

胡凯泉,许振成,曾 东. 8 种水生生物对富营养化水体的净化效果[J]. 江苏农业科学,2016,44(3):328-332.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.03.093

8 种水生生物对富营养化水体的净化效果

胡凯泉¹, 许振成², 曾 东²

(1. 湖南农业大学资源环境学院, 湖南长沙 410128; 2. 环境保护部华南环境科学研究所, 广东广州 510655)

摘要:选取 8 种水生动植物, 研究其静态条件下在富营养化水体中的生长状况以及各系统单元对水体中氮、磷及有机物的净化效果, 并对最优种植和放养密度进行筛选。结果表明, 合理的种植和放养密度能提高水体净化效果, 挺水植物组和沉水植物组对各水质指标的平均去除率明显高于鱼类组。对水质指标总氮(TN)、总磷(TP)、硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、氨态氮($\text{NH}_3 - \text{N}$)、化学需氧量(COD)去除效果比较结果: 挺水植物组中综合去除率最好的为风车草, 去除率分别为 95.55%、98.33%、62.09%、90.37%、58.80%, 沉水植物组中狐尾藻对 TN、TP、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、COD 的去除率分别为 98.63%、98.37%、64.56%、95.35%、58.66%。鱼类组罗非鱼对 TN、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、COD 的去除效果较好, 去除率分别为 47.3%、39.7%、32.03%; 鲢鱼对 TP 去除效果较好, 去除率为 89.77%; 鳙鱼对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除效果较好, 去除率为 59.78%; 罗非鱼对水质指标的 TN、TP、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、COD 综合去除能力分别为 811.11、106.11、69.72、661.11、1 073.33 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{g})$ 。

关键词:水生生物; 富营养化; 去除能力

中图分类号: X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)03-0328-04

水体富营养化问题已被广泛关注^[1-2], 水生生物是水环境生态系统的重要组成部分, 它们不仅能够对水体和底泥中的氮、磷和难降解有机污染物进行吸收、转化, 合成自身物质, 从而对富营养化水体起到净化作用, 而且还能调节水生态系统的物质循环速度, 增加水体生物多样性, 控制藻类生长, 有效提高水质, 改善生态环境^[3-10]。因此, 水生生物的生态修复是控制水体富营养化的重要环节并且由于其具有效率高、投资少、运转费用低、可实现原位修复和控制污染物等特点, 近年来受到国内外广泛关注。本研究通过模拟富营养化水体在静态条件下, 对比分析不同水生动植物生长特性、氮磷等营养物质吸收能力等方面的差异, 以期在水体富营养化防治控制技术应用中的生物遴选提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试物种

美人蕉、风车草、菖蒲、狐尾藻、金鱼藻、鲢鱼、鳙鱼、罗非鱼, 8 种材料均取自植物园和鱼苗场, 所选取的植物和鱼苗均生长状况良好且性状统一。用清水洗净后, 在试验条件下对各物种进行 7 d 适应性培养。为避免降雨对试验的影响, 试验在透明塑料薄膜钢结构棚内进行, 试验在 32 个长 77 cm、宽 56 cm、高 48 cm 的 160 L 白色塑料桶内进行, 试验水体体积为 140 L, 试验开始时在桶内铺 5 cm 厚底泥 20 kg, 试验期间

添加纯水来补充因蒸发等原因损耗的水分, 以保持水位。供试水体为模拟富营养化状态的水质, TN、TP、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、COD 浓度分别为 30.64、2.19、3.12、22.53、60.00 mg/L。

