

罗林涛,方 炜. 基于城市生态空间土地整治的生物群落构建[J]. 地球科学与环境学报, 2020, 42(2): 278-284.

LUO Lin-tao, FANG Wei. Constructing the Biological Community Based on Land Consolidation of Urban Ecological Space[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2020, 42(2): 278-284.

DOI:10.19814/j.jese.2020.01019

基于城市生态空间土地整治的生物群落构建

罗林涛^{1,2}, 方 炜¹

(1. 陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安 710075;

2. 自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安 710075)

摘 要:随着城市生态文明建设步伐加快,城市建设对生态用地的需求日益增加。然而中国城市生态空间土地整治工程建设中存在过度注重美学和视觉效应、盲目引进外来种、植物配置不合理、大面积运用草坪等现象,在城市生态文明建设的同时也引发了很多问题。通过分析生态文明背景下中国城市生态空间规划与建设存在的问题,结合城市土地整治生态空间特点,总结提出了“人+植物”群落城市土地整治生态修复基础理论,并以陕西省渭南市渭东新城综合整治项目为例,重点阐述了城市土地整治过程中生态空间群落构建的方法要点和具体思路。结果表明:在城市土地整治修复和生态空间建设中,重点利用本土植物群落特性,构建复层植物群落;丰富区域生物多样性,打造平衡的生态链;充分考虑人与自然的耦合关系,并以“人+植物”群落为单位与城市设施、人类活动、环境承载力综合考虑设计城市生态景观,最终可以构建优美、可持续的城市生态空间。

关键词:土地整治;城市土地;生态修复;生物群落;自然耦合;生态链;景观规划;陕西

中图分类号:P66;X24

文献标志码:A

文章编号:1672-6561(2020)02-0278-07

Constructing the Biological Community Based on Land Consolidation of Urban Ecological Space

LUO Lin-tao^{1,2}, FANG Wei¹

(1. Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an 710075, Shaanxi, China;

2. Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, Ministry of
Natural Resources, Xi'an 710075, Shaanxi, China)

Abstract: With the acceleration of urban ecological civilization construction, the demand of ecological land for urban construction is increasing. However, in the construction of urban ecological space in China, a series of problems are raised, including overemphasizing aesthetic and visual function, blind introducing exotic species, unreasonable plant configurating, overplanting lawns and so on, which also cause lots of problems in urban ecological civilization construction. By analyzing the existing problems of the planning and construction of urban ecological space in China under the background of ecological civilization, and combined with the characteristics of ecological space of urban land consolidation, the basic theory of land consolidation and ecological restoration in the core of “human+plant” community was summarized. Meanwhile, by taking Weidong New Town comprehensive consolidation project in Weinan city of Shaanxi province as an

example, the key points and specific practice of the construction methods of urban biological community were expounded. The results show that in urban land consolidation and construction of ecological space, some measurements including making use of the native plants to construct the complex plant community, enriching regional biodiversity to build a balanced ecological chain, fully considering the coupling relationship of mankind and nature, as well as comprehensive consideration designing the urban ecological landscape by “human + plant” community as unit integrated with urban facilities, human activities and environmental bearing, are effective for constructing a beautiful and sustainable urban ecological space.

Key words: land consolidation; urban land; ecological restoration; biological community; natural coupling; ecological chain; landscape planning; Shaanxi

0 引言

随着经济的高速发展和人类对美好生活的向往,人类对城市生态空间的需求不断提升,城市管理者在新区建设和老旧城区的土地整治中对绿地、水面进行修复的比重逐步加大,使得城市生态空间与人类的生产生活日益密切^[1-4]。这些绿地和水面除了为市民提供休闲游憩的场所,也可实现其缓解城市极端气候以及保护生物多样性和增进人体健康等方面的重要功能^[5]。然而,目前在城市生态空间的景观规划与建设中普遍存在着过度注重美学和视觉效应、盲目引进外来物种、植物配置不合理、大面积运用草坪等低生物多样性植物以及人工生态系统大范围取代自然生态系统等问题^[6]。此外,部分景观设计师多对生态的涵义理解不深,简单地认为“绿色即生态”“有花有草有树即生态”,不能很好地将有限的生态空间视作一个完整的生态系统进行规划与设计,由此也引发了在城市生态空间土地整治中很多未及预料的问题,诸如本土物种消失、同质化、生态失衡等^[7-8]。

