

doi:10.11937/bfy.20172609

## 水生木本植物净水效应研究

许铭宇<sup>1</sup>, 刘雯<sup>2</sup>, 余土元<sup>3</sup>, 卢艺菲<sup>1</sup>, 陈森<sup>4</sup>, 陈平<sup>4</sup>

(1. 广州普邦园林股份有限公司, 广东 广州 510600; 2. 仲恺农业工程学院 环境科学与工程学院, 广东 广州 510225; 3. 仲恺农业工程学院 农业与生物学院, 广东 广州 510225; 4. 仲恺农业工程学院 园艺园林学院, 广东 广州 510225)

**摘要:**以水翁、秋枫、铁冬青、穗花棋盘脚、串钱柳、水石榕、尖叶杜英、乌桕、黄金香柳、水杉、凤箱树等 11 种木本植物为试材, 采用人工模拟富营养化园林水体的方式, 研究比较了不同木本植物对富营养化园林水体的净化效果及其生理指标的变化, 通过筛选出较好的水生木本植物, 以期丰富广东地区对于水体生态修复和水体景观中水生植物种类的多样性。结果表明: 11 种湿地木本植物中秋枫对水体中总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )的净化效果最好, 去除率分别为 52.2%、28.8%、36.3%, 凤箱树对水体中 COD、色素的吸附效果较好, 去除率分别为 28.7%、32.6%。

**关键词:**木本植物; 富营养化园林水体; 净化效应

**中图分类号:**X 524 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2018)05-0123-07

在水体环境中利用种植水生植物净化富营养物质是修复和治理水体的有效途径之一, 在国内外已有许多报道<sup>[1-4]</sup>。但目前的水体净化中大多

都是以湿地草本植物为主, 而且应用的水生草本植物中大部分具有不耐寒的特点, 到了冬季会有冬枯现象, 在无人收割的情况下容易对水体造成二次污染。而应用木本植物进行水体净化材料的报道相对较少, 这主要由于能适应水生环境且有净化效果的木本植物不多<sup>[5]</sup>。胡焕斌等<sup>[6]</sup>应用木本植物池杉(*Taxodium ascendens*)作为人工湿地净化污水的主要植物材料, 在试验第 2 年时, 发现木本植物去除水中营养盐的效果和对照区芦苇的去除效果较为接近。

黄若之<sup>[7]</sup>研究表明, 能适应水环境的木本植物如同陆生木本植物一样, 无论是在生物多样性、生态效益还是景观效果方面都发挥着水生草本植物无可比拟的作用和效果。把木本植物引入在水体净化上的运用可有效解决当前冬季低温大部分水生草本枯死而带来的一系列问题, 如对水体

**第一作者简介:**许铭宇(1991-), 男, 硕士, 助理工程师, 现主要从事植物资源应用与环境生态修复等研究工作。E-mail: 593553688@qq.com.

**责任作者:**陈平(1968-), 男, 硕士, 教授, 现主要从事循环农业与环境治理及草业科学等研究工作。E-mail: turf2009@qq.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(41401554); 广州市科技计划项目产学研协同创新重大专项资助项目(2014Y2-00526); 广州市越秀区科技创新和产业化专项资助项目(2016-GX-004); 广东省自然科学基金资助项目(2015A030313596); 广东省教育厅特色创新资助项目(2015KTSCX062)。

**收稿日期:**2017-10-12

pollution were not significant in different soil profiles. And the Cr contents in the marshland and the forest land firstly increased the decreased in different soil profiles. Lastly, the Cr contents in the cultivated land were higher than other land types, which indicated that the arable activities from human-beings had significant effects on the accumulation of Cr in the soils.

