

再生水用于景观水体的氮磷水质标准确定

李鑫, 胡洪营*, 杨佳, 白宇

清华大学环境科学与工程系/环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084

摘要: 污水再生利用是解决水资源短缺问题的重要措施, 其中再生水回用于景观水体是主要途径之一。而防止水华爆发则是再生水景观利用的首要任务, 控制再生水中的氮磷是防止水华爆发的根本措施。目前已有的景观水体水质标准中, 氮磷浓度限值要求不统一, 缺乏科学依据。因此再生水处理过程中氮磷控制标准执行易出现矛盾, 不利于保障再生水景观利用的水质安全。再生水景观利用的氮磷控制标准, 应在藻类最大生长潜力研究的基础上, 通过藻类生长的 Logistic 模型和 Monod 模型、景观水体氮磷浓度模型按拟合, 并结合水体自净能力和水质保障措施等综合因素加以确定。以栅藻 (Scenedesmus sp) 为例, 通过 Logistic 模型和 Monod 模型拟合景观水体水华控制氮磷浓度限值的确定方法。

关键词: 污水再生利用; 景观利用; 水华控制; 氮磷标准

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 06-2404-05

水资源短缺是我国面临的一大问题, 污水再生利用是解决这一问题的有效措施^[1-2]。再生水回用于景观水体是污水再生利用的主要方式之一, 既可解决缺水城市对娱乐性水环境的需要, 也是完成水生态循环自然修复的最佳途径^[3]。

国外再生水回用于景观水体非常普遍^[4], 而国内再生水景观利用正处于起步阶段^[5], 其中水华爆发是再生水回用过程中面临的主要问题^[5-6], 氮磷营养盐是造成水华爆发的主要原因。因此再生水景观利用, 氮磷水质标准的确定是关键问题。本文通过试验研究和数学模型, 探讨再生水景观利用中氮磷水质标准的确定方法。

1 再生水景观利用的氮磷水质标准确定

1.1 现有标准及存在问题

再生水景观利用易爆发水华, 其原因^[7]为: 再生水中污染物本底值相对较高, 水体稀释及自净能力较天然水体差; 景观水体流速缓慢甚至静止, 营养盐输出慢, 易在水体中积聚, 为藻类生长繁殖提供条件; 景观水体水深一般为 1~2 m, 浅型水体上下水层的光通量满足藻类光合作用所需^[8]。

控制景观水体中的氮磷浓度, 是防止其爆发水华的根本措施。我国先后颁布了一系列水环境质量标准, 其中与再生水景观利用相关的水质标准包括《地表水环境质量标准 (GB 3838-2002)》^[9]中的 III 类~V 类水标准、《城镇污水处理厂污染物排放标准 (GB 18918-2002)》^[10]和《城市污水再生利用景观娱乐用水水质 (GB 18921-2002)》^[11]。

《地表水环境质量标准 (GB 3838-2002)》中的 V 类水标准规定了一般景观要求水域的氮磷水质标准; 《城镇污水处理厂污染物排放标准 (GB 18918-2002)》中规定, 当污水处理厂出水排放到稀释能力较小的河湖中, 作为城镇景观用水和一般回用水等时, 执行一级 A 标准; 《城市污水再生利用景观娱乐用水水质 (GB 18921-2002)》规定了湖泊类观赏性景观环境用水的氮磷水质标准。此外, 水体富营养化状态定义也对水体的氮磷浓度做了相关规定。3 个标准和水体富营养化状态定义^[12]中氮磷浓度限值的要求如表 1 所示。

一般认为水体形成富营养化的指标是: 无机氮大于 0.3 mg·L⁻¹, 总磷大于 0.02 mg·L⁻¹, BOD₅ 大于

表 1 与景观水体相关的氮磷水质标准比较

Table 1 Comparison of different landscape water quality standard on nitrogen and phosphorus

