

# 城市绿地中硬质铺装对臭椿天然更新的影响

杨佳楠<sup>1</sup>, 李兰兰<sup>1</sup>, 李馨<sup>1</sup>, 李洪远<sup>1</sup>, 祁永<sup>2,3</sup>, 王彬彬<sup>2,3</sup>

(1. 南开大学 环境科学与工程学院, 天津 300071; 2. 天津绿茵景观工程有限公司,  
天津 300384; 3. 天津市景观生态修复企业重点实验室, 天津 300384)

**摘要:** [目的] 调查研究天津市南开大学校园绿地内臭椿(*Ailanthus altissima*)的天然更新状况,为城市自然林营造和管理提供科学依据。[方法] 采用样方法进行调查,研究了臭椿更新苗数量特征、地径级和高度级的分布特征,用方差均值比率( $C_x$ )、丛生指标( $I$ )、负二项参数( $K$ )、平均拥挤度指数( $m^*$ )、聚块性指数( $C$ )和格局指数( $I_\Delta$ ) 6 种聚集强度指数分析臭椿更新苗的空间分布格局。[结果] (1) 城市绿地内臭椿存在天然更新现象,其更新苗地径级频率高峰出现在 2~3 mm 地径级,且随着地径级的增大和减小,更新苗数量减少。更新苗高度级频率分布呈“间歇”型,个体频率高峰出现在低高度级上,主要集中在 2~4 cm 高度级内。(2) 城市绿地内臭椿更新苗的空间分布表现为集群分布,其  $C_x, K, m^*, C, I, I_\Delta$  分别为 2.24, 1.26, 2.81, 1.79, 1.24, 1.79。[结论] 硬质铺装影响臭椿天然更新的距离特征及更新苗的空间分布。

**关键词:** 天然更新; 硬质铺装; 臭椿; 城市绿地

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0164-05

中图分类号: Q948

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.096

## Effects of Rigid Pavement on Natural Regeneration of *Ailanthus Altissima* in Urban Greenland

YANG Jianan<sup>1</sup>, LI Lanlan<sup>1</sup>, LI Xin<sup>1</sup>, LI Hongyuan<sup>1</sup>, QI Yong<sup>2,3</sup>, WANG Binbin<sup>2,3</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University,  
Tianjin 300071, China; 2. Greenery Landscaps Engineering Co. Ltd. Tianjin, Tianjin 300384,  
China; 3. Tianjin Enterprise Key Laboratory of Landscape Ecological Restoration, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** [Objective] The natural regeneration of *Ailanthus altissima* in Nankai University were investigated in order to provide the scientific basis for urban natural forest construction and management. [Methods] We used the quadrat sampling method to investigate the quantity, ground diameter and height of *A. altissima* in Nankai University. The gather intensity indexes including  $C_x, I, K, m^*, C$  and  $I_\Delta$  were used to analyze the spatial distribution pattern of natural regeneration seedling in *A. altissima*. [Results] (1) *A. altissima* regenerated naturally in urban greenland. The peak regeneration occurred at seedlings with ground diameter of 2~3 mm. The height level frequency distribution of seedlings showed a “intermittence” type, which was mainly distributed at the height of 2~4 cm. (2) The value of  $C_x, K, m^*, C, I, I_\Delta$  was 2.24, 1.26, 2.81, 1.79, 1.24 and 1.79, respectively. [Conclusion] Rigid pavement influences the distance of natural regeneration and the spatial distribution of seedlings.

**Keywords:** natural regeneration; rigid pavement; *Ailanthus altissima*; urban greenland

随着城市化进程的加快,城市生态环境问题变得更加突出,人们对城市生存空间的环境质量日益关注和重视,发展城市森林已经成为当今城市生态建设的一个潮流<sup>[1]</sup>。城市森林的建设与规划都提倡师法自然<sup>[2]</sup>,近自然林的营造被大力倡导<sup>[3]</sup>。近自然林是以原生的地带性森林为参照而培育和经营的,主要由地

带性乡土树种组成的多种树种混交,并逐步向多层次、异龄结构发展的森林。其既具有集约经营的人工林生长迅速的特点,又具有天然林稳定、持续发挥多种效益的特征。近自然林的更新以天然更新与人工促进更新相结合,必要时辅以人工更新<sup>[4]</sup>。充分依靠自然的力量来恢复森林生态环境的天然更新,不仅能

