

观赏挺水植物在河涌污水中的生长 及净化效果研究

聂磊^{1,2}, 贺漫媚²

(1. 广州城市职业学院 生物与环境工程系 广东 广州 510405; 2. 广州市园林科学研究所 广东 广州 510405)

摘要: 以再力花(*Thalia dealbata*)、海芋(*Alocasia macrorrhizos*)、风车草(*Cyperus alternifolius*)、水葱(*Scirpus tabernaemontani*)等 11 种挺水植物为试验材料, 探讨在河涌污水培养条件下, 观赏挺水植物在人工湿地系统中河涌污水处理下的生长情况及其对污水的净化效果, 以筛选出适合城市河涌的观赏植物材料。结果表明: (1) 挺水植物具备一定净化河涌污水的能力, 其中以再力花、海芋、花叶美人蕉(*Canna generalis*)、花叶芦竹(*Arundo donax*)效果最明显; (2) 污水胁迫下, 黄花鸢尾(*Iris pseudacorus*)、水葱等植物株高降低、叶面积减小、总生物量及根系生物量明显下降, 表明这些植物对河涌污水的抗逆性较差, 表现出生长不良甚至枯死现象, 而再力花、海芋、花叶美人蕉和翠芦莉(*Ruellia brittoniana*)的生长活性却明显增强。推荐再力花、海芋、花叶美人蕉、翠芦莉、风车草、花叶芦竹等挺水植物为广州河涌水体净化和景观美化的适宜植物材料。

关键词: 挺水植物; 河涌; 污水净化; 生长情况; 生物量

中图分类号: S682.32 文献标志码: A 文章编号: 1000 - 2286(2012)04 - 0832 - 07

A Study on Growth and Sewage Purification of Ornamental Emerged Plants under Rivulet Water Pollution

NIE Lei^{1,2}, HE Man-mei²

(1. Department of Biology and Environment, Guangzhou City College, Guangzhou 510405, China; 2. Guangzhou Research Institute of Landscape Gardening, Guangzhou 510405, China)

Abstract: The growth parameters of 11 wetland emerged plants and their effects on water pollution purification were studied. The results showed that: (1) wetland emerged plants could purify the urban rivulet water pollution to some extent, *Thalia dealbata*, *Alocasia Macrorrhizos*, *Canna generalis* and *Arundo donax* had the most powerful capacity. (2) Waste water treatment could decrease the leaf area, growth height and total biomass of *Iris pseudacorus* and *Scirpus tabernaemontani*, therefore weakening their growth behavior. However, in the case of *Alocasia macrorrhizos*, *Canna generalis*, *Vetiveria zizanioides* and *Ruellia brittoniana*, the growth capacity increased at different extents. *Thalia dealbata*, *Alocasia macrorrhizos*, *Canna generalis*, *Ruellia brittoniana*, *Cyperus alternifolius* and *Acorus calamus* were suggested to be appropriate water pollution purification and landscape materials in Guangzhou urban rivulets.

Key words: emerged plant; urban rivulet; wastewater purification; growth characteristics; biomass

收稿日期: 2011 - 06 - 02 修回日期: 2012 - 04 - 17

基金项目: 广东省科技计划项目(2009B021500004)、广州市科技计划项目(2007Z3 - E0041)、广州市教育局高校羊城学者项目(10B004D)和广州市教育局科技计划项目(08C007)

作者简介: 聂磊(1973—)男, 教授, 博士, 主要从事环境植物学领域研究, E-mail: stephen_nie@126.com。

城市水体富营养化是当前城市污染的主要问题。随着社会经济的迅猛发展和人口的剧增,大量未经处理的工业废水和生活污水肆意排入城市河涌,严重加速了水体富营养化的进程,危及市民身体健康,阻滞社会经济发展,甚至威胁人类生存。植物修复与自然净化法是当前国内外水体生态修复研究开发的重点,利用水生植物净化污水作为一种成本低廉、低碳环保、效益明显的简便易行方法,已成为各地改善水质的关注热点。目前,国内外有关部门正大力提倡应用植物处理措施净化污水^[2]。本文以对河涌自然景观营造起关键作用的挺水植物为研究对象,开展人工湿地环境下,不同污染类型的河涌污水对海芋、花叶美人蕉、翠芦莉、风车草、菖蒲等挺水植物生长、生理特性和净污能力的影响,为修复美化城市河涌水体生态环境提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2009年8月至10月在广州市园林科研所苗圃(E 113°16'27", N 23°09'44")的大棚内进行。植物材料如下。

