

不同种植方式对常见沉水植物生长的影响

王珺¹, 方黎明², 李晔³, 李贺鹏¹, 岳春雷¹ (1.浙江省林业科学研究院, 浙江杭州 310023; 2.浙江省湖州市长兴县林业局, 浙江湖州 313100; 3.浙江环科环境研究院有限公司, 浙江杭州 310007)

摘要 [目的]探索出不同沉水植物在不同环境特征下的种植技术。[方法]选取湖州仙山湖湿地公园北湖和南湖入库河流近岸水域, 分别采用播种法、移植法、扦插法对苦草、金鱼藻、狐尾藻、黑藻4种常见沉水植物进行种植, 研究其存活率及生长情况。[结果]不同种植方式对沉水植物的存活率影响较大, 采用扦插法种植的苦草和黑藻其存活率明显高于播种法和移植法; 采用移植法种植的金鱼藻和狐尾藻其存活率明显高于播种法和扦插法。不同种植方式对苦草、金鱼藻、狐尾藻的前期生长有明显影响, 待植物扎根存活并稳定生长后, 植株的株高及生物量差异并不显著。与其他3种沉水植物相比, 黑藻的生长情况在整个试验阶段差异不大。[结论]该研究为沉水植物群落的恢复或重建提供技术支持。

关键词 沉水植物; 种植方式; 存活率; 株高; 生物量; 影响

中图分类号 X171.4 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)34-0039-03

Effect on Growth of Common Submerged Macrophytes through Different Planting Patterns

WANG Jun¹, FANG Li-ming², LI Ye³ et al (1.Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou, Zhejiang 310023; 2.Forestry Bureau of Changxing County, Huzhou, Zhejiang 313100; 3.Zhejiang Environmental Science Research Institute Co.Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310007)

Abstract [Objective] The research aimed to explore the cultivation techniques of different submerged plants under different environmental characteristics. [Method] Four common submerged plants of *Vallisneria natans* L. Hara, *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum verticillatum* and *Hydrilla verticillata* were planted by seeding, grafting and cutting in near shore waters of north and south part of Xianshan Lake inflow rivers, the survival rate and growth was studied. [Result] Different planting methods had a great impact on the survival rate of submerged plants. The survival rate of *Vallisneria natans* and *Hydrilla verticillata* planted by cutting method was significantly higher than that of seeding method and grafting method. The survival rate of *Ceratophyllum demersum* and *Myriophyllum verticillatum* grown by grafting method was significantly higher than that of seeding method and cutting method. Different planting methods had significant effects on the early growth of *Vallisneria natans*, *Ceratophyllum demersum* and *Myriophyllum verticillatum*, and the difference in plant height and biomass was not significant after the plant took root and grew steadily. [Conclusion] The study provides technical support for the restoration or reconstruction of submerged plant communities.

Key words Submerged plant; Planting pattern; Survival rate; Plant height; Biomass; Effect

随着污染的加剧和湖泊富营养化的发展, 湖泊富营养化已成为全球面临的最为突出的环境问题^[1]。氮、磷等营养物质的大量输入引起藻类及其他浮游生物迅速繁殖, 水体溶解氧下降, 水质恶化, 水生植物特别是沉水植物逐渐衰退和消失, 鱼类及其他生物大量死亡, 水体生态系统遭遇严重破坏^[2-3]。长兴仙山湖国家湿地公园位于长兴县泗安镇, 地处苏、浙、皖三省交界处, 是人工湖泊, 原名泗安水库, 是泗安镇周边居民重要的水源地^[4]。21世纪初, 水库上游污染企业的工业废水进入, 造成水质整体为劣V类, 水体富营养化日益严重。随着仙山湖底泥疏浚、截污、引水等综合保护工作的推进, 仙山湖水质明显好转, 水环境得到改善, 表现为透明度和溶解氧逐年上升, 总氮、总磷、高锰酸盐指数、叶绿素a等水质指标均有所下降, 水质基本稳定在地表水Ⅲ类水标准。但是, 仙山湖的富营养化问题依然没有根除, 修复后的生态系统相对脆弱, 存在沉水植物品种单一、生物量较低、水体自净能力弱等问题。