1.2 试验设计

试验分为 3 个组, 分别为挺水植物组(美人蕉 A、菖蒲 B、风车草 C)、沉水植物组(狐尾藻 D、金鱼藻 E)、鱼类组(鲢鱼 F、罗非鱼 G、鳙鱼 H), 挺水植物组设 4 个培养密度, 其他组分别设 4 个培养密度, 挺水植物组分别种 4、8、12、16 株, 以 A1、A2、A3、A4、B1、B2、B3、B4、C1、C2、C3、C4 表示; 沉水植物组分别种植 5、10、15、20 株, 以 D1、D2、D3、D4、E1、E2、E3、E4 表示; 鱼类组分别放养 2、4、6、8 尾, 以 F1、F2、F3、F4、G1、G2、G3、G4、H1、H2、H3、H4 表示; 自试验开始时每隔 7 d 进行采样, 采样时间为 09:00。

1.3 水质测定方法

水质总磷, 钼酸铵分光光度法; 水质氨氮, 纳氏试剂比色法; 水质总氮, 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法; 水质硝态氮, 紫外分光光度法; COD_{Cr} , 重铬酸钾法, 测定方法参照《水和废水监测分析方法(第 4 版)》。去除能力(M)计算公式:

$$M = \frac{(C_0 - C_i) \times L \times 1\,000}{d \times m} \quad (1)$$

式中: C_0 表示指标初始浓度, C_i 表示第 i 天浓度, L 表示体积, d 表示天数, m 为平均生物量。

2 结果与分析

2.1 不同物种单元的培养密度净化效果比较

3 种挺水植物的组合中各物种单元对于各项水质指标的去除效果见表 1, 随着试验时间的推移各项水质指标总体呈下降趋势, 并存在不同程度的差异, 各物种单元不同培养密度

收稿日期: 2015-09-16

基金项目: 国家科技重大专项(编号 2012ZX07206-004-02)。

作者简介: 胡凯泉(1990—), 男, 湖南永州人, 硕士研究生, 研究方向为水污染系统控制及生态修复。E-mail: 378736696@qq.com。

通信作者: 许振成, 教授, 博士生导师, 主要从事水污染系统控制及生态修复的研究与教学。E-mail: xuzhencheng@scies.org。

的去除效果也存在着明显的差异;各项检测指标的去除效果,美人蕉组、风车草组在试验结束时去除效果都以覆盖率为 53% 为优。各项检测指标的去除效果沉水植物组试验结束时去除效果以狐尾藻种植密度 D2 处理较好,为 357. 14 g/m³,

金鱼藻以种植密度 E3 处理最好,为 535. 71 g/m³(表 2);试验结束时鲢鱼和鳊鱼以放养密度的 F2、H2 处理为优,去除效果为 428. 57 g/m³,罗非鱼以放养密度 G3 处理最好,去除效果为 642. 85 g/m³(表 3)。本试验以最优培养密度进行研究。

表 1 挺水植物组试验前后各指标去除效果

指标	试验阶段	浓度(mg/L)											
		A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4
TN	试验前	30.64	30.55	30.84	30.42	30.22	30.31	30.86	30.44	30.56	30.54	30.85	30.21
	试验后	11.24	7.39	4.13	5.52	17.81	15.13	14.98	15.06	8.77	3.59	1.36	1.57
TP	试验前	2.19	2.27	2.28	2.18	2.16	2.22	2.28	2.48	2.14	2.13	2.21	2.16
	试验后	0.12	0.07	0.05	0.08	0.42	0.35	0.31	0.33	0.31	0.18	0.07	0.13
NO ₃ - N	试验前	3.12	3.03	3.21	3.13	3.18	3.16	3.32	3.12	3.18	3.17	3.26	3.13
	试验后	1.95	1.78	1.71	1.73	2.01	1.97	1.85	1.88	1.52	1.42	1.25	1.31
NH ₄ ⁺ - N	试验前	22.53	22.68	22.48	22.46	22.29	22.67	22.77	22.51	22.46	22.59	22.74	22.56
	试验后	8.75	5.54	3.61	3.83	9.59	6.03	5.06	5.24	5.82	3.47	3.12	3.21
COD	试验前	61.55	61.46	61.63	61.44	61.35	61.68	61.48	61.36	61.48	61.66	61.68	61.45
	试验后	38.25	31.43	27.57	28.26	41.35	40.46	38.17	39.14	34.58	28.48	25.57	27.43

