

30种观赏草在上海地区的观赏适应性评价

徐佩贤^{1,2}, 钟军瑄^{1,2}, 陈嫣嫣^{1,2}, 王昊彬^{1,2}, 王瑛^{1,2*}

(1.上海市绿化管理指导站, 上海 200020; 2.上海城市树木生态应用工程技术研究中心, 上海 200020)

摘要 通过层次分析法,从生态适应性和观赏性2个方面,选择抗寒性、抗热性、抗旱性、抗病虫害、抗倒伏、生长势、观赏价值、叶色、花序美感、花期、绿期11个评价因子,建立了上海地区观赏草评价指标体系,对上海地区常见的30种观赏草进行了评价,并分成5个等级。结果表明,I级:“矮”蒲苇(*Cortaderia selloana* “Pumila”)、“歌舞”芒(*Miscanthus sinensis* “Cabaret”)、粉穗狼尾草(*Pennisetum alopecuroides* “Viridescens”)等13种观赏草,有极强的抗性和观赏性,完全适合在上海地区推广;II级:木贼(*Equisetum hyemale*)、知风草(*Eragrostis ferruginea*)等8种观赏草,有较强的抗性和观赏性,可以在上海地区推广;III级:“火焰”狼尾草(*Pennisetum setaceum* “Fireworks”)、羽绒狼尾草(*Pennisetum setaceum*)等3种观赏草观赏价值较高,但在抗寒性方面欠佳,只能作为一年生植物应用;IV级:香茅(*Cymbopogon citratus*)、“金叶”藨草(*Carex oshimensis* “Evergold”)等4种观赏草没有花序或花序观赏价值小,可在上海地区作为观叶植物推广;V级:“埃丽”蓝羊茅(*Festuca glauca* “Elijah Blue”)和海滨羊茅(*Festuca glauca* “Blaussilber”)2种观赏草,花序观赏价值小,抗热性差,在上海夏季极易死亡,不宜在上海地区推广。

关键词 观赏草;层次分析法;生态适应性;观赏性

中图分类号 S731.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)22-0120-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.22.031



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Ornamental-adaptability Evaluation of Thirty Ornamental Grasses in Shanghai

XU Pei-xian^{1,2}, ZHONG Jun-jun^{1,2}, CHEN Yan-yan^{1,2} et al (1. Shanghai Municipal Landscape Management and Instructional Station, Shanghai 200020; 2. Shanghai Engineering Research Center of Urban Trees Ecological Application, Shanghai 200020)

Abstract An ornamental-adaptability evaluation system of ornamental grasses was established by method of Analytical Hierarchy Process (AHP) considering their ecological adaptability and esthetical value, which included 11 characteristics that was the plant resistances of cold, heat, drought, pests and lodging, as well as plant growth vigor, esthetical value, leaf color, beauty of its inflorescence, flowering period, and green period per year. This evaluation system was applied to evaluate 30 ornamental grass species which are commonly used in Shanghai area. The result showed that 30 ornamental grass species could be classified into 5 different grades. Grade I included 13 species with the strongest resistance to all stresses and highest esthetical value, such as *Cortaderia selloana* “Pumila”, *Miscanthus sinensis* “Cabaret” and *Pennisetum alopecuroides* “Viridescens”. They were the first recommended ornamental grass species in Shanghai. Grade II included 8 species with the strong resistance to all stresses and high esthetical value, such as *Equisetum hyemale* and *eragrostis ferruginea*. They were the second recommended ornamental grass species in Shanghai. Grade III included 3 species with the high esthetical value and low cold resistance, such as *Pennisetum setaceum* “Fireworks” and *Pennisetum setaceum*. They were only recommended for annual ornamental grasses in Shanghai. Grade IV included 4 species without inflorescence or lack of inflorescence beauty, such as *Cymbopogon citratus* and *Carex oshimensis* “Evergold”. They were only recommended for foliage plants in Shanghai. Grade V included 2 species without inflorescence beauty and poor heat resistance, which were *Festuca glauca* “Elijah Blue” and *Festuca glauca* “Blaussilber”. They were difficult to survive during the summer months and should not be recommended in Shanghai.

