

水生植物组合对社区公园景观水体净化修复研究

皇甫嘉弘, 金荷仙, 陈高敏, 熊 川

(浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 杭州 311300)

摘要: 为探究不同水生植物组合对社区公园景观水体的修复效益, 以挺水植物美人蕉 *Canna indica*, 菖蒲 *Acorus calamus*, 梭鱼草 *Pontederia cordata*, 千屈菜 *Lythrum salicaria*, 野生风车草 *Cyperus alternifolius*, 花叶芦竹 *Arundo donax* var. *versicolor*; 浮叶植物荇菜 *Nymphoides peltatum*, 野天胡荽 *Hydrocotyle vulgaris*, 大藻 *Pistia stratiotes* 9 种水生植物为材料, 按其按特征构建出 9 种植物组合, 于 2019 年 8–9 月在浙江农林大学东湖校区进行水培实验, 分析其净化能力。结果表明, 水生植物组合实验早期净化效果快, 且在第二、第三周基本达到较大的净化率, 随后逐步提高或趋于稳定; 菖蒲+野生风车草+大藻、荇菜+梭鱼草+花叶芦竹这 2 组水生植物组合具有较高的景观观赏性和净化能力, 在处理 36 d 时, 其对化学需氧量 (COD) 的去除率均达 84% 以上, 对氨氮 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) 的去除率达 80% 以上、对总磷 (TP) 的去除率达 83% 以上, 其中, 花叶芦竹+荇菜组合的净化能力较低。本实验结果可为社区公园水生植物应用提供科学依据。

关键词: 挺水植物; 浮叶植物; 组合; 水体净化

中图分类号: S555; X52 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776 (2020) 05-0041-05

Experiment on Water Purification by Different Combinations of Aquatic Plants

HUANGFU JIA-hong, JIN He-xian, CHEN Gao-min, XIONG Chuan

(College of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: From August to September 2019, experiments were conducted in Lin'an, Zhejiang province on 12 combinations of aquatic plants such as *Canna indica*, *Acorus calamus*, *Pontederia cordata*, *Lythrum salicaria*, *Cyperus alternifolius*, *Arundo donax* var. *versicolor*, *Nymphoides peltatum*, *Hydrocotyle vulgaris*, *Pistia stratiotes* for determination of their purification ability of water. The results showed that it had fast purification effect at early stage, and topped the highest at the second and the third week, and then stabilized. The combination of *A. calamus* + *C. alternifolius* + *P. stratiotes* and *P. cordata* + *N. peltatum* + *A. donax* var. *versicolor* had higher purification ability by the end of the 36th date of treatment, with 84% of removal rate of chemical oxygen demand (COD), over 80% of removal rate of ammonia nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), 83% of removal rate of the total phosphorus (TP). While the combination of *A. donax* var. *versicolor* + *N. peltatum* had lower purification ability.

Key words: emergent aquatic plant; floating-leaved plant; combination; water purification

随着城市化进程的加快, 城市迅速扩张, 创造优美宜居的社区环境成了人们共同的追求。景观水体作为社区公园的重要组成部分, 在景观营造中起到了非常重要的作用, 受到人们的喜爱。目前, 越来越多的城市利用再生水作为社区景观水体, 社区景观水体因流动性差、更换周期长、自净能力差、人为污染重等^[1-2], 制约水生生态系统循环, 出现不同程度的富营养化等问题, 对周边环境质量及附近居民的正常生活产生较大影响。因此,

收稿日期: 2020-04-06; 修回日期: 2020-07-29

基金项目: 水生植物在滨水景观中的应用 (编号 H20180040)

作者简介: 皇甫嘉弘, 研究生, 从事水污染治理研究; E-mail: 370479113@qq.com。通信作者: 金荷仙, 教授, 从事风景园林历史理论、康复景观等研究方向; E-mail: lotusjhx@zafu.edu.cn。

水生植物净化技术具有广阔的发展前景^[3-4]。水生植物除了能直接吸收、固定、分解污染物外,还具有通过微生物的调控来修复环境、优化景观等作用^[5],自身又是水生态环境中重要的组成部分,投资少、环境污染低。当前,试验研究及实际应用已由水生植物单体净化转变为多种水生植物组合的净化模式^[6-8],多采用单一生物量增长快的水生植物的手段^[9],为在短时间内水质取得较好的净化效果选择多种沉水植物,由于研究多面向乡村生活污水、养殖废水、煤矿废水等水生态环境^[10-12],选择种类少,无法满足供人游憩的社区公园中水体的景观要求。故对当前社区公园中景观水体富营养化污染的防治势在必行,改善社区公园景观水体的生态环境是社区公园长期发展的重要一环。

