基于生长型性状的地被植物群落景观设计*

鲍 璇[1] 刘 晖[2]

1 西安建筑科技大学艺术学院 西安 710000
2 西安建筑科技大学建筑学院 西安 710000

摘要：针对当前地被植物群落景观设计在实践中存在的高维护需求与使用门槛问题，对连接并转换群落生态关系构建过程与植物群落设计实践的有效途径进行探索，可以验证植物性状作为转换工具进行群落设计、解决现有问题的可行性与有效性。文章选择生长型这一影响地被植物生存与竞争，且在植物景观设计的植物选择中发挥重要作用的全株性状作为典型，参考缀花草地种植设计与管理方法，选择 6 种生长型进行试验群落设计与建植，并开展为期 3 年的观测研究。结果表明：试验期内播种建植的试验群落在只进行刈割的低管理方式下存活，并保持了理想的群落结构、物种多样性、稳定性与景观效果。生长型作为转换工具能在地被植物群落的设计与营建中发挥有效作用，且不同生长型能够在群落设计中承担相应的群落功能，其中丛生型植物能够稳定群落结构与形态、抑制自生杂草；直立型、短时期莲座型植物能够丰富群落景观特征；半莲座型与分枝型植物兼具上述功能，可与其他生长型组合进行使用。研究结果初步证明了植物性状能够协助人工种植植物在群落竞争中占据优势，提高群落自我维持能力、降低维护需求；也能协助设计过程更具针对性地进行植物配置与选择，降低群落设计实践的难度，具备优化地被植物群落设计理论与方法的价值与潜力。

关键词：植物景观设计；地被植物群落景观；植物性状；生长型
DOI：10.12169/zgcsly.2024.06.18.0001

Landscape Design for Ground Cover Plant Communities Based on Growth Form

Bao Xuan[1] Liu Hui[2]

(1. College of Art, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710000, China;
2. College of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710000, China)

Abstract: The landscape design for ground cover plant communities is challenged with high requirements over maintenance and difficulty in practical application. To address these challenges, the study explores the effective approaches to building the connection and transformation between the process of community ecological relationship construction and plant community design and verify the feasibility and effectiveness of using plant traits as a transformation tool for community design to solve the current issues. The growth form has a significant impact on the survival and competition of ground cover plants, and also affects plant selection in plantscape design. Therefore, with reference of planting design and management methods for pictorial meadows, this study selects 6 growth forms suitable for ground cover plants for community design and planting, and conducts 3-year observation. The results show that experimental community established by seeding during the experiment period can survive only under the low management mode of cutting, which achieves ideal community structure, species diversity, stability, and landscape effect. The growth forms play an effective role as a transformation tool in the design and establishment of ground cover plant

收稿日期：2024-06-18
* 基金项目：国家自然科学基金面上项目（51878531）
第一作者：鲍璇（1987- ），女，博士生，讲师，研究方向为风景园林规划与设计。E-mail：bornshine1987@163.com
通信作者：刘晖（1968- ），女，博士，教授，研究方向为西北脆弱生态环境景观规划设计理论与方法、中国地景文化历史与理论。E-mail：249600425@qq.com

communities. Different growth forms can function differently in community design, among which tussock plants can stabilize the community structure and morphology and suppress weeds, erect plant and partial-rosette plant can enrich the community landscape, and semi-rosette plant and branched plant have the above functions and can be used in combination with other types of plants. The study proves that plant traits can help artificial plants gain advantages in communities by improving their self-maintaining capacity and reduce the maintenance needs, and also assist in targeted configuration and selection of plants for plantscape design to reduce the difficulty in community design practice. In this sense, plants traits have the value and potential to optimize the theory and methods of plant community design.