表1 挺水植物种类

Tab. 1 Schedule of wetland emerged plants in research

序号 No.	植物名称 Plant names	学名 Scientific name	科属 Families and genera	缩写 Abbreviation
1	海芋	<i>Alocasia macrorrhizos</i>	天南星科海芋属	AM
2	梭鱼草	<i>Pontederia cordata</i>	雨久花科梭鱼草属	PC
3	黄花鸢尾	<i>Iris pseudacorus</i>	鸢尾科鸢尾属	IP
4	再力花	<i>Thalia dealbata</i>	荇叶科塔里亚属	TD
5	水葱	<i>Scirpus tabernaemontani</i>	莎草科蘆草属	ST
6	翠芦莉	<i>Ruellia brittoniana</i>	爵床科芦莉草属	RB
7	风车草	<i>Cyperus alternifolius</i>	莎草科莎草属	CA
8	花叶芦竹	<i>Arundo donax</i>	禾本科芦竹属	AD
9	菖蒲	<i>Acorus calamus</i>	天南星科菖蒲属	AC
10	花叶美人蕉	<i>Canna generalis</i>	美人蕉科美人蕉属	CG
11	细叶纸莎草	<i>Pycurus polystachyos</i>	莎草科莎草属	PP

1.2 人工湿地处理方法

1.2.1 人工湿地系统构建 采用塑料桶(设定水位可容纳河涌污水量为8.5 L)构建微型人工湿地,湿地基质为碎石(粒径1~2 cm)。植物苗龄均1年左右,每种栽种植物选大小、生长状况一致,每种植物做20个重复,5个对照,共45株,每桶种1株。实验从8月—10月进行。其中8月5日开始,植物开始适应性培养,8月20日开始实施试验^[3-4]。第1次取样及测定在9月4日,第2次在9月19日,第3次在10月4日。后续的一些测量统计均在10月完成。桶内水在每次取样后,均补充污水,达到设定水位。每次补充的水量在1 L左右,以弥补蒸发、蒸腾及取样造成的污水损失。

1.2.2 水样采集方法 污水采集于沙河涌的体育学院段(污水处理1)和海珠涌的庄头公园段(污水处理2)。沙河涌水质污染类型以石油类有机污染为主,同时含有少量重金属无机污染物。海珠涌水质污染类型以重金属无机污染为主,同时含有少量石油类有机污染物。以Hoagland's水培标准营养液培养的挺水植物为对照。各项测定采样时间为每15 d 1次,共采样3次,每次采集约1 L水样,计算平均值^[5]。

1.3 测定方法

1.3.1 水样测定 水样采集后在1天内完成测定,测定方法^[6]如下:

(1) COD: 重铬酸钾法。(2) TN: 取样50 mL,碱性过硫酸钾分解—紫外分光光度法。(3) TP: 取样50 mL,过硫酸钾氧化—铝蓝比色法。(4) NH₃-N: 纳氏试剂光度法。(5) BOD₅: 稀释接种法。

表 2 研究用污水水质指标分析
Tab.2 Water quality index of wastewater samples in research

水样 Water samples	污染类型 Type of pollution	水质指标 Water quality objectives						
		pH	TN /(mg · L ⁻¹)	NH ₃ - N /(mg · L ⁻¹)	TP /(mg · L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg · L ⁻¹)	COD _{Cr} /(mg · L ⁻¹)	SS /(mg · L ⁻¹)
污水处理 1 Sewage treatment 1	石油类有机 污染为主	7.26	30.9	27.4	3.56	221.5	223.2	117.43
污水处理 2 Sewage treatment 2	重金属无机 污染为主	6.78	23.6	19.8	2.51	162.8	443.2	190.26