水质标准	$\rho_{(\text{TN})}(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho_{(\text{氨氮})}(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho_{(\text{TP})}(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
地表水环境质量标准 (GB 3838-2002) IV 类	1.5	1.5	0.3 (湖、库 0.1)
地表水环境质量标准 (GB 3838-2002) V 类	2.0	2.0	0.4 (湖、库 0.1)
城镇污水处理厂污染物排放标准 (GB 18918-2002) 一级 A	15.0	5.0	0.5
城市污水再生利用景观娱乐用水水质 (GB 18921-2002) 湖泊类观赏性景观环境用水	15.0	5.0	0.5
水体富营养化状态定义	0.3 (无机氮)	-	0.02

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目 (50825801); 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2007BAC22B02)

作者简介: 李鑫 (1983 年生), 男, 博士研究生, 主要研究方向为环境生物技术。E-mail: l-x02@mails.tsinghua.edu.cn

*通讯联系人, E-mail: hyhu@tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2009-10-07

10 mg·L⁻¹，细菌总数大于 10 万个·mL⁻¹，叶绿素 a 大于 10 mg·L⁻¹。美国环保局（EPA）在水质富营养化研究中也认为当 TP 超过 0.02 mg·L⁻¹ 时，磷浓度即达到富营养化状态指标。但水体富营养化状态定义中对氮磷浓度的限制标准过于严格，尤其是氮浓度的限制，一般生物处理工艺难以将氮去除到如此低的水平。按照该氮磷浓度限值制定再生水水质标准，不仅技术上难以实现，经济成本也不合算。《城镇污水处理厂污染物排放标准（GB 18918-2002）》的一级 A 标准和《城市污水再生利用景观娱乐用水水质（GB 18921-2002）》的湖泊类观赏性景观环境用水标准对氮磷浓度的限值则过于宽松，没有考虑面源污染负荷输入和水分蒸发等因素造成的景观水体中氮磷浓度的积累和升高，对于不流动或流动缓慢的浅水型景观水体仍存在水华爆发的风险。

《地表水环境质量标准（GB 3838-2002）》的 V 类水标准对氮磷的要求介于上述“严格”和“宽松”之间。然而，该标准中限定的 V 类水体已是水质相对较低、水体功能相对较弱的水体。对于浅水型景观 V 类水体，在夏季极易因水分蒸发、阳光充足和面源污染负荷输入等因素导致水体中氮磷浓度的积累和升高，最终爆发水华。

综上，在已有的景观水体水质标准中，氮磷浓度标准限值的科学依据不明确，多种不统一的标准并行，再生水处理过程中标准执行易出现矛盾，不利于保障再生水回用于景观水体的水质安全。

1.2 水华控制再生水景观利用氮磷水质标准的确定方法

针对现有标准的不足，本研究提出再生水景观利用的氮磷水质标准制定思路及方法如下：

（1）根据水华爆发的藻密度限值，在藻类最大生长潜力研究的基础上，通过 Logistic 模型和 Monod 模型计算出景观水体（不流动或流动缓慢）的氮磷限值。

（2）构建景观水体氮磷浓度模型，综合考虑氮磷输入、输出和累积，在步骤（1）的基础上，通过模型初步确定再生水（用于不流动或流动缓慢的景观水体）回用的氮磷水质标准。

（3）充分考虑水体自净功能和水质保障措施（水生生物和人工湿地净化水质等），在步骤（2）的基础上确定再生水实际景观水体利用的氮磷水质标准。

1.2.1 景观水体中氮磷限值的确定

确定景观水体的氮磷限值，主要目的是控制景观水体中的氮磷浓度，使其不足以支持水华爆发的藻密度。以下将利用 Logistic 模型和 Monod 模型，探讨景观水体中氮磷限值确定的方法。

Logistic 模型是描述有限环境下种群生物量增长速率具密度制约特点的经典种群增长模型^[13]，即：

$$N = \frac{K}{1 + e^{a-rt}} \quad (1)$$

式中， N 为 t 时刻的种群密度，个·mL⁻¹； t 为培养时间，d； K 为种群最大密度，个·mL⁻¹； a 为常数，表示曲线对原点的相对位置； r 为种群内禀增长速率，指单个个体潜在的最大增长速率，d⁻¹。