**Keywords:** Caohai wetland; soil types; heavy metal Cr; vertical distribution

产生二次污染、暂无净化能力和水体景观凌乱破碎不美观等。因此,为解决冬季部分水生草本植物存在冬枯现象及研究木本植物对水体净化的效果和适应性,该研究提出在富营养化水体环境中引入 11 种木本植物作为研究对象,通过分析其净水性和适应性,最后筛选出综合指标较好的木本植物,可丰富水体生态修复和水体景观中水生植物的种类,为日后应用于水体净化提供数据参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

该研究将课题组前期收集的 11 种木本植物引入到实验室进行净水性筛选试验,具体的供试植物材料见表 1。

表 1 11 种供试植物材料基本情况

Table 1 Fundamental state of eleven kinds of test plant materials

序号 Serial number	植物名称 Plant name	科属 Family and genus	拉丁名 Latin name	株高 Plant height/cm
1	水翁	桃金娘科水翁属	<i>Cleistocalyx operculatus</i> (Roxb.) Merr.	68~71
2	秋枫	大戟科秋枫属	<i>Bischofia javanica</i> Bl.	73~83
3	铁冬青	冬青科冬青属	<i>Ilex rotunda</i> Thunb.	97~100
4	穗花棋盘脚	玉蕊科玉蕊属	<i>Barringtonia racemosa</i> (L.) Spreng.	84~103
5	串钱柳	桃金娘科白千层属	<i>Callistemon viminalis</i> (Soland.) Cheel.	93~99
6	水石榕	杜英科杜英属	<i>Elaeocarpus hainanensis</i> Oliver	81~102
7	尖叶杜英	杜英科杜英属	<i>Elaeocarpus apiculatus</i> Masters.	79~94
8	乌桕	大戟科乌桕属	<i>Sapium sebiferum</i> (L.) Roxb.	79~94
9	黄金香柳	桃金娘科白千层属	<i>Melaleuca bracteata</i> F. Muell. 'Revolution Gold'	74~89
10	水杉	杉科水松属	<i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu et Cheng	82~87
11	凤箱树	茜草科凤箱树属	<i>Cephalanthus tetrandrus</i> (Roxb.) Ridsd. et Bakh. f.	55~73

试验用水采用室内人工配制的富营养化园林水(取园林绿化废弃物半腐熟料 4 kg,然后将园林绿化废弃物半腐熟料投入装入 30 L 自来水

的半透明塑料箱内,充分搅拌后让其浸泡 3 d 后取出渗滤液,然后将渗滤液稀释 1 倍后供试验用)。试验水质监测指标见表 2。

表 2 试验用水水质

Table 2 Characteristics of experimental water

指标 Index	总氮 TN /(mg · L <sup>-1</sup> )	总磷 TP /(mg · L <sup>-1</sup> )	化学需氧量 COD /(mg · L <sup>-1</sup> )	氨氮 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N /(mg · L <sup>-1</sup> )	pH	色度 Chroma /°
测定值 Measured value	4.45±0.04	3.09±0.01	187.9±4.7	1.20±0.08	8.20±0.16	215±1.6

### 1.2 试验方法

采用人工模拟园林水体的室内试验,试验中所用的植物材料收集回来后放置清水中驯化 30 d,令其适应水生环境,最后选择健康有活力、生长态势良好、大小差不多的植株个体放到相应的试验装置里。试验期间室内温度 25~30 ℃,水温 24~29 ℃,室内宽敞、通风顺畅。

试验装置为透明玻璃瓶(内径高 23 cm,内直径 8 cm),试验用水量 800 mL,水深约为 20.5 cm。试验共设置 12 组单一的处理,每组处理设置 3 个平行,第 1 组为对照(无植物),第 2 组为水翁、第

3 组为秋枫、第 4 组为铁冬青、第 5 组为穗花棋盘脚、第 6 组为串钱柳、第 7 组为水石榕、第 8 组为尖叶杜英、第 9 组为乌桕、第 10 组为黄金香柳、第 11 组为水杉、第 12 组为凤箱树。

试验从 2016 年 9 月 5 日开始,到 2016 年 9 月 17 日结束。每次取水样于 08:30—09:00 进行,分别在 9 月 12 日(第 8 天)、9 月 17 日(第 13 天)各取一次水样,然后测定各组水质指标,植物生理指标只测 9 月 5 日试验前和 9 月 17 日试验结束时的数据。