Keywords: landscape design of plant; landscape of ground cover plant community; plant trait; growth form

作为城市绿地植物景观中负责地表覆盖的基本层，以低矮草本植物为主的地被植物景观在当前城市绿地中的面积占比可达 50%以上，发挥着重要的景观空间营建作用[1]。面对近年来城市绿地建设高质量、可持续的发展需求，能够提供多层面服务的植物景观设计与实践持续被讨论[2-3]，其中，地被植物群落景观在展现丰富空间与色彩的同时，在降低地表径流、乡土植物保护、维持生物多样性、减少人工养护消耗上都发挥着良好作用[4-6]，在城市绿地建设中不断被提倡与推广。

地被植物群落景观，是通过设计模拟群落种间关系、再现自然群落特征的植物景观，能以自我调整的方式筛选适宜物种、维持群落与景观的续存，通过竞争抑制杂草入侵，使群落相对稳定的同时也降低了人工维护需求[7-8]，地被植物群落景观成立的基础在于群落设计时的种间关系组织，是将生态学研究获取的群落关系通过设计进行转化与实践的过程。这一“转化”过程不仅需要从生态学角度解释植物群落构建逻辑，也要提供可进行设计实践的操作途径对生态学与设计学的不同范式进行连接。

目前，经过实践验证的地被植物群落景观设计方法主要采用以下转化方式：一种是以物种寿命、植株高度、开花物候为工具，定义人工群落的植物选择与空间组织[7,9]；另一种是按照群落功能进行空间分配，依托物种的 CSR 竞争策略类型进行植物筛选[10-11]。两者建立了群落设计的基本框架，但仍存在不足：前者虽然确定了群落的时空竞争、资源分配关系，但相同寿命、高度与开花物候下仍包含了大量的物种，对适用的植物指向不够明确，所设计营建的地被群落在建植初期常不具备足够的竞争能力，易被入侵，需要进行充分的维护管理以保证群落成功建立；后者对于不同竞争策略下的植物特征进行了一定描述，但植物所属的策略类型较难进行快速且准确地甄别，要求设计者具备充足的生态学知识与设计经验，存在一定的使用门槛，在实践中存在一定局限性。

针对上述问题，结合植物性状特征进行群落设计的观点被提出。植物性状是指在长期的进化和发展中，植物与环境相互作用后最终形成的内在生理与外在形态的适应对策；经过生态学的研究探索，目前已按照全株性状、叶性状、茎性状、地下结构性状、繁殖性状形成了完善的性状分类系统[12]。在群落形成过程中，经过环境筛选与种间竞争，群落中处于相同生态位的物种会具备一定的共性特征，这些特征能够通过性状表现被进行定性、定量描述[12-15]，使物种在群落中的位置、功能被直观读取。由此可见，植物性状能够对植物特征进行足够细致地描述，并辅助设计过程快速筛选物种并配置在适宜的群落位置上，因此，植物性状具备成为群落设计“转化”工具的潜力。

近年来，结合植物性状进行地被植物景观设计的研究不断涌现，Kendal 等[16]研究表明，叶子较小、花较小、更耐旱，以及宽叶、更大花朵、高比例花冠覆盖的植物在景观中会得到更多偏好；房味味等[17]以自然草甸群落的茎型、叶面积、叶形、叶倾角、叶片数等性状特征归纳了适宜人工野花组合群落景观的典型植株形态；骆沁宇等[18]通过性状特征解释城市生境中自生植物群落的成分差异，为营造近自然、可持续的群落景观提供参考依据。上述研究证明了性状特征在植物群落景观设计中的可用性，但如何以性状为基础进行地被群落设计与

实践还需要进行更深入的研究。在资源利用、再生、干扰响应等层面对植物产生综合影响，并触及植物生命周期核心的性状中，生长型作为重要的全株性状，能反映群落建立、竞争过程，以及环境扰动下物种承担的群落功能和动态[19-21]，生长型所描述的地被植株形态特征，也是群落景观外貌重点参考的信息。因此，选择生长型这一在群落构建与景观设计过程中发挥重要作用的关键性状开展试验研究，以测试不同地被植物生长型在群落形成过程中的表现，探索不同生长型在地被群落植物景观中适宜的植物选择与配置方式。

1 研究方法

1.1 试验设计

试验主要参照以物种寿命、植株高度、开花物候信息进行群落设计的缀花草地种植设计与管理方法，叠加生长型信息进行试验群落设计。首先，参考本地区常用地被景观植物及其在自然气候条件下的分布情况，筛选适应区域气候的植物种类；其次，依据缀花草地种植设计与管理方法所提供的“20%~40%春花低矮植物、30%~50%春夏开花中等高度植物、10%~20%夏秋开花高大植物”框架[7,9]，结合预试验的地被植物生长型，进行试验群落配置；最后，为避免对群落生长与竞争产生干扰，试验群落建植后采取低干预的方式进行维护管理。