1.3.2 植物生长指标测定方法 从污水处理后的第 15 天开始,详细记录各湿地桶内植物的生长情况,每隔 15 d 测量 1 次植物的株高、叶面积、总叶数,共测定 3 次,计算平均值,比较不同植物种的长势差异。栽种前,用电子天平测定每株植物的鲜重。污水处理结束,植物最后收割后,用托盘天平测定每株植物的鲜重,根据根的直径(*d*)大小,将根分为 $d < 1\text{ mm}$ 、 $1\text{ mm} < d < 3\text{ mm}$ 、 $d > 3\text{ mm}$ 3 部分,并分别测出每株植物茎、叶、根的鲜重。所选择植物在 8—10 月均为正常生长周期。采用浙江托普仪器公司生产的便携式叶面积仪测定试验植物平均叶面积。计算植物样品在试验前后各生长指标的相对百分数。数据统计分析采用 DPS 数据处理系统进行 Duncan's 多重比较检验。

2 结果与分析

2.1 污水处理对挺水植物生长状况的影响

株高是植物生长的主要性状,反映了植物获取外界营养的能力及生存状况。图 1 结果显示,11 种植物中,海芋、再力花、翠芦莉、风车草、花叶芦竹、菖蒲、花叶美人蕉、细叶纸莎草等 8 种植物纵向生长较好。其中在沙河涌污水处理下,增长率最高的是花叶芦竹,达到 123.23%;其次是海芋,达到 118.45%。海珠涌污水处理下,增长率最高的是再力花,达到 127.03%;再次是风车草,达到 118.91%。梭鱼草、黄花鸢尾、水葱等植物的株高增长率表现负值,试验过程中出现了植物顶端叶片衰败及大量凋落的现象,其中下降幅度最高的是黄花鸢尾,沙河涌污水处理下株高下降了 43.57%,海珠涌污水处理下株高下降了 58.22%。叶片是植物完成光合和蒸腾作用的重要场所,因而叶面积大小是衡量植物长势优劣的重要形态指标^[8]。11 种植物中,来自海珠涌的污水处理对供试植物叶面积的影响较沙河涌有更明显的效果。其中叶面积平均增长率最高的植物是海珠涌处理下的再力花(22.36%),其次是花叶芦竹(17.57%)。沙河涌污水处理下叶面积增长最明显的植物是花叶美人蕉(16.38%)。污水处理对于海芋的叶面积也有较明显的促进效应,而对黄花鸢尾、水葱和梭鱼草则表现出不同程度的抑制作用^[9]。

研究表明,水生植物对水体环境中污染物的富集量和净化效率与植物生物量密切相关,因而提高水生植物净化效率的一个重要途径就是提高其生物产量。由于水体环境主要通过植物根系的吸收作用达到净化水体的目的,而植物生长环境中需不断大量吸收营养元素用以生长繁殖,其吸收营养物质的能力随着生物量的增加而加大。更高的生物量即意味着植物更高的 N、P 积累量,也即对污水中的 N、P 有更高的去除率^[10]。供试的 11 种植物在最后收割时,生物量增长量最高的是海芋,增长率分别高达 44.15%(沙河涌)、32.67%(海珠涌);其次是花叶芦竹,增长率分别达到了 33.62%(沙河涌)、39.08%(海珠涌)。生物量下降最明显的是水葱,平均增长率仅相当于对照的 61.27%(沙河涌)和 63.00%(海珠涌),其次是黄花鸢尾,平均增长率仅相当于对照的 56.33%(沙河涌)和 45.14%(海珠涌)。地上部分生物量的趋势与总生物量的变化基本一致。