沉水植物是水体生态系统的主要初级生产者之一^[5], 不仅自身具有氮、磷吸收能力, 也是水体生物多样性赖以维持的基础, 具有维护整个湖泊生态系统结构与功能的能力, 因此恢复和构建沉水植被群落是水体富营养化治理的重要措施^[6]。但沉水植被短时间内成功恢复或者重建是比较困难

的, 受水位波动大、截污不彻底、水体透明度低等因素制约较多, 因此人工快速大面积恢复的难度较大^[7-9]。笔者选取湖州仙山湖北湖和南湖入库河流近岸水域, 采用不同种植方式对4种沉水植物的存活率及生长情况进行研究, 旨在探索出不同沉水植物在不同环境特征下的种植技术, 为沉水植物群落的恢复或重建提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料 选用苦草 (*Vallisneria natans* L. Hara)、金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*)、狐尾藻 (*Myriophyllum verticillatum*) 和黑藻 (*Hydrilla verticillata*) 为研究对象。苦草为水鳖科 (Hydrocharitaceae) 多年生沉水草本, 在水深 2.5 m 以内, 软质深厚底泥生长良好, 生长期 4—10 月^[10]; 金鱼藻属金鱼藻科 (*Ceratophyllaceae*) 多年生沉水草本, 耐污能力较强, 性喜热, 生长期 3—10 月; 狐尾藻为小二仙草科 (Haloragidaceae) 多年生沉水草本, 适宜水深通常为水体透明度 2 倍以内, 耐寒性强, 生长期 3—11 月^[11]; 黑藻为水鳖科 (Hydrocharitaceae) 多年生沉水草本, 适宜水深 2.0 m 以内, 5—8 月生长旺盛, 喜温耐热^[10]。

1.2 试验方法 试验地点设置在长兴仙山湖库区, 根据库区及入库流水系特点, 选取水深较浅、透明度较高的入库河流近岸区域设置样方, 分别在库区的北湖设置 9 个样方 N₁~N₉, 平均水深 1.5 m, 透明度常年可见底; 南湖设置 3 个样方 S₁~S₃, 水平水深 0.8 m, 透明度常年可见底。样方设置为 5 m×2 m, 四周立杆标记边界。

沉水植物的种植方法较多, 各有特点。试验综合考虑沉

基金项目 浙江省省属科研院所专项项目 (2017F30016)。

作者简介 王珺 (1983—), 女, 江苏扬州人, 助理研究员, 硕士, 从事湿地生态生物修复技术研究。

收稿日期 2018-10-08

水植物的特点、种植水域环境以及经济成本后,采用播种法、移植法和扦插法进行对比研究。播种法种植时,苦草、金鱼藻和狐尾藻播种种子,黑藻播种休眠芽。移植法和扦插法则均采用单株形式。试验开始后每7 d观测统计存活植株数量,并随机拔出10株测量株高及鲜重,之后将植物原位种植。

4种沉水植物种植方式的试验样方设置见表1,即分别在 N_1 、 N_4 、 N_7 、 S_1 样方进行播种法种植,在 N_2 、 N_5 、 N_8 、 S_2 样方进行移植法种植,在 N_3 、 N_6 、 N_9 、 S_3 样方进行扦插法种植。用播种法种植时,均以20颗/ m^2 的密度均匀播撒休眠芽和种子。用移植法种植时,均选择株高30 cm左右的植株,苦草和黑藻用底泥包裹根部成锥形直接种至样方,金鱼藻和狐尾藻用底泥包裹根部成锥形后再用无纺布包裹,密度均为10株/ m^2 ;用扦插法种植时,均选择株高30 cm左右的植株,直接插入底泥中约5 cm,密度均为10株/ m^2 。试验时间为2017年4—9月。

