

郁连红,杨 军,姚青菊. 土壤施硼、锌、锰肥对多花黄精药材产量及药效成分含量的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(12):257-260.

# 土壤施硼、锌、锰肥对多花黄精药材产量及药效成分含量的影响

郁连红<sup>1</sup>, 杨 军<sup>2</sup>, 姚青菊<sup>2</sup>

(1. 江苏省如东第一职业教育中心校,江苏如东 226400; 2. 江苏省中国科学院植物研究所,江苏南京 210014)

**摘要:**采用土壤基施法,研究了不同用量硼酸、硫酸锌、硫酸锰肥料分别对用根茎种植的多花黄精一个生长季节后的老根、新根、茎产量和黄精多糖、总皂苷含量的效应。结果表明:(1)土施硼、锌、锰肥对多花黄精的根茎产量均有显著或极显著促进作用,锰对老根茎以及根茎总产量的效应最大,硼对新根茎的效应最大,对老根茎促进效应不显著;(2)多花黄精总皂苷含量以老根茎高于新根茎,黄精多糖含量则相反;(3)硼对总皂苷含量没有影响,不利于黄精多糖的积累,中、高用量的硼处理与对照间黄精多糖含量降低程度达到极显著(老根茎)和显著水平(新根茎);但锌、锰处理则对根茎中总皂苷、黄精多糖含量均有显著或极显著的提高效应,总皂苷含量变化幅度高于黄精多糖含量。锰的效益高于锌;锰处理黄精多糖含量以中肥水平为最高,而中、高用量的锌肥处理间差异不显著。

**关键词:**多花黄精;根茎;黄精多糖;总皂苷;硼;锌;锰

**中图分类号:** S567.230.1;S567.230.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)12-0257-04

中药材黄精为百合科黄精属植物滇黄精(*Polygonatum kingianum* Coll. et Hemsl.)、黄精(*Polygonatum sibiricum* Red.)或多花黄精(*Polygonatum cyrtoneura* Hua.)的干燥根茎。按药材形状不同,习称分别为“大黄精”“鸡头黄精”“姜形黄精”。三者中以姜形黄精(原植物多花黄精)质量最佳。黄精性甘、味平,归肺、脾、肾经,具有补气养阴、健脾、润肺、益肾之功效。主治脾胃气虚,体倦乏力、胃阴不足、口干食少、肺虚燥咳、劳嗽咳血、精血不足、腰膝酸软、须发早白、内热消渴<sup>[1]</sup>。现代药学研究表明,黄精根茎中含有多种皂甙、黄精多糖以及多种氨基酸等有效成分,具有降血压、降血糖、降血脂、防止动脉粥样硬化、延缓衰老和抗菌等作用<sup>[2]</sup>;黄精所含天然甙类化合物能够有效抑制癌细胞的生长,具有良好的抗肿瘤活性<sup>[3]</sup>;黄精多糖则对免疫功能低下者的淋巴细胞具有高度的激发作用<sup>[4]</sup>。近年来,众多研究人员对黄精根茎中的微量元素含量进行了分析,发现黄精根茎中富含 Fe、Zn、Mn、Cu 等较多的微量元素,认为这与黄精的药理作用具有重要联系<sup>[5-7]</sup>。采用从土壤施用微肥的方法,研究了 B、Zn、Mn 3 种微量元素对多花黄精根茎产量以及黄精多糖、总皂苷含量的影响,为多花黄精的优质高产栽培技术提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料为多花黄精,品种为江苏句容栽培品种。种根茎选用 3 年生健壮根茎,经人工切段,每段 3~4 节,带 1~2 顶芽。用草木灰蘸敷切口。栽植前精心挑选,保持大小均匀,