植物以群落为基本单元在自然界中生长发育^[9],有机地进行相互作用与组合,最终形成和谐、稳定的空间结构。大量研究表明,植物群落的数量和结构对整个国土生态空间植被质量起着决定性作用^[10-12]。Bretzel等将物种丰富的草本开花植物群落运用到城市退化土壤的修复中,发现草本开花植物群落对城市生态系统有积极作用,能够增强其对不良扰动的抵抗力,同时也增加了昆虫的生物多样性,降低了管理成本^[13]。Hammitt等在对植物群落自然演替的动态过程长期监测及规律总结的基础上,提出了公园优良生态系统的构建、管理与维护方法^[14]。另外,城市空间生态系统服务城市人类活动,两者之间既是服务对象,又是交换对象,也是整

个人地生态系统的组成部分。Omar等认为,木本植物群落大量存在于精心设计的空间布局中,为自然植物区系的发展提供有限的有利空间,且植物群落的多样性对人类健康产生重要影响^[15]。Green等审查了在进行园林绿化活动时可能遇到的花粉过敏及其他潜在生物危害,引入了植物群落的选择标准、避免策略和低过敏性植物指导,并发现与风媒植物(风媒传粉)相比,虫媒植物需要昆虫作为传播媒介,通常产生的花粉量较少^[16]。因此,以“人+植物”群落为单位构建城市空间生态系统要比以单一物种为单位更为合理^[17]。

党的十八大报告指出:“必须树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念。”习近平总书记在十九大报告中进一步指出:“建设生态文明是中华民族永续发展的千年大计。”随着中国生态文明建设的不断推进,从传统的以休闲为建设重点(强调提高视觉质量和景观美学)向包括生态保护与利用在内的多功能(强调人与自然系统和谐共处)转变,是中国城市生态空间规划、管理及建设发展的重要方向,而构建多样、稳定、高效的“人+植物”群落也成为城市生态空间土地整治工程规划与建设的关键内容。

本文综合研究了生态文明背景下中国城市生态空间规划与建设存在的问题,结合当前城市污损土地修复的特点,总结提出了“人+植物”群落城市土地整治生态修复基础理论,并以陕西省渭南市渭东新城综合整治项目为例,重点阐述了城市土地整治过程中生态空间群落构建的方法要点和具体思路,以期为中国城市污损土地修复和城市生态空间构建多样、稳定、高效的生物群落提供借鉴。

1 理论基础

1.1 仿自然群落设计

自然群落是经过长期自然选择后所形成的,能

对周围资源与环境进行充分利用,并与生境形成一种动态平衡^[18],具有抗逆性强、稳定性高、维护成本低的特点。因此,在城市土地整治生态景观建设中,设计与营造植物群落时引入仿自然群落概念,充分借鉴地域性群落的组成和结构特征,利用本地的乔木、灌木品种及近自然种植技术,构建物种丰度高、群落结构完整的近自然植被,确保新建的生态景观具有良好的生态稳定性、融合性和经济性。

1.2 减少生态位重叠

生态位是指在一个生态系统中,某种群在时空中所占据的位置及其与关联种群之间的相互作用及功能关系。修复和建设生态景观,统筹山水林田湖草是土地整治重要目标^[19-20],坚持尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念,就要在植物群落构建过程中加强对植物生态位特性的研究,规划群落中植物的种类、组合及配比,减少生态位重叠,使植物群落更加稳定。比如,阳光为限制因子时,应对阳性、中性、耐阴性植物进行合理配置^[21],使种间关系趋于和谐,而不是恶性竞争,丰富群落垂直结构与水平结构,扩大动植物的生存与繁衍空间。