2 结果与分析

2.1 不同种植方式对4种沉水植物存活率的影响 从表1可以看出,沉水植物不同种植方式的存活率差异显著。采用

扦插法种植的苦草存活率比采用播种法和移植法的存活率分别高67.7%和8.9%;采用扦插法种植黑藻存活率比采用播种法和移植法的存活率分别高67.2%和29.3%;采用移植法种植的金鱼藻比采用播种法和扦插法的存活率分别高69.0%和10.6%;采用移植法种植的狐尾藻比采用播种法和扦插法的存活率分别高79.1%和17.7%。其中苦草种子萌发率最低,可能是由于苦草种子细小(长度约2 mm),试验虽将苦草种子分布在湖泥上再播撒湖中,一定程度减少了种子漂浮,但无法避免苦草种子随水流飘走从而影响种子萌发率。苦草和黑藻采用扦插法其存活率明显高于播种法和移植法,因为扦插法直接将植株的根部插入底泥,比种子能更好地抵御风浪或者水流的干扰;而移植法直接用湖泥包裹植株底部,随着时间延长大部分泥包在湖底慢慢散开,苦草和黑藻的根部没能扎入底泥中,最终漂浮至水面,降低植物存活率。金鱼藻和狐尾藻采用移植法其存活率明显高于播种法和扦插法,因为移植法选取的是成型植株,相对于种子有更强的抵御干扰能力,而且在植株底部用底泥包裹的基础上再用无纺布包裹,减少了植株根部底泥的流失,为植株根须穿透泥包扎根湖底底泥中提供了有力保证,极大提高了植株成活率。

表1 不同种植方式下4种沉水植物的存活率

Table 1 Survival rates of four submerged plants under different planting patterns

沉水植物 Submerged plant	种植方式 Planting pattern	编号 No.	存活率 Survival rate//%					
			4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September
苦草 <i>Vallisneria natans</i>	播种法	N_1	0.2	0.5	1.1	1.4	2.1	4.8
	移植法	N_2	65.2	42.8	41.4	43.2	55.4	63.6
	扦插法	N_3	88.0	75.6	76.1	78.5	80.4	72.5
金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i>	播种法	N_4	1.0	2.2	3.8	3.5	5.2	7.8
	移植法	N_5	90.2	83.7	72.4	79.6	78.2	76.8
狐尾藻 <i>Myriophyllum verticillatum</i>	扦插法	N_6	72.2	68.4	71.8	66.5	67.3	66.2
	播种法	N_7	0.4	0.7	4.1	3.5	6.3	9.2
黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i>	移植法	N_8	89.4	90.5	84.2	83.5	86.7	88.3
	扦插法	N_9	59.3	56.2	64.5	65.6	70.2	70.6
黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i>	播种法	S_1	8.0	9.0	12.0	12.4	12.7	13.3
	移植法	S_2	47.4	41.6	40.0	53.0	46.3	51.2
	扦插法	S_3	75.0	68.0	72.5	75.2	76.0	80.5

2.2 不同种植方式对4种沉水植物生长情况的影响 在试验前期(4—6月),苦草植株的平均最大高度与最小高度相差3~24 cm,平均生物量相差0.25~1.39 g/株;到试验后期(7—9月),苦草平均最大高度与最小高度相差2~11 cm,平均生物量相差0.11~0.34 g/株(图2a₁、b₁)。金鱼藻在试验前期,植株的平均最大高度与最小高度相差7.5~22.0 cm,平均生物量相差0.37~1.52 g/株;后期平均最大高度与最小高度相差3~12 cm,平均生物量相差0.19~0.41 g/株(图2a₂、b₂);狐尾藻在试验前期,植株的平均最大高度与最小高度相差8~23 cm,平均生物量相差0.45~1.88 g/株;后期平均最大高度与最小高度相差1~10 cm,平均生物量相差0.11~0.34 g/株(图2a₃、b₃)。结果表明,不同种植方式对苦草、金鱼藻、狐尾藻的前期生长有明显影响,待植物扎根存活并稳定生长后,单株生物量并无显著差异。与其他3种沉水植物相比,黑藻的生长情况在整个试验阶段差异不大,植株的平

