

镇江市低影响开发示范区植物群落特征与物种多样性

夏雯, 芦建国, 景蕾

(南京林业大学 风景园林学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 低影响开发示范区植物群落特征与物种多样性是植物群落发挥生态效益的关键, 对低影响植物景观的营建与优化提升具有重要意义。以镇江市低影响开发示范区植物群落为研究对象, 采用典型样方法、群落数量分析法等对样地群落植物区系、群落数量特征、群落结构因子、群落多样性进行分析。随机设置 48 个样地, 以 100 m² 标准样地为主, 共设样方 204 个。结果表明: ①维管束植物共有 181 种, 隶属于 74 科 147 属。乔木层以枫杨 *Pterocarya stenoptera*, 樟树 *Cinnamomum camphora*, 全缘叶栎树 *Koelreuteria integrifoliola* 等为优势种; 灌木层以红叶石楠 *Photinia × fraseri*, 金森女贞 *Ligustrum japonicum* ‘Howardii’, 金丝桃 *Hypericum monogynum* 等为优势种; 草本层以狗牙根 *Cynodon dactylon*, 鸢尾 *Iris tectorum*, 麦冬 *Ophiopogon japonicus* 等为优势种。②植物群落信息主要集中在乔木性状、灌木性状比值、灌木多样性、草本性状以及乔木多样性等 5 个因子的描述上。③对乔木层而言, 边缘绿地的多样性指数最高; 灌木层各项多样性指数表现为道路绿地>边缘绿地>节点绿地>滨水绿地。④以灌木层物种重要值为数据源进行 Q 型聚类, 根据样地群落外貌和聚类图, 可将 48 个样地群落划分为 13 个类型。综合而言, 各绿地类型物种多样性均表现出灌木>乔木>草本的一致趋势, 物种丰富度总体偏低, 群落内部结构相对单一。图 1 表 6 参 21

关键词: 植物生态学; 低影响开发; 数量特征; 聚类分析; 主因子分析; 物种多样性; 镇江市

中图分类号: Q948.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2019)04-0793-08

Community structure and species diversity of a low impact development demonstration area in Zhenjiang City

XIA Wen, LU Jianguo, JING Lei

(College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: To build and optimize the plant landscape with low impact development, plant community characteristics and species diversity in a low-impact development demonstration area, being key to ecological benefits of plant communities, were determined. Taking the plant community in the low-impact development demonstration area of Zhenjiang City as the research object, plant, community quantity characteristics, community structural factors, community diversity, and community clustering were analyzed through typical sample and quantitative analysis methods including a cluster analysis and principal factor analysis. 48 sample plots were set randomly with the 100 m² standard plot as the main plot, and 204 squares were set in total. Results showed (1) There were 74 families, 147 genera, and 181 species of vascular plants. *Pterocarya stenoptera*, *Cinnamomum camphora*, and *Koelreuteria integrifoliola* were the dominant tree species; *Photinia × fraseri*, *Ligustrum japonicum*, and *Hypericum monogynum* were the dominant shrub species; and *Cynodon dactylon*, *Iris tectorum*, and *Ophiopogon japonicus* were the dominant herb species. (2) The plant community was described by five factors: tree characteristics, ratio of tree to shrub traits, shrub diversity, herb characteristics, and tree diversity. (3) For the tree layer, the diversity index of marginal green space was highest. Various diversity indexes of the shrub layer were

收稿日期: 2018-07-31; 修回日期: 2018-11-02

基金项目: 江苏高校品牌专业建设工程资助项目(PPZY2015A063)

作者简介: 夏雯, 从事园林植物应用研究。E-mail: 790474030@qq.com。通信作者: 芦建国, 教授, 从事园林植物造景与景观生态、园林植物种质资源等研究。E-mail: ljgnj@sina.com

shown as road green space > marginal green area > node green area > waterfront green area. (4) The importance values of shrub species were also used as data sources for the cluster analysis, which, according to appearance and clustering of the sample community, showed 48 sample land communities that could be divided into 13 types. In conclusion, all green space types showed a consistent species diversity trend: shrub > tree > herb. The species richness was low, and the internal structure of the community was single. [Ch, 1 fig. 6 tab. 21 ref.]

