专题：城市野境与城市生物多样性

辽宁地区残存自然生境草本植物分布及其影响因子*

王 睿[1] 胡振国[1] 杨孟秋[1] 张 琛[1,2]

1 沈阳建筑大学建筑与规划学院 沈阳 110168
2 河北科技师范学院城市建设学院 河北秦皇岛 066000

摘要：作为区域乡土物种多样性最高的生境，残存自然生境建立了物种多样性的基础，具有较高的地域文化价值。利用 CCA 典范对应分析法对辽宁残存自然生境草本植物种类进行数量排序，分析草本植物分布与生境因子的关系，探究不同生境条件下的草本植物种类自然分布规律。结果表明：1）辽宁地区残存自然生境草本植物共有 38 科 111 属 133 种，草本植物群落中占优势的科主要有菊科、毛茛科、唇形科和禾本科；2）影响辽宁地区残存自然生境草本植物分布的主要生境因子为土壤含水量和光照。据此，提出不同城市生境中草本植物应用策略，即应根据生境土壤水分和光照条件选择适生草本植物、注重乡土草本植物的应用、增加多年生草本植物比例、混植观赏草与花卉、延长草本植物群落的物候观赏期、营造自然野趣的植物景观，为本土小动物提供宝贵的栖息地。

关键词：残存自然生境；草本植物；自然分布；生境因子；辽宁地区
DOI：10.12169/zgcsly.2024.03.27.0001

Distribution of Herbaceous Plants in Residual Natural Habitats in Liaoning Region and Its Influencing Factors

Wang Rui[1] Hu Zhenguo[1] Yang Mengqiu[1] Zhang Chen[1,2]

(1. College of Architecture and Planning, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 2. College of Urban Construction, Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao 066000, Hebei, China)

Abstract: As the habitat with the highest diversity of regionally native species, the residual natural habitat has provided the basis of species diversity and boasts a high regional cultural value. Using CCA canonical correspondence analysis, the number of herbaceous plant species in the residual natural habitats in Liaoning are ranked. The relationship between distribution of herbaceous plants and habitat factors is analyzed to explore the natural distribution pattern of herbaceous plant species under different habitat conditions. The results show that: 1) There are 133 species of herbs in 111 genera of 38 families in the residual natural habitats in Liaoning. Compositaceae, Ranunculaceae, Labiaceae and Gramineae are the dominant families in the herbaceous community; and 2) Soil water content and illumination are the main habitat factors that determine the distribution of herbaceous plants in the residual natural habitats in Liaoning. Accordingly, the application strategy of herbaceous plants in urban habitats is proposed, i. e., selecting suitable herbaceous plants according to the soil moisture and light conditions of the habitat, emphasizing the application of native herbaceous plants, increasing the proportion of perennial herbaceous

收稿日期：2024-03-27
* 基金项目：国家自然科学基金（52078307）
第一作者：王睿(1989-),女,博士,讲师,研究方向为草本植物群落设计理论与实践、园林植物应用。E-mail:kurui600@126.com
通信作者：胡振国（1974- ），男，硕士，副教授，研究方向为城乡生态规划理论。E-mail：20150263@qq.com

plants, enhancing the mixture of ornamental grasses and flowers, prolonging the ornamental period of herb communities, creating a natural wild plant landscape, and providing valuable habitats for native small-sized animals.

Keywords: residual natural habitat; herbaceous plant; natural distribution; habitat factor; Liaoning region

由于城市化进程加快、气候变化以及人类干扰等因素的影响，城市及周边地区原生植物种类及数量均逐渐减少，部分珍稀植物甚至濒临灭绝[1-2]。2015 年，中央城市工作会议明确提出以“生态修复、城市修补”为核心的“城市双修”规划工作要求[3-4]，强调修复城市生态，改善生态功能，尊重自然生态环境规律，系统开展城市绿地及周边地区的生态修复[5-6]。在联合国“生态系统恢复十年倡议”和第十五次《物种多样性公约》缔约方大会，强调提升城市物种多样性、发挥城市绿地复合生态功能、恢复乡土生物群落的总体目标。因此，探究植物组成及其分布，对了解特定区域的植物物种丰富度和分布均匀度，加强野生植物资源保护利用及科学管理具有重要指导意义[7-8]。

草本植物具有种类多样、分布广泛的特点，是城市建成区、城市郊区及乡村地区植被的重要组成部分。目前研究主要针对某个城市或保护区的植物组成进行分析[9-14]，侧重对城市工业废弃地[15-16]、城市河岸带[17-18]、城市荒野[19-20]的自生草本植物多样性特征分析，对省域范围内草本植物种类和多样性分布特征，及其与生境因子的关系研究较少。残存自然生境是残留于城市中心建成区及边缘带的高度破碎化的野生动植物栖息地以及那些在受人工干扰少的基底上发展起来的生境，建立了区域物种多样性的基础[21-23]。辽宁地区维管束植物约 2 200 种，草本植物种类约 1 500 种[24]。本研究运用植物数量排序方法，分析辽宁残存自然生境草本植物分布与生境因子的关系，揭示残存自然生境草本植物自然分布规律，为辽宁地区城市生境草本植物应用和乡土物种多样性恢复提供参考。

1 研究区概况

辽宁地区（40° 55′—42° 43′ N，122° 14′—125°15′E）地处辽河流域，我国长白、蒙古和华北三大植物区系的交汇地带，植物群落类型多样，物种多样性丰富。该地区雨热同季，日照丰富，四季分明。夏季高温多雨，高温可达 37 ℃，冬季寒冷干燥，低温可达 - 30 ℃，全年平均气温 8.8 ℃[25]。年平均降水量约 648 mm，自西北向东南递增，且主要集中在夏季，属于典型的温带大陆性季风气候。在城市建设过程中，辽宁地区残留了许多人为干扰少、较为完整的自然生境，如清原浑河源森林公园、宽甸白石砬子自然保护区、沈阳秀湖风景区等，这些残存自然生境具有辽河流域典型的草本植物组成特征。