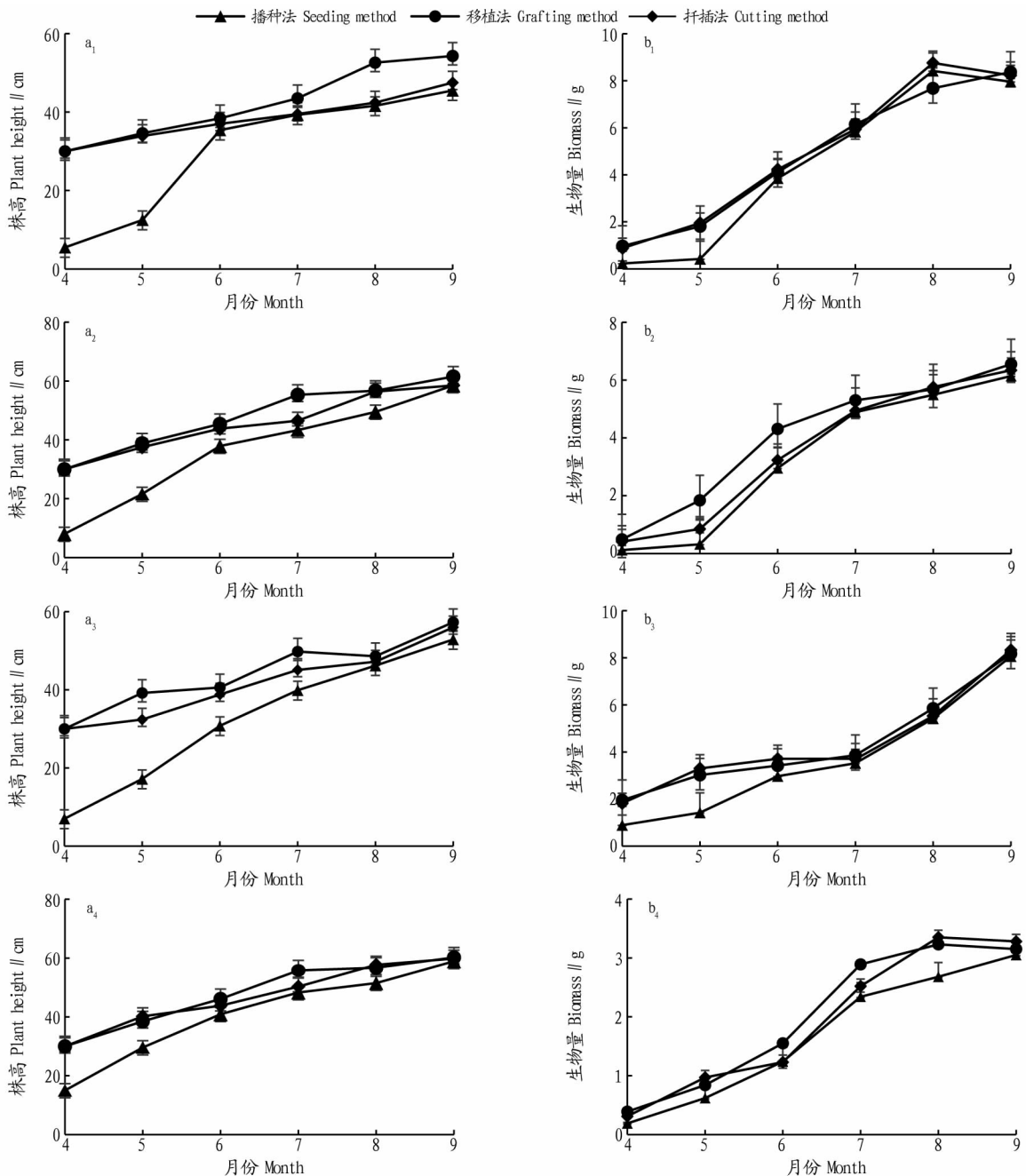
均最大高度与最小高度相差1~15 cm,平均生物量相差0.12~0.55 g/株(图2a₄、b₄),表明不同种植方式下黑藻的生长情况差异不显著。

3 讨论与结论

不同种植方式对沉水植物的存活率影响较大,4种沉水植物种植试验结果表明,苦草和黑藻采用扦插法其存活率明显高于播种法和移植法;金鱼藻和狐尾藻采用移植法其存活率明显高于播种法和扦插法。用播种法种植沉水植物种子或者休眠芽时,应与底泥混匀再抛撒,避免因水流流失导致成活率低下;采用扦插法直接将植株根部插入底泥,成活率较高,但只能在水深较浅的区域才能有效实施;移植法种植时,在根部包裹湖泥后再包裹无纺布或其他材料固定可明显提高植株成活率,虽然成本会相应增加,但实际应用价值较高。不同的种植方式对植物生长初期株高及生物量影响显著,待植物存活并稳定生长即生长后期时,植株的株高及生