Key words: plant ecology; low impact development; quantitative characteristics; cluster analysis; principal factor analysis; species diversity; Zhenjiang City

随着城市开发强度的增大,森林、河流、湖泊等自然斑块大量消失,绿地缺乏连通性,破碎化程度严重,导致地表径流系数剧增,洪涝灾害及水环境恶化问题随之而来^[1]。狭义的低影响开发指在源头采用小型、分散的技术维持场地开发前的水文特征,通过缓释、渗透和滞蓄缓解城市径流、降低城市面源污染的雨洪管理措施^[2]。低影响开发区指建设改造过程中贯彻低影响开发理念的场地区域。有关低影响开发的研究主要集中在工程技术、水利工程、城乡规划与市政等方面。TENG等^[3]研究发现:透水铺装地面产流时间超过10 min,能有效推迟雨水洪峰出现的时间。CARPENTER等^[4]发现绿色屋顶在降雨较小的情况下会降低总悬浮物(TSS)浓度,同时还能防止悬浮物质再悬浮和转移。ZANDERS等^[5]研究了固体颗粒粒径对植草沟去除效能的影响,发现粒径小于150 μm 的固体颗粒越多,去除率越低。HEFTING等^[6]研究表明:木本植被对氮元素的滞留效果更佳。NAGASE等^[7]研究了植物的种类、多样性及群落结构对绿色屋顶径流量的影响,表明草坪减少雨水径流的效果最显著,植物的大小、结构、生物量对绿色屋顶径流量的控制有显著的影响。READ等^[8]研究发现:植物能提高雨水去污能力,特别是在氮和磷方面;污染物去除能力的不同取决于物种在根系结构和生理上的差异,以及对土壤理化和相关微生物群落的不同影响。黄婉梅^[9]基于低影响开发(LID)设施结构功能、环境条件等,总结了植物选择和配置要点,并列举了适生于福州地区的植物种类。王思思等^[10]探讨了低影响开发植物选择和植物景观营造原则,并通过清华大学胜因院、深圳光明新区等案例说明3种设施类型的植物选择要求。尽管对植物在低影响开发设施功能效益方面有较多的研究,但针对植物选择配置方面的研究甚少。鉴于此,本研究在镇江市低影响开发示范区植物群落调研的基础上,探究了低影响开发技术设施中植物选择和配置模式,以期对长江三角洲地区其他城市的低影响开发绿化建设提供基础资料。

1 研究区自然概况

镇江(31°37'~32°19'N, 118°58'~119°58'E)位于江苏省西南部,处于长江下游,宁镇山脉和长江三角洲的过渡带上。土地总面积38.43万 hm^2 ,市区三面环山,一面临水,素有“城市山林”的美誉。地势以丘陵岗地为主要的地貌特征。市内有三山、茅山、西津渡等名胜古迹^[11]。镇江属于北亚热带季风气候,四季分明,温暖湿润。市区平均气温为15.6℃,降水量为1 088.2 mm。土壤类型以黄棕壤和水稻土为主。镇江典型地带性植被类型为针阔混交林和落叶常绿阔叶混交林,以栎属*Quercus*的落叶种类和马尾松*Pinus massoniana*为主要建群种^[12]。镇江境内有麻栎*Quercus acutissima*,白栎*Quercus fabri*,黄连木*Pistacia chinensis*,枫杨*Pterocarya stenoptera*等落叶阔叶树种和青冈栎*Cyclobalanopsis glauca*,苦槠*Castanopsis sclerophylla*,石楠*Photinia serrulata*,冬青*Ilex chinensis*等常绿阔叶树种,外来引进树种有黑松*Pinus thunbergii*,乡土栽培树种杉木*Cunninghamia lanceolata*和泡桐*Paulownia fortunei*等。

2 研究方法

2.1 样地设置

共调查江苏大学、江滨公园、松盛园和金山绿地等48个样地(表1),调查面积为0.727 hm^2 。示范区建设改造内容主要有透水铺装、雨水花园、生态滤池、传输型草沟等,设计目标为有效应对30 a一遇降雨、年径流总量控制率75%、面源污染削减60%。在保证景观连续性的前提下,以100 m^2 标准样地为主,部分样地以实际绿地面积作为景观单元加以分析^[13]。每个样地设置2个2 m × 2 m的灌木样方和2个1 m × 1 m的草本样方,共设样方204个,记录乔木层中胸径(距地面1.3 m处的树干直径)大于

4 cm 的植物种名、株数、高度、胸径、冠幅等信息；灌木层(包含直径小于 4 cm 的乔木)植物种名、株数、高度、盖度等数据；草本层植物种名、盖度等信息^[14]。同时采用 GPS 定位，记录了样地的经纬度、面积、郁闭度。