表 2 沉水植物组试验前后各指标去除效果

指标	试验阶段	浓度(mg/L)							
		D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	E4
TN	试验前	30.43	30.58	30.69	30.12	30.51	30.74	30.56	30.44
	试验后	2.51	0.42	0.82	0.72	19.13	15.94	12.87	14.56
TP	试验前	2.09	2.08	2.29	2.38	2.13	2.24	2.16	2.18
	试验后	0.89	0.74	0.72	0.83	0.16	0.13	0.13	0.18
NO ₃ - N	试验前	3.06	3.19	3.25	3.15	3.17	3.06	3.21	3.15
	试验后	1.44	1.13	1.22	1.16	1.93	1.71	1.78	1.83
NH ₄ ⁺ - N	实验前	22.36	20.58	22.62	22.42	22.43	22.73	22.36	22.57
	试验后	2.42	1.05	1.26	1.18	11.61	8.26	6.04	7.48
COD	试验前	61.32	61.44	60.17	60.23	60.55	60.33	59.88	60.52
	试验后	33.14	25.73	28.29	27.16	42.39	41.77	40.74	42.87

表 3 水生动物组试验前后各指标去除效果

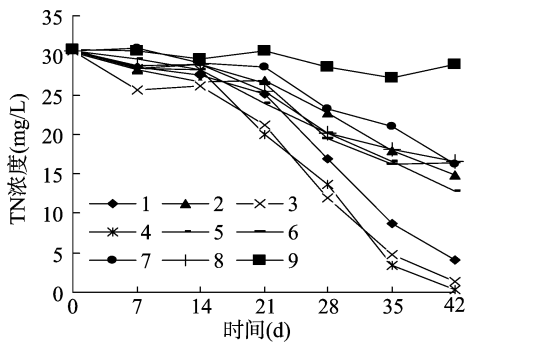
指标	试验阶段	浓度(mg/L)											
		F1	F2	F3	F4	G1	G2	G3	G4	H1	H2	H3	H4
TN	试验前	30.73	30.38	30.52	30.42	30.52	30.49	30.87	30.44	30.52	30.73	30.36	30.21
	试验后	19.05	16.40	18.96	17.52	19.64	18.11	16.27	16.55	20.46	16.40	18.41	17.54
TP	试验前	2.21	2.27	2.08	2.18	2.12	2.18	2.25	2.48	2.14	2.25	2.07	2.26
	试验后	0.37	0.13	0.43	0.33	0.61	0.57	0.34	0.33	0.41	0.13	0.34	0.37
NO ₃ - N	试验前	3.08	3.16	2.93	3.13	3.25	3.18	3.16	3.12	3.18	3.18	3.21	3.23
	试验后	2.09	1.95	1.94	1.97	2.27	2.04	1.90	2.08	2.08	1.75	2.11	1.91
NH ₄ ⁺ - N	试验前	22.46	22.68	22.67	22.56	22.64	22.44	22.49	22.54	22.27	22.65	22.47	22.54
	试验后	12.46	9.31	11.13	10.85	13.04	11.21	10.59	11.04	13.83	9.31	11.35	10.23
COD	试验前	60.44	60.67	60.48	61.42	60.67	60.39	60.32	61.35	60.47	60.63	60.67	61.65
	试验后	44.15	42.55	44.29	45.36	45.85	43.37	41.58	42.14	46.73	42.87	43.37	44.46

