

西安市城市公园树木多样性特征研究

魏小芳, 石辉, 段保正, 蒋子银, 李余

(西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 教育部西北水资源与环境生态重点实验室, 西安 710055)

摘要:生物多样性的维持是城市公园的一项重要生态功能,在城市环境建设和城市绿地生态效益发挥中具有重要价值。通过对西安市21个公园40个样方的调查,发现西安城市公园共有57种树木,分属31科46属,本土树种占46.2%,国内引进种占总数的27.2%,国外引进种占总数的26.6%。所调查的21个公园物种丰富度Margalef指数为1.87,多样性指数Simpson指数为0.76,Shannon-Wiener指数为1.66,Pielou均匀度指数为0.80,表现出中等水平的多样性。西安城市公园以引进种占优势的这种树木组成,新建公园的较大树径,主要是人工配置的结果。说明社会经济的发展对城市公园的生物多样性有着重要的影响。

关键词:城市公园; 树木; 生物多样性

中图分类号:S731.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)02-0162-05

Species Diversity of Trees in Urban Parks in Xi'an City

WEI Xiaofang, SHI Hui, DUAN Baozheng, JIANG Ziyin, LI Yu

(School of Environment and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology; Key Laboratory of Water Resources and Ecological Environment in Northwest, Ministry of Education, Xi'an 710055, China)

Abstract: The species biodiversity maintaining is an important ecological function of urban parks, which has great value in an urban landscape and ecological benefits of urban green space. The 40 plots with 20 m×20 m in 21 parks in Xi'an City were investigated. Among these urban parks, there are 57 species trees belonging to 31 families and 46 genera. The native species accounted for 46.2% of total species, the alien species from domestic and foreign introduction accounted 27.2% and 26.6% of total species. For species biodiversity index of trees in 21 investigated urban parks in Xi'an City, the Margalef species richness index was 1.87, the Simpson index was 0.76, Shannon-Wiener index was 1.66, Pielou uniformity index was 0.80. Compared with other cities, the results showed the moderate levels of tree diversity in Xi'an urban parks. The alien species were dominant in the tree species composition, the trees with larger diameter in newly constructed parks in Xi'an City resulted from artificial configuration. Thus, socio-economic development has the important influence on biodiversity in the city park.

Keywords: urban parks; trees; biodiversity

城市公园是由政府或公共团体建设经营,供公众游憩、观赏娱乐等的园林;是城市园林绿地系统的主体,也是城市植物多样性最集中的地方^[1]。研究城市公园的植物多样性水平,对于认识城市化对植物多样性影响,城市植被的生态效益,以及合理的城市园林绿地建设和管理均具有重要的意义。

城市公园由于人为活动的影响,往往具有高层次的多样性、微生境的异质性、以及高的外来物种比例,成为重要的生物多样性热点地区^[2-3]。Van der Veken等研究了比利时 Turnhout 城区的生物多样性,发

现1880—1999年这100多年有1/4的植物消失,其中适应性广的物种更为常见而对生境要求特殊的物种逐渐退化甚至消失^[4];Petr等对中欧的研究发现,1960—1990年代,中欧城市中与人关系密切的伴人植被(synanthropic vegetation)物种多样性和丰富度显著的降低^[5]。在纽约的Pelham Bay公园,从1947年到1994年间,25.5%的乡土植被消失,其中乡土草本植被的消失速率远大于木本植被^[6]。城市中,在本土植被物种多样性减少的同时,还伴随着外来物种的增加。根据文献记录,在纽约城市发展过程中578种