1.2 试验方案

1.2.1 生长型类型划分

本次试验基于现存的植物生长型划分方式[19,22-23]，排除匍匐型、攀援藤蔓型两种可能具备过强竞争能力、侵害其他植物的生长型，选择表 1 所示的 6 种生长型进行试验设计。

表 1 生长型类型划分方式

生长型类型	描述
莲座型	具有放射性的基生叶，花茎上无叶
分枝型	茎的下部分枝多，没有明显的主轴
丛生型	形成根株，叶簇状生长
半莲座型	存在部分莲座基生叶与部分茎生叶
短时期莲座型	初始为莲座型，植株生长后莲座叶枯萎，形成直立型
直立型	地上部分具有明显的主茎，所有叶茎生

1.2.2 群落组合配比

试验选择了共 12 种地被植物材料，所试验的每种生长型各配置 1 种一、二年生植物与 1 种多年生植物。依据地被植物景观的相关研究成果，按照低（高度 ≤ 30 cm）、中（30 cm < 高度 ≤60 cm）、高（60 cm<高度≤120 cm）的层级进行试验群落景观高度分层[24-25]。在播种量上采用以下公式进行计算：

$$某植物播种量 = \frac{群落植株数量 \times 某物种植株数量占比}{某物种种子发芽率} \quad (1)$$

群落植株数量参考 Dunnet[7]、杭烨[8]、李旻[9]、房味味等[17]的研究成果设置为 180 株/m^2，所有植物的植株数量占比以均值 8.33%进行计算，所购种子百粒重通过试验室称重获取，种子发芽率则通过室外播种试验获取。最终的试验群落配比如表 2 所示。

表 2 试验群落配比

序号	植物种名	拉丁学名	生活型	生长型	高度分层	观赏期	种子百粒重/g	种子发芽率/%	播种量/(g·m^{-2})
1	雏菊	*Bellis perennis*	一年生	莲座型	低	春	0.041	5	0.123
2	紫堇	*Corydalis edulis*	一年生	半莲座型	低		0.147	24	0.092
3	紫花地丁	*Viola philippica*	多年生	莲座型	低		0.146	11	0.199
4	虞美人	*Papaver rhoeas*	一年生	分枝型	中		0.017	23	0.011
5	屈曲花	*Iberis amara*	一年生	直立型	中	春夏	0.260	38	0.103
6	刺儿菜	*Cirsium arvense*	多年生	短时期莲座型	中		0.134	11	0.183
7	珀菊	*Amberboa moschata*	一年生	短时期莲座型	中		0.459	7	0.984
8	松果菊	*Echinacea purpurea*	多年生	半莲座型	中		0.364	36	0.152
9	早熟禾	*Poa annua*	一年生	丛生型	中		0.027	23	0.018
10	荆芥	*Nepeta cataria*	多年生	分枝型	中		0.056	16	0.053
11	蓍	*Achillea millefolium*	多年生	丛生型	中	夏秋	0.014	6	0.035
12	射干	*Belamcanda chinensis*	多年生	直立型	高		2.648	27	1.471

1.2.3 实施、维护与观测过程

试验场地是西安市狄寨塬白鹿隐园林园区内部的待建地块，面积约 220 m^2，无光照遮挡物、无灌溉水源，场地土壤由其他建设地块遗留的土方组成。2019 年秋完成了场地自生植物清理、土壤旋耕、杂质清除与场地平整，试验群落种子与

场地土壤按照 1∶10 体积比例均匀混合进行人工播撒，于 2019 年 9 月 27 日完成试验播种。为减少人工干预的影响，除了在冬季群落休眠后对群落进行枯枝刈割，不开展其他养护管理行为。

建植完成后，在场地中设置了 4 个 1 m×1 m 的观察小样方，从 2019 年 9 月至 2022 年 10 月，进行了持续 3 年的观测与数据收集，频率为每月一次，收集小样方内的植物组成、群落盖度、群落株数、物种盖度、物种株数、植株高度等信息。