1.3 人工辅助自然演替

生态系统在无人干扰作用下,可以自发地进行演替,从而形成顶级群落,但缺点是耗时久、隔离难。城市作为人类活动的主要聚集地,要达到无人干扰很不现实,自然野化存在困难,因此,在城市土地整治生态景观建设中必须引入人工辅助,科学合理地加快群落的形成。研究表明,在不损害原有自然植被的基础上,适当引入本土植物对土壤进行改良,能加快群落更新,通常在 25~30 年内即可形成耐荫的常绿林^[22]。在全面掌握植物群落位于演替中的具体阶段后,采用适当的生态技术,以优于自然演替的速度,建立具有自维持、自更新能力的群落,实现低能耗、少排放的可持续发展。

1.4 人与自然的耦合关系

城市生态系统是服务于人类活动的,在系统景观设计和建设中,除了要降低人类活动对生物群落的负面影响外,关键在于将人类活动群体纳入到生物群落完整性的范畴中统一考虑^[23],这也是山水林田湖草生命共同体的思想体现,即将“人+植物”群落作为构建城市生态系统的单位。这种自然-人工复合型生态系统在自然界长时间的演替过程中,人与自然之间的关系始终处于动态平衡,人、地、群落与其他环境因子均成为这一稳定生态系统的重要组成部分且互为反馈关系。因此,维持人与自然之间良好

的正反馈关系是城市生态空间建设的重中之重。

2 案例分析

陕西省渭南市位于关中平原东部,地理经度为 108°58'E~110°35'E,地理纬度为 34°13'N~35°52'N,东与山西省、河南省毗邻,西与陕西省西安市、咸阳市相接,南依秦岭与陕西省商洛市为界,北靠黄龙山、乔山与陕西省延安市、铜川市接壤,总面积为 $1.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,总人口为 560×10^4 。黄河、渭河、洛河交汇于渭南市,渭河、沈河穿城而过,四季分明,光照充足,雨量适宜,土地肥沃。本文用于案例分析的渭东新城综合整治项目位于渭南市城区东部(图 1),北临渭河、南依南塬、西接沈河,东与渭河相连,主要包括原东部生态公园、渭南化工厂、殡仪馆、餐饮洗涤公司等 21 家散乱污企业和 2 个行政村。

研究区地势低洼,周边平均高程为 351~390 m,区内平均高程为 342.5~343.0 m,高差最高达 47 m(图 2~4);原东部生态公园树种单一,病虫害严重;土体及地下水污染严重,土体中 Hg、Pb、As、Cu、Cd、Ni、Zn、氨氮超标,水体中 Fe、Mn、As、氨氮超标。研究区是具有污染土地整治、生态环境修复、城市空间拓展等多重目标的国土空间综合整治区域,规划面积为 30 km²。按照习近平总书记生态文明思想和系统开展国土修复、建设美丽中国的指导方针,根据统筹城市建设和生态修复的要求,渭东新城综合整治项目规划“一带、一路、一园、一城、五镇”。“一带”即河堤生态绿化带,“一路”即华州大道,“一园”即渭东新城生态公园,“一城”即新城社区,“五镇”即 5 个特色小镇。

该综合整治项目主要采用物理、化学、生物等工程措施,修复污染土体,使土体达到健康、安全、宜居的用地质量标准;开展土体有机重构工程,重塑地形地貌,使其达到建设、生态、水系等不同类型的用地质量标准和建设标准;实施生态系统建设,修复区域生态,形成水、土、气、生和谐共生的有机生态系统。渭东新城生态空间修复在植物选择上坚持山水林田湖草生命共同体的思想体现,以“人+植物”群落作为构建城市生态系统的单位,引入人工辅助功能,加快自然-人工复合型生态系统形成。该综合整治项目在规划和设计上主要遵循以下原则和方法:对目标区域潜在生态资源进行调查;利用半自然演替,构建复层植物群落;优先种植提供食物来源的植物,增加鸟类、昆虫的生物多样性;通过生物控制调节生物链,打造平衡的水体生态链;构建水下复层群落,营

