

# 不同空间配置的湿地植物群落对生活污水的净化作用研究

李莎莎<sup>1</sup>, 田昆<sup>1,2\*</sup>, 刘云根<sup>1</sup>, 周耀华<sup>1</sup>, 杨红梅<sup>1</sup>

1. 西南林业大学环境科学与工程系, 云南 昆明 650224; 2. 国家高原湿地研究中心, 云南 昆明 650224

**摘要:** 植物是湿地生态系统的重要组成部分, 湿地湖滨植物群落物种组成和空间格局对湿地水体净化功能具有重要作用。选择茭草 (*Zizania caduciflora*)、野菱 (*Trapa incisa*)、金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*) 和菹齿眼子菜 (*Potamogeton pectinatus*) 等 4 种云南高原湿地常见湖滨带植物物种, 以不同配置方式分别构建 4 种不同植物群落: 茭草-金鱼藻-金鱼藻 (Z-C-C)、茭草-野菱-金鱼藻 (Z-T-C)、茭草-菹齿眼子菜-菹齿眼子菜 (Z-P-P)、和茭草-菹齿眼子菜-金鱼藻 (Z-P-C), 对不同植物群落净化污水的效果进行对比研究。结果表明: 4 种不同植物群落人工湿地对生活污水净化效果不同, 经过 Z-C-C 群落处理后水体的 COD 降低率为(50.56±1.98)%, 显著低于 Z-T-C 群落(69.66±4.15)%、Z-P-P 群落(64.29±1.05)%、Z-P-C 群落(66.67±1.13)% ( $P<0.05$ ); 经过 Z-T-C 群落处理后水体 TN 降低率为(24.69±4.64)%, 显著低于 Z-C-C 群落(53.29±0.71)%、Z-P-P 群落(53.36±2.04)%、Z-P-C 群落(54.44±0.29)% ( $P<0.05$ ); 各群落对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  去除率有显著差异( $P<0.05$ ), 分别为(71.77±0.37)%、(67.22±0.53)%、(69.22±0.13)%、(80.85±0.31)%。研究表明: 3 种植物配置模式对生活污水的净化效果比 2 种植物配置模式的好; 适当增加沉水植物的配置比例, 可提高人工湿地对氮的去除效果; 根系发达的植物具有更强的净化效果。

**关键词:** 植物群落; 空间配置; 生活污水; 净化作用

**中图分类号:** X173

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2010) 08-1951-05

湿地植物是湿地中重要的组成部分<sup>[1-2]</sup>, 在自然湿地中不同湿地植物构成植物群落, 为水生生物创造良好生境, 与周围环境进行物质能量的交换, 截留水体中的营养物质, 有效净化水质, 平衡湿地营养物质, 在湿地生态平衡和生物多样性保持中发挥重要作用<sup>[3-4]</sup>, 已有大量研究证明湿地植物净化水质的作用<sup>[5-6]</sup>。由于湿地植物群落组成不同, 植物之间相互作用共同维持湿地生态系统的功能存在差异, 导致湿地对水质净化效果有所不同, 因此, 合理配置湿地植物对提高人工湿地的净化功能具有重要意义。目前已有大量关于湿地植物对污水的净化效果研究, 但以单种植物对污染水体的净化作用研究局多, 缺乏不同类型植物组合对污水的净化作用研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

依据多年对云南高原自然湿地典型植物群落物种组成特征的研究, 采集 3 种不同生活型的挺水植物-茭草 (*Zizania caduciflora*)、浮叶植物-野菱 (*Trapa incisa*)、沉水植物-金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*) 和菹齿眼子菜 (*Potamogeton pectinatus*) 带回实验室, 进行移栽成活试验, 保证参试植物正常生长并处于同一试验条件下。为避免其他因子干扰, 获得植物群落净化效果, 栽培基质采用细沙, 试验用生活污水来自于西南林业大学生活污水, 水

样各初始指标分别为: COD 为 84~89  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ; TN 为 19.21~20.6  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为 16~17  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  为 0.086~0.09  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

### 1.2 研究方法

植物群落构建在西南林业大学防雨棚内的营养净化槽(3.7 m×1 m×0.8 m)中进行, 每个净化槽分为 3 个单元, 相互连通。对水槽作防水、加固等处理后, 在挺水植物单元铺设 30 cm 厚细沙, 在沉水植物单元铺设 15 cm 厚细沙, 构建一定的水深梯度, 设相同条件对照单元作为试验参照。