### 1.3 项目测定

总氮(TN)含量测定采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB11894-89),总磷(TP)含量测定采用钼锑抗分光光度法(GB11893-89),化学需氧量(COD)含量测定采用纳氏试剂比色法(HJ535-2009),氨氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )含量测定采用重铬酸钾法(GB11914-1989),pH测定采用便携式pH计,色度测定采用铂钴标准比色法。以上指标测定方法参照文献[8]。

叶绿素含量测定按照李合生<sup>[9]</sup>的乙醇-丙酮混合液浸泡法;丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法<sup>[10]</sup>;根系活力测定采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法<sup>[11]</sup>。

水体中污染物的去除率计算公式为:去除率( $\%$ ) $=(\text{C}_0-\text{C}_t)/\text{C}_0\times 100$ 。式中, $\text{C}_0$ 为初始浓度, $\text{C}_t$ 为试验后的浓度。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 软件进行编辑处理、绘制相关图表,每组处理的差异性通过 SPSS 19.0 软件进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同植物的生长状况

植物的生长状态可以间接或直接反映植物的耐污净化能力,在试验初期各种木本植物长势良

好,其中,以秋枫、串钱柳和水石榕较为明显,植株萌发新叶生根状况也较良好。在试验后期,由于11种木本植物耐水、耐污能力不相同,有些木本植物生长缓慢,穗花棋盘脚和乌桕出现部分叶片枯黄凋落,而黄金香柳、水杉到试验后期出现部分植株枯萎死亡的现象,水翁、铁冬青、尖叶杜英和风箱树与试验前植株形态上则无太大变化。

### 2.2 11种木本植物的生理指标变化

从表3可以看出,试验前后不同植物呈现出不同变化趋势,水翁、尖叶杜英和乌桕的叶片光合作用减弱,叶绿素含量下降,穗花棋盘脚和水石榕的光合作用较强,叶绿素含量增加较为明显,分别增加了38.1%、32.3%;试验结束时,随着植物对污水的适应性,水石榕、穗花棋盘脚、秋枫的丙二醛含量逐渐下降,根系活力逐渐增强,说明其对污水的适应性及抗逆性较强,其它植物丙二醛含量逐渐上升,根系活力逐渐下降,说明其在污水中的适应能力及抗逆性较弱;水杉在试验前后的根系活力并未发生太大变化。综合3项指标,通过对试验前后数据对比,分析得出,在污水中适应力强,生长状况良好的有秋枫、水石榕、穗花棋盘脚。

### 2.3 不同处理对水体中TN去除的影响

由图1可知,试验期间对照TN浓度变化较为平稳,试验结束时,11种木本植物处理组的TN浓度均低于对照。在第8天时,各组处理TN浓度有所下降,其中,串钱柳和秋枫处理的TN浓度

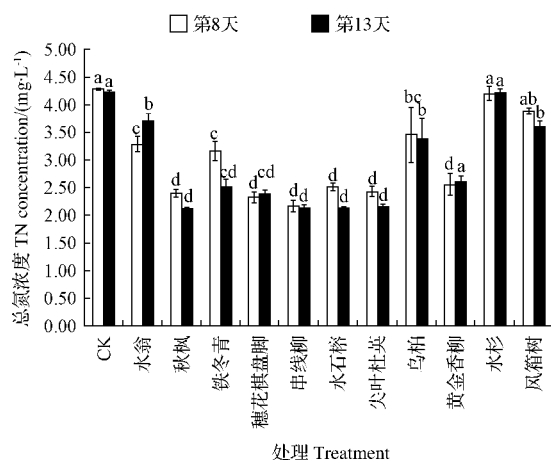
表3 11种木本植物试验前后生理指标变化

Table 3 Physiologic index change of eleven kinds of woody plants before and after test

