

湿地植物覆盖度与水质净化关系的研究^{*}

廖凌娟¹ 黄娜¹ 吴鹏举²

(1. 广东省东莞生态产业园区管理委员会,广东 东莞 523668;

2. 广东省东莞生态产业园区循环经济发展促进中心,广东 东莞 523668)

摘要 湿地植物作为湿地的重要组成部分,在水质净化、景观构建中具有重要的作用。在广东省东莞国家城市湿地公园,按植物覆盖度层级(覆盖度分别为0,30%,40%,50%,80%及90%)划分6个样区,采用单因子指数法和综合因子指数法对湿地植物覆盖度与水质之间的关系进行评价。结果表明:(1)单因子指数法分析显示,水质指标值随植被覆盖度不同而发生变化;(2)植被覆盖度为50%时,总氮与 NO_3^- 浓度值最低,植被覆盖度为90%时总氮值达到最大;(3)高锰酸盐指数、总磷等指标随覆盖度增加变化不明显;(4)综合因子指数法显示,当湿地植物覆盖度维持在40%时,湿地水质相对保持较好。

关键词 湿地植物覆盖度;单因子指数法;综合因子指数法;水质

中图分类号:Q948 文献标识码:A 文章编号:1006-4427(2014)03-0030-05

Study on the Relationship between Coverage of Wetland Vegetation and Purification of Water

LIAO Lingjuan¹ HUANG Na¹ WU Pengju²

(1. Management Committee of Dongguan Ecology-Industrial Park, Dongguan, Guangdong 523668, China;

2. Development and Promotion Center of Circular Economy, Dongguan Eco-Industrial Park, Dongguan, Guangdong 523668, China)

Abstract As an important component, wetland plant play a significant role on water purification and landscape construction. This paper studied the relationship between coverage of wetland vegetation and water purification. In the study, there were six sample area based on the coverage of wetland vegetation (0, 30%, 40%, 50%, 80%, 90%). Adopting single factor index method and comprehensive factor index method, the results showed that the water quality was different with varied coverage of plant, some single factor water quality index changed with the different plant coverage. When the plant coverage was 50%, TN and NO_3^- value of water quality was lowest. When the plant coverage increased to 90%, the TN was highest. COD_{Mn} and TP didn't change significantly as the plant coverage changed. By comprehensive factor index method, when plant coverage was 40%, the water quality was best.

Key words coverage of wetland vegetation; single factor index method; comprehensive factor index method; water quality

湿地植物作为湿地的重要组成部分,在湿地生态系统中具有净化水质、景观构建等重要作用。目前湿地植物在湿地污水净化中的作用研究较多^[1-4],其作用机理包括提供能量来源、圈定污染区、提供多种细菌生境和输送氧气等^[5-8]。水生植物的生长特征影响其污水净化效果,曹晓等^[9]对湿地植物覆盖度进行了初步研

^{*} 基金项目:东莞市高等院校科研机构科技计划项目“基于产业链延伸的湿地植物生态管理和利用研究”(2012108102034)。

第一作者:廖凌娟(1986-),女,工程师,主要从事湿地植物管理,E-mail:zhouxuella@163.com。

通信作者:吴鹏举(1977-),男,讲师,主要从事生态湿地、低碳经济等研究,E-mail:pengjuwu@126.com。

究,发现当湿地植被覆盖度维持适度水平时,水质净化效果最好。当湿地植物覆盖度太小时,植物难以发挥净化作用,而植被覆盖度或密度太大时,则可能带来水质的二次污染^[9]。所以,从植被覆盖度入手,量化控制适度的植被密度覆盖度,不仅可以减少植物管养成本,更能提高湿地植物净化水质的效果。

目前,对植物覆盖度与水质关系的量化研究还较少,结合单因子指数法和综合因子指数方法来评价植物覆盖度对水质净化的作用少见报道。本研究在广东省东莞国家城市湿地公园内开展,选择水体流动性小、植物类型较为接近的区域为研究对象,采用单因子指数法和综合因子指数法比较不同植被覆盖度下的水质情况,从而量化评价植被覆盖度与水质的关系,以期能选择最适的植被覆盖度,进而减少湿地植物的种植及管理成本,为亚热带季风气候条件下湿地植物生态化管理提供参考。

1 研究区概况

广东东莞国家城市湿地公园地处 23°5′46″N~23°2′15″N,113°52′58″E~113°58′39″E,面积约为 15 km²,属南亚热带季风湿润气候,年、日温差小,年均温度约为 23 ℃,年平均相对湿度约为 77.9%,年平均降雨量为 1 600~1 700 mm。研究区选择在该湿地公园的中央岛群,中央岛群面积约 165 万 m²,水面面积约 91.74 万 m²,中央岛群水源主要来自径流雨水,受外界干扰小。

