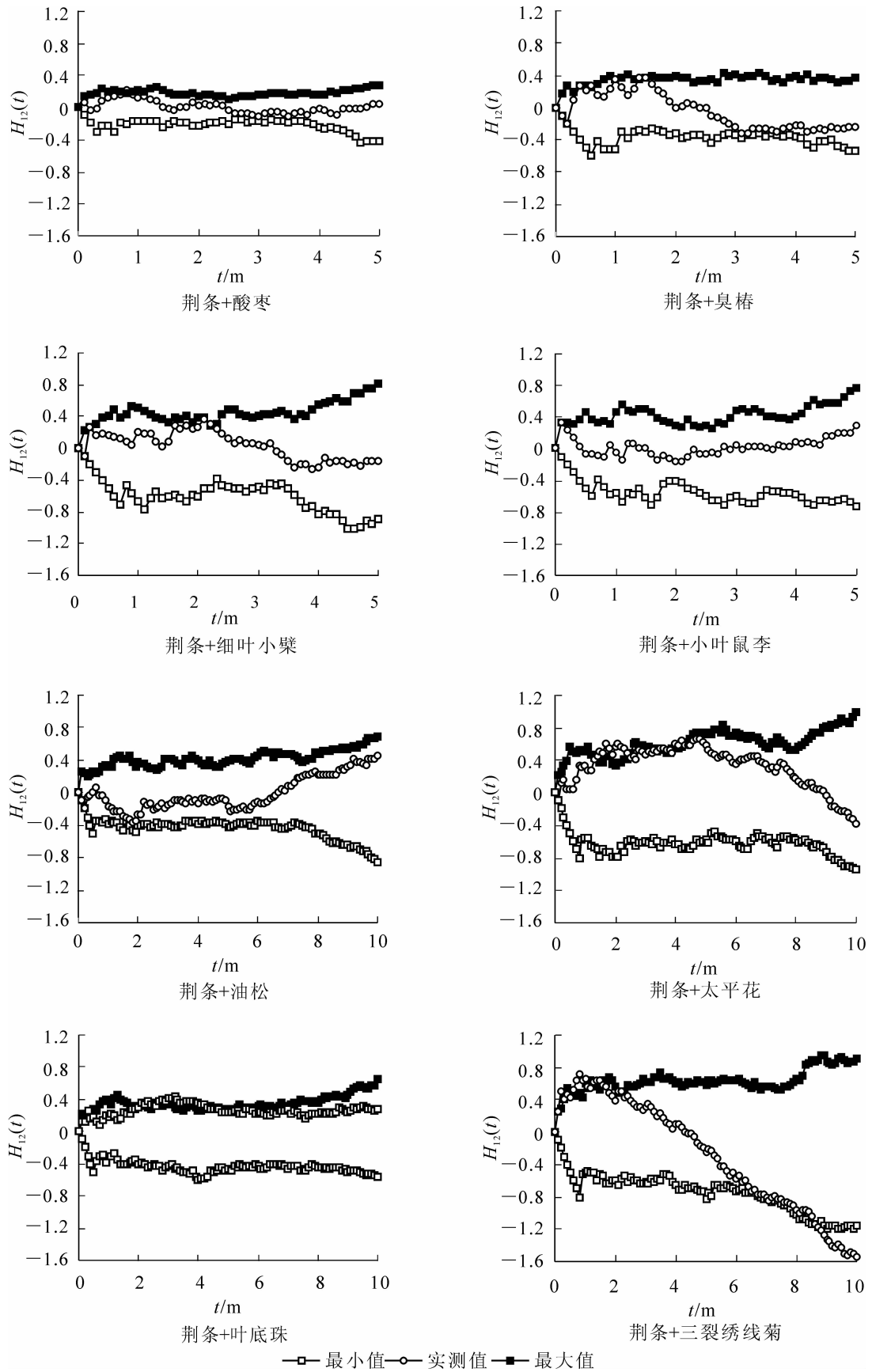


图 5 荆条种群与其他 8 种木本植物种间关系点格局分析

Figure 5 Point pattern analysis between *Vitex negundo* var. *heterophylla* and other 8 species

- 64.

SUN Pengsen, MA Lüyi, CAI Yongmao. Present situation and development strategy of water conservation forests in north Beijing mountain area [J]. *J Beijing For Univ*, 1999, **21** (6): 58 - 64.