质量一致,无病害。

### 1.2 方法

**1.2.1 试验设计** 试验设计的微量元素肥料用量水平见表 1。不同微量元素试验单独进行,单因素随机区组设计,小区面积 20 m<sup>2</sup>,3 次重复。按照相应肥料用量水平折算后施入。所用肥料均为优质商品肥料。

表 1 不同微量元素肥料施用量

微量元素种类	施用量(kg/hm <sup>2</sup> )				肥料种类
	对照	1	2	3	
硼(B)	0(B0)	1.5(B1)	3.0(B2)	4.5(B3)	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>
锌(Zn)	0(Zn0)	15(Zn1)	30(Zn2)	45(Zn3)	ZnSO <sub>4</sub>
锰(Mn)	0(Mn0)	15(Mn1)	30(Mn2)	45(Mn3)	MnSO <sub>4</sub>

**1.2.2 试验实施** 试验于 2009 年 10 月至 2010 年 11 月在江苏句容黄精磨盘山试验基地进行。试验土壤为人工栽培黄精多年的沙性黄壤土,有效态的微量元素含量较低,因多年施有机肥,有机质含量丰富。栽种前测定土壤养分含量,其中有机质含量为 3.73%,总氮 1.64%,速效磷 0.54%,速效钾 2.55%,水溶性硼 0.27 mg/kg,有效态锌 0.65 mg/kg,有效态锰 3.93 mg/kg。pH 值为 6.58。微量元素硼、锌、锰含量属低水平。

试验在塑料大棚中进行,为保证肥料不流失、小区间不相串,人工将大棚内试验地挖深 60cm,铺垫一层厚塑料膜,然后将土壤回填复原。栽植前将肥料按照设计均匀施入各小区。

多花黄精种根茎于 2009 年 11 月 15 日栽植。栽种规格为行距 25 cm,株距 15 cm,密度为 266 000 株/hm<sup>2</sup>。栽植时保证每小区用种量相同(用种根茎量约 2 500 kg/hm<sup>2</sup>)。在多花黄精生长过程中的 6—10 月采用遮阳网遮阴处理(透光率控制在 6、10 月为 50%,9 月为 40%,7—8 月为 30%左右)。

**1.2.3 样品采集及处理** 2010 年 11 月 28 日采挖药材,按照老根茎、当年生新根茎分开,将洗净的根茎置微波炉中高温

收稿日期:2013-09-17

作者简介:郁连红(1972—),女,从事药用植物与观赏植物的教学和科研。E-mail:rdylh72@126.com。

通信作者:姚青菊,高级实验师,从事植物资源与开发利用研究。E-mail:qingjuyao@21cn.com。

杀青 2 min 后,60 ℃ 条件下烘干,分别测定老根茎、新根茎的产量及黄精多糖、总皂苷含量。

1.3 分析测定

1.3.1 黄精多糖含量 采用乙醇提取、紫外分光光度计法测定<sup>[1]</sup>。(1)对照品溶液的制备:取经 105 ℃ 干燥至恒重的无水葡萄糖对照品 33 mg,精确称定,置 100 mL 量瓶中,加水溶解并稀释至刻度,摇匀,即得(每 1 mL 中含无水葡萄糖 0.33 mg)。(2)标准曲线的制备:精确量取对照品溶液 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 mL,分别置 10 mL 具塞刻度试管中,各加水至 2.0 mL,摇匀,在冰水浴中缓缓滴加 0.2% 蒽酮硫酸溶液至刻度,混匀,放冷后置水浴中保温 10 min,取出,立即置冰水浴中冷却 10 min,取出,以相应试剂为空白,在岛津 UV-2450 紫外可见分光光度计 582 nm 波长处测定吸光度。以吸光度为纵坐标,浓度为横坐标,绘制标准曲线。(3)供试液制备:取 60 ℃ 干燥至恒重的黄精样品细粉约 0.25 g,精确称定,置圆底烧瓶中,加 80% 乙醇 150 mL,置水浴中加热回流 60 min,趁热过滤,残渣用 80% 热乙醇洗涤 3 次,每次 10 mL,将残渣及滤纸置烧瓶中,加水 150 mL,置沸水浴中加热回流 60 min,趁热过滤,残渣及烧瓶用热水洗涤 4 次,每次 10 mL,合并滤液与洗液,放冷,转移至 250 mL 量瓶中,加水至刻度,摇匀。(4)样品测定:精确量取供试液 1.0 mL,置 10 mL 具塞干燥试管中,按照(2)的方法,自加水至 2.0 mL 起,测定吸光度,根据标准曲线计算得样品中黄精多糖含量。