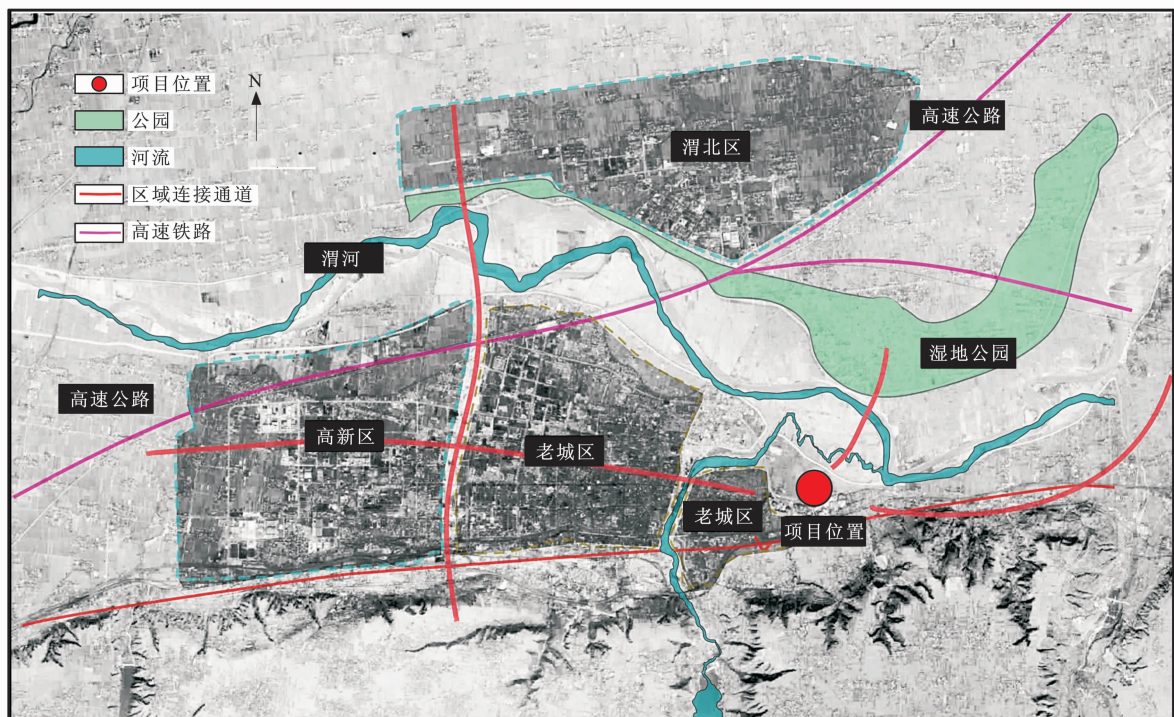


图 1 陕西省渭南市渭东新城综合整治项目位置

Fig. 1 Location of Weidong New Town Comprehensive Consolidation Project in Weinan City of Shaanxi Province

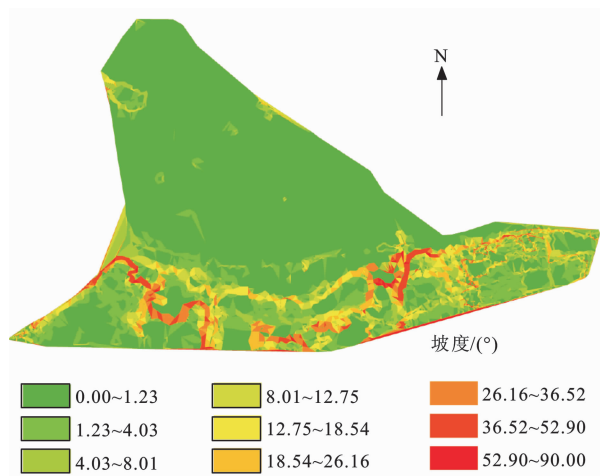


图 2 渭东新城综合整治项目坡度分布

Fig. 2 Distribution of Slope of Weidong New Town Comprehensive Consolidation Project