2.2 不同物种单元对水体 TN 去除效果

不同组物种单元对于 TN 去除效果见图 1;试验 14 d 以后总氮的含量开始显著下降,其中美人蕉、风车草、狐尾藻的去除效果较好,去处率分别为 86. 84%、95. 55%、98. 63%,去除能力为 29. 16、27. 75、670. 22 μg/(d·g),随试验时间的推移不同物种的净化能力逐渐显现,其中水生动物组 TN 的去除率为鲢鱼 46. 02%、罗非鱼 47. 30%、鳊鱼 46. 18%,去除能力分别为 776. 66、811. 11、788. 33 μg/(d·g),金鱼藻的去除率为 57. 89%,菖蒲为 52. 11%,金鱼藻、菖蒲的去除能力

98. 7、393. 11 μg/(d·g)。硝化细菌和反硝化细菌的数量和活跃程度与温度有密切关系,在高温季节 TN 的去除效果相对较好。植物的生理代谢活动直接关系到污染物的降解。试验 42 d 后狐尾藻 D2 处理所在水体总氮浓度从 30. 58 mg/L 下降至 0. 42 mg/L,去除率为 98. 63%,去除能力为 670. 22 μg/(d·g),而罗非鱼去除率为 47. 3%,去除能力达到 811. 11 μg/(d·g),表明评价一种物种的净化效果,应以去除率为主,去除效率或者去除能力作为参考,去除率代表以沉水植物为主的整个生物系统的综合作用效果,是最终能产生的

净化效果;而去除效率(增加1 g 鲜量对氮磷的去除量)或去除能力只代表该种沉水植物单位质量的净化能力,会受到环境条件、植物生理生长等因素的制约,所以能力高的物种去除率未必高,净化效果也未必好^[11]。



1—美人蕉; 2—菖蒲; 3—风车草; 4—狐尾藻; 5—金鱼藻; 6—鲢鱼; 7—罗非鱼; 8—鳙鱼; 9—对照。图3、图5、图7、图9同

图1 不同物种单元对水体中TN的去除效果

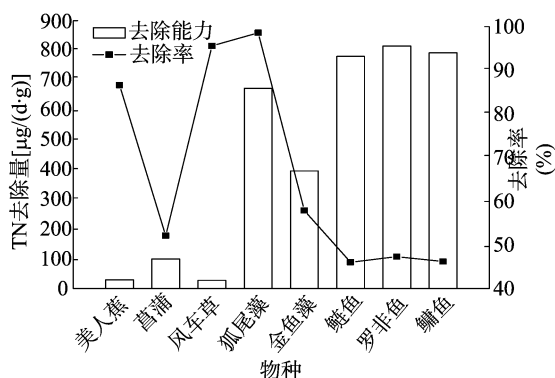


图2 不同物种单元对总氮去除能力和去除率

2.3 不同物种单元对 TP 去除效果

不同物种单元对于试验水体中的总磷含量的去除效果见图3、图4。王丽卿等研究^[12]表明,水生植物体系对水体中总磷的去除方式分为2类:一类是水生植物对总磷的直接吸收如美人蕉、菖蒲、风车草、金鱼藻,对总磷的去除率分别为97.72%、86.77%、98.33%、94.09%;去除能力分别为1.91、11.95、2.05、45.31 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{g})$ 。以植物体吸收为主要去除方式,通过叶片、根系等器官大量吸收水体和底泥的可溶性活性磷等。二类是以沉降吸附为主的去除方式如狐尾藻去除率为98.37%,去除能力44.71 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{g})$ 。在其密集的枝叶及其分泌的助凝物质作用下,能够吸附沉降水体中的悬浮颗粒,在根区和远离根区的底泥中形成有氧和厌氧环境,改变底泥的氧化还原状态,抑制氮磷的释放,促进磷酸盐向底质的吸附转移;鱼类对水体中总磷的去除主要通过同化作用,鲢鱼、罗非鱼、鳙鱼对总磷的去除率分别为89.77%、82.82%、89.14%,对照去除率为6.02%,去除能力分别为119.16、106.11、117.22 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{g})$ 。