1.3.2 总皂苷含量 采用超声法提取、香草醛-冰醋酸法测定<sup>[8]</sup>。(1)对照品溶液的制备:精确称取人参皂苷 Rb1 标准品 10.0 mg 于 10 mL 容量瓶中,加甲醇溶解稀释至刻度,作为标准液。(2)标准曲线制备:精确量取对照品液 60、120、180、240、300、360、420 μL,置于具塞刻度试管中,水浴挥尽溶剂,

加入 0.2 mL 5% 香草醛-冰醋酸溶液(0.5 g 香草醛溶于 100 mL 冰醋酸,新鲜配制),冰浴时加入 0.8 mL 高氯酸,摇匀,60 ℃ 水浴加热 15 min 后,冰浴 2 min,加入冰醋酸定容至 10 mL,摇匀,静置 20 min,于 550 nm 处测定吸光度。以吸光度为纵坐标,浓度为横坐标,绘制标准曲线。(3)供试液制备:取 60 ℃ 干燥至恒重的黄精样品细粉约 1.0 g,精确称定,加入 15 倍量 80% 乙醇,60 ℃ 超声提取 30 min,提取 2 次,合并滤液至 50 mL 容量瓶中,加 80% 无水乙醇溶解并稀释至刻度,摇匀。(4)样品测定:精确量取供试液 100 μL,挥干,加入 0.2 mL 5% 香草醛-冰醋酸溶液(0.5 g 香草醛溶于 100 mL 冰醋酸,新鲜配制),冰浴时加入 0.8 mL 高氯酸,摇匀,60 ℃ 水浴加热 15 min 后,冰浴 2 min,加入 5 mL 冰醋酸,摇匀,静置 5 min,于 550 nm 波长处测定吸光度,根据标准曲线计算总皂苷含量。

1.4 统计分析

单因素随机区组方差分析方法。采用 Excel 进行计算分析。

2 结果与分析

2.1 微量元素硼、锌、锰对多花黄精根茎产量的效应

2.1.1 硼对多花黄精根茎产量的影响 土壤施入硼酸肥料后,多花黄精老根茎和当年生新根茎的产量均比对照增加(表 2),效果依次为 B3 > B2 > B1 > B0,老根茎产量处理间差异不显著,新根茎产量和药材总产量 B3 处理与 B2 处理间差异不显著,B3 处理、B2 处理与 B1 处理,B1 处理与 B0 处理间差异均达到极显著水平。表明土施硼肥对多花黄精的产量效应主要表现在提高新根茎产量上,对老根茎生长的促进作用不明显。

表 2 土施硼酸肥料对多花黄精根茎产量的影响

处理	老根茎		新根茎		总根茎		新根茎占总产量比例(%)
	产量(kg/hm <sup>2</sup> )	比 B0 增(%)	产量(kg/hm <sup>2</sup> )	比 B0 增(%)	产量(kg/hm <sup>2</sup> )	比 B0 增(%)	
B0	3 835.5Aa		1 143.2Cc		4 978.7Cc		23.0
B1	3 884.3Aa	1.3	1778.7Bb	55.6	5663.0Bb	13.7	31.4
B2	3 973.5Aa	3.6	2015.3Aa	76.3	5 988.8Aa	20.3	33.7
B3	3 990.2Aa	4.0	2151.8Aa	88.2	6 142.0Aa	23.4	35.0