1.3　数据分析

依据收集到的数据，对播种植物与自生植物的性状组成、物种数量、植株数量、覆盖度进行分析，通过单因素方差分析法对数据差异的显著性进行检验，在群落物种多样性分析上采用 α 多样性指数，基于物种重要值对群落稳定性进行计算[26-28]。

2　结果与分析

2.1　生长状况与景观效果

试验群落在观测期内持续存活并维持了足够的地表覆盖，在不同观测年份表现出不同的群落结构与景观外貌（图 1）。观测期间，除早熟禾、雏菊、珀菊之外的其他播种植物都观测到了植株生长。群落建植首年春季（图 1A），人工播种的虞美人、屈曲花、刺儿菜、紫堇与场地自生的播娘蒿（*Descurainia Sophia*）形成层次丰富的群落式景观，进入夏秋季节后群落受到了以小蓬草（*Erigeron canadensis*）、野莴苣（*Lactuca serriola*）为主的自生植物的剧烈干扰，群落结构、空间与外观都受到了强烈影响。群落建植第 2 年（图 1B），人工播种的虞美人、屈曲花、刺儿菜、紫堇植株数量相比首年有明显下降，射干、松果菊、紫花地丁等多年生植物逐渐长成并进入花期，丛生型的蓍在群落中逐渐占据优势，自生植物的种类、植株数量、覆盖度显著下降，不对试验群落结构与外貌造成影响。群落建植第 3 年（图 1C），形成以人工播种的蓍为主，伴生以射干、松果菊的植物组成，群落结构与景观外貌达到了一个相对稳定的状态。



A 试验首年春季效果　　B 试验第2年效果　　C 试验第3年效果

图 1　试验群落生长状况与景观效果

在为期 3 年的观测中，播种植物与自生植物长期共存，试验群落的物种数量均值为 5 种，播种植物维持了平均 79.63%的物种数量占比。在群落植株数量上，表现为首年均值 75 株/m^2、第 2 年 54 株/m^2、第 3 年 53 株/m^2。在群落覆盖度上表现为逐年上升，均值分别为 78.97%、83.50%、95.89%。在群落高度上，试验群落在建植首年的夏季、秋季由自生植物形成大于 120 cm 的过高、不理想的景观空间，在后续观察期内则主要分布在中等高度层级上，总体来说获得了比较理想的高度分层与景观效果。

2.2　性状组成

在性状组成上，播种植物中的半莲座型、丛生型、短时期莲座型、直立型的多年生植物在试验期内持续存活生长，分枝型多年生植物在试验第 2 年退出群落，莲座型多年生植物则从试验第 2 年开始在群落中出现。半莲座型、分枝型与直立型的一、二年生植物主要出现在试验前两年的春季。

试验期内共观察到 11 种自生植物生长，主要在夏、秋季节出现，植株高度普遍位于高、过高层级。生长型包括短时期莲座型、分枝型与攀援藤蔓型，其中短时期莲座型植物占据了 54.54%的物种数量占比，在试验期内每年持续出现，是对群落结构与外貌产生干扰的主要自生植物生长型，其他生长型则在试验期内阶段性观察到植株生长。

总体来讲，群落在播种首年包含了最丰富的生长型，春季播种与自生的半莲座型、分枝型、直立型植物共同形成群落；夏、秋季时，播种的丛生型多年生植物与短时期莲座型一、二年生自生植物形成主要的竞争关系。从试验第 2 年开始，

则逐渐形成了由播种丛生型、半莲座型与直立型植物为主的相对稳定的生长型组成。

2.3 植株数量与覆盖度

由图 2~3 可知：在植株数量与覆盖度上，播种丛生型多年生植物在试验期内持续占据优势，从试验第 2 年开始保持了均值 63.02%的植株数量占比与 78.38%的覆盖度。其他播种生长型中，直立型的植株数量占比与覆盖度在一、二年生植物中表现最优，在多年生植物中表现出逐年上升的趋势；其他生长型则均表现出相对较低或逐年下降的植株数量占比与覆盖度。自生植物中，短时期莲座型在试验首年夏秋季占据了平均 40.23%的植株数量占比与 58%的覆盖度，是在群落建植初期需要重点关注的自生植物生长型。

