

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.03.020

化感植物-填料浮床装置的设计与应用

武延坤¹,朱嘉成²,高静思¹,朱佳¹,周利²,梁栋³

(1. 深圳职业技术学院城市水良性循环利用工程技术开发中心,广东 深圳 518055;
2. 青岛理工大学环境与市政工程学院,山东 青岛 266033; 3. 深圳市水质检测中心,广东 深圳 518055)

摘要:将传统浮床与水生植物的化感作用相结合,并配合生物填料,设计了化感植物-填料浮床装置。该浮床装置中的植物选择了香菇草,浮床填料分别选择了砾石、麦饭石、果壳、活性氧化铝、聚氨酯。该装置的应用结果表明:①香菇草种植水对于铜绿微囊藻的生长具有良好的化感抑制效果;②除果壳填料外,4 种填料都能显著改善试验水质,有效降低水体中的 Chl-a 质量浓度;③化感植物-填料浮床装置能有效降低富营养化水体中的 COD_{Mn}、TN、TP 质量浓度和浊度等理化指标,并使水体中的 DO 显著升高,消除水体黑臭。

关键词:富营养化;浮床;水生植物;化感作用;生物填料;水质净化;香菇草

中图分类号:X17 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2016)03-0105-06

Design and application of allelopathic plant-filler floating bed

WU Yankun¹, ZHU Jiacheng², GAO Jingsi¹, ZHU Jia¹, ZHOU Li², LIANG Dong³

(1. The Engineering Technology Development Center of Urban Water Recycling, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China;
2. School of Environmental and Municipal Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266033, China;
3. Shenzhen Water Quality Monitoring Center, Shenzhen 518055, China)

Abstract: An allelopathic plant-filler floating bed was developed through the integration of the allelopathy of aquatic plants and conventional floating beds and by the use of biological fillers. *Hydrocotyle vulgaris* was chosen as the experimental plant, and gravel, maifanite, shell, activated alumina, and polyurethane were chosen as the fillers of the floating bed. The experimental results are as follows: (1) The planting water of *Hydrocotyle vulgaris* can effectively inhibit the growth of *Microcystis aeruginosa*. (2) Except for the shell, the other four fillers can significantly improve the water quality and effectively reduce the concentration of chlorophyll a. (3) The allelopathic plant-filler floating bed can effectively reduce the concentrations of COD_{Mn}, TN, TP, and the turbidity in eutrophic water, increase the dissolved oxygen in the water, and remove the odor.

Key words: eutrophication; floating bed; aquatic plants; allelopathy; biological fillers; water purification; *Hydrocotyle vulgaris*

随着人口数量的增长和工业化程度的日益加剧,越来越多的含有氮、磷等营养物质的废污水排入水体,造成水体的富营养化。我国自 20 世纪 80 年代以来,由于经济的急速发展和环境保护的相对滞后,许多湖泊、水库已进入富营养化状态,甚者严重富营养化状态,如滇池、太湖、西湖、东湖、南湖、玄武湖、渤海湾、莱州湾、九龙江、黄浦江等。根据 2013 年《中国环境状况公报》,在我国环保部监测的 61 个国控重点湖泊(水库)中,富营养状态的湖泊(水库)比例为 27.8%,Ⅳ~Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的湖泊

基金项目 国家水利部公益性行业科研专项(201301047)

作者简介:武延坤(1979—),女,讲师,博士,主要从事水务信息化、复杂工业过程建模与控制。E-mail:wyk2009@szpt.edu.cn

通信作者:朱嘉成。E-mail:786943210@qq.com

(水库)比例分别为 27.4% 和 11.3%。

水体富营养化导致藻类爆发性生长,严重危害供水水质安全。藻类释放的藻毒素通过食物链进入水生动物或人体,蓝藻水华的次生代谢产物能损害肝脏,具有致癌作用,直接威胁人类的健康和生命^[1-2]。

