

文章编号:1001-7380(2017)02-0016-06

## 淮安市滨河绿地乔灌木植物群落 特征与多样性分析

季 淮<sup>1,2</sup>, 张鸽香<sup>2</sup>, 高 军<sup>1</sup>

(1. 淮阴工学院, 江苏 淮安 223003; 2. 南京林业大学, 江苏 南京 210037)

**摘要:**江苏省淮安市地处中国南北交接带,其地域植被位于温带落叶阔叶林和亚热带常绿阔叶林分界处,分布具有比较典型的南北差异特征。为了研究城市河流水陆交错带生态功能,对贯穿主城区的4条河流的滨河绿地展开植物群落调查,并对植物物种组成进行分析。结果表明,各样地的乔木物种 Pielou 均匀度指数较为一致,但 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数有所不同,根据大小排序,样地依次为里运河>盐河>古黄河>大运河;各样地灌木物种 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数的大小依次排序为里运河>盐河>古黄河>大运河。从数量特征和生物多样性的情况来看,综合平均指标东段2岸比西段2岸高,此结果验证了规划要求近20 a内城市中心东移的趋势。含有植物种类较多的科主要依次为蔷薇科、豆科、木犀科、柏科和木兰科。乡土植物芦苇、杨树、柳树、女贞等在大面积的绿化中使用率较高,且效果很好。但总体上看,常绿树种数少于落叶树种数,可能是造成寒冷季节景观不佳的主要原因。

**关键词:**滨河绿地;群落特征;植物多样性;Simpson 指数;Shannon 指数;Pielou 均匀度指数;淮安市

**中图分类号:**Q948.15<sup>+</sup>6 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2017.02.004

## Huai'an riparian plant community characteristics of green space by quantitative analysis

JI Huai<sup>1,2</sup>, ZHANG Ge-xiang<sup>2</sup>, GAO Jun<sup>1</sup>

(1. Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223003, China; 2. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** Huai'an in Jiangsu Province is located in the North-South junction, and vegetation distribution has a typical characteristics of North-South differences in the eastern region of China. In order to study the ecological habits of urban waterfront green space, the community survey over four rivers which go through the main urban area was carried out. Through field investigation, the plant species compositions of waterfront greenbelt in Huai'an were resulted. And the obtained data were analyzed by the method of phytocoenosium research and SPSS system. The results showed that the plant community characteristics of river sections coincided with the trend of the city centre having moved eastward. And, major plant species were successively from Rosaceae, Leguminosae, Oleaceae, Cupressaceae and Magnoliaceae. Indigenous tree species such as willows, reeds, privets were mainly grown in a large-scale area of green land, which had a significant effect on the environment around rivers. However, the number of evergreen tree species was less than that of deciduous tree species, which led to bleak landscape in winter season.

**Key words:** Riverfront green space; Community characteristics; Plant species diversity; Simpson index; Shannon-Wiener index; Pielou index; Huai'an City

收稿日期:2016-08-08;修回日期:2016-12-28

基金项目:淮安市科技支撑计划(社会发展)项目“淮安市退化河流景观带植物群落配置分析及生态修复关键技术应用研究”(HAS2013040);淮阴工学院青年科研基金项目“淮安市滨河景观生态评价体系研究”(HGC1205)

作者简介:季 淮(1982-),女,江苏南京人,讲师,博士生。主要从事园林植物与观赏园艺、生态学(湿地环境保护)研究。E-mail: ji-huai3408@163.com。

城市河流水陆交错带是指城市中靠近水域的线性绿色开敞空间,具有连通生态、景观、历史文化等作用,是实现城市滨水区可持续发展的重要途径之一。其植被营造是城市河流水陆交错带建设的重点内容<sup>[1]</sup>,也成为生态学和水环境保护学的研究热点<sup>[2]</sup>。江苏省淮安市地处中国南北交接带,其地域植被分布具有比较典型中国东部地区南北差异特征。城区的滨河区绿化景观空间界定为贯穿主城区盐河、古黄河、里运河(京杭大运河淮安段支流)、京杭大运河(京杭大运河淮安段干流)4条主要的河流廊道水陆交错带。自北向南,植被由落叶阔叶林逐渐向落叶阔叶混交林、常绿阔叶混交林过渡,种类也相应增多。但由于长期的城市规划开发,典型的原生自然植被仅存于河流水陆交错带,并将随着城市开发逐渐被人工林和次生林所代替。对淮安市河岸带群落结构特征及植物多样性分析,有助于了解南北交接区域的植被生态习性,也为今后进一步研究生态植物群落演替作好基础工作。

