

面向城市生态品质提升的复合生态廊道建设探讨

Discussion on the Construction of Composite Ecological Corridor for Improving Urban Ecological Quality

陈雪初 尤怡靖 陈小勇*
CHEN Xuechu YOU Yijing CHEN Xiaoyong*

基金项目:

上海市科委社发项目“城市生态廊道农林湿复合生态功能构建技术及应用示范”(编号: 19DZ1203400)

文章编号: 1000-0283 (2021) 08-0007-06

DOI: 10.12193/j.laing.2021.08.0007.002

中图分类号: TU986

文献标志码: A

收稿日期: 2021-06-21

修回日期: 2021-07-06

摘要

上海市在2035总体规划中提出建设“生态之城”的发展目标,而如何锚固生态基底、提升城市生态品质是事关能否带头走好生态优先、绿色发展之路的关键问题。尽管在河流污染治理、城市绿化建设等方面已取得了显著成效,上海总体仍存在生态系统服务功能不高、农业面源污染严重等问题。由水系、林地、湿地、农田等要素组合形成的复合生态廊道作为一种带状生态空间,具有提升生物多样性、控制径流和农业面源污染、提供景观休憩等多种服务功能。分析探讨国内外利用城市生态廊道提供生态系统服务的技术策略,建议在上海市城市生态走廊的重要节点区域,利用本地适生植物固坡、截污和景观功能,构建以区域性水系为脉络,以周边林地、湿地为斑块,以地标性森林植物群落为特色,不仅具有径流控制作用,同时满足市民休憩亲水需要和动物栖息活动需求的河岸带生态廊道;进一步复合利用农用地周边的林地、湿地、小微水体,促使其成为吸收和转化农业生产排放的过量营养物质、保育生物栖息地的农林湿复合生态空间,可望为农业面源污染控制、生物多样性保护、生态品质提升等问题提供系统性的解决方案,从而能够利用有限的生态空间提供更多的优质公共服务以满足市民美好生活需要,为面向2035锚固城市生态基底、提升城市生态品质提供重要支撑。

关键词

生态廊道; 生态系统服务; 河岸缓冲带; 农林湿复合

Abstract

In the 2035 vision, Shanghai has put forward the development goal of building itself an ecological city, and the key point in achieving the mode of prioritizing ecological conservation and boosting green development is to find out how to reinforce its ecological basis as well as to improve the urban eco-environmental quality. Although Shanghai has remarkably succeeded in river pollution management and urban greening, other problems such as poor ecosystem services and heavy agricultural non-point source pollution still remain to be solved. The composite ecological corridor, which consists of elements including drainage network, forest, wetland and farmland, has multiple functions like promoting biodiversity, regulating runoff, controlling agricultural non-point source pollution and meeting the recreational needs. This article discussed different domestic and foreign technology strategies in using urban ecological corridors to provide ecosystem services, and we suggested that Shanghai should use suitable native plants to stabilize river banks, intercept sewage and provide landscape in planned nodes. The ecological corridors include the drainage network, which functions as the vein, forest and wetland, which functions as the ecological nodes, and green living landmark, which characterizes local vegetation. Such corridors have the functions of regulating runoff and satisfying the needs of citizens for recreation and animal habitat activities. Such corridors further compound use of woodlands, wetlands, and small water bodies surrounding agricultural land to promote them to become agroforestry wet composite ecological space that absorbs and transforms excessive nutrients discharged from agricultural production and protects biological habitats. These corridors can be a systematic solution for controlling agricultural non-point source pollution, protecting biodiversity and promoting eco-environmental quality, meeting the requirements of "afforestation, colorization, preciousness and efficiency" for ecological spaces. Such ecological corridors will provide high quality public services for citizens, reinforce the ecological basis and improve the urban eco-environmental quality of the 2035 vision.