目前,藻类控制技术已经取得了一些进展,主要包括:利用食藻鱼类或浮游动物控制水体中藻类的浓度^[3-4],利用浮床陆生植物控制水体富营养化^[5-6],利用改性黏土除藻^[7-8]和使用除藻剂控制水体中的藻类浓度^[9]等。

本研究利用植物的化感作用和生物填料的截留作用,研发了一种名为“化感植物-填料浮床”的新型水体藻类控制和水质原位净化装置,其原理是将特定生物填料与化感植物组合形成漂浮于水面的水体修复及造景装置,其填料模块的一侧或两侧设置微型推流器,边缘镶嵌太阳能电池板,利用太阳能为推流器提供动力,促使水流进入填料内部,在内部利用填料的过滤作用、微生物的生物化学作用、化感植物的化感作用形成复合反应系统去除水中的有机物、悬浮物、藻类及氮磷等,净化水质,修复水体。

1 材料与方法

1.1 试验材料

我国众多河流湖泊中连年暴发水华的藻种多为铜绿微囊藻^[10],因此,植物化感作用研究以铜绿微囊藻作为试验对象。选择香菇草来研究香菇草种植水对于铜绿微囊藻的化感抑制作用。研究填料截留性能的试验,则选取麦饭石、活性氧化铝、砾石、果壳、聚氨酯 5 种填料作为试验材料。

1.2 试验方法

在植物化感作用研究中,空白对照组培养基用超纯水配制;共培养组采用香菇草种植水配制培养基,试验前取香菇草种植水 1 000 mL,用 0.22 μm 微孔滤膜过滤以消除微生物的影响。将超纯水和抽滤过后的种植水盛装在 3 000 mL 三角瓶中,并按 BG11 培养基配方投加各组分,加入藻种 2 mL 后进行试验。试验在光照培养箱中进行,光暗比为 14:10,培养温度为 25℃。每个处理组都设置了 2 组平行试验。试验期间,每天取 10 mL 共培养藻液,采用调制荧光仪(PHYTO-PAM 叶绿素荧光仪, Walz 公司,德国)检测铜绿微囊藻的 Chl-a 质量浓度。

填料截留性能试验在长 4.8 m、宽深均为 0.6 m 的水槽中进行,槽中水深 0.4 m。在水槽中部布置了 2 m 长、0.6 m 宽(与水槽宽度一致)、0.4 m 高(与水深一致)的填料层,并水槽中加装推流装置,以模

拟浮床中的太阳能推流系统。每种填料测试 30 d,槽中水不断由蠕动泵加入、由排出管排出,水力停留时间为 5 d。在水槽一端加入潜水泵抽水,再由另一端出水,使水流在水槽内部实现循环,水槽中的水处于完全混合状态。试验期间每天早、中、晚 3 次取试验水槽中的水,每次取 1 组平行样,测试水体中 DO 质量浓度、浊度、pH 值、Chl-a 质量浓度、光合活性等指标的值。

2 试验结果

2.1 植物化感作用

化感作用是指在一个植物群落里植物和微生物通过释放化学物质促进或抑制其他个体或自体的现象^[11]。化感作用也称异株克生、相生相克、化学互感。其中,用于传递信息或作为媒介的化学物质被称为化感物质或化学信息物质。化感物质几乎都是植物的次生代谢物,主要存在于植物的根、茎、叶、花、果实或种子中,一般相对分子质量较小,结构较简单。化感物质作用的特点主要有:①选择性和专一性。一般一种化感物质只对几种或某一类植物(或微生物)有抑制或促进作用,而对其他植物(或微生物)没有抑制或促进作用。②复合效应。多种化感物质混合后,会产生复合效应,混合物可能具有更强的作用或效果。③功能多样性。化感物质除对植物和微生物产生作用外,还具有许多其他功能^[12-13]。

已有研究发现众多植物(包括陆生植物、沉水植物及少量挺水植物)能分泌抑制藻类生长的化感物质,如:菖蒲^[14-15]、篦齿眼子菜^[16]、狐尾藻^[17]、金鱼藻^[18]、苦草^[19]、芦竹^[20]、加拿大一枝黄花^[21]等。本研究所选用香菇草较上述植物具有的优势在于不仅是观赏植物,而且可直接在水中生长,能作为浮床植物加以培养。

