

南方稀土矿治理区不同治理年限的植物多样性研究

徐芮^{1,2}, 马秀丽^{1,2}

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福建福州 350007; 2. 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福建福州 350007)

摘要 选取稀土矿治理地为研究对象, 探讨了不同治理年限的稀土矿治理地植被恢复状况及其植物多样性变化。结果表明, 从时间上看, 随着治理年限的增加, 草本层 Patrick 丰富度指数呈上升的趋势, Alatalo 均匀度指数则反之, 灌木层 Alatalo 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数呈上升的趋势; 从空间上看, Alatalo 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数, 灌木层均大于草本层; 芒萁的盖度与高度随着治理年限的增加, 呈现上升的趋势。

关键词 稀土矿治理区; 治理年限; 植物多样性

中图分类号 S181.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)29-273-03

Study on Plant Diversity of Different Management Period in Rare Earth Elements Mining Area of Fujian Province, South China

XU Rui^{1,2}, MA Xiu-li^{1,2} (1. College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007; 2. State Key Laboratory Breeding Base in the Humid Subtropical Mountainous Region, Fuzhou, Fujian 350007)

Abstract The rare earth elements mining area of Fujian Province were selected, and the change of plant recovery and diversity in different management period was analyzed. The results showed that: in terms of time, Patrick richness index of field layer was higher with increasing of management time, but Alatalo homogeneity index was opposite. Alatalo homogeneity index and Shannon-Wiener diversity of shrub layer would drop with the time being. In the aspect of the space, the Alatalo homogeneity index, Shannon-Wiener diversity and Simpson dominance index of shrub layer was bigger than field layer. The covering degree and height of *Dicranopteris dichotoma* were on the rise with management time growing.

Key words Rare earth elements mining area; Management period; Plant diversity

南方红壤区面积达 $2.035 \times 10^6 \text{ km}^2$, 水土流失面积占 $6.0 \times 10^5 \text{ km}^2$, 是南方水土流失最严重的地区之一^[1]。特别是南方稀土矿区, 由于多年的开采区内冲沟、切沟和崩塌广布, 水土流失严重, 土壤养分大量流失, 形成大面积严重退化生态系统。植被重建是治理南方红壤区水土流失、改善土壤质量的重要措施之一。植物群落不仅是植被的重要组成部分, 而且还是植被生态学的研究对象之一^[2]。1870 年德国人洪宝德撰写了《植物地理学论》一书, 植被群落学也首次纳入研究之中^[3]。1957 年 Dansereau^[4]、Kershaw^[5] 分别对植被结构进行了定义, 并进一步完善它。20 世纪 70 年代末, 我国学者开始研究植物群落。其中, 王伯荪认为, 植物群落的结构是研究植物的种类组成及其种群特性, 研究群落的外貌、垂直结构和水平结构, 群落结构的确定是植物群落研究的必要基础^[6]。彭少麟研究指出, 群落中提到的物种多样性指群落中物种的数量、个体总数及各种多度的均匀程度的综合概念^[7]。所以, 群落在植被生态恢复中占据着重要的地位。一般来说, 群落多样性的研究多集中在物种多样性上。物种多样性是整个生态学研究的重点, 也是生物学研究的主要热点^[2]。天然的植物群落由一定数量的植物种类和个体组成。植物群落最基本的性质是不同植物种类和个体在一定生存环境下的聚集体^[8]。多样性分析与群落种类的机构和个体数量及空间分布相关^[9]。通过研究群落多样性, 可以获得样地群落与其他群落之间的异同性, 探讨植被的恢复程度, 为

生态修复措施的选择提供科学依据。多样性分析主要通过计算多样性的相关指数并进行比较。常见的多样性指标^[10-12]有物种多样性指数、均匀度指数、丰富度指数以及优势度指数。该研究用空间代替时间法和样方调查法, 探讨了不同治理年限下稀土矿治理区的植被恢复情况, 旨在指导该地区的植被恢复与群落多样性保护, 以期对相关地区的物种多样性保护和可持续利用提供理论依据^[13]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区地处福建省长汀县, 海拔 319 m, 属于中亚热带季风性湿润气候, 多年平均气温为 18.4°C , 1 月平均气温 8.0°C , 7 月平均气温 27.2°C , 无霜期 265 d。年降水量 $1\,700 \sim 2\,000 \text{ mm}$ ^[14], 降雨年内变化大, 多集中于 3~8 月, 占全年降雨量的 76%^[15]。土壤主要为花岗岩在湿热气候条件下风化淋溶形成的红壤、侵蚀红壤, 抗蚀性极差, 保水保肥能力低^[14]。水热同季, 有利于植被的生长^[14]。该研究区 20 世纪 80 年代为稀土矿开采废弃地, 地表裸露, 土壤抗蚀能力减弱, 水土流失现象严重。近几年来, 经过植被恢复措施, 已经取得了一定的成效, 水土流失也得到了遏制。