2 研究方法

2.1 样地设置及调查

以预调研和专家推荐为基础，最终选择辽宁地区的沈阳市、清原县、调兵山市、彰武县、鞍山市、本溪县、凤城市、宽甸县 8 个典型市县作为调查样区。采用经典样地法[26]，在海拔 40～680 m 的生境中选择 26 个保存较为完好的样地（25 m×25 m）进行草本植物组成调查。由于河岸带是河流和陆地生态系统的缓冲带，具有较强的生境异质性，且呈线性分布，每个样地沿河流方向呈带状选择 3 个草本植物群落样方（1 m×1 m）均匀布置[27]，共计 78 个样方（表 1）。

在 2022—2023 年的 6—9 月，调查记录样方内所有草本植物的高度、生长状况、数量等参数，用相机拍摄照片。调查中无法准确识别的草本植物制作标本带回，参照《东北草本植物志》《辽宁植物志》等，对植物的科、属、种名等信息进行确认。采用手持 GPS（TerraZBnc）记录各样点经纬度、海拔；运用 Soil Moisture Kit（SM150-KIT）便携式土壤水分速测仪，在连续 7 天无降雨的时间测定土壤含水量；运用坡度尺测定坡度；运用数图软件（V3.0.5 版本）测定草本植物群落上层森林郁闭度。

表 1　辽宁地区残存自然生境调查样地位置和生境条件

样地号	位置	海拔/m	坡度/（°）	坡向	郁闭度	土壤含水量/%
ZB1	调兵山凹凸山	149	25.2	正北	0.0	9.1
ZB2	调兵山凹凸山	183	23.5	西北	0.0	9.6
ZB3	调兵山凹凸山	168	28.6	西北	0.3	12.6
ZB4	本溪董家沟	433	30.9	西	0.3	19.3
ZB5	本溪董家沟	440	15.2	西	0.0	18.6
ZB6	本溪董家沟	437	28.0	西	0.6	23.4
ZB7	本溪小草线	560	35.0	正南	0.0	18.2
ZB8	本溪摩天岭	305	34.0	正南	0.0	11.2
ZB9	凤城前堡子	250	15.6	正南	0.0	11.7
ZB10	凤城前堡子	254	12.4	正南	0.0	13.2
ZB11	凤城前堡子	260	20.3	正南	0.0	11.6
ZB12	宽甸白石砬子自然保护区	640	18.0	东北	0.2	18.2
ZB13	宽甸白石砬子自然保护区	575	10.0	东北	0.4	15.2
ZB14	宽甸白石砬子自然保护区	580	11.2	东	0.7	26.8
ZB15	清原浑河源森林公园	535	0.0	无	0.8	31.2
ZB16	清原浑河源森林公园	520	0.0	无	0.8	33.2
ZB17	清原浑河源森林公园	535	0.0	无	0.6	18.2
ZB18	清原浑河源森林公园	615	0.0	无	0.2	22.6
ZB19	清原浑河源森林公园	620	0.0	无	0.0	22.6
ZB20	鞍山千山风景区	316	36.0	西南	0.3	6.2
ZB21	鞍山千山风景区	328	6.8	西	0.0	8.5
ZB22	彰武大青沟	248	0.0	无	0.0	6.8
ZB23	彰武大青沟	256	0.0	无	0.3	6.2
ZB24	沈阳秀湖风景区	108	0.0	无	0.4	19.8
ZB25	沈阳秀湖风景区	110	30.0	正北	0.4	32.1
ZB26	沈阳秀湖风景区	105	35.0	正南	0.0	42.6

2.2　数据处理与分析

2.2.1　重要值计算

根据辽宁地区残存自然生境样地的实际调查数据，计算 26 个样点内各样方各草本植物重要值，计算公式如下[28]：

草本重要值（IV）=（相对密度+相对频度+相对盖度）/3　　（1）

相对密度=（某种植物的个体数/全部植物的个体数）×100%　　（2）

相对频度=（该种的频度/所有种的频度总和）×100%　　（3）

相对盖度=（样方中该种个体的分盖度/样方中全部个体所有分盖度之和）×100%　　（4）

2.2.2　数量排序

将调查样方中各草本植物重要值作为因变量，将坡度、坡向、郁闭度、海拔、土壤含水量等生境因子为自变量，对物种分布与生境因子进行排序分析。实际测量并记录坡度、土壤含水量、海拔等数值，利用数字等级表示坡向和郁闭度。无坡向为 1，坡向以北为 2，坡向以南为 3，东北、西北为 4、5，东南、西南为 6，7，西为 8，东为 9[29]；草本植物上层空间的郁闭度产生的影响会导致光照的变化[30-31]。由于草本植物与上层乔木、灌木的位置关系，郁闭度是影响草本植物组成的重要因子，将郁闭度设定为有序变量可以探究不同光照条件下的草本植物分布。根据实际森林郁闭度测定结果，将郁闭度分为 3 个等级：郁闭度<0.3 为 1 等级，0.3≤郁闭度<0.6 为 2 等级，郁闭度≥0.6 为 3 等级。

采用 Excel2016 和 SPSS22.0 软件对数据进行处理，采用单因素方差分析（one-Way ANOVA）对数据进行分析，用最小显著差异法（LSD）检验差异显著性（$P=0.05$），使用 Canoco5.0 对物种分布和生境因子指标的关系进行除趋势对应分析（DCA），结果显示第一主轴的梯度长度均大于 3SD，因此选择典范对应分析（CCA）进行物种组成分布与生境因子排序分析，并作图。

2.2.3　K-means 聚类及相关性分析

运用 Matlab 软件分析土壤含水量、郁闭度、海拔、坡度、坡向 5 个生境因子的相关性，使用热图方法可视化相关系数矩阵，并对草本植物种类进行 K-means 聚类分析，用轮廓系数评价聚类结果。