本地物种消失的同时还增加了 441 种外来种^[7]; Rhodora 在 100 多年的城市化过程中丧失了 300 种的本地物种,增加了 200 多种外来物种^[8];在澳洲的 Adelaide 都市圈,近 200 a(1836—2002)至少 89 种本土树种丧失,与此同时增加了 613 种的外来物种^[9]。目前,有关城市公园生物多样性的研究主要集中在欧美,别的地区研究的相对较少。通过对北京市主要公园绿地植物的调查发现,植物种类构成以乡土种为主体,引进种也较为丰富,国内、国外引进种分别占到总种数的 15.78% 和 12.72%^[10];同时公园的乔、灌木植物多样性最高,公园、学校校园植物的总种数都占城区五环内植物总种数的 50% 以上,是城区植物的物种库^[11]。在地处中亚热带常绿阔叶林向北亚热带落叶阔叶林过渡区域的武汉,即使本身的物种多样性较高,其公园的外来物种仍占到公园绿地植物总量的 48.1%^[12]。对台北^[13]和广州^[14]等亚热带常绿地区的公园调查,发现城市树木受到地理位置、城市历史、土地利用和人口的巨大影响,其中城市的历史文化对公园的物种多样性影响更为显著。因此,城市公园被认为是改善城市生物多样性的核心、同时也是主要的城市生物多样性指示物,一般人认为大的公园比小的公园更能维持更多的生物多样性,但多样性得分并不完全与公园大小存在相关性^[15]。

由于天然林的退化和不断的损失,城市植被多样性的维护在促进全球生物多样性保护中具有重要的地位^[16]。然而,城市公园中表现出本土树种和外来种的混合,这种大量引进外来种的行为必然会改变其原有的生态系统功能^[17]。因此对城市公园生物多样性的进一步研究,可有利于对这些问题的认识。西安作为我国半湿润地区的典型城市,有关城市公园生物多样性的研究涉及较少;因此对西安城市公园中起主导生态功能的乔木多样性进行研究,以期对今后的城市绿地建设和功能维护、评价起到指导和借鉴作用。

1 材料方法

1.1 研究区概况

西安属于暖温带半湿润大陆性季风气候,四季冷暖干湿分明,春季升温迅速,干燥多风;夏季炎热高温,日照强烈;秋季凉爽湿润,时有阴雨;冬季寒冷干燥,雨雪偏少。年无霜期 226 d,年平均气温 13.3℃,市区年平均降水量为 584.9 mm,年平均湿度 69.6%。经过大规模的植树造林活动和绿地建设,到 2014 年西安市公园绿地面积已达 4 379.9 万 m²,包括综合公园如大唐芙蓉园、社区公园如劳动公园、专类公园如植物园、带状公园如唐城墙遗址公园、街旁绿地如唐大慈

恩寺遗址公园等。

1.2 样方调查

根据公园的规模和城市植物分布特点,确定各个公园的调查地点和样方数量。样方的大小为 20 m×20 m;样方之间的最小间距大于 150 m,小于此间距不再设置样方;共调查了 21 个公园,共设样方 40 个。对样地内所有胸径大于 5 cm 的树种进行生长状况、种类和数量的记录以及逐株的胸径(D ,即离地面 1.3 m 高处树干的直径)和株高(H ,从地面到树冠顶部的高度)的测量。样方的一些情况见表 1。

表 1 西安城市公园调查的基本情况

编号	公园名称	面积/ 万 m ²	样方 数	调查树 木总数	树种 数
1	纺织公园	3.73	1	24	3
2	浐灞湿地公园	313.00	2	67	8
3	兴庆宫公园	49.50	3	96	6
4	西安博物馆	16.32	2	94	10
5	莲湖公园	6.40	2	46	9
6	劳动公园	7.07	2	54	16
7	丰庆公园	28.00	2	57	9
8	城市运动公园	53.33	2	50	8
9	文景公园	3.44	2	63	8
10	革命公园	10.50	3	145	9
11	大明宫遗址公园	291.58	3	112	8
12	西安烈士陵园	39.61	2	72	7
13	西安植物园	19.98	2	46	15
14	曲江池遗址公园	63.89	3	104	10
15	唐大慈恩寺遗址公园	5.00	1	38	9
16	大雁塔北广场	16.80	1	25	7
17	新纪元公园	7.62	2	65	9
18	唐城墙遗址公园	42.39	1	21	2
19	木塔寺公园	6.98	1	25	6
20	永阳公园	6.98	1	36	9
21	奥林匹克公园	83.10	2	95	9