Key words Ornamental grass; Analytical hierarchy process; Ecological adaptability; Ornamental value

观赏草是指具细长线形叶的草本植物的总称,以禾本科为主,还包括部分莎草科、帚灯草科、香蒲科、灯心草科等植物,不包括竹类植物和草坪草^[1]。近年来,观赏草因其观赏效果好、适应性强、生长速度快、养护成本低等优良的生物学特性,在园林中的应用越来越广泛^[2-4]。围绕国家生态文明建设的战略要求,植物的低维护已成为我国城市绿化的生态化建设的主流。观赏草在园林中不仅能营造特色景观,而且对建设节约型、环保型生态园林景观具有积极的意义^[5]。

观赏草种类繁多,近年来,观赏草在上海园林绿化景观中的应用日益增多,前期调研发现观赏草在上海园林绿化应用上存在一些问题,一是某些从外地盲目引进的观赏草在绿地中大规模推广应用,因其不能适应上海夏季高温多雨、冬季寒冷的气候条件,在绿地中往往长势较差或死亡;二是栽

植时没有考虑观赏草种类特点及栽植地环境,导致观赏草生长不良,不能发挥其应有价值。因此,推广适宜上海地区生长的观赏草对充分发挥观赏草生态功能和景观功能,提高上海绿地景观质量具有重要意义。针对上述情况,该研究采用层次分析法,从定性与定量相结合的角度对上海地区栽植的30种观赏草进行评价,旨在筛选出在上海地区有较好适应性且观赏价值高的观赏草,为其在上海地区的推广应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验于2018年1—12月在上海精文绿化艺术发展有限公司观赏草研究中心示范园(31°05'N、121°42'E)进行。上海属北亚热带季风性气候,春秋较短,冬夏较长,全年极端最高温37.7℃,极端最低温-3℃,年平均气温18.3℃,年平均降雨量为1271.9mm,无霜期235d。试验地土壤质地为壤质土,土壤有机质含量为2.603%,水解性氮含量为61.70mg/kg,有效磷含量为13.17mg/kg,有效钾含量为158.7mg/kg,pH为8.07。

1.2 植物材料与培养 试验材料为上海地区常见栽培的30

基金项目 上海市绿化和市容管理局科学技术攻关项目(G180504)。
作者简介 徐佩贤(1984—),女,江苏邳州人,高级工程师,博士,从事园林植物栽培养护管理研究。*通信作者,高级工程师,硕士,从事园林植物应用研究。
收稿日期 2020-03-20

种(品种)观赏草(表 1),其中禾本科 25 种、莎草科 3 种、木贼科 1 种、灯心草科 1 种。2017 年 4 月,选择长势健壮

的观赏草容器苗,按合理的栽植密度种植在示范园区,4 次重复,试验小区面积为 2.5 m×2.5 m。植物材料生长期

表 1 30 种观赏草植物名称、学名、科属及类型

Table 1 Chinese name, scientific name, family, genus and type of 30 ornamental grass species