收稿日期:2014-06-20

修回日期:2014-08-14

资助项目:国家自然科学基金项目“不同生境下城市绿化树种 VOCs 排放影响机制及估算模型研究”(31370700)

第一作者:杨佳楠(1990—),女(汉族),河北省迁安市人,硕士研究生,研究方向为环境生态学。E-mail: yangjianannankai@163.com。

通信作者:李洪远(1963—),男(汉族),天津市武清区人,博士,教授,博士生导师,主要从事恢复生态学研究。E-mail: eialee@nankai.edu.cn。

够培育出高生物多样性和高生态质量的合乎自然规律的森林,而且其育林成本仅为人工更新造林成本的 1/4,是一种低投入高产出的森林培育方式<sup>[5]</sup>。正因如此,天然更新方式更适合现代森林的可持续性经营原则和生物多样性保护原则,近年来,有关森林天然更新的研究在国内外都受到广泛关注<sup>[6]</sup>。目前国内外对于天然更新的研究主要是从森林更新过程中的某一个或几个阶段入手,分析光照、温度、养分和水分等生态因子对天然更新的影响;或者从林窗、火烧、动物等干扰对天然更新的影响的角度来揭示植被天然更新的机制<sup>[7]</sup>。近年来出现了一些关于土壤种子库<sup>[8]</sup>、林窗<sup>[9-10]</sup>、病虫害和动物取食<sup>[11]</sup>、种群格局<sup>[12]</sup>、空间异质性<sup>[13]</sup>等与森林更新相关的研究,并取得了很大的进展。但关于城市环境下树种天然更新的研究却鲜见报道,近自然林要求以天然更新与人工促进更新相结合的更新方式。因此,研究城市绿地中树种的天然更新,调查并掌握其更新数量、空间分布等特征以及环境因子对更新的影响,总结它们的天然更新规律,评价其天然更新程度并指出更新潜力和存在的问题,对近自然林的培育和经营意义重大。城市绿地中树种的天然更新会受到更多的人为干扰,与自然环境有着很大差别,硬质铺装便是其中一种人为干扰因素。臭椿是一种生长较快、适应性强的落叶树种,不仅广泛应用于西北、华北地区的绿化造林,在天津城市绿地中应用频率也非常高<sup>[14]</sup>。本文针对城市绿地中硬质铺装(包括建筑)条件下臭椿天然更新的特征进行研究,以期探讨城市绿化树种自然更新的特点,为城市自然林营造和管理提供科学依据。

## 1 研究样地与方法

### 1.1 样地概况

天津位于华北平原的东北部、海河流域下游。该区的主要气候特征是:春季多风,干旱少雨;夏季炎热,雨水集中;秋季气爽,冷暖适中;冬季寒冷,干燥少雪;年平均降水量为 520~660 mm;日照时间较长,年日照时数为 2 500~2 900 h;年平均气温在 11.4~12.9 °C,市区平均气温最高为 12.9 °C。调查地点设在天津南开大学第一主教学楼小礼堂旁的绿地,样地面积为 199 m<sup>2</sup>。选择样地内的 3 株臭椿作为母树,按自东向西的顺序分别编号臭椿-1,臭椿-2 和臭椿-3,胸径分别为 123.9,119.8 和 94.2 cm。样地内无其他乔木和灌木。草本层平均盖度为 35%,草本植物种类较多,有灰菜(*Chenopodium album*)、抱茎小苦苣(*Ixeridium sonchifolium*)、泥胡菜(*Hemistepalia lyrata*)、车前(*Plantago asiatica*)和地锦草(*Eu-*

*phorbia humifusa*)等,但个体数不多。样地南侧为高度约 20 m 的楼房,样地北侧为水泥道路。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样方调查 调查采用样方法,将样地分成 199 个 1 m×1 m 的样方,调查并记录每个样方内更新苗的年龄、地径、高度、距母树的距离以及坐标方位,随机选择其中 100 株更新苗,用刨根的方式判断其繁殖方式,即种子繁殖或根蘖繁殖,同时测量并记录对应样地内母树的胸径和高度。