2.4 不同物种单元对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 去除效果

由于植物根部呼吸作用较强的原因导致氮磷急剧下降,而后期是否由于水体氮磷含量减少或是植株本身对氮磷含量需求达到饱和而使水体氮磷含量稳定有待于进一步研究。尽管水生植物和微生物都可以作为硝化菌的有效载体,促进水

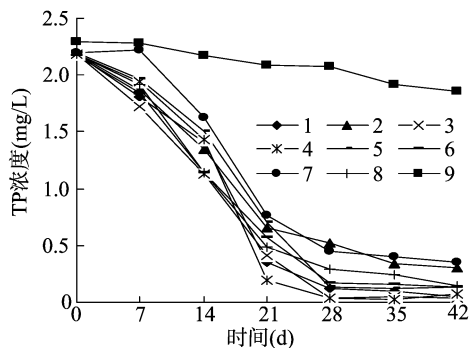


图3 不同物种对水体总磷的去除效果

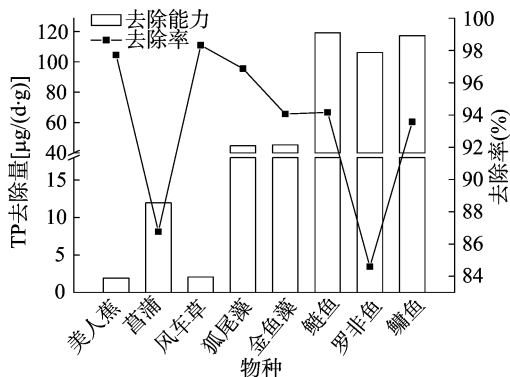


图4 不同物种单元对TP 去除能力和去除率

体中硝化作用的增长,但是原水水质的波动以及昼夜温差较大成为生物硝化/反硝化过程的限制因子,因而生物的硝化作用弱。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 质量浓度缓慢下降,植物的吸收是去除 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的主要作用,在试验物种中,风车草、狐尾藻的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 去除效果相对较好,去除率分别为62.09%、64.56%,美人蕉为46.71%、菖蒲为44.1%、金鱼藻为44.44%、鲢鱼为39.66%、罗非鱼为39.70%、鳙鱼为41.83%。对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 去除效能由大到小的依次为狐尾藻、风车草、美人蕉、金鱼藻、菖蒲、鳙鱼、鲢鱼、罗非鱼,去除能力分别为狐尾藻45.86 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{g})$ 、风车草0.19 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{g})$ 、美人蕉1.10 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{g})$ 、金鱼藻31.77 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{g})$ 、菖蒲6.3 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{g})$ 、鳙鱼74.05 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{g})$ 、鲢鱼69.77 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{g})$ 、罗非鱼69.72 $\mu\text{g}/(\text{d} \cdot \text{g})$ (图5、图6)。

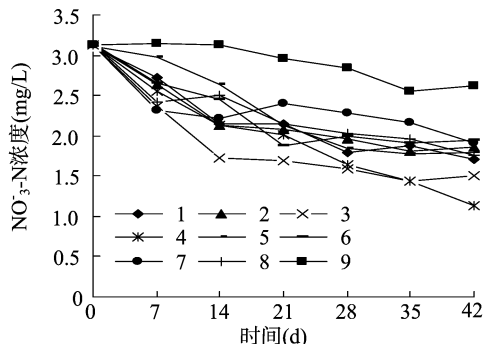


图5 不同物种单元对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 去除效果

2.5 不同物种单元对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除效果

在原水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 负荷较高的情况下,植物对于 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除的效果明显,且持续的时间长,不会出现反弹。如图7、