序号 No.	草种 Grass species	拉丁名 Scientific name	科名 Family	属名 Genus	类型 Type
1	蒲苇	<i>Cortaderia selloana</i>	禾本科	蒲苇属	暖季型
2	“矮”蒲苇	<i>Cortaderia selloana</i> “Pumila”	禾本科	蒲苇属	暖季型
3	“花叶”蒲苇	<i>Cortaderia selloana</i> “Silver Comet”	禾本科	蒲苇属	暖季型
4	“细叶”芒	<i>Miscanthus sinensis</i> “Gracillimus”	禾本科	芒属	暖季型
5	“斑叶”芒	<i>Miscanthus sinensis</i> “Zebrinus”	禾本科	芒属	暖季型
6	“银边”芒	<i>Miscanthus sinensis</i> “Variegatus”	禾本科	芒属	暖季型
7	“歌舞”芒	<i>Miscanthus sinensis</i> “Cabaret”	禾本科	芒属	暖季型
8	粉穗狼尾草	<i>Pennisetum alopecuroides</i> “Viridescens”	禾本科	狼尾草属	暖季型
9	“小兔子”狼尾草	<i>Pennisetum alopecuroides</i> “Little Bunny”	禾本科	狼尾草属	暖季型
10	“紫叶”绒毛狼尾草	<i>Pennisetum setaceum</i> “Rubrum”	禾本科	狼尾草属	暖季型
11	“喷泉”狼尾草	<i>Pennisetum macrourum</i> “Tail Feathers”	禾本科	狼尾草属	暖季型
12	羽绒狼尾草	<i>Pennisetum setaceum</i>	禾本科	狼尾草属	暖季型
13	“火焰”狼尾草	<i>Pennisetum setaceum</i> “Fireworks”	禾本科	狼尾草属	暖季型
14	知风草	<i>Eragrostis ferruginea</i>	禾本科	画眉草属	暖季型
15	柳枝稷	<i>Panicum virgatum</i>	禾本科	黍属	暖季型
16	“重金”柳枝稷	<i>Panicum virgatum</i> “Heavy Metal”	禾本科	黍属	暖季型
17	“埃丽”蓝羊茅	<i>Festuca glauca</i> “Elijah Blue”	禾本科	羊茅属	冷季型
18	海滨羊茅	<i>Festuca glauca</i> “Blausilber”	禾本科	羊茅属	冷季型
19	坡地毛冠草	<i>Melinis nerviglumis</i>	禾本科	糖蜜草属	暖季型
20	小盼草	<i>Chasmanthium latifolium</i>	禾本科	北美穗草属	暖季型
21	细茎针茅	<i>Nassella tenuissima</i>	禾本科	针茅属	冷季型
22	粉黛乱子草	<i>Muhlenbergia capillaris</i>	禾本科	乱子草属	暖季型
23	香茅	<i>Cymbopogon citratus</i>	禾本科	香茅属	暖季型
24	蓝滨麦	<i>Leymus arenarius</i> “Blue Dune”	禾本科	赖草属	冷季型
25	“花叶”芦竹	<i>Arundo donax</i> “Variegata”	禾本科	芦竹属	暖季型
26	“金叶”藁草	<i>Carex oshimensis</i> “Evergold”	莎草科	藁草属	冷季型
27	“晨光”藁草	<i>Carex siderosticha</i> “Variegata”	莎草科	藁草属	冷季型
28	水葱	<i>Scirpus tabernaemontani</i>	莎草科	水葱属	暖季型
29	木贼	<i>Equisetum hyemale</i>	木贼科	木贼属	暖季型
30	“蓝箭”灯芯草	<i>Juncus inflexus</i> “Blue Drat”	灯心草科	灯芯草属	暖季型

1.3 测定项目与方法

1.3.1 物候期。1—12 月连续观察并记录观赏草返青期、始花期、落花期、枯黄期等指标。返青期:越冬后 60% 萌发绿叶旺盛生长;始花期:20% 植株开花;落花期:60% 植株花脱落;枯黄期:60% 植株叶片枯黄^[6]。花期就是始花期到落花期的实际天数,绿期就是返青期到枯黄期的实际天数。

1.3.2 形态学指标。记录观赏草植株形态、叶色(常色叶/变色叶)、花序颜色(新抽生/成熟后)。

1.3.3 适应性。1—12 月每个月中旬观测记录观赏草生长势、抗病虫害性、抗倒伏指标,6—10 月观测记录观赏草抗旱性、抗热性,1、2、12 月观测记录观赏草抗寒性。各指标按弱、较弱、中等、强、较强分为 5 级,获得各指标平均得分,同时做好图片采集、天气记录工作。

1.4 评价方法

1.4.1 评价指标体系结构模型构建。采用层次分析法,在调查研究的基础上,借鉴刘宝贤等^[7]、刘杰等^[8]对植物评价指

标体系建立的方法,通过专家咨询,结合上海地区实际情况,从观赏草评价密切相关的适应性、观赏性 2 个方面选择 11 个评价指标,构建观赏草层次结构评价模型(图 1)。第一层为目标层 A,即对观赏草进行观赏适应性评价;第二层为约束层 B,即评价观赏草的 2 个方面;第三层为指标层 C,即对