1.2 样方设计与群落调查 样方植物群落调查的时间为 2013 年 11 月。选取长汀县不同治理年限的 3 个稀土矿治理区和 1 个非稀土矿治理区进行植物群落样方调查。3 个稀土矿治理区的立地条件基本相似, 而非稀土矿治理区采取生态林草措施。稀土矿治理区每个样地选取 3 个植被长势相近的区域做 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的灌木样方, 在灌木样方内沿对角线做 2 个 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的草本样方。非稀土矿治理区选取 3 个植被长势相近的区域做 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的乔木样方, 在乔木样方内沿对角线做 2 个 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的灌木样方, 在灌木样方内做 2 个 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的草本样方。乔木样方 3 个, 灌木样方 15 个, 草本样

基金项目 福建省自然科学基金项目 (2013J01156); 国家科技支撑计划基金项目 (2013BAC08B03); 福建省科技重大专项 (2012NZ0002-1-5)。

作者简介 徐芮 (1990-), 女, 福建三明人, 硕士研究生, 研究方向: 水土保持与 GIS 研究应用。

收稿日期 2015-08-31

方 30 个。分别记录每株乔木(其中把 1.3 m 处胸径≥4.5 cm 的记为乔木)和灌木的种名、科名、株数、树高、枝下高(乔木)、地径、树冠幅、盖度等;记录草本种名、科名、草层高、分盖度、株丛数等。

1.3 不同治理年限稀土矿治理区现状景观 各稀土矿治理区采样地点均为面积较大的平台,治理措施皆为乔灌草措施,故可保证植被土壤演替的环境存在一致性。基本情况下:

牛屎塘稀土矿治理区(116°23′41.1″ E,25°36′11.2″ N)治理时间为 2006 年,植被覆盖度比较高,主要有 5 种植物:宽叶雀稗(*Paspalum wetsfeteini*)、马尾松(*Pinus massoniana* Lanb)、枫香(*Liquidambar formosana*)、木荷(*Schima superba*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)。调查显示芒萁已明显扩散,长势比较好,逐步代替其他的草本植物,盖度约为 72%。土地利用类型为采矿迹地。灌木主要以枫香、胡枝子为主,零星分布少数木荷、马尾松。枫香的树高平均为 176.7 cm,平均地径为 2.7 cm。

下坑稀土矿治理区(116°24′57.1″ E,25°36′33.0″ N)治理时间为 2008 年,主要的植被类型有宽叶雀稗、芒萁、枫香、木荷等,宽叶雀稗盖度约为 68%,芒萁比较矮小,长势不如牛屎塘,盖度约为 6%。灌木主要以枫香、木荷为主,其中枫香的平均树高为 190 cm,地径约为 5.4 cm。土壤采样过程中发现有明显的粘层,水土流失现象较为严重。

三洲桐坝稀土矿治理区(116°23′41.1″ E,25°36′11.2″ N)治理时间为 2011 年,地上草本植被基本上是宽叶雀稗,盖度约为 73%,草丛高约为 85 cm。芒萁的长势较下坑更为矮小,平均丛高为 5.3 cm。有裸露的地面。

龙颈样地(116°27′37.6″ E,25°39′31.9″ N)作为稀土矿治理区的对照地,治理时间为 2006 年,治理措施为生态林草措施。选择适宜的乡土物种,乔、灌木以木荷、马尾松为主,草本以芒萁、五节芒为主,并且辅助施肥措施,促进植物生长。乔、灌木层马尾松的树高分别约为 8.3、2.5 m。地表几乎被芒萁全部覆盖,盖度均在 90% 以上。

1.4 群落多样性指标 通过研究群落多样性,可以获得样地群落与其他群落之间的异同性,探讨植被的恢复程度,为

生态修复措施的选择提供科学依据。多样性分析主要通过计算多样性的相关指数并进行比较。常见的多样性指标^[10-12]有物种多样性指数、均匀度指数、丰富度指数以及优势度指数。