植物名称 Plant name	叶绿素含量 Chlorophyll content/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )		丙二醛含量 Malondialdehyde content/( $\text{nmol}\cdot\text{mg}^{-1}$ )		根系活力 Root vitality/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )	
	试验前 Before the test	试验后 After the test	试验前 Before the test	试验后 After the test	试验前 Before the test	试验后 After the test
水翁	2.708 $\pm$ 0.39cd	2.440 $\pm$ 0.22d	5.42 $\pm$ 1.73ef	9.54 $\pm$ 1.46de	0.069 $\pm$ 0.003bc	0.031 $\pm$ 0.001e
秋枫	1.235 $\pm$ 0.29f	1.565 $\pm$ 0.24e	13.20 $\pm$ 0.96a	6.61 $\pm$ 1.70e	0.028 $\pm$ 0.001f	0.046 $\pm$ 0.002d
铁冬青	2.680 $\pm$ 0.27cd	2.964 $\pm$ 0.15c	6.03 $\pm$ 0.54e	8.11 $\pm$ 2.77de	0.049 $\pm$ 0.005de	0.073 $\pm$ 0.004a
穗花棋盘脚	2.283 $\pm$ 0.38de	3.135 $\pm$ 0.27c	10.61 $\pm$ 0.72bc	7.83 $\pm$ 0.46de	0.060 $\pm$ 0.009cd	0.063 $\pm$ 0.003b
串钱柳	1.303 $\pm$ 0.13f	1.834 $\pm$ 0.30e	6.50 $\pm$ 0.72d	7.92 $\pm$ 1.21de	0.032 $\pm$ 0.005f	0.017 $\pm$ 0.001f
水石榕	3.283 $\pm$ 0.14ab	4.344 $\pm$ 0.11a	9.46 $\pm$ 0.68bcd	6.60 $\pm$ 3.76e	0.047 $\pm$ 0.004e	0.055 $\pm$ 0.006bc
尖叶杜英	2.883 $\pm$ 0.35bc	2.253 $\pm$ 0.21d	8.37 $\pm$ 1.45d	13.97 $\pm$ 3.53bc	0.079 $\pm$ 0.003b	0.057 $\pm$ 0.003bc
乌桕	3.636 $\pm$ 0.30a	3.570 $\pm$ 0.14b	9.13 $\pm$ 1.15cd	16.35 $\pm$ 0.81b	0.163 $\pm$ 0.016a	0.053 $\pm$ 0.001cd
黄金香柳	1.932 $\pm$ 0.10e	2.313 $\pm$ 0.08d	4.21 $\pm$ 0.28f	11.28 $\pm$ 1.33cd	0.047 $\pm$ 0.004e	0.020 $\pm$ 0.004f
水杉	2.143 $\pm$ 0.19e	2.512 $\pm$ 0.47d	11.07 $\pm$ 1.08b	14.50 $\pm$ 2.55bc	0.074 $\pm$ 0.010b	0.074 $\pm$ 0.008a
风箱树	3.530 $\pm$ 0.05a	4.199 $\pm$ 0.35a	13.78 $\pm$ 0.16a	21.96 $\pm$ 1.16a	0.078 $\pm$ 0.007b	0.076 $\pm$ 0.009a

注:数据为平均值 $\pm$ SE,不同小写字母表示同一列不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: The test data in the table are mean $\pm$ SE, different lowercase letters indicate significant difference( $P<0.05$ ).



注:不同小写字母表示同一天不同处理间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

Note: The different lowercase letters mean significant difference between different processing in the same day ( $P < 0.05$ ), the same as below.

图1 不同处理对TN去除的影响

Fig. 1 The influence of different treatments on TN removal

降低最显著,分别下降了 $2.27$ 、 $2.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,而水杉的TN去除效果最差,只下降了 $0.24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,除了水杉和风箱树与对照无显著差异外,其余植物与对照差异显著。在第8天到第13天时,铁冬青的TN浓度降低幅度较大,下降幅度为 $0.64 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在第13天时,水翁、穗花棋盘脚、黄金香柳、水杉的TN浓度有所上升,水翁的TN浓度上升趋势较明显,比第8天时增加了 $0.42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,其它3种分别上升了 $0.07$ 、 $0.05$ 、 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,可能是在试验后期由于这些植物在污水中受到一定的限制,这说明植物的生长状况可以间接或直接反映植物的耐污净化能力,除黄金香柳和水杉与对照无显著差异外,其余植物与对照差异显著。