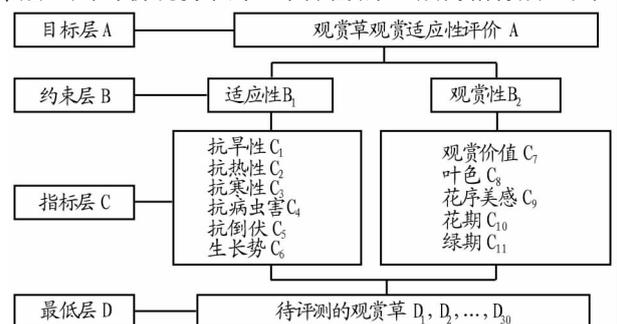


图 1 观赏草评价体系模型

Fig.1 The model of ornamental grasses evaluation system

观赏草评价的具体 11 个指标;第四层为最低层,即待评的观赏草种类。

1.4.2 构造判断矩阵。邀请 8 名观赏草专家对同一层次中诸因素的相对重要性按照 1~9 比率标度法进行判断(表 2)^[9],构建了 24 个判断矩阵。

表 2 1~9 比率标度法的含义
Table 2 The meaning of 1-9 scale method

甲指标比乙指标 Index a compared with index b	甲指标评价 A index evaluate value	甲指标比乙指标 Index a compared with index b	甲指标评价 A index evaluate value
极重要 Vital	9	略次要 Weakly minor	1/3
很重要 Very important	7	次要 Minor	1/5
重要 Important	5	很次要 Very minor	1/7
略重要 Weakly important	3	极次要 Extremely minor	1/9
同等 Equal	1		

注:取 8、6、4、2、1/2、1/4、1/6、1/8 为上述评价值的中间值

1.4.3 指标权重及一致性检验的计算。运用 Excel 对 24 个判断矩阵进行计算^[10],经过一致性检验,均具有满意一致性,各判断矩阵一致性检验结果见表 3。认为各个专家的意见都同等重要,对计算所得的各位专家的权重向量进行算术平均,得到各指标的权重值。

1.4.4 评价标准及打分。在对观赏草的物候期、外部形态、适应性及其他特性进行充分观察的基础上,同时参考了相关研究成果^[11-12],制定了五分制的评分标准(表 4)。其中观赏价值、花序美感这 2 个指标分别于 5、8、11 月中旬打分评价,打分人员共 10 人,取 10 人打分的平均值。

表 4 评价指标的评分标准
Table 4 The scoring standard of evaluation index

指标 Index	评分 Score				
	1	2	3	4	5
抗旱性 C ₁ Drought resistance C ₁	差	较差	中等	较强	强
抗热性 C ₂ Heat resistance C ₂	差	较差	中等	较强	强
抗寒性 C ₃ Cold resistance C ₃	差	较差	中等	较强	强
抗病虫害 C ₄ Pest and disease resistance C ₄	差	较差	中等	较强	强
抗倒伏 C ₅ Lodging resistance C ₅	差	较差	中等	较强	强
生长势 C ₆ Growth potential C ₆	弱	较弱	中等	较强	强
观赏价值 C ₇ Ornamental value C ₇	低	较低	一般	较高	很高
叶色 C ₈ Leaf color C ₈	干枯	绿色/浅绿	绿色条斑/淡蓝	彩色	彩色条斑
花序美感 C ₉ Inflorescence aesthetics C ₉	无花序	较差	一般	良好	优美
花期 C ₁₀ Florescence C ₁₀	不开花	≤60 d	60~120 d	120~180 d	>180 d
绿期 C ₁₁ Green period C ₁₁	≤180 d	180~225 d	225~270 d	270~315 d	>315 d

1.4.5 观赏草评价计算。若观赏草观赏适应性评价分值用 Y 表示,则 $Y = \sum W_i Y_i$, W_i 表示第 i 项指标的权重; Y_i 表示第 i 项指标得分值, Y 值越大,观赏草评价总分就越高。

1.5 统计分析 采用 Excel 2016 软件对判断矩阵进行计算,得出权重,结合指标评分,计算出每种观赏草评价总分。

2 结果与分析

2.1 评价指标权重 由表 5 可以看出,约束层的两大类因子中,适应性的权重(0.688 3)大于观赏性的权重(0.311 7),适应性是观赏草选择的基础,某种观赏草若在某个地区推广,首先必须适应该地区的地理气候,其次才考虑观赏价值的