表 1 样地基本概况

Table 1 Basic situation of sample plots

编号	样地号	优势种	郁闭度	编号	样地号	优势种	郁闭度
1	江大 1#	枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>	0.99	25	江滨 25#	朴树	0.45
2	江大 2#	湿地松 <i>Pinus elliottii</i>	0.22	26	江滨 26#	雪松	0.55
3	江大 3#	棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i>	0.46	27	江滨 27#	榉树 <i>Zelkova serrata</i>	0.10
4	江大 4#	广玉兰 <i>Magnolia grandiflora</i>	0.50	28	江滨 28#	全缘叶栎树	0.96
5	江大 5#	银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	0.37	29	江滨 29#	全缘叶栎树	0.18
6	江大 6#	樱花 <i>Cerasus</i> sp.	0.20	30	江滨 30#	樟树	0.14
7	江大 7#	樟树 <i>Cinnamomum platyphyllum</i>	0.83	31	江滨 31#	全缘叶栎树	0.28
8	江大 8#	朴树 <i>Celtis sinensis</i>	0.25	32	江滨 32#	悬铃木 <i>Platanus acerifolia</i>	0.95
9	江大 9#	樟树	0.99	33	江滨 33#	樱花	0.26
10	江大 10#	樱花	0.15	34	江滨 34#	悬铃木	0.62
11	江大 11#	樟树	0.44	35	江滨 35#	无患子	0.45
12	江大 12#	全缘叶栎树 <i>Koelreuteria bipinnata</i>	0.15	36	江滨 36#	樟树	0.66
13	江大 13#	黑松 <i>Pinus thunbergii</i>	0.43	37	江滨 37#	樱花	0.30
14	江大 14#	梅 <i>Prunus mume</i>	0.70	38	江滨 38#	全缘叶栎树	0.34
15	江大 15#	湿地松	0.25	39	江滨 39#	垂柳 <i>Salix babylonica</i>	0.20
16	江大 16#	秃瓣杜英 <i>Elaeocarpus glabripetalus</i>	0.98	40	松盛 40#	三角槭 <i>Acer buergerianum</i>	0.15
17	江大 17#	鸡爪槭 <i>Acer palmatum</i>	0.45	41	金山 41#	全缘叶栎树	0.10
18	江大 18#	池杉 <i>Taxodium ascendens</i>	0.52	42	金山 42#	全缘叶栎树	0.36
19	江大 19#	雪松 <i>Cedrus deodara</i>	0.99	43	金山 43#	樱花	0.95
20	江大 20#	朴树	0.46	44	金山 44#	樟树	0.18
21	江大 21#	无患子 <i>Sapindus mukorossi</i>	0.25	45	金山 45#	樟树	0.59
22	江大 22#	七叶树 <i>Aesculus chinensis</i>	0.76	46	金山 46#	全缘叶栎树	0.28
23	江滨 23#	全缘叶栎树	0.20	47	金山 47#	全缘叶栎树	0.40
24	江滨 24#	朴树	0.20	48	金山 48#	全缘叶栎树	0.28

2.2 数据处理

植物群落数量特征是指包含多度、高度、密度、体积等一系列的特征参数，是近代群落分析方法的基础^[15]。城市绿地植物景观配置多为单一样地间的比较，且城市绿地植物群落是人工选择的结果，因此本研究不涉及频度。重要值的计算并不固定，需视群落实际情况和易获取的数据而定^[16]。(1)重要值。乔木层重要值(I_V)=相对密度+相对显著度，灌木层重要值(I_V)=相对密度+相对投影盖度，草本层重要值(I_V)=相对投影盖度。相对密度=某物种的密度/同一生活型物种的密度之和×100%；相对显著度=某物种的胸高断面积/同一生活型物种的胸高断面积之和×100%；相对投影盖度=某物种的投影面积/同一生活型物种的投影面积之和×100%。(2)物种多样性指数。选取 Gleason 指数(d)，Simpson 指数(D)，Shannon-Wiener 指数(H)，Pielou 指数(J)来分析群落物种多样性，具体计算公式参考文献[17–18]。(3)聚类分析。利用 SPSS 24.0 对 48 个样地的面积(x_1)、物种丰富度(x_2)、乔木丰富度(x_3)、乔木高度(x_4)、乔木胸径(x_5)、乔木投影面积(x_6)、乔木密度(x_7)、灌木丰富度(x_8)、灌木高度(x_9)、灌木投影面积(x_{10})、灌木密度(x_{11})、草本丰富度(x_{12})、草本投影面积(x_{13})、灌乔密度比(x_{14})、灌乔投影面积比(x_{15})等 15 个指标进行相关性分析和 R 型因子分析^[19]。

3 结果与分析

3.1 植物科属分析

在镇江调查的 48 个植物群落样地中，共有植物 181 种，隶属于 74 科 147 属，分别占江苏省现有植

物科的 37.37%，种的 7.66%。蕨类植物 1 科 1 属 1 种，裸子植物 6 科 10 属 12 种，被子植物 67 科 136 属 168 种。草本植物种类最多，占物种总数的 36.67%。乡土植物和外来植物分别占总数的 46.96%和 53.00%。就科而言，含有 10 种以上的科仅有蔷薇科 Rosaceae(11 属 18 种)和菊科 Asteraceae(11 属 12 种)，大部分科集中在 5 种及其以下，其中单种科有 38 种。5~10 种的科包括豆科 Leguminosae(7 属 8 种)，木犀科 Oleaceae(4 属 7 种)，忍冬科 Caprifoliaceae(4 属 6 种)，禾本科 Gramineae(8 属 8 种)和百合科 Liliaceae(6 属 7 种)等 7 科 51 属 66 种植物。就属而言，所有属均分布在 5 种及其以下，表明属在组成上具有极高的分散性。