- [3] 高甲荣. 北京密云水库集水区水源保护林建设与发展对策[J]. 水土保持通报, 1999, **19**(5): 1 - 6.
GAO Jiarong. Construction and countermeasures of water protection forest in Miyun Reservoir watershed of Beijing City [J]. *Bul Soi Wat Con*, 1999, **19** (5): 1 - 6.
- [4] 王威. 北京山区水源涵养林结构与功能耦合关系研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
WANG Wei. *Studies on the Coupling Relationship Between Structure and Function of Water Conservation Forests in Mountain Area Beijing* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [5] 郭永盛. 内蒙古大青山中段水源涵养林功能机理与经营模式[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
GUO Yongsheng. *Study on Mechanism and Management Models for Water Resources Conservation Forest in Middle Segment of Daqing Mountains* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2008.
- [6] 刘世海, 余新晓, 于志民. 密云水库集水区人工油松水源保护林降水化学性质研究[J]. 应用生态学报, 2001, **12** (5): 697 - 700.
LIU Shihai, YU Xinxiao, YU Zhimin. Chemical property of precipitation in *Pinus tabulaeformis* water resource protection forest in Miyun Reservoir watershed [J]. *Chin J App Ecol*, 2001, **12** (5): 697 - 700.
- [7] 马履一, 王希群, 贾忠奎, 等. 提高北京市山区生态公益林质量的对策研究[J]. 西南林学院学报, 2005, **25** (4): 17 - 22.
MA Lüyi, WANG Xiqun, JIA Zhongkui, *et al.* Strategies on quality improving of the non-commercial forests in Beijing [J]. *J Southwest For Coll*, 2005, **25** (4): 17 - 22.
- [8] 王威, 郑小贤, 宁杨翠. 北京山区水源涵养林典型森林类型结构特征研究[J]. 北京林业大学学报, 2011, **33** (1): 60 - 63.
WANG Wei, ZHENG Xiaoxian, NING Yangcui. Structural characteristics of typical water conservation forests in mountain areas of Beijing [J]. *J Beijing For Univ*, 2011, **33** (1): 60 - 63.
- [9] 包昱峰. 密云水库北京集水区荆条灌丛结构特征与近自然经营模式[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
BAO Yufeng. *The Shrubby Structure Character of Vitex negundo and Initiate Natural Management Pattern in the Watershed of Miyun Reservoir in Beijing* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2008.
- [10] 包昱峰, 高甲荣, 何明月, 等. 密云水库集水区荆条灌丛年龄结构研究[J]. 林业资源管理, 2008 (6): 67 - 70.
BAO Yufeng, GAO Jiarong, HE Mingyue, *et al.* Study on age structure of *Vitex negundo* var. *heterophylla* community in Miyun Reservoir watershed [J]. *For Res Manage*, 2008 (6): 67 - 70.
- [11] 王英宇, 宋桂龙, 孟强, 等. 不同立地条件下野生荆条与胡枝子根系生长特性的比较研究[J]. 水土保持通报, 2010, **30** (4): 94 - 98.
WANG Yingyu, SONG Guilong, MENG Qiang, *et al.* Comparative study on root growth characteristics of *Vitex negundo* var. *heterophylla* and *Lespedeza bicolor* Turca. in different site conditions [J]. *Bull Soil Water Conv*, 2010, **30** (4): 94 - 98.
- [12] 韩烈保, 王琼, 王晓蓓, 等. 不同立地条件下荆条根系分布规律[J]. 应用基础与工程科学学报, 2009, **17** (2): 231 - 237.
HAN Liebao, WANG Qiong, WANG Xiaobei, *et al.* Researches on root distribution of *Vitex negundo* var. *heterophylla* (Franch.) Rehd. on different site conditions [J]. *J Basic Sci Eng*, 2009, **17** (2): 231 - 237.
- [13] 卢宝明, 邢韶华, 崔国发, 等. 北京山地植物群落的物种多样性比较[J]. 北京林业大学学报, 2010, **33** (增刊1): 60 - 63.
LU Baoming, XING Shaohua, CUI Guofa, *et al.* Comparison of species diversity of plant communities in mountains of Beijing [J]. *J Beijing For Univ*, 2010, **33** (supp 1): 60 - 63.
- [14] 汪平, 贾黎明, 李效文, 等. 北京西山地区侧柏游憩林群落结构及植物多样性[J]. 浙江林学院学报, 2010, **27** (4): 565 - 571.
WANG Ping, JIA Liming, LI Xiaowen, *et al.* Community structure and plant diversity of a *Platycladus orientalis* recreational plantation in west mountain area of Beijing [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27**(4): 565 - 571.
- [15] 任再金. 北京地区荆条开花泌蜜与气候的关系[J]. 蜜蜂杂志, 2003 (4): 34.