1.3 数据分析

分别计算 Margalef 指数(d_a)、Simpson 指数(D_s)和 Shannon-Wiener 多样性指数(H')来表征乔木树种的生物多样性,以 Pielou 均匀度指数(J'_{si})来衡量物种在群落内分布状况。

(1) 物种丰富度指数:

$$\text{Margalef 指数 } d_a = \frac{(S-1)}{\ln N} \tag{1}$$

(2) 多样性指数:

$$\text{Simpson 指数 } D_s = 1 - \sum_{i=1}^S \frac{N_i(N_i-1)}{N(N-1)} \tag{2}$$

$$\text{Shannon-Wiener 指数 } H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \tag{3}$$

(3) 物种均匀度指数 J'_{si} :

$$\text{Pielou 均匀度指数 } J'_{si} = H' / \ln S \tag{4}$$

式中: S 表示群落中物种数目; N 为个体总数; P_i 为第 i 种比例多度, $P_i=N_i/N$; N_i 为第 i 种物种个体数。

2 结果与分析

2.1 树种组成分析

在 21 个公园 40 个样方中共调查各种树木 1335 株, 分属 31 科 46 属, 共 57 种。其中国槐 (*Sophora japonica* L.)、大叶女贞 (*Ligustrum compactum*) 和紫叶李 (*Prunus cerasifera* Ehrhar f.) 为出现频率最高的树种, 分别为 16.7%、11.7% 和 6.4%; 银杏 (*Ginkgo biloba* L.)、旱柳 (*Salix matsudana* Koidz)、刺柏 (*Juniperus* L.) 的出现频率分别为 37.8%、37.8% 和 31.1%; 法桐 (*Platanus orientalis*)、油松 (*Pinus tabulae formis*) 和雪松 (*Cedrus deodara*) 出现频率均为 28.9%; 其余的各种树种出现的频率相对较小; 说明这些树种是西安城市公园建设中最常采用的树种。国槐与大叶女贞不但出现的频率较高, 同时其在所有调查树木中所占的比例也较高, 为 15.4% 和 12.4%; 同样出现频率较高的紫叶李, 其数量仅占调查树木数量的 6.3%; 说明紫叶李在各个公园种植的较为广泛但数量较少。油松虽然分布的频率较低, 但种植油松的公园较多, 因此油松具有较高的数量。此外, 常绿树种包括大叶女贞、油松等 14 种, 落叶树种包括国槐、银杏等 39 种, 阔叶树种占绝对优势, 比例高达 81.53%, 而针叶树仅有 4 科 7 属。

从物种来源分析, 在西安公园中的 57 个树种中, 本土树种 16 种, 占本次调查的 46.2%; 国内引进种 27 种, 占总数的 27.2%, 国外引进种 8 种, 占总数的 26.6%。表现出西安城市公园树木种类构成以本土树种为主的特征。公园常用的本土树种有国槐、油松、旱柳、刺柏等。

2.2 植被多样性指数

通过对公园树木多样性进行分析, 从整体来看, 西安公园中物种丰富度 Margalef 指数为 1.87, Simpson 和 Shannon-Wiener 多样性指数分别为 0.76、1.66, 均匀度

Pielou 指数为 0.80。西安植物园与劳动公园是树种最为丰富的公园, 其 Margalef 指数分别为 3.66、3.76; Simpson 指数分别为 0.91、0.89; Shannon-Wiener 指数分别为 2.45、2.37; Pielou 指数指数分别为 0.91、0.85。与之相反, 唐城墙遗址公园是树木生物多样性最低的公园, 调查样方中仅只有银杏、国槐 2 个物种。由于城市公园里的乔木大多是从苗圃移植而来的, 它们的种类、数量是人为配置的, 为了达到园林美化的效果, 所选择的植物物种配置就比较均匀, 因此各公园的均匀度大体相同。