Key words

ecological corridor; ecosystem services; riparian buffer zone; agroforestry wet compound

陈雪初

1980年生/男/浙江温州人/博士/
华东师范大学教授/研究方向为受损
湿地恢复与水域生态学研究(上海
200241)

尤怡靖

2000年生/女/福建泉州人/华东师范
大学本科在读/研究方向为修复生态学
(上海 200241)

陈小勇

1967年生/男/湖南攸县人/博士/华
东师范大学教授/研究方向为植物生
态学(上海 200241)

*通信作者 (Author for correspondence)

E-mail: 15850555120@126.com

1 上海城市生态品质提升中面临的问题

上海作为长三角世界级城市群的核心城市，正处于建设卓越全球城市的重要时期，力争在2035年建成令人向往的创新之城、人文之城、生态之城。然而，对标东京、纽约等国际大都市发现，上海的城市生态品质仍处于落后水平。另一方面，和中国其他大都市类似，上海面临着生态安全和土地资源约束的发展瓶颈，近30年快速城市化过程中，在以土地促增长的同时，城市生态基底受损现象严重，大规模的湿地、耕地、林地等转化为城市建设用地，大量自然生态空间消失，生境破碎化严重，关键生物类群退化甚至局域灭绝。生态基底受损带来的一个直接后果就是城市生态系统服务功能下降和韧性降低，虽然生态化建设力度也在不断增加，但城市总体生态质量仍处于较低水平。如何锚固生态基底、提升生态品质是事关上海能否带头走好生态优先、绿色发展之路，能否成功建设卓越全球城市的关键问题。

针对城市生态品质提升问题，在过去20年间，上海市环保、绿化等部门及相关机构从各自行业特点出发，围绕城市生态空间，推进实施了不同类型的治理、修复、营建计划，在河流污染治理、城市绿化建设等方面取得了很大成就，水域点源污染逐步得到控制，河流黑臭现象基本消除，城市绿化面积有了显著增加，但仍存在水陆联动较差、生态系统服务功能不高、生态系统韧性低下等问题，且生态建设过程较少协同考虑绿化、彩化、珍贵化、效益化，造成市民对生态品质提升的直接感受度不高。另一方面，上海市域空间中农业用地仍占主导地位，城市郊野地区粗放管理的农业生产，不可避免地造成农业面源污染物质大量排放，导致区域性河流水质恶化、生物栖息地退化等诸多生态环境问题，这成为影响城乡生态品质的重要制约因素，同时也是城市河流水质难以提升的主要原因之一。虽然近年来上海市在黑臭河流治理方面取得了许多卓有成效的成果，但在阻断与治理农业面源污染方面的方法和手段并不多。此外，伴随区域内污染排放逐步得到控制，经由降水输入的污染物的影响日益突出，在当前难以从源头消减这些污染物的背景下，截留并减少进入河道的污染物对于水质改善十分关键。

2 构建城市生态廊道的重要国际经验

城市生态廊道是具有保护生物多样性、过滤污染物、防止水土流失等生态服务功能的线状或带状景观要素。早期城市

生态廊道建设的理念是城市规划与景观生态学融合发展的产物。城市化不可避免地造成不透水地面面积的增加，生态空间占比大大减少，使得城市区域从原先以绿色生态空间为主退化到以钢混建筑物、水泥路面等灰色基质为主。为此，欧美等国在城市规划中引入了景观生态学的思想，在城市中的关键区域构建生态廊道与生态斑块，以优化城市生态空间。Forman的一系列景观生态学经典论文中提出，不同面积的城市生态空间可以提供不同的生态系统服务功能，小斑块与大斑块应相结合并均匀分布，同时，各斑块之间可通过廊道连接起来，在人类活动的外围区域布局一些人嵌块等^[1]。这些景观格局调控的理论在伦敦的生态建设中得到应用：伦敦的城市生态空间整体上呈现出放射状，其中，市中心的绿地面积较小而分散，而郊区则较大且连接成片^[2]。研究显示，伦敦的这一生态空间格局有助于提升城市生态空间的生物多样性维护、热岛缓解、娱乐休闲等服务功能^[3]。从发达国家的经验来看，城市生态廊道在一些国际性大都市已成为城市化地区生态系统服务的主要提供者，而城市生态廊道上的关键节点，如纽约的哈德逊河滨公园、中央公园等，甚至成为整个城市的生态地标，发挥提升城市生态品质的关键性作用。