本次试验构建了茭草-金鱼藻-金鱼藻 (Z-C-C)、茭草-野菱-金鱼藻 (Z-T-C)、茭草-菹齿眼子菜-菹齿眼子菜 (Z-P-P)、和茭草-菹齿眼子菜-金鱼藻 (Z-P-C), 4 种不同空间配置的植物群落系统, 每种群落配置 3 个平行, 共计 15 个水槽(空白对照 3 个)。2009 年 7 月底, 选择经过移栽成活试验处理的植株移栽, 茭草高为 45 cm, 菹齿眼子菜和金鱼藻长为 30 cm, 野菱水面叶片直径为(10±2) cm, 加入清水待其稳定生长 3 天后, 加入生活污水, 模拟野外水文过程, 调节水流速度, 每隔 1 天取 1 次水样, 对不同空间配置植物群落净化效果进行测定, 20 d 为 1 个试验周期。试验时间为 2009 年 7 月至 2009 年 12 月。

测定水质各指标方法: COD 采用重铬酸钾氧化

**基金项目:** 云南省科技计划 (2008CA006), 国家重点基础研究发展计划 (973) 前期研究专项 (2010CB434807), 国家自然科学基金 (40971285)

**作者简介:** 李莎莎(1984 年生), 女, 硕士研究生, 主要从事湿地生态方向研究。E-mail: leessi1984@163.com

\*通讯作者, E-mail: tlkump@swfc.edu.cn

**收稿日期:** 2010-05-25

法, TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  采用纳氏试剂比色法,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  采用酚二磺酸分光光度法<sup>[7]</sup>。

### 1.3 数据分析

试验数据统计分析运用 SPSS 13.0 和 Excel 软件进行。采样单因素方差分析法, 对不同空间配置的植物群落系统处理后水体相关指标进行差异性检验, 对不能满足方差齐性检验数据进行 Tamhane's T2 检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 水体 COD 变化

从图 1 可见, 不同空间配置的 4 种湿地植物群落中 COD 质量浓度随时间变化逐渐降低, 减少量依次为(45±4.95)、(62±0.71)、(54±4.95)、(58±4.24)  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , COD 质量浓度降低率随时间变化逐渐增加, 从小到大依次为(50.56±1.98)%、(69.66±4.15)%、(64.29±1.05)%、(66.67±1.13)%、均明显高于空白组(29.67±1.03)%。4 种湿地植物群落对 COD 质量浓度均有比较明显的降低作用, 且 COD 质量浓度变化趋势基本相同, 但不同群落之间存在差异。Z-C-C 群落对 COD 降低率与其它 3 个群落有显著差异 ( $P<0.05$ ), 降低率明显低于其它 3 个群落, Z-T-C 群落和 Z-P-C 群落对 COD 降低率明显高于其它 2 个群落 ( $P<0.05$ ), 其中 Z-T-C 群落中 COD 质量浓度减少最多, 降低率最高, 对 COD 净化效果最好。