式（1）表示种群生物量随时间变化的生长曲线，具“S”型特征。

通过不同氮磷浓度下的藻类最大生长潜力研究，利用 Logistic 模型拟合得到不同氮磷浓度下的种群最大藻密度 K 。

Monod 模型可用于描述生物量随基质浓度的变化关系^[14]：

$$K = K_{\max} \frac{N}{K_N + N} \frac{P}{K_P + P} \quad (2)$$

式中， K_{\max} 为 K 的最大值，表示在不受氮磷浓度限制时的种群最大密度，个·mL⁻¹； K_P 为磷浓度的半饱和速率常数； K_N 为氮浓度的半饱和速率常数； P 为水体中磷浓度； N 为水体中氮浓度。

利用 Monod 模型可以得到最大藻密度（ K ）与氮磷基质浓度（ N, P ）的关系。通过确定景观水体中允许达到的最大藻密度，利用 Monod 模型可求得对应的氮磷浓度（ N, P ），即为景观水体中氮磷的限值。

1.2.2 再生水景观利用氮磷水质标准的初步确定

前文讨论了利用 Logistic 模型和 Monod 模型可以确定景观水体中氮磷的限值。实际水体中的氮磷浓度与进水氮磷负荷符合一定的关系，因而通过计算可以反推景观水体的进水氮磷负荷。

Vollenweider 模型^[15]是经典的磷负荷模型，该模型假定：湖泊中水体均匀混合，故水体的总磷浓度等于单位容积内输入的磷减去输出的磷及其在湖内沉积的磷，即：

$$V \frac{dP}{dt} = Q_{in} P_{in} - Q_{out} P_{out} - A \cdot S \cdot P \quad (3)$$

式中， V 为湖泊水体积； P 为磷浓度（假设全湖均匀）； Q_{in} 和 P_{in} 为进水流量和进水磷浓度； Q_{out} 和 P_{out} 为出水流量和出水磷浓度； A 为湖面面积； S 为磷的表观沉降速率。

进入湖水中的磷会发生许多物化、生化变化，而其过程非常复杂不易用数学公式表达，故采用“表观沉降速度” S 来代表所有非移流变化，如磷的沉降、各种磷之间的相互转化等。

在稳态条件下， $\frac{dP}{dt} = 0$ ， $P_{out} = P$ ，可以求出，

$$P_{in} = \frac{Q_{out} + A \cdot S}{Q_{in}} P \quad (4)$$

如再生水是景观水体中磷元素的唯一来源,令景观水体中的磷浓度 P 为 1.2.1 中确定的磷限值,则通过式(4)计算出的 P_{in} 即为再生水中磷的限值。

现实水体中,除再生水中磷的输入外,还有其他包括地表径流在内的多种磷负荷来源。湖泊进水磷浓度与各种磷负荷的关系为:

$$P_{in} Q_{in} = \sum_{i=1}^n P_i Q_i \quad (5)$$

式中, P_i 、 Q_i 为不同来源的磷负荷及流量。通过调查得出其他来源的磷负荷及流量,则可由式(5)计算得出再生水中磷的限值。

同理,根据景观水体中的氮浓度限值,也可以通过氮浓度模型计算出再生水中氮的限值。

关于各种氮磷负荷来源,日本在琵琶湖营养物质负荷量的调查中,将营养物质负荷量分为以下 7 个方面的来源,如表 2^[16]。

表 2 琵琶湖营养物质来源

Table 2 Source of nutrient compound in Pipa Lake

来源	N 负荷	P 负荷
森林径流/(kg·km ² ·d ⁻¹)	0.694	0.039
降雨降水/(kg·km ² ·d ⁻¹)	3.41	0.107
地下水/(mg·L ⁻¹)	1.268	0.087
生活污水/(g·人 ⁻¹ ·月 ⁻¹)	11~17.5	1.46~2.2
家畜/(g·头 ⁻¹ ·d ⁻¹)	牛 8	牛 5.6
	猪 31.3	猪 20.5
工业负荷	根据各行业的不同,按每年的总产值计算出所产生的负荷量	
农田负荷/(kg·hm ² ·d ⁻¹)	0.057 6	0.000 354