图 1 为香菇草种植水中铜绿微囊藻的生长曲线。从图 1 可以看出,香菇草种植水能抑制铜绿微囊藻的生长。至试验末期(第 18 天),空白对照组、香菇草种植水组的 Chl-a 质量浓度分别为 515.8 μg/L 和

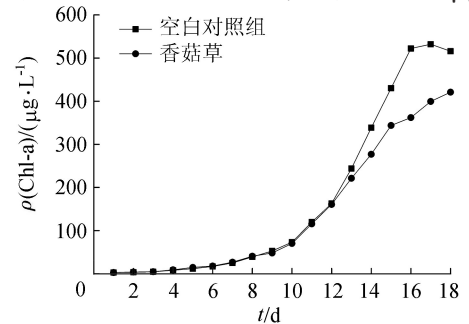


图 1 香菇草种植水中铜绿微囊藻的生长曲线

420.97 $\mu\text{g/L}$ 。

试验证明,香菇草种植水对于铜绿微囊藻的生长具有良好的抑制效果,故在化感植物-填料浮床中选择香菇草作为装置中的化感抑藻植物。

2.2 填料截留性能

试验发现,5 种填料,除果壳填料外,都对水库水质有明显的改善效果。果壳填料由于自身所含有有机物质较多,加入试验水体后,水中 TOC 2 d 之内从原来的 11.2 mg/L 飙升到 40 mg/L 以上。随着试验的进行,各水质指标也发生恶化,色度臭阈值均明显升高,水中 DO 质量浓度几乎降为 0,水生态遭到严重破坏。

图 2 为各实验组及水库原水的浊度随时间的变化曲线。从图 2 可以看出,各种填料对浊度都有良好的去除效果,试验 5 d 后,各填料组的浊度都降至 5 NTU 以下。对浊度的去除效果最好的是麦饭石填料,接下来依次为砾石、聚氨酯和活性氧化铝。试验后期,聚氨酯和活性氧化铝组的浊度保持稳定,但砾石和麦饭石组的浊度有所升高,但仍低于 5 NTU。

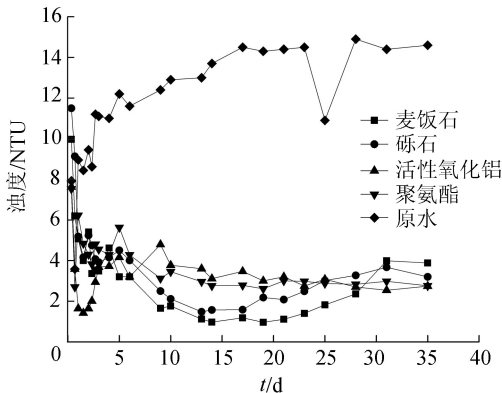


图 2 各实验组及水库原水的浊度随时间变化曲线

图 3 为各实验组及水库原水的 Chl-a 质量浓度随时间的变化曲线。从图 3 可以看出,各种填料对 Chl-a 都有良好的去除效果,填料的加入显著降低了水体中的藻类浓度。试验 10 d 之后,各填料组的

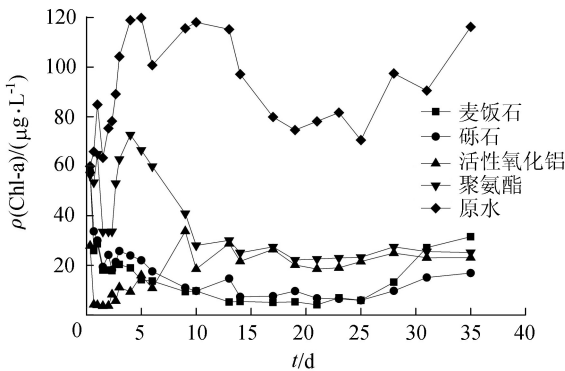


图 3 各实验组及水库原水的 Chl-a 质量浓度随时间变化曲线

Chl-a 质量浓度都降至 30 $\mu\text{g/L}$ 以下。结合微宇宙正交试验所得出的结论,可知填料的加入能有效降低藻类大规模暴发的风险。对 Chl-a 去除效果最好的是麦饭石填料,接下来依次为砾石、聚氨酯和活性氧化铝。试验后期,聚氨酯和活性氧化铝组的 Chl-a 质量浓度保持稳定,而麦饭石和砾石组的 Chl-a 质量浓度略有上升。