注:同列数据后不同的小写、大写字母不同者分别表示差异显著( $P < 0.05$ )或极显著( $P < 0.01$ )。表 3-表 7 同。

2.1.2 锌对多花黄精根茎产量的影响 土壤施入硫酸锌肥料后,多花黄精老根茎和新根茎的产量均比对照有极显著增加(表 3)。老根茎产量效果为处理 Zn2 > Zn3 > Zn1 > Zn0。Zn2 处理与 Zn3 处理、Zn3 处理、Zn1 处理间差异达显著水平,Zn2、Zn3 处理极显著高于 Zn1、Zn0 处理,Zn1 处理极显著高于 Zn0 处理。新根茎产量为处理 Zn3 > Zn2 > Zn1 > Zn0。Zn3

处理显著高于 Zn2 处理,Zn2 处理极显著高于 Zn1 处理,Zn1 处理极显著高于 Zn0 处理。根茎总产量为处理 Zn2 > Zn3 > Zn1 > Zn0。其中 Zn2、Zn3 处理间差异不显著,其他处理间的差异达到极显著水平。表明锌对多花黄精根茎产量的效应主要体现在促进新根茎的生长上,但是对老根茎的生长也有显著促进作用。

表 3 土施硫酸锌肥料对多花黄精根茎产量的影响

处理	老根茎		新根茎		总根茎		新根茎占总产量比例(%)
	产量(kg/hm <sup>2</sup> )	比 Zn0 增(%)	产量(kg/hm <sup>2</sup> )	比 Zn0 增(%)	产量(kg/hm <sup>2</sup> )	比 Zn0 增(%)	
Zn0	3 775.4Cd		1 089.8Cd		4 865.2Cc		22.4
Zn1	4 044.2Bc	7.1	1 534.2Bc	40.8	5 578.4Bb	14.7	27.5
Zn2	4 275.6Aa	13.2	1 662.7ABb	52.6	5 938.3Aa	22.1	28.0
Zn3	4 186.3ABb	10.9	1 711.9Aa	57.1	5 898.2Aa	21.2	29.0

2.1.3 锰对多花黄精根茎产量的影响 土壤施入硫酸锰肥料后,多花黄精老根茎和新根茎产量次序均表现为处理

Mn3 > Mn2 > Mn1 > Mn0(表 4)。老根茎产量 Mn3 处理与 Mn2 处理间差异很小,两者与 Mn1 处理、Mn1 处理与 Mn0 处

理间差异极显著。新根茎产量则表现为 Mn3 处理显著高于 Mn2 处理,Mn2 处理显著高于 Mn1 处理,Mn3 处理与 Mn1、Mn2、Mn1 处理与 Mn0 处理间差异极显著。最终表现各处理

根茎总产量差异极显著。表明锰对多花黄精根茎产量的效应也主要表现在促进新根茎的生长上,但对老根茎的生长也有显著促进作用。

表 4 土施硫酸锰肥料对多花黄精根茎产量的影响

处理	老根茎		新根茎		总根茎		新根茎占总产量 比例(%)
	产量(kg/hm <sup>2</sup> )	比 Mn0 增(%)	产量(kg/hm <sup>2</sup> )	比 Mn0 增(%)	产量(kg/hm <sup>2</sup> )	比 Mn0 增(%)	
Mn0	3 787.0Cc		1121.3Cd		4 908.3Dd		22.8
Mn1	4 175.3Bb	10.3	1778.8Bc	58.6	5 954.1Cc	21.3	29.9
Mn2	4 502.8Aa	18.9	1842.5ABb	64.3	6 345.3Bb	29.3	29.0
Mn3	4 537.6Aa	19.8	1977.2Aa	76.3	6 514.8Aa	32.7	30.3

