

上海 3 种用地类型的自生植物分布格局及其影响因素

王 沫¹, 王红兵^{2*}

(1. 北京林业大学 园林学院, 北京 100083; 2. 上海师范大学 生命科学院, 上海 201418)

摘 要:生物多样性保护是城市生态建设的重要内容,除了对人工绿地物种组成和外来入侵种的关注外,自生植物作为特殊的类群应该得到重视。以上海多个城乡废弃地、道路绿化带和立交桥下为典型生境类型,调查探析自生植物多样性的分布格局特征。研究表明,3 种用地类型都是以乡土植物为主(>70%),废弃地以一二年生草本占比最大(46.09%),道路绿化带和立交桥以多年生草本占比最大(分别为 38.70%和 42.25%)。木本自生植物以道路绿化带占比最大,废弃地最低。自生植物的分布受到植物的生物学特性、生境历史、立地条件和人为干扰等因素的影响,其中废弃地植被受到初始基底和形成时长的影响,从农田废弃、旧住区废弃、垃圾场废弃和绿地废弃都能看到其初始基底的植被痕迹。人为重度干扰降低丰富度,而城市垃圾增加丰富度。研究结果可为今后城市自生植物的保护和利用提供理论依据。

关键词:自生植物;植物多样性;分布格局;生境;CCA 排序

中图分类号:S731.2

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2021)06-0266-08

Distribution Pattern of Spontaneous Species and Influencing Factors in Three Landuse Types of Shanghai

WANG Mo¹, WANG Hong-bing^{2*}

(1. College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. College of Life Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 201418, China)

Abstract: Biodiversity conservation is an important component of urban ecological construction. More attention should be paid on the spontaneous species, a special vegetation group, other than the artificial green space and invasion species. This study took examples of three typical habitats of abandon land, road greenbelt and overpass beneath in the urban-suburb gradient of Shanghai megacity. The spatial patterns of spontaneous species were analyzed. It was found that native species were dominant (>70%) in all of the three land use types. Annual species accounted for the highest ratio in abandon land (46.09%), while perennial species were dominant in road greenbelt and overpass beneath (38.70% and 42.25%, respectively). The highest ratio of wood species was in road greenbelt and the least were in abandon land. The distribution of spontaneous species were influenced by biological characteristics, habitat history, site condition and human disturbance. For example, the initial base and length of formation influenced abandon-land vegetation from farmland abandon, neighborhood abandon, dump abandon and greenspace abandon with specified vegetation signs. Heavy human disturbances decreased the species richness while urban wastes increased species richness. The results provide theoretical basement for the protection and application of spontaneous species.

Key words: spontaneous species; plant species diversity; distribution and pattern; habitat; CCA ordination

收稿日期:2020-11-11 修回日期:2020-11-26

基金项目:上海市科委项目(18DZ1204703);上海市教委项目(15ZZ107)。

作者简介:王 沫。研究方向:园林植物与生态、生物多样性。E-mail:971234698@qq.com

* 通信作者:王红兵,博士,副教授,硕士生导师。研究方向:城市生态学和城市园艺学。E-mail:whb0236@shnu.edu.cn

城市植被主要包括3类:人工植被、残存自然植被和自生植被^[1]。其中以人工为主的绿地结构严重影响植物多样性组成和植被格局。片面追求观赏性而大量地引入外来观赏植物,不仅威胁本地植物的生存空间,而且增加了入侵风险。植物多样性保护是城市生态系统的主要研究内容,研究关注城市化带来的植物多样性在时空上的格局和动态变化,一方面由于城市绿化大量地引入外来物种使得城市化显著增加植物多样性,而且外来植物引入的数量和速率大大超过本地种消失的速率^[2]。另一方面研究发现在城乡轴线上以城乡结合部的多样性最高,反映了城市发展强度居中区域生境多样化,具有在植物多样性上的优势,符合中度干扰理论。不过,城市植物群落因为大量的相似性而表现出较多的同质性特征^[3]。

城市化进程中的植物多样性格局已成为当前生态学研究的一个热点问题^[4]。外来入侵植物事关生态安全,一直是植物多样性研究的热点^[5]。城市植物多样性的关注不能仅局限于人工栽培植物和入侵植物,一些非人工栽植但具有自我繁殖和扩散能力的自生植物,其能通过种子、根茎等繁殖方式占据一定的生境空间,实现自我更新演替,是城市里珍贵的自然成分,也是实现绿化可持续发展的有效方式。但长期以来,往往采取“敌视”和偏见对待自生植物,甚至简单粗暴地称之为“杂草”^[6],并通过频繁而强化的人工养护(除草、修剪等)破坏自生植物的生境,剥夺其生存机会。自生植被作为城市植被的特殊类群,具有较强的适应性,对污染抗性强,往往是城市逆境的先锋植物,可通过改变其自身的生长状况和分布格局,适应城市环境的变化,对城市化程度起到指示作用。作为城市植物多样性的重要组成部分,能够强化城市植物的地域特色。自生植物还可为鸟类及昆虫提供栖息地及重要的食物来源^[7],在降解土壤污染物方面具有独特的作用,从而发挥支撑城市生物多样性的生态系统服务功能。开发利用更多的地带性乡土植物对营建拟自然群落、促进城市绿地的自然化是重要策略^[8-9]。