从风景园林专业角度出发,本实验着重探索具有不同景观效果的水生植物组合对社区公园景观水体的净化作用,在前人的研究基础上,以现有的社区公园中景观水体水生植物现状及水质情况为实验依据,选取挺水植物(美人蕉 *Canna indica*, 菖蒲 *Acorus calamus*, 梭鱼草 *Pontederia cordata*, 千屈菜 *Lythrum salicaria*, 野生风车草 *Cyperus alternifolius*, 花叶芦竹 *Arundo donax* var. *versicolor*)和浮水植物(荇菜 *Nymphaoides peltatum*, 野天胡荽 *Hydrocotyle vulgaris*, 大藻 *Pistia stratiotes*)共 2 类不同生活型的观赏性好的水生植物,对其分别以观叶、观花、兼具观花与观叶三大类进行组合,通过对水体各污染物成分的跟踪检测,筛选出对社区公园富营养化景观水体具有良好净化效果的水生植物组合。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 实验水体 实验参照《地表水水质标准 GB3838-2002》V 类水以上标准模拟富营养化实验水体,见表 1。

1.1.2 供试植物选择 根据实地调研宁波地区社区公园

水生植物应用情况及文献研究,选择应用较广泛的水生植物,以挺水植物和浮叶植物为主,按观叶、观花、兼具观花与观叶三大类分类,分别记为 A 类、B 类、C 类三种类型,各组再将植物进行组合,共有 9 组水生植物组合实验组,设空白实验为对照组。各实验组供试植物分别属于不同科、属,其生长习性均有所不同,但皆为能较好适应当地水生环境的水生植物群落。(见表 2)

表 1 实验水体水质基本情况
Table 1 Water quality for experiment

项目	COD/(mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N 含量/(mg·L ⁻¹)	TP 含量/(mg·L ⁻¹)
水样指标	80.00	4.00	2.50

注: COD 表示化学需氧量, NH₄⁺-N 表示氨氮, TP 为总磷。

表 2 实验组分组情况
Table 2 Grouping of experiment

类型	实验分组	类型	实验分组
A 类	A ₁ : 菖蒲+野生风车草+大藻	B 类	B ₃ : 千屈菜+野天胡荽
	A ₂ : 菖蒲+大藻	C 类	C ₁ : 梭鱼草+花叶芦竹+荇菜
	A ₃ : 野生风车草+大藻		C ₂ : 花叶芦竹+荇菜
B 类	B ₁ : 千屈菜+美人蕉+野天胡荽		C ₃ : 梭鱼草+荇菜
	B ₂ : 美人蕉+野天胡荽	对照	CK: 无

1.1.3 植物的栽培 实验在长方形塑料盆中进行,每个塑料盆的外型尺寸长×宽×高为 67 cm×45 cm×33.5 cm,利用珍珠棉、无纺布固定植物。实验前,去枯叶,洗净,在实验室内用自来水预培养 10 d 后,选择长势良好且外形相近的植株作为供试植物。

1.2 实验内容

1.2.1 实验地点 试验地点设置在浙江农林大学东湖校区。

1.2.2 试验设计 根据表 2 中供试植物选择与分组情况,水生植物种类为 2 种的实验组每种植物放 3 株,共 6 株;水生植物种类为 3 种的实验组每种植物放 2 株,共 6 株。利用珍珠棉固定,配置的同类水生植物生物量基本相等,分别种植在相同浓度污水中,其中一组为不放植物的相同营养等级实验水体的 CK。实验期间,每隔 6

d 取样一次, 共采集 6 次, 实验周期为 36 d(2019 年 8 月 1 日至 9 月 5 日)。测量指标包括水体的 COD、NH₄⁺-N 含量、TP 含量。每个指标重复测量 3 次, 取平均值。最后分析各组对实验水体中 COD、NH₄⁺-N、TP 的净化效果和植物自身生长状况, 得到对水质净化效果最佳的水生植物组合。