1.2.2 数据处理 用 Excel 对更新苗按地径级和高度级进行频率统计,并用 SPSS 进行相关分析,同时做样地内臭椿更新苗的空间分布图和更新苗数量与母树距离的关系图。

空间分布格局指生物个体与环境相互作用中所形成的生境内个体的空间配置。应用方差均值比率法( $C_x$ )、负二项参数( $K$ )、平均拥挤度指数、聚块性指数( $C$ )、丛生指数( $I$ )、格局指数( $I_\Delta$ )这 6 种集群强度指数对样地内臭椿更新苗的空间分布格局进行判定和拟合<sup>[15-18]</sup>,主要计算公式为:

$$C_x = \frac{S_x^2}{\bar{x}} \quad (1)$$

式中: $C_x$ ——方差均值比率( $C_x=1$  指种群分布为随机分布; $S_x < 1$  为均匀分布; $C_x > 1$  为集群分布); $S^2$ ——样本方差; $\bar{x}$ ——样本均值(个体数的平均值)。可用  $t$  测验来检验实测值与理论值差异的显著度:

$$t = \frac{S^2}{\bar{x}} / \sqrt{\frac{2}{N-1}} \quad (2)$$

式中: $N$ ——自由度,在  $p=0.05$  水平差异不显著; $p < 0.05$ ,则符合随机分布;否则为集群分布。

$$K = \frac{\bar{x}^2}{S^2 - \bar{x}} \quad (3)$$

式中: $K$ ——负二项参数, $K$  值与种群密度无关, $K$  值愈小,集群度愈大。如果  $K$  值趋于无穷大(一般为 8 以上),则接近随机分布。

$$m^* = \frac{\sum(X_i)^2}{\sum X_i} - 1 \quad (4)$$

式中: $m^*$ ——平均拥挤度指数; $X_i$ ——第  $i$  个样本的个体数。

因  $\frac{\sum(X_i)^2}{\sum X_i} = \frac{S^2 + \bar{x}}{\bar{x}}$ , 所以

$$m^* = \frac{S^2}{\bar{x}} + \bar{x} - 1 \quad (5)$$

聚块性指数( $C$ )为平均拥挤度指数与平均个体数之比,即:

$$C = m^* / \bar{x} \quad (6)$$

若  $C=1$ ,随机分布; $C < 1$ ,均匀分布; $C > 1$ ,集

群分布。

$$I = \frac{S^2}{\bar{X}} - 1 \quad (7)$$

式中： $I$ ——丛生指标，当  $I = 1$  时，随机分布； $I > 1$  时，集群分布； $I < 0$  时，均匀分布。

$$I_{\Delta} = \frac{(\sum X_i^2 - \sum X_i) \times n}{(\sum X_i)^2 - \sum X_i} \quad (8)$$

式中： $n$ ——样本数； $I_{\Delta}$ ——格局指数； $I_{\Delta} = 1$  为随机分布； $I_{\Delta} < 1$  均匀分布； $I_{\Delta} > 1$  为集群分布。可用  $\chi^2$  检验来检验实测值与理论值差异的显著度，公式为：

$$\chi^2 = I_{\Delta}(\sum X_i - 1) + n - \sum X_i \quad (9)$$

当  $\chi^2 = \chi_{0.05}^2$  时，差异不显著； $\chi^2 < \chi_{0.05}^2$  时，符合 Poisson 分布(随机分布)；否则为集群分布。

## 2 结果与分析

### 2.1 臭椿更新苗基本特征

2.1.1 样地内臭椿的更新方式 通过实地调查，统计出样地内共有更新苗 302 株，更新苗密度为 1.56 株/m<sup>2</sup>，可见在城市绿地中臭椿具有很大的更新潜力。经过对 100 株随机选择的幼苗刨根后，发现其中仅有 7 株为萌蘖苗，其余 93 株均为种子实生苗，样地内萌蘖苗与实生苗的比例约为 1 : 13，说明样地内臭椿更新方式主要为种子繁殖。这可能是由样地的立地条件以及样地周边特殊的环境条件(硬质铺装的存在)造成的。