2.1.4 3 种微量元素对多花黄精根茎产量的效应 以上结果表明,土施锰肥后对多花黄精老根茎以及根茎总产量的促进效应最大,3 个施锰处理的平均增产幅度,老根茎和根茎总产量分别为 10.3% ~ 19.8%、21.3% ~ 32.7%;高于锌肥处理的 7.1% ~ 10.9% 和 14.7% ~ 21.2%,也高于硼肥处理的 1.3% ~ 4.0% 和 13.7% ~ 23.4%;锌肥则表现为对多花黄精老根茎的生长效应高于硼肥。硼肥对多花黄精新根茎的生长促进最明显,3 个施硼处理的平均增产幅度为 55.6% ~ 88.2%,略高于锰肥处理的 58.6% ~ 76.3%,明显高于锌肥处理的 40.8% ~ 57.1%。当年生新根茎占总产量的比例也表现相同结果,施硼 3 个处理为 31.4% ~ 35.0%,施锌处理

为 27.5% ~ 29.0%,施锰处理为 29.0% ~ 30.3%。  
2.2 微量元素对多花黄精根茎黄精多糖、总皂苷含量的效应  
2.2.1 硼对多花黄精根茎中黄精多糖、总皂苷含量的影响 多花黄精老根茎中的黄精多糖含量小于当年生新根茎,而老根茎中的总皂苷含量高于当年生新根茎。随着硼肥施用量的增加,老根茎、新根茎中黄精多糖含量均呈下降趋势(表 5)。老根茎中的下降幅度高于新根茎,不同处理与 B0 处理的差异达到显著或极显著水平。老根茎、新根茎中总皂苷含量不同处理与 B0 处理差异显著。表明施用硼肥不利于根茎中黄精多糖的积累。

表 5 土施硼肥对多花黄精茎中黄精多糖、总皂苷含量的影响

处理	黄精多糖				总皂苷			
	老根茎		新根茎		老根茎		新根茎	
	含量(%)	比 B0 增(%)	含量(%)	比 B0 增(%)	含量(mg/g)	比 B0 增(%)	含量(mg/g)	比 B0 增(%)
B0	11.82Aa		12.44Aa		8.13Aa		5.65Aa	
B1	10.71ABb	-9.4	11.72Aab	-5.8	7.94Aa	-2.3	5.73Aa	1.4
B2	10.33Bb	-12.6	11.35Ab	-8.8	8.23Aa	1.2	5.41Aa	-4.2
B3	10.27Bb	-13.1	11.26Ab	-9.5	8.07Aa	0.5	5.58Aa	-1.2

2.2.2 锌对多花黄精根茎中黄精多糖、总皂苷含量的影响 土壤施锌肥对多花黄精根茎中黄精多糖、总皂苷含量的影响,表现出与施硼肥作用不一致的效果。随着锌肥施用量的增加,无论老根茎还是新根茎,黄精多糖、总皂苷含量基本表现为上升趋势(表 6)。老根茎中黄精多糖含量以 Zn2 处理高于 Zn3 处理,Zn2、Zn3 处理与 Zn1,Zn1 处理与 Zn0 处理间差异

达极显著水平,Zn2 处理与 Zn3 处理间差异不显著。施用锌肥有利于多花黄精根茎中黄精多糖和总皂苷的积累。有效成分在老根茎、新根茎中基本一致,总皂苷含量的变化幅度高于黄精多糖含量,表明锌对多花黄精根茎中总皂苷积累的促进效应高于黄精多糖。

表 6 土施锌肥对多花黄精茎中黄精多糖、总皂苷含量的影响

处理	黄精多糖				总皂苷			
	老根茎		新根茎		老根茎		新根茎	
	含量(%)	比 Zn0 增(%)	含量(%)	比 Zn0 增(%)	含量(mg/g)	比 Zn0 增(%)	含量(mg/g)	比 Zn0 增(%)
Zn0	11.85Cc		12.61Cc		8.08Cc		5.78Cc	
Zn1	13.32Bb	12.4	14.16Bb	12.3	10.73Bb	32.8	7.81Bb	35.1
Zn2	14.57Aa	23.0	15.35Aa	21.7	11.54Aa	42.8	8.41Aa	45.5
Zn3	14.28Aa	20.5	15.72Aa	24.7	11.71Aa	44.9	8.54Aa	47.8