各处理对水中TN的去除率从高到低依次为秋枫(52.2%)>串钱柳(51.9%)>水石榕(51.8%)>尖叶杜英(51.3%)>穗花棋盘脚(46.1%)>铁冬青(43.3%)>黄金香柳(41.3%)>乌柏(23.6%)>风箱树(18.7%)>水翁(16.5%)>水杉(5.1%)>对照(4.6%)。试验结束时,秋枫和串钱柳对水中TN的去除效果较好,效果最差的是水杉,但去除率仍高于对照,水杉与对照的差

异不明显,其原因在于当水体富营养化程度较高时,会抑制植物生长,导致在试验后期水杉出现枯叶等现象,造成水杉净化能力下降。

## 2.4 不同处理对水体中TP去除的影响

由图2可知,在试验过程中,各处理中TP浓度呈下降的趋势。在第8天时,与对照相比,穗花棋盘脚、乌柏和水杉去除水中TP浓度无显著差异,其余的处理中TP浓度下降较明显,且差异显著,而秋枫、风箱树和串钱柳则对水中的TP浓度去除效果较好;在第13天时,与对照相比,除穗花棋盘脚、乌柏和水杉外,其余的处理对水中的TP的去除效果均较明显,且这3种植物与对照无显著差异,但穗花棋盘脚的下跌幅度最大,从 $3.42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降至 $2.86 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

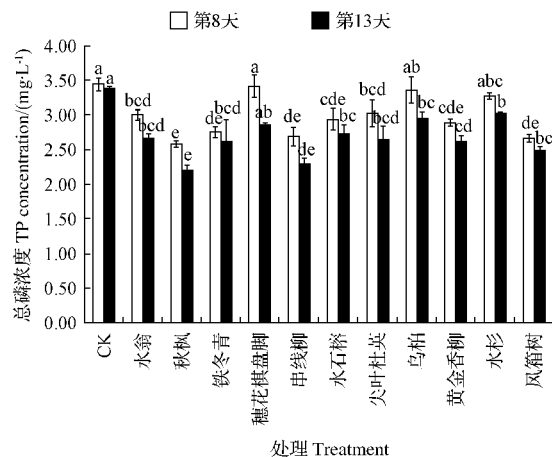


图2 不同处理对TP去除的影响

Fig. 2 The influence of different treatments on TP removal

试验结束时,各处理对水体中TP的去除率从高到低依次为秋枫(28.8%)>串钱柳(25.6%)>风箱树(19.4%)>黄金香柳(15.2%)>铁冬青(14.9%)>尖叶杜英(14.2%)>水翁(13.9%)>水石榕(11.7%)>穗花棋盘脚(7.4%)>水杉(1.9%)>对照(-9.1%),去除能力较强的仍是秋枫和串钱柳,最差的是穗花棋盘脚和水杉。对照TP浓度与初始值相比呈上升的趋势,比初始值高了 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,平均去除率为-9.1%,这可能是由于试验期间蚊子在水中产卵和死亡导致TP浓度上升,也有可能是渗滤液残渣中释放出来的物质导致TP浓度增加。

## 2.5 不同处理对水体中 COD 去除的影响

由图 3 可知,随着试验时间的增加,除铁冬青外,各组处理污水中 COD 浓度呈现逐渐降低的趋势,在试验过程中,各组处理与对照相比,变化较为明显的是水翁、秋枫、串钱柳、尖叶杜英、风箱树,其中去除效果较好的是风箱树,比初始浓度下降了  $54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,平均去除率为 28.7%;在试验第 8 天时,除了穗花棋盘脚、乌柏、水杉与对照无显著差异外,其余植物与对照差异显著,而在第 13 天时,各植物处理均与对照差异显著。