自生植物分布在城市的多种用地类型中,如各类绿地边角、人行道和机动车道分车带、屋顶和墙垣、废弃地和空地、铁路(地铁)沿线,以及其他不透水表面的缝隙、蒙尘等^[1,10-11]。从较大的荒地、棕地到很小的路面裂缝或人行道^[12],以破碎化小微生境为主,往往具特别的物理条件,表现为极端的空间异质性,不同的生境显著影响物种组成,有利于提升城市物种多样性^[13]。一些试验观察了自生植被演替过程,以及自生植物对重金属污染地的生态修复进行评价研究^[14-16]。如干燥高地由初始阶段(1~3 a)

的多年生草本植物逐渐被木本植物替代,完成次生演替^[14]。自生植物的演替过程与人类干扰密切相关^[17]。在倡导低维护、生态文明和可持续发展的新形势下,应格外重视自生植物在城市生态系统的地位,提高其在植物多样性保护中的比重。目前对乡土植物和入侵植物的研究关注较多,而对自生植物的调查研究较少^[18]。弄清楚自生植物的分布规律和驱动因素对理解城市条件下自生植被的演替演化有重要意义。本研究以上海这一高度城市化的大都市为典型案例,通过废弃地、道路绿化带、立交桥下3类代表性用地类型的自生植物调查分析,探讨自生植物的分布规律,为有意识地保护自生植物、营造近自然的城市植被提供理论依据。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

上海(30°40′—31°53′N,120°52′—122°12′E)地处中国东部、长三角东缘,气候属北亚热带季风气候,年降水量1457 mm,土壤以水稻土、灰潮土和滨海盐土为主。由于城市化的高强度持续发展,绝大部分地区为人工植被类型,只有少量残存植被位于孤立岛状的佘山、大金山岛等区域。除此之外,自生植物为分布较为广泛的特殊自然植被类型。

上海自1843年开埠以来,城市建设获得了长足的发展,特别是1990年浦东大开发大大加快了城市化步伐,目前城市化率已近90%。除了中心城区扩张外,郊区的建设用地也在不断地扩大。工业开发区、自贸区、大学城、房地产开发、新市镇等遍布郊区,推动郊区的城镇化建设。星罗棋布的交通网络进一步增加建设用地比重。典型意义上的城乡划分已不够明显,城乡一体化明显加快。在此形势下土地利用变化剧烈,即使在郊区也不断蚕食自生植物的残留生境。从城区到郊区均存在自生植物的多样性保护难题。

1.2 样点样方设置和植被调查

城市绿地零星出现的自生植物往往被视为“杂草”而几乎没有容身之处^[6]。上海绝大部分的居住区和单位为采取围栏形式,墙垣已不多见;铁路和地铁线路的安全管理严格,不便进入。所以本研究着重选择了自生植物相对集中分布的3类用地类型:废弃地、道路绿化带和立交桥下。城区废弃地主要是旧区改造过程中拆迁后尚未进行改造的区域,郊区废弃地主要是由于划入地产或企业规划用地而尚未开发的废弃农田等。道路绿化带包括市政道路两侧绿化带林下空间以及路旁田埂等。立交桥下因为缺少雨水覆盖而依赖人工灌溉或雨水径流,呈光照

弱、湿度低的生境。

样点分布总体上符合样带法(图 1),南北样带从中心城区的沪闵路向南,以及浦东的浦星公路、海湾路,最南至杭州湾北岸。东西样带东始南浦大桥,西至天马山。样带宽度 8 km,在沿路两侧各 4 km 范围内寻找集中连片的废弃地、立交桥,绿化带随机布设样点。每个样点根据面积和生境特征设计样方数,使样方覆盖不同类型的植被和生境类型。一共获得 122 个样方,其中涉及废弃地样方 77 个、道路绿化带样方 23 个、立交桥下样方 22 个。草本样方面积为 1 m×1 m,样方数 106 个;有较大木本逸生植物的样方为 10 m×10 m,样方数 16 个。

实地调查于 2015 年 4 月至 2016 年 6 月进行,以高等植物为主要研究对象。草本植物记录其种名、盖度、密度和生长势,木本植物记录其种名、株高和株数。对无法现场确认的物种采集标本,并拍照花果和其他关键分类特征,请专家鉴定,参考文献《中国植物志》《上海植物志》等。

1.3 数据处理

参照《中国植物志》对调查到的自生植物进行科、属、种的分类及生活型和果实类型的划分。参照《中国植物志》和何家庆^[19]将自生植物划分为乡土物种(江浙沪分布种)、外来物种(江浙沪之外的国内物种为国内外来植物,国外的物种为国外外来种)。入侵种等级划分参照马金双^[20]。采用丰富度、Shannon-wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数等表征生物多样性,计算使用 R 语言的 vegan 包和 spaa 包。

采用限制性排序分析自生植物物种与环境因子的关系。首先,进行除趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA),根据分析结果进一步选择冗余分析(redundancy analysis, RDA)或典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)。多样性指数的排序分析使用 R 语言的 vegan 包完成。