造自然优美的湿地景观;避免选用对人类活动有害或利于蚊虫滋生的植物群落,减少对居民健康的危害;设计空间充分利用凋落物,维持群落自循环。

2.1 对目标区域潜在生态资源进行调查

对目标区域潜在自然植被类型的调查是构建仿自然群落的基础。对城市近郊、临近地区、沿渭河和沈河地区以及项目区内受人为因素影响小的自然群落中陆地乔灌草、水生植物、水生浮游生物、鸟类、昆虫等生态资源进行调查,依据查明的类型、特性筛选

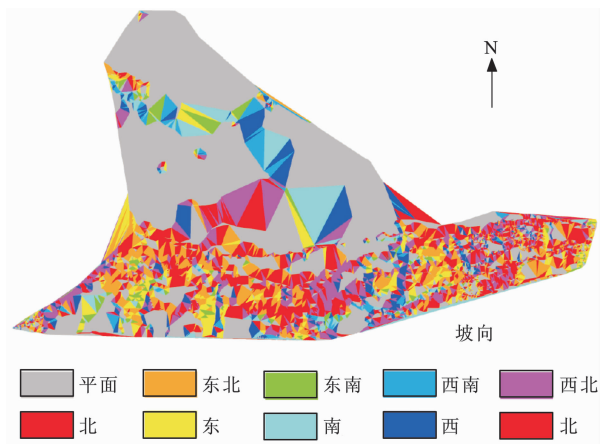


图3 渭东新城综合整治项目坡向分布

Fig. 3 Distribution of Aspect of Weidong New Town Comprehensive Consolidation Project

出该群落的建群种、优势种及伴生种。

2.2 利用半自然演替,构建复层植物群落

在城市生态景观建设中,须充分协调生态系统的结构与功能要素,构建符合本地生态特征的天然植被。建设过程中适当施加人工干扰,在一定程度上加快推进潜在植被的生长发育及演替过程并定期进行监测。同时,依据聚落原理、生态位原则,不断强化自然植被的配置。对于旱生与喜湿植物所在区域,需根据植物的生长习性以及对生境的要求等,建立乔灌草藤花相结合的复层植物群落,形成高稳定性

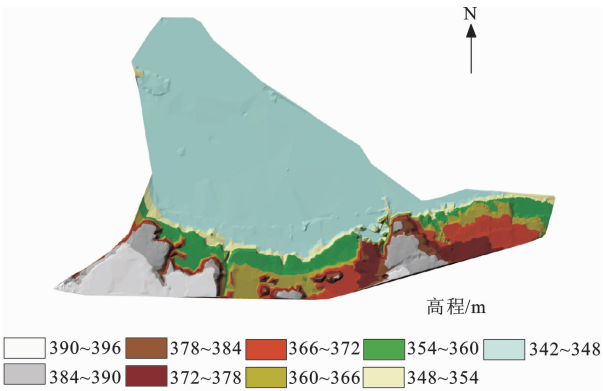


图 4 渭东新城综合整治项目高程分布
Fig. 4 Distribution of Elevation of Weidong New Town Comprehensive Consolidation Project

的生态系统及富地域特色的植物群落。

2.3 优先种植提供食物来源的植物,增加鸟类、昆虫的生物多样性

目前,大多数城市生态景观往往根据植物花的色彩、树形或遮荫的树冠等选择相应的树种进行种植^[24]。然而,植物不仅仅具有景观美学功能,也是很多鸟类、昆虫等的食物来源和栖息地。选择适宜的树种可以间接构建鸟类和昆虫食物链的完整性,从而起到物种种群库的作用。比如,建设适量的湿地和湿地植物作为鸟类生存繁衍的重要栖息地,植物的选择上优先考虑能够提供针对鸟类食用的植物,能为鸟类提供较连续的食物来源,增加动植物群落的多样性和稳定性。

2.4 通过生物控制调节生物链,打造平衡的水体生态链

一是可以通过驯化、改良控藻生物,降低水体中的藻类,如引入食藻虫,每天可吞食体积相当于数十倍于自身的藻类,并将其消化分解成为水和无机盐,使水体中的藻类大幅降低,失去种群优势。二是种植挺水植物、漂浮植物、根着浮叶植物以及沉水植物,如篦齿眼子菜群落、黑藻群落、苦草群落、水车前群落等;利用沉水植物将其光合作用产生的大量可溶性氧带到底泥中,抬高水体中淤泥的氧化-还原电位,加速有机污染物氧化,形成结晶体而快速下沉。三是投放适量的水生动物(如虾类、鱼类、螺类、贝类等),促进水体物质循环,利用其对水生植物的取食作用,可形成 N、P 等有机污染物从水生植物向动物的转移,从而实现水体物质的良性循环,最终营造良好的水体生态环境。