表 3 8 位专家各判断矩阵一致性检验结果

Table 3 Judgment matrix consistency test results of 8 experts

专家 Experts	判断矩阵 Judgment matrix	检验指标 Test indicators			
		λ_{max}	CI	RI	CR
1	A-B	2	0	0	0
	B1-C	6.411 261	0.082 252	1.26	0.065 279
	B2-C	5.214 387	0.053 597	1.12	0.047 854
2	A-B	2	0	0	0
	B1-C	6.431 867	0.086 373	1.26	0.068 550
	B2-C	5.346 872	0.086 718	1.12	0.077 427
3	A-B	2	0	0	0
	B1-C	6.144 632	0.028 926	1.26	0.022 957
	B2-C	5.104 439	0.100 360	1.12	0.089 607
4	A-B	2	0	0	0
	B1-C	6.408 577	0.081 715	1.26	0.064 853
	B2-C	5.390 199	0.097 550	1.12	0.087 098
5	A-B	2	0	0	0
	B1-C	6.201 800	0.040 360	1.26	0.032 032
	B2-C	5.351 940	0.087 985	1.12	0.078 558
6	A-B	2	0	0	0
	B1-C	6.555 379	0.111 076	1.26	0.088 155
	B2-C	5.018 137	0.004 534	1.12	0.004 049
7	A-B	2	0	0	0
	B1-C	6.364 203	0.072 841	1.26	0.057 810
	B2-C	5.273 430	0.068 357	1.12	0.061 033
8	A-B	2	0	0	0
	B1-C	6.609 870	0.121 974	1.26	0.096 805
	B2-C	5	0	1.12	0

注:A-B 为适应性和观赏性构造的判断矩阵;B1-C 为适应性中“抗寒性、抗热性、抗寒性、抗病虫害、抗倒伏、生长势”构造的判断矩阵;B2-C 为观赏性中“观赏价值、叶色、花序美感、花期、绿期”构造的判断矩阵

大小。在适应性指标层的权重排序中,抗热性 C2>抗倒伏 C5>抗寒性 C3>抗旱性 C1>生长势 C6>抗病虫害 C4,其中抗热性、抗倒伏、抗寒性权重占比较大,分别为 14.37%、12.97%、12.88%,抗热性和抗寒性对上海观赏草影响较大,这与上海天气夏季高温、冬季寒冷的特点有关,抗倒伏性指标权重也较大,倒伏的观赏草景观效果大大降低。在观赏性指标层的权重排序中,植株观赏价值 C7>花序美感 C9>叶色 C8>花期 C10>绿期 C11,其中观赏价值和花序美感权重占比较大,分别为 8.63%和 7.46%。观赏草的抗病虫害指标权重最小,调

研中未发现受病虫害侵害严重的观赏草。

2.2 观赏草植物观赏适应性评价 根据各指标评分标准(表4)和评价指标体系及权重(表5),对上海地区常见的30种观赏草进行观赏适应性评价,根据评分结果进行排序分级,分为I~V共5个等级,结果如表6所示。

I级——应用价值最高品种(得分 ≥ 4.25):能够较好地适应本市的气候、土壤和环境条件,有极高的抗性和观赏性,这类观赏草有蒲苇类、芒类、“重金”柳枝稷、粉穗狼尾草、“喷泉”狼尾草、“小兔子”狼尾草以及粉黛乱子草等,完全适合在上海地区推广。

II级——应用价值较高品种($3.90 \leq$ 得分 < 4.25):这类观赏草基本适应本市的气候、土壤和环境条件,有些品种有较高的观赏价值,如木贼、芦竹、知风草、小盼草等,可以在上海地区推广。

III级——应用价值一般品种($3.75 \leq$ 得分 < 3.90):这类观赏草有较高的观赏价值,但在抗热性或抗寒性方面欠佳,对本市的气候、土壤和环境条件适应性较差。只能作为一年生

植物应用,作为多年生推广应用尚存在一定的困难。

表5 30种观赏草植物评价指标体系及权重

Table 5 Evaluation index system and weight of 30 ornamental grass species

目标层 Object layer	约束层 Restraint layer	权重 Weight	指标层 Index level	指标层权重 The weight of index level	最终权重 Ultimate weight
观赏草观赏适应性评价 A Ornamental-adaptability evaluation of ornamental grasses A	适应性 B ₁	0.688 3	抗旱性 C ₁	0.167 9	0.115 6
			抗热性 C ₂	0.208 7	0.143 7
			抗寒性 C ₃	0.187 0	0.128 8
			抗病虫害 C ₄	0.113 2	0.077 9
			抗倒伏 C ₅	0.188 4	0.129 7
			生长势 C ₆	0.134 8	0.092 8
	观赏性 B ₂	0.311 7	观赏价值 C ₇	0.276 9	0.086 3
			叶色 C ₈	0.217 7	0.067 9
			花序美感 C ₉	0.239 2	0.074 6
			花期 C ₁₀	0.183 1	0.057 1
			绿期 C ₁₁	0.083 1	0.025 9