1.3 水样分析

实验中水质常规指标 TP 含量、NH₄⁺-N 含量和 COD 按照《水和废水监测分析方法》^[13]所规定的方法进行水样分析: COD 测定用重铬酸钾法; NH₄⁺-N 含量测定用纳氏试剂光度法; TP 含量测定用过硫酸钾氧化——钼蓝比色法。生物量用 X6201ZH 电子天平(美国奥豪斯)称量。

1.4 数据处理

数据的统计分析采用 SPSS 25.0 等软件对实验数据进行统计和制图分析。污染物去除率按下列公式计算:

$$\eta = \frac{C_0 - C_t}{C_i} \times 100\%$$

式中, η 为污染物去除率, C_0 为实验开始时污染物的浓度, C_t 为实验第 t 天时污染物的浓度。

2 结果与分析

2.1 不同水生植物组合对污水中 COD 的去除率

各个实验组对富营养化实验水体中 COD 的净化效果如表 3 所示。由表 3 可知, 各组水生植物组合对水体中 COD 的净化效果之间有显著性差异 ($P<0.05$), 总净化率在 76.59% ~ 91.03%, 其大致净化趋势为, 在一定时间范围内, 各水生植物组合对富营养水体中的 COD 含量均具有较明显的去除作用, 且实验初期 6 ~ 12 d 内, 各组的 COD 就有明显的下降, 在 30 d 后逐渐趋于稳定状态, 在 36 d 时, 达到最大净化效化效果。在处理 36 d 时, A₁, B₁, C₁ 对污水中 COD 的净化率分别是 3 种类型中的最高组合, 其净化率分别为 91.03%, 89.96%, 83.81%, 尤其以 A₁ 的净化为效果最好, 且在短期内就能有较明显的净化效果。在总体效果方面, B 类水生植物组合的总体净化效果较高。对于植物种类为两类的水生植物组合, 以 B₃(千屈菜+野天胡荽)对 COD 的去除效果最佳。

表 3 实验组对 COD 的去除率
Table 3 Removal rate of COD by different treatment

天数/d	CK/%	A ₁ /%	A ₂ /%	A ₃ /%	B ₁ /%	B ₂ /%	B ₃ /%	C ₁ /%	C ₂ /%	C ₃ /%
6	4.04±0.30i	18.53±0.20c	11.74±0.30e	6.17±0.36h	14.91±0.31d	8.03±0.03g	10.63±0.29f	27.98±0.71a	25.82±0.15b	18.25±0.33c
12	24.29±0.02j	77.70±0.01a	60.98±0.02g	64.33±0.01f	76.33±0.00b	67.70±0.01c	52.04±0.02h	67.14±0.03e	37.33±0.03i	67.33±0.03d
18	49.80±0.08h	80.73±0.29c	68.31±0.15g	69.40±0.09f	87.44±0.31a	73.02±0.30e	82.14±0.03b	68.24±0.15g	68.46±0.30g	76.20±0.29d
24	48.20±0.18j	86.07±0.13b	70.93±0.22i	73.34±0.12f	87.81±0.11a	77.68±0.06e	84.32±0.25c	71.69±0.26h	72.79±0.11g	78.36±0.45d
30	41.60±0.13j	90.06±0.14a	77.20±0.07f	74.95±0.07g	88.56±0.22b	79.97±0.09e	88.08±0.25c	83.28±0.03d	74.83±0.20h	73.30±0.07i
36	46.07±0.12i	91.03±0.21a	79.95±0.02g	76.48±0.27h	89.96±0.10c	84.86±0.35d	88.40±0.09b	83.81±0.07e	76.59±0.18h	83.26±0.11f

注: 同一行中不同小写字母表示不同处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著, 下同。

2.2 不同水生植物组合对污水中 NH₄⁺-N 的去除率

各个实验组对富营养化实验水体中 NH₄⁺-N 的净化效果如表 4。由表 4 表明, 在实验期间, 水生态环境处于相对稳定的状态, 各实验组对污水中 NH₄⁺-N 的净化率稳步递增, 同一时间段不同处理的净化效果间有显著性差异 ($P<0.05$)。在 36 d 时, 各实验组对污水中的 NH₄⁺-N 均有较好的净化效果, 净化率在 54.89% ~ 91.87% 之间。