3　结果与分析

3.1　植物种类

辽宁地区残存自然生境草本植物共有 38 科 111 属 133 种（表 2）。群落中占优势的科主要有菊科、毛茛科、唇形科和禾本科，分别有物种 26 种、

表 2 辽宁地区残存自然生境草本植物种类

序号	中文名	拉丁名	科
1	白头翁	*Pulsatilla chinensis*	毛茛科
2	地榆	*Sanguisorba officinalis*	蔷薇科
3	点地梅	*Androsace umbellata*	报春花科
4	青绿薹草	*Carex breviculmis*	莎草科
5	球序韭	*Allium thunbergii*	石蒜科
6	紫斑风铃草	*Campanula punctata*	桔梗科
7	萱草	*Hemerocallis fulva*	阿福花科
8	披碱草	*Elymus dahuricus*	禾本科
9	虎尾草	*Polypogon fugax*	禾本科
10	三叶委陵菜	*Potentilla freyniana*	蔷薇科
11	白莲蒿	*Artemisia stechmanniana*	菊科
12	石竹	*Dianthus chinensis*	石竹科
13	甘菊	*Chrysanthemum lavandulifolium*	菊科
14	紫花地丁	*Viola philippica*	堇菜科
15	拂子茅	*Calamagrostis epigeios*	禾本科
16	冷蒿	*Artemisia frigida*	菊科
17	北乌头	*Aconitum kusnezoffii*	毛茛科
18	银莲花	*Anemone cathayensis*	毛茛科
19	华东蓝刺头	*Echinops grijsii*	菊科
20	棉团铁线莲	*Clematis hexapetala*	毛茛科
21	翠雀	*Delphinium grandiflorum*	毛茛科
22	益母草	*Leonurus japonicus*	唇形科
23	小花鬼针草	*Bidens parviflora*	菊科
24	黄芩	*Scutellaria baicalensis*	唇形科
25	蓝盆花	*Scabiosa comosa*	忍冬科
26	桔梗	*Platycodon grandiflorus*	桔梗科
27	风毛菊	*Saussurea japonica*	菊科
28	蓬子菜	*Galium verum*	茜草科
29	黄花蒿	*Artemisia annua*	菊科
30	蒙古马兰	*Aster indicus*	菊科
31	高山紫菀	*Aster tataricus*	菊科
32	风轮菜	*Clinopodium chinense*	唇形科
33	坚硬女娄菜	*Silene firma*	石竹科
34	紫苏	*Perilla frutescens*	唇形科
35	艾	*Artemisia argyi*	菊科
36	茜草	*Rubia cordifolia*	茜草科
37	短果茴芹	*Pimpinella brachycarpa*	伞形科
38	小红菊	*Chrysanthemum chanetii*	菊科
39	轮叶沙参	*Adenophora tetraphylla*	桔梗科
40	牛扁	*Aconitum barbatum* var. *puberulum*	毛茛科
41	叉分蓼	*Koenigia divaricata*	蓼科
42	老鹳草	*Geranium wilfordii*	牻牛儿苗科
43	蛇莓	*Duchesnea indica*	蔷薇科
44	铃兰	*Convallaria keiskei*	天门冬科
45	展枝沙参	*Adenophora divaricata*	桔梗科
46	尖萼耧斗菜	*Aquilegia oxysepala*	毛茛科
47	黄花败酱	*Patrinia scabiosifolia*	忍冬科
48	芒	*Miscanthus sinensis*	禾本科
49	唐松草	*Thalictrum aquilegiifolium* var. *sibiricum*	毛茛科
50	东风菜	*Aster scaber*	菊科
51	山罗花	*Melampyrum roseum*	牻牛儿苗科
52	短瓣金莲花	*Trollius ledebourii*	毛茛科
53	糙苏	*Phlomoides umbrosa*	唇形科
54	白车轴草	*Trifolium repens*	豆科
55	夏枯草	*Prunella vulgaris*	唇形科
56	野当归	*Angelica decursiva*	伞形科
57	宽叶山蒿	*Artemisia stolonifera*	菊科
58	藿香	*Agastache rugosa*	唇形科
59	木贼	*Equisetum hyemale*	木贼科
60	玉簪	*Hosta plantaginea*	天门冬科
61	绵枣儿	*Barnardia japonica*	天门冬科
62	长尾婆婆纳	*Pseudolysimachion longifolium*	车前科
63	柳穿鱼	*Linaria vulgaris* subsp. *chinensis*	车前科
64	千里光	*Senecio scandens*	菊科
65	圆锥石头花	*Gypsophila paniculata*	石竹科
66	蹄叶橐吾	*Ligularia fischeri*	菊科
67	龙牙草	*Agrimonia pilosa*	蔷薇科
68	荚果蕨	*Matteuccia struthiopteris*	球子蕨科
69	鸭跖草	*Commelina communis*	鸭跖草科
70	水芹	*Oenanthe javanica*	伞形科
71	兴安升麻	*Actaea dahurica*	毛茛科
72	水蓼	*Persicaria hydropiper*	蓼科
73	延胡索	*Corydalis yanhusuo*	罂粟科
74	马蔺	*Iris lactea*	鸢尾科
75	黄连花	*Lysimachia davurica*	报春花科
76	朝鲜当归	*Angelica gigas*	伞形科
77	葎草	*Humulus scandens*	大麻科
78	翅果菊	*Lactuca indica*	菊科
79	岩败酱	*Patrinia rupestris*	忍冬科
80	长药景天	*Hylotelephium spectabile*	景天科
81	芨芨草	*Neotrinia splendens*	禾本科
82	黄花乌头	*Aconitum coreanum*	毛茛科
83	歪头菜	*Vicia unijuga*	豆科
84	狗娃花	*Aster hispidus*	菊科
85	车前	*Plantago asiatica*	车前科
86	白花败酱	*Patrinia villosa*	忍冬科
87	野豌豆	*Vicia sepium*	豆科
88	狗尾草	*Setaria viridis*	禾本科
89	黄瓜菜	*Crepidiastrum denticulatum*	菊科
90	大油芒	*Andropogon virginicus*	禾本科
91	溪荪	*Iris sanguinea*	鸢尾科
92	薄荷	*Mentha canadensis*	唇形科
93	毛茛	*Ranunculus japonicus*	毛茛科
94	月见草	*Oenothera biennis*	柳叶菜科
95	大花卷丹	*Lilium leichtlinii* var. *maximowiczii*	百合科
96	浅裂剪秋萝	*Lychnis cognata*	石竹科
97	落新妇	*Astilbe chinensis*	虎耳草科
98	薄叶荠苎	*Adenophora remotiflora*	桔梗科
99	大叶铁线莲	*Clematis heracleifolia*	毛茛科
100	假升麻	*Aruncus sylvester*	蔷薇科
101	兴安鹿药	*Maianthemum dahuricum*	天门冬科
102	林地早熟禾	*Poa nemoralis*	禾本科
103	荷青花	*Hylomecon japonica*	罂粟科
104	大花金挖耳	*Carpesium macrocephalum*	菊科
105	宽叶荨麻	*Urtica laetevirens*	荨麻科
106	东北凤仙花	*Impatiens furcillata*	凤仙花科
107	白屈菜	*Chelidonium majus*	罂粟科
108	花荵	*Polemonium caeruleum*	花荵科
109	聚花风铃草	*Campanula glomerata* subsp. *speciosa*	桔梗科
110	银胶菊	*Parthenium hysterophorus*	菊科
111	拉拉藤	*Galium spurium*	茜草科
112	东北穗花	*Pseudolysimachion rotundum* subsp. *subintegrum*	车前科
113	费菜	*Phedimus aizoon*	景天科
114	线叶筋骨草	*Ajuga linearifolia*	唇形科
115	假龙头	*Physostegia virginiana*	唇形科
116	天蓝绣球	*Phlox paniculata*	花荵科
117	射干	*Belamcanda chinensis*	鸢尾科
118	紫松果菊	*Echinacea purpurea*	菊科
119	千屈菜	*Lythrum salicaria*	千屈菜科
120	菖蒲	*Acorus calamus*	菖蒲科
121	灯芯草	*Juncus effusus*	灯芯草科
122	蒲公英	*Taraxacum mongolicum*	菊科
123	尖裂假还阳参	*Crepidiastrum sonchifolium*	菊科
124	北柴胡	*Bupleurum chinense*	伞形科
125	路边青	*Geum aleppicum*	蔷薇科
126	旋覆花	*Inula japonica*	菊科
127	亚洲蓍	*Achillea asiatica*	菊科
128	细辛	*Asarum heterotropoides*	马兜铃科
129	玉蝉花	*Iris ensata*	鸢尾科
130	黑心金光菊	*Rudbeckia hirta*	菊科
131	缬草	*Valeriana officinalis*	忍冬科
132	香薷	*Elsholtzia ciliata*	唇形科
133	白茅	*Imperata cylindrica*	禾本科