表6 30种观赏草植物观赏适应性评价分级

Table 6 Ornamental-adaptability evaluation and grading of 30 ornamental grass species

排序 Rank	草种 Grass species	得分 Score	等级 Grade	排序 Rank	草种 Grass species	得分 Score	等级 Grade
1	“矮”蒲苇	4.715	I	16	“蓝箭”灯芯草	4.150	II
2	蒲苇	4.693	I	17	“花叶”芦竹	4.133	II
3	“花叶”蒲苇	4.677	I	18	知风草	4.091	II
4	“歌舞”芒	4.380	I	19	小盼草	4.064	II
5	“重金”柳枝稷	4.343	I	20	细茎针茅	3.956	II
6	“斑叶”芒	4.338	I	21	蓝滨麦	3.931	II
7	粉穗狼尾草	4.323	I	22	“火焰”狼尾草	3.850	III
8	“银边”芒	4.316	I	23	“紫叶”绒毛狼尾草	3.793	III
9	“细叶”芒	4.310	I	24	羽绒狼尾草	3.779	III
10	“喷泉”狼尾草	4.300	I	25	水葱	3.705	IV
11	粉黛乱子草	4.290	I	26	香茅	3.704	IV
12	“小兔子”狼尾草	4.268	I	27	“金叶”藁草	3.695	IV
13	坡地毛冠草	4.255	I	28	“晨光”藁草	3.537	IV
14	木贼	4.190	II	29	“埃丽”蓝羊茅	3.138	V
15	柳枝稷	4.155	II	30	海滨羊茅	3.130	V

IV级——应用价值较低品种($3.50 \leq$ 得分 < 3.75):这类观赏草基本没有花序或花序观赏价值小,可在上海地区作为观叶植物推广。在适应性方面欠佳,上海极端寒冷天气下,香茅容易死亡,上海夏季的高温高湿环境下,藁草类长势欠佳。

V级——应用价值低品种(得分 < 3.50):有“埃丽”蓝羊茅和海滨羊茅,这2种观赏草以观叶为主,花序观赏价值小,明显不抗热,在上海夏季极易死亡,不宜在上海地区推广。

3 讨论

3.1 观赏草评价方法和指标体系 观赏草评价方法和评价指标多种多样。胡静等^[13]利用灰色关联度分析法,对陕西省50种观赏草资源的生境、抗性、植株观赏性、株高、叶色和花序这6个性状进行了综合评价。梁芳等^[14]参考草坪草的评价方法,从涉及观赏性的丛高、叶宽、叶色、均一性、质地、

覆盖度、绿期等指标以及涉及适应性的抗病性、抗寒性、抗热性等指标对北京地区藁草属植物资源进行综合评价。孟晓蕊^[15]利用层次分析法,从观赏性、适应性、安全性3个方面对福州地区13种观赏草进行综合评价。邬晓红等^[16]利用模糊综合评判模型,从观赏草的景观生态价值、景观资源价值、景观美学价值建立观赏草景观评价指标体系。该研究采用层次分析法,从适应性和观赏性2个方面评价观赏草。该方法定性与定量相结合,全程体现人的决策思维,具有综合性、系统性、简便性、准确性等特点,是一种有效的系统分析方法^[17]。由于前期调研未发现该研究的30种观赏草中存在入侵性强的品种,因此评价指标体系中未设置安全性评价指标,仅设置适应性和观赏性指标。对于根系发达、靠根传播的观赏草,栽植时可采用控根板等隔离设施控制根系的蔓延。