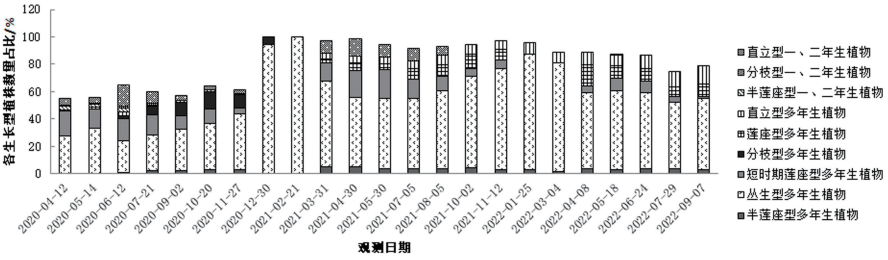


图 2 播种植物各生长型植株数量占比

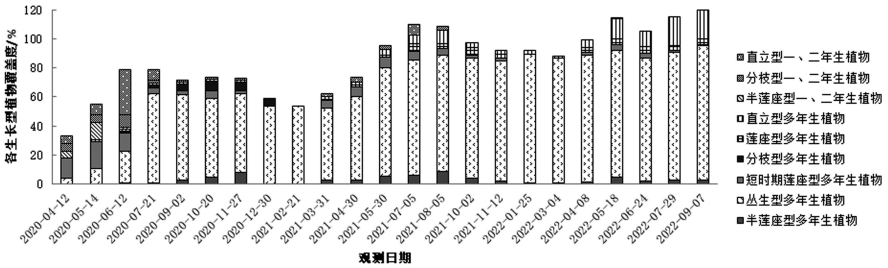


图 3 播种植物各生长型植物覆盖度

综合群落生长状况，丛生型植物具备的优势保证了群落播种植物较为稳定的植株数量与覆盖度占比，并与自生短时期莲座型植物之间表现出明显的空间竞争关系，抑制了影响群落结构的自生杂草（图 4），但可能也相对抑制了其他生长型；除了在植株数量、覆盖度上存在的显著差距，在植株的平面空间分布上也有所体现，例如与丛生型植物位于同一高度层级的半莲座型、分枝型植物，在进入试验第 2 年后从植株均匀分布的状态转变为只在丛生型植株分布稀疏的区域生长。在所有生长型中，直立型植物虽然在植株数量、覆盖度上不具备显著优势，但在整个实验期内持续存活，且在植株形态上的特征起到了明显的垂直空间分层作用。



图 4 丛生型植物与自生杂草之间的空间抢夺

2.4 群落物种多样性与稳定性

在植物群落景观设计相关研究中，物种多样性是评判群落生长状态的重要指标[29]，群落稳定性则能够反馈群落内部种群的空间分布格局，与群落的组成结构密切相关[30]。研究对试验群落在不同年份、相同月份下的稳定性进行对比[26]，结果（表 3）显示，试验群落相同月份下的稳定性数值呈现出显著（$P<0.05$）的逐年上升，群落状态趋于稳定。物种多样性上则呈现出 Shannon 指数、Pielou 指数与 Margalef 指数逐年降低、Simpson 指数逐年升高的趋势，但数值差异不显著

（P>0.05）（图 5），说明虽然在整个观测期内试验群落组成与结构不断变化，但是群落的多样性、均匀度、物种优势度与丰富度均维持在一个较为稳定的状态内。

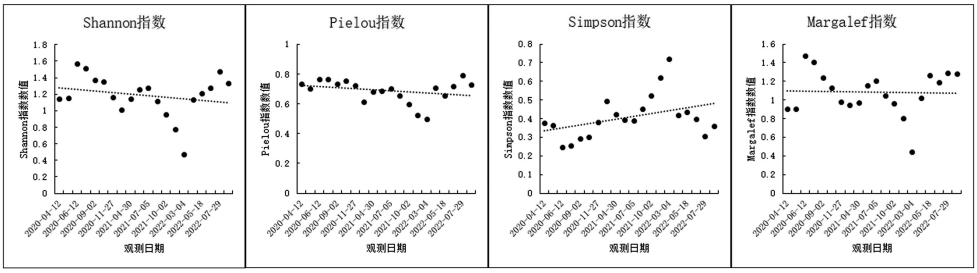


图 5　试验期内群落物种多样性数值变化

表 3　试验群落稳定性数值对比

对比年份	4 月		7 月		9 月	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
第 2 年对比首年	0.791 818	0.021 838	0.852 564	0.047 754	0.820 332	0.032 621
第 3 年对比第 2 年	0.899 789	0.015 809	0.916 564	0.014 642	0.913 034	0.008 443