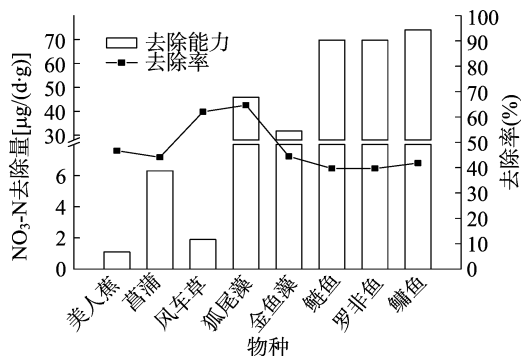
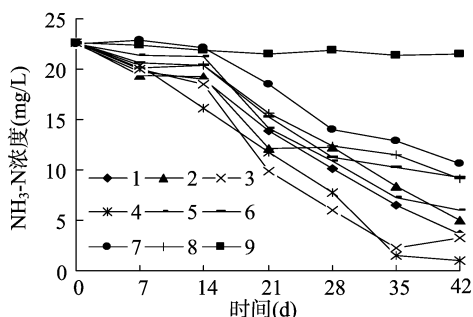
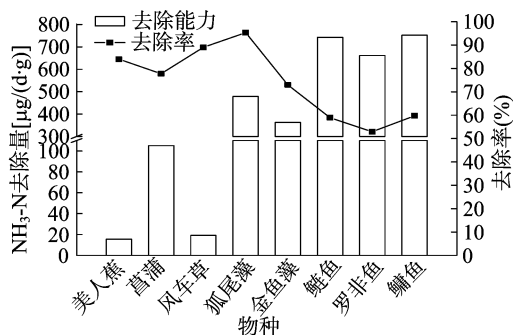
图6 不同物种单元对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 去除能力和去除率

图8显示在各系统中, $\text{NH}_3\text{-N}$ 主要通过挥发、生物硝化反硝化、生物同化吸收3种机制去除,而各去除机制的效率都直接或间接地受浮游藻类的影响。尽管氨氮可以通过直接挥发、吸附到底泥等途径从水体中去除,但硝化和反硝化作用才是去除的主要途径。各单元中以狐尾藻对氨氮的去除效果最佳,这主要是因为沉水植物提高了水体中溶解氧浓度,形成的好氧条件有利于氨氮进行硝化作用转化为硝酸盐,利于沉水植物吸收。不同生长体系对水体 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率分别为美人蕉 83.94%、菖蒲 77.87%、风车草 90.37%、狐尾藻 95.35%、金鱼藻 72.99%、鲢鱼 58.95%、罗非鱼 52.91%、鳙鱼 59.78%、对照 5.17%;去除能力分别为美人蕉 15.40 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ 、菖蒲 105.05 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ 、风车草 19.06 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ 、狐尾藻 478.44 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ 、金鱼藻 362.66 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ 、鲢鱼 742.77 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ 、罗非鱼 661.11 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ 、鳙鱼 752.22 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ (图7、图8)。

图7 不同物种单元对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果图8 不同物种单元对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除能力和去除率

2.6 不同物种单元对COD的去除效果

挺水植物、沉水植物、鱼类体系对水体有机物的去除整体呈现下降趋势,但效果不显著。

植物生长前期,不同处理组的 COD_{Cr} 都逐渐下降,但去除

率较低。可能是水生植物虽然去除了水中的营养物质,但整个系统中的有机物并没有消除,只是发生了转化,使得 COD_{Cr} 浓度总体下降不显著。挺水植物组美人蕉、风车草去除效果较好,去除率分别为60.42%、58.8%,菖蒲为37.17%;沉水植物组狐尾藻的去除率为58.66%、金鱼藻为33.92%;水生动物组对 COD_{Cr} 的净化效果不佳,去除率分别为鲢鱼30.77%、罗非鱼32.03%、鳙鱼30.73%,对照组去除率为4.01%;去除能力为美人蕉 30.57 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ 、菖蒲 151.51 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ 、风车草 33.58 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ 、金鱼藻 456.22 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ 、鲢鱼 1037.22 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ 、狐尾藻 832.66 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ 、罗非鱼 1073.33 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ 、鳙鱼 1035.00 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$ (图9、图10)。