3.2 植物群落数量特征分析

3.2.1 乔木层 由表 2 可知：乔木层植物共 28 种，重要值排名前 5 的有枫杨、樟树、全缘叶栎树、樱花、银杏，其重要值分别为 27.65%，26.16%，21.76%，16.11%和 15.98%。枫杨的重要值最高，虽然在 48 个样地中仅出现过 1 次且株数也较少，但是其生长多年，平均胸径高达 54 cm。樟树的重要值仅次于枫杨，在 11 个样地中出现，频度为 22.92%。全缘叶栎树的株数和出现的频度均为最高，占据很大的优势。这些树种能很好地适应当地气候，植物形态质感或季相景观较好。

表 2 乔木层物种的数量特征

Table 2 Quantitative characteristics of tree layer

植物名称	相对 密度/ %	相对 显著 度/%	重要 值/%	排序	植物名称	相对 密度/ %	相对显 著度/%	重要 值/%	排序
枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>	3.27	24.38	27.65	1	秃瓣杜英 <i>Elaeocarpus glabripetalus</i>	9.48	2.52	12.00	6
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	10.46	15.71	26.16	2	悬铃木 <i>Platanus acerifolia</i>	1.63	8.89	10.53	7
全缘叶栎树 <i>Koelreuteria integrifoliola</i>	12.75	9.01	21.76	3	无患子 <i>Sapindus mukorossi</i>	6.21	3.38	9.59	8
樱花 <i>Cerasus</i> sp.	12.42	3.69	16.11	4	雪松 <i>Cedrus deodara</i>	3.27	5.21	8.47	9
银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	7.52	8.46	15.98	5	广玉兰 <i>Magnolia grandiflora</i>	4.90	2.85	7.75	10

3.2.2 灌木层 由表 3 可知：灌木层植物共 42 种，重要值排名前 5 的有红叶石楠、金森女贞、金丝桃、毛鹃、锦带花，其重要值分别为 40.50%，33.35%，19.17%，17.68%和 12.25%。红叶石楠株数、频度等各项指标均占绝对优势。排名前 5 的灌木重要值之和高达 122.95%，占有所有灌木重要值之和的 61.48%，这些灌木花叶兼美，响应了“珍贵化、彩叶化”的号召，丰富了冬季的景观效果，在城市绿地中常作基础栽植。

表 3 灌木层物种的数量特征

Table 3 Quantitative characteristics of shrubs layer

植物名称	相对密 度/%	相对显 著度/%	重要 值/%	排序	植物名称	相对密 度/%	相对显 著度/%	重要 值/%	排序
红叶石楠 <i>Photinia × fraseri</i>	23.07	17.43	40.50	1	十大功劳 <i>Mahonia fortunei</i>	5.48	2.51	8.00	6
金森女贞 <i>Ligustrum japonicum</i>	20.83	12.52	33.35	2	南天竹 <i>Nandina domestica</i>	3.89	3.00	6.90	7
金丝桃 <i>Hypericum monogynum</i>	12.15	7.02	19.17	3	桂花 <i>Osmanthus fragrans</i>	0.09	6.75	6.85	8
毛鹃 <i>Rhododendron pulchrum</i>	11.05	6.63	17.68	4	金焰绣线菊 <i>Spiraea japonica</i>	3.37	3.30	6.67	9
锦带花 <i>Weigela florida</i>	6.92	5.34	12.25	5	大花六道木 <i>Abelia × grandiflora</i>	4.10	2.44	6.54	10

3.2.3 草本层 由表 4 可知：草本层植物共 17 种，重要值排名前 5 的有狗牙根、鸢尾、麦冬、美人蕉、玉簪，其重要值分别为 32.12%，23.04%，8.72%，8.47%和 6.74%，其重要值之和高达 80%。在调研区中狗牙根作为地表覆盖层，避免地表裸露，影响植物景观效果。鸢尾具有较强的耐旱耐湿能力，在样地中常作林下地被或水边栽植，是优良的水陆两栖植物。

3.3 植物群落结构因子分析

通过因子载荷矩阵可明确 15 个变量的因子归属(表 5)。主因子 1 代表乔木性状因子，在乔木高度、乔木投影面积、乔木胸径上有较高的因子载荷。主因子 2 代表灌乔性状比值因子，在灌乔密度比、灌乔投影面积比上有较高的因子载荷。主因子 3 代表灌木多样性因子，在物种丰富度、灌木丰富度上有较高