2.2.3 锰对多花黄精根茎中黄精多糖、总皂苷含量的影响 土壤施锰肥对多花黄精根茎中黄精多糖含量的影响,表现为随着锰肥施用量的增加,老根茎和新根茎中黄精多糖均呈上升趋势(表 7)。以 Mn2 处理含量最高,Mn3 处理低于 Mn2 处理。锰肥对多花黄精根茎中总皂苷含量的影响,与锌肥作用基本一致,即随着锰肥施用量的增加,老根茎、新根茎总皂苷

含量均呈上升趋势。不同处理间差异达到显著或极显著水平。表明施用锰肥有利于多花黄精根茎中黄精多糖和总皂苷的积累。从不同处理间的变化幅度来看,锰对多花黄精根茎中总皂苷积累促进效应高于黄精多糖。  
锰肥与锌肥对多花黄精根茎中的黄精多糖、总皂苷含量的影响,以锰肥的促进效应高于锌肥。

表 7 土施锰肥处理多花黄精根茎中黄精多糖、总皂苷含量的影响

处理	黄精多糖				总皂苷			
	老根茎		新根茎		老根茎		新根茎	
	含量(%)	比 Mn0 增(%)	含量(%)	比 Mn0 增(%)	含量(mg/g)	比 Mn0 增(%)	含量(mg/g)	比 Mn0 增(%)
Mn0	11.90Cd		12.53Cd		8.11Dd		5.73Dd	
Mn1	14.24Bc	19.7	14.80Bc	18.1	11.54Cc	42.3	8.22Cc	43.5
Mn2	15.76Aa	32.4	16.55Aa	32.1	12.62Bb	55.6	9.07Bb	58.3
Mn3	14.92ABb	25.4	15.84Ab	26.4	13.75Aa	69.5	9.85Aa	71.9

3 结论与讨论

土壤施硼、锌、锰肥,对多花黄精的生长和根茎产量具有促进作用,锰肥对老根茎以及根茎总产量的促进效应最大,硼肥对新根茎的生长促进最大,对老根茎无显著的促进效应。

土壤施硼肥,对多花黄精根茎中黄精多糖含量的影响,表现为随着硼肥施用量的增加老根茎和新根茎中的含量均呈下降趋势,老根茎中的下降幅度高于新根茎,硼肥中高用量的 2 个处理与对照间新根茎中差异显著,老根茎中差异极显著,硼肥对多花黄精总皂苷含量影响处理间差异不显著。

土壤施锌肥和锰肥对多花黄精根茎中黄精多糖、总皂苷含量的影响,表现出与施硼肥作用不一致的效应,即随着锌肥或锰肥施用量的增加,老根茎和新根茎中的总皂苷含量表现为上升趋势,处理之间达到显著或极显著差异(处理 Zn2 与 Zn3 间差异不显著);随着锌肥或锰肥施用量的增加,老根茎和新根茎中的总皂苷含量也表现为上升趋势。土壤施锌和锰处理,多花黄精根茎中总皂苷含量变化幅度高于黄精多糖含量。

药用植物施用锰、锌后可促进生长,提高药材产量,有利于根茎中皂苷类物质的积累,在其他中药材研究上也有相似报道<sup>[8-9]</sup>,对施硼后出现增加根茎产量却不利多糖积累、对皂苷含量无影响结果尚无相关类似报道。一般认为,硼对植物体内碳水化合物的转运有重要作用,硼缺乏可导致百合及烟草的花粉管细胞壁多糖分布发生改变<sup>[10]</sup>,外施硼对多花黄精

多糖的积累、转化等代谢过程的影响,尚待进一步研究。

参考文献:

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京:中国医药科技出版社,2010:288.