研究区水生植物包括挺水植物和浮水植物,无沉水植物,于 2011 年底种植,生长情况良好,群落结构稳定。各样区(除对照组)湿地植物群落组成相对简单,群落上层主要是高大的挺水植物,如再力花(*Thalia dealbata*)、芦苇(*Phragmites australis*)、风车草(*Cyperus alternifolius*)等,群落中层主要是水葱(*Scirpus validus*)、香蒲(*Typha orientalis*)、纸莎草等(*Cyperus papyrus*),群落下层主要是莲(*Nelumbo nucifera*)、睡莲(*Nymphaea tetragona*)等。

2 研究方法

选择植物种类和群落结构相近的片区,根据覆盖度的差异将其划分成 6 个研究样区,样区 1、样区 2、样区 3、样区 4、样区 5、样区 6 的植被覆盖度分别为 0%,30%,40%,50%,80% 及 90%,各样区间距约为 200~300 m,每个样区面积约 100 m²,样区内设置 3~5 个采样点。

2.1 水质调查

2013 年 6—9 月对植被覆盖度不同的样区进行水质检测,用聚乙烯瓶采集表层(0~50 cm)水样,检测指标包括溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、总氮(TN)、总磷(TP)、氨态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)、pH 值等,每月调查 1 次,每个样区选择 3~5 个调查点。水样分析方法见表 1,溶解氧含量(DO)与 pH 值采用 YSI Professional Plus(美国,YSI)分析仪进行测定分析。

表 1 水质相关指标分析方法

指标	分析方法	方法来源
高锰酸盐指数(COD _{Mn})	高锰酸钾指数法	GB 11892—89
总氮(TN)	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法	GB 11894—89
总磷(TP)	钼酸氨分光光度法	GB 11893—89
氨氮(NH ₄ ⁺ -N)	纳氏试剂分光光度法	GB 7479—87
硝态氮(NO ₃ ⁻ -N)	紫外分光光度法	HJ/T 346—2007

2.2 水质评价

对各样区的水质进行了监测,并采用单因子指数法^[10]和综合因子指数法对不同植被覆盖度的水质进行评级分析。

2.2.1 单因子指数法 该方法是目前使用最多的水质评价方法,本研究采用此方法评价的指标包括 COD_{Mn}、TN、TP、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N,评价公式为:

$$P_{ij} = \frac{C_{ij}}{C_{si}} \cdots \cdots \cdots (1)$$

式(1)中, P_{ij} 为第*i*项污染物在第*j*样区上的污染指数; C_{ij} 为第*i*项污染物在第*j*样区上的浓度; C_{si} 为第*i*项污染物的评价标准值。

pH 值评价公式:

$$S_{pH_{ij}} = \frac{pH_j - 7.0}{pH_{su} - 7.0}, pH_j > 7.0 \dots\dots\dots (2)$$

$$S_{pH_{ij}} = \frac{7.0 - pH_j}{7.0 - pH_{sd}}, pH_j < 7.0 \dots\dots\dots (3)$$

式(2)和(3)中, $S_{pH_{ij}}$ 为 pH 值在*j*样区的污染指数; pH_{su} 为评价标准规定的上限值; pH_{sd} 为评价标准规定的下限值; pH_j 为*j*样区的实际 pH 值。

DO 评价公式:

$$S_{DO_{ij}} = \frac{|DO_f - DO_j|}{DO_f - DO_s}, DO_f \geq DO_s \dots\dots\dots (4)$$

$$S_{DO_{ij}} = 10 - 9 \frac{DO_j}{DO_s}, DO_f < DO_s \dots\dots\dots (5)$$

式(4)和(5)中, $S_{DO_{ij}}$ 为溶解氧在*j*样区的污染指数; DO_f 为饱和溶解氧浓度; DO_s 为评价标准值; DO_j 为*j*样区溶解氧实际浓度。

$$DO_f \text{ 的计算公式为: } DO_f = \frac{468}{(31.6 + T)} \dots\dots\dots (6)$$

式(6)中,*T*为水温(℃)。

2.2.2 综合因子指数法 中央岛群水体重金属含量较少,且水体功能分区目标是地表水Ⅲ类水,因此本研究对该湿地水体进行水质评价时,选择Ⅲ类水相关标准值作为水质评价指标,并且主要选取了 TN、NH₄⁺、TP、COD_{Mn}、pH 值、DO 等 6 个水质指标,采用综合指数进行评价。综合因子指数的计算公式为:

$$P_{zj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \dots\dots\dots (7)$$