所有的统计分析均在 R 3.6.1(R development core team, 2019)中完成,统计图由 Excel 和 R 语言绘制。

此外,参考谷歌地球(Pro7.3.2.5495)的历史图像,结合走访,发现样点生境的形成史不同,表现为初始基底和形成时长的差异。本研究从初始基底进行了废弃地类型的划分。

2 结果与分析

2.1 自生植物种类构成

调查共记录到自生植物 148 种,隶属于 47 科

123 属。其中,菊科、禾本科超过 15 种,豆科、蔷薇科、唇形科超过 5 种,单种科有毛茛科、萝藦科、百合科等 22 科。物种出现频率最高的前 5 种分别是加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)(6.8%)、一年蓬(*Erigeron annuus*)(6.0%)、葎草(*Humulus scandens*)(4.0%)、空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)(3.4%)和棒头草(*Polypogon fugax*)(3.0%)。其中除了葎草和棒头草外都是 1 级外来入侵种。另外,小蓬草(*Conyza canadensis*)(20)、构树(*Broussonetia papyrifera*)(18)的频次也较高。就生活型而言,一二年生草本 59 种(39.90%),多年生草本 57 种(38.51%),木本植物 32 种(21.59%)。从物种来源来看,乡土植物共 107 种(72.30%),如细风轮草(*Clinopodium gracile*)、附地菜(*Trigonotis peduncularis*)、何首乌(*Fallopiia multiflora*)等;国内外来植物 25 种,如斑种草(*Bothriospermum chinense*)、蒺藜(*Polygonum aviculare*)等;国外外来植物 16 种,如小蓬草(*Conyza canadensis*)、白车轴草(*Trifolium repens*)等;入侵植物共 16 种,如加拿大一枝黄花、北美车前(*Plantago virginica*)等。

从果实类型(图 2)看,14 个类型中 10 种以上的果实自高到低依次是瘦果 39 种(含蔷薇果 1 种)、蒴果 26 种、颖果 18 种、坚果 14 种、浆果 10 种和核果 10 种(含浆果状核果 5 种),其他少于 10 种。

2.2 不同用地类型的自生植物

3 种用地类型均出现的自生植物为 31 种,出现在 2 种不同用地类型的共有种为 37 种,仅出现于 1 种用地类型的物种有 80 种,其中仅出现于废弃地、道路绿化带和立交桥下 1 种用地类型的自生植物分别为 53、11、16 种。

在生活型组成上(表 1),废弃地的一二年生草本占比最大(46.09%),多年生草本占比 38.26%;道路绿化带以多年生草本占比最大(38.70%),其次是一二年生草本(30.65%);立交桥下多年生草本多于一二年生草本(42.25% vs 38.03%)。木本植物以道路绿化带占比最大(30.65%)、废弃地最低(15.65%)。在物种来源上,各用地类型的乡土植物比例范围为 72.17%~73.24%。

多样性分析表明(表 1),各类型用地中以废弃地的丰富度、Shannon-wiener 指数最高;道路绿化带的丰富度最低,Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数最高;立交桥下的 Shannon-wiener 指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数均最低。

2.3 自生植物分布格局对城市化程度及用地类型的响应

筛选出物种多度>50 的 40 种自生植物,进行

自生植物群落与环境因子的关系分析。根据 DCA 分析,DCA 排序前 4 轴中最大值为 6.259 6,>4,因此选择 CCA 分析环境因子、自生植物群落及样点之间的关系^[21]。

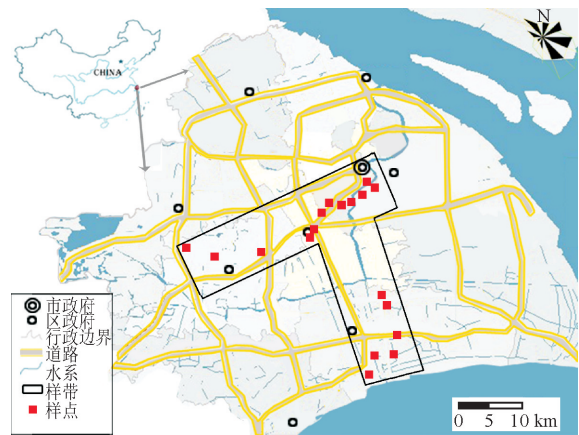


图 1 研究地点和样点分布
Fig.1 Study sites and sample distribution

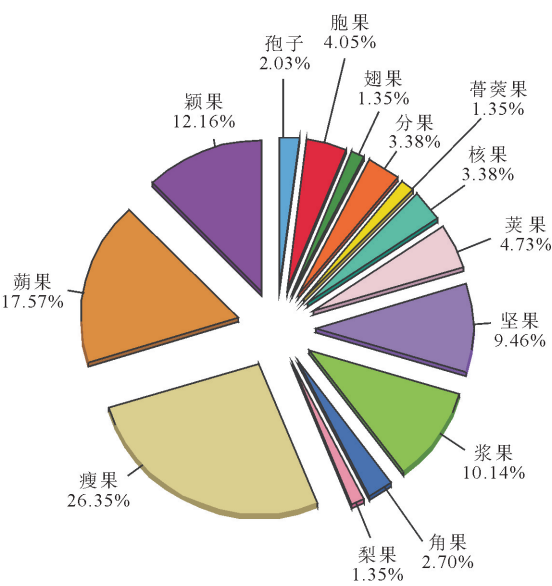


图 2 果实类型分布
Fig.2 Fruit types

表 1 3 种用地类型的自生植物组成和多样性指数

Table 1 The composition and diversity index of spontaneous species in three landuse types