图 4 为麦饭石、砾石、活性氧化铝、聚氨酯 4 种填料对 Chl-a 的去除率随时间的变化曲线。从图 4 可以看出,试验第 10 天各填料对于 Chl-a 去除率大小排序依次为:麦饭石>砾石>活性氧化铝>聚氨酯。

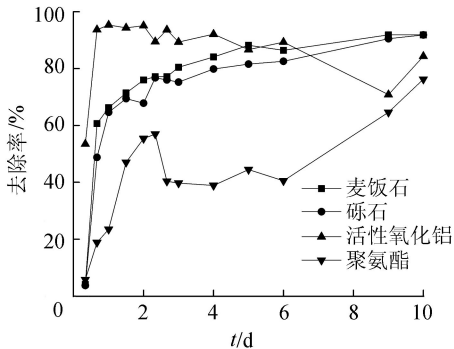


图 4 4 种填料对 Chl-a 的去除率随时间变化曲线

在砾石、麦饭石、果壳、活性氧化铝、聚氨酯这 5 种浮床填料中,除果壳填料外,4 种填料都能显著改善试验水质,有效降低水体中的 Chl-a 质量浓度,即降低水体中的藻类浓度。4 种填料对富营养化水体的水质改善效果由高到低依次为:麦饭石>砾石>活性氧化铝>聚氨酯。

3 工程实例

3.1 装置设计

图 5 为化感植物-填料浮床装置示意图。装置包括箱体 1、设置于箱体 1 顶沿周围的支架 3 以及设置在支架 3 上的遮光组件太阳能电池板 5,箱体 1 的顶板、底板、前侧板和后侧板布满连通箱体 1 内外的孔,箱体 1 的左侧板和右侧板上无孔,箱体 1 内填充的生物填料 7,箱体 1 上部种植水生化感植物 6,箱体 1 的前侧板、后侧板的外侧设置用于将水推向箱体 1 内的推流器 2,推流器 2 与太阳能电池板 5 连接。箱体 1 的左侧板和右侧板采用不锈钢板,箱体 1 的顶板、底板、前侧板和后侧板由肋条 11 和土工格栅 12 构成,生物填料 7 透过土工格栅 12 作用于水体。

化感植物 6 位于浮床的最上方,能通过植物的化感作用抑制藻类生长,同时化感植物 6 还可营造水面景观,通过光合作用净化空气,调节环境温度,为鸟类和鱼类创造良好的生存条件。化感植物 6 与遮光组

表 1 治理前河道水质状况

水样 编号	$\rho(\text{DO})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TP})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	浊度/ NTU	透明度/ cm	pH
1	0.36	40	15.21	0.85	8.60	16	7.84
2	1.44	45	8.81	0.88	11.30	16	7.68
3	0.11	43	8.04	0.83	9.10	18	7.77
4	0.37	40	8.89	1.08	8.30	18	7.85
5	0.41	44	10.98	0.92	8.70	16	7.81
6	0.38	46	9.81	0.88	9.10	18	7.78
7	0.35	51	8.84	0.93	9.00	17	7.76
8	0.41	42	9.19	1.01	9.60	16	7.93
9	0.36	39	8.87	0.85	8.80	18	7.88
10	0.67	41	8.74	0.86	8.70	16	7.83
11	0.55	44	8.89	0.93	10.20	18	7.67
12	0.51	38	9.21	1.03	9.40	17	7.71
13	0.67	41	9.13	0.98	9.30	16	7.82