A, B, C 三类总体净化效果以 C 类最佳, 其中 C₁ 对污水中 NH₄⁺-N 的净化效果最佳, 在 36 d 时的去除率高达 91.87%, 所以在景观水体的应用中, 可以选择梭鱼草、花叶芦竹、荇菜进行多种形式的景观水体水生植物空间的营造。同上述各实验组对 COD 的去除效果, 对 NH₄⁺-N 的去除效果也是 A₁, B₁, C₁ 对污水中 NH₄⁺-N 的净化效果最佳。对于植物种类为 2 种的水生植物组合, 以 A₂ 对 NH₄⁺-N 的去除效果最佳。A₃ 与 B₃ 对 NH₄⁺-N 的净化效果略逊于其他植物组合。

表 4 实验组对 NH₄⁺-N 的去除率
Table 4 Removal rate of NH₄⁺-N by different treatment

天数/d	CK/%	A ₁ /%	A ₂ /%	A ₃ /%	B ₁ /%	B ₂ /%	B ₃ /%	C ₁ /%	C ₂ /%	C ₃ /%
6	16.50±0.38g	41.34±0.71b	36.68±0.29c	24.28±0.35f	36.80±0.35c	23.84±0.58f	31.88±0.11e	42.17±0.08a	35.03±0.19d	41.95±0.43ab
12	34.51±0.15i	55.58±0.11c	55.57±0.10c	37.98±1.41h	49.18±1.17d	43.82±0.94f	45.57±0.21e	71.59±0.17a	41.16±0.69g	61.62±0.84b
18	37.86±0.08i	80.73±0.20b	62.03±0.13c	44.56±0.11h	58.63±0.08e	46.09±0.06g	51.38±0.09f	71.09±0.06a	54.83±0.19d	62.15±0.13c
24	35.36±0.18m	73.88±0.08b	63.28±0.13d	44.84±0.05i	63.63±0.09c	51.86±0.05k	53.82±0.03i	82.74±0.09a	72.79±0.08f	78.36±0.10e
30	34.90±0.07j	74.93±0.15b	67.88±0.11c	51.51±0.04i	66.37±0.09e	53.08±0.06h	54.65±0.05g	89.89±0.06a	60.95±0.11f	66.80±0.10d
36	37.86±0.08j	83.99±0.13b	77.01±0.13c	54.89±0.06i	72.12±0.12e	66.93±0.11g	59.46±0.05h	91.87±0.08a	69.55±0.08f	75.39±0.08d

2.3 不同水生植物组合对污水中 TP 的去除率

各个实验组对富营养化实验水体中 TP 的净化效果如表 5。由表 5 表明，在实验初期，各实验组就能去除污水中 60%左右的 TP，之后随着时间的推移逐渐趋于稳定，偶尔会有浓度回升，这可能是由于生长发育所需的营养物质不能长期被满足，根系腐烂的现象加重，根系输养能力降低，微生物活性降低，导致对 TP 的去除能力减弱^[14]。处理 36 d 时的净化率在 68.52% ~ 79.76%之间，并且各实验组对污水中 TP 的净化率之间有显著性差异 ($P < 0.05$)。

表 5 实验组对 TP 的去除率
Table 5 Removal rate of TP by different treatment

天数/d	CK/%	A ₁ /%	A ₂ /%	A ₃ /%	B ₁ /%	B ₂ /%	B ₃ /%	C ₁ /%	C ₂ /%	C ₃ /%
6	33.32±0.20i	69.75±0.12b	68.57±0.24d	65.47±0.1g	69.32±0.22c	65.04±0.18h	31.88±0.11f	70.77±0.22a	64.73±0.22h	67.07±0.18e
12	33.73±0.26g	71.69±0.21b	70.29±0.12c	66.12±0.08f	69.44±0.22d	67.12±0.78e	45.57±0.21f	71.51±0.19a	65.76±0.29f	67.56±0.41e
18	33.73±0.26h	0.76±0.34b	71.65±0.37b	67.63±0.12e	69.31±0.33c	68.41±0.18d	51.38±0.09g	75.59±0.40a	66.24±0.16g	67.12±0.16f
24	35.23±0.14h	74.49±0.14b	72.87±0.44c	67.71±0.26f	70.37±0.08d	65.40±0.18h	53.82±0.03e	76.27±0.14a	66.35±0.14g	68.84±0.12e
30	35.19±0.17h	74.75±0.17b	73.99±0.12c	68.72±0.16f	71.97±0.18d	68.25±0.33g	54.65±0.058g	78.93±0.1a	68.23±0.14g	70.75±0.14e
36	35.35±0.10i	75.84±0.11b	73.56±0.16c	69.05±0.1g	72.67±0.14d	70.77±0.14f	59.46±0.05h	79.76±0.11a	68.87±0.16g	71.79±0.19e