丰富度指数采用 Patrick 指数:

$$R = S \tag{1}$$

均匀度指数指群落中物种个体的数量以及分布的均匀程度,采用 Alatalo 指数:

$$E_a = (\sum P_i^2 - 1) / [\exp(-\sum P_i \lg P_i) - 1] \tag{2}$$

多样性指数表示群落内物种多样性的程度,采用 Shannon-Wiener 指数:

$$HP = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \tag{3}$$

生态优势度指数反映了各物种种群数量的变化情况,生态优势度指数越大,说明群落内物种数量分布越不均匀,优势种的地位越突出。采用 Simpson 指数:

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^S N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)} \tag{4}$$

式中, S 是样本中观察到的物种数, N 为样本中观察的总个体数, N_i 为样地 i 中的个体数。 $P_i = N_i/N$,即第 i 个物种的相对多度。

2 结果与分析

2.1 群落物种多样性变化

2.1.1 Patrick 丰富度指数。从表 1 可知,随着治理年限的增加,草本层 Patrick 丰富度指数呈现上升的趋势,牛屎塘最大,为 6。但灌木层 Patrick 丰富度指数比较稳定,没有大幅度的变化,三洲桐坝达到最大,为 7。从空间上看,稀土矿治理区 3 个样地治理时间越长,草本层 Patrick 丰富度指数逐渐大于灌木层,而对照区龙颈草本层与灌木层之间并没有明显的变化。

2.1.2 Alatalo 均匀度指数。从 Alatalo 均匀度指数方面看,治理时间越长,草本层的 Alatalo 均匀度指数越来越小,牛屎塘和对照区龙颈最小 1.69,但灌木层的 Alatalo 均匀度指数呈上升的趋势,牛屎塘最大为 3.45。在空间分布上,草本层的 Alatalo 均匀度指数总是小于灌木层。

表 1 不同恢复年限下的植物群落多样性

样地	治理年限	丰富度指数		多样性指数		均匀度指数		优势度指数	
		草本	灌木	草本	灌木	草本	灌木	草本	灌木
牛屎塘	2006	6	5	0.47	0.65	1.69	3.45	0.51	0.70
下坑	2008	5	5	0.36	0.62	1.86	3.21	0.45	0.90
三洲桐坝	2011	4	7	0.53	0.59	2.63	2.64	0.89	0.78
龙颈	2006	4	4	0.30	0.39	1.69	2.41	0.77	0.58

2.1.3 Shannon-Wiener 多样性指数。从 Shannon-Wiener 多样性指数可知,随着治理年限的增加,草本层并没有明显的变化趋势,3 个稀土矿治理区中 Shannon-Wiener 多样性指数下坑最小,为 0.36,三洲桐坝最大,为 0.53。灌木层随着治理年限的增加,多样性指数呈现上升的趋势,牛屎塘最大为 0.65。从空间分布上可知,Shannon-Wiener 多样性指数灌木

层大于草本层,最大差为下坑,差值为 0.26。

2.1.4 Simpson 优势度指数。从表 1 可知,随着治理时间的越长,Simpson 优势度指数无论是草本层还是灌木层并没有明显的变化规律,草本层优势度指数最大是三洲桐坝,为 0.89,灌木层最大为下坑,优势度指数为 0.90。从空间分布上可知,除了三洲桐坝和对照区龙颈以外,其他 2 个样地优

势度指数都是灌木层大于草本层,差异最为明显的为下坑。

2.2 稀土矿治理区芒萁生长特性 由图 1 可知,从 2011 年治理的三洲桐坝到 2008 年治理的下坑,芒萁的平均盖度以及平均高度增加得很缓慢,但是到 2006 年治理的牛屎塘,变化趋势明显,芒萁的高度和盖度远远大于下坑和三洲桐坝。总体上,随着治理年限的增加,芒萁的盖度与高度呈现上升的趋势。对照区龙颈与牛屎塘治理年限相近,治理措施为生态林草措施,芒萁的盖度达到 90% 以上,高度达到 85 cm。