[2] 王冬梅,朱 玮,张存莉,等. 黄精化学成分及其生物活性[J]. 西北林学院学报,2006,21(2):142-145,153.

[3] 张 洁,马百平,杨 云,等. 黄精属植物甾体皂苷类成分及药理活性研究进展[J]. 中国药学杂志,2006,41(5):330-332.

[4] 江 华. 黄精多糖的抗肿瘤活性研究[J]. 南京中医药大学学报,2010,26(6):479-480.

[5] 樊艳荣,陈双林,杨清平,等. 毛竹林下多花黄精种群生长和生物量分配的立竹密度效应[J]. 浙江农林大学学报,2013,30(2):199-205.

[6] 钱士辉,段金廛,杨念云,等. 江苏省中药资源与生产现状[J]. 中药研究与信息,2001,3(12):20-23.

[7] 喻祖文,张旺凡. 多倍体黄精中多糖和皂苷的提取及含量测定[J]. 中国现代中药,2011,13(5):20-22.

[8] 杨 鹤,张 浩,邵玉钢,等. 叶面喷施锌对农田人参锌营养、生长发育及皂苷含量的影响[J]. 华南农业大学学报,2012,33(3):311-315.

[9] 王建安,林 菲,李艳芝,等. 铁、锰、锌肥对盾叶薯蓣根茎产量及薯蓣皂苷元的影响[J]. 中草药,2011,42(3):589-592.

[10] 杨晓东,孙素琴,李一勤. 硼缺乏导致花粉管细胞壁多糖分布的改变[J]. 植物学报:英文版,1999,41(11):1169-1176.

(上接第 202 页)

景观效果,同时也要考虑与岸际植物的自然衔接,加强对水陆空间植物景观序列的营造。

4.2.3 提高水生植物的生态价值 大量研究表明,水生植物能够有效地净化富营养化水体,并对水体内的重金属及氮、磷等元素具有相应的吸收积累效果<sup>[7]</sup>。不同水生植物对水体元素的吸收效果也不同。水葫芦对氮、磷营养物有很强的吸收能力,香蒲对铅、锌有很强的吸收能力<sup>[8]</sup>,黑藻和穗花狐尾藻对铜和锌具有较强的吸收能力。因此,在应用水生植物生物净化功能时,要对水质进行认真分析,根据水质合理选择能适应本地区的具有净化能力的水生植物,进行合理配置,形成沉水-浮水-挺水的植物净化体系,提高水生植物的生态价值。

4.2.4 制定有效的水生植物养护管理措施 针对徐州地区水生植物的生物学特点,根据不同的水生植物制定出科学合理的养护管理措施,根据水生植物的生长情况,定期对水生植物进行修剪、施肥、病虫害防治、间苗和打捞等工作,以确保景观的稳定性及效果。

参考文献:

[1] 吴彩芸,夏宜平. 杭州园林水景的水生植物调查及其配置应用[J]. 中国园林,2006,22(1):83-88.

[2] 朱克利. 湖北省水生植物物种资源及其园林应用研究[D]. 武汉:华中农业大学,2009.

[3] 崔金红. 水生植物的应用与管理[J]. 湿地科学与管理,2007,3(4):54-58.

[4] 徐海根,强 胜. 中国外来入侵物种编目[M]. 北京:中国环境科学出版社,2004.

[5] 吴玉树,余国莹. 根生沉水植物菹草(*Potamogeton crispus*)对滇池水体的净化作用[J]. 环境科学学报,1991,11(4):411-416.

[6] 王 凌,罗述金. 城市湿地景观的生态设计[J]. 中国园林,2004,20(1):39-41.

[7] 严 雪,沈国兴,严国安. 水生植物毒性试验及在生态风险评价中的作用[J]. 上海环境科学,1998,17(7):24-26,39.

[8] 陈桂珠,马晏杰,蓝崇钰,等. 香蒲植物净化塘生态系统调查研究[J]. 生态学杂志,1990,9(4):13-17.