式中: P_{zj} 为*j*样区综合评价指数,无量纲;*n*为评价因子个数; P_i 为单因子评价指数。评价标准与描述见表 2。

表 2 综合因子指数 P_z 分级表^[11]

综合因子指数 P_z	污染程度	污染描述
<0.2	清洁	多数项目未检出,个别项目检出也在标准内
0.2~0.4	尚清洁	检出值均在标准内,个别接近标准值
0.4~0.7	轻污染	个别项目检出值超过标准
0.7~1.0	中污染	有部分检出值超过标准
1.0~2.0	污染	相当部分检出值超过标准
>2.0	重污染	相当部分检出值严重超标

3 结果与分析

3.1 不同植被覆盖度下的水质

由表 3 可知,随着植被覆盖度不断提高,各水质指标出现变化,其中 TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 随着植被覆盖度变化的差异较大,变异系数分别为 27.94%、25.82%、60.61%。在这 3 个指标中,TN 值覆盖度最大时升至最高,在植被覆盖度 50% 最低;NH₄⁺-N 随着植被覆盖度先小幅下降,在覆盖度达到 50% 升到最高,后随之下降;NO₃⁻-N 在植被覆盖度达 50% 时最低,植被覆盖度增大时反而升高。除以上 3 个指标外,TP、COD_{Mn}、pH 值、DO 在不同植被覆盖度下差异较小。在无植被覆盖区(样区 1)和 40% 的植被覆盖度下 TP 值相同,其他植被覆盖度下 TP 值略高,说明植被覆盖对 TP 影响不大;COD_{Mn}随着植被覆盖度增加呈现小幅度

变化,说明植被变化对水中 COD_{Mn} 影响不大; DO 最大值出现在植被覆盖度为 30% 与 40% ,当植被覆盖度达到 90% 时,溶解氧降至最低。各样区内,pH 值在 7.2 ~8.1 之间波动,水体呈弱碱性。

表 3 不同植被覆盖度下的水质指标值

植被覆盖度 /%	TN /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NO}_3^- - \text{N}$ /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	COD_{Mn} /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH 值	DO /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
0	0.44	0.14	0.34	0.03	11.24	7.57	6.89
30	0.50	0.12	0.10	0.04	13.52	8.00	6.99
40	0.56	0.11	0.15	0.03	12.03	7.20	6.99
50	0.38	0.17	0.09	0.04	9.10	7.70	6.75
80	0.43	0.09	0.10	0.04	11.50	8.10	6.92
90	0.78	0.09	0.28	0.04	10.30	8.10	5.98

3.2 不同植被覆盖度下的水质评价

对不同植被覆盖下的水质进行评价,结果见表 4。根据综合因子指数 P_z 分级表,以Ⅲ类水作为基准值进行比较,植被覆盖度为 0% ~80% 时,水质情况为尚清洁,总体上随着覆盖度的增加,水质清洁程度下降;当植被覆盖度为 90% 时,水质表现为轻污染,个别指标值超出Ⅲ类水标准值。

表 4 不同植被覆盖度下的水质指标评价值

植被覆盖度 /%	单因子指数值						综合因子 指数(P_z)
	TN	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	TP	COD_{Mn}	pH 值	DO	
0	0.44	0.14	0.60	0.55	0.29	0.24	0.38
30	0.50	0.12	0.80	0.65	0.50	0.20	0.46
40	0.56	0.11	0.60	0.65	0.10	0.20	0.37
50	0.38	0.17	0.80	0.57	0.35	0.30	0.43
80	0.43	0.09	0.80	0.62	0.55	0.23	0.45
90	0.78	0.09	0.80	0.54	0.55	0.61	0.56

从表 4 可以看出,综合因子指数较好地反映了水质与植被覆盖度的关系。从改善水质的角度来看,并不是植被覆盖度越高越好。当植被覆盖度为 40% 时,水质综合因子指数最小,为 0.37,因此,如果在本地区的封闭水体中种植水生植物,植被覆盖度约为 40% 对水质净化最为适宜。

4 讨论及结论

湿地植被在水安全和水景观构建上具有重要的作用,东莞国家城市湿地公园作为珠三角首家国家级城市湿地公园,具有一定的代表性。中央岛群内植被覆盖度层级明显,中央岛群水源只来自雨水与地下水,基本可以排除水体来源对水质影响而造成的差异,且湿地内未开展任何旅游活动,可排除人为干扰对水质的影响,从而确定影响水质的主要因素是植被。