2.1.2 更新苗地径级分布 统计出样地内臭椿更新苗不同个体的地径级频率分布，如图 1 所示。从图 1 中可以看出，更新苗地径主要集中在 2~3 mm 地径级，共有 96 株。其次是 1~2 mm 地径级，共有 77 株。总体来讲，样地内臭椿更新苗的地径较小，集中于  $0 < d < 3$  mm 范围内，高地径级个体很少，地径级 7~9 mm 和大于 9 mm 地径的分别只有 1 株，说明尽管样地内更新苗数量很多，但很少能够存活下来，可能是土壤肥力较差或踩踏等人类干扰活动造成的，也揭示出城市绿地中臭椿更新苗的存活率很低。地径最大值达到 14.6 mm，说明臭椿更新苗在城市绿地中有突破更新层进入演替层的潜力。由图 1 可以看出，臭椿更新苗不同地径级与个体频率之间的关系可用 3 次方程：

$$y = 0.6237x^3 - 9.077x^2 + 34.401x - 11.856 \quad (10)$$

$(R^2 = 0.9229, p < 0.01)$

式中： $y$ ——地径级(mm)； $x$ ——个体数量百分比(%)。

2.1.3 更新苗高度级分布 统计出样地内臭椿更新苗不同个体的高度级频率分布如图 2 所示，高度级个

体数频率结构图呈“间歇”型，个体频率高峰出现在低高度级上，主要集中在 2~4 cm 高度级之内，其个体数有 86 株，占总株数的 28.48%。高高度级个体数量很少，高于 20 cm 的更新苗只有 5 株，可能是因为样地南侧有楼房遮荫，光照条件较差，这与臭椿喜光、不耐荫底的特性相一致。中高度级的更新苗(6~18 cm)随着高度级的增加，其个体数逐渐减小。总体来看，臭椿种群仍处于演替的初始阶段。从图 2 可以看出，臭椿更新苗不同高度级与个体数频率之间的关系可用指数方程：

$$y = 26.583 e^{-0.236x} \quad (R^2 = 0.7578, p < 0.01)$$

式中： $y$ ——高度级(cm)； $x$ ——个体数量百分比(%)。

对比图 1 和图 2 可以看出，臭椿更新苗地径级频率分布图和高度级频率分布图较为相似，表明二者之间存在着明显的相关性，用 SPSS 软件对地径和高度进行回归分析，地径与高度之间的相关系数为 0.489，其显著性概率水平小于 0.001，证明地径与高度之间是高度相关的。

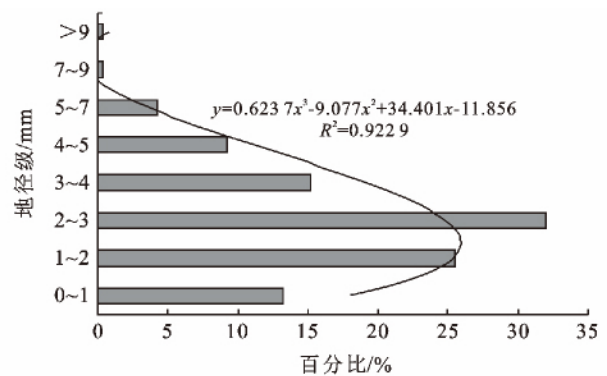


图 1 臭椿更新苗地径级频率分布

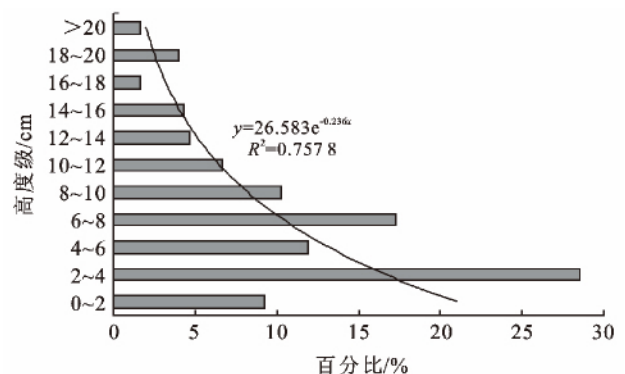


图 2 臭椿更新苗高度级频率分布

### 2.2 臭椿更新苗的空间分布格局

样方内臭椿更新苗空间分布格局见表 1。从表 1 中可以看出，方差均值比率  $C_x$  为 2.24，大于 1， $t$  的数值为 12.13， $t$  检验极显著；格局指数为 1.79，大于 1，