用地类型	类别	废弃地	道路绿化带	立交桥下
生活型	一二年生草本	53(46.09%)	19(30.65%)	27(38.03%)
	多年生草本	44(38.26%)	24(38.70%)	30(42.25%)
	木本植物	18(15.65%)	19(30.65%)	14(19.72%)
物种来源	乡土种	83(72.17%)	45(72.58%)	52(73.24%)
	外来种	32(27.83%)	17(27.42%)	19(26.76%)
多样性指数	丰富度	115	62	71
	Shannon-wiener 指数	3.381 424	3.125 361	2.651 911
	Simpson 指数	0.931 102 5	0.931 338 5	0.875 519 2
	Pielou 指数	0.712 639 0	0.757 271 5	0.622 122 9

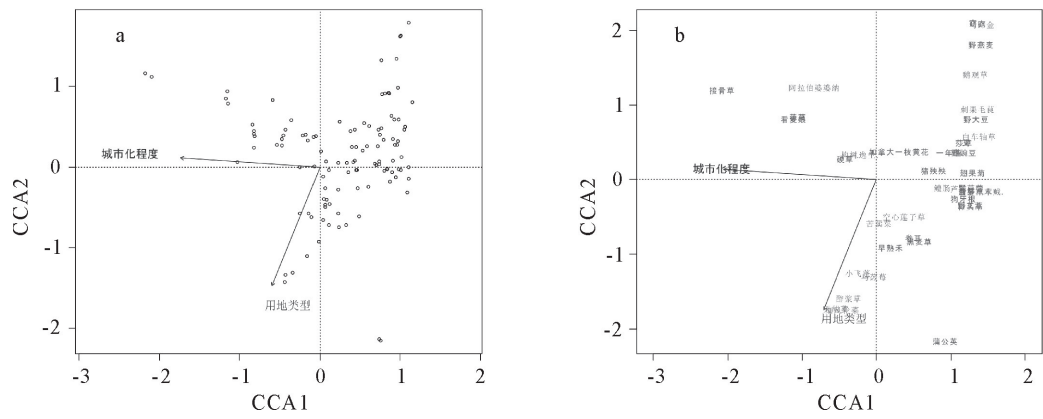
CCA 排序图体现了自生植物沿第 1、第 2 排序轴的变化梯度。沿第 1 排序轴从左往右,城市化程度逐渐降低;沿第 2 排序轴从上往下,依次为道路绿化带、废弃地、立交桥下各用地类型。城市化程度与第 1 轴的相关性为 0.997,用地类型与第 2 轴的相关性为 0.939,环境因子与自生植物种类的相关性较高(图 3a)。

在物种-环境因子排序图中,位于排序图右上角的窃衣(*Torilis scabra*)、马蹄金(*Dichondra repens*)、鹅观草(*Roegneria kamoji*)、野燕麦(*Avena fatua*)等主要分布在郊野道路绿化带内,白车轴草、翅果菊(*Pterocypsela indica*)、棒头草、野苜蓿(*Medicago falcata*)等主要分布在郊野废弃地,随着城市化程度升高,在排序图中心位置开始出现空心莲子草、苦苣菜(*Ixeris sonchifolia*)、加拿大一枝黄花、构树、硬草(*Sclerochloa dura*)等,它们的分布范围广泛,广布于城市各种用地类型;排序图下部的天胡荽(*Hydrocotyle sibthorpioides*)、细风轮菜、酢

浆草(*Oxalis corniculata*)则主要分布于立交桥下(图 3b)。

2.4 废弃地类型及其自生植物物种特征

从初始基底看,废弃地可分为 4 类(表 2)。1)农田废弃地,易受初始农田杂草的影响,如莎草、菵草、空心莲子草、小蓬草、硬草等。不过,该废弃地经过 5 a 的演化,局部地势低洼,出现一些喜水湿植物,如木贼(*Equisetum hyemale*)、芦苇(*Phragmites australis*)、香蒲(*Typha orientalis*)、水苏(*Stachys japonica*)等。2)旧住区废弃地内应残留住区植物,如枸杞(*Lycium chinense*)、桑(*Morus alba*)等出现在中心城区的龙吴路武宣路间地块,菊蒿(*Tanacetum vulgare*)、马兰(*Kalimeris indica*)、茭白(*Zizania latifolia*)、构树等出现在奉炮公路奉柘公路旧村落地块。3)垃圾场废弃地来源复杂,包括城市垃圾携带的种子,可能出现城市园艺植物,如金鸡菊(*Coreopsis drummondii*)、香蒲、芫荽(*Coriandrum sativum*)、龙葵(*Solanum nigrum*)等。由于形成时间