表 4 草本层物种的数量特征

Table 4 Quantitative characteristics of herb layer

植物名称	相对投影盖度/%	重要值/%	排序	植物名称	相对投影盖度/%	重要值/%	排序
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	32.12	32.12	1	石菖蒲 <i>Acorus tatarinowii</i>	4.31	4.31	6
鸢尾 <i>Iris tectorum</i>	23.04	23.04	2	黄菖蒲 <i>Iris pseudacorus</i>	3.74	3.74	7
麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i>	8.72	8.72	3	金鸡菊 <i>Coreopsis drummondii</i>	3.53	3.53	8
美人蕉 <i>Canna indica</i>	8.47	8.47	4	萱草 <i>Hemerocallis fulva</i>	2.44	2.44	9
玉簪 <i>Hosta plantaginea</i>	6.74	6.74	5	蓝花鼠尾草 <i>Salvia farinacea</i>	1.40	1.40	10

的因子载荷。主因子 4 代表草本性状因子，在草本投影面积、草本丰富度上有较高的因子载荷。主因子 5 代表乔木多样性因子，在乔木丰富度、乔木密度上有较高的因子载荷。由此可见，镇江市基于低影响开发的植物群落信息主要集中在乔木性状因子、灌乔性状比值因子、灌木多样性因子、草本性状因子以及乔木多样性因子等 5 个因子，这 5 个主因子的累积贡献率高达 80.63%。

表 5 R 型因子载荷矩阵

Table 5 R type factor loading matrix

指标	主因子 1	主因子 2	主因子 3	主因子 4	主因子 5	指标	主因子 1	主因子 2	主因子 3	主因子 4	主因子 5
x_1	0.626	0.328	-0.112	0.561	-0.120	x_9	-0.122	-0.027	0.563	-0.520	-0.268
x_2	0.024	0.127	0.931	0.111	0.287	x_{10}	0.511	0.637	0.258	-0.114	0.175
x_3	0.148	-0.044	0.285	0.013	0.853	x_{11}	0.096	0.595	0.110	-0.245	0.477
x_4	0.934	-0.036	-0.007	-0.141	0.027	x_{12}	-0.135	-0.290	0.091	0.853	-0.042
x_5	0.892	0.085	0.168	-0.063	0.040	x_{13}	0.042	-0.183	-0.150	0.872	-0.151
x_6	0.920	-0.013	-0.141	0.176	0.086	x_{14}	0.126	0.816	0.123	-0.220	-0.098
x_7	-0.119	-0.257	-0.392	-0.200	0.559	x_{15}	-0.179	0.800	0.119	-0.011	-0.227
x_8	0.025	0.274	0.899	-0.217	0.017	累积贡献率/%	21.99	38.38	54.56	70.22	80.63

3.4 植物群落多样性分析

48 个样地群落据植物景观单元所处的位置分为 4 类：道路绿地、滨水绿地、节点绿地和边缘绿地。综合而言，边缘绿地和道路绿地的多样性指数较高。由于边缘区绿地植物选配与一般性绿地相似，无需考虑植物耐淹耐旱性，选择范围广，且人为干扰小，乔木层植物种类多为原有绿地保存下来的植被，植被种类丰富，因此边缘绿地乔木层多样性指数最高，Shannon-Wiener 指数 H 为 1.84~2.46。灌木层多样性指数表现为道路绿地>边缘绿地>节点绿地>滨水绿地。滨水绿地灌木层植物种类主要集中在红叶石楠、金森女贞、毛鹃等，以色块形式大面积栽植，模式单一。其他不同立地位置绿地类型的 Gleason 指数 d 均表现出灌木>乔木>草本的一致趋势。相比于乔灌，草本层多样性指数最低，也再次说明了示范区比较注重乔灌层的景观效果，忽略了草本景观的营造。草本层各项指数没有表现出一定的规律(表6)。

表 6 各绿地类型的多样性指数

Table 6 Diversity indexes of each green space type

类型	层次	d	D	H	J	类型	层次	d	D	H	J
道路绿地	乔木	2.03	0.87	2.27	0.82	节点绿地	乔木	1.31	0.84	1.97	0.90
	灌木	3.93	0.89	2.59	0.75		灌木	2.77	0.85	2.15	0.73
	草本	1.52	0.85	2.07	0.83		草本	0.58	0.50	0.86	0.62
滨水绿地	乔木	1.49	0.78	1.84	0.77	边缘绿地	乔木	2.24	0.89	2.46	0.87
	灌木	1.49	0.71	1.61	0.67		灌木	3.42	0.89	2.55	0.78
	草本	0.54	0.75	1.37	0.99		草本	1.18	0.76	1.66	0.76