从表 1 可以看出:治理前河道内主要理化指标 DO、COD、TP、TN、NH₃-N 的质量浓度显示该水体为劣 V 类。水体中 DO 较低,处于缺氧、厌氧状态($\rho(\text{DO}) > 2 \text{ mg/L}$ 时,水体处于好氧状态; $\rho(\text{DO}) < 0.2 \text{ mg/L}$ 时,水体处于厌氧状态;DO 质量浓度介于两者之间为缺氧状态),水体中有机物、营养盐含量较高,尤其是 N、P 含量远远超出地表水 V 类水体标准限制,水体富营养化现象严重,有机物氧化分解,大量耗氧,导致水体缺氧、厌氧,极易引发黑臭及水华现象。

针对该河道水体发臭的情况,在河道中布置了化感植物-填料浮床装置 30 组,分别安装在河道沿岸两侧。具体安装位置见图 7。

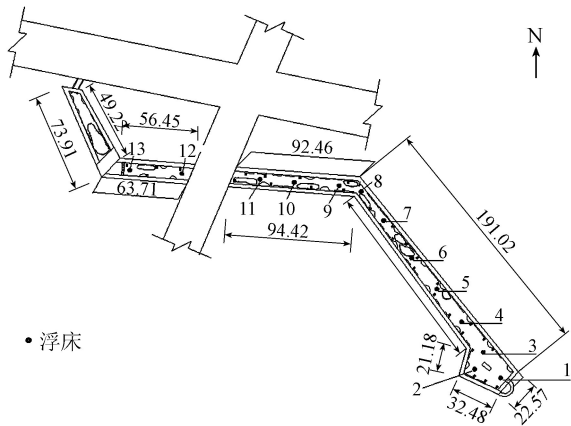


图 7 浮床安装位置示意图(单位:m)

化感植物-填料浮床装置运行了 3 个月后,在 13 个测试点分别取样测试河水中 $\rho(\text{DO})$ 、浊度、 $\rho(\text{TN})$ 、 $\rho(\text{TP})$ 、pH、 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$,以考察浮床设置对河道水质的沿程改善情况。污床设置后水质改善情况见表 2。通过对浮床设置前后河道各水质指标的对比,结合图 8 和 9,可知在布设了化感植物-填料浮床装置后,河水中 COD_{Mn} 、TN、TP 质量浓度和浊度均有显著下降, COD_{Mn} 质量浓度下降了 30 mg/L 以

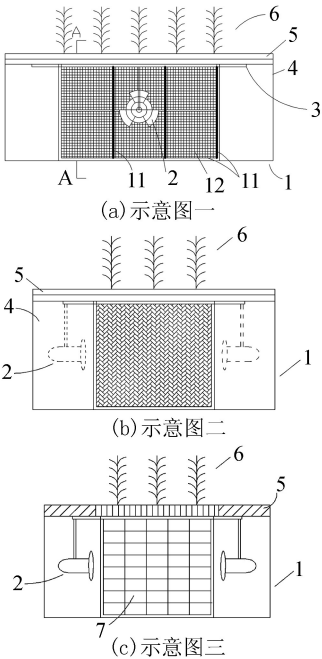


图 5 化感植物-填料浮床装置示意图

件太阳能电池板 5 协同作用,降低藻类生物活性。
处于推流器 2 两侧的支撑板 4 同时作为导流板,与推流器 2 一起使水进入箱体 1 内,通过生物填料 7,一方面带动水循环起来,提高水景观的生命力;另一方面把失活的藻类推入生物填料 7 内部,与被生物填料 7 截留的悬浮物逐渐结成团向下蠕动,最终沉入水底,使藻类得以去除。
图 6 为浮床水上状态示意图。带箭头的虚线表示在推流器 2 作用下形成的水流。在本工程实例中,选取的高效能生物填料为聚氨酯。

