

微宇宙环境下调控初始条件的藻类预测模型

梁 恒, 张剑桥, 瞿芳术, 高 伟, 李圭白

(哈尔滨工业大学 城市水资源与水环境国家重点实验室, 150090 哈尔滨, hitliangheng@163.com)

摘 要: 为建立更为精确的藻类预测模型以满足具有不同营养盐特征的水体藻类生物量预测需求, 在微宇宙环境中调控初始营养盐条件, 模拟藻类生长过程并引入相关修正因子建立藻类预测模型. 结果表明: 氮磷比为 5:1 时, 引入总氮(TN)为修正因子的预测方程精度高; 氮磷比为 15:1 和 25:1 时, 以总磷(TP)为修正因子的预测方程精度高. 微宇宙环境下调控初始条件所建立起的藻类生长预测模型有助于水厂更为精确地预测藻类生物量.

关键词: 微宇宙环境; 藻类预测; 调控初始条件

中图分类号: TU991.2 文献标志码: A 文章编号: 0367-6234(2012)02-0099-03

Algae concentration prediction models under controlled initial conditions in microcosm environment

LIANG Heng, ZHANG Jian-qiao, QU Fang-shu, GAO Wei, LI Gui-bai

(State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China, hitliangheng@163.com)

Abstract: To achieve more accurate algae concentration prediction models for satisfying with the needs of water bodies with different nutrients' characteristics, the algae prediction models were modified by introducing related correction factors under controlled initial conditions in the microcosm environment. Results showed that the prediction model was more precise by introducing total nitrogen(TN) as the correction factor when the ratio of nitrogen to phosphorus was 5:1, while the model was more accurate by introducing total phosphorus(TP) when the ratio of nitrogen to phosphorus was 15:1 and 25:1. The algae concentration prediction models under controlled initial conditions in the microcosm environment were helpful to predict algae concentration accurately for water plants.

Key words: microcosm environment; algae prediction; controlled initial conditions

藻类生长的主要限制条件为营养盐,尤其是磷的质量浓度,而氮磷比是藻类生长另一重要影响因子^[1]. 有文献表明,对于藻类的生长, $\rho(\text{TN})/\rho(\text{TP}) > 20$ 时,表现为氮过量,磷为限制因子,藻生物量高蜂值主要受磷质量浓度的影响;当 $\rho(\text{TN})/\rho(\text{TP}) < 13$ 时,表现为氮不足,氮成为限制因子,藻密度高峰生物量主要与氮质量浓度有关^[2-3]. 日本湖库学者坂本的研究则指出,当湖

库水体的 TN 与 TP 比在 10 ~ 25 时,藻类生长与氮和磷的质量浓度存在直线相关关系;磷和氮磷比的变化会导致藻类生长态势的变化,从而会对水体环境因子产生影响^[4]. 为建立更为精确的藻类生长预测模型,必须在原有模型基础上重新考虑将氮或磷作为预测模型的修正因子,并结合不同初始营养盐条件,在调控的初始条件下形成具有实际指导意义的预测模型.

微宇宙即是模型生态系统、依据环境原型而设计,具有体积小、易重复、可人为控制各理化参数使其与真实环境一致、直接反映生态系统状况的特点^[5-7]. 微宇宙是介于传统的单一物种实验室规模实验和野外自然规模实验之间较为理想的

收稿日期: 2010-07-10.

基金项目: 粤港关键领域重点突破项目(2010Z52401); 禅城区产学研项目(20101072028); 哈尔滨市科技创新人才研究专项资金项目(2009RFQXS010).

作者简介: 梁 恒(1979—),男,博士,副教授;

李圭白(1931—),男,博士生导师,中国工程院院士.

生态学试验系统. 微宇宙技术的应用能够在控制的条件下研究全功能的生态系统规律^[8-10]. 本研究采用了水族箱微宇宙系统进行藻类生长预测探讨,能够在调控初始条件基础上快捷地研究当地水生生态系统藻类生长态势和生长规律等.

1 实验

1.1 实验方法

通过向水族箱中投加硝酸钾(KNO₃)和磷酸二氢钾(KH₂PO₄)改变水体中初始氮磷质量浓度,调整氮磷比,比较不同氮磷比下藻类生长态势预测模型. 根据水族箱内初始营养盐质量浓度调控,所选定的初始氮磷比包括4.9:1、16.7:1、25.2:1.