3.5 群落聚类分析

聚类分析发现：以乔木层物种重要值为数据源的聚类效果不显著，与实际情况有一定出入，而以灌木层为依据能较直观地反映样地实际情况。因此，本研究以灌木层物种重要值为数据源进行 Q 型聚类。统计 42 种灌木种类，构建 48 × 42 数据矩阵，根据样地群落外貌和聚类图，认为选择欧氏距离 $d=10$ 时

能真实反映样地群落灌木层的结构特点。当 $d=10$ 时, 可将 48 个样地主要划分为以下 5 个类型(图 1)。^①包括 2, 5, 9, 10, 12, 14, 19, 22, 24, 25, 26, 35, 36, 38, 48 等 15 个样地。当 $d=10$ 时, 聚类结果在一定程度上还不明朗。当 $d=5$ 时, 聚类结果较理想, 样地 2, 5, 9, 12, 19, 22, 26, 36, 38 聚为一类, 该类型样地灌木层均缺失。样地 24, 25 聚为一类, 该类灌木层以海桐 *Pittosporum tobira* 为优势种。样地 10, 14, 35, 48 各自聚为一类。^②包括 1, 3, 8, 16, 29, 31, 34, 41 等 8 个样地。该类型灌木层优势种是红叶石楠, 重要值都在 120% 以上, 伴生植物有桂花。该群落物种丰富、观赏性高。^③包括 11, 15, 18, 27, 28, 47 等 6 个样地。金森女贞是该类型的优势种, 伴生植物有南天竹, 栀子 *Gardenia jasminoides*, 结香 *Edgeworthia chrysantha*, 茶梅 *Camellia sasanqua* 等观花观叶灌木。该群落季相景观变化明显, 观赏价值高, 在示范区绿地中可大面积推广应用。^④包括 23, 33, 39, 40, 46 样地。灌木层优势种为毛鹃, 重要值高达 100% 以上。桂花和红枫 *Acer palmatum* 为该类型的次优势种, 除样地 46 外, 其他样地均位于江滨公园, 立地条件较为相似。该群落灌木层物种丰富, 群落结构相近。^⑤包括 7, 20, 45 样地。该类型是以金丝桃为优势种的代表类群。金丝桃耐半阴, 樟树、全缘叶栎树为金丝桃生长提供半阴环境。

4 结论与讨论

镇江市低影响开发示范区共有维管束植物 181 种, 隶属于 74 科 147 属。含有 10 种以上的科仅有蔷薇科(11 属 18 种)和菊科(11 属 12 种), 属在组成上具有极高的分散性, 以全缘叶栎树和红叶石楠为优势种的植物景观模式应用普遍。

多样性分析可知: 边缘绿地乔木层树种的多样性最丰富。在多样性的研究中, 除了考虑物种数之外, 还需考虑物种聚集程度和个体分布均匀程度。Simpson 指数是对物种集中性的度量, 在乔木层位于 0.78~0.89, 差异较小; Shannon-Wiener 指数是对稀有种的敏感指数, 在乔木层位于 1.84~2.46, 差异较显著, 边缘绿地高达 2.46, 远高于滨水绿地(1.84)。乔木层 Pielou 指数均在 0.77 以上, 均匀度程度较高。滨水绿地和节点绿地乔木层丰富度指数相近, 但节点绿地的 Shannon-Wiener 指数较大, 说明节点绿地物种间数量分布更均匀, Pielou 指数也证实了这一点。对灌木层而言, 道路和边缘绿地的多样性指数表现出很高的一致性, 滨水绿地多样性指数最小。对草本层而言, 滨水绿地和节点绿地丰富度相似, 但滨水绿地 Simpson 指数远高于节点绿地, 说明前者的物种集中性强, Pielou 指数也表现出高度一致性。综合而言, 各绿地类型物种多样性均表现出灌木>乔木>草本的一致趋势, 物种丰富度总体偏低, 群落