13 种、11 种和 9 种，分别占草本植物物种总数的 19.6%、9.8%、8.3%和 6.8%。根据植物重要值计算结果：重要值大于 1.0%的共有 128 个物种，其中青绿薹草、黄花败酱、高山紫菀、地榆、展枝沙参、拂子茅属于建群种，分布上占绝对优势；重要值在 10.0%以上，最高可达 20.5%。调查样方中包含禾本科草本植物的样方有 25 个，占样方总数的 96.2%，表明这些植物在自然生境中表现了良好的适应性和优美花相，极具视觉吸引力，为草本植物群落提供了重要的生态价值和美学价值。

3.1.1　乡土植物

通过分析可知，乡土草本植物 123 种，外来草本植物 10 种，乡土草本植物种类占种类总数的 92.5%。外来草本植物主要有紫松果菊、天蓝绣球、假龙头、白车轴草等，这些植物在辽宁地区长期定居生长，表现出对环境良好的适应性。

3.1.2　杂草型植物

杂草型草本植物有 22 种，占种类总数的 16.5%，其中草本植物种入侵植物 5 种，如小花鬼针草、白车轴草、千里光、月见草、银胶菊，所占比例为 3.8%。这些杂草型植物具有发达的根系，生长速度快，通过飘散的种子进行大量繁殖，会影响其他植物的正常生长。

3.1.3　植物生活型

草本植物群落中包括了一年生草本植物、一、二年生草本植物、多年生草本植物和蔓生草本 4 种生活型。其中，多年生草本植物种类最多，共有 102 种，占种类总数的 76.7%；一年生草本植物 10 种，一、二年生草本植物 9 种，蔓生草本植物 4 种，分别占种类总数的 7.5%、6.8%、3.0%。

3.2　植物分布与生境因子的关系

为了消除变量之间的相互影响，经过数据归一化处理，通过拟合变量的线性回归模型进行共线性分析。各指标处于同一数量级，海拔、坡度、坡向、郁闭度、土壤含水量的方差膨胀因子（VIF）分别为 1.369 3、1.325 5、1.205 7、1.440 8、1.315 6，由此可知，VIF 范围为 1~10，并且接近 1，生境因子间无严重共线性问题，回归参数稳定。

利用 26 个样点和 5 个生境因子进行植物种类分布 CCA 排序，结果表明前 4 个典范轴解释了植被变化的 28.2%。由表 3 可知，排序轴 1 和排序轴 2 的特征值分别为 0.785 2 和 0.666 7，达到总特征值（2.432 1）的 59.7%，包含了排序的绝大部分信息，能较好的反应辽宁地区残存自然生境草本植物与生境因子排序。因此，采用前两轴的数据来分析植物群落与生境因子的关系。根据 5 个环境变量与 CCA 排序轴的相关性分析可知（表 4），土壤含水量（0.688）和郁闭度（0.365）CCA 第 1 轴的相关性最强，表明沈阳河岸带的土壤含水量和郁闭度是决定植物分布的主导因子。与排序轴 2~3 的相关性最大的均是郁闭度（0.420、0.214、0.077）。综上可知，辽宁地区残存自然生境的土壤含水量、郁闭度对草本植物分布具有重要影响。