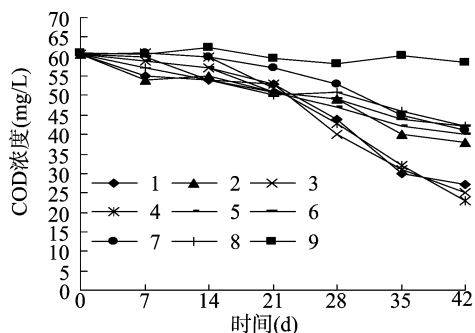


图9 不同物种单元对COD去除效果

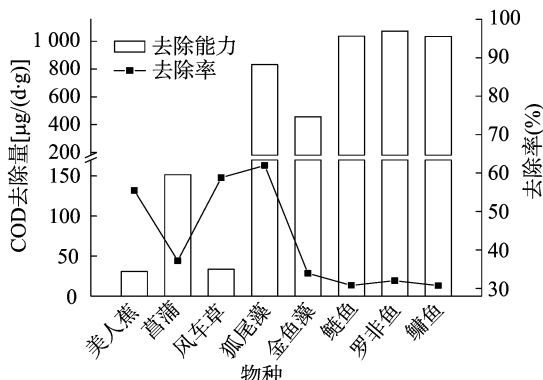


图10 不同物种单元对COD去除能力和去除率

3 结论

试验42 d后挺水植物组、沉水植物组对各水质指标的平均去除率明显高于鱼类组。不同物种单元对试验水体中各项监测指标的去除效果存在一定的差异,以总磷的去除效果最为明显,其次是总氮、氨氮,在不同单元的去除效果中以狐尾藻、美人蕉、风车草对各项水质监测指标的综合去除效果较优。

3种挺水植物均能有效净化富营养化水体,对 TN 、 TP 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率最好的均为风车草,去除率分别为95.55%、98.33%、62.09%、90.37%,去除能力分别为27.75、2.05、1.90、19.06 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$,风车草可作为先锋物种。

2种沉水植物中狐尾藻对水体氮磷等营养盐的去除效果显著,对 TN 、 TP 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 COD 的去除率分别为98.63%、98.37%、64.56%、95.35%、58.66%,去除能力分别为670.22、44.71、45.86、478.44、832.66 $\mu\text{g}/(\text{d}\cdot\text{g})$,狐尾藻

陆筑凤,李加友. 扫描电镜-能谱法分析水稻秸秆改性材料对铬的吸附性能[J]. 江苏农业科学,2016,44(3):332-334.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.03.094

扫描电镜-能谱法分析水稻秸秆改性材料对铬的吸附性能

陆筑凤,李加友

(嘉兴学院生物与化学工程学院,浙江嘉兴 314001)

摘要:采用场发射扫描电镜-能谱分析法(SEM/EDS)测定天然水稻秸秆及秸秆生物改性吸附剂材料对重金属离子的吸附性能。结果显示,该方法可以快速观察材料形貌结构并获得元素组成及含量和分布的信息,是研究材料结构与性能关系的高效方法。与传统方法相比,该联用技术具有快捷高效、操作方便和良好的准确度,为吸附材料的制备表征及性能研究提供了参考。

关键词:扫描电镜-能谱分析法;水稻秸秆;吸附;重金属

中图分类号: X703.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)03-0332-03

S-4800 场发射扫描电镜(field emission scanning electron microscope, FESEM)是日立公司 2002 年推出的产品,其电子发射源为冷场,通过场致发射的电子枪结构获得束斑直径更小的电子束,从而进一步提高了扫描电镜的分辨率,已成为分析纳米材料形貌及结构最有效的仪器,同时,在研究材料结构与性能关系中的作用也逐渐显著^[1-2]。FESEM 与 X 射线能谱仪(EDS)组合,能实现对材料表面微观区域进行全面分析,获得元素及其含量和分布的信息。例如,材料吸附研究包括 2 个方面:一是吸附材料的制备及表征;二是材料应用及吸附性能研究^[3]。通常采用扫描电镜表征材料形貌,用电感耦合