## 1 材料与方法

调查时间从2015年5月至2016年5月。

调查地点为贯穿淮安城市的4条河流(京杭大运河、里运河、古黄河、盐河)廊道水陆交错带,即夹在3条路(北京路、淮海路、承德路)中的4条河15个河段的滨河绿地。

采用的调查方法为样地详查法和总体普查法。其中,总体普查法包括对滨水绿地植物种类、结构、植物配置进行调查分析。

植物群落特征调查(详查法),包括样方内乔木每木调查,记录种名、株数、胸径、高度等,测量灌木层的种名、盖度、高度。乔木层植物指包括棕榈类植物在内,胸径(主干离地表面1.3 m处的直径)大于4 cm的树种。灌木层植物指胸径小于4 cm的小乔木和高度高于1.5 m的灌木植物,以及按个数统计、修剪成球形或柱形的造型灌木植物。滨河绿地中大部分地被植物均为粗放式管理,野草种类较多,区域相似度高,故而不对被进行比较<sup>[3]</sup>。

群落数量特征分析能够进一步说明不同物种群落特征及其变化,实际上是组成各个群落的数量特征<sup>[4]</sup>。样地设立为400 m<sup>2</sup>(20 m×20 m)左右的标准样方,针对滨河绿地宽度分布不均的情况,为了满足面积指标,长度作相应调整<sup>[5]</sup>。分别计算15个样地(1—4号为盐河样地,5—8号为古黄河样地,

9—12号为里运河样地,13—15号为大运河样地)上乔木层及灌木层的重要值。相对密度=某物种密度/所有物种密度之和×100%;显著度是指某一物种胸高(1.3 m)断面积之和占样地面积的百分比;相对显著度=某物种显著度/所有物种显著度之和×100%;乔木重要值=相对密度+相对显著度;灌木重要值=相对密度+相对投影盖度<sup>[6]</sup>。

在此基础上,运用SPSS软件进行多样性指数的相关计算,并对数据进行分析。采用物种多样性指数作为描述群落的综合指标。丰富度指数( $M$ )= $(S-1)/\ln N$ ; Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )= $-\sum P_i \ln P_i$ ; Pielou均匀度指数( $J$ )= $H'/\ln S$ ; Simpson指数( $D$ )= $\sum (P_i/N)^2$ 。式中, $P_i$ 为种*i*的个体数占群落中占群落中总个体数的百分比, $S$ 为物种总数, $N$ 为群落中全部物种的个体数<sup>[7]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 常绿、落叶树种数量对比

乔、灌木的数量(株数)比以及常绿、落叶树种的数量对比,可以间接反映出此绿地植物景观配置是否合理;同时在生态结构上,可以在一定程度上反映样地植物群落的生物多样性<sup>[8]</sup>。

从结果(见表1)看出,乔木比灌木数量多,最高的是5号和6号样地,可能是影响滨水绿地郁闭度的主要因素。常绿乔木与落叶乔木、常绿灌木与落叶灌木比值普遍较低,数值除5号样地均小于1。其中,古黄河2岸绿化样地(5—8号)3个比值在4条滨河绿地样地中较高。

表1 乔木与灌木、常绿与落叶树种数量比例

编号	乔木数量/ 灌木数量	常绿乔木数量/ 落叶乔木数量	常绿灌木数量/ 落叶灌木数量
1	1.579	0.569	0.633
2	1.415	0.455	0.882
3	1.570	0.695	0.609
4	2.224	0.413	0.609
5	20.93	1.358	0.884
6	16.09	0.983	0.963
7	32.16	0.831	0.769
8	2.197	0.897	0.846
9	7.395	0.522	0.767
10	7.739	0.248	0.900
11	2.005	0.705	0.667
12	1.758	0.216	0.371
13	9.792	0.937	0.764
14	4.551	0.296	0.653
15	2.884	0.177	0.964

2.2 乔木树种数量特征

淮安市滨河绿地采用的乔木种类共 52 种。从结果(见表 2)可以看出,淮安市滨水绿地中杨属(*Populus*)、柳属(*Salix*)的相对重要值最高。其中,垂柳(*Salix babylonica*)、意大利杨(*Populus euramericana*)以其耐水湿、易成活、形态优美、抗污染强、廉价等优点,成为淮安河流交错带绿化常用绿化树种。此外,二球悬铃木(*Platanus acerifolia*)、冬青(*Ilex*