根据数据分析，A，B，C 类总体净化效果以 C 类为最佳，其中，在处理 36 d 时，C₁ 对污水中 TP 的净化效果最佳，净化率达 9.76%，所以在景观水体的应用中，可以选择梭鱼草、花叶芦竹、荇菜进行多种形式的景观水体水生植物空间营造。综合上述各实验结果表明，A₁，B₁，C₁ 分别为该类中对污水中 TP 的去除效果最佳的植物组合。对于植物种类为两类的水生植物组合，以 A₂ 对 TP 的去除效果最佳。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文通过 9 组不同水生植物搭配组合对污水的处理结果，分析各实验组对富营养化水体中 COD、NH₄⁺-N、TP 的净化情况，结果显示，3 种水生植物组合比 2 种水生植物组合的净化效率高，这与刘敏的研究结果一致^[15]。根据对 A₁，B₁，C₁ 的结果分析，A₁（菖蒲+野生风车草+大藻）与 C₁（荇菜+梭鱼草+花叶芦竹）组合在景观观赏性及对水质的净化能力上都很适合应用在社区公园中。对于实验中，水生植物种类皆为两类的组合，以 B₃（千屈菜+野天胡荽）对 COD 的净化效率最好；A₂（菖蒲+大藻）对 NH₄⁺-N、TP 的净化效果最好。另外，刘建伟等测得美人蕉对 COD 的去除效果在 30%左右^[16]，但与野天胡荽组合对净化效果有显著提高。

在利用水生植物技术处理流动性差、自净能力差、人为污染重的社区公园水体景观时，不应只局限于对水体本身的净化研究，同时也要注意水体作为社区景观的一部分，对于人居环境的改善，景观的优化也有着举足轻重的作用。故基于本次实验结果，在实际应用中可考虑在主要活动水域，采用菖蒲+野生风车草+大藻、梭鱼草+花叶芦竹+荇菜、千屈菜+美人蕉+野天胡荽等水生植物搭配组合，对于较偏僻，景观需求少的水域，可选野生风车草+大藻、千屈菜+野天胡荽等水生植物组合，同时也需注意水体景观的后期维护，如本实验中大藻在实验中后期易出现叶片发黄腐烂等现象，需及时打捞处理避免形成二次污染^[17]。

3.2 讨论

在水生态修复中水生植物得到了广泛的应用, 单一植物对于富营养水体中多类污染物难以做到全覆盖去除^[18-21]。在本次实验中, 将多种水生植物混合栽种, 极大地增加了对去除各污染物的覆盖率, 并能达到一组水生植物组合就能同时对 COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TP 有较好的去除效率。水生植物组合的净化能力强可能是由于水生植物间产生了竞争的关系, 促进了植物根系的增长, 形成特殊的生物膜结构, 加强了对污染物的吸附、吸收、过滤和转化^[22];也可能是水生植物与氮、磷和氧结合形成了稳定的化合物从而降低了富营养水体的污染物浓度^[23]。其中也存在仅有两种水生植物的组合净化效果比三种的水生植物组合强的情况, 这可能是受到各个水生植物单个物种本身的净化能力以及各个水生植物间的相互影响, 产生共生或者竞争等关系, 故需要进一步研究分析。

在利用水生植物技术修复社区公园景观水体的研究进程中, 仍需不断实验发掘更具潜力的水生植物组合, 并进一步将室内静态实验拓展到更多样、更复杂的实际富营养化水域中, 充分结合园林景观设计 with 植物配置等理念, 细化到不同污染程度和使用功能的水域都能有对应的兼具生态与景观性的水生植物组合。如何合理地发挥水生植物组合的生态与景观效益, 提供新的理论与依据, 并充分地应用到人居环境改善方面, 值得继续深入研究。