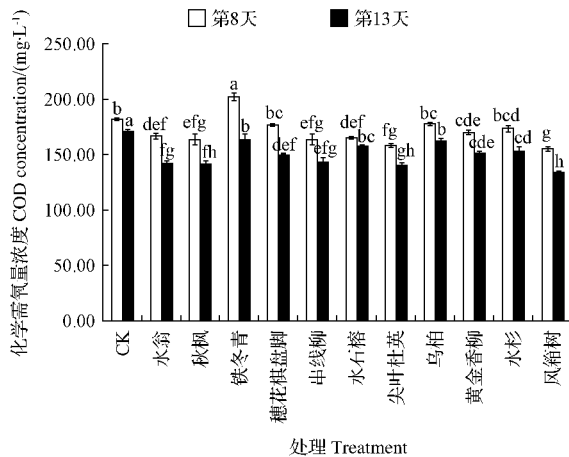


图 3 不同处理对 COD 去除的影响

Fig. 3 The influence of different treatments on COD removal

各处理对水体中 COD 的去除率从高到低依次为风箱树(28.7%)>尖叶杜英(25.0%)>秋枫(24.7%)>水翁(24.2%)>串钱柳(23.6%)>穗花棋盘脚(20.3%)>黄金香柳(19.6%)>水杉(18.6%)>水石榕(15.9%)>乌柏(13.5%)>铁冬青(12.7%)>对照(8.7%)。

## 2.6 不同处理对水体中 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 去除的影响

由图 4 可知,在试验期间,不同处理的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度均呈下降的趋势,有植物处理组的去除率明显高于对照。在第 8 天时,与对照相比,秋枫、水翁中  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度下降幅度明显,而铁冬青、尖叶杜英和水杉的下降幅度不明显,其中除了铁冬青和尖叶杜英与对照无显著差异外,其余处理与对照差异显著;在第 13 天时,秋枫的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度最低,而除了铁冬青和水石榕与对照无显著差异外,其余处理与对照差异显著。

在试验结束时,在所有的植物处理中,秋枫对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除效果较好,水体中  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度由  $2.400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  降到  $1.528 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,平均去除率为 36.3%;水体中的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度在试验开始时不但没有下降,反而出现升高的现象,可能是开始时氨化作用比较快,而植物生物量小,对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的吸收、硝化和反硝化过程较慢的原因所致<sup>[12]</sup>。各处理对水中  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除率从高到低依次为秋枫(36.3%)>水翁(32.4%)>穗花棋盘脚(22.1%)>串钱柳(21.7%)>风箱树(20.4%)>黄金香柳(19.5%)>乌柏(15.3%)>水杉(12.2%)>水石榕(9.4%)>铁冬青(5.4%)>尖叶杜英(3.2%)>对照(0.8%)。

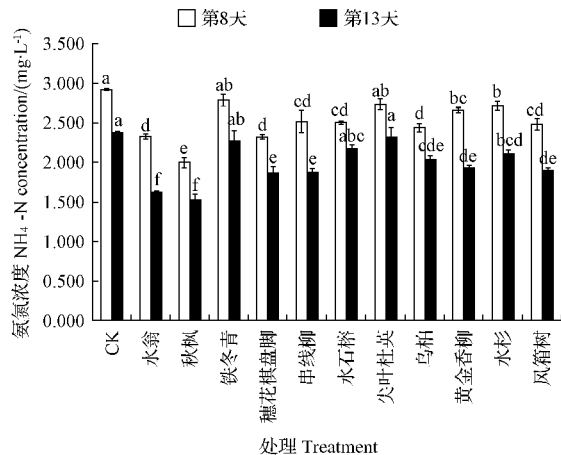


图 4 不同处理对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  去除的影响

Fig. 4 The influence of different treatments on  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  removal

## 2.7 不同处理对水体中 pH 和色度的影响

由图 5 可知,各组处理的 pH 在试验前期变化不明显,而在后期上升得较快,变化范围在 7.26~8.78 之间,符合地表水环境质量标准<sup>[13]</sup> pH 6~9 的要求,试验过程中各组植物处理与对照相比差异显著。由图 6 可知,各处理色度值均呈现出下降的趋势,均低于对照,11 种木本植物去除色度能力从高到低依次为风箱树>串钱柳>秋枫>尖叶杜英>水翁>黄金香柳>水杉>水石榕>穗花棋盘脚>铁冬青>乌柏>对照,在整个试验中,去除效果最好的是风箱树,色度值均低于其余各处理,去除率为 32.6%。