注:a. 样方-环境因子, b. 物种-环境因子。

图3 CCA 排序

Fig. 3 CCA ordination

表2 废弃地类型特征

Table 2 Classified characteristics of abandon land

废弃地类型	初始用地类型	案例		
		位置	说明	废弃时长/a
农田废弃	农田	奉贤大叶公路浦星公路地块	2009 年前是农田,当年底开始沦为荒地,2015 年植被破坏较重,2016 年严重破坏。期间人工干扰较重	5
旧住区废弃	住区,含城区旧居民区和郊区旧村落	徐汇龙吴路武宣路间	2010 年前为旧居民区,2013 年拆迁,残留零星植被,2014 年废弃至今。期间人工干扰很少	3
		奉贤奉炮公路奉柘公路地块	2013 年前为村落,当年拆迁沦为废弃地。人工干扰少	3
垃圾场废弃	临时垃圾堆放场	奉贤海思路海乐路地块	2005 年前是农田,当年沦为废弃地,2011 年始为垃圾堆放地,2014 年停止垃圾堆放,2015—2016 年再次成为废弃地,期间人工干扰少	1
绿地废弃	人工绿地	闵行莘庄地铁站南地块	2011 年前为人工绿地,当年底沦为废弃地。之后几无人工干扰	5

短,植被以草本为主。4)绿地废弃地应出现一些园艺栽培植物的自生种,如复羽叶栎树(*Koelreuteria bipinnata*)、女贞、乌桕(*Sapium sebiferum*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)等,但经过 5 a 的演化,已形成构树为优势种的高密度构树群落。

3 讨论

3.1 自生植物的物种组成特征

从物种组成看,上海自生植物所属最多的科为菊科和禾本科。在北京奥林匹克森林公园、重庆墙体、上海中心城区、上海原江湾机场废弃地和香港屋顶等研究中也出现与此类似的格局^[6,22-25]。而且,这两科也是中国外来入侵植物的优势科^[26,27]。另外,构树不仅是本研究常见种(频次 18),也是多个城市的常见种^[25]。从生活型看,一二年生和多年生草本以自生植物为主,在多个研究中都有类似的报道^[6,23,28]。这是因为在废弃地形成的初始阶段,往

往生境恶劣,通常体现出 R 策略,依靠种子数量多、根状茎等繁殖特点,以及特殊的传播机制和生活型的可塑性(如 2 年生→1 年生),成为先锋植物。而且草本自生植物往往表现出强的生态可塑性,从而对城市高强度干扰的生境表现出一定的耐受性^[28]。

3.2 自生植物的生物学特性对分布的影响

高频次分布的草本植物多数为广适性种,能够适应多样的城乡生境,如小蓬草、抱茎苦蕒(*Ixeris sonchifolia*)、黄鹌菜(*Youngia japonica*)、卷耳(*Cerastium arvense*)、葎草、莎草(*Cyperus rotundus*)、白茅(*Imperata cylindrica*)等。在西安,频次最高的 3 种自生植物是小蓬草、狗尾草(*Setaria viridis*)和灰藜(*Chenopodium glaucum*),其中小蓬草是一致的。生活周期短、种子数量多、繁殖方式多的一二年生植物是其早期进入逆境的生物学特性,如苣荬菜(*Sonchus brachyotus*)、苦苣菜(*Sonchus oleraceus*)、苦蕒菜和窄叶小苦蕒(*Ixeridium gramine-*

um)等,不仅有大量细小的种子,而且种子具冠毛,有利于风力扩散。通过采取R对策在短时间内繁殖后代,在逆境下占据生态位,快速完成生活史,对此有类似报道^[22,29]。一般地,植物的传播方式越多越有助于完成扩散过程,实现逆境生存。多年生草本除了种子繁殖外还可以通过根状茎进行扩散,如蛇莓(*Duchesnea indica*)、酢浆草、扁秆藨草(*Scirpus planiculmis*)、莎草、扁穗牛鞭草(*Hemarthria compressa*)等。

自生植物中木本植物果实多为核果(含浆果状核果)和翅果,鸟类和风力传播成为其主要扩散方式,这与原江湾机场废弃地自生植物特征一致^[23],如朴树(*Celtis sinensis*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)、金银忍冬(*Lonicera maackii*)等依靠鸟类传播;枫杨(*Pterocarya stenoptera*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、榆(*Ulmus pumila*)等依靠风力传播。

此外,种子大小与扩散方式也密切相关,鸟类传播的种子质量一般比风力传播的大。废弃地菊科和禾本科植物多,应与其种子质量小,依靠风力传播相关;道路绿化带已有以乔木为主的人工植被,木本植物本身占比较大,自身种子库较大,而且是很多鸟类的栖息地,有利于鸟类传播,应该是种子质量较大的木本植物分布的原因之一。