- REN Zaijin. Relationship between climate and *Vitex negundo* var. *heterophylla* bloom [J]. *J Bee*, 2003(4): 34.
- [16] 岳永杰, 余新晓, 武军, 等. 北京山区天然次生林种群空间分布的点格局分析——以雾灵山自然保护区为例[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(3): 59 – 64.
- YUE Yongjie, YU Xinxiao, WU Jun, *et al.* Point pattern analysis of spatial distribution of natural secondary forest populations in mountainous area of Beijing: a case study of Wuling Mountain Nature Reserve [J]. *Sci Soil Water Conv*, 2008, 6(3): 59 – 64.
- [17] 张金屯. 数量生态学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2011: 277 – 283.
- [18] 张玲, 苗艳明, 孙永星, 等. 油松种群不同龄级的空间格局与关联性分析[J]. 植物研究, 2012, 32(1): 91 – 98.
- ZHANG Ling, MIAO Yanming, SUN Yongxing, *et al.* Analysis of spatial pattern association of *Pinus tabulaeformis* populations at different development stages [J]. *Bull Bot Res*, 2012, 32(1): 91 – 98.
- [19] 刘淑燕, 岳永杰, 余新晓, 等. 北京山区刺槐林种群的空间点格局[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(4): 33 – 36.
- LIU Shuyan, YUE Yongjie, YU Xinxiao, *et al.* Spatial pattern of *Robinia pseudoacacia* plantation population in mountainous area of Beijing [J]. *J Northeast For Univ*, 2010, 38(4): 33 – 36.
- [20] 王鑫厅, 王炜, 梁存柱. 典型草原退化群落不同恢复演替阶段羊草种群空间格局的比较[J]. 植物生态学报, 2009, 33(1): 63 – 70.
- WANG Xinting, WANG Wei, LIANG Cunzhu. Changes in the population spatial distribution pattern of *Leymus chinenses* in degraded steppe community during restorative succession in Inner Mongolia, China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2009, 33(1): 63 – 70.
- [21] 兰国玉, 雷瑞德. 植物种群空间分布格局研究方法概述[J]. 西北林学院学报, 2003, 18(2): 17 – 21.
- LAN Guoyu, LEI Ruide. Brief introduction of spatial methods to distribution patterns of population [J]. *J Northwest For Univ*, 2003, 18(2): 17 – 21.
- [22] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 344 – 349.
- ZHANG Jintun. Analysis of spatial point pattern for plant species [J]. *Chin J Plant Ecol*, 1998, 22(4): 344 – 349.
- [23] 胡淑萍, 余新晓, 郭永盛. 北京山区天然荆条灌丛立地条件的数量化分析[J]. 林业资源管理, 2010(3): 60 – 63.
- HU Shuping, YU Xinxiao, GUO Yongsheng. Quantification analysis on site conditions of natural *Vitex negundo* community in Beijing mountainous area [J]. *For Resour Manage*, 2010(3): 60 – 63.
- [24] 刘淑燕, 余新晓, 陈丽华. 北京山区天然林乔木树种间联结与生态位研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(5): 26 – 30.
- LIU Shuyan, YU Xinxiao, CHEN Lihua. Interspecific association and niche research of natural forest in Beijing mountainous area [J]. *J Northwest For Univ*, 2009, 24(5): 26 – 30.
- [25] 杨锋伟, 余新晓, 王树森, 等. 华北土石山区天然植被种间联结和生态位研究[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(1): 60 – 67.
- YANG Fengwei, YU Xinxiao, WANG Shusen, *et al.* Interspecific association and niche of forest vegetation in rocky mountain area of north China [J]. *Sci Soil Water Conv*, 2007, 5(1): 60 – 67.
- [26] 王树森, 余新晓, 刘凤芹, 等. 华北土石山区天然森林植被种间联结和生态位的研究 [J]. 水土保持研究, 2006, 13(4): 170 – 172.
- WANG Shusen, YU Xinxiao, LIU Fengqin, *et al.* Interspecific association and niche research of forest vegetation in rocky mountain area of north China [J]. *Res Soil Water Conv*, 2006, 13(4): 170 – 172.