$\chi^2$  的数值为 430.38,  $\chi^2$  检验极显著; 负二项参数  $K$ 、平均拥挤度  $m^*$ 、聚块性指数  $C$ 、丛生指标  $I$  的数值分别为 1.26, 2.81, 1.79 和 1.24, 各指数表征的结果一致, 即样地内臭椿更新苗的分布格局总体表现为集群分布。一般来说, 种群幼龄个体一般呈现集群分布, 这与他人研究结论一致<sup>[19]</sup>。这种分布格局主要取决

于种群的生物学特征, 原因是同一物种的个体对光照、土壤和水分等环境条件的要求比较一致, 因此同一物种的更新苗会在小尺度上呈现聚集分布, 同时这种分布还能提高该物种共同抵抗病菌等不利生存条件的能力, 进而提高该物种整体的存活率。

表 1 臭椿更新苗的空间分布格局

评价指标	$\bar{x}$	$S^2$	$C_x$	$t$	$K$	$m^*$	$C$	$I$	$I_\Delta$	$\chi^2$
计算值	1.56	3.51	2.24	12.13	1.26	2.81	1.79	1.24	1.79	430.38
格局类型	—	—	集群分布	集群分布	集群分布	集群分布	集群分布	集群分布	集群分布	集群分布

注:  $\bar{x}$  为样本均值;  $S^2$  为样本方差;  $C_x$  为方差均值比率;  $K$  为负二项参数;  $m^*$  为平均拥挤度指数;  $C$  为聚块性指数;  $I$  为丛生指标;  $I_\Delta$  为格局指数;  $t_{0.05} = 1.984$ ,  $\chi_{0.05}^2 = 55.76$ 。

### 2.3 硬质铺装对臭椿更新苗空间分布的影响

硬质铺装会对更新苗的空间分布产生影响。通过研究更新苗位置与母树之间的空间关系发现, 更新苗主要分布在母树的西南方向, 这是样地北侧的道路铺装、样地南侧的楼房铺装以及风向这 3 个因素共同决定的。臭椿-1 和臭椿-2 距北侧铺装的垂直距离只有 1 m, 臭椿-3 距北侧铺装的垂直距离有 2 m, 无论在任何方位, 距母树 2 m 范围内更新苗数量都很少, 所以母树北侧几乎无更新苗。另外, 样地北侧为道路铺装, 即使种子在此降落, 也不存在萌发条件。而且道路铺装边缘处踩踏现象较为严重, 这也造成了此区域更新苗数量的减少。臭椿的更新苗主要是种子繁殖的实生苗, 而风力传播是臭椿种子扩散的主要方式。样地南侧为楼房铺装, 高大的楼房建筑物阻挡了向北的风力, 阻碍了种子随风向北传播, 导致母树北侧更新苗数量较少。此外, 调查发现, 楼房铺装处更新苗存在着“扎堆”现象。分析原因可能是楼房阻挡了向南的风力, 使得靠风力扩散的种子因楼房的阻挡而在此处聚集下来, 出现更新苗“扎堆”的现象。样地两侧铺装导致更新苗主要分布在母树南侧, 调查发现更新苗主要分布在母树的西南方向, 风向可能是母树西侧更新苗明显多于东侧的主要原因。在距母树较近的范围内几乎没有更新苗的存在, 可能是树冠下光照条件较差、地表湿度较大的原因, 这与臭椿喜光、忌水湿的特性相一致。另外, 臭椿-1 与臭椿-2 之间的区域更新苗密集, 因为该区域处在 2 株母树的树冠空隙下, 光照条件、温度都较树冠层下高, 具有较好的光热条件, 有利于臭椿更新苗的存活和生长。