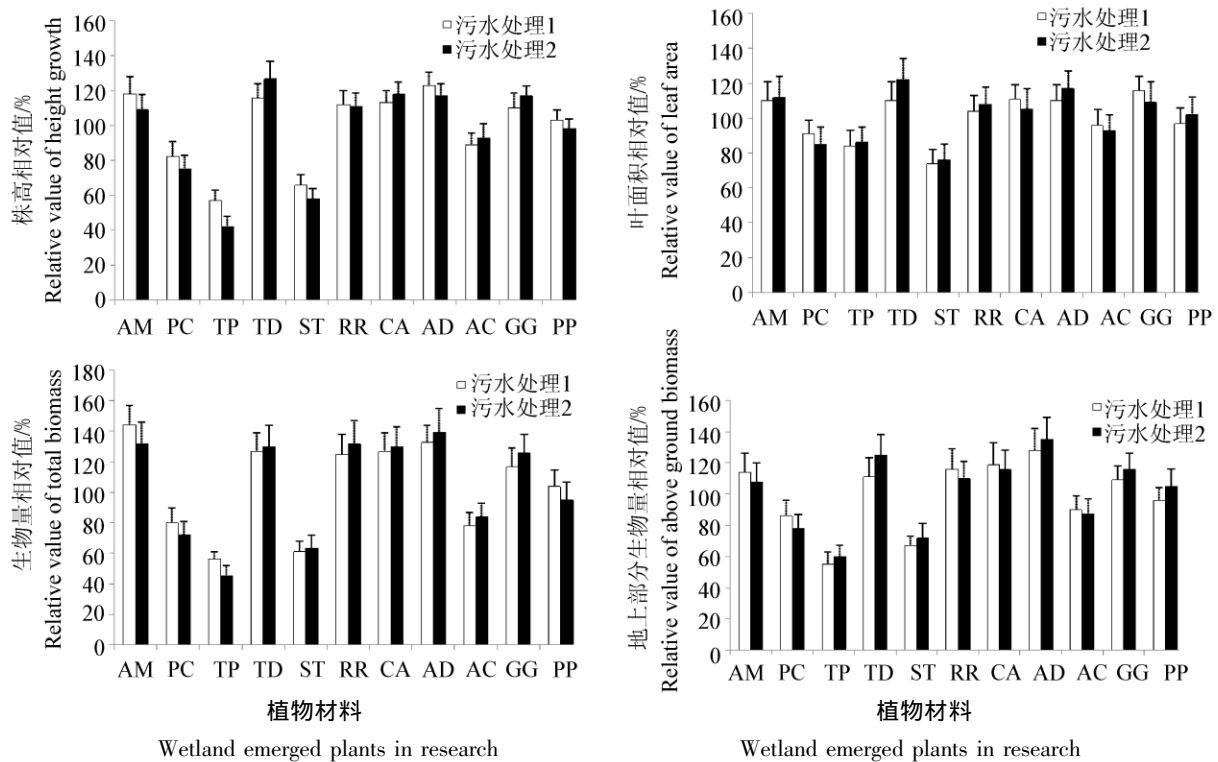
在根系生物量方面,试验结束后,对人工湿地中的 11 种植物进行收割,将收割后的每种植物根按直径 $d < 1\text{ mm}$ 、 $1\text{ mm} < d < 3\text{ mm}$ 、 $d > 3\text{ mm}$ 进行分类测定。根系生物量最大的是花叶芦竹,平均值为 81.129 mm,最小的是细叶纸莎草,为 5.205 mm;花叶美人蕉、再力花、海芋和梭鱼草也具有明显较大的根系生物量,分别为 74.869 mm、41.754 mm、40.061 mm 和 35.205 mm。从植物根系的直径大小来看,如表 2 所示,大部分植物的根系生物量在 $d > 3\text{ mm}$ 所占的比例最高,污水处理对于植物 $d > 3\text{ mm}$ 的根系生物量影响

也远大于直径在 $d < 1$ mm 和 $1 \text{ mm} < d < 3$ mm 区间的根系生物量,其中污水处理下,花叶芦竹、花叶美人蕉、再力花和海芋在 $d > 3$ mm 区间的根系生物量分别平均增加了 62.33%、58.45%、50.06% 和 48.28%,而黄花鸢尾、水葱和菖蒲在这一区间内的根系生物量则平均下降了 40.54%、34.96% 和 32.17%。