3　讨论

本研究参考缀花草地种植设计与管理方法，在以物种寿命、植株高度、开花物候为设计转换工具的基础上叠加了生长型进行群落设计，在建植首年试验群落同样受到了自生植物的入侵与强烈干扰，但借助不同生长型植物的协同作用，在不通过人工养护的状态下仍然获得了较为理想的植株密度、覆盖度、高度分层与景观效果[27]，一定程度上证明了生长型对于地被植物群落竞争的影响。基于各生长型播种植物、自生植物在空间、时间秩序下的表现，研究提出一个假设：利用不同生长型之间的竞争关系，能否解决地被植物群落面临的自生植物入侵问题？例如对试验群落产生干扰的自生植物主要为短时期莲座型，丛生型是播种植物中与其进行空间竞争的主要生长型，那么通过调整在群落中所处的物候时期与高度分层，能否促使丛生型植物更有效地占据竞争优势，达到优化群落结构、降低人工维护需求的目标。

CSR 竞争策略类型作为另一种经过实践检验的群落设计转化工具，需要与群落功能进行对应才能发挥有效作用。目前地被植物群落设计中，植物群落功能被划分为两大类：一类是稳定群落结构、抑制杂草生长，适用于 C 型、S 型植物；另一类是丰富景观层次、提供观赏特征，适用于所有竞争策略植物[10-11,31]。对比试验结果，不同生长型植物能够与上述群落功能进行呼应，例如丛生型植物承担了稳定群落结构功能，直立型、短时期莲座型植物发挥了丰富景观层次的作用，半莲座型与分枝型植物则两者兼具，在群落中发挥综合作用。生长型能够将竞争策略类型提供的植物筛选范围缩小，并且提供更加具象、可识别、易操作的筛选条件，有利于降低 CSR 竞争策略类型用于设计实践的难度，协助生态学理论在群落设计中更好的发挥作用。

可以看出，生长型作为描述植株形态特征的植物性状，在有效解释种间关系、反映群落结构的同时，也能作为植物配置与筛选的关键信息被设计所运用。研究针对生长型性状只设置了一组群落进行试验与观测，如要获得更准确的结论，还需要设置多物种、多组群落进行实验研究。

4　结论

研究选择了在地被植物群落构建与景观形成中都发挥重要作用的生长型作为典型性状，通过试验研究进行了初步探索。研究结果表明，叠加生长型性状群落设计，对群落中物种间的竞争关系有显著影响。不同生长型植物在群落构建过程中承担了不同的功能，选择相应功能的生长型植物进行适宜的空间、时间配置，能够提高群落设计科学性与准确性，协调播种植物与自生植物之间的均衡关系，提升群落自我维持能力，切实降低群落的维护管理需求。对于当前地被植物群落景观设计实践所必要的转化过程，生长型能够对

不同转化方式进行更具象的细化，降低生态学理论在实践中的使用门槛，使植物选择与植物配置具备清晰的指向性，更好地指导设计实践。本研究一定程度上证明了植物性状用于地被植物群落设计与营建的可行性，能够建立基于植物性状的群落设计理论与方法，为设计营建更理想的地被植物群落景观提供新的途径，推动高质量、可持续的城市绿地建设与发展。

参考文献

[1] IGNATIEVA M, AHRNÉ K, WISSMAN J, et al. Lawn as a cultural and ecological phenomenon: a conceptual framework for transdisciplinary research[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2015, 14(2): 383-387.

[2] 王云才, 申佳可, 彭震伟, 等. 适应城市增长的绿色基础设施生态系统服务优化[J]. 中国园林, 2018, 34(10): 45-49.