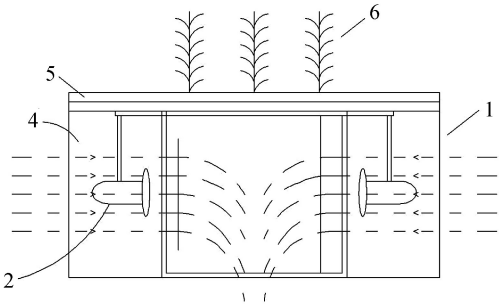


图 6 浮床水上状态示意图

3.2 应用实例

利用设计的化感植物-填料浮床装置在某河道中进行水质实际改善效果应用研究。该河段治理段长约 400 m,水面面积约 4 000 m²,水深约 1~2 m。
化感植物-填料浮床装置投入河道治理前,河道底部有管道,向河道中排放大量污水;河道周边有居民区,分布大量餐馆、宾馆,有居民生活污水、餐饮废水排放入河道,河道水体发黑发臭。在化感植物-填料浮床装置安装前,在河道沿程设置了 13 个测试点,点位设置见图 7,河道水质状况见表 1。

表 2 浮床设置后水质改善情况

水样标号	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{DO})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	浊度/NTU	pH	透明度/m
1	5.90	0.89	<0.01	12.18	4.15	2.56	8.9	1.4
2	5.72	0.61	<0.01	6.971	3.78	3.65	8.91	1.3
3	5.93	0.55	<0.01	6.539	3.95	3.49	8.92	1.3
4	5.79	0.8	<0.01	6.733	4.21	2.43	8.66	1.55
5	6.04	0.72	<0.01	6.573	4.18	3.58	8.74	1.45
6	5.86	0.75	<0.01	6.803	4.24	2.18	8.72	1.5
7	6.52	1.67	<0.01	6.893	4.08	3.01	8.63	1.4
8	6.04	0.77	0.0225	6.904	4.04	2.36	8.6	1.3
9	6.12	0.88	<0.01	6.792	3.85	1.98	8.62	1.5
10	6.41	0.92	<0.01	6.982	3.88	2.49	7.98	1.3
11	6.08	0.96	<0.01	7.102	3.7	3.09	8.68	1.4
12	5.64	1.09	<0.01	7.005	3.43	2.13	8.67	1.35
13	5.72	1.09	<0.01	6.985	3.12	2.78	8.17	0.9

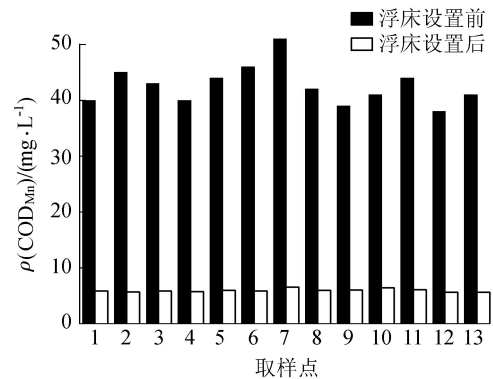


图 8 浮床设置前后各取样点 COD_{Mn} 质量浓度对比

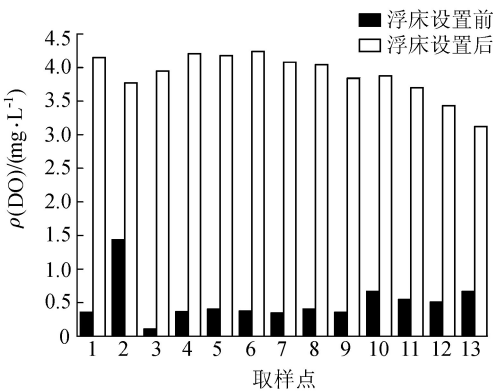


图 9 浮床设置前后各取样点 DO 质量浓度对比

上。DO 质量浓度显著提高,河道各点 DO 质量浓度均在 3.85 mg/L 以上,河水状态由缺氧转为好氧。

4 结 论

- a. 香菇草种植水对铜绿微囊藻的生长具有良好的化感抑制效果。
- b. 砾石、麦饭石、果壳、活性氧化铝、聚氨酯这 5 种浮床填料,除果壳填料外,均能显著改善水质,有效降低水体中的 Chl-a 质量浓度。
- c. 化感植物-填料浮床装置不仅造型新颖美观,营造了水面景观,还能有效改善富营养化水体水质,

降低水体中有害藻类的浓度,实现水体的原位净化。
但是,对本研究中香菇草中含有的化感物质成分及其对铜绿微囊藻的化感抑制机理,还需要进行更加深入的研究。

参考文献:

[1] CODD G A, BELL S G, KAYA K, et al. Cyanobacterial toxins, exposure routes and human health [J]. European Journal of Phycology, 1999, 34 (4) : 405-415.