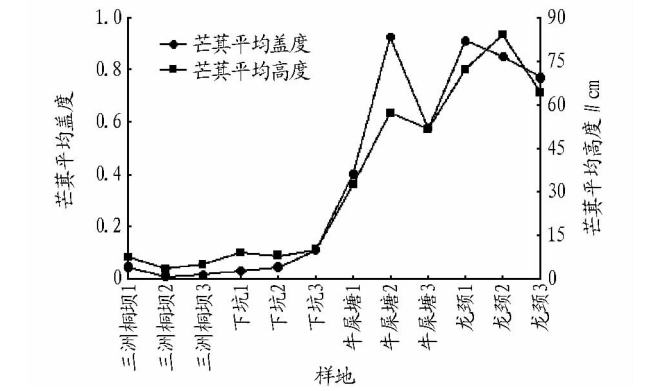


图 1 不同治理年限芒萁生长特征

3 结论与讨论

从时间上看,随着治理年限的增加,草本层 Patrick 丰富度指数呈上升的趋势,Alatalo 均匀度指数则反之,灌木层 Alatalo 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数呈上升的趋势;从空间上看,Alatalo 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数,灌木层均大于草本层;芒萁的盖度与高度随着治理年限的增加,呈现上升的趋势。

土壤是植物生长的场所和营养来源,土壤侵蚀会导致侵蚀区植物受到严重的破坏,进一步干扰整个生态系统的稳定性^[9]。因此,生态系统一旦被破坏,必将导致整个自然环境无法发挥功能,人类活动也将受到不可避免的影响。长汀县稀土矿区长期以来受到人为破坏极为严重,矿沟内水土流失严重形成大面积的退化生态系统。恢复矿区植被,形成自我维持、长效稳定的生态系统,改善生态环境和促进生态发展,是长汀县稀土矿治理区生态建设急需解决的问题。植物物种多样性是矿区恢复过程中群落变化的重要指标,植物群落的稳定性与植物多样性有着密切关系。物种的丰富度反映了一个群落中物种种数的多少。从表 1 可知,随着治理年限的增加,草本层物种数也呈上升的趋势,而灌木层比较稳定,这可能与治理时间有关。牛屎塘治理时间最长,所以生态环境得到一定的稳定,本地的野生草本植物逐渐繁殖扩散,而三洲桐坝治理时间最短,矿区内只有一些人工栽培品种。灌木层的物种数可能与人工种植有关。草本层 Alatalo 均匀度指数与治理年限存在明显的负相关,这可能因三洲桐坝是 2011 年治理的,人工种植的乡土草本水土保持植物宽叶雀稗仍然占据着主导地位,对群落的影响比较大。但是牛屎塘和下坑分别是 2006、2008 年治理的,一些野生的草本植物已逐渐取代人工栽培品种,特别是牛屎塘,芒萁的覆

盖度已达到 72%。

从表 1 可知,随着治理年限的增加,草本层 Shannon-Wiener 多样性指数并没有明显的变化规律,说明稀土矿治理区治理时间与 Shannon-Wiener 多样性指数并没有必然的联系,可能是因为群落 Shannon-Wiener 多样性指数受人类活动影响比较大。从 Simpson 优势度指数分析,草本层三洲桐坝优势度指数最大,群落内物种数分布最不均匀,这与稀土矿区治理时间有关。三洲桐坝人工栽培的草本植物并没有退化,而牛屎塘治理的时间比较长,野生草本植物已扩散,并将逐渐取代人工栽培的水土保持植物。而灌木层的 Simpson 优势度指数与治理年限没有相关关系。

芒萁是南方红壤侵蚀区湿热条件下酸性土壤的指示植物^[16],耐贫瘠,喜阴湿环境,竞争能力顽强,形成单优势种群落^[17],成为水土保持植物的优良品种。治理南方长汀县稀土矿治理区水土流失,芒萁发挥着不可替代的作用。3 个稀土矿治理区芒萁的高度和盖度大致随着治理年限的增加呈上升的趋势。2011 年治理的三洲桐坝芒萁的高度不足 10 cm,盖度也只有 2% 左右。这是因为经过乔灌木措施的治理,辅助施肥,芒萁刚刚繁衍,此时,芒萁主要以一小丛生存于生态林草之下。而 2008 年治理的下坑与三洲桐坝相比差距很小,这是由于下坑稀土矿治理区附近的居民在此种植了玉米,破坏了芒萁的生长环境。2006 年治理的牛屎塘芒萁已占主导地位。这说明随着治理时间的增加,芒萁会逐渐取代人工种植的草本植物,成为稀土矿治理区水土保持的先锋植物,以期有效恢复南方植被,形成维持自我、稳定的生态系统,改善矿区生态环境和经济协调发展。