2.5 构建水下复层群落,营造自然优美的湿地景观

通过对挺水植物、根着浮叶植物以及沉水植物

进行合理搭配,打造多层次的水下景观。比如,沉水植物利用其发达的根系,使底泥中的养分被高效吸收,最终在根系表面形成矿化层,从而有效组织有机物进入下部淤泥层,为底栖动物及微生物打造良好的生存繁衍空间。当沉水植物、水生动物成为水体中的主导种时,藻类缺乏相应的生长空间,水体即可保持长期洁净,只要对沉水植物的品种进行适当改良或者多种搭配,可实现四季常绿,形成自然优美的水下森林,进一步加快恢复和形成水下动植物群落的多样性。

2.6 避免选用对人类活动有害或利于蚊虫滋生的植物群落,减少对居民健康的危害

很多植物类群都含有一些能导致有毒反应的物种。凤仙花,又名指甲花,含有致癌物质,癌物质不直接挥发,但会渗入土壤,长期食用种植在该土壤里的蔬菜会致癌^[25];曼陀罗全身有毒,其果实特别是种子毒性最大,嫩叶次之,干叶的毒性比鲜叶少^[26];夹竹桃是最毒的植物之一,包含了多种毒素,有些甚至是致命的,它的毒性极高,误食后会出现口咽发干、吞咽困难、瞳孔放大、发烧、意识障碍、呼吸浅慢等症状^[27]。这些物种通过误食、吸入和皮肤接触等途径可对人类造成过敏、皮炎、器官损伤,甚至死亡。还有一些茎秆较稠密、易枯死的植物(对鱼类捕食幼蚊形成不良屏障)与易形成积水的植物(如凤梨科植物叶腋处的凹槽、猪笼草的“笼”)^[28]会导致湿地周围蚊虫滋生。因此,在构建城市生态空间过程中,应尽量避免选用上述对人体有危害的植物群落。

2.7 设计空间充分利用凋落物,维持群落自循环

生态系统凋落物由相互作用的有机质和无机矿物质、土壤微生物、小型动物及植物等组成。作为物质与能量的载体,凋落物的分解对于促进所在生态系统的生物-地球-化学循环、维持 C-N 平衡等具有重要意义^[29]。同时,凋落物层还为小型土壤动物提供栖息地。城市生态景观每年产生大量的凋落物,将其运送至区外进行集中处置,不仅造成浪费还需缴纳大额的运输、处理费用。因此,在城市生态景观设计中增加凋落物的处理和消纳空间,对枯枝落叶等进行充分利用,维持群落良好的自循环能力,也可削减对景观的维护投入。

2.8 小 结

通过遵循上述原则并采取相应的综合整治手段,可以构筑多样性丰富的生物群落,修复区域生态,优化水土资源配置,实现优美的景观效果,形成水、土、气、生和谐共生的有机生态系统(图 5)。



图5 渭东新城综合整治前后对比

Fig. 5 Comparison of Weidong New Town Before and After Comprehensive Consolidation

3 结 语

(1) 生态型城市国土空间构建,特别是城市土地整治项目和生态修复工程中,应该避免为绿而预设的各种建设,应将人类活动、水系、湿地、植物群落、鸟类、昆虫以及土壤微生物等作为一个统一的生命综合体统筹规划,顺势设计,以“人+植物”群落为单位进行生态空间景观规划与设计无疑是一种促进人地和谐、增强可持续发展的途径与方法。