表 3　辽宁地区残存自然生境草本植物群落植物分布 CCA 排序

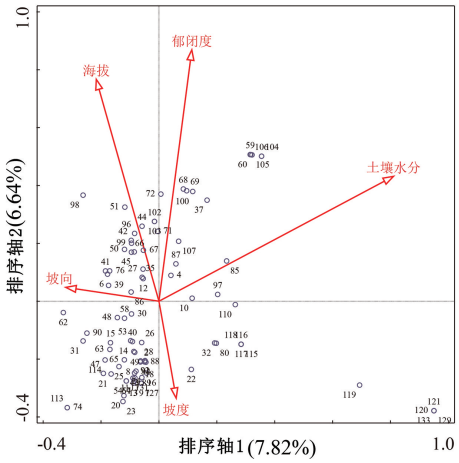
CCA 排序	特征值	物种数据的方差累计百分比/%	物种-环境相关性	物种-环境关系累计方差贡献率/%	所有轴约束典范排序特征值总和
排序轴 1	0.785 2	7.82	0.954 0	27.72	2.432 1
排序轴 2	0.666 7	14.46	0.955 1	51.25	
排序轴 3	0.563 5	20.08	0.945 8	71.15	
排序轴 4	0.416 7	24.23	0.935 5	85.86	

表 4　辽宁地区残存自然生境草本植物分布 CCA 排序轴与生境因子的相关系数

生境因子	排序轴 1	排序轴 2	排序轴 3	排序轴 4
土壤含水量	0.688	−0.146	0.111	−0.177
海拔	−0.125	0.266	0.182	−0.068
郁闭度	0.365	0.420	0.214	0.077
坡度	0.021	−0.325	−0.497	−0.046
坡向	0.309	−0.321	−0.301	−0.207

根据图 1 可知，土壤含水量、郁闭度、坡度等生境因子影响草本植物的自然分布。对排序轴 1 进行分析，土壤含水量为主要影响因子。沿排序轴 1 从左到右，土壤含水量逐渐增大，分布的

植物种类主要有千屈菜、菖蒲、灯心草、玉禅花、白茅等。土壤含水量较低的样点分布的植物种类主要有薄叶荠苎、长尾婆婆纳、长药景天、黄瓜菜、费菜、延胡索等。对排序轴 2 进行分析，坡度、郁闭度为主要因子，沿排序轴 2 从下至上，样点坡度逐渐减小，郁闭度逐渐增大。大叶铁线莲、兴安鹿药、林地早熟禾、荷青花等植物较多生长在郁闭度较高、坡度较低的生境，白头翁、紫菀、翠雀、黄花败酱等植物，则较多生长在郁闭度较低的光照充足的生境中。宽叶山蒿、车前、银莲花、白莲蒿、黄花蒿等分布在排序图原点附近，这些草本植物生态幅度较大，对不同生境具有较强的适应性。

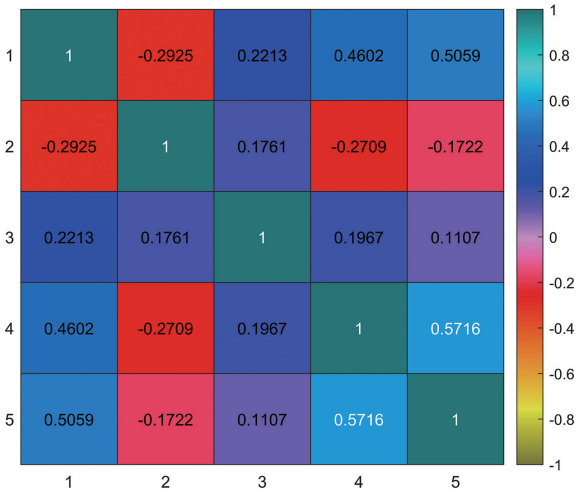


注：数字为物种序号，与表 2 物种序号一致。

图 1 辽宁地区残存自然生境植物分布与生境因子 CCA 排序

3.3 不同生境条件下的植物种类

运用热图方法可视化相关系数（图 2）可以看出，海拔与坡度为负相关，与坡向、郁闭度、土壤含水量为正相关；坡向与其他生境因子都为正相关；郁闭度和土壤含水量与坡度为呈负相关，与其他生境因子都为正相关。其中，土壤含水量与海拔和郁闭度呈强正相关性。根据样方中草本植物的重要值，归一化处理后进行 K-means 聚类，得到 6 类生境类型适用的草本植物（表 5）。经计算，聚类结果的轮廓系数为 0.61，聚类效果良好。