参考文献

- [1] 陈志强, 陈志彪, 陈海滨, 等. 南方红壤侵蚀区土壤肥力质量与人为活动可达的空间关系: 以福建省长汀县朱溪流域为例[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(1): 103-107.
- [2] 钟彦龙. 艾比湖湿地植物群落多样性研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2009.
- [3] 武吉华, 张坤. 植物地理学[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 1983: 1-15.
- [4] DANSEREAU P. Biogeography: An ecological perspective[M]. New York, USA: Ronald Press, 1957: 25-40.
- [5] KERSHAW K. The use of cover and frequency in the detection of pattern in plant communities[J]. Ecol, 1957, 38: 291-299.
- [6] 王伯荪. 植物群落学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987: 28, 50-76.
- [7] 彭少麟. 森林群落稳定性与动态测度: 年龄结构分析[J]. 广西植物, 1987, 7(1): 67-72.
- [8] 郑师章, 吴千红, 王海波, 等. 普通生态学: 原理、方法和应用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1993.
- [9] 朱鹤健, 陈志彪, 刘强, 等. 长汀水土保持研究[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [10] 张丽霞, 张峰, 上官铁梁. 芦芽山植物群落的多样性研究[J]. 生物多样性, 2000, 8(4): 361-369.
- [11] 马克平, 刘灿然, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 III. 几种类型森林群落的种-多度关系研究[J]. 生态学报, 1997, 17(6): 573-583.
- [12] 史作民, 程瑞梅, 刘世荣, 等. 宝天曼植物群落物种多样性研究[J]. 林业科学, 2002, 38(6): 17-23.
- [13] 茹文明, 张金屯, 张峰, 等. 历山森林群落物种多样性与群落结构研究[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 561-566.
- [14] 王红兵, 许炯心, 颜明. 影响土壤侵蚀的社会经济因素研究进展[J]. 地理科学进展, 2011, 30(3): 268-274.

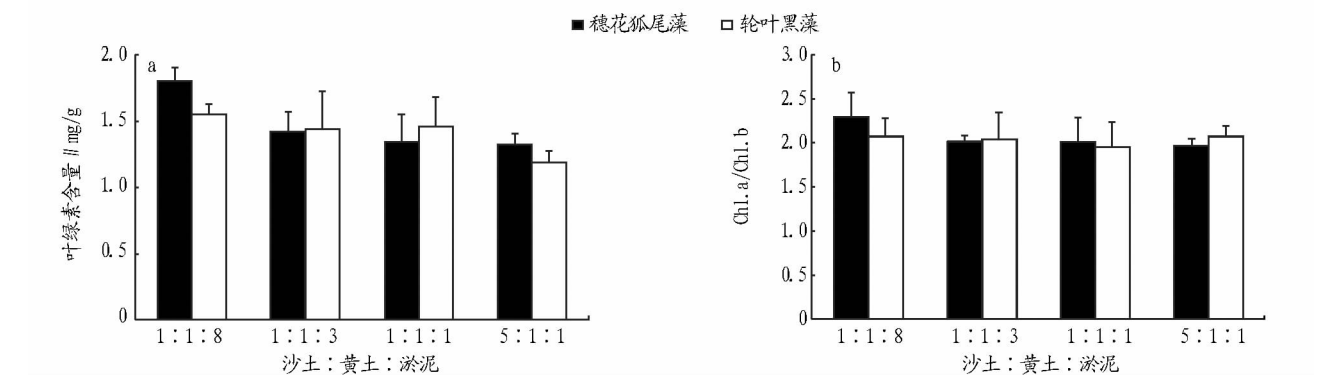


图2 不同基底对穗花狐尾藻和轮叶黑藻光合色素的影响

3 讨论与结论

在沉水植物恢复的限制因子中,底质的作用越来越受到关注,因为底质条件对沉水植物上生根、稳定生长和繁殖有重要影响。该试验选用3种常见的基底(沙土、淤泥、黄土)进行不同比例的掺混,沙土:黄土:淤泥=1:1:8的营养水平较高,沙土:黄土:淤泥=5:1:1最贫瘠,沙土:黄土:淤泥=1:1:3、沙土:黄土:淤泥=1:1:1的营养水平相近,最有利于植株生长的掺混基底为沙土:黄土:淤泥=1:1:8,沙土:黄土:淤泥=1:1:3、沙土:黄土:淤泥=1:1:1次之,最差的为沙土:黄土:淤泥=5:1:1,说明底质营养物质含量对植株影响较大。