(2) 城市生态空间生物群落构建必须重视生态性,遵循生态位原理、仿自然群落设计及半自然演替规则,从而构建多样、稳定、高效的生物群落。

(3) 在未来更深层次的研究中,需要建立城市大生态空间的概念,将城市、水系、农田、山地、林地等纳入整体,并综合服务于人类、动物、植物、微生物等生命体,更大范围地研究本地物种的特征、特点,确保在城市生态空间构建过程中,顺应自然,合理构建生态空间,同时加强生物群落的配置模式及优化,不断完善生态服务系统。

(4) 随着“人+植物”群落城市生态空间构建研究的深入及人类生态保护意识的不断提高,城市生态空间土地整治中必将发挥其最大的生态效益、社会效益与经济效益,最终促进人与自然和谐发展。

参考文献:

References:

- [1] ZHOU Y, LI Y, XU C. Land Consolidation and Rural Revitalization in China: Mechanisms and Paths[J]. Land Use Policy, 2020, 91: 104379.
- [2] ABUBAKARI Z, BENNETT R M, KUUSAANA E D, et al. Land Consolidation, Customary Lands, and Ghana's Northern Savannah Ecological Zone: An Evaluation of the Possibilities and Pitfalls[J]. Land Use Policy, 2016, 54: 386-398.
- [3] ASIAMA K O, BENNETT R M, ZEVENBERGEN J A. Land Consolidation on Ghana's Rural Customary Lands: Drawing from the Dutch, Lithuanian and Rwandan Experiences[J]. Journal of Rural Studies, 2017, 56: 87-99.
- [4] JAROSLAW J, IWONA M. Forty Years Later: Assessment of the Long-lasting Effectiveness of Land Consolidation Projects[J]. Land Use Policy, 2019, 83: 22-31.
- [5] JENSEN M B, PERSSON B, GULDAGER S, et al. Green Structure and Sustainability: Developing a Tool for Local Planning[J]. Landscape and Urban Planning, 2000, 52(2/3): 117-133.
- [6] ZHENG Y, LAN S, CHEN W Y, et al. Visual Sensitivity Versus Ecological Sensitivity: An Application of GIS in Urban Forest Park Planning[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2019, 41: 139-149.
- [7] SHAN W, JIN X, REN J, et al. Ecological Environment Quality Assessment Based on Remote Sensing Data for Land Consolidation[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 239: 118-126.
- [8] 鄢文聚, 宇振荣. 土地整治加强生态景观建设理论、方法和技术应用对策[J]. 中国土地科学, 2011, 25(6): 4-9, 19.
YUN Wen-ju, YU Zhen-rong. Theory, Method, Technological Application of Landscape and Ecological Engineering of Land Consolidation[J]. China Land Science, 2011, 25(6): 4-9, 19.
- [9] 潘洋洋. 城市生态公园规划设计研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2017.
PAN Yang-yang. The Study of Planning and Design on Urban Ecological Park[D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2017.
- [10] 邓毅. 城市生态公园的发展及其概念之探讨[J]. 中国园林, 2003(12): 51-53.
DENG Yi. Discussion on the Development and Conception of the Urban Ecological Park[J]. Chinese Landscape Architecture, 2003(12): 51-53.
- [11] ZILLIOX C, GOSSELIN F. Tree Species Diversity and Abundance as Indicators of Understory Diversity in