*chinensis*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、龙柏(*Sabina chinensis* ‘Kaizuka’)、女贞(*Ligustrum lucidum*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、雪松(*Cedrus deodara*)等乔木的重要值较高。二球悬铃木的广泛应用则是因为其遮阴效果好、分支点高、生长速度快等优点,当然其有飞毛的缺点也是不容忽视的,因此女贞、香樟在淮安市滨河绿地绿化中,重要值有所提高。女贞在 14 个样地中出现。

表 2 样地植物群落乔木数量特征

树种名称	出现样地数/个	密度/(株/m <sup>2</sup> )	相对密度/%	相对显著度/%	相对重要值	排序
杨树	5	0.004	26.212	30.01	56.222	1
垂柳	13	0.004	13.177	22.828	36.005	2
二球悬铃木	5	0.004	12.456	23.45	35.906	3
水杉	9	0.004	14.394	17.59	31.984	4
龙柏	1	0.004	6.505	17.276	23.781	5
女贞	14	0.003	10.56	7.196	17.756	6
香樟	9	0.002	5.737	9.262	14.999	7
雪松	11	0.001	5.667	9.318	14.985	8
国槐	8	0.001	4.673	9.621	14.294	9
圆柏	3	0.002	7.415	6.038	13.453	10
小叶女贞	1	0.003	10.438	1.848	12.286	11
木槿	3	0.003	10.464	1.636	12.1	12
碧桃	11	0.003	9.826	1.913	11.739	13
枫杨	7	0.001	3.408	6.159	9.567	14
紫叶李	9	0.002	6.857	1.927	8.784	15
泡桐	4	0.000 5	1.821	6.861	8.682	16
三球悬铃木	1	0.000 05	0.422	8.153	8.575	17
乌桕	3	0.000 7	2.267	5.916	8.183	18
樱花	7	0.002	5.053	2.251	7.304	19
榆树	5	0.001	2.394	4.583	6.977	20

2.3 灌木层绿化树种数量特征

淮安市滨水绿地采用的灌木种类丰富,共计 55 种(见表 3)。连翘(*Forsythia suspensa*)、云南黄馨(*Jasminum mesnyi*)、狭叶十大功劳(*Mahonia fortunei*)、蜀桧(*Sabina komarovii*)、紫叶小檗(*Berberis thunbergii* ‘Atropurpurea’)的配置十分广泛,主要是这些植物的抗性比较强,有滞尘净化空气、隔音、护坡隔离等作用。淮安市滨河绿地灌木是以低矮的小灌木为主,如八角金盘(*Fatsia japonica*)、洒金桃叶珊瑚(*Aucuba japonica* var *variegata*)。

2.4 淮安市滨河植物群落物种丰富度

在 15 个样地中的植物群落乔木层丰富度比较中,5 号样地的指数最高,达到了 25;其次 6 号和 7 号样地都达到了 12;而 14 号和 15 号样地乔木层丰富度指数最低,都只有 2。其余河流河岸绿地中乔木的运用相对较多(见图 3)。

在对淮安市滨河绿地灌木层物种丰富度的调查过程中发现,多数样地的灌木层物种均相对比较丰富,如图 4 所示。5 号样地绿地灌木层的物种最为丰富,10,12 号样地的指数值与之较为接近,均达

到 10。但 13,14 号和 15 号样地的指数均较低,均未达到 3,灌木层绿化情况较差。

表 3 样地植物群落灌木数量特征

植物名称	样地数/个	密度 / (株/m <sup>2</sup> )	相对密度/%	相对投影盖度/%	相对重要值	排序
蜀桧	10	0.373	64.804	0.642	65.446	1
连翘	8	0.047	8.778	0.054	8.832	2
狭叶十大功劳	8	0.034	6.010	0.027	6.037	3
紫叶小檗	4	0.024	3.891	0.020	3.911	4
云南黄馨	8	0.008	1.235	0.046	1.281	5
石榴	3	0.005	0.854	0.068	0.922	6
金森女贞	1	0.355	0.594	0.238	0.832	7
珊瑚树	2	0.002	0.815	0.008	0.823	8
木芙蓉	2	0.003	0.722	0.033	0.755	9
木槿	4	0.001	0.633	0.027	0.660	10
黄刺玫	2	0.004	0.158	0.457	0.615	11
桂花	7	0.003	0.543	0.051	0.594	12
侧柏	2	0.011	0.541	0.013	0.554	13
海桐	11	0.002	0.397	0.090	0.487	14
石楠	7	0.002	0.404	0.062	0.466	15
紫荆	4	0.002	0.436	0.013	0.449	16
金丝桃	5	0.003	0.433	0.008	0.441	17
月季	2	0.001	0.362	0.055	0.417	18
红瑞木	2	0.0009	0.378	0.011	0.389	19
瓜子黄杨	3	0.006	0.291	0.015	0.306	20