3 利用城市生态廊道提供生态系统服务的研究与实践

3.1 以生物多样性提升为目标的生态廊道设计

伴随城市化进程，基础设施建设、水资源开发、土地利用改变等大规模人类活动持续增加，使物种生境消失或破碎化，导致物种消失的速率比自然灭绝快近十倍。生态廊道对于破碎化生境中物种种群间的交流十分重要，且生态廊道作为质量较高的生境，可为周边区域提供种源。通过生态廊道的设计，配合生态工程建设，提高栖息地连通性，对生物多样性保护具有积极意义。

生态廊道已成为近20年保护生物学与生态学领域的研究热点，并开展了不少设计与实践探索。如加拿大班夫国家公园为降低穿越公园区域的高速公路对动物游移、迁徙的阻断，建设了24座生物通道，有效加强了动物栖息地的连通，在连续35个月的监测中发现有蹄类和食肉类动物使用这些通道^[4]。博茨瓦纳城市中的野生动物廊道使大象能够顺利通过农业、工业和休闲用地。城市绿地促进了欧洲刺猬在被河流和高速公路分割的生境之间的移动。印度东南地区两个生物地理省交界区域的栖息地连通性高，保证了印度灰狼的

栖息地和未来生存^[5-7]。对加拿大的一种红腿蛙 (*Rana aurora*) 而言, 位于溪流附近的树丛构成的踏脚石有助于其种群的交流^[8]。关于上海水网景观连接度对生物多样性的影响机制分析发现, 连通性较好、连线数量较多、景观节点间连接性较强的水网系统对鸟类、两栖类、爬行类、鱼类的物种丰富度有一定的积极效应^[9]。这些关于生态廊道与生物多样性保护关系的研究与实践, 为开展城市生态系统中连接生境和景观的生态廊道的设计与建设提供了十分重要的理论基础和实践借鉴。

3.2 利用河岸缓冲带构建蓝绿复合生态廊道

3.2.1 河岸缓冲带的概念

除了提供生物多样性功能之外, 近年来一些研究设法利用生态廊道为城市提供更多的生态系统服务, 尤其在生态环境质量提升方面发挥更大作用。较为典型的是利用河岸构建生态缓冲带, 形成蓝绿复合的生态廊道。

河岸缓冲带最初是从河岸带管理措施角度出发的一个定义, 又称为植被过滤带、植被保护带、植被缓冲带等, 是欧美等河岸带研究和管理水平较高国家常用的一个概念, 国际上通常称其为最佳管理措施 (BMPs)。Muscutt 较为系统地提出了缓冲带的概念, 指设立在潜在陆域污染源区与受纳水体之间, 由林、草或湿地覆盖的区域, 能有效吸附、过滤陆域污染物质, 通常为带状^[10]。也有国内学者指出, 河岸带具有多种功能, 其中缓冲带的主要功能是截留和纳污^[11-13]。上海属于平原河网地区, 河岸缓冲带结构、功能等特征与山地地区存在明显差异。山地河岸两侧地形通常坡降较大, 断面也相对狭窄, 缓冲带宽度窄, 降雨后缓冲带产汇流时间短、流速快, 流量集中, 地表冲刷强度大, 污染物截留能力较差; 而平原河网地区通常地势平坦, 缓冲带宽度大、坡度小、植物生长茂密, 降雨径流在此区域被充分阻滞而降低速度, 其中的污染物质也可被有效截留^[14]。

3.2.2 河岸带生态廊道的功能与建设方法

在城市河流两侧构建滨岸缓冲带体系, 不仅可以削减污染物、减少水土流失, 而且还可以产生更加复杂的生态效应, 如增加生境多样性、提升生物多样性等, 形成复合的多种功能^[15]。如东京多摩川、荒川等河流与东京市中心一些两岸未建滨岸缓冲带的河流相比, 其水鸟的物种丰富度与多度均有大