物量差异并不显著。此次试验采用不同的种植方式只是短期内在水底形成不同的微环境,直接影响植株的存活率,待植株扎根存活后,影响沉水植物幼苗生长的关键因素还有水温、光照、溶解氧、透明度等^[12]。因此在实际水体生态生物

修复过程中,在沉水植物重建的早期阶段,应选择存活率高、适应能力强的先锋种类进行恢复,并针对不同沉水植物采用成活率最高的种植方式,从而实现“水下森林”快速有效构建。



注: a₁、b₁ 为苦草; a₂、b₂ 为金鱼藻; a₃、b₃ 为狐尾藻; a₄、b₄ 为黑藻

Note: a₁、b₁ is *Vallisneria natans*; a₂、b₂ is *Ceratophyllum demersum*; a₃、b₃ is *Myriophyllum verticillatum*; a₄、b₄ is *Hydrilla verticillata*

图 2 不同种植方式对 4 种沉水植物株高 (a) 和生物量 (b) 的影响

Fig. 2 Effect of different planting methods on plant height (a) and biomass (b) of four submerged plants

参考文献

- [1] 李娜,黎佳茜,李国文,等.中国典型湖泊富营养化现状与区域性差异分析[J].水生生物学报,2018,42(4):854-864.
- [2] 王圣瑞,郑丙辉,金相灿,等.全国重点湖泊生态安全状况及其保障对策[J].环境保护,2014,42(4):39-42.
- [3] SMITH V H, TILMAN G D, NEKOLA J C. Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems [J]. Environmental pollution, 1999, 100(1/2/3): 179-196.

- [4] 张华,李贺鹏,岳春雷,等.仙山湖国家湿地公园生态系统服务功能价值评估[J].广东林业科技,2015,31(5):41-46.
- [5] 金树权,周金波,包薇红,等.5种沉水植物的氮、磷吸收和水质净化能力比较[J].环境科学,2017,38(1):156-161.
- [6] 黄子贤,张饮江,马海峰,等.4种沉水植物对富营养化水体氮磷的去除能力[J].生态科学,2011,30(2):102-106.

(下转第 52 页)

有土壤样品中,Cd有40%的采样点存在强和很强的环境风险,轻微环境风险仅占15%。由多元素综合潜在生态风险指数(RI)来看,该地区存生态风险中等。

2.5 重金属来源分析 元素间相关性显著和极显著,说明元素间一般具有同源关系或是复合污染,否则来源可能不止一个^[14]。通常相关性强的被认为是同一来源,而较弱的相关性则暗示与其他元素来源不一致。为了解矿区周边土壤重金属Mn、Cd、Zn、Pb、Cu、Cr、Ni的污染特征,运用SPSS软件,对土壤中各重金属总量进行相关性分析。由表5可知,各重金属之间存在不同程度的相关性,Pb和Zn之间相关系数为0.825,Cd和Ni之间相关系数为0.695,达到显著相关水平,可见Pb和Zn、Cd和Ni之间存在一定的伴生关系,可能属于同源污染物。

表5 金石锰矿表层土壤中各重金属的相关性矩阵(n=17)

Table 5 Correlation coefficients of heavy metal contents in soils

重金属 Heavy metal	Cu	Cr	Ni	Zn	Pb	Cd	Mn
Cu	1.000	0.430	0.565*	0.450	0.457	0.385	-0.025
Cr		1.000	0.280	-0.311	-0.320	-0.094	-0.535*
Ni			1.000	0.235	-0.005	0.695**	0.117
Zn				1.000	0.825**	0.345	0.511*
Pb					1.000	0.204	0.221
Cd						1.000	0.169
Mn							1.000

注: ** 在0.01水平显著相关; * 在0.05水平显著相关

Note: ** is significantly correlated at the 0.01 level; * indicates significant correlation at the 0.05 level

3 结论

(1) 锰矿周边土壤中主要存在重金属Mn、Cd、Pb、Zn、Cu污染,其中Mn的超标率和超标倍数最高,污染最为严重。土壤中Cr、Ni均未超出农用地土壤环境质量标准,但部分土壤Cr、Ni含量高出于区域土壤背景值。土壤中各重金属含量变化幅度较大,说明矿区周边土壤重金属污染差异较大。土壤重金属纵向分析发现,研究区重金属污染主要集中在表层。