### 2.4 硬质铺装对臭椿天然更新距离特征的影响

硬质铺装还会对天然更新的距离产生影响。考

虑到更新苗主要分布在母树的西南方向, 且母树北侧更新苗数量很少, 是否统计北侧更新苗不影响更新苗的距离特征, 因而本研究统计了母树西面的更新苗进行分析。通过研究更新苗数量与母树距离的关系(图 3)后发现, 更新苗数量随着与母树距离的增大基本呈现先升高后降低的特征。这与文中更新苗空间分布得到的结果一致。臭椿-1 的有效更新距离可达 12 m 处, 臭椿-2 和臭椿-3 的有效更新距离分别为 7 m 和 11 m。臭椿-2 和臭椿-3 之间距离较短, 臭椿-2 的更新苗不可避免会向西南延伸到臭椿-3 的西侧, 无法准确判断此处更新苗的归属, 而在本研究中统计母树西侧的更新苗为该株母树的更新苗, 因而导致臭椿-2 有效更新距离的低估, 同时也造成了距臭椿-3 较短距离(0~2 m)内大量更新苗存在。臭椿-1 在距母树 4~7 m 更新苗数量最多, 此范围为更新苗最大聚集强度处。硬质铺装距臭椿-1 的西南方向距离为 7.07 m, 在臭椿-1 的有效更新距离内, 但恰好处于更新苗最大聚集强度的范围外, 因此臭椿-1 的天然更新虽然受到了硬质铺装的影响, 但其更新苗分布的距离特征仍较明显。臭椿-2 在距母树 3~5 m 处更新苗聚集强度最高, 而硬质铺装距臭椿-2 的西南方向距离为 4.24 m, 恰好处臭椿-2 更新苗的最大聚集强度范围内, 更新苗最大聚集强度处距母树距离较臭椿-1 缩短, 干扰了臭椿-2 天然更新的距离特征。臭椿-3 在距母树 3~4 m 内更新苗聚集强度最高, 铺装距臭椿-3 的西南方向距离仅为 2.83 m, 小于更新苗最大聚集强度 3~4 m 的范围, 更新苗最大聚集强度处距母树距离较臭椿-2 再缩短, 臭椿-3 更新苗分布的距离特征彻底被打乱。结合图 3 可知, 硬质铺装还造成了更新的突然中断, 导致有效更新距离缩短。

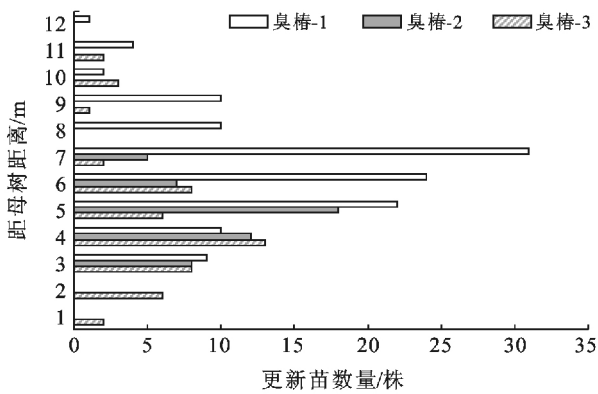


图 3 更新苗数量与母树距离的关系

### 3 结论与讨论

(1) 样地内臭椿更新苗主要为种子实生苗,更新苗的地径和高度特征能够很好地反映更新苗群落所处的更新阶段。经研究发现,样地内 3 株臭椿的更新苗地径均主要集中在 2~3 mm 地径级,且所有更新苗不同地径级与个体频率之间的相关关系可用 3 次方程:  $y=0.6237x^3-9.077x^2+34.401x-11.856$  较好拟合;臭椿更新苗高度均主要集中在 2~4 cm 高度级,臭椿更新苗不同高度级与个体数频率之间的关系可用指数方程  $y=26.583e^{-0.236x}$  较好拟合;对臭椿更新苗的地径和高度进行回归拟合,结果表明二者呈高度正相关。城市绿地内臭椿存在天然更新现象,调查并研究其更新情况可为臭椿在城市近自然林的营建和恢复方面提供数据资料和参考价值,为城市绿化管理者在建设生态城市方面提供一个新思路。