琵琶湖的营养物质来源仅仅是一个案例,其数值结果在其他地点不具有参考价值,但是其研究方法及对营养物质的分类值得借鉴。对于不同的湖泊,由于营养负荷的来源各不相同,因而计算得到的再生水氮磷浓度限值也不相同。

1.2.3 实际应用中再生水氮磷水质标准的确定

一般景观水体都具有一定的自净能力和水质保障措施,在制定再生水景观利用的氮磷水质标准时,应该考虑这些因素。

(1) 水体流动性

当景观水体具有流动性时,藻类不易大量繁殖。同时,由于水流不断复氧,在水体生态系统的作用下能一定程度地维持水体环境容量,即轻度的富营养化不会很快使流动水体产生黑臭现象^[17]。

(2) 水生生物净化作用

在景观水体中种植水生植物和放养食藻型鱼类,可以改善水体的生态系统结构和功能。

一方面,大型水生植物以自身为主体,和根区微生物共生,产生协同效应净化水质。植物通过直接吸收、微生物转化、物理吸附和沉降作用去除水中的氮磷和悬浮颗粒,效果良好^[11]。水生植物还可以通过释放化感物质对浮游植物产生抑制^[17],同时向水体中放氧。大型水生植物的上述特点均有利于抑制藻类生长,防止水华爆发。常用于改善水体生态结构的大型水生植物包括芦苇 (*Phragmites australis* Trin)^[18]、香蒲 (*Typha orientalis* Presl)、凤眼莲 (*Eichhornia crassipes*)^[17]、川蔓藻 (*Ruppia maritima* Linn)^[19]和莲 (*Nelumbo nucifera* Gaertn) 等。

另一方面,放养食藻型鱼类,可以通过鱼类的捕食作用去除藻细胞^[20],在一定程度上也可以抑制水华的爆发。常用的食藻型鱼类包括鲢鱼 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙鱼 (*Aristichthys mobilis*)、鲤鱼 (*Cyprinus carpio*) 和鲫鱼 (*Carassius auratus*) 等。东湖^[21]和太湖^[22]的水华控制研究表明,鲢鱼和鳙鱼的大量放养可以有效控制水华藻类,抑制水华爆发。

(3) 人工湿地净化水质

人工湿地是再生水景观水体常见的水质保障措施和生态修复工程,可以进一步去除再生水中的氮磷浓度,并且和景观水体之间形成良好的生态循环,可有效降低再生水回用于景观水体后爆发水华的风险。人工湿地生态修复工程还可使景观水体澄清透明,增强环境美感^[17]。

再生水景观利用的过程中,在景观水体具有一定自净能力和以上水质保障措施的情况下,应该在实地调研和水质自净能力及水质保障措施效果综合分析的基础上,将 1.2.2 中确定的再生水氮磷水质标准适当放宽。

2 水华控制景观水体氮磷限值确定的实例分析

一般认为,藻密度高于 10⁴ 个·mL⁻¹ 时具有轻度水华风险^[23],达到 10⁶ 个·mL⁻¹ 时可认为发生严重水华^[9-10]。下面以栅藻 (*Scenedesmus* sp) 为例,说明基于水华控制(以 10⁶ 个·mL⁻¹ 的藻密度作为控制标准)的景观水体(不流动或流动缓慢)中氮磷限值的确定。

栅藻在初始 TN 质量浓度 2.5、5.0、10.0、15.0、25.0 mg·L⁻¹ (初始 TP 为 1.3 mg·L⁻¹) 和初始 TP 质量浓度 0.1、0.2、0.5、1.0、2.0 mg·L⁻¹ (初始 TN 为 10.0 mg·L⁻¹) 下的生长曲线如图 1 所示。