与其他城市相比, 北京^[10]城市公园乔木的 Margalef, Simpson 及 Shannon-Wiener 指数均偏高, 而均匀度指数却较低; 与郑州^[18]相比, 西安公园乔木的 Margalef 和 Simpson 指数偏低, 而 Shannon-Wiener 和均匀度指数偏高; 而杭州、南京^[19]城市公园乔木的 Margalef 指数分别为 1.52、1.18, Simpson 指数分别为 0.65、0.54, Shannon-Wiener 指数分别为 1.23、0.95, Pielou 指数分别为 0.77、0.68, 对比发现, 同样是历史较为悠久的古城, 西安城市公园乔木的多样性水平较高, 主要是由于西安城市公园乔木分布更为均匀; 与厦门^[20]比较发现除西安城市公园乔木的 Shannon-Wiener 指数偏小, 其他指数均较厦门城市公园乔木的指数大; 与青岛^[21]比较发现, 西安城市公园乔木的均匀度指数较高, 其他各项多样性指数均低于青岛城市公园乔木的多样性指数; 与武汉^[22]城市公园乔木的多样性比较发现, 西安城市公园乔木的多样性指数较低; 南宁^[23]城市公园的多样性指数及均匀度指数均比西安市的低; 而与保定市^[24]比较发现, 西安市公园乔木的均匀度指数较高, 其他指数均偏低 (表 2)。可以看出, 各个城市公园乔木的生物多样性水平差异较为明显, 这主要与城市历史、公园设计、植物选择、管理和人类的干扰程度等有关。总体上看, 西安市城市公园乔木的多样性指数居中, 而均匀度指数偏高, 表明西安市城市公园乔木的多样性水平居中, 而乔木的群落分布状况较好。

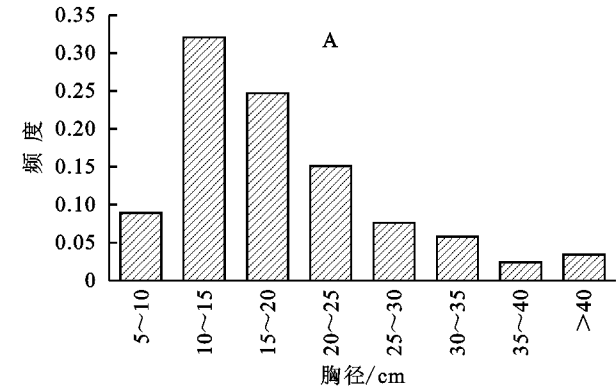
表 2 我国部分城市公园树木多样性的比较

城市	Margalef 指数	Simpson 指数	Shannon-Wiener 指数	Pielou 指数	备注
北京	2.25~8.71	0.72~0.93	1.88~2.97	0.59~0.85	文献[10]
郑州	0.37~30.8	0.19~0.97	0.89~1.69	0.30~1.73	文献[18]
厦门	—	0.65~0.96	1.79~4.90	0.77~0.88	文献[20]
南京	0.00~5.17	0.00~0.93	0.00~2.16	0.00~0.97	文献[19]
杭州	0.00~3.67	0.00~0.92	0.00~2.35	0.00~1.00	文献[19]
青岛	1.87~7.98	—	1.76~3.45	0.79~0.94	文献[21]
武汉	—	0.94	3.12	—	文献[22]
南宁	—	—	0.33~1.55	0.36~0.84	文献[23]
保定	8.04	0.98	0.97	0.97	文献[24]

进一步分析发现,外来种的 Margalef 指数、Simpson 指数及 Shannon-Wiener 指数均高于本地种,仅 Pielou 指数低于本地种(表 3);说明本地种的物种丰富度及多样性水平均较外来种的低,而均匀度高于外来种。可能在建园初期大多种植本地种,而随着园林绿化管理,砍掉了部分本地种,引进了较多的外来物种,且随着近些年来绿化程度的不断提高,对外来种的种植量不断增加,从而使得外来种的多样性水平较高;而本地种由于多年的种植历史,树木的生长趋于稳定,分布更为均匀,所以其均匀度水平较好。