(2) 种群分布格局是植物与环境长期相互作用的结果。综合方差均值比率( $C_x$ )、丛生指数( $I$ )、负二项参数( $K$ )、平均拥挤度指数( $m^*$ )、聚块性指数( $C$ )和格局指数( $I_\Delta$ )等 6 种集群强度指数来看,臭椿更新苗的空间分布格局整体上表现为集群分布,这与学者们的研究结论一致。幼苗的分布格局在一定程度上反映了水热的分布格局,也会制约未来的生态学过程,因此研究树种更新苗的空间分布格局,分析形成分布格局的原因和效应,对从更深层次了解更新动态中潜在的规律性。

(3) 样地南侧的楼房铺装阻碍风的传播,导致更新苗主要分布在母树南侧,并且在楼房铺装边缘处更新苗“扎堆”现象明显。道路铺装处踩踏较为严重,导致了道路处更新苗较少。这表明,在城市绿地中,硬质铺装对树种更新苗的空间分布有较大影响。

(4) 硬质铺装影响臭椿天然更新的距离特征。城市绿地中树种的天然更新会因硬质铺装受到阻断。树种天然更新受硬质铺装的影响程度取决于硬质铺

装与母树之间的距离:有效更新范围外的铺装对树种的天然更新基本没有影响,有效更新距离内的铺装对树种的天然更新会产生影响,铺装与母树的距离越近,铺装对更新苗分布的距离特征影响越大。本研究中受铺装影响的程度从小到大依次是臭椿-1,臭椿-2,臭椿-3,其更新苗最大聚集强度处距母树的距离也是依次缩短。因此,在城市近自然林的营造中,应尽量减少硬质铺装的存在,不可避免时,应尽量在母树有效更新距离外安排铺装。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王成,彭镇华,陶康华. 中国城市森林的特点及发展思考[J]. 生态学杂志,2004,23(3):88-92.
- [2] 柴一新,祝宁. 哈尔滨市城市森林的天然更新[J]. 东北林业大学学报,2010,38(3):8-10.
- [3] 彭镇华. 城市森林[M]. 北京:中国林业出版社,2003.
- [4] 祝宁. 城市森林的近自然林经营技术方案[J]. 东北林业大学学报,2010,38(3):108-110.
- [5] 贾云飞,阳艳兰. 浅谈小兴安岭林区的森林促进天然更新问题[J]. 林业勘查设计,2002(2):11-12.
- [6] 董广平. 日本的天然林管理和天然林更新[J]. 世界林业研究,2001,14(4):457-464.
- [7] 李小双,彭明春,党承林. 植物天然更新研究进展[J]. 生态学杂志,2007,26(12):2081-2088.
- [8] 杨跃军,孙向阳,王保平. 森林土壤种子库与天然更新[J]. 应用生态学报,2001,12(2):304-308.
- [9] 何永涛,李贵才,曹敏,等. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林林窗更新研究[J]. 应用生态学报,2003,14(9):1399-1404.
- [10] 王周平,李旭光,石胜友,等. 重庆缙云山针阔混交林林隙树木更替规律研究[J]. 植物生态学报,2001,25(4):399-404.
- [11] 吴大荣,王伯荪. 濒危树种闽楠种子和幼苗生态学研究[J]. 生态学报,2001,21(11):1751-1760.
- [12] 丁峰,纪永福,陈芳. 民勤梭梭林天然更新苗的空间分布特征[J]. 甘肃林业科技,2011,36(3):7-11.
- [13] 韩有志,王政权. 森林更新与空间异质性[J]. 应用生态学报,2002,13(5):615-619.
- [14] 刘家宜. 天津植物志[M]. 天津:天津科学技术出版社,2004:351-352.
- [15] 胡小兵,于明坚. 青冈常绿阔叶林中青冈种群结构与分布格局[J]. 浙江大学学报,2003,30(5):574-579.
- [16] 郑师章. 普通生态学:原理、方法和应用[M]. 上海:复旦大学出版社,1994.
- [17] 王伯荪. 植物群落学试验手册[M]. 广州:广东高等教育出版社,1996.
- [18] 张峰,上官铁梁. 山西翅果油树群落优势种群分布格局研究[J]. 植物生态学报,2000,24(5):590-594.
- [19] 张健,郝占庆,宋波,等. 长白山阔叶红松林中红松与紫椴的空间分布格局极其关联性[J]. 应用生态学报,2007,18(8):1681-1687.