3.2 观赏草适应性和观赏性评价 成活率是评价一种观赏草能否推广应用的关键指标^[18]。该研究结果表明,Ⅰ级和Ⅱ级观赏草耐寒性和耐热性较强,在上海不易死亡,可作多年生植物在上海地区栽培。Ⅲ级观赏草不耐寒,在上海无法露地越冬,常作一年生植物栽培。Ⅳ级观赏草中,香茅在春天修剪,且留茬高度在 15 cm 左右,可勉强在上海露地越冬,“金叶”藁草和“晨光”藁草不耐寒,不耐极端高温,在上海夏季和冬季长势欠佳。藁草类植物是一类耐阴性较强的种类,其返青较早、根茎发达且耐践踏,可作林下地被或建筑背阴处的地被植物。Ⅴ级观赏草“埃丽”蓝羊茅和海滨羊茅,耐热性差,在上海夏季极易死亡,但在北京地区夏季能保持较好的观赏性^[19]。

花序美感和叶色是评价观赏草观赏价值大小的重要因素^[18]。该研究中,Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级观赏草的花序观赏价值较大,有些花序经冬不落,其中以蒲苇类、芒类、狼尾草类花序的观赏价值最高;Ⅳ级和Ⅴ级观赏草基本没有花序或花序观赏价值小,以观叶为主。上海地区大部分观赏草的叶色是绿色,少部分是花叶或金叶,蓝色系和红色系叶片的观赏草观赏价值高,种类非常少。“火焰”狼尾草和“紫叶”绒毛狼尾草叶色属于红色系,但耐寒性较差,“埃丽”蓝羊茅和海滨羊茅叶色属于蓝色系,但耐热性较差,因此若想更好地丰富上海地区观赏草的景观效果,还需要进一步研究观赏草在寒冷高温天气下的防护措施以及培育抗性强的新品种。

4 结论

综上所述,评价为Ⅰ级的观赏草具有极高的抗性和观赏性,是上海市观赏草的首选种类;评价为Ⅱ级的观赏草可在绿化上尽可能选择和应用,丰富上海观赏草种类;评价为Ⅲ级和Ⅳ级的观赏草应用价值较低,只能在特定环境和需求下