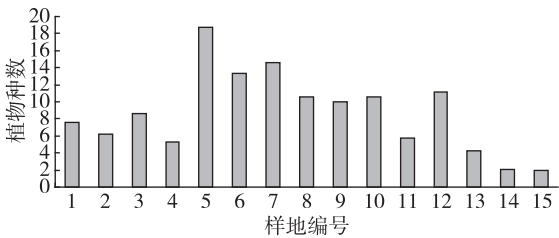


图 3 淮安市滨河样地植物群落乔木层物种丰富度

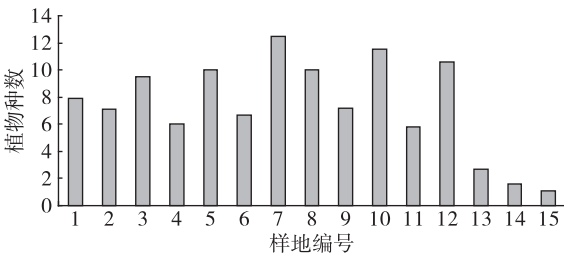


图 4 淮安市滨河样地植物群落灌木层物种丰富度

比较 4 条河流绿地的植物群落乔木层丰富度,

古黄河的指数最高,达到了 12,其次是里运河,达到了 8;而大运河乔木层丰富度指数最低,只有 2,说明在大运河的河岸绿地中,乔木的运用非常有限。

在对淮安市 4 条河流河岸绿地灌木层物种丰富度的调查过程中发现,多数河流的灌木层物种均相对比较丰富。古黄河和里运河的绿地灌木总体情况较好,已是较为成熟的景观带,盐河其次,大运河相对较差,还需提高。

2.5 淮安市滨河植物群落物种多样性

由于在滨河植物样地中各植物群落区域、功能不同,群落样地多样性指数也有较大的差异。比较分析有助于找到问题所在,以便优化方案的制定。

在对各类型所有样地乔木层的多样性指数分析发现,里运河的 3 个指数排序都是排名靠前,其他河流各段指数呈现不均匀的情况。也反映出淮安各个河流在规划的时候没有统一,所以同河流在指数方面排名差异比较大(见表 4)。

表 4 样地植物群落乔木层多样性比较

所属河流	样地编号	Simpson 指数		Shannon-Wiener 指数		Pielou 均匀度指数	
		D	排序	H'	排序	J	排序
盐河	1	0.916 8	5	4.110 4	3	0.853 5	5
	2	0.914 4	6	3.702 7	4	0.809	6
	3	0.753 3	12	2.724	11	0.715 5	13
	4	0.829 6	9	2.782 1	10	0.750 7	9
古黄河	5	0.745 2	13	2.523 4	12	0.607 7	14
	6	0.867 6	8	3.488 3	7	0.779 8	7
	7	0.734 7	14	2.029 9	14	0.738 9	11
	8	0.804 6	10	3.144	9	0.736 7	12
里运河	9	0.870 7	7	3.406 2	8	0.760 9	8
	10	1.006 4	1	4.726 6	1	0.945 1	1
	11	0.947	3	3.517 8	6	0.855 1	4
	12	0.980 8	2	4.112 2	2	0.869 2	3
大运河	13	0.340 3	15	1.133 9	15	0.403 9	15
	14	0.931 2	4	3.580 4	5	0.884 7	2
	15	0.756 6	11	2.303 9	13	0.739 3	10

从表 4 中可以看出,乔木层中 Pielou 均匀度指数除 13 号样地数据比较平均,表明这 14 个滨河绿地的物种平均分布程度较为一致。从 4 河的乔木 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数看,大小顺序为里运河>盐河>古黄河>大运河。