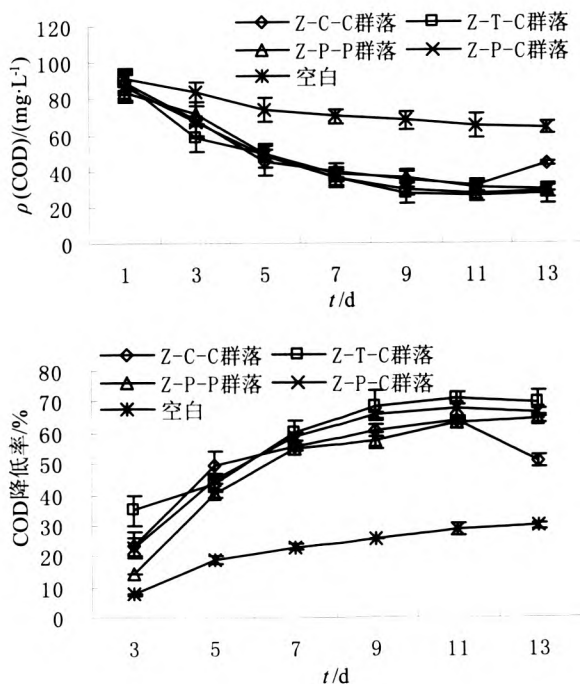


图 1 COD 质量浓度变化及降低率

Fig.1 Variation of the concentration and reduction rate of COD

### 2.2 水体 TN 变化

从图 2 可见, 不同空间配置的 4 种湿地植物群落中 TN 质量浓度随时间变化逐渐降低, 减少量依次为(10.98±0.36)、(4.77±0.67)、(11.18±0.15)、(11.29±0.78)  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , TN 质量浓度降低率随时间变化逐渐增加, 依次为(53.29±0.71)%、(24.69±4.64)%、(53.36±2.04)%、(54.44±0.29)%、均明显高于空白组(13.97±1.61)%。4 种湿地植物群落对 TN 质量浓度均有比较明显的降低作用, 且 TN 质量浓度变化趋势基本相同, 第 11 天 Z-T-C 群落对 TN 质量浓度降低率下降。试验结果表明 Z-T-C 群落对 TN 降低率与其它 3 个群落有显著差异 ( $P<0.05$ ), 降低率明显低于其它 3 个群落, Z-P-C 群落中 TN 质量浓度减少最多, 降低率最高, 对 TN 净化效果最好。

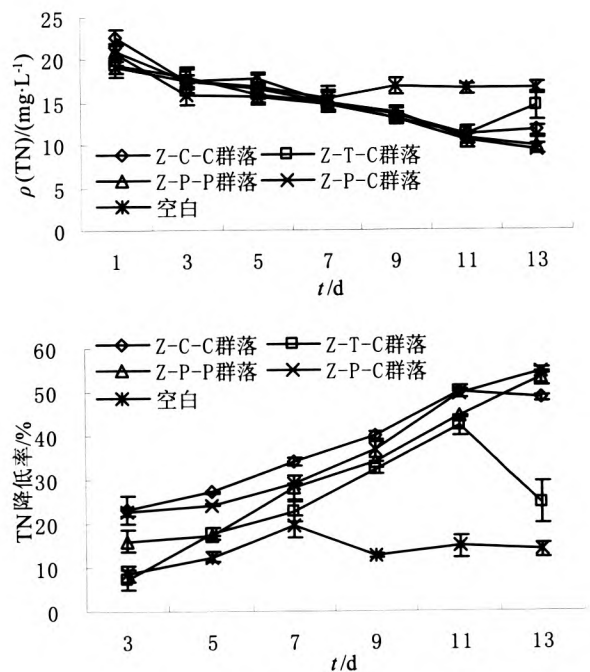


图 2 TN 质量浓度变化及降低率

Fig.2 Variation of the concentration and reduction rate of TN

### 2.3 水体 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 变化

从图 3 可见, 不同空间配置的 4 种湿地植物群落中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  质量浓度随时间变化逐渐降低, 减少量依次为(12.33±0.06)、(11.1±0.41)、(11.61±0.27)、(13.12±0.41)  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  质量浓度降低率随时间变化逐渐增加, 依次为(71.77±0.37)%、(67.22±0.53)%、(69.22±0.13)%、(80.85±0.31)%、均明显高于空白组(9.17±0.12)%。4 种湿地植物群落对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  质量浓度均有比较明显的降低作用, 且  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  质量浓度变化趋势基本相同, 但各群落间

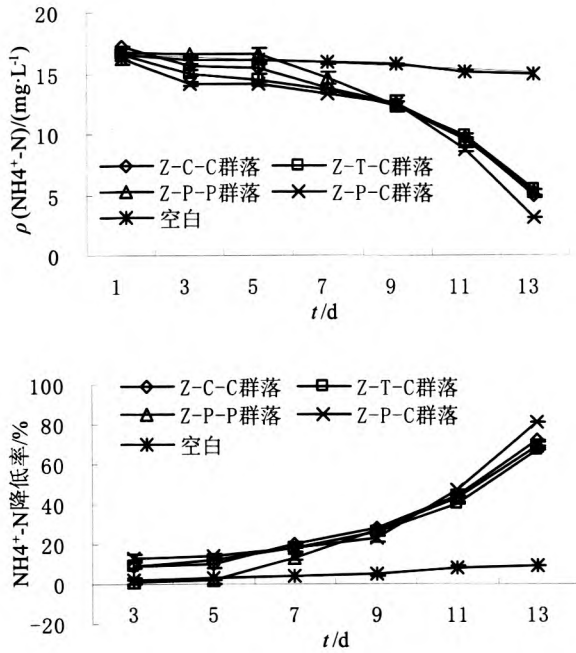


图3 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓度变化及降低率  
Fig.3 Variation of the concentration and reduction rate of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N降低率有显著差异 ( $P < 0.05$ ), Z-P-C群落 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N质量浓度减少最多,降低率最高,对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N净化效果最好, Z-T-C群落NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N质量浓度降低率最低,净化效果最差。