水族箱装置规格为1.3 m × 1.2 m × 1.2 m. 取大沙河水库天然含藻水放入玻璃缸内,箱体底部铺设7 cm厚取自水库底部的底泥,并将玻璃缸置于室外,模拟水库水的自然生长条件. 研究期间水库含藻水以鱼腥藻和微囊藻为优势藻种. 根据前期研究发现,氮磷比的变化是影响藻类生长态势的重要因子,且水库水优势藻生长的重要关联因子确定为磷,因而,藻类生物量预测模型未采用逐步回归统计的方法确定其相关性,而是在Excel中直接建立3阶多项式方程.

1.2 检测方法

每天早晚(早8点,晚5点)2次检测各样本中的TN、TP和藻细胞生物量(Algae concentration, c_A),检测方法依据标准办法进行^[11]. 实验周期为20 d.

2 结果与讨论

2.1 氮磷比为4.9:1初始条件下藻类预测模型

调整水族箱内初始TN为1.20 mg/L,TP为0.245 mg/L,ρ(TN)/ρ(TP)为4.9:1. 根据监测数据,建立藻生物量(c_A)和氮磷比的预测方程:

$$\ln(c_A + 1) = 0.0259 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^3 - 0.4889 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^2 + 3.1647 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right) - 0.9255 (R^2 = 0.9552).$$

当ρ(TN)/ρ(TP) < 13时,藻类生长的限制因子主要为氮,因而,在实际预测方程中,需引入TN作为修正因子,以进一步提高预测方程精度:

$$\ln(c_A + 1) = \rho(TN) \times \left[\alpha \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^3 + \beta \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^2 + \delta \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right) + \varepsilon \right].$$

引入监测期内水族箱总氮值,则修正后的预测方程为

$$\ln(c_A + 1) = \rho(TN) \times \left[-0.0313 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^3 + 0.6514 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^2 - 4.5983 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right) + 15.604 \right] (R^2 = 0.9709).$$

根据修正后预测方程,对平行试验中水族箱内的藻类生物量进行预测,结果如图1.

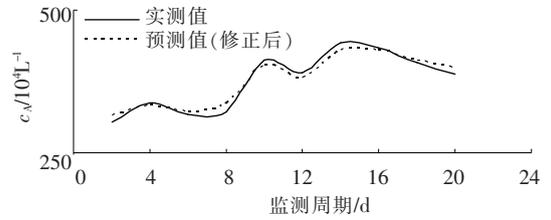


图1 氮磷比为4.9:1时藻细胞生物量实测值与修正后预测值比较

2.2 氮磷比为16.7:1初始条件下藻类预测模型

调整水族箱内初始TN为0.883 mg/L,TP为0.053 mg/L,ρ(TN)/ρ(TP)为16.7:1. 根据监测数据,建立藻生物量和氮磷比的预测方程:

$$\ln(c_A + 1) = 1.7922 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^3 - 34.143 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^2 + 216.834 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right) - 459.018 (R^2 = 0.8938).$$

当13 < ρ(TN)/ρ(TP) < 20时,藻类生长的限制因子主要为氮和磷,因而,在实际的预测方程中,分别引入TP和TN作为修正因子,并比较修正结果,确定最佳修正预测方程,以进一步提高预测方程的精度.

以TP为修正因子的修正预测方程为

$$\ln(c_A + 1) = \rho(TP) \times \left[2 \times 10^{-6} \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^3 - 0.0016 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^2 + 0.3706 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right) - 3.2594 \right] (R^2 = 0.9754).$$

与初始预测方程相比,TP的引入使预测方程更为精确.

以TN为修正因子的修正预测方程为

$$\ln(c_A + 1) = \rho(TN) \times \left[482.4 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^3 - 10.156 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^2 + 71.263 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right) - 166.618 \right] (R^2 = 0.7828).$$

当ρ(TN)/ρ(TP)为16.7:1时,引入TP作为藻类预测方程的修正因子,能够使模型更为精确,其具体预测结果如图2.

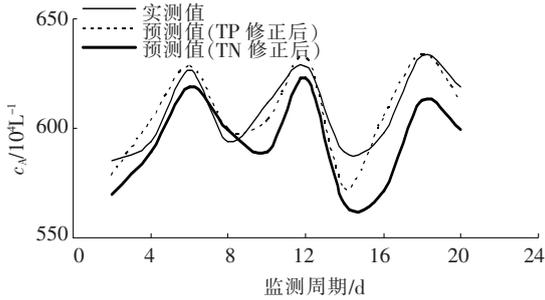


图 2 氮磷比为 16.7:1 时藻细胞生物量实测值与修正后预测值比较

以 TP 为修正因子的修正预测方程比以 TN 为修正因子的修正预测方程精度更高. 因而,对于当 $10 < \rho(TN)/\rho(TP) < 25$ 时的水族箱初始条件,引入 TP 为修正因子的预测方程满足预测条件.