注：横纵坐标 1~5 分别代表海拔因子、坡度因子、坡向因子、郁闭度因子、土壤含水量因子；右侧纵坐标为相关系数 r 值。

图 2 生境因子相关性分析热力图

表 5 城市不同生境类型中适用的草本植物种类

序号	生境类型	适生草本植物种类
1	半干旱草地	球序韭、冷蒿、石竹、圆锥石头花、马蔺、蓝盆花、黄芩、长药景天、翠雀、蒙古马兰、桔梗、柳穿鱼、拂子茅、芒、细叶芒、黑心金光菊、紫松果菊、岩败酱、紫菀、白头翁、大油芒、薄荷、黄莲花等
2	半干旱森林	线叶筋骨草、银莲花、翠雀、圆锥石头花、长药景天、马蔺、岩败酱、东北穗花、白头翁、黄芩、细叶芒、大油芒
3	潮湿草地	亚洲蒈、展枝沙参、轮叶沙参、北乌头、黄花乌头、北柴胡、薄叶荠苎、龙牙草、线叶筋骨草、银莲花、野当归、小兔子狼尾草荆芥、紫松果菊、小花葱、假龙头、穗花婆婆纳、蒙古马兰、东风菜、紫菀、紫斑风铃草、青绿薹草、小红菊、甘菊、尖萼耧斗菜、白头翁、马蔺、溪荪、芒、兴安升麻、大叶铁线莲、铃兰、延胡索、翠雀、蓬子菜、华东蓝刺头、棉团铁线莲、桔梗、老鹳草、藿香、拂子茅、浅裂剪秋罗、紫花地丁、短瓣金莲花、唐松草、细叶芒、地榆、毛茛、长尾婆婆纳、东北穗花、糙苏、白花败酱、黄莲花、茏茏草、黑心金光菊、大花卷丹、蹄叶橐吾、旋覆花、长药景天、萱草、射干、夏枯草、蓝盆花、黄花败酱、落新妇、聚花风铃草、石竹、黄芩、圆锥石头花、大油芒、薄荷、香薷、槭叶草、珠果黄堇等
4	潮湿森林	细辛、假升麻、玉簪、北乌头、兴安升麻、黄花乌头、银莲花、尖萼耧斗菜、蕨类、浅裂剪秋罗、白屈菜、延胡索、荷青花、兴安鹿药、草地早熟禾、黄芩、龙牙草、夏枯草、香薷、珠果黄堇、黄莲花等
5	湿润草地	玉蝉花、溪荪、白茅、千屈菜、青绿薹草、灯芯草、芒、菖蒲、珠果黄堇等
6	湿润森林	野当归、落新妇、兴安升麻、花葱、萱草、蹄叶橐吾、浅裂剪秋罗、蕨类、短瓣金莲花、木贼、千屈菜等

4 讨论

4.1 不同生境因子对草本植物分布的影响

4.1.1 土壤含水量对草本植物分布的影响

土壤含水量的变化综合了温度、湿度等多种环境因子，在一定程度上能够显著影响物种的空间分布格局。对辽宁地区残存自然生境草本植物分布以及 CCA 排序结果显示，不同土壤水分条件下植物分布存在较大差异，当土壤含水量较大时（>30.0%），分布的物种会有明显变化，会促进

竞争型植物的生长和分布，植物生长状况较好，叶片较为宽大且植株较高，群落丰富度较高，而这种土壤水分条件对耐胁迫型植物的生长会产生抑制作用，因此，分布的耐胁迫型植物种类较少。而当土壤含水量较小时（≤15.0%），耐胁迫型植物会充分利用自身的耐胁迫能力去适应较为干旱的土壤环境，在这种干旱胁迫环境中，竞争型植物基本不存在，因为它们无法适应土壤水分较低的生境条件，这与武晓倩等[27]的研究结果一致。在土壤含水量较高的湿润区域，植物所需的水分相对充足，植物为竞争型生存对策。

4.1.2　光照对草本植物分布的影响

从 CCA 排序中可以看出，喜半干旱和潮湿生境的草本植物种类较多。研究表明，辽宁地区残存自然生境中的草本植物分布与生境的郁闭度存在显著的关系，其原因是郁闭度较高（≥0.6）的样点，耐阴胁迫者更多。受上层森林的遮挡影响光照不够充足，分布着多种耐半阴和喜阴的植物，如玉簪、铃兰、兴安升麻、木贼等植物，而郁闭度较低（<0.3）的样点多为草地或林缘草地，光照充足，分布的草本植物种类也最多。

4.1.3　地形对草本植物分布的影响

坡度作为主要的地形因子能对草地的土壤厚度、含水量产生影响，导致土壤养分表现在不同坡度上的分异性，使植物在不同坡度上存在分布差异。同时，海拔对草本植物的分布也存在一定的间接影响。

4.2　城市不同生境类型下的草本植物选择策略

4.2.1　半干旱草地生境

城市半干旱草地生境适宜生长耐干旱且喜光照的草本植物（表 5）。这些植物大多分布在辽西地区低降水量的调查样地中，在半干旱生境条件下自然生长具有非常强的耐干旱胁迫能力，在半干旱草地生境中为耐胁迫型生存策略，植物叶片较少、较小、较粗糙[32]。植物生长速率较为缓慢，花量少，可抵御食草动物侵袭并缓解营养短缺造成的胁迫压力。因此，城市半干旱草地生境中，在不经常浇灌的情况下可以具有良好的生长势。

4.2.2　半干旱森林生境

城市半干旱森林生境可应用的草本植物种类均生存于阴凉环境（表 5）。长药景天、线叶筋骨草和圆锥石头花是半干旱环境最耐阴的植物种类，通常生长在降雨较少地区的草地、岩石表面、干燥阴坡或林缘处。这些植物在土壤水分、光照条件均胁迫的环境中，为耐胁迫型生存策略，生长速度较缓慢，叶片粗糙，可抵御光照胁迫压力。由于同时具备耐阴能力和耐旱能力的植物种类较少，城市半干旱森林生境对于草本植物选择具有非常大的挑战性，需要从自然生境当中发现和挖掘更多适应该生境条件的植物种类。

4.2.3　潮湿草地生境

城市潮湿草地生境可应用的草本植物种类通常自然分布在辽宁中部地区降水量中等、光照较为充足的全阳环境中（表 5）。植物种类的广泛分布表明其有更大的“耐受范围”[33]，耐受性范围广的植物通常比环境耐受性范围窄的植物更容易在城市河岸带生境应用。大部分植物为耐胁迫型生存策略，如轮叶沙参、北乌头、黄花乌头、北柴胡、薄叶荠苎等生长速度较缓慢，一般出现在群落中层或下层，可以忍受上层植物对光环境的遮挡。野当归、兴安升麻、地榆、唐松草等植物株高较高，为竞争型生存策略。在此生境中生长的植物生态幅较宽，对城市潮湿草地生境具有非常高的应用价值。