### 2.4 水体 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 变化

从图 4 可见,不同空间配置的 4 种湿地植物群

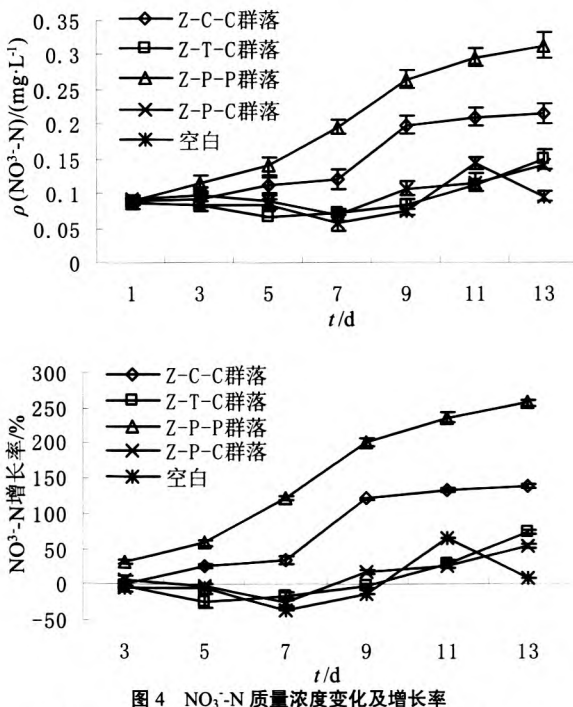


图4 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度变化及增长率  
Fig.4 Variation of the concentration and growth rate of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N

落中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度随时间变化逐渐增加,增加量依次为(0.125±0.007)、(0.064±0.004)、(0.226±0.012)、(0.05±0.006) mol·L<sup>-1</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度增长率随时间变化逐渐增加,依次为(138.89±2.77)%、(74.42±3.65)%、(256.82±3.78)%、(54.95±2.97)%,均明显高于空白组(10.34±3.62)%。4 种湿地植物群落 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度变化趋势基本相同,但各群落间 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度增长率有显著差异 ( $P < 0.05$ ), Z-P-P 群落 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度增加最多,增长率最高, Z-P-C 群落增长率最低。

### 3 结论与讨论

研究表明:不同空间配置的 4 种湿地植物群落对污水均有较明显净化效果,说明植物对净化水质有重要作用,该研究结果与以往大量研究结果一致<sup>[8-9]</sup>。4 种不同湿地植物群落之间净化效果存在差异。Z-T-C、Z-P-C 群落对 COD 降低率显著高于另两个群落。COD 的去除主要是植物根吸收和微生物的代谢作用,且与氧的关系非常密切<sup>[10]</sup>。Z-C-C 群落对 COD 的净化效果最差,可能是由于沉水植物—金鱼藻无根系,较有根植物吸收 COD 的能力弱。但 Z-P-P 群落搭配有根的眼子菜对 COD 净化效果不如金鱼藻的 Z-T-C、Z-P-C 群落。从空间配置上看 Z-T-C、Z-P-C 群落比 Z-P-P 群落复杂,生物多样性更高。不同湿地植物生长速度、对污染物的吸收转化能力,提供氧气能力等存在显著差异,从而使得净化功能不同<sup>[11]</sup>,而不同物种或同一物种在不同湿地环境中净化效果会有较大差异<sup>[12]</sup>,所以选择搭配多种湿地植物,有利于植物间的优势互补,保持对营养及有机物较好且更稳定的净化效果,使湿地系统更稳定的发挥生态功能。已有试验证明,多种植物组合合理搭配具有较好的处理效果<sup>[12-13]</sup>。COD 净化效果说明 Z-T-C、Z-P-C 群落空间配置更合理,有利于湿地系统更好的发挥净化功能,维持湿地系统的稳定。随着时间的变化 4 种不同湿地植物群落对氮的去除效果出现差异。Z-P-C 群落对 TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 降低率最高,Z-C-C、Z-P-P 群落对 TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除效果稍差于 Z-P-C 群落,Z-T-C 群落对 TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 净化效果明显差于另 3 个群落。Z-T-C 群落中沉水植物最少。有研究表明沉水植物通过根部吸收底质中的氮和植物体吸收水中的氮,从而比浮叶植物具有更强的富集氮的能力<sup>[14]</sup>。Z-P-C 群落比 Z-C-C、Z-P-P 群落净化氮的效果好,由于 Z-P-C 群落是 3 种植物组合,生物多样性更高,系统更稳定,说明选择合适的植物配置,增加系统生物多样性有利于净化效果的提高。