[2] RAO P V L, BHATTACHARYA R. The cyanobacterial toxin microcystin-LR induced DNA damage in mouse liver in vivo [J]. Toxicology, 1996, 114 (1) : 29-36.

[3] 郭匿春. 浮游动物与藻类水华的控制 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2007.

[4] SMITH D W. Biological control of excessive phytoplankton growth and the enhancement of aquacultural production [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1985, 42 (12) : 1940-1945.

[5] 李伟, 李先宁, 曹大伟, 等. 组合生态浮床技术对富营养化水源水质的改善效果 [J]. 中国给水排水, 2008, 24 (3) : 34-38. (LI Wei, LI Xianning, CAO Dawei, et al. Effect of combined ecological floating bed technology on improvement of eutrophic source water quality [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24 (3) : 34-38. (in Chinese))

[6] LI M, WU Y J, YU Z L, et al. Nitrogen removal from eutrophic water by floating-bed-grown water spinach (ipomoea aquatica forsk.) with ion implantation [J]. Water Research, 2007, 41 (14) : 3152-3158.

[7] 樊平, 杨维东, 李宏业, 等. 季铵盐改性黏土对铜绿微囊藻的去除研究 [J]. 环境科学与技术, 2011, 34 (11) : 91-94. (FAN Ping, YANG Weidong, LI Hongye, et al. Removal of microcystis aeruginosa by modified clay with quaternary ammonium surfactant [J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34 (11) : 91-94. (in Chinese))

[8] PAN G, ZOU H, CHEN H, et al. Removal of harmful cyanobacterial blooms in Taihu Lake using local soils III :

factors affecting the removal efficiency and an in situ field experiment using chitosan-modified local soils [J]. Environmental Pollution, 2006, 141 (2) : 206-212.

[9] PANG C C, FAN X J, ZHOU J, et al. Optimal dosing time of acid algaecide for restraining algal growth [J]. Water Science and Engineering, 2013 (4) : 402-408.

[10] PAN G, ZHANG M M, CHEN H, et al. Removal of cyanobacterial blooms in Taihu Lake using local soils I : equilibrium and kinetic screening on the flocculation of *microcystis aeruginosa* using commercially available clays and minerals [J]. Environmental Pollution, 2006, 141 (2) : 195-200.

[11] RICE E L. Allelopathy [M]. 2nd ed. New York : Academic Press, 1984.

[12] 连宾, 王进军, 陆玲. 植物与微生物的化感作用 [J]. 南京师大学报 (自然科学版), 2007, 30 (1) : 88-95. (LIAN Bin, WANG Jinjun, LU Ling. Research progress of allelopathy on microorganism to plant [J]. Journal of Nanjing Normal University (Natural Science Edition), 2007, 30 (1) : 88-95. (in Chinese))

[13] 和丽忠, 陈锦玉, 董宝生, 等. 国内植物化感作用研究概况 [J]. 云南农业科技, 2001 (1) : 37-41. (HE Zhongli, CHEN Jinyu, DONG Baosheng, et al. The overview of plants allelopathic effect [J]. Yunnan Agricultural Science and Technology, 2001 (1) : 37-41. (in Chinese))

[14] 张维昊, 周连凤, 吴小刚, 等. 菖蒲对铜绿微囊藻的化感作用 [J]. 中国环境科学, 2006, 26 (3) : 355-358. (ZHANG Weihao, ZHOU Lianfeng, WU Xiaogang, et al. Allelopathic effect of *Acorus calamus* on *microcystis aeruginosa* [J]. China Environmental Science, 2006, 26 (3) : 355-358. (in Chinese))

[15] HU G J, ZHANG W H, SHANG Y Z, et al. Inhibitory effects of dry *acorus calamus* extracts on the growth of two water bloom-forming algal species [J]. Journal of Applied Ecology, 2009, 20 (9) : 2277-2282.