幅提升^[16]。李东海等利用遥感影像分析城市水体与地表温度关系的研究表明, 在河流周围 200 m 范围的缓冲区内, 降温效果最高可达 0.9℃^[17], 可见河流及其滨岸带构成的蓝绿复合生态廊道还能够发挥缓解城市热岛效应的功能。在上海城市近期建设和未来规划中, 提出要构建城市蓝绿生态廊道, 以在有限的空间内提升生态效率, 形成复合的生态系统服务功能。《上海市生态廊道体系规划》(2017—2035 年) 的现状评估趋势判断指出, 最主要的体系化建设在于滨河、沿路的廊道建设, 既要发挥河岸带的防洪、径流缓冲的作用, 也要满足市民日益增长的游憩空间需求。因此, 如何提升复合生态功能是河岸带生态廊道建设的关键。

值得注意的是, 植物群落是河岸带营造生态景观的基础, 河岸带生态廊道建设需要选择合适的乔木作为建群植物, 结合灌木和草本进行优化配置, 形成具有一定结构和功能的植物群落^[18]。《上海市生态廊道建设导则 (试行)》详细规定了廊道内沟渠的面宽、底宽、深度等数据, 但缺少对于植物种类、种植形式的详细阐述。上海市《生态公益林建设技术规程》(DG/TJ08-2058-2009) 从造林角度详细阐述了生态公益林技术规范, 推荐了不同林相的树种选择和造林密度, 但是生态廊道在植物品种、苗木规格以及河道空间等各方面都有更高的要求。就上海地区河岸带而言, 还存在可绿化空间窄、水陆交错带连续性被破坏、植物种类单一、乡土适生种类应用频率低等问题。因此, 基于上海市河岸带生态廊道建设和河道植物应用现状, 亟需筛选、建立以乡土植物为主体的适生植物数据库, 研发具有固坡、截污等复合功能, 且景观效果良好的植物配置模式和蓝绿融合的空间规划方案, 发挥河岸带生态廊道的复合生态功能。

3.3 利用林湿生态空间构建复合生态廊道

上海郊野地区农田、河网交错密布, 水资源丰沛, 农业生产污染物排放强度也非常大, 农业面源污染已经成为上海郊野地区水环境污染的主要来源。农业面源污染对水环境的主要危害是随径流排放进入地表水体, 其受土地利用、地形地貌、土壤结构、水文特征、气候等因素的影响较大, 具有量大、面广、变化快, 而且排放分散、无序等特征, 收集和治理难度非常大。如果农田附近或河流两岸存在缓冲带, 则地表水体接纳的农田径流产生的污染物质必然会先经过缓冲带而受到不同程度的截留^[19]。20 世纪 80 年代中后期以来, 利用缓冲带

控制农业面源在美国、日本等国家得到了迅速发展^[20]。美国农业部林务局早在1991年就制定了“河岸缓冲带区划标准”，作为河溪水质保护、防止农业污染而规划的河岸缓冲带系统及区内的构建和管理规范。

传统河岸带截留颗粒物和削减其他污染物质的作用，主要发生在前端缓冲带，植被丧失和河岸带生态系统退化都会不同程度地降低缓冲带的截污功能^[21]。河岸带植被能通过增加地表粗糙度来改变微地形，从而促进径流下渗，减少水流的挟沙能力，最后通过植被吸收转化达到拦截污染物的效果^[22]。而Pām等研究发现，在缓冲带生态系统中，除了植被能大量吸收径流水中带来的氮磷污染物，土壤也能成为营养盐的汇，且土壤中的厌氧微生物还能通过反硝化去除氮元素^[23]。此外，河岸缓冲带还对重金属污染物有显著的削减作用^[24]。吴建强等经过室内模拟实验研究发现，上海地区白花三叶草(*Trifolium repens*)、百慕大草本(*Cynodon dactylon*)植被缓冲对农田径流固体悬浮物、氮、磷等污染物截留效果明显^[25]。黄沈发等、王敏等通过现场试验研究发现，不同植被、不同坡度的缓冲带对农田径流氮磷污染的截留效果差异明显，缓冲带的污染物截留能力明显优于空白对照^[26-27]。胡威等通过对洱海流域面源污染控制的现场试验研究发现，草皮缓冲带能有效截留地表SS、TN、TP，而裸露地几乎没有削减效果，草皮缓冲带污染物截留效果沿程逐渐降低^[28]。