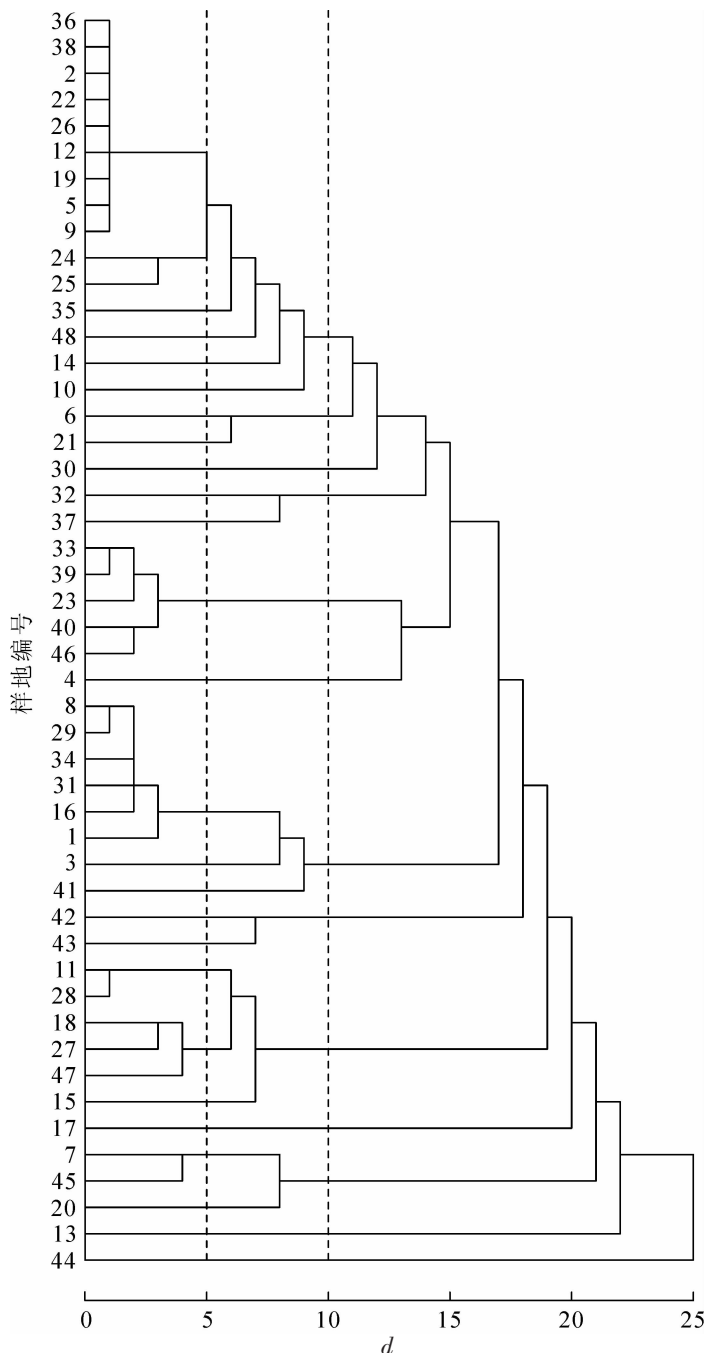


图 1 灌木层聚类图

Figure 1 Cluster diagram of shrub layer

内部结构相对单一。

聚类分析在群落分类中应用效果较好，能科学地反映植物群落结构与生境环境^[20]。通过聚类可知红叶石楠、金森女贞、毛鹃群系是 3 个主要的低影响植物景观类型。红花檵木 *Loropetalum chinense* 耐旱耐瘠薄，适应性强，其群系主要分布在立地条件较为恶劣的路侧。十大功劳喜阴耐旱，边缘绿地几乎常年处于干旱状态且能提供荫蔽环境，其群系主要分布在边缘绿地，反映出低影响植物景观的主要类型和群落结构实际情况。由 *R* 型分析可知乔木性状、灌乔性状比值、灌木多样性、草本性状以及乔木多样性是影响镇江市示范区植物群落结构的主要因子。

植物群落是微观尺度上实现城市绿地可持续雨水管理的重要媒介。如何提高植物在低影响开发设施中的功能效益，及优化低影响植物景观是今后研究的重点。主要包括 2 个方面的内容：①通过控制性试验筛选适用于低影响开发植物景观且生态和景观效益俱佳的植物材料，并制定栽植、养护管理的技术细则；②根据种间关系原理、增加草本植物的应用，构建地被层^[21]，提高生物多样性，增强群落生态系统稳定性。可大力推广花叶芒 *Scanthus sinensis*，花叶芦竹 *Arundo donax*，斑叶芒 *Miscanthus* 等种类。