应用;评价为Ⅴ级的观赏草夏季极易死亡,可用于冬季造景。

参考文献

- [1] RICK DARKE. The color encyclopedia of ornamental grasses: Sedges, rushes, restios, cat-tails, and selected bamboos [M]. Portland, Oregon: Timber Press, 1999: 29-48.
- [2] 张朝斌, 蒋倩, 吴志, 等. 4种观赏草的耐阴特性研究及评价[J]. 草业学报, 2019, 28(7): 60-72.
- [3] 苏醒. 观赏草资源、配植及其在园林中应用前景的调查研究: 以华北、华东地区为例[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [4] 高鹤, 宗俊勤, 陈静波, 等. 7种优良观赏草光合生理日变化及光响应特征研究[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 87-93.
- [5] 高鹤, 刘建秀. 南京地区观赏草的种类、观赏价值及其造景配置[J]. 草原与草坪, 2005(3): 13-16.
- [6] 高鹤, 刘建秀, 郭爱柱. 南京地区观赏草的适应性和利用价值初步评价[J]. 草业科学, 2008, 25(8): 131-138.
- [7] 刘宝贤, 申宏伟, 徐峰, 等. 鲁东南滨海地区观赏草的观赏适应性评价[J]. 草业科学, 2014, 31(12): 2221-2229.
- [8] 刘杰, 杨恒友, 孙双君. 层次分析法在城镇行道树选择评价中的应用[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(6): 3257-3258.
- [9] 张瑜, 赵峰, 吴永华, 等. 兰州市园林主要适生观赏树种选择及综合指标数量化评价[J]. 西北林学院学报, 2009, 34(4): 255-261.
- [10] 曹茂林. 层次分析法确定评价指标权重及 Excel 计算[J]. 江苏科技信息, 2012(2): 39-40.
- [11] 张智. 观赏草耐旱性研究与景观配置应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [12] 李秀玲, 刘君, 杨志民. 九种观赏草在南京地区的适应性评价[J]. 中国草地学报, 2010, 32(3): 76-81.
- [13] 胡静, 张延龙. 陕西省主要观赏草资源及其评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(6): 105-112.
- [14] 梁芳, 董爱香. 北京地区藁草属植物资源调查、综合性状评价及园林应用[J]. 园林科技, 2015(2): 1-6.
- [15] 孟晓蕊. 引进观赏草在东南沿海地区的生态适应性研究及评价[D]. 福州: 福建农林大学, 2018.
- [16] 郭晓红, 刘素清, 郝喜龙, 等. 利用模糊综合评判模型对观赏草景观的评价[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2014, 35(4): 40-45.
- [17] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [18] 李秀玲, 刘君, 宋海鹏, 等. 13种观赏草在南京地区夏秋两季观赏价值的灰色关联分析[J]. 草业科学, 2010, 27(2): 39-44.
- [19] 武菊英, 滕文军, 王庆海, 等. 多年生观赏草在北京地区的生长状况与观赏价值评价[J]. 园艺学报, 2006, 33(5): 1145-1148.
- [12] MCDONALD G W, PATTERSON M G. Ecological footprints and interdependencies of New Zealand regions[J]. Ecological economics, 2004, 50(1/2): 49-67.
- [13] LENZEN M, MURRAY S A. A modified ecological footprint method and its application to Australia[J]. Ecological economics, 2001, 37(2): 229-255.
- [14] MATTILA T. Any sustainable decoupling in the Finnish economy? A comparison of the pathways and sensitivities of GDP and ecological footprint 2002-2005[J]. Ecological indicators, 2012, 16(6): 128-134.
- [15] HUBACEK K, GILJUM S. Applying physical input-output analysis to estimate land appropriation (ecological footprints) of international trade activities[J]. Ecological economics, 2003, 44(1): 137-151.
- [16] 赖力, 黄贤金, 刘伟良, 等. 基于投入产出技术的区域生态足迹调整分析: 以 2002 年江苏省经济为例[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1285-1292.
- [17] 曹淑艳, 谢高地. 基于投入产出分析的中国生态足迹模型[J]. 生态学报, 2007, 27(4): 1499-1507.
- [18] 刘建兴, 王青, 顾晓薇, 等. 投入产出法在我国生态足迹研究中的应用[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2007, 28(4): 592-595.
- [19] 裴夏, 刘春兰, 谢高地, 等. 北京与津冀之间隐性土地资源流动研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(1): 97-104.
- [20] 宋辉, 谢庐乐. 河北省山区县生态足迹投入产出模型构建与应用[J]. 统计与管理, 2015(5): 37-38.
- [21] 苑清敏, 张泉, 李健. 基于投入产出表京津冀虚拟生态补偿机制研究[J]. 统计与决策, 2018, 34(18): 107-110.
- [22] 陈冬冬, 高旺盛, 陈源泉. 生态足迹分析方法研究进展[J]. 应用生态学
- [23] BICKNELL K B, BALL R J, CULLEN R, et al. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy[J]. Ecological economics, 1998, 27(2): 149-160.
- [24] FERNG J J. Using composition of land multiplier to estimate ecological footprint associated with production activity [J]. Ecological economics, 2001, 37(2): 159-172.
- [25] FERNG J J. Toward a scenario analysis framework for energy footprints [J]. Ecological economics, 2002, 40(1): 53-69.
- [26] 张亚雄, 齐舒畅. 2002-2007 年中国区域间投入产出表[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [27] 孙思奥, 郑翊益, 刘海猛. 京津冀城市群虚拟水贸易的近远程分析[J]. 地理学报, 2019, 74(12): 2631-2645.
- [28] 王亚菲, 陈长. 北京市生态足迹的投入产出分析[J]. 城市发展研究, 2009, 16(4): 129-134, 148.
- [29] 庞军, 高笑默, 石媛昌, 等. 基于 MRIO 模型的中国省级区域碳足迹及碳转移研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(5): 2012-2020.
- [30] 郑德凤, 郝帅, 孙才志. 基于 DEA-ESDA 的农业生态效率评价及时空分异研究[J]. 地理科学, 2018, 38(3): 419-427.
- [31] 徐中民, 程国栋, 邱国玉. 可持续性评价的 ImPACTS 等式[J]. 地理学报, 2005, 60(2): 198-208.
- [32] 曹威威, 孙才志, 杨璇业, 等. 基于能值生态足迹的长山群岛人地关系分析[J]. 生态学报, 2020, 40(1): 89-99.
- [33] 吴兆丹, 吴兆磊, 张长征. 多区域投入产出分析下中国水足迹地区间比较: 基于经济区域分析层次[J]. 冰川冻土, 2017, 39(1): 207-219.

(上接第 86 页)