通过本研究发现:(1)以不同生活型的 3 种植物

配置模式对生活污水的净化效果比2种植物配置模式要好,因此,在构建人工湿地时应选择挺水、浮叶、沉水植物等多种湿地植物相结合的方式,增强人工湿地对污染物的净化效果;(2)沉水植物多的群落具有更好的除氮效果,在植物配置上应注意沉水植物的配置比例,提高人工湿地对氮的去除效果;(3)根系发达的植物具有更强的净化效果,构建人工湿地时,可选择生长快,根系发达的挺水植物。

### 参考文献:

- [1] 种云霄, 胡洪营, 钱易. 大型水生植物在水污染治理中的应用研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(2): 36-40.  
CHONG Yunxiao, HU Hongying, QIAN Yi. Advances in utilization of macrophytes in water pollution control[J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2003, 4(2): 36-40.
- [2] 成水平, 吴振斌, 况琪军. 人工湿地植物研究[J]. 湖泊科学, 2002, 14(2): 179-184.  
CHENG Shuiping, WU Zhenbin, KUANG Qijun. Macrophytes in Artificial Wetland[J]. Journal of Lake Sciences, 2002, 14(2): 179-184.
- [3] 王学雷, 刘兴土, 吴宜进. 洪湖水环境特征与湖泊湿地净化能力研究[J]. 武汉大学学报: 理学版, 2003, 49(2): 217-220.  
WANG Xuelei, LIU Xingtu, WU Yijin. Analysis of water environment characteristics and purification ability of Honghu Lake wetland in Jiangnan plain[J]. Wuhan University: Natural Science Edition, 2003, 49(2): 217-220.
- [4] 王为东, 王亮, 聂大刚, 等. 白洋淀芦苇型水陆交错带水化学动态及其净化功能研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(3): 537-543.  
WANG Weidong, WANG Liang, NIE Dagang, et al. Studies on hydrochemical changes and purification effects of the *Phragmites australis*-dominated land/inland water ecotones in Baiyangdian Lake[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(3): 537-543.
- [5] 夏汉平. 人工湿地处理污水的机理与效率[J]. 生态学杂志, 2002, 21(4): 51-59.  
XIA Hanping. Mechanisms and efficiencies on wastewater treatment with constructed wetlands[J]. Chinese Journal of Ecology, 2002, 21(4): 51-59.
- [6] 李云鹏, 李怡庭, 刘景哲, 等. 松嫩平原湖泡湿地水化学特征及净化水质作用研究[J]. 东北水利水电, 2001, 12(19): 39-43.  
LI Yunpeng, LI Yiting, LIU Jingzhe, et al. Study on hydrochemistry character and purifying water quality effect of Song-Neb Plain wetland[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2001, 12(19): 39-43.
- [7] 国家环保局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 211-279.  
State of Environmental Protection Agency. Methods of Monitoring and Analyzing Water and Wastewater[M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 211-279.
- [8] 袁东海, 高士祥, 任全进, 等. 几种湿地植物净化生活污水COD总氮效果比较[J]. 应用生态学报, 2004, 15(12): 2337-2341.  
YUAN Donghai, GAO Shixiang, REN Quanjin, et al. Purification efficiency of several wetland macrophytes on COD and nitrogen removal from domestic sewage[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(12): 2337-2341.
- [9] 杨立君, 余波平, 王永秀, 等. 净化湖水的垂直流人工湿地的脱氮研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(3): 132-134.  
YANG Lijun, YU Boping, WANG Yongxiu, et al. Nitrogen removal in lake water treated by vertical flow constructed wetland[J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(3): 132-134.
- [10] 王世和. 人工湿地污水处理理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 55-59.  
WANG Shihe. Constructed Wetland Wastewater Treatment Theory and Technology[M]. Beijing: Science Press, 2007: 55-59.
- [11] 梁威, 吴振斌, 詹发萃, 等. 人工湿地植物根区微生物与净化效果的季节变化[J]. 湖泊科学, 2004, 16(4): 312-317.  
LIANG Wei, WU Zhenbin, ZHAN Facui, et al. Seasonal variation of macrophytes root-zone microorganisms and purification effect in the constructed wetland system[J]. Journal of Lake Sciences, 2004, 16(4): 312-317.
- [12] 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, 27(4): 99-100.  
BAI Fengqing, ZHENG Binghui, TIAN Ziqiang. Ecological effects of aquatic plants on water pollution control[J]. Environmental Science and Technology, 2004, 27(4): 99-100.
- [13] 金相灿, 颜昌宙, 许秋瑾. 太湖北岸湖滨带观测场水生植物群落特征及其影响因素分析[J]. 湖泊科学, 2007, 19(2): 151-157.  
JIN Xiangcan, YAN Changzhou, XU Qiujin. The community features of aquatic plants and its influence factors of lakeside zone in the north of lake Taihu[J]. Journal of Lake Sciences, 2007, 19(2): 151-157.
- [14] 郭和蓉, 卢小良. 水生植物净化水环境与水生植被的修复[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2005, 2(5): 65-68.  
GUO Herong, LU Xiaoliang. Purification of water environment with planting hydrophyte and remediation of aquatic vegetation[J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2005, 2(5): 65-68.