值得注意的是，在我国，由于农业区域生态空间有限，可供利用于建设缓冲带的空间面积十分有限，特别在上海郊野地区，田间河道两岸遍布道路，可供植物生长的区域极为有限，难以形成真正具有净化效果的生态缓冲带，因此如何结合郊野地区生态空间分布特点，优化不同植物群落构建，提升生态廊道的复合生态功能是具有重要意义的研究方向。

3.4 构建适应“四化”要求的生态廊道

当前上海正在推进“绿化、珍贵化、彩化、效益化”建设。如何构建适应“四化”建设要求的生态廊道是亟待深入研究的方向。华东师范大学的学者提出，应推进以城市近自然型绿色生命地标的绿化、季相变幻为特点的色彩化、以生物多样性保育为基底的珍贵化、以功能多元拓展为导向的效益化，通过综合推进实现卓越全球城市的生态宜居建设目标^[29]。

在生态廊道的“绿化”方面，可考虑以上海地带性植被为基底。常绿阔叶林和落叶常绿混交林在增湿、降噪等方面功能优异，其中以乔木优势树种女贞(*Ligustrum lucidum*)和香樟(*Cinnamomum camphora*)为主的群落表现出较好的更新能力^[30]，常绿阔叶林女贞群落在这方面具有较高的生态效益^[31]。位于上海环城林带的落叶针叶林池杉(*Taxodium distichum* var. *imbricatum*)群落在调节温湿度、提供负离子、降噪、净化空气和土壤改良等方面的生态效益较好，也表现出较高的美景度，整体来看群落效益与叶面积指数、郁闭度成正比例关系^[31]。

树种季相性的“彩化”是提升美景度的重要方面，春季彩叶树种常见的配置方式有孤植、丛植、群植、色块种植和基础种植等，提升上海绿地的彩化。秋季彩叶树种乌桕(*Triadica sebifera*)叶片颜色变化范围较广，另外还有樱花(*Cerasus*)和紫薇(*Lagerstroemia indica*)等，夏秋季节可产生绿、黄、橙、红等色彩的变化过程。但乡土植物挖掘不够，还需从品种选育和驯化、生物学特性和生态习性的应用配置、养护管理等方面提升^[32]。

就生态廊道“珍贵化”而言，利用具较高经济价值的乡土珍贵物种展现生物多样性特征是具有实用价值的研究方向，可加入上海本土分布的重要保护价值或高水平经济价值的树种，如舟山新木姜子(*Neolitsea sericea*)、天目铁木(*Ostrya rehderiana*)、普陀鹅耳枥(*Carpinus putoensis*)等珍稀濒危植物，不仅为濒危物种提供迁地保育地，而且也提升了生态廊道的珍稀性、多样性、观赏性、点缀性，显现了具备生物多样性保育境界的生态构建文化韵味。

此外，珍贵树种和经济价值较高物种的配置，可提高生态廊道的效益化水平，而优化空间配置提升生态功能，无疑可以提升生态廊道的生态效益和社会效益。

4 上海建设复合城市生态廊道的路径建议

在我国，随着生态文明建设的全面推进和绿色发展进程的加快，生态廊道理论研究受到研究者的密切关注，其被相继应用于上海、广州、深圳、武汉、福州等大中型城市的规划与建设中。总体而言，现有城市生态廊道大多结构单一，生态系统服务功能难以充分发挥。就上海市而言，如何在现有的较为单一的城市生态廊道建设的基础上，结合不同区域发展需求特点，优化生态廊道空间配置，构建合适的群落类型，提升复合生态功能，是当前亟需解决的重要问题。



1. 建设中的廊下郊野公园二期农林水乡

值得关注的是,上海具有水系城市的历史底蕴,在大规模开发建设之前,城乡区域以河流为廊道,以水系为网络,连接耕地、林地、湿地,相互交织、长期演变形成了独具特色的农林湿一体的景观格局,构成了支撑城乡人类活动的生态基底。然而伴随着城市化进程,农林湿一体的景观格局被逐步打破,生态空间破碎化现象普遍。回顾最近几十年来上海为解决生态基底受损问题所实施的各项措施,不难发现虽然针对农林湿等生态空间开展了不同类型的整治修复工作,但是还缺乏从“整体保护、系统修复、综合治理”角度出发提出解决方案并付诸实践。此外,城市是人类活动的集聚区,用于生态建设的用地不可能无限增加,如何在有限生态用地基础上尽可能地提升复合生态功能,成为城市发展必须解决的关键问题。