表3 河涌污水处理下植物的不同直径根系生物量

Tab.3 The root biomass in different diameters of plant species

植物种类 Species	处理方法 Treatment	根系生物量($\text{gFW} \cdot \text{m}^{-2}$) Root biomass				
		$d < 1$ mm	$1 \text{ mm} < d < 3$ mm	$d > 3$ mm	合计	
海芋	CK	1.353 ± 0.211	1.176 ± 0.214	31.733 ± 5.429	34.262 ± 6.330	
	AM	污水处理 1	2.469 ± 0.337	2.347 ± 0.328	38.946 ± 7.212	43.762 ± 4.129
	污水处理 2		2.281 ± 0.305	1.839 ± 0.276	35.987 ± 6.564	40.107 ± 5.600
梭鱼草	CK	1.893 ± 0.250	1.475 ± 0.308	33.437 ± 6.259	36.805 ± 7.440	
	PC	污水处理 1	1.607 ± 0.234	1.405 ± 0.177	27.281 ± 4.023	30.293 ± 4.561
	污水处理 2		1.665 ± 0.312	1.516 ± 0.330	29.282 ± 4.509	32.463 ± 4.599
黄花鸢尾	CK	1.095 ± 0.235	0.666 ± 0.102	5.536 ± 0.824	7.297 ± 1.018	
	IP	污水处理 1	0.884 ± 0.120	0.727 ± 0.116	3.420 ± 0.513	5.031 ± 0.747
	污水处理 2		0.813 ± 0.145	0.680 ± 0.082	3.335 ± 0.401	4.828 ± 0.596
再力花	CK	0.856 ± 0.133	1.420 ± 0.300	30.540 ± 3.228	32.816 ± 4.067	
	TD	污水处理 1	1.237 ± 0.247	1.659 ± 0.323	33.623 ± 4.288	36.519 ± 5.002
	污水处理 2		1.704 ± 0.308	2.548 ± 0.331	41.058 ± 3.369	45.310 ± 5.482
水葱	CK	1.887 ± 0.316	2.413 ± 0.289	8.410 ± 1.568	12.710 ± 2.399	
	ST	污水处理 1	1.360 ± 0.257	1.645 ± 0.289	6.050 ± 0.812	9.055 ± 1.140
	污水处理 2		1.412 ± 0.166	1.400 ± 0.178	5.639 ± 0.427	8.451 ± 1.302
翠芦莉	CK	0.285 ± 0.033	1.438 ± 0.287	3.583 ± 0.414	5.306 ± 0.744	
	RB	污水处理 1	0.407 ± 0.051	1.660 ± 0.325	5.752 ± 0.633	7.819 ± 1.023
	污水处理 2		0.426 ± 0.063	1.709 ± 0.228	5.073 ± 0.416	7.208 ± 0.953
风车草	CK	0.679 ± 0.245	0.433 ± 0.056	3.136 ± 0.460	4.248 ± 0.559	
	CA	污水处理 1	0.810 ± 0.125	0.623 ± 0.085	5.348 ± 0.794	6.781 ± 1.330
	污水处理 2		0.802 ± 0.115	0.576 ± 0.060	4.084 ± 0.722	5.462 ± 0.607
花叶芦竹	CK	11.218 ± 2.760	4.798 ± 0.631	56.608 ± 7.330	72.624 ± 9.308	
	AD	污水处理 1	14.462 ± 2.288	5.132 ± 0.810	63.856 ± 7.018	83.450 ± 7.270
	污水处理 2		13.584 ± 3.309	6.510 ± 1.107	60.021 ± 5.579	80.115 ± 8.033
菖蒲	CK	1.325 ± 0.048	1.568 ± 0.077	6.389 ± 0.261	8.282 ± 0.375	
	AC	污水处理 1	1.382 ± 0.029	1.424 ± 0.052	5.020 ± 0.405	7.826 ± 0.437
	污水处理 2		1.405 ± 0.036	1.511 ± 0.057	5.641 ± 0.357	7.557 ± 0.302
花叶美人蕉	CK	9.165 ± 1.203	5.310 ± 0.589	55.268 ± 7.514	69.743 ± 10.227	
	CG	污水处理 1	12.784 ± 1.446	4.650 ± 0.665	60.782 ± 8.527	78.216 ± 11.293
	污水处理 2		10.821 ± 1.912	4.818 ± 0.734	58.326 ± 6.605	73.965 ± 8.879
细叶纸莎草	CK	0.882 ± 0.132	0.611 ± 0.103	3.772 ± 0.535	5.265 ± 0.667	
	PP	污水处理 1	0.847 ± 0.156	0.645 ± 0.182	4.052 ± 0.563	5.544 ± 0.823
	污水处理 2		0.901 ± 0.123	0.613 ± 0.088	3.596 ± 0.218	5.110 ± 0.472