灌木层总体分布比较均匀,Simpson 指数平均



为 0.717 8, Shannon-Wiener 指数平均值为 2.486 9, Pielou 均匀度指数平均值为 0.872 0(见表 5)。

表 5 样地植物群落灌木层多样性比较							
所属河流	样地编号	Simpson 指数		Shannon-Wiener 指数		Pielou 均匀度指数	
		D	排序	H'	排序	J	排序
盐河	1	0.888	3	3.155	4	0.948 8	4
	2	0.827 9	4	2.950 4	5	0.946 2	5
	3	0.750 4	10	2.379 5	10	0.893 7	12
	4	0.754 3	9	2.420 4	8	0.909 7	8
古黄河	5	0.738 6	11	1.878 8	11	0.956 9	10
	6	0.796 4	6	2.473 9	7	0.924 2	7
	7	0.535 3	14	1.762	12	0.607 7	14
	8	0.784 4	8	2.406 6	9	0.902 6	9
里运河	9	0.794 7	7	2.706 5	6	0.926 8	6
	10	0.912 2	1	3.636 8	2	0.989 4	1
	11	0.806 8	5	3.212 5	3	0.971 1	3
	12	0.899	2	3.685 7	1	0.988 9	2
大运河	13	0.573 4	13	1.269 5	15	0.503 9	15
	14	0.640 5	12	1.652 5	14	0.715 5	13
	15	0.065 6	15	1.714 1	13	0.894 7	11

从 4 河的灌木多样性指数看, Simpson 指数, Shannon-Wiener 指数, Pielou 均匀度指数是里运河>盐河>古黄河>大运河。

2.6 淮安市滨河植物群落相似性

淮安市 4 条河流中河岸植物景观相似性最高的是盐河和里运河, 相似系数为 0.613; 相似性最低的是盐河和大运河, 相似系数为 0.361(见表 6)。盐河和里运河在河流沿岸道路绿化景观效果较其他几个区域较为明显, 植物重复种类多为必然, 并且里运河位于市中心, 而盐河 2 岸也是居民小区, 都比较受重视, 在一定程度上差异性不是很大。盐河和大运河河岸绿化的相似性较低, 一方面说明这 2 个区域的植物景观效果不相一致; 另一方面, 通过这 2 个区域与其他区域的对比可以看出, 它们与其他区域相似性也较低, 其中一部分原因是因为大运河沿岸本身的绿化植物种类比较单一, 偏离市中心客观上造成了与其他地区的相似性降低。4 条河流中除了盐河和大运河, 里运河与大运河的相似性也较低。由此可见, 在不同河流道路绿地规划中发展思路也有所不同。

表 6 群落相似性系数分析			
河流	盐河岸	古黄河岸	里运河岸
古黄河岸	0.490	-	-
里运河岸	0.613	0.467	-
大运河岸	0.361	0.412	0.395

3 结论与讨论

通过对淮安河流水陆交错带的乔木和灌木层群落分析, 得出以下的结论:

(1) 在常绿、落叶树种数量对比中, 淮安城市滨河绿地常绿乔灌木少于落叶乔灌木。落叶树种数量偏多, 可能导致冬季景观不佳。

(2) 在乔木数量特征分析中, 淮安市滨水绿地采用的乔木种类共 52 种。由于杨属(*Populus*)、柳属(*Salix*)具有形态上的优势及生态易成活性, 所以 2 者重要值较大。其中, 意大利杨和垂柳以耐水湿性、成活性高、姿态优美、抗污染性等优点, 成为淮安滨水绿化常见绿化树种。在灌木层, 淮安市河流水陆交错带采用的灌木种类较为丰富, 有 55 种。由于狭叶十大功劳、连翘、紫叶小檗、云南黄馨、蜀桧抗性较强, 有滞尘净化空气、隔音、护坡隔离等作用, 所以在河流水陆交错带运用广泛。

(3) 通过乔木物种丰富度分析, 古黄河物种最为丰富。灌木物种丰富度, 最高的是里运河。大运河的乔灌木丰富度不高。里运河植物群落物种多样性分析的排名靠前, 其他河流各段的指数呈现不均匀的情况, 反映出淮安没有统一规划河流, 同条河流多样性指数差异明显<sup>[9]</sup>。

(4) 在植物群落相似性分析中, 淮安市 4 条河流河岸植物景观相似性最高的是盐河和里运河, 相似性最低的是盐河和大运河。通过分析, 盐河和大运河河岸绿化的相似性较低, 说明这 2 个区域的植物景观效果不相一致; 通过对比看出, 2 河与其他河流交错带相似性也较低, 其中一部分原因是因为京杭大运河沿岸本身的绿化物种单一, 偏离市商业中心造成了与其他地区的相似性降低。4 条河流中除了大运河和盐河的交错带, 里运河与大运河的水陆交错带相似性较低。由此可见, 河流交错带在绿地规划中发展思路也不同。