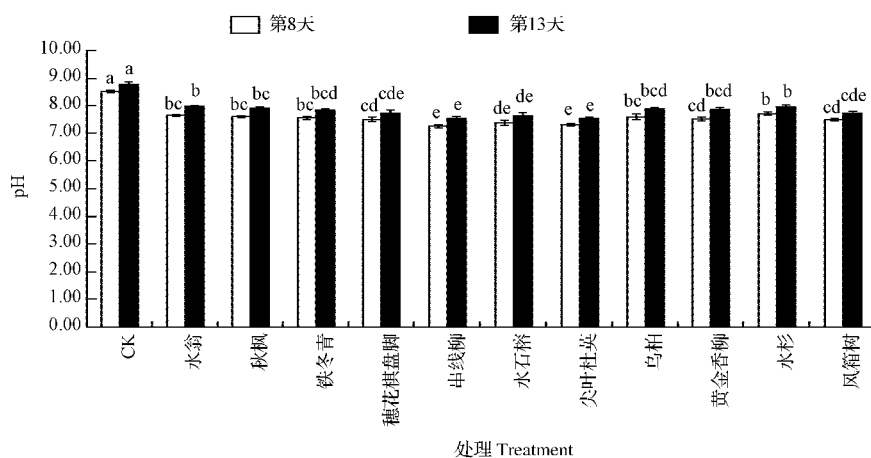


图5 不同处理对 pH 的影响

Fig. 5 The influence of different treatments on pH

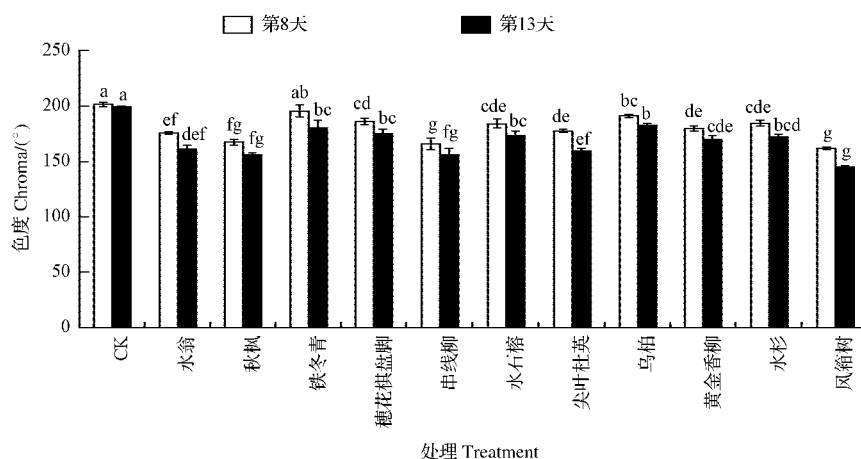


图6 不同处理对色度值的影响

Fig. 6 The influence of different treatments on chroma

### 3 结论

木本植物作为园林水体生态集成净化系统中不可或缺的一部分,既能解决水生草本植物冬枯问题、丰富园林水体植物景观,又可以对富营养化水体起到一定的净化作用。BOLTON 等<sup>[14]</sup>认为在水体环境中与传统的水生草本植物相比较,木本植物一般较为高大且树冠茂密,在所处面积一致的情况下,木本植物具有更大的生物量,对水体中营养元素的吸收具有更大的潜能。

该研究结果表明,11种木本植物对富营养化园林水体具有一定的去除效果,可有效去除水体

中 N、P 等营养元素。综合植物生理生长指标和植物对污水中营养元素的去除效果来看,秋枫对水体中 TN、TP、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的净化效果最好,去除率分别为 52.2%、28.8%、36.3%;串钱柳对水体中 TN、TP 净化效果仅次于秋枫,去除率分别为 51.9%、25.6%;而凤箱树对水体中 COD 和色度的吸附效果较好,去除率分别为 28.7%、32.6%。因此,秋枫、串钱柳和凤箱树可作为水体净化的优先选择,其次是水石榕、穗花棋盘脚、尖叶杜英、铁冬青、水翁、黄金香柳、乌桕、水杉。