(2) 采用湖南当地背景值计算研究区各元素的地积累指数及其污染情况。土壤重金属Mn的 I_{geo} 最大值为5.38,达极

严重污染水平;Cd的 I_{geo} 最大值为2.57,属于中污染-强污染;Pb的 I_{geo} 最大值为1.77,属于中度污染水平;Cu、Cr、Ni、Zn的 I_{geo} 值均小于1.00,属于无污染-轻微污染。其中重金属Mn受污染最为显著,其次为Cd,而Cr、Ni几乎不受影响。

(3) Cd是潜在生态危害最大的因子,Mn等其他5种重金属的危害轻微;由多元素综合潜在生态风险指数(RI)来看,该地区存生态风险轻微-中等,表明矿区周边土壤整体生态风险较轻。

(4) 各重金属之间存在不同程度的相关性,Pb和Zn之间相关系数为0.825,Cd和Ni之间相关系数为0.695,达到显著相关水平,可见Pb和Zn、Cd和Ni之间存在一定的伴生关系,可能属于同源污染物。

参考文献

- [1] LIU J L, YANG T, CHEN Q Y, et al. Distribution and potential ecological risk of heavy metals in the typical eco-units of Haihe River Basin [J]. *Frontiers of environmental science & engineering*, 2016, 10(1): 103-113.
- [2] 环境保护部, 国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报(2014年4月17日)[J]. *环境教育*, 2014(6): 8-10.
- [3] PARK B Y, LEE J K, RO H M, et al. Effects of heavy metal contamination from an abandoned mine on nematode community structure as an indicator of soil ecosystem health [J]. *Applied soil ecology*, 2011, 51(6): 17-24.
- [4] 杨添奇, 余彬, 纪智慧, 等. 湘潭市锰矿工业区某渠道重金属污染特征[J]. *环境保护科学*, 2018, 44(2): 116-122.
- [5] 刘世梁, 郭旭东, 姚喜军, 等. 草原煤矿开采区土壤重金属污染分布特征及影响因素[J]. *安全与环境学报*, 2016, 16(3): 320-325.
- [6] 方月梅, 张晓玲, 刘娟, 等. 铜绿山矿区农业土壤重金属污染及生态风险评估[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(24): 58-61, 64.
- [7] 龙加洪, 谭霖, 吴银菊, 等. 土壤重金属含量测定不同消解方法比较研究[J]. *中国环境监测*, 2013, 29(1): 123-126.
- [8] 陈怀满. *环境土壤学*[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 522-523.
- [9] MULLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River [J]. *Geo Journal*, 1969, 2(3): 108-118.
- [10] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach [J]. *Water research*, 1980, 14(8): 975-1001.
- [11] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行): GB 15618—2018[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.
- [12] 湖南省环境保护厅, 湖南省质量技术监督局. 重金属污染场地土壤修复标准: DB43/T 1125—2016[S]. 湖南省环保厅, 2016.
- [13] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [14] 柴世伟, 温琰茂, 韦献革, 等. 珠江三角洲主要城市郊区农业土壤的重金属含量特征[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2004, 43(4): 90-94.

(上接第41页)

- [7] 马剑敏, 成水平, 贺锋, 等. 武汉月湖水生植被重建的实践与启示[J]. *水生生物学报*, 2009, 33(2): 222-229.
- [8] 张聪, 贺锋, 高小辉, 等. 3种植植方式下水生植物恢复效果研究[J]. *植物研究*, 2012, 32(5): 603-608.
- [9] 陈小乌, 王海珍, 章永泰, 等. 不同种植方式对水生植物生长的影响[J].

资源开发与市场, 2010, 26(12): 1059-1061.

- [10] 刘全美, 程必胜, 祖国掌. 泊湖优质沉水植物的移植扩繁效果研究[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(36): 22353-22355, 22386.
- [11] 戴青松, 张翠英, 汪永进, 等. 秋季沉水植物对人工湖泊水质净化效果研究[J]. *湿地科学与管理*, 2014, 10(2): 38-41.
- [12] 刘建康. *高级水生生物学*[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 300.

科技论文写作规范——作者

论文署名一般不超过5个。中国人姓名的英文名采用汉语拼音拼写, 姓氏字母与名字的首字母分别大写; 外国人姓名、名字缩写可不加缩写点。