2.3 树种胸径及树高分布

西安城市公园中乔木胸径基本呈现偏左正态分布,平均胸径为 19.1 cm,胸径大于 40 cm 的占 3.37%。从西安城市公园乔木胸径分布图(图 1A)中



3 讨论

城市景观是一种高度的人工化的景观,公园维持较高的生物多样性,可以弥补由于城市化导致的生物多样性的流失、改善公众生活质量,减轻由于城市环境带来的心理压力和降低各种犯罪率^[25];因此在城市发展过程中,以公园为主体的城市绿地建设受到广泛的关注。由于城市的地理位置、土地特征、历史的不同,使得公园的管理者在城市树木的选择方面具有不同的偏好。对观赏绿化植物物种有意或无意的引入,成为外来植物增加的重要原因。最终使得城市公园的树木成为外来种和本土种的混合物,在西安的公园外来种占到 53.8%,本土种占 46.2%;本土树种与外来树种共同构成西安市城市公园的植物景观。由于西安的地理环境特点,城市的发展以中心摊大饼的方式展开,没有各种地貌的阻挡因素,因此极少存在各种自然生境的残余斑块;这样一来,城市公园的物种只有极少部分是自然环境下遗留或自然入侵的所形成。城市公园需要提供更多的景观美学,因此需要更多的不同树种进行搭配种植才能实现这一目的,社会经济状况可促进名贵树木的引进种植,使得稀有种

可以看出,其胸径主要集中在 10~20 cm。西安城市公园内分布最广的六种树种的平均胸径大小依次为:国槐(26.3 cm)>法桐(22.4 cm)>女贞(16.9 cm)>油松(15.1 cm)>银杏树(14.1 cm)>紫叶李(11.4 cm)。株高也呈偏左正态分布,主要分布在 4.8~6.8 m,径阶两端分布比例较少,平均株高为 7.2 m,株高大于 14.8 m 的占 2.20%。从株高分布图(图 1B)中可以看出西安城市乔木的株高主要集中在 4.8~6.8 m,其一部分可能是由于建成时间较短,另一部分可能是因为城市园林绿化管理对树木高度的控制。

表 3 西安市公园本地种与外来种多样性的比较

参数	Margalef 指数	Simpson 指数	Shannon-Wiener 指数	Pielou 指数
本地种	2.13	0.80	1.97	0.73
外来种	4.61	0.90	2.41	0.69

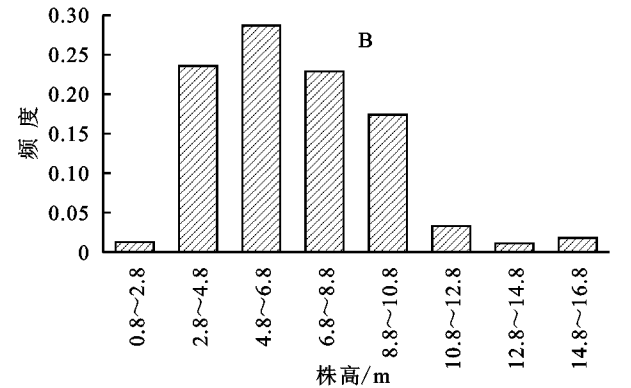


图 1 西安公园树木胸径及树高分布

增加,出现了由自然环境与植物多样性之间的关系转变为经济与植物多样性之间的关系现象^[26]。这种大量外来种的引入,必然改变原有自然本土群落的特点,可能导致对鸟类等动物生物多样性的影响^[17]。