[16] 陈德辉, 刘永定, 宋立荣. 篦齿眼子菜对栅藻和微囊藻的他感作用及其参数 [J]. 水生生物学报, 2004, 28 (2) : 163-168. (CHEN Dehui, LIU Yongding, SONG Lirong. The allelopathic effects and parameters of *Labyrinthula alga* on the *microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2004, 28 (2) : 163-168. (in Chinese))

[17] NAKAI S, INOUE Y, HOSOMI M, et al. Myriophyllum spicatum-released allelopathic polyphenols inhibiting growth of blue-green algae *microcystis aeruginosa* [J]. Water Research, 2000, 34 (11) : 3026-3032.

[18] 肖溪, 楼莉萍, 李华, 等. 沉水植物化感作用控藻能力评述 [J]. 应用生态学报, 2009, 20 (3) : 705-712. (XIAO Xi, LOU Lihua, LI Hua, et al. Algal control ability of allelopathically active submerged macrophytes [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20 (3) : 705-712. (in Chinese))

[19] 鲜鸣, 陈海东, 邹惠仙, 等. 沉水植物中挥发性物质对铜绿微囊藻的化感作用 [J]. 生态学报, 2006, 26 (11) : 3549-3554. (XIAN Ming, CHEN Haidong, ZOU Huixian, et al. Allelopathic activity of volatile substance from submerged macrophytes on *microcystis aeruginosa* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26 (11) : 3549-3554. (in Chinese))

[20] 洪喻, 胡洪营, 黄晶晶, 等. 不同溶剂提取芦竹化感物质对铜绿微囊藻生长的影响 [J]. 环境科学, 2008, 29 (11) : 3143-3147. (HONG Yu, HU Hongying, HUANG Jingjing, et al. Growth of *microcystis aeruginosa* affected by allelochemicals of *arundo donax* linn. extracted with different solvents [J]. Environmental Science, 2008, 29 (11) : 3143-3147. (in Chinese))

[21] HUANG Y, BAI Y, WANG Y, et al. Allelopathic effects of the extracts from an invasive species *solidago canadensis* L. on *microcystis aeruginosa* [J]. Letters in Applied Microbiology, 2013, 57 (5) : 451-458.

(收稿日期: 2015 - 04 - 15 编辑: 彭桃英)

+++++

(上接第 37 页)

[15] 燕文明, 刘凌, 王建中, 等. 长江流域与罗纳河流域生态修复对比探讨 [J]. 水电能源科学, 2009, 27 (1) : 64-67. (YAN Wenming, LIU Ling, WANG Jianzhong, et al. Comparison of ecological restoration research between Yangtze River Basin and Rhone Basin [J]. Water and Electricity Energy Science, 2009, 27 (1) : 58-61. (in Chinese))

[16] 张伟天. 加拿大流域水资源管理与水权制度 [J]. 中国给水排水, 2006, 22 (6) : 104-106. (ZHANG Weitian. Basin water resources management and water right system in Canada [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22 (6) : 104-106. (in Chinese))

[17] 张锋. 加拿大水资源综合利用 [J]. 水利水电快报, 2007, 28 (17) : 1-5. (ZHANG Feng. Water resources comprehensive utilization in Canada [J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2007, 28 (17) : 1-5. (in Chinese))

[18] 靳敏. 加拿大格兰德河流域管理经验及借鉴 [J]. 环境保护, 2006 (2) : 87-91. (JI Min. Experience on the management in the Grand River Basin and its reference for China [J]. Environmental Protection, 2006 (2) : 87-91. (in Chinese))

(收稿日期: 2015 - 05 - 03 编辑: 彭桃英)