## Compare the purification effects of sewage by the wetland plant community composition and spatial patterns

LI Shasha<sup>1</sup>, TIAN Kun<sup>1,2\*</sup>, LIU Yungen<sup>1</sup>, ZHOU Yaohua<sup>1</sup>, YANG Hongmei<sup>1</sup>

1. Department of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry College, Kunming 650224, China;

2. State Study Center for Plateau Wetland Research, Kunming 650224, China

**Abstract:** Hydrophytes are an important part of a constructed wetland system. Species composition and spatial patterns of wetland plant communities are important in the water-cleaning functions of wetlands. Four common wetland plants (*Zizania caduciflora*,

*Trapa incise*, *Ceratophyllum demersum* and *Potamogeton pectinatus*) in natural wetlands on Yunnan plateau were chosen to construct four different plant communities: *Zizania caduciflora*-*Ceratophyllum demersum*-*Ceratophyllum demersum*(Z-C-C), *Zizania caduciflora*-*Trapa incise*-*Ceratophyllum demersum*(Z-T-C), *Zizania caduciflora*-*Potamogeton pectinatus*-*Potamogeton pectinatus*(Z-P-P) and *Zizania caduciflora*-*Potamogeton pectinatus*-*Ceratophyllum demersum*(Z-P-C). The study compared the effect of the different plant communities on the treatment of domestic sewage. The result were as follows: the four different plant communities in constructed wetlands had different impact, the COD reduction rate was (50.56±1.98)% in the Z-C-C, significantly lower than Z-T-C (69.66±4.15)%, Z-P-P (64.29±1.05)% and Z-P-C (66.6±1.13)%, ( $P<0.05$ ); the TN reduction rate was (24.69±4.64)% in the Z-T-C, significantly lower than Z-C-C (53.29±0.71)%, Z-P-P (53.36±2.04)%, Z-P-C (54.44±0.29)%, ( $P<0.05$ ); there was also a significant variation among these four different plant communities in the reduction rate of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ( $P<0.05$ ), (71.77±0.37)%, (67.22±0.53)%, (69.22±0.13)%, (80.85±0.31)% respectively. This study showed that constructed wetlands with three species of plants had a better effect on the treatment of domestic sewage than those with only two species of plants. In addition, when proper allocation ratio of submerged plant was increased, it could improve the clean-up effect of nitrogen. The plants with well developed root had greater clean-up effect.

**Key words:** plant community; spatial pattern; domestic sewage; purification effect