树木的胸径与树木的年龄呈正相关,树木的径级分布在一定程度上可以反映出树木的年龄结构特征,西安城市公园乔木大多处于中幼龄阶段。西安城市公园的常见树种国槐和法桐的径级表明了这两种树木种植历史较为悠久。但一些建园相对较晚的公园,如革命公园(2004 年)、唐城墙遗址公园(2008 年)和木塔寺公园(2009 年)的乔木胸径相对较大,其中的一个主要原因是新建公园多选用大树造林。纺织公园、劳动公园是在原有树木的基础上建造的,其树木胸径也较大。在自然群落中,大树都是所在群落的关键种和优势种,对群落结构和功能起到主导作用;但在城市公园中,大树对所在群落有影响外,还成为公园中各种鸟类等动物的栖息地,目前对大树在生物多样性价值方面的研究还较少^[27]。特别是目前流行的大树进城,既影响了树木产地的环境,成本高、成活率低,且直接种植的大树能否具有与自然生长形成大树的生态功能和生物多样性维持价值值得深入研究。

城市公园在建设之初,一般是作为荒地或建筑垃圾、城市生活垃圾等的堆积地,其适地土壤缺少自然的土壤剖面、新侵入体多,结构差;大量混凝土的使用使得土壤的含钙量增加、pH 值升高^[28];但研究表明,混凝土土层能提高外来物种的比例,减少本土物种的多样性;城市垃圾的倾倒和堆积会带来一些营养物质,甚至植物种子,但对植物的影响并没有表现出预料中的显著性^[1]。由此导致的结果是虽然城市公园具有最多的树种,但由于其植被主要以人工设计为主,自然植被极少参与。作为自然植被代表的乡土树种,一般在公园建设初期,被作为先锋树种来应用;随后在城市公园管理过程中,引进外来物种的增加、先锋树种的砍伐,导致外来物种急剧增加,进而导致外来物种的多样性水平不断提高,而乡土树种的多样性水平降低。而由于乡土植物可以真实地反映出当地的季节变化,符合地域文脉和认知心理的城市意想,近几年在城市园林构建中应用本土植物已经成为热点。

城市公园代表的绿地,存在多种植物的组合,在促进城市植物多样性方面具有重要的潜力。然而城市高度的自我构化,使得城市公园的生物多样性和物种丰富多在同一地区也是不等价的;同时城市环境对物种的选择与自然是不同的^[29]。虽然城市公园培育了最多的树种,但对城市公园中外来树种和本土树种分布格局的演变,植被群落和城市景观之间的关系,城市文化的树种组成都知之甚少,有待于进一步的研究。

4 结论

(1) 西安城市公园共有 57 种树木,分属 31 科 46 属,其中阔叶树种占绝对优势,本土树种占本次调查的 46.2%,国内引进种占总数的 27.2%,国外引进种占总数的 26.6%,表明西安在公园建设过程中,形成了本土树种与引进种相结合的植物景观。乔木的胸径和株高均呈偏左正态分布,从胸径分布中可以看出西安市城市公园的乔木大多仍处于中幼龄阶段。

(2) 西安城市公园乔木的物种丰富度 Margalef 指数为 1.87,多样性指数 Simpson 指数为 0.76, Shannon-Wiener 指数为 1.66, Pielou 均匀度指数为 0.80。与其他城市比较发现,西安市城市公园乔木层的多样性水平居中,而群落分布状况较好;西安城市公园本地种的多样性水平低于外来种的多样性水平。

(3) 西安城市扩展过程中缺少自然生境的残余斑块,因此公园的植被以人工配置为主,极少有自然植被的入侵,可见社会经济水平对公园树木的多样性水平具有重要的影响。

参考文献:

- [1] 彭羽,刘雪华. 城市化对植物多样性影响的研究进展[J]. 生物多样性, 2007, 15(5): 558-562.
- [2] Jim C Y, Chen W Y. Diversity and distribution of landscape trees in the compact Asian city of Taipei[J]. Applied Geography, 2009, 29(4): 577-587.
- [3] Goddard M A, Dougill A J, Benton T G. Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2010, 25(2): 90-98.
- [4] Van der Veken S, Verheyen K, Hermy M. Plant species loss in an urban area (Turnhout, Belgium) from 1880 to 1999 and its environmental determinants[J]. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 2004, 199(6): 516-523.
- [5] Pyšek P, Chocholouáková Z, Pyšek A, et al. Trends in species diversity and composition of urban vegetation over three decades[J]. Journal of Vegetation Science, 2004, 15(6): 781-788.
- [6] De Candido R. Recent changes in plant species diversity in urban Pelham Bay Park, 1947 - 1998[J]. Biological Conservation, 2004, 120(1): 129-136.
- [7] Decandido R, Gargiullo M B. A First Approximation of the Historical and Extant Vascular Flora of New York City: Implications for Native Plant Species Conservation[J]. Journal of the Torrey Botanical Society, 2004, 131(3): 243-251.
- [8] Standley L A. Flora of Needham, Massachusetts 100 years of floristic change[J]. Rhodora, 2003, 105(924): 354-378.
- [9] Tait C J, Daniels C B, Hill R S. Changes in species assemblages within the Adelaide metropolitan area, Australia, 1836—2002[J]. Ecological Applications, 2005, 15(1): 346-359.
- [10] 郑瑞文,刘艳红. 北京市公园绿地植物多样性研究[J]. 科学技术与工程, 2006, 6(15): 2309-2315.
- [11] 孟雪松,欧阳志云,崔国发,等. 北京城市生态系统植物种类构成及其分布特征[J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2200-2206.
- [12] Liu X Q, Jia R, Chen L Q. Diversity analysis on the plant communities of urban park green space in Wuhan[J]. Journal of Landscape Research, 2009, 1(8): 24-27, 51.
- [13] Jim C Y, Chen W Y. Pattern and divergence of tree communities in Taipei's main urban green spaces[J]. Landscape and Urban Planning, 2008, 84(3): 312-323.
- [14] Jim C Y, Liu H T. Species diversity of three major urban forest types in Guangzhou City, China[J]. Forest Ecology and Management, 2001, 146(1): 99-114.