等离子发射光谱仪(ICP)测定溶液中金属离子的浓度,计算去除率,研究吸附性能,而通过扫描电镜-能谱联用法可以快速分析材料结构及吸附性能,成为研究材料结构与性能关系的重要方法^[4]。

1 试验部分

1.1 仪器与试剂

场发射扫描电子显微镜(日立 4800);能谱仪(HORIBA EX-250);离子溅射仪(EI1010);电子天平 AL204[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司];电热恒温培养箱 HG303-5(南京实验仪器厂);ML-902 定时恒温磁力搅拌器(绍兴市卫星医疗设备制造有限公司)。氢氧化钠、磷酸氢二铵、六水合氯化铬、四水合硝酸镉均为分析纯(嘉信医疗器械公司)。

1.2 试验原理

扫描电镜中一束高能的人射电子轰击物质表面时,被激

收稿日期:2015-11-09

基金项目:浙江省分析测试科技计划(编号:2015C37010);浙江省嘉兴市科技计划(编号:2014AY21007)。

作者简介:陆筑凤(1984—),女,浙江嘉兴人,硕士,实验师,主要从事电镜分析测试技术工作。E-mail: luzhufeng@mail.zjxu.edu.cn。

为优势物种。

3 种鱼类中罗非鱼对 TN、NO₃⁻-N、COD 的去除效果较好,去除率分别为 47.30%、39.70%、32.03%,去除能力为 811.11、69.72、1 073.33 μg/(d·g)。鲢鱼对 TP 去除效果较好,去除率为 89.77%,去除能力为 119.16 μg/(d·g)。鳙鱼对 NH₃-N 的去除效果较好,去除率为 59.78%,去除能力为 752.22 μg/(d·g)。

参考文献:

- [1] 刘晓丹,李军,龚一富,等. 5 种水培植物对富营养化水体的净化能力[J]. 环境工程学报,2013,7(7):2607-2612.
- [2] 刘利华,郭雪艳,达良俊,等. 不同富营养化水平对挺水植物生长及氮磷吸收能力的影响[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2012(6):39-45,72.
- [3] Collins B S, Sharitz R R, Coughlin D P. Elemental composition of native wetland plants in constructed mesocosm treatment wetlands[J]. Bioresource Technology,2005,96(8):937-948.

- [4] 黄亮,黎道丰,蔡庆华,等. 不同水生植物对滇池入湖河道污水净化效能的比较[J]. 生态环境,2008,17(4):1385-1389.
- [5] 黄亮,吴乃成,唐涛,等. 水生植物对富营养化水系统中氮、磷的富集与转移[J]. 中国环境科学,2010,30(增刊1):1-6.
- [6] Brix H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? [J]. Water Science and Technology,1997,35(5):11-17.
- [7] 王华,逢勇,刘申宝,等. 沉水植物生长影响因子研究进展[J]. 生态学报,2008,28(8):3958-3968.
- [8] 宋玉芝,杨美玖,秦伯强. 苦草对富营养化水体中氮磷营养盐的生理响应[J]. 环境科学,2011,32(9):2569-2575.
- [9] 王嵩,王启山,张丽彬,等. 水库大型围隔放养鲢鱼、鳙鱼控藻的研究[J]. 中国环境科学,2009,29(11):1190-1195.
- [10] 罗固源,郑剑锋,许晓毅,等. 4 种浮床栽培植物生长特性及吸收氮磷能力的比较[J]. 环境科学学报,2009,29(2):285-290.
- [11] 种云霄. 利用沉水植物治理水体富营养化[J]. 广州环境科学,2005,20(3):41-43.
- [12] 王丽卿,李燕,张瑞雷. 6 种沉水植物系统对淀山水质净化效果的研究[J]. 农业环境科学学报,2008,27(3):1134-1139.