最近,在华东师范大学、上海市土地整理与建设用地管理中心等单位的推动下,结合土地综合整治,以廊下郊野公园(图1)、漕泾郊野公园等为依托,开展农林湿复合生态廊道构建的工程实践,总体技术思路为在城市生态走廊的重要节点区域,利用本地适生植物固坡、截污和景观功能,构建以区域性水系为脉络,以周边林地、湿地等为生态节点,地标性森林

植物群落为特色,具有径流控制作用,同时满足市民休憩亲水需要和动物栖息活动需求的河岸带生态廊道;进一步复合利用农用地周边的林地、湿地、小微水体,促使其成为吸收和转化农业生产排放的过量营养物质、保育生物栖息地的农林湿复合生态空间,可望为农业面源污染控制、生物多样性保护、生态品质提升等问题提供系统性的解决方案。

从上海市2035总规划建设“生态之城”所提出的实施路径来看,优化生态空间,开展生态修复和生态化建设,是面向2035锚固生态基底、提升生态品质的主要对策措施。而在此过程中,通过土地综合整治,建设城市郊野公园、生态走廊等重大项目是实现目标的关键抓手。从上海市国土空间生态修复的全局视角来看,如能结合土地综合整治,利用市域生态空间内的水系、林地、湿地、农田等,建设不同类型的复合城市生态廊道,同时探索构建符合上海本土特色的农林湿景观,并促进生态空间绿化、彩化、珍贵化、效益化,将有可能在满足城市人类活动的同时,形成供给生态系统服务和支持生物多样性的热点区域,从而能够利用有限的生态空间提供更多的优质公共服务以满足市民美好生活需要,为面向2035锚固城市生态基底、提升城市生态品质提供重要支撑。LA