- [J]. 环境科学与技术, 2008, 31(4): 10-14.
- [13] 王磊, 李林. 太湖湖滨湿地沉积物氮磷与 2 种挺水植物氮磷的关系[J]. 生态环境学报, 2011, 20(10): 1523-1529.
- [14] 王佩, 卢少勇, 王殿武. 太湖湖滨带底泥氮、磷、有机质分布与污染评价[J]. 中国环境科学, 2012, 32(4): 703-709.
- [15] 甘树, 卢少勇, 秦普丰, 等. 太湖西岸湖滨带沉积物氮磷有机质分布及评价[J]. 环境科学, 2012, 9(33): 3065-3070.
- [16] 田自强, 郑丙辉, 张雷. 西太湖湖滨已恢复与受损芦苇湿地环境功能比较[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2625-2633.
- [17] 刘绍雄, 王明月, 杨宇明, 等. 剑湖湿地湖滨带 5 种植物群落类型氮和磷的根际效应[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(10): 73-77.
- [18] 吴永红, 胡俊, 金向东, 等. 滇池典型湖湾沉积物氮磷化学特征及疏浚层推算[J]. 环境科学, 2005, 26(4): 77-82.
- [19] 赵兴青, 杨柳燕, 于振洋, 等. 太湖沉积物理化性质及营养盐的时空变化[J]. 湖泊科学, 2007, 19(6): 698-672.
- [20] 孙宁波, 王宇庭, 孙春光, 等. 黄河三角洲水库底泥中氮、磷特征及其与水体磷富营养化关系[J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2007, 24(4): 274-278.
- [21] 陈如海, 詹良通, 陈云敏, 等. 西溪湿地底泥氮、磷和有机质含量竖向分布规律[J]. 中国环境科学, 2010, 30(4): 493-498.
- [22] 邵亚, 蔡崇法, 赵悦. 桂林会仙湿地沉积物中磷形态及分布特征[J]. 环境工程学报, 2014, 12(2): 340-346.
- [23] 张台凡, 宋进喜, 杨小刚, 等. 渭陕西段沉积物中总磷、总氮时空分布特征及其影响因素研究[J]. 环境科学学报, 2015, 35(5): 1393-1399.
- [24] Stottmeister U, Wiebner A, Kusch P, et al. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment[J]. Biotechnology Advances, 2003, 22(2): 93-117.
- [25] 李莎莎. 滇西北高原典型湿地湖滨带水—基质—植物系统的净化功能研究[D]. 昆明: 西南林业大学, 2011.
- [26] 崔丽娟, 李伟, 张曼胤, 等. 不同湿地植物对污水中氮磷去除的贡献[J]. 湖泊科学, 2011, 23(2): 203-208.
- [27] 许国云, 段宗亮, 田昆, 等. 滇西北高原主要湿地挺水植物净化氮磷效应研究[J]. 山东林业科技, 2014, 12(2): 1-6.
- [28] 雷泽湘, 徐德兰, 顾继光, 等. 太湖大型水生植物分布特征及其对湖泊营养盐的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 698-704.
- [29] 徐治国, 何岩, 闫百兴, 等. 营养物及水位变化对湿地植物的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(1): 87-92.
- [30] 鲁静, 周虹, 霞田广宇, 等. 洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征[J]. 生态学报, 2011, 31(3): 0709-0715.
- [31] 姜凯. 水塘湿地截留和净化农业面源污染物特征研究[D]. 南京: 河海大学, 2006.
- [32] 王震宇, 温胜芳, 李锋民, 等. 南四湖湿地六种水生植物的磷素根际效应[J]. 中国环境科学, 2010, 30(S): 64-68.

~~~~~

(上接第 166 页)

- [15] Cornelis J, Hermy M. Biodiversity relationships in urban and suburban parks in Flanders[J]. Landscape and Urban Planning, 2004, 69(4): 385-401.
- [16] Alvey A A. Promoting and preserving biodiversity in the urban forest [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2006, 5(4): 195-201.
- [17] Nagendra H, Gopal D. Tree diversity, distribution, history and change in urban parks; studies in Bangalore, India[J]. Urban Ecosystems, 2011, 14(2): 211-223.
- [18] 张娜娜. 郑州市公园绿地植物多样性与景观研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [19] 易军. 城市园林植物群落生态结构研究与景观优化构建[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.
- [20] 洪志猛. 厦门城市公园植物群落的物种丰富度调查分析[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2009, 33(2): 51-54.
- [21] 马栋栋, 吴海霞, 王晓茜, 等. 青岛城市公园绿地多样性研究[J]. 山东林业科技, 2012, 42(2): 52-54.
- [22] 李智琦. 武汉市城市绿地植物多样性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005.
- [23] 石孟春, 和太平, 招礼军. 南宁市城市园林绿地系统植物多样性调查分析[J]. 广西科学院学报, 2008, 24(2): 130-133.
- [24] 曹立颜, 张宇, 盖力岩, 等. 保定市城市绿地植物多样性研究[J]. 河北林果研究, 2009, 24(1): 95-99.
- [25] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas[J]. Ecological economics, 1999, 29(2): 293-301.
- [26] Hope D, Gries C, Zhu W, et al. Socioeconomics drive urban plant diversity[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2003, 100(15): 8788-8792.
- [27] Stagoll K, Lindenmayer D B, Knight E, et al. Large trees are keystone structures in urban parks[J]. Conservation Letters, 2012, 5(2): 115-122.
- [28] 石辉. 城市环境学[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2010.
- [29] Knapp S, Kühn I, Schweiger O, et al. Challenging urban species diversity: contrasting phylogenetic patterns across plant functional groups in Germany[J]. Ecology Letters, 2008, 11(10): 1054-1064.