该试验所筛选出来的木本植物秋枫、串钱柳和凤箱树等具有较好的去污效果,经过该研究优选的木本植物将填补广东地区乃至国内在水生

木本植物种类上的空缺,大大丰富了水体生态修复和水体景观中水生植物种类和配置模式的多样性,丰富水体复层景观营造、水体生态恢复、演变等多方面的功能,同时水生木本植物具有较好的水生态适应性、生长稳定性、良好的观赏价值以及养护粗放等特性,将在各类城市园林水体中得到广泛应用,并带动水生木本植物苗木生产、销售等,推动广东园林苗木的发展,为日后水体净化提供更多的木本植物选择。

### 参考文献

- [1] ZIMMELS Y, KIRZHNER F, ROITMAN S. Use of naturally growing aquatic plants for waste water purification[J]. Water Environment Research, 2004, 76(3): 67-72.
- [2] 王红莲. 不同水生植物对富营养化水体反硝化脱氮及净化效果影响的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [3] 汪秀芳, 许开平, 叶碎高, 等. 四种冬季水生植物组合对富营养化水体的净化效果[J]. 生态学杂志, 2013(2): 401-406.
- [4] 杨立红. 水生植物对富营养化水体净化能力的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006.
- [5] FROEND R H, HEDDLE E M, BELL D T. Effect of salinity and water logging on the vegetation of Lake Toolbin, Western Australia[J]. Aust J Ecol, 1987, 12: 281-298.
- [6] 胡焕斌, 周化民, 王桂珍, 等. 人工湿地处理矿山炸药污水[J]. 环境科学与技术, 1997(3): 17-18, 26.
- [7] 黄若之. 水湿生木本植物景观及其应用研究[D]. 临安: 浙江农林大学, 2012.
- [8] 中国国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境出版社, 2002.
- [9] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [10] 赵世杰. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(3): 207-210.
- [11] 邹琦. 植物生理生化试验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 曾爱平, 刘洪见, 徐晓薇, 等. 2种挺水植物治理生活污水的研究[J]. 浙江农业科学, 2009(4): 806-808.
- [13] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准: GB 3838-2002[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [14] BOLTON K G E, GREENWAY M. Nutrient sinks in a constructed Melaleuca wet land receiving secondary treated effluent[J]. Water Sci Technol, 1999, 40(3): 341-347.

## Purification Effect of Aquatic Woody Plants

XU Mingyu<sup>1</sup>, LIU Wen<sup>2</sup>, YU Tuyuan<sup>3</sup>, LU Yifei<sup>1</sup>, CHEN Sen<sup>4</sup>, CHEN Ping<sup>4</sup>

(1. Pubang Landscape Architecture Co. Ltd., Guangzhou, Guangdong 510600; 2. School of Environmental Science and Engineering, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225; 3. College of Agriculture and Biology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225; 4. College of Horticulture and Landscape Architecture, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225)

**Abstract:** Eleven kinds of the woody plants including *Cleistocalyx operculatus*, *Bischofia javanica*, *Ilex rotunda*, *Barringtonia racemosa*, *Callistemon viminalis*, *Elaeocarpus hainanensis*, *Elaeocarpus apiculatus*, *Sapium sebiferum*, *Melaleuca bracteata*, *Metasequoia glyptostroboides* and *Cephalanthus tetrandrus* were taken as test material, the purification effect of these plants for the eutrophication of the landscape water and the related physiological index changes were studied, in order to screen the better aquatic woody plants and offer more choices of the aquatic plants in landscape water for ecological restoration in Guangdong district. The results showed that, among these woody plants, *Bischofia javanica* had the best purification effect for the TN, TP  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  in the water with the removal rates as 52.2%, 28.8% and 36.3%, while *Cephalanthus tetrandrus* had the good adsorption effect on COD and chroma in water with the removal rates as 28.7% and 32.6%.

**Keywords:** woody plants; eutrophic landscape water; purification effect