在湖泊等水体中,湿地植物是去除水中 N、P 等污染物的主要贡献者,但因植物残体降解等因素,湿地植物也增加污染。研究发现中低植被覆盖下,植物残体分解同样显著增加水体氮素,但增加程度小于高植被覆盖度^[12]。本研究水体属于景观水体,污染程度较轻,随着植被增加,其去除污染能力增强,水中 TN 和 NO_3^- 含量会降低,但同时植物残体也会随之增加,且去除量会逐渐小于分解量,最终水中 TN 和 NO_3^- 含量随之升高。 NH_4^+ 是 TN 中的一种,是有机氮分解中间状态,与 NO_3^- 存在着转化关系,所以在本水体中 NO_3^- 呈现相反的变化趋势可能与之有关。对于水体中的 TP,湿地植物去除的机制更多依赖沉淀、吸附、微生物同化等因素,植物摄取影响较小^[13],而在本研究水体中,由于 TP 本身含量较低,加上植物中挺水植物所占比例较大,

故对 TP 去除效果不明显,反而植物降解可能增加了 TP 的含量。对于 COD,有研究表明水生植被改善 COD 效果不明显^[12,14],本研究佐证这个结论。*DO* 主要受水体气压、温度和污染因素影响^[15],本研究中各样区距离不大,以上因素差别不明显,可能是 *DO* 变化幅度小的主要原因。

本研究还首次通过综合因子指数法研究湿地植被变化与其净化水质的关系,发现了植被覆盖度与水质净化程度并没有线性关系,这可能与植物降解析出 N、P 等有关。这表明本研究的水质指标与植被覆盖度的增加并没有呈现出线性正相关关系,而在植被覆盖度为 40% 时,水环境能维持相对良好的状态。本研究也表明,在湖泊等水质较好或者低污染的水体,不宜简单通过增加植物覆盖或密度来净化水体,而是应该保持较为适当的比例,盲目增加植被量可能会加重水体污染。

从湿地管理的经济效益分析,高的植被覆盖度往往要求较高的前期成本投入和后期管理投入,且在水质保持和湿地景观维护中并没有起到积极的作用。适当减少湿地水域中湿地植被覆盖面积或者植被数量,不仅可以减少成本投入,也可以起到更好的净化水质效果。

参考文献

- [1] 姚鑫,杨桂山. 自然湿地水质净化研究进展[J]. 地理科学进展,2009,28(5):825-832.
- [2] 曹爱兰,冯光海,李艳. 黄河三角洲芦苇湿地植物群落的数量分类与环境梯度关系[J]. 山东林业科技,2011,41(1):56-58.
- [3] 夏汉平. 人工湿地处理污水的机理与效率[J]. 生态学杂志,2012,21(4):51-59.
- [4] 李晓东,孙铁珩,李海波,等. 人工湿地除磷研究进展[J]. 生态学报,2007,27(3):1226-1232.
- [5] 张永泽,王亘. 自然湿地生态恢复研究综述[J]. 生态学报,2001,21(2):309-313.
- [6] 殷书柏,吕宪国. 湿地功能快速评价中的若干理论问题[J]. 湿地科学,2006,4(1):1-6.
- [7] 张立,Mitsch W J. 美国湿地植物指示指标由来及应用[J]. 广西植物,2010,30(6):736-741.
- [8] 段素明,黄先飞,胡继伟,等. 人工湿地研究进展[J]. 贵州农业科学,2012,40(3):211-216.
- [9] 曹晓,刘红玉,李玉凤,等. 西溪湿地公园湿地植物群落及其与水环境质量的关系[J]. 生态与农村环境学报,2011,27(3):69-75.
- [10] 杜俊平,廖超英,刘莉丽,等. 太白山国家级自然保护区水质情况调查与评价[J]. 西北农业学报,2007,16(4):248-252.
- [11] 胡成,苏丹. 综合水质标识指数法在浑河水质评价中的应用[J]. 生态环境学报,2011,20(1):186-192.
- [12] 严玉平,钱海燕,周杨明,等. 鄱阳湖双退区受损湿地植被恢复对水质的影响[J]. 生态环境学报,2010,19(9):2136-2141.
- [13] 崔理华,卢少勇. 污水处理的人工湿地构建技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006:194-209.
- [14] 童昌华,杨肖娥,濮培民. 富营养化水体的水生植物净化试验研究[J]. 应用生态学报,2004,15(8):1447-1450.
- [15] 任春涛,曹有玲. 湖泊水体溶解氧含量影响因子研究[J]. 内蒙古水利,2013(1):15-17.