将图 1 中的栅藻生长曲线利用 Logistic 模型(式(1))拟合,可得到不同氮磷浓度下栅藻的种群最大密度 K ,如表 3 所示。

再将表 3 中不同氮磷浓度下栅藻的种群最大密

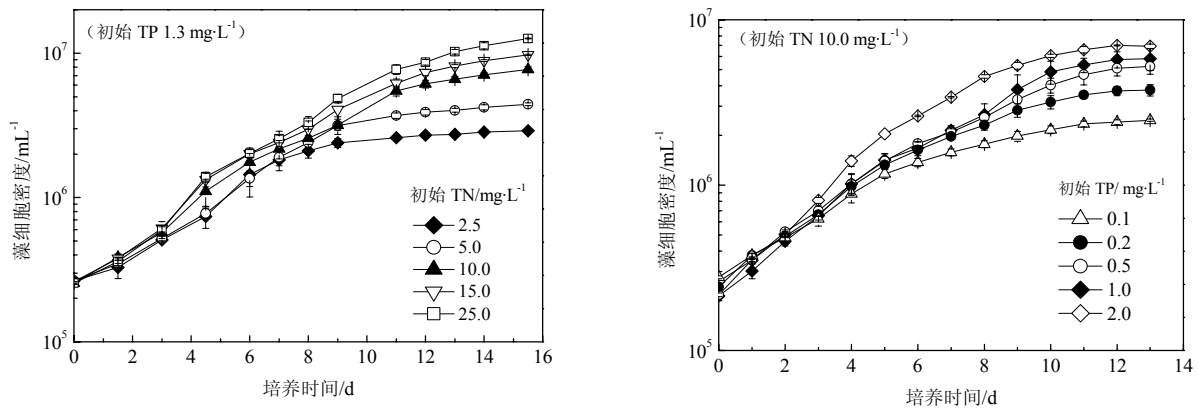


图 1 不同初始氮磷浓度下栅藻的生长曲线

Fig. 1 Growth curves of *Scenedesmus* sp. with different initial nitrogen and phosphorus concentrations

表 3 不同氮磷浓度下栅藻的种群最大密度 *K*

Table 3 The maximum population algal density of *Scenedesmus* sp. with different initial nitrogen and phosphorus concentrations

$\rho_{(氮磷)} / (mg \cdot L^{-1})$		种群最大密度 <i>K</i> /(10^6 个 $\cdot mL^{-1}$)
TN	TP	
2.5	1.3	2.9
5.0	1.3	4.4
10.0	1.3	7.7
15.0	1.3	9.7
25.0	1.3	12.6
10.0	0.1	2.5
10.0	0.2	3.8
10.0	0.5	5.2
10.0	1.0	5.8
10.0	2.0	6.9

度 *K* 利用 Monod 模型 (式 (2)) 进行拟合, 可得栅藻种群最大密度 *K* 与初始氮磷浓度的关系, 如式 (6) 所示。

$$K = 16.4 \times 10^6 \frac{N}{9.9 + N} \frac{P}{0.23 + P} \quad (6)$$

以 10^6 个 $\cdot mL^{-1}$ 的藻密度作为水华控制标准, 则可根据式 (6) 确定景观水体 (暂不考虑水体自净能力和水质保障措施) 中的氮磷浓度限制。如, 按照景观水体中氮磷质量浓度比为 10 : 1 考虑, 则由式 (6) 得到的景观水体中氮磷质量浓度限值分别为 $TN \leq 1.7 \text{ mg} \cdot L^{-1}$, $TP \leq 0.17 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ 。

3 结语

关于再生水回用于景观水体的现有各项标准要求不统一, 在实际执行中易产生矛盾, 不利于保障再生水景观利用的水质安全。

再生水景观利用的氮磷水质标准, 应在藻类最大生长潜力研究的基础上, 结合藻类生长的 Logistic 模型和 Monod 模型、景观水体氮磷浓度模型、水体自净能力和水质保障措施等因素综合确定。

参考文献:

- [1] 胡洪营, 魏东斌, 王丽莎, 等译. 污水再生利用指南[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 1-3.
HU Hongying, WEI Dongbin, WANG Lisha, et al. Guidelines for Water Reuse [M]. Beijing: Chemical Industry Publisher, 2008: 1-3.
- [2] CHU J Y, CHEN J N, WANG C, et al. Wastewater Reuse Potential Analysis: Implications for China's Water Resources Management [J]. Water Research, 2004, 38 (11): 2746-2756.
- [3] 刘星, 石炼. 城市可持续水生态系统初探[J]. 城市发展研究, 2008, S1: 316-319.
LIU Xing, SHI Lian. A Preliminary Study on Urban Sustainable Water Eco-System-A Case Study of Ecocity Zhongxin in Tianjin [J]. Urban Studies, 2008, S1: 316-319.
- [4] METAXA E, DEVILLER G, PAGAND P, et al. High Rate Algal Pond Treatment for Water Reuse in a Marine Fish Recirculation System: Water Purification and Fish Health[J]. Aquaculture, 2006, 252(1): 92-101.
- [5] 李丽春, 周律, 贾海峰, 等. 再生水景观功能保障系统的试验研究[J]. 给水排水, 2005, 31 (8): 6-9.
LI Lichun, ZHOU Lv, JIA Haifeng, et al. Experimental Research on the Scenery Safeguard System of Reclaimed Water [J]. Water & Wastewater Engineering, 2005, 31 (8): 6-9.
- [6] 周律, 霍振远, 甘一萍, 等. 以二级出水作为景观补水和冷却水水源效益分析 [J]. 环境工程, 2006, 24 (5): 16-18.
ZHOU Lv, HUO Zhenyuan, GAN Yiping, et al. Benefit Analysis of Taking Secondary Effluent as Landscape Runoff Source and Cooling Water [J]. Environmental Engineering, 2006, 24 (5): 16-18.
- [7] 李春丽, 周律. 再生水回用于景观水体的水质控制系统研究 [J]. 现代城市研究, 2005, 4: 32-35.
LI Lichun, ZHOU Lv. The Systematic Studies on Water Quality Control of Regenerated Wastewater for Reuse in the Landscape Water-bodies [J]. Urban Research, 2005, 4: 32-35.
- [8] 何安琪, 何苗, 施汉昌. 城市污水再生回用于景观水体水质安全保障技术[J]. 环境工程, 2006, 24 (1): 22-25.
HE Anqi, HE Miao, SHI Hanchang. Techniques for Water Quality Security Ensuring of Reclaimed Water Used in Landscape Water [J]. Environmental Engineering, 2006, 24 (1): 22-25.
- [9] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. GB3838-2002, 地表水环境质量标准[S]. 北京: 国家环境保护总局, 2002: 2.
State Environmental Protection Administration, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB3838-2002, Environmental Quality Standards for Surface Water [S]. Beijing: State Environmental Protection Ad-