Wetland emerged plants in research
 AM: *Alocasia macrorrhizos*; PC: *Pontederia cordata*; IP: *Iris pseudacorus*; TD: *Thalia dealbata*; ST: *Scirpus tabernaemontani*; RB: *Ruellia brittoniana*; CA: *Cyperus alternifolius*; AD: *Arundo donax*; AC: *Acorus calamus*; CG: *Canna generalis*; PP: *Pycurus polystachyos*.

图 1 河涌污水处理下植物生长差异比较

Fig. 1 Growth of different wetland emerged plants under polluted water treatment

2.2 湿地挺水植物对河涌污水的净污效应分析

11 种植物在人工湿地系统中,对河涌污水的 TN、NH₃-N、TP、COD、BOD₅ 和 SS 的平均去除率分别达到 56%、67%、63%、58%、73% 和 52%。总体而言,各挺水植物对海珠涌污水的净化效果要好于沙河涌污水(图 1、图 2)。其中,针对沙河涌污水, TN 去除率最高的是花叶美人蕉为 62%,其次是海芋(78%)、翠芦莉(74%)和菖蒲(74%),最低的是黄花鸢尾(24%)和水葱(30%); NH₃-N 去除率最高的是海芋为 91%,其次是花叶美人蕉(90%)和花叶芦竹(85%),同样黄花鸢尾(24%)和水葱(30%)最差; TP 去除率较高的有海芋(87%)、花叶芦竹(82%)和花叶美人蕉(81%); COD 去除率最高的是花叶芦竹(77%),其次是再力花(71%)和翠芦莉(70%); BOD₅ 去除率最高的是花叶美人蕉(88%),风车草(83%)、菖蒲(82%)和花叶芦竹(82%)的去除率也比较明显。在 SS 方面,花叶芦竹(75%)、花叶美人蕉(72%)、风车草(70%)和海芋(68%)清除能力较明显。总体来看,黄花鸢尾和

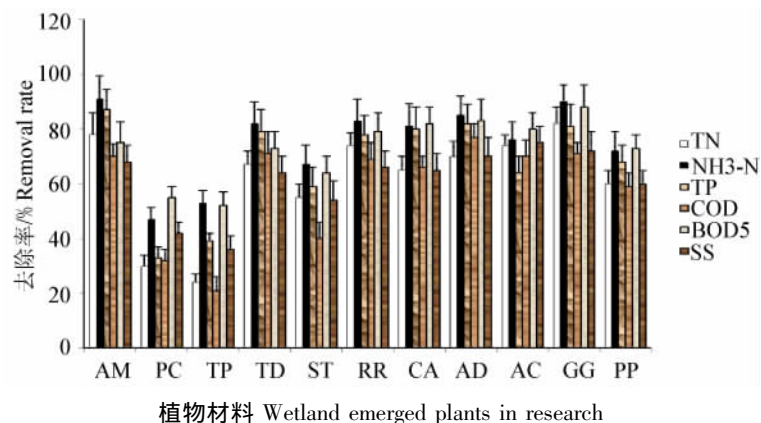
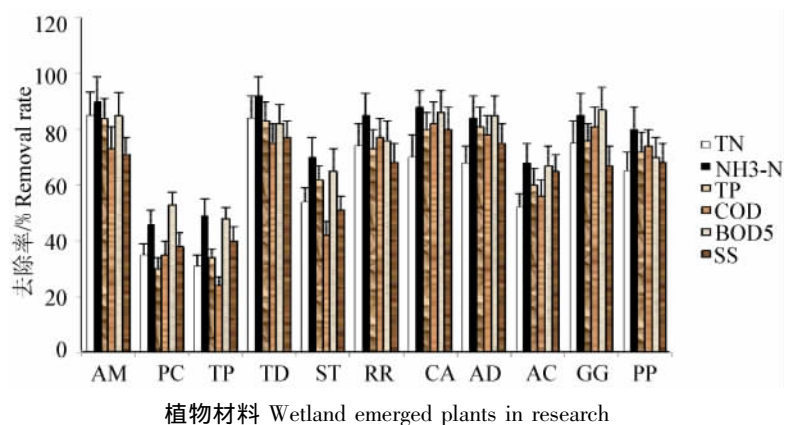