[3] 张炜, 杰克·艾亨, 刘晓明. 生态系统服务评估在美国城市绿色基础设施建设中的应用进展评述[J]. 风景园林, 2017, 24(2): 101-108.

[4] 克劳迪娅·韦斯特, 吴竑. 下一次绿色革命: 基于植物群落设计重塑城市生境丰度[J]. 风景园林, 2020, 27(4): 8-24.

[5] 王晶懋, 刘晖, 范李一璇, 等. 城市场地生境营造与植物群落设计评述[J]. 中国城市林业, 2022, 20(6): 41-47.

[6] 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.

[7] DUNNET N J. The dynamic landscape: design, ecology and management of naturalistic urban planting[M]. London and New York: Taylor & Francis, 2004.

[8] 杭烨. 新自然主义生态种植设计理念下的草本植物景观的发展与应用[J]. 风景园林, 2017, 24(5): 16-21.

[9] 李旻. 在不同土壤上营建“野花草地”的初步研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.

[10] RAINER T, WEST C. Planting in the post-wild world: designing plant communities for resilient landscapes[M]. Portland: Timber Press, 2015.

[11] 蒋亚蓉, 袁涛, 吴璐瑶. 基于 CSR 理论的草花混播种类选择及混播群落构建[J]. 中国园林, 2022, 38(10): 104-109.

[12] 孟婷婷, 倪健, 王国宏. 植物功能性状与环境和生态系统功能[J]. 植物生态学报, 2007, 31(1): 150-165.

[13] 刘晓娟, 马克平. 植物功能性状研究进展[J]. 中国科学: 生命科学, 2015, 45(4): 325-339.

[14] 党晗. 干旱区荒漠群落基于性状的多尺度构建机制研究[D]. 西安: 西北大学, 2018.

[15] SCHELLBERG J, DA S PONTES L. Plant functional traits and nutrient gradients on grassland[J]. Grass and Forage Science, 2012, 67(3): 305-319.

[16] KENDAL D, WILLIAMS K J H, WILLIAMS N S G. Plant traits link people's plant preferences to the composition of their gardens[J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 105(1/2): 34-42.

[17] 房昧昧, 袁涛, 付桂荣. 自然草甸群落对人工构建野花组合的启示[J]. 中国园林, 2015, 31(7): 59-63.

[18] 骆沁宇, 张梦园, 李晓璐, 等. 北京城市绿地不同生境下自生植物的多样性特征及功能性状组成[J]. 生态学报, 2024, 44(11): 4744-4757.

[19] MCINTYRE S, LAVOREL S, TREMONT R M. Plant life-history attributes: their relationship to disturbance response in herbaceous vegetation[J]. The Journal of Ecology, 1995, 83(1): 31.

[20] TURNBULL L A, REES M, CRAWLEY M J. Seed mass and the competition/colonization trade-off: a sowing experiment[J]. Journal of Ecology, 1999, 87(5): 899-912.

[21] WELLSTEIN C, CAMPETELLA G, SPADA F, et al. Context-dependent assembly rules andthe role of dominating grasses in semi-natural abandoned sub-Mediterranean grasslands[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2014, 182: 113-122.

[22] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.

[23] 田志慧. 上海城乡陆生生态系统杂草群落多样性格局及其成因论研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2011.

[24] NAGASE A, DUNNETT N, CHOI M S. Investigation of plant growth and flower performance on a semi-extensive green roof[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2017, 23: 61-73.

[25] 王志芳, 赵妍, 侯金伶, 等. 基于景观偏好研究的城市公园草本设计建议[J]. 中国园林, 2017, 33(9): 33-39.

[26] 李仓拴. 城市建成环境地被植物群落设计模式研究: 西安建筑科技大学实验与实践[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2019.

[27] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 533-548.

[28] 张金屯. 数量生态学[M]. 3 版. 北京: 科学出版社, 2018.

[29] NAGASE A, DUNNETT N, CHOI M S. Investigation of weed phenology in an establishing semi-extensive green roof[J]. Ecological Engineering, 2013, 58: 156-164.

[30] 符木. 花卉混播群落建植与群落动态研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2017.

[31] 奈杰尔·丁奈. 自然主义种植设计: 基本指南[M]. 王春玲, 王春能, 译. 北京: 中国林业出版社, 2021.