4.2.4　潮湿森林生境

辽宁地区残存自然生境的潮湿森林中草本植物种类较多，为城市潮湿森林生境草本植物群落构建提供了参考选择（表 5）。这些草本植物分布于辽宁中部地区乔木和大灌木下的林缘或林下生境，许多都是蕨类植物和早春开花植物，如鸢尾、银莲花、荷青花，它们在春天开花，在树木长出叶片之前，会呈现引人注目的花相，尤其在潮湿森林的林缘，植物种类较多。而在潮湿森林的林下生境中，由于光照条件不足，植物呈现耐胁迫生存对策，生长速度减缓，花量少甚至不开花，如蕨类植物[34]。因此，城市潮湿森林生境对草本植物的耐阴性要求更高。

4.2.5　湿润草地生境

城市湿润草地生境可应用的草本植物大多是水体或实际湿地边缘的植物种类（表 5）。湿润草地生境中的植物通常株高较高、叶量大，不适合

忍受干旱，植物在阴凉处开花迅速减少[35]。这些植物大部分是在辽宁高降水量东部地区或渗水地区的草地中。如果在城市半干旱生境中应用，这些植物可能会出现萎蔫或其他形式的水分胁迫。植物通过根、茎快速捕获水分资源和阳光资源，植株较高、生长速率较大，抗逆和适应性等方面竞争力强。这些喜欢光照充足且耐水湿的植物，通常是耐胁迫型生存策略，在城市湿润生境中可大量应用。

4.2.6 湿润森林生境

城市湿润森林生境可应用的草本植物大多分布在高降水量或水流失的半阴或全阴地区，生长环境需要永久湿润或潮湿的土壤和低光照（表 5）。植物可以被应用在雨水管理洼地和雨水花园的底部等生境，通过降水对场地引入额外的水量。现阶段，湿润森林生境中适生的植物种类被应用开发的很少，代表性植物有落新妇、蕨类等，且仅限于花园庭院中。因此，需要通过引种探索更多可在城市湿润森林生境中的适生植物种类，丰富草本植物群落的丰富度。

5 结论

辽宁地区残存自然生境草本植物种类丰富，共有 38 科 111 属 133 种，占优势的科主要有菊科、毛茛科、唇形科和禾本科，这些乡土草本植物野外生长表现良好、生长寿命长、具有优美的花相。影响辽宁地区残存自然生境草本植物分布的主要生境因子为土壤含水量和光照，应根据城市生境的土壤水分和光照多种条件选择适生草本植物，注重乡土草本植物的应用，增加多年生草本植物比例，混植观赏草与花卉，为本土小动物提供宝贵的栖息地，延长草本植物群落的物候观赏期。在城市生境中发现和应用残存自然生境草本植物种类，可以提高辽宁地区城市草本植物群落的生态适应性、景观美学性和乡土物种多样性，营造以乡土植物和动物为主体的绿色地标性空间，从而提高城市生态系统服务功能。

参考文献

[1]胡理乐，马俊丽，赵金满，等.北京维管植物组成及其分布特征[J].生态学杂志，2023，42(12)：2903-2910.

[2]TEN BRINK P.The economics of ecosystems and biodiversity in national and international policy making[M].London：Earthscan，2011.

[3]COSTANZA R，D'ARGE R，DE GROOT R，et al.The value of the world's ecosystem services and natural capital[J].Nature，1997，387：253-260.

[4]WU J G.Landscape sustainability science：Ecosystem services and human well-being in changing landscapes[J].Landscape Ecology，2013，28(6)：999-1023.

[5]邓鑫桂，邱莉淘，梁庄."城市双修"背景下喀斯特山地城市山体生态修复与利用研究：以安顺市山体生态修复为例[J].中国园林，2021，37(增刊 1)：51-55.

[6]吴伟，程歆玥，左丹.基于城市双修视角的河流规划策略研究：以忻州市南云中河生态修复工程为例[J].住宅科技，2021，41(9)：7-11.

[7]达良俊.基于本土生物多样性恢复的近自然城市生命地标构建理念及其在上海的实践[J].中国园林，2021，37(5)：20-24.

[8]孙欣欣，董丽娜.南京市野生草本花卉资源调查与分析[J].中国野生植物资源，2022，41(5)：86-94.

[9]杨博，孙彦伟，郑思俊，等.城市生态公益林再野化的草本植物及其生境热点快速监测识别技术[J].中国城市林业，2024，22(2)：56-63.

[10]郭燕，杨邵，沈雅飞，等.三峡水库消落带现存植物自然分布特征与群落物种多样性研究[J].生态学报，2019，39(12)：4255-4265.

[11]李岩，何兴元，尚佰晓，等.辽宁浑河源自然保护区蕨类植物组成及物种多样性[J].生态学杂志，2023，42(10)：2434-2440.

[12]王丹，盖立新，田恒玖，等.北京松山国家级自然保护区野生兰科植物多样性及其生存状况研究[J].自然保护地，2022(1)：93-101.

[13]刘浩，崔岳铭，王磊，等.北京市城镇化地区植物多样性评价[J].北京林业大学学报，2022，44(8)：48-55.

[14]陈荟，梁康，马亨发，等.贵州月亮山自然保护区野生草本植物群落不同光环境物种多样性及结构特征[J].贵州科学，2022，40(1)：82-86.

[15]王沫，王红兵.上海 3 种用地类型的自生植物分布格局及其影响因素[J].西北林学院学报，2021，36(6)：266-273.

[16]包钰婷，李晓鹏，黄瑞.成都四环路内工业废弃地自生植物生境及物种多样性[J].风景园林，2024，31(1)：103-111.

[17]李东吟，李文，董荣荣，等.哈尔滨城市工业废弃地自生植物多样性与分布特征[J].风景园林，2024，31(1)：112-120.

[18]刘瑞雪，陈龙清，史志华.丹江口水库水滨带植物群落空间分布及环境解释[J].生态学报，2015，35(4)：1208-1216.