- ministration, 2002: 2.
- [10] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局.GB18918-2002,城镇污水处理厂污染物排放标准[S].北京:国家环境保护总局,2002:5. State Environmental Protection Administration, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB18918-2002, Discharge Standards of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant [S]. Beijing: State Environmental Protection Administration, 2002: 5.
- [11] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局.GB18921-2002,城市污水再生利用景观娱乐用水水质[S].北京:国家环境保护总局,2002:1. State Environmental Protection Administration, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB18921-2002, The Reuse of Urban Recycling Water Quality Standard for Scenic Environment Use [S]. Beijing: State Environmental Protection Administration, 2002: 1.
- [12] 彭近新,陈慧君.水质富营养化与防治[M].北京:中国环境科学出版社,1988:10. PENG Jinxin, CHEN Huijun. Water Eutrophication and Prevention [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1988: 10.
- [13] 种云霄.浮萍氮磷转化能力的研究[D].北京:清华大学,2004:51-52. CHONG Yunxiao. Study on the Nitrogen and Phosphorus Transformation Ability of Duckweed[D].Beijing:Tsinghua University,2004:51-52.
- [14] 胡洪营,张旭,黄霞,等.环境工程原理[M].北京:高等教育出版社,2005:536-536. HU Hongying, ZHANG Xu, HUANG Xia, et al. Principle of Environmental Engineering [M]. Beijing: Higher Education Press, 2005: 536-536.
- [15] 涂晓光.常见湖泊水库水质模型的研究[D].北京:清华大学,1986:13-14. TU Xiaoguang. Common Water Quality Model for Lakes and Reservoirs [D]. Beijing: Tsinghua University, 1986: 13-14.
- [16] 李锋民,胡洪营,种云霄,等.芦苇化感物质对藻类细胞膜选择透性的影响[J].环境科学,2007,28(11):2453-2456. LI Fengmin, HU Hongying, CHONG Yunxiao, et al. Effects of Allelochemical Isolated from *Phragmites communis* on Algal Membrane Permeability [J]. Environmental Science, 2007, 28 (11): 2453-2456.
- [17] VOROS L, BALOGH K, KONCZ E. Phytoplankton and Bacterioplankton Production in a Reed-Covered Water Body [J]. Aquatic Botany, 2003, 77: 99-110.
- [18] 付春平,唐运平,张志扬,等.沉水植物对景观河道水体氮磷去除的研究[J].农业环境科学学报,2005,24(增刊):114-117. FU Chunping, TANG Yunping, ZHANG Zhiyang, et al. Nitrogen and Phosphorus Removal Capacity of Submerged Plant, *Ruppia maritime* and *Potamogeton pectinatus* in TEDA Landscape River [J]. Journal of Agro-environmental Science, 2005, 24: 114-117.
- [19] 柳瑞翠,姜付义.富营养化藻类及其控制方法的探讨[J].青海环境,2004,14(2):89-91. LIU Ruicui, JIANG Fuyi. Study on the Algae Bloom in Eutrophication and the Prevention Method [J]. Journal of Qinghai Environment, 2004, 14 (2): 89-91.
- [20] 刘建康,谢平.揭开武汉东湖蓝藻水华消失之谜[J].长江流域资源与环境,1999,8(3):312-319. LIU Jiankang, XIE Ping. Unraveling the Enigma of the Disappearance of Water Bloom from the East Lake (Lake Donghu) of Wuhan [J]. Resources and Environment in the Yangtza Basin, 1999, 8 (3): 312-319.
- [21] 顾岗.太湖蓝藻暴发成因及其富营养化控制[J].环境监测管理与技术,1996,8(6):17-19. GU Gang. Reason and Control on Bluegreen Algae Fast Growth of Eutrophication in Taihu Lake [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 1996, 8 (6): 17-19.
- [22] 卢大远,刘培刚,范天俞,等.汉江下游突发“水华”的调查研究[J].环境科学研究,2000,13(2):29-31. LU Dayuan, LIU Peigang, FAN Tianyu, et al. The Investigation of 'Water Bloom' in the Downstream of the Han River [J]. Research of Environmental Sciences, 2000, 13 (2): 29-31.

Method to establish the nitrogen and phosphorus standard of reclaimed water reused in landscape

LI Xin, HU Hongying*, YANG Jia, BAI Yu

State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control//Department of Environmental Science and Engineering,

Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: Reclamation and reuse of wastewater are important to handle the shortage of water resource. One of the major reuse approaches is landscape reuse, in which algae bloom must be avoided. Controlling of nitrogen and phosphorus concentration in reclaimed water is a fundamental way to prevent algae bloom. The present standards on nitrogen and phosphorus concentration in landscape water are not consistent with each other, and are also lack of scientific basis. Based on the existed water quality standards, it is difficult to control nitrogen and phosphorus in the treatment of reclaimed water to prevent algae bloom. In this paper, a method was put forward to establish the nitrogen and phosphorus standard of reclaimed water reused in landscape. The nitrogen and phosphorus standard should be established on the basis of Algal Growth Potential (AGP) Test, integrated with the Logistic model, Monod model, and the model of nitrogen and phosphorus concentration in landscape water. The self-purification ability and safeguard measures of landscape water should also be considered in the establishment of reclaimed water quality. With *Scenedesmus* sp. as an example, the process of establishing nitrogen and phosphorus limits in landscape water was demonstrated.

Key words: Reclamation and reuse of wastewater; landscape reuse; prevention of algae bloom; water quality standard on nitrogen and phosphorus; water quality of reclaimed water