3.3 生境立地条件对分布的影响

光照、水分和土壤都是影响植物分布的重要生态要素。新生的废弃地生境光照充分,适合喜光的草本植物快速占领生态位,如奉贤海思路海乐路废弃地以草本植物为主就说明了这一点。而且土壤水分和酸碱度也是这个废弃地的主要因素,因为堆放的垃圾造成地形高低不一,有多处低洼地。因为地处沿海,土壤严重盐碱化,所以可以看到扁秆藨草、碱蓬(*Suaeda glauca*)、星星草(*Puccinellia tenuiflora*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、茵草(*Beckmannia syzigachne*)、芦苇等耐盐碱植物。有时土壤类型比水分胁迫对植物生长更敏感^[30]。

研究表明,人工林的群落结构和冠层密度是影响林下植物的因素^[31],结构复杂、建成时间长、管理粗放,给自生植物提供生存空间,有利于提高多样性^[32]。道路绿化带营造了林下阴湿生境,适合香樟、海桐(*Pittosporum tobira*)、石楠(*Photinia serrulata*)、小叶女贞(*Ligustrum quihoui*)、复羽叶栎树等木本植物,为它们提供了萌生的条件,也是窃衣、蛇莓等喜欢林缘散射光的草本植物分布空间。另外,旧住区残垣营造的阴湿微生境适合凤尾蕨(*Pteris cretica* var. *nervosa*)等蕨类,以及猫眼草(*Euphorbia helioscopia*)、水蓼(*Polygonum hy-*

dropiper)等耐水湿植物,混凝土遗迹覆盖较薄土层,适合一些耐旱植物,如景天属,以及不耐涝的肉质根植物,如商陆(*Phytolacca acinosa*)等。类似于屋顶生境往往有利于抗逆性强的草本植物^[33]。立交桥下特殊生境适应耐阴和耐旱植物,如猫眼草、老鹳草(*Geranium wilfordii*)、酢浆草等。

3.4 人类干扰强度对分布的影响

植物的分布除了风力、水流、动物等自然因素外,更多地受到人为因素的影响。比如草坪上新出的莎草、绶草可能会被人工清除,正在开花的白茅和狗尾草会被人工修剪,绿篱间萌生的复羽叶栎树、朴树等自生苗会被人为拔除。结果导致很多城市立地的植物不能完成自然演替。本研究发现,新生废弃地(旧区改造拆迁)以菊科和禾本科最多,反映了废弃地立地条件差,先锋植物最先进入的特点。而莘庄地铁站南废弃地被隔断呈“孤岛”,远离人的干扰,形成以构树为主的木本林地,基本实现自生植物的次生演替。

2个事件反映了人类干扰强度对自生植物的影响。一个是废弃地,大叶公路浦星公路地块属农田废弃,其土壤质地有利于自生植物入住,但因为期间人工干扰严重,土地覆盖发生剧烈变化,导致其多样性屡被破坏,样方的物种丰富度均值为4.22种,而同为废弃地的奉贤海思路海乐路地块因为其前身为垃圾堆放场,人为输入增加土壤种子库,其样方物种丰富度为7.25种。这2个案例充分说明人为干扰对多样性的正负效应。另一个是郊区荒路,人为持续的践踏严重影响物种分布,只有那些耐践踏的植物才可能入住,如地锦草(*Euphorbia humifusa*)、车前(*Plantago asiatica*)等。

4 结论

自生植物作为城市里具有自我繁殖和演替能力的自然类群,能够适应城市生态系统多样化的生境。研究发现,一二年生草本和多年生草本自生植物是占据城市立地条件差、污染严重地的先锋植物,对提高城市生态系统服务功能起到独特作用。包括本研究在内的多个研究证明自生植物中乡土植物比重高达70%以上,远高于很多城市绿地,是对人工绿地片面引入外来植物的“自然校正”。研究结果证实了低维护模式对保护自生植物在内的城市植物多样性的重要意义,有利于加强对本地植物的恢复和保护。应当调整现有的人工绿地过于追求人工干预效果的做法,大力实施低维护模式。本研究提出的自生植物分布格局及其影响因素为城市多个立地条件下自生植物资源的培植和保护提供了依据,对揭示城市

绿地的自然演化规律具有重要的参考价值。应进一步加强对自生植物的分布格局和扩散过程机制研究,掌握自生植物的演替规律,正确预测人工绿地群落在自生植物入住后的演化趋势,实现绿地的可持续发展。

参考文献:

- [1] CERVELLI E W, LUNDHOLM J T, DU X. Spontaneous urban vegetation and habitat heterogeneity in Xi'an, China[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 120: 5-33.
- [2] SAX D F, STACHOWICZ J J, GAINES S D. Species invasions: insights into ecology, evolution and biogeography[M]. Sinauer Associates Incorporated, 2005.
- [3] 毛齐正, 马克明, 郭建国, 等. 城市生物多样性分布格局研究进展[J]. *生态学报*, 2013, 33(4): 1051-1064.
MAO Q Z, MA K M, WU J G, *et al.* An overview of advances in distributional pattern of urban biodiversity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(4): 1051-1064. (in Chinese)
- [4] 雷金睿, 宋希强, 何荣晓. 滨海城市公园植物物种多样性比较——以海口市为例[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(1): 118-124.
LEI J R, SONG X Q, HE R X. Comparative analysis of plant species diversity in coastal city parks: a case study of Haikou [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(1): 118-124. (in Chinese)
- [5] KNAPP S, DINSMORE L, FISSORE C, *et al.* Phylogenetic and functional characteristics of household yard floras and their changes along an urbanization gradient [J]. *Ecology*, 2012, 93(8): 83-98.
- [6] 李晓鹏, 董丽, 关军洪, 等. 北京城市公园环境下自生植物物种组成及多样性时空特征[J]. *生态学报*, 2018, 38(2): 581-594.
LI X P, DONG L, GUAN J H, *et al.* Temporal and spatial characteristics of spontaneous plant composition and diversity in a Beijing urban park [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(2): 581-594. (in Chinese)
- [7] ROBINSON S L, LUNDHOLM J T. Ecosystem services provided by urban spontaneous vegetation [J]. *Urban Ecosystems*, 2012, 15(3): 545-557.
- [8] 施朝阳, 王红兵. 农民住区从村落到动迁小区的树种多样性比较[J]. *西北林学院学报*, 2017, 32(4): 1-5.
SHI Z Y, WANG H B. A comparison of tree species diversity from village to farmer's relocated quarter [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2017, 32(4): 1-5. (in Chinese)
- [9] 冷寒冰, 王红兵. 拟自然群落上海郊野公园应用模式的探析[J]. *西北林学院学报*, 2018, 33(4): 254-260.
LENG H B, WANG H B. A model analysis of simulating natural community in country park in Shanghai [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2018, 33(4): 254-260. (in Chinese)
- [10] MILLARD A. Indigenous and spontaneous vegetation: their relationship to urban development in the city of Leeds, UK [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2004, 3: 39-47.
- [11] JIM C Y, CHEN W Y. Habitat effect on vegetation ecology and occurrence on urban masonry walls[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2010, 9(3): 169-178.
- [12] DE SOUSA CA. Urban brownfields redevelopment in Canada: the role of local government [J]. *Canadian Geographer*, 2006, 50(3): 392-407.
- [13] LUNDHOLM J T. Plant species diversity and environmental heterogeneity: spatial scale and competing hypotheses [J]. *Journal of Vegetation Science*, 2009, 20(3): 377-391.
- [14] REHOUNKOVÁ K, PRACH K. Spontaneous vegetation succession in disused gravel sand pits: role of local site and landscape factors [J]. *Journal of Vegetation Science*, 2006, 17(5): 583-590.
- [15] CAVALCA L, CORSINI A, CANZI E, ZANCHI R. Rhizobacterial communities associated with spontaneous plant species in long-term arsenic contaminated soils [J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2015, 31(5): 735-746.
- [16] BOECHAT C L, PISTOIA V C, GIANELO C C, *et al.* Accumulation and translocation of heavy metal by spontaneous plants growing on multi-metal contaminated site in the Southeast of Rio Grande do Sul state, Brazil [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, 23(3): 2371-2380.
- [17] PRACH K, PYŠEK P. Using spontaneous succession for restoration of human-disturbed habitats: experience from Central Europe [J]. *Ecological Engineering*, 2001, 17(1): 55-62.
- [18] JIM C Y, CHEN W Y. Bioreceptivity of buildings for spontaneous arboreal flora in compact city environment [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2011, 10(1): 19-28.
- [19] 何家庆. 中国外来植物 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2012.
- [20] 马金双. 中国入侵植物名录 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [21] 杨月娟, 周华坤, 姚步青, 等. 长期模拟增温对矮嵩草草甸土壤理化性质与植物化学成分的影响 [J]. *生态学杂志*, 2015, 34(3): 781-789.
YANG Y J, ZHOU H K, YAO B Q, *et al.* Effects of long-term simulated warming on soil physicochemical properties and plant chemical components of *Kobresia humilis* meadow [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(3): 781-789. (in Chinese)
- [22] 田志慧, 陈克霞, 达良俊, 等. 城市化进程中上海植被的多样性、空间格局和动态响应(Ⅲ): 高度城市化影响下上海中心城区杂草区系特征 [J]. *华东师范大学学报: 自然科学版*, 2008(4): 49-57.
TIAN Z H, CHEN K X, DA L J, *et al.* Diversity, spatial pattern and dynamics of vegetation under urbanization in Shanghai (Ⅲ): flora of the ruderal in the urban area of Shanghai under the influence of rapid urbanization [J]. *Journal of East China Normal University: Natural Science*, 2008(4): 49-57. (in Chinese)
- [23] 杨永川, 王娟, 达良俊. 城市化进程中上海植被的多样性、空间格局和动态响应(Ⅱ): 城市废弃地上海江湾机场的植物组成 [J]. *华东师范大学学报: 自然科学版*, 2008(4): 40-48.
YANG Y C, WANG J, DA L J. Diversity, spatial pattern and dynamics of vegetation under urbanization in Shanghai (Ⅱ): study on the flora of Jiangwan airport, an abandoned land, Shanghai [J]. *Journal of East China Normal University: Nat-*