5 参考文献

- [1] 王佳, 王思思, 车伍. 低影响开发与绿色雨水基础设施的植物选择与设计[J]. 中国给水排水, 2012, **28**(21): 45 – 47.
WANG Jia, WANG Sisi, CHE Wu. Plant selection and design of LID and GSI [J]. *China Water Wastewater*, 2012, **28**(21): 45 – 47.
- [2] DIETZ M E. Low impact development practices: a review of current research and recommendations for future directions [J]. *Water Air Soil Pollut*, 2016, **22**(4): 543 – 563.
- [3] TENG Z, SANSALONE J. In situ partial exfiltration of rainfall runoff. I: quality and quantity attenuation [J]. *J Environ Eng*, 2004, **130**(9): 990 – 1007.
- [4] CARPENTER D D, KALUVAKOLANU P. Effect of roof surface type on stormwater run-off from full-scale roofs in a temperate climate [J]. *J Irrig Drain Eng*, 2011, **137**(3): 161 – 169.
- [5] ZANDERS J M. Road sediment: characterization and implications for the performance of vegetated strips for treating road run-off [J]. *Sci Total Environ*, 2005, **339**(1/3): 41 – 47.
- [6] HEFTING M M, CLEMENT J C, BIENKOWSKI P, *et al.* The role of vegetation and litter in the nitrogen dynamics of riparian buffer zones in Europe [J]. *Ecol Eng*, 2005, **24**(5): 465 – 482.
- [7] NAGASE A, DUNNETT N. Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: effects of plant species, diversity and plant structure [J]. *Landscape Urban Plann*, 2012, **104**(3): 356 – 363.
- [8] READ J, WEVILL T, FLETCHER T, *et al.* Variation among plant species in pollutant removal from stormwater in biofiltration systems [J]. *Water Res*, 2008, **42**(4/5): 893.
- [9] 黄婉梅. 基于 LID 技术设施的植物选择与配置研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2015.
HUANG Wanmei. *Research on Plant Selection and Configuration based on LID Technical Facilities* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2015.
- [10] 王思思, 吴文洪. 低影响开发雨水设施的植物选择与设计[J]. 园林, 2015(7): 16 – 20.
WANG Sisi, WU Wenhong. Plant selection and design of LID [J]. *Garden*, 2015(7): 16 – 20.
- [11] 李国忠. 镇江年鉴[M]. 北京: 方志出版社, 1992.
- [12] 徐馨, 朱明伦. 镇江地区 15 000 年以来古植被与古气候变化[J]. 地理学报, 1984, **39**(3): 277 – 284.
XU Xin, ZHU Minglun. The vegetational and climatic changes in the Zhenjiang region since 15 000 years B. P. [J]. *Acta Geogr Sin*, 1984, **39**(3): 277 – 284.
- [13] 王玉凤. 南京城市滨水公园植物景观研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2010.
WANG Yufeng. *Research on Plant Landscape of Nanjing Urban Waterfront Park* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2010.
- [14] 戎建涛, 朱弘, 库伟鹏, 等. 浙江南麂岛主要森林植被群落学特征研究[J]. 西北林学院学报, 2017, **32**(2): 294 – 300.
RONG Jiantao, ZHU Hong, KU Weipeng, *et al.* Characteristics of vegetation communities of the main forest types in

- Nanji Island, Zhejiang Province [J]. *J Northwest For Univ*, 2017, **32**(2): 294 – 300.
- [15] 王育松, 上官铁梁. 关于重要值计算方法的若干问题[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2010, **33**(2): 312 – 316.
- WANG Yusong, SHANGGUAN Tieliang. Discussion on calculating method of important values [J]. *J Shanxi Univ Nat Sci Ed*, 2010, **33**(2): 312 – 316.
- [16] 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.
- FANG Jingyun, WANG Xiangping, SHEN Zehao, *et al.* Methods and protocols for plant community inventory [J]. *Biodiversity Sci*, 2009, **17**(6): 533 – 548.
- [17] 陈勇, 孙冰, 廖绍波, 等. 深圳市主要植被群落类型划分及物种多样性研究[J]. 林业科学研究, 2013, **26**(5): 636 – 642.
- CHEN Yong, SUN Bing, LIAO Shaobo, *et al.* Classification of main phytocommunity and biodiversity in Shenzhen [J]. *For Res*, 2013, **26**(5): 636 – 642.
- [18] 胡军飞, 许洛山, 田文斌, 等. 浙江普陀山主要林型群落结构特征分析[J]. 浙江农林大学学报, 2016, **33**(5): 768 – 777.
- HU Junfei, XU Mingshan, TIAN Wenbin, *et al.* Community structure for main forests in Mount Putuo, Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2016, **33**(5): 768 – 777.
- [19] 傅徽楠, 严玲璋, 张连全, 等. 上海城市园林植物群落生态结构的研究[J]. 中国园林, 2000, **16**(2): 22 – 25.
- FU Huinan, YAN Lingzhang, ZHANG Lianquan, *et al.* Study on ecological structure of the ornamental plants community in Shanghai [J]. *Chin Landscape Archit*, 2000, **16**(2): 22 – 25.
- [20] 陈飞鹏, 汪殿蓓, 暨淑仪, 等. 深圳南山区天然植物群落的聚类分析[J]. 武汉植物学研究, 2001, **19**(5): 385 – 390.
- CHEN Feipeng, WANG Dianbei, JI Shuyi, *et al.* Clustering analysis on natural plant communities of Nanshan in Shenzhen City [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2001, **19**(5): 385 – 390.
- [21] 杨阳, 王晶懋. 西北半干旱城市绿地近自然人工植物群落构建研究[J]. 西北林学院学报, 2018, **33**(1): 274 – 280.
- YANG Yang, WANG Jingmao. Construction of near nature artificial plant community in semi-arid green space of northwestern China [J]. *J Northwest For Univ*, 2018, **33**(1): 274 – 280.