株高和生物量的变化是植物形态变化的重要参数,在许多研究中以高植株、重生物量为植被生长良好的标志^[8-10]。生物量较大的沉水植物有利于吸收更多的营养元素以及扩展生存和繁衍的空间,而植株较高的沉水植物更容易接受充足的光照,进行光合作用提供继续生长所需的能量。该试验中4种不同比例的底质中,穗花狐尾藻的株高增量及生物量没有明显差异;轮叶黑藻在沙土:黄土:淤泥=1:1:8基底下列高增加较快,沙土:黄土:淤泥=1:1:3和沙土:黄土:淤泥=1:1:1基底下列高增量没有明显差异,在沙土:黄土:淤泥=5:1:1基底下列高增长较慢,而生物量以沙土:黄土:淤泥=1:1:1、沙土:黄土:淤泥=5:1:1最低。表明在营养条件较好的环境条件下有利于轮叶黑藻株高及生物量的增长。

研究表明,穗花狐尾藻和轮叶黑藻叶绿素含量和叶绿素a、b在胁迫条件下会下降^[11-13]。在沙土:黄土:淤泥=1:1:8基底下列受的胁迫最小,所以叶绿素的含量和Chl. a/Chl. b值都保持较高的水平,而在沙土:黄土:淤泥=5:1:1基底下列叶绿素含量及Chl. a/Chl. b的值最低,说明穗花狐尾藻和轮

叶黑藻在该基底下列受胁迫最大。

因此,在湖泊沉水植被恢复与重建时,需要根据不同沉水植物适应基底的差异性来构建水生植物群落;对不适宜沉水植物生长的基底需要进行一定的修复,保证沉水植物能够良好生长与种群扩张。沉水植物种类较多,需要对其他植物的适应基底做进一步研究,获得更多的基础参数,以满足湖泊生态恢复要求。研究基底营养水平对沉水植物生长的影响,也可以为预测沉水植物种群竞争及群落发展趋势提供参考。

参考文献

[1] 叶春,于海婵,宋祥甫,等.底泥对沉水植物生长和群落结构的影响[J].环境科学研究,2008,21(5):178-183.
[2] 陈开宁,陈小峰,陈伟民,等.不同基底对四种沉水植物生长的影响[J].应用生物学报,2006,17(8):1511-1516.
[3] 李明明,甘敏,牛建裕,等.河流重金属污染底泥的修复技术研究进展[J].有色金属科学与工程,2012,3(1):67-71.
[4] 李立欣.河湖底泥修复技术的研究进展[J].黑龙江环境通报,2008,32(4):27-29.
[5] 李垒,廖日红,牛影,等.不同特性底质对沉水植物恢复生长的影响[J].生态环境学报,2010,19(11):2680-2685.
[6] 叶春,于海婵,宋祥甫,等.基底条件和栽培方式对芦苇和香蒲生长发育的影响[J].环境科学研究,2008,21(1):59-63.
[7] 包先明,范成新,史刚荣.不同底质改良处理对三种挺水植物光合特性的影响[J].湖泊科学,2011,23(4):541-548.
[8] 楚建周.底质和水体营养状况对沉水植物的生理影响研究[D].保定:河北农业大学,2006.
[9] 温文科.亚洲苦草生长特点及浑浊水体生态修复技术研究[D].上海:上海海洋大学,2014.
[10] 张俊.底质性质对沉水植物生长的影响[D].南京:河海大学,2006.
[11] 胡勇有.植生型生态混凝土孔隙状态对植物生长的影响[J].华南理工大学学报,2006(12):5-9.
[12] 翟水晶,胡维平,邓建才,等.不同水深和底质对太湖马来眼子菜(*Potamogeton malianus*)生长的影响[J].生态学报,2008,28(7):3035-3041.
[13] 李宽意.基底类型对两种沉水植物种间关系的影响[J].生态学杂志,2009,28(12):2624-2627.

(上接第275页)

[15] 刘国平,胡朋,邵胜军,张琛.中国稀土资源在全球地位的评估[J].世界有色金属,2011(12):26-29.
[16] 邓恢,张梓萍,赵永建,等.种植类芦后林地芒萁生长变化的分析

[J].福建水土保持,2004,16(1):55-57.
[17] 叶居新,洪瑞川,聂义如,等.芒萁植株浸出液对几种植物生长的影响[J].植物生态学与地植物学学报,1987,11(3):203-211.