- ural Science, 2008(4):40-48. (in Chinese)
- [24] DENG H, JIM C Y. Spontaneous plant colonization and bird visits of tropical extensive green roof[J]. Urban Ecosystems, 2017, 20(2):1-16.
- [25] 陈春谛. 被遗忘的城市“生境”:重庆市墙体自生植物调查分析[J]. 生态学报, 2020, 40(2):473-483.
- CHEN C D. Forgotten urban habitats: analysis of spontaneous vegetation on the urban walls of Chongqing city[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(2):473-483. (in Chinese)
- [26] 张斯斯, 肖宜安. 中国外来入侵植物生活型与性系统多样性[J]. 植物研究, 2013, 33(3):351-359.
- ZHANG S S, XIAO Y A. Life-form and diversity of sexual system of invasive alien plants in China[J]. Bulletin of Botanical Research, 2013, 33(3):351-359. (in Chinese)
- [27] 蔡好, 董丽. 北京市绿道入侵植物扩散的外界影响因子研究[J]. 城市建筑, 2017(36):25-29.
- CAI Y, DONG L. External impact factors on the invasion of invasive plants in Beijing greenway [J]. Urbanism and Architecture, 2017(36):25-29. (in Chinese)
- [28] 蔡北溟, 陈晓双, 达良俊, 等. 上海市环城绿带建成初期林下自然草本植物多样性格局及其成因[J]. 华东师范大学学报:自然科学版, 2012(6):13-20.
- CAI B M, CHEN X S, DA L J, *et al.* Study on the diversity pattern of natural herb under the forest of Shanghai green belt during its early building-up period [J]. Journal of East China Normal University: Natural Science, 2012(6):13-20. (in Chinese)
- [29] 任颖, 何萍, 徐杰, 等. 滦河流域河岸带入侵植物分布特征及其与环境的关系[J]. 应用生态学报, 2017, 28(6):1843-1850.
- REN Y, HE P, XU J, *et al.* Distribution pattern of riparian invasive plants in Luanhe basin, North China and its relationship with environment [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(6):1843-1850. (in Chinese)
- [30] FRAISSÉ T, MULLER E, DÉCAMPS O. Evaluation of spontaneous species for the revegetation of reservoir margins [J]. Ambio, 1997, 26(6):375-381.
- [31] LI X P, FAN S X, GUAN J H, *et al.* Diversity and influencing factors on spontaneous plant distribution in Beijing Olympic Forest Park [J]. Landscape and Urban Planning, 2019, 181:157-168.
- [32] 张庆费, 夏楠. 上海城区主要交通绿带木本植物多样性分析[J]. 中国园林, 2002, 18(1):72-74.
- ZHANG Q F, XIA L. Analysis of the woody plants diversity of some vital urban roads greenbelt in Shanghai [J]. Chinese Landscape Architecture, 2002, 18(1):72-74. (in Chinese)
- [33] CATALANO C, MARCENÒ C, LAUDICINA V A, *et al.* Thirty years unmanaged green roofs: ecological research and design implications[J]. Landscape and Urban Planning, 2016, 149(1):11-19.

(上接第115页)

- [24] 黄红兰, 钟沃谷, 衣德萍, 等. 未来气候变化对我国毛红椿适生区分布格局的影响预测[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2020, 44(3):163-170.
- HUANG H L, ZHONG W G, YI D P, *et al.* Predicting the impact of future climate change on the distribution patterns of *Toona ciliata* var. *pubescens* in China[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2020, 44(3):163-170. (in Chinese)
- [25] GIDDEN M J, RIAHI K, SMITH S J, *et al.* Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century[J]. Geoscientific Model Development, 2019, 12(4):1443-1475.
- [26] 赵嘉阳. 中国1960—2013年气候变化时空特征、突变及未来趋势分析[D]. 福州:福建农林大学, 2017.
- [27] 徐雨晴, 陆佩玲, 于强. 气候变化对植物物候影响的研究进展[J]. 资源科学, 2004, 26(1):129-136.
- XU Y Q, LU P L, YU Q. Review and prospect in the researches of influence of climate change on plant phenology[J]. Resources Science, 2004, 26(1):129-136. (in Chinese)
- [28] CORY MEROW M J S J. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter[J]. Ecography, 2013, 36(10):1058-1069.
- [29] 朱耿平, 原雪姣, 范靖宇, 等. MaxEnt模型参数设置对其所模拟物种地理分布和生态位的影响——以茶翅蝽为例[J]. 生物安全学报, 2018, 27(2):118-123.
- ZHU G P, YUAN X J, FAN J Y, *et al.* Effects of model parameters in MaxEnt modeling of ecological niche and geographic distribution: case study of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha haly*[J]. Journal of Biosafety, 2018, 27(2):118-123. (in Chinese)
- [30] 段义忠, 王驰, 王海涛, 等. 基于生态位模型预测不同气候下沙冬青属植物在我国的潜在地理适生区[J]. 生态学报, 2020, 40(21):1-13.
- DUAN Y Z, WANG C, WANG H T, *et al.* Predicting the potential distribution of *Ammopiptanthus* species in China under different climates using ecological niche models[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(21):1-13. (in Chinese)