[19]王睿，朱玲.近自然理念下城市河岸带草本植物群落构建的实验研究途径[J].风景园林，2022，29(10)：102-108.

[20]王阔.北京城市化环境下自生草本植物现状及园林应用研究[D].

北京：北京林业大学，2014.
[21]崔虎亮，高静，徐强.太原城市生态廊道草本植被调查及其分布格局分析[J].广东园林，2021，43(5)：86-90.
[22]Goode D A.英国城市自然保护[J].生态学报，1990，10(1)：96-108.
[23]韩西丽，李迪华.城市残存近自然生境研究进展[J].自然资源学报，2009，24(4)：561-566.
[24]李书心.辽宁植物志(上册)[M].沈阳：辽宁人民出版社，1988.
[25]林益同，周晓宇，赵春雨，等.1961—2020 年辽宁省气候年景分析及综合气候年景评价[J].气象与环境学报，2023，39(6)：105-111.
[26]杨持.生态学实验与实习[M].第二版.北京：高等教育出版社，2008.
[27]武晓倩，范保硕，滕叶文，等.白洋淀流域河岸带草本植物群落分布特征与土壤环境因子的关系[J].应用与环境生物学报，2022，28(6)：1608-1614.
[28]蔡洪丽，欧静.城市森林群落林下草本植物多样性及其环境响应：以贵阳市为例[J].亚热带植物科学，2023，52(5)：433-447.
[29]李涵，丁彦芬，蔡慧，等.南京紫金山野生草本花卉群落数量分类与排序[J].中国野生植物资源，2019，38(6)：14-21，26.
[30]MCKINNEY M L.Urbanization，biodiversity，and conservation[J].BioScience，2002，52(10)：883.
[31]HOPKINS T M，MILLER C M.Systems andmethods for detecting and translating sunlight exposure data：US20050230598[P].2005-10-20.
[32]YE H.Developing multi-layered，flowering Mediterranean plant communities using South African flora[D].Sheffield：University of Sheffield，2016
[33]GRIME J P，HODGSON J G，HUNT R.A functional approach to common British species[M].London：Unwin Hyman，1989.
[34]GRIME J P，PIERCE S.The evolutionary strategies that shape ecosystems[M].New Jersey：Wiley-Blackwell，2012.
[35]DUNNETT N，HITCHMOUGH J.The dynamic landscape：design，ecology and management of naturalistic urban planting[M].London：Spon Press，2004.

(上接第 41 页)

[9]宋菊芳，吴金宁，李坤林，等.社区尺度下城市绿地对老年人健康的影响机制[J].中国城市林业，2023，21(3)：82-87.
[10]宋聚生，孙艺，侯小冲.人口高密度城区社区公园空间环境特征分析：基于老年人活动分类[J].建筑学报，2017(5)：116-120.
[11]KANO N，SERAKU N，TAKAHASHI F，et al.Attractive Quality and Must-be Quality[J].Journal of the Japanese Society for Quality Control，1984，14(2)：147-156.
[12]BERGER C，BLAUTH R，BOGER D，et al.Kano's method for understanding customerdefined quality[J].Journal of the Japanese Society for Quality Control，1993，2(4)：3-36.
[13]汤素素，吴晓华，陶一舟，等.基于 Kano 模型的居住型口袋公园环境教育需求研究[J].中国园林，2022，38(5)：104-109.
[14]孙艺，戴冬晖，宋聚生，等.社区户外活动场地空间环境特征对老年人吸引力的多元回归模型[J].中国园林，2018，34(3)：93-97.
[15]骆天庆，傅玮芸.人口老龄化背景下的社区公园活动空间和游憩设施配置 上海实例研究[J].风景园林，2016，23(4)：96-101.
[16]戴靓华，卢李海，周典，等.基于需求理论的城市社区老年人居住环境服务体系研究：以西安为例[J].现代城市研究，2023，38(8)：81-89.
[17]邹昕芸.社区公园适老性评价体系构建及优化设计研究[D].成都：成都理工大学，2021.
[18]胡玉婷，于一凡，张庆来.绿色开放空间对老年人社会交往的影响及其环境特征研究：基于上海市杨浦区公房社区的调查[J].上海城市规划，2021(2)：96-103.
[19]LU S S，WU F，WANG Z J，et al.Evaluation system and application of plants in healing landscape for the elderly[J].Urban Forestry & Urban Greening，2021，58：126969.
[20]贾雪晴.园林植物色彩的心理反应研究[D].杭州：浙江农林大学，2012.
[21]ASPINALL P A，THOMPSON C W，ALVES S，et al.Preference and relative importance for environmental attributes of neighbourhood open space in older people[J].Environment and Planning B：Planning and Design，2010，37(6)：1022-1039.
[22]HOOPER P，FOSTER S，EDWARDS N，et al.Positive HABITATS for physical activity：Examining use of parks and its contribution to physical activity levels in mid-to older-aged adults[J].Health & Place，2020，63：102308.
[23]孙文书，于冰沁.社区公园环境对漂族老人健康行为活动的影响研究[J].风景园林，2021，28(5)：86-91.
[24]麻春晓，谢妙.老年人行为模式与社交空间分析：基于南宁市旧城区中心公园广场的调查与建议[J].城市建筑，2020，17(22)：34-37，101.
[25]姚雪松，冷红，魏冶，等.基于老年人活动需求的城市公园供给评价：以长春市主城区为例[J].经济地理，2015，35(11)：218-224.
[26]邓炀，王向荣.公众参与城市绿色空间管理维护：以坦纳斯普瑞公园为例[J].中国园林，2019，35(8)：139-144.
[27]ARNBERGER A，ALLEX B，EDER R，et al.Elderly resident's uses of and preferences for urban green spaces during heat periods[J].Urban Forestry & Urban Greening，2017，21：102-115.
[28]钟瑶琼，罗震伟.基于老年人健康促进的老旧社区公共空间优化策略研究[J].中国园林，2021，37(增刊 2)：56-61.