总体来看, 淮安市 4 条河流水陆交错带在植被物种上更具北方植被特征, 常绿树种和落叶树种配比不够合理, 所以在某些区域应加入常绿树种的比例。古黄河样地各项指标较好, 可能是因为其绿地

属性为防护绿地,防护作用侧重性高。另外,样地植物群落特征呈现不均匀性,反映出对淮安的各个河段水陆交错带没有统一规划。植物群落综合平均指标东段2岸比西段2岸高,此结果验证了规划要求近20 a内城市中心东移的趋势。

今后在淮安城市河流沿岸植物景观营造中,应增加大运河水陆交错带的植物物种,对其他河流水陆交错带植物景观,应注意结合不同地理位置的特色,挖掘各条河流交错带自身的特点,形成特别的河流交错带绿化配置<sup>[10]</sup>。另外,乔灌木种类配置的合理性,群落增长的稳定性等,都是值得继续研究的问题。

#### 参考文献:

- [1] 孙世卫,李秀莹,赵春斌,等.衡水湖北岸堤植物群落调查分析[J].北方园艺,2013(8):87-89.
- [2] 唐丽红,马明睿,韩 华,等.上海市景观水体水生植物现状及配置评价[J].生态学杂志,2013,32(3):563-570.
- [3] 季梦成,缪丽华,蒋跃平,等.杭州西溪湿地苔藓植物种类与群落调查[J].湿地科学,2015,13(3):299-305.
- [4] 徐晓清.南京城市滨水绿地植物群落研究与综合评价分析[D].南京:南京农业大学,2007.
- [5] 陆明华,王 冰,顾至欣.线性空间植物群落调查及配置模式——以南京新城区道路路侧绿地景观为例[J].林业科技开发,2014(5):141-145.
- [6] 王玉凤.南京城市滨水公园植物景观配置研究[D].南京:南京林业大学,2010.
- [7] 张佳平,丁彦芬.江苏云台山糙叶树群落调查及植物配置模式研究[J].中国园林,2013(4):18-23.
- [8] 胡海辉,徐苏宁.黑龙江自然植物群落调查与寒地城市绿化模拟策略[J].中国园林,2013(8):104-108.
- [9] 姚 瑶.城市滨河绿地植物景观规划设计初探[D].北京:北京林业大学,2010.
- [10] 陈明宇.浅析滨河带状绿地景观规划设计[J].沿海企业与科技,2010(7):72-74.
- [11] 焦 蓉,刘好宝,刘贯山,等.论脯氨酸累积与植物抗渗透胁迫[J].中国农学通报,2011,27(7):216-221.
- [12] BENESOVA M, HOLA D, FISCHER L, et al. The physiology and proteomics of drought tolerance in maize: early stomatal closure as a cause of lower tolerance to short-term dehydration?[J]. Plos One, 2012, 7(6):e38017.
- [13] 张 毅.氯化钠胁迫对油菜幼苗生理生化指标的影响[J].北方园艺,2012,2(6):16-18.
- [14] GORAI M, ALOUI W E, YANG X, et al. Toward understanding the ecological role of mucilage in seed germination of a desert shrub *Henophyton deserti*: interactive effects of temperature, salinity and osmotic stress[J]. Plant and Soil, 2014, 374(1):727-738.
- [15] WU S W, HU C X, TAN Q L, et al. Effects of molybdenum on water utilization, antioxidative defense system and osmotic adjustment ability in winter wheat (*Triticum aestivum*) under drought stress[J]. Plant Physiology & Biochemistry, 2014, 83:365-374.
- [16] SILVA E N, FERREIRA-SILVA S L, VIEGAS R A, et al. The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants[J]. Environmental & Experimental Botany, 2010, 69(3):279-285.
- [17] 刘 晶,才 华,刘 莹.两种紫花苜蓿苗期耐盐生理特性的初步研究及其耐盐性比较[J].草业学报,2013,22(2):250-256.
- [18] GAO H J, YANG H Y, BAI J P, et al. Ultrastructural and physiological responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets to gradient saline stress[J]. Frontiers in Plant Science, 2014(5):787-794.