参考文献

- [1] FORMAN R. Some General Principles of Landscape and Regional Ecology[J]. Landscape Ecology, 1995, 10(3): 133-142.
- [2] 李开然. 绿道网络的生态廊道功能及其规划原则[J]. 中国园林, 2010, 26(3): 24-27.
- [3] 王红兵, 陈家宽. 环城绿带格局与大城市规模的相关性[J]. 科学通报, 2014, 59(15): 1429-1436.
- [4] 万敏, 陈华, 刘成. 让动物自由自在地通行——加拿大班夫国家公园的生物通道设计[J]. 中国园林, 2005(11): 17-21.
- [5] ADAMS T, CHASE M J, ROGERS T L, et al. Taking the Elephant out of the Room and into the Corridor: Can Urban Corridors Work?[J]. Oryx, 2016, 1(02): 1-7.
- [6] BRAAKER S, KORMANN U, BONTADINA F, et al. Prediction of Genetic Connectivity in Urban Ecosystems by Combining Detailed Movement Data, Genetic Data and Multi-path Modelling[J]. Landscape and Urban Planning, 2017(160): 107-114.
- [7] LALIT, KUMAR, SHARMA, et al. Identifying Suitable Habitat and Corridors for Indian Grey Wolf (*Canis lupus pallipes*) in Chotta Nagpur Plateau and Lower Gangetic Planes: A Species with Differential Management Needs[J]. PloS ONE, 2019, 14(4): e0215019.
- [8] ANN C. ALLAYE C M, MOY A. Evaluating Residual Tree Patches as Stepping Stones and Short term Refugia for Red legged Frogs[J]. Journal of Wildlife Management, 2011, 71(6): 1836-1844.
- [9] 丁宇新, 干靓. 上海城市水网景观连接度对生物多样性的影响研究[J]. 上海城市规划, 2018(04): 86-90.
- [10] MUSCUTT A D, HARRIS G L, BAILEY S W, et al. Buffer Zones to Improve Water Quality: a Review of Their Potential Use in UK Agriculture[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1993, 45(1-2): 59-77.
- [11] 郭二辉, 孙然好, 陈利顶. 河岸植被缓冲带主要生态服务功能研究的现状与展望[J]. 生态学报, 2011, 30(8): 1830-1837.
- [12] 曹宏杰, 焉志远, 杨帆, 等. 河岸缓冲带对氮磷污染消减机理及其影响因素研究进展[J]. 国土与自然资源研究, 2018(3): 46-50.
- [13] 汤家喜, 孙丽娜, 孙铁珩, 等. 河岸缓冲带对氮磷的截留转化及其生态恢复研究进展[J]. 生态环境学报, 2012(8): 1514-1520.
- [14] WEISSTEINER C J, BOURAQUI F, ALOE A. Reduction of Nitrogen and Phosphorus Loads to European Rivers by Riparian Buffer Zones[J]. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 2013, 408(08): 1-15.
- [15] BENNETT A B, GRATTON C. Local and Landscape Scale Variables Impact Parasitoid Assemblages Across an Urbanization Gradient[J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 104(1): 26-33.
- [16] 松本, 至巨. 东京中心部の武蔵野台地末端における緑地の地域的特徴[J]. 地理学评论, 2001(74): 202-216.
- [17] 李东海, 艾彬, 黎夏. 基于遥感和GIS的城市水体缓解热岛效应的研究——以东莞市为例[J]. 热带地理, 2008(05): 414-418.
- [18] 邵波, 方文, 王海洋. 国内外河岸带研究现状与城市河岸带生态重建[J]. 西南农业大学学报(社会科学版), 2007, 5(6): 43-46.
- [19] PINIEWSKI M, MARCINKOWSKI P, KARDEL I, et al. Spatial Quantification of Non-point Source Pollution in a Meso-scale Catchment for an Assessment of Buffer Zones Efficiency[J]. Water, 2015, 7(5): 1889-1920.
- [20] COBOURN J. How Riparian Ecosystems are Protected at Lake Tahoe[J]. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 2007, 42(1): 35-43.
- [21] QI H, ALTINAKAR M S. Vegetation Buffer Strips Design Using an Optimization Approach for Non-point Source Pollutant Control of an Agricultural Watershed[J]. Water Resources Management, 2011, 25(2): 565-578.
- [22] 付婧, 王云琦, 王玉杰, 等. 不同入流条件下草本缓冲带对污染物削减作用[J]. 水土保持学报, 2020, 34(03): 129-134.
- [23] PÄRN J, PINAY G, MANDER Ü. Indicators of Nutrients Transport from Agricultural Catchments under Temperate Climate: A Review[J]. Ecological Indicators, 2012(22): 4-15.
- [24] LEBRUN J D, AYRAULT S, DROUET A, et al. Ecodynamics and Bioavailability of Metal Contaminants in a Constructed Wetland within an Agricultural Drained Catchment[J]. Ecological Engineering, 2019, 136: 108-117.
- [25] 吴建强, 黄沈发, 黄宇弛, 等. 污染负荷及植被生物量变化对缓冲带污染物净化效果的影响[J]. 环境工程学报, 2008, 2(10): 1425-1429.
- [26] 黄沈发, 吴建强, 唐浩, 等. 滨岸缓冲带对面源污染物的净化效果研究[J]. 水科学进展, 2008, 19(5): 722-728.
- [27] 王敏, 吴建强, 黄沈发, 等. 不同坡度缓冲带径流污染净化效果及其最佳宽度[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 4951-4956.
- [28] 胡威, 王毅力, 储昭升. 草皮缓冲带对洱河流域面源污染的削减效果[J]. 环境工程学报, 2015, 9(9): 4138-4144.
- [29] 达良俊, 郭雪艳. 上海城市生态建设“四化”内涵的生态学释意[J]. 园林, 2019(01): 8-13.
- [30] 许俊丽, 张桂莲, 张希金, 等. 上海市人工林土壤理化性质与群落特征的相关性[J]. 浙江农林大学学报, 2018, 035(006): 1017-1026.
- [31] 张凯旋. 上海环城林带群落生态学与生态效益及景观美学评价研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2010.
- [32] 庞秋颖, 卓丽环. 上海市春季彩叶树种类及应用调查[J]. 中国园林, 2007(03): 81-84.