2.3 氮磷比为 25.2:1 初始条件下藻类预测模型

调整水族箱内初始 TN 为 0.983 mg/L,TP 为 0.039 mg/L, $\rho(TN)/\rho(TP)$ 为 25.2:1. 根据监测数据,建立藻生物量和氮磷比的预测方程:

$$\ln(c_A + 1) = 1\,587.8 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^3 - 29\,794 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^2 + 186\,369 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right) - 388\,584$$

$$(R^2 = 0.8503).$$

如前所述,当 $\rho(TN)/\rho(TP) > 20$ 时,水体为磷限制型. 因而引入 TP 为预测方程的修正因子:

$$\ln(c_A + 1) = \rho(TP) \times [3 \times 10^{-6} \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^3 - 0.0228 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right)^2 + 1.2706 \left(\frac{\rho(TN)}{\rho(TP)} \right) - 2.1583] (R^2 = 0.9824).$$

修正后的预测方程中,以 TP 为修正因子的预测方程使精度提高.

应用修正后的预测方程对平行试验中的藻类生长态势进行拟合,结果如图 3.

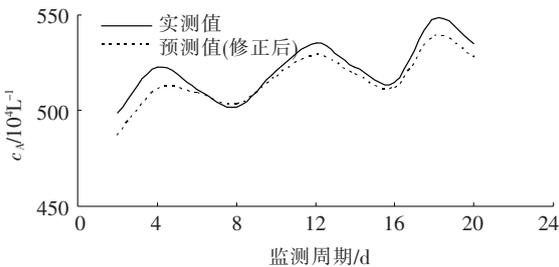


图 3 氮磷比为 25.2:1 时藻细胞生物量实测值与修正后预测值比较

3 结 语

通过调控藻类生长的初始氮磷质量浓度,研究了不同初始条件下藻类生长态势及其预测模型. 研究表明,通过引入修正因子 TN 或 TP,可使藻类预测模型的精度提高,预测结果更为精确,能针对不同营养盐特征水体建立相匹配的藻类预测方程.

参 考 文 献:

- [1] ZHU W, WAN L, ZHAO L F. Effect of nutrient level on phytoplankton community structure in different water bodies [J]. Journal of Environmental Sciences, 2010, 22(1):32-39.
- [2] STERNER R W. Nutrient stoichiometry in aquatic ecosystems[J]. Encyclopedia of Inland Waters, 2009(8): 820-831.
- [3] XIE Y X, XIONG Z Q, XING G X, et al. Assessment of nitrogen pollutant sources in surface waters of Taihu lake region[J]. Pedosphere, 2007, 17(2): 200-208.
- [4] 王志红. 大沙河水库水源水中藻类生长态势模型研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 2004:11-13.
- [5] TAUB F B. Standardized aquatic microcosms[J]. Environ Sci Technol, 1989, 23(9):1064-1066.
- [6] WEBBER E C, DEUTSCH W G, BAYNE D R, et al. Ecosystem-level testing of a synthetic pyrethroid insecticide in aquatic mesocosms[J]. Environ Toxicol Chem, 1992, 11(1):87-105.
- [7] MCKEE D, ATKINSON D, COLLINGS S E. Response of freshwater microcosm communities to nutrients, fish, and elevated temperature during winter and summer [J]. Limnol Oceanogr, 2003, 48(2): 707-722.
- [8] LIEBIG M, SCHMIDT G, BONTJE D. Direct and indirect effects of pollutants on algae and algalivorous ciliates in an aquatic indoor microcosm[J]. Aquatic Toxicology, 2008, 88:102-110.
- [9] SCHEEBAUM M V, STRAUS A, TREMP H, et al. A microcosm system to evaluate the toxicity of the triazine herbicide simazine on aquatic macrophytes[J]. Environmental Pollution, 2010, 158(2):615-623.
- [10] BONTJE D, KOOI B W, LIEBIG M, et al. Modelling long-term ecotoxicological effects on an algal population under dynamic nutrient stress [J]. Water Research, 2009, 43(13):3292-3300.
- [11] 魏复盛. 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.

(编辑 刘 彤)