- French Mountain Forests; Variations of the Relationship in Geographical and Ecological Space[J]. Forest Ecology and Management, 2014, 321: 105-116.
- [12] AUSTIN M P, VAN NIEL K P. Impact of Landscape Predictors on Climate Change Modelling of Species Distributions: A Case Study with *Eucalyptus Fastigata* in Southern New South Wales, Australia[J]. Journal of Biogeography, 2011, 38(1): 9-19.
- [13] BRETZEL F, VANNUCCHI F, ROMANO D, et al. Wildflowers; From Conserving Biodiversity to Urban Greening—A Review[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2016, 20: 428-436.
- [14] HAMMITT W E, COLE D N. Wildland Recreation; Ecology and Management[M]. New York: John Wiley and Sons, 1987.
- [15] OMAR M, AL SAYED N, BARRE K, et al. Drivers of the Distribution of Spontaneous Plant Communities and Species Within Urban Tree Bases[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2018, 35: 174-191.
- [16] GREEN B J, SAYED N L, MACHON N, et al. Landscape Plant Selection Criteria for the Allergic Patient[J]. The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice, 2018, 6(6): 1869-1876.
- [17] YURUI L, YI L, PENGCAN F, et al. Impacts of Land Consolidation on Rural Human-environment System in Typical Watershed of the Loess Plateau and Implications for Rural Development Policy[J]. Land Use Policy, 2019, 86: 339-350.
- [18] 邓毅. 景观生态学视野下的城市生态公园设计[J]. 新建筑, 2004(5): 10-14.
- DENG Yi. Urban Ecological Park Design from the View of Landscape Ecology[J]. New Architecture, 2004(5): 10-14.
- [19] 吴次芳, 费罗成, 叶艳妹. 土地整治发展的理论视野、理性范式和战略路径[J]. 经济地理, 2011, 31(10): 1718-1722.
- WU Ci-fang, FEI Luo-cheng, YE Yan-mei. The Theoretical Perspective, Rational Paradigm and Strategic Solution of Land Consolidation[J]. Economic Geography, 2011, 31(10): 1718-1722.
- [20] 鄯宛琪, 朱道林, 汤怀志. 中国土地整治战略重塑与创新[J]. 农业工程学报, 2016, 32(4): 1-8.
- YUN Wan-qi, ZHU Dao-lin, TANG Huai-zhi. Reshaping and Innovation of China Land Consolidation Strategy[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(4): 1-8.
- [21] 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.
- YI Jun. Studies on Ecological Structure of Plant Communities in Urban Garden and Optimize and Design on Landscape[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2005.
- [22] MIYAWAKI A, GOLLEY F B. Forest Reconstruction as Ecological Engineering[J]. Ecological Engineering, 1993, 2(4): 333-345.
- [23] 魏钰, 雷光春. 从生物群落到生态系统综合保护: 国家公园生态系统完整性保护的理論演变[J]. 自然资源学报, 2019, 34(9): 1820-1832.
- WEI Yu, LEI Guang-chun. From Biocenosis to Ecosystem; The Theory Trend of Conserving Ecosystem Integrity in National Parks[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(9): 1820-1832.
- [24] MOHAMAD N H N, IDILFITRI S, THANI S K S O. Biodiversity by Design; The Attributes of Ornamental Plants in Urban Forest Parks[J]. Procedia-social and Behavioral Sciences, 2013, 105: 823-839.
- [25] 张雪. 四川雅安地区凤仙花属植物种质资源及其花粉形态学研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2011.
- ZHANG Xue. Study on the Resources of *Impatiens L.* (Balsaminaceae) in Ya'an and Pollen Morphology[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2011.
- [26] 雷霁. 曼陀罗与其变种生物碱含量及杀虫活性比较研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- LEI Ji. Comparison of Alkaloid Content and Insecticidal Activity of *Datura Stramonium* and Its Variant[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2011.
- [27] 徐志强, 秦新生. 海南夹竹桃科植物园林应用分析与评价[J]. 环境生态学, 2019, 1(5): 47-56.
- XU Zhi-qiang, QIN Xin-sheng. Landscape Application Analysis and Landscape Evaluation of Apocynaceae Plant in Hainan Province[J]. Environmental Ecology, 2019, 1(5): 47-56.
- [28] 赵红红, 吕慧. 低影响开发中利于蚊虫防制的湿地规划设计方法[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2017, 42(5): 83-89.
- ZHAO Hong-hong, LU Hui. On Wetland Planning and Design for Conduction of Mosquito-control in Low Impact Development[J]. Journal of Southwest China Normal University(Natural Science Edition), 2017, 42(5): 83-89.
- [29] 王雅婷, 卢剑波. 陆地生态系统凋落物分解及影响因子的研究进展[J]. 科技通报, 2017, 33(10): 1-10.
- WANG Ya-ting, LU Jian-bo. A Review on Litter Decomposition and Its Impact Factor in Terrestrial Ecosystems[J]. Bulletin of Science and Technology, 2017, 33(10): 1-10.