参考文献:

- [1] ELEN I ANAGNOSTOU, ARETI GIANN, IEROTHEOS ZACHARIAS. Ecological modeling and eutrophication-A review[J]. Nat Resour Model, 2017, 30 (3) : 1 - 27.
- [2] 陈玉辉. 典型城市黑臭河道治理后的富营养化分析和预测研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2013.
- [3] 姜建华. 水生植物用于水体富营养化防治的技术分析[J]. 绿色科技, 2019 (04) : 96 - 98.
- [4] 魏刚, 周庆, 熊蓉春, 等. 水处理中的绿色化学与绿色技术[J]. 现代化工, 2002 (12) : 43 - 46.
- [5] 白峰青, 郑丙辉, 田自强. 水生植物在水污染控制中的生态效应[J]. 环境科学与技术, 2004 (04) : 99 - 100, 110 - 120.
- [6] 李秀芳, 王龙, 聂煜东, 等. 水生植物组合净化受污染河道研究[J]. 中国农村水利水电, 2018 (10) : 8 - 12, 18.
- [7] 尹若水, 蔡颖芳, 吴家胜, 等. 城市景观水体水质净化和生态修复研究[J]. 环境科学与技术, 2016, 39 (S2) : 210 - 214.
- [8] 刘顺, 桂和荣, 洪步林, 等. 铜陵翠湖公园水体污染生态治理[J]. 中国给水排水, 2018, 34 (08) : 110 - 114.
- [9] 冯承婷, 赵强民, 甘美娜. 关于景观水体生态修复沉水植物生物量配置探讨[J]. 中国园林, 2019, 35 (05) : 117 - 121.
- [10] 张倩妮, 陈永华, 杨皓然, 等. 29 种水生植物对农村生活污水净化能力研究[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36 (03) : 392 - 402.
- [11] 陈金发, 卿东红, 阮尚全. 垃圾渗滤液处理的优化湿地植物组合[J]. 水土保持研究, 2007, 14 (2) : 2262 - 2266.
- [12] 程丽芬, 张欣. 5 种水生植物对煤矿废水的适应性及净化效果[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36 (04) : 801 - 809.
- [13] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法: 第 4 版[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 210 - 284.
- [14] MA Y F, YANG X Z, ZHAO X H, et al. Effects of wastewater nitrogen concentrations and $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ on nitrogen removal ability and the nitrogen component of *Myriophyllum quaticum* (Vell.) Verdc[J]. Environ Sci, 2018, 39 (3) : 1167 - 1179.
- [15] 刘敏, 吴铁明, 刘菡, 等. 3 种水生植物的不同组合对富营养水体的净化效果研究[J/OL]. 中国农业科技导报: 1 - 6[2019-06-15].
- [16] 刘建伟, 周晓, 吕臣, 等. 三种挺水植物对富营养化景观水体的净化效果[J]. 湿地科学, 2015, 13 (01) : 7 - 12.
- [17] 赵丽君, 陈刚新, 张文超, 等. 2 种漂浮植物对再生水水质净化能力比较[J]. 环境工程, 2019, 37 (06) : 58 - 63.
- [18] 李秀芳, 王龙, 聂煜东, 等. 水生植物组合净化受污染河道研究[J]. 中国农村水利水电, 2018 (10) : 8 - 12, 18.
- [19] 袁兴程, 李丹. 基于纳污河道处理农村生活污水的生态组合技术[J]. 中国给水排水, 2017, 33 (06) : 98 - 101.
- [20] 曾爱平, 刘洪见, 施于文. 不同沉水植物水质改善效应研究[J]. 浙江农业科学, 2009 (05) : 1000 - 1003.
- [21] 陈发先, 王铁良, 柴宇, 等. 人工湿地植物研究现状与展望[J]. 中国农村水利水电, 2010 (02) : 1 - 4, 12.
- [22] DRIZO A, GROST C A, SMITH K A, et al. Phosphate and ammonium removal by constructed wetlands with horizontal subsurface flow, using shale as a substrate[J]. Water Sci Technol, 1997, 35 (5) : 95 - 102.
- [23] 王荣, 贺锋, 徐栋, 等. 人工湿地基质除磷机理及影响因素研究[J]. 环境科学与技术, 2010, 33 (S1) : 12 - 18.