图 2 不同湿地挺水植物对沙河涌污水净化效果的差异比较

Fig. 2 Purification efficiency of different wetland emerged plants under water pollution of Shahechong

水葱对沙河涌污水的净污效应最不理想,而海芋、花叶美人蕉、花叶芦竹的净化效果较全面而高效,再力花、翠芦莉、风车草表现出来的净污能力也较强。在这6个污水指标中, $\text{NO}_3\text{-N}$ 和COD去除率种间差异非常显著($P < 0.01$),TN、TP去除率种间差异显著($P < 0.05$)。海珠涌污水的净化效果试验基本上与沙河涌结果相似,海芋、花叶美人蕉、花叶芦竹、翠芦莉等净化效果明显,而黄花鸢尾和水葱表现不理想。与沙河涌污水试验有所区别的是:再力花和风车草表现出更好的净污效率。再力花在去除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 BOD_5 方面表现优异,去除率达到85%和87%,而风车草在去除COD(82%)和SS(80%)方面效果最明显。



AM: *Alocasia macrorrhizos*; PC: *Pontederia cordata*; IP: *Iris pseudacorus*; TD: *Thalia dealbata*; ST: *Scirpus tabernaemontani*; RB: *Ruellia brittoniana*; CA: *Cyperus alternifolius*; AD: *Arundo donax*; AC: *Acorus calamus*; CG: *Canna generalis*; PP: *Pycurus polystachyos*.

图3 不同湿地挺水植物对海珠涌污水净化效果的差异比较
Fig. 3 Purification efficiency of different wetland emergent plants under water pollution of Haizhuchong

3 讨论与结论

研究数据表明,我国当前被用做净化污水处理的水生植物中,经常被应用的种类不到50种,且多从污染治理角度加以研究,往往忽视了水生植物的景观功能^[11]。本文希望在前人研究的基础上,为污染严重的河涌湿地以及景观水体的生态设计提供丰富的水生植物资源,探索一条在治理环境与美化环境兼顾的可持续发展之路^[12-13]。广州市河涌底泥主要污染物是有机质、营养盐、石油类和重金属,研究显示,广州市河涌底泥受有机物、植物营养盐、石油类和重金属污染比较严重,其它污染物,如硫化物、氰化物、氟化物、挥发酚等以及难降解有毒有机物等污染并不严重,污染总体呈由老城区向外围逐步降低的态势。因此可主要从有机污染和无机污染两方面来划分污染类型。本试验采用的河涌污水材料分别来自海珠涌和沙河涌,海珠涌属于典型的重金属污染类型,重金属综合污染指数值达到5.53;沙河涌属于较典型石油类有机污染类型,有机质污染指数值达到2.04^[7]。这两条河涌水质都为4级以下,水质污染严重,适宜进行河涌湿地植物材料的筛选。

在本试验中,通过构建微型潜流人工湿地,发现挺水植物和湿地基质的协同净污效应显著,其中海芋、翠芦莉、花叶美人蕉、花叶芦竹、风车草、香根草等挺水植物对高污染的河涌TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、COD、 BOD_5 和SS等污染物有良好的去除率,表现出很高的净污能力。而黄花鸢尾、水葱和梭鱼草等在河涌污水作用下则生长不良,净污能力差。从生长情况、净化效果、景观等方面综合评价,推荐再力花、海芋、花叶美人蕉、翠芦莉、风车草、花叶芦竹等挺水植物为适宜的广州河涌景观美化和水体净化植物材料。

参考文献:

- [1]梁伟臻. 试论广州市市区河涌水质评价方法及治理途径[J]. 环境监测管理与技术, 2002, 15(3): 27-31.
- [2]贺锋, 吴振斌. 水生植物在污水处理和水质改善中的应用[J]. 植物学通报, 2003, 20(6): 45-50.
- [3]王安庆, 任勇. 成都市活水公园人工湿地塘床系统的生物群落[J]. 重庆环境科学, 2001, 23(2): 52-55.
- [4]阳承胜, 蓝崇钮, 束文圣. 宽叶香蒲人工湿地对铅、锌矿废水净化效能的研究[J]. 深圳大学学报, 2000, 17(23): 51-57.
- [5]朱斌, 陈飞星. 利用水生植物净化富营养化水体的研究进展[J]. 上海环境科学, 2002, 21(9): 564-567.
- [6]国家环保局水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [7]李光明, 钟继洪, 李淑仪. 广州市河涌底泥污染现状调查与评价[J]. 广州环境科学, 2005, 20(4): 35-39.
- [8]刘颖, 李虹, 袁平成. 生活污水处理场主要湿地植物吸氮纳磷的生态功能[J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(6): 1291-1296.

- [9]胡勇有,王鑫,张太平.用低浓度生活污水筛选适于华南人工湿地的植物[J].华南理工大学学报:自然科学版,2006,34(9):78-82.
- [10]Cheng S,Grosse W,Karrenbrock F et al. Efficiency of constructed wetlands in decontamination of water polluted by heavy metals[J]. Ecology Engineering,2001,18(3):317-325.
- [11]廖新娣,骆世明.人工湿地对猪场废水有机物处理效果的研究[J].应用生态学报,2003,26(1):113-117.
- [12]Solano M L,Soriano P,Ciria M P. Constructed wetlands as a sustainable solution waste water treatment in small villages[J]. Biosystems Engineering,2004,87(1):109-118.
- [13]杨林,伍斌,赖发英.7种典型挺水植物净化生活污水中氮磷的研究[J].江西农业大学学报,2011,33(3):616-621.

(上接第 831 页)

外预测值的散点图,表明常规化学法测得的玉米不同成分的化学值含量和近红外预测值拟合存在较好的线性关系。因此,ICA方法建立的玉米样品主要成分的近红外模型具有较高的预测准确度,能满足一般分析的要求,可将该模型应用于玉米育种中大批样品的品质分析中。

参考文献:

- [1]杨福生,洪波.独立分量分析的原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2006:1-88.
- [2]Comom P. Independent component analysis: A new concept[J]. Signal Processing,1994,36(3):287-314.
- [3]陆婉珍.现代近红外光谱分析技术[M].2版.北京:中国石化出版社,2006:174-203.
- [4]张灵帅,邢军,王卫东,等.近红外光谱分析技术进展及其在烟草行业中的应用[J].光谱实验室,2009,26(2):197-201.
- [5]严衍祿,赵龙莲,杨曙明,等.近红外光谱分析基础与应用[M].北京:中国轻工业出版社,2005:190-260.
- [6]赵龙莲,张录达,李军会,等.小波包熵和 Fisher 判别在近红外光谱法鉴别中药大黄真伪中的应用[J].光谱学与光谱分析,2008,28(4):817-820.
- [7]Hyvarinen A,Oja E. Independent component analysis: Algorithms and application[J]. Neural Networks,2000,13(4/5):411-430.
- [8]Hyvarinen A. Fast and robust fixed-point algorithm for independent component analysis[J]. IEEE Trans on Neural Networks,1999,10(3):626-634.
- [9]乔建苹.基于独立分量分析的人脸超分辨率重建[J].计算机工程,2011,37(3):180-182.
- [10]伍飞云,杨智,范正平等.基于独立分量分析和小波变换的膈肌肌电信号降噪[J].信号处理,2010,26(10):1532-1538.
- [11]邵咏妮,曹芳,何勇.基于独立组分分析和 BP 神经网络的可见/近红外光谱稻谷年份的鉴别[J].红外与毫米波学报,2007,26(6):433-436.
- [12]毕贤,李通化,吴亮.独立组分分析在红外光谱分析中的应用[J].高等学校化学学报,2004,32(6):44-48.
- [13]朱佳,袁晓辉.基于独立分量分析的说话人自动识别方法的研究[J].仪器仪表与分析监测,2011(1):13-16.
- [14]孟兆芳,赵龙莲,程奕,等.近红外光谱法测定玉米品质指标的研究[J].华北农学报,2008,23(2):147-150.