

微生物对太湖微囊藻的好氧降解研究*

陈伟民 蔡后建

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

提要 通过模拟实验研究了微生物对微囊藻残体(主要为铜绿微囊藻和水华微囊藻)的降解作用。水体内悬浮质和各主要形态磷浓度的变化结果表明:微囊藻的好氧分解符合一级动力学,其悬浮质和颗粒性磷的浓度呈指数关系递减,降解速度分别为0.227/d和0.088/d。经32d降解后,水体内的总溶解磷(TDP)可达总磷(TP)的53%,而TDP的主要成分为 PO_4^{3-} 。因此,微囊藻的微生物好氧降解对湖泊水质和营养盐的循环,特别是 PO_4^{3-} 释放引起的二次污染不容忽视。

关键词 微囊藻 好氧降解 太湖

由于太湖富营养化的日益加剧,每年随气温的逐渐升高,尤其在4~10月,整个湖区可见“水华”分布,成为以微囊藻为优势种群的水体。根据对太湖的长期监测,微囊藻种群主要有6种,它们是铜绿微囊藻 *Microcystis aeruginosa*、水华微囊藻 *M. flos-aquae*、粉末微囊藻 *M. pulverea*、假丝状微囊藻 *M. pseudo-filamentosa*、不定微囊藻 *M. incerta*、具缘微囊藻 *M. margirada*。微囊藻对太湖的初级生产力有较大贡献,特别在夏季具有较高的生物量 and 生产力,叶绿素浓度一般可达20~30 $\mu\text{g/L}$,水柱日生产量最高可1.45 $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})^{[1,2]}$ 。微囊藻死亡后降解释放的营养盐,对太湖营养盐库有较大的影响,并且对物质循环有重要的作用。以往的研究表明,磷是太湖初级生产者的重要限制因子^[2]。由于湖泊受风浪的影响,常引起表层底泥的再悬浮及水体的理化特性和细菌数量的变化,从而影响了营养盐的释放。本实验模拟湖体在好氧条件下底泥细菌的作用,分析了微囊藻(主要为铜绿微囊藻和水华微囊藻的群体)降解而引起的营养盐(以磷为指标)的释放动态过程。

1 材料与方 法

1.1 实验用水

取采样点水样(采样点描述见[1]),经0.45 μm 孔径的滤膜过滤,得5L实验用水。

1.2 微囊藻的采集

1993年8月用浮游生物网(25 μ)收集采样点的微囊藻,离心(4000转/min)3~4min。由于微囊藻具有假空液泡(gas vacuole),因此,经离心后,皆浮于上层。称取湿重20g的上层藻

* 中国科学院生态网络资助课题。

收稿日期:1995-06-20;接收日期:1996-01-17。

作者简介:陈伟民,男,1943年生,副研究员。1967年南京大学生物系毕业,1981年在南京大学生物系获硕士学位,主要从事湖泊环境,生物、生态研究工作,已发表论文20余篇。

作实验用,经镜检 99% 以上为微囊藻(主要含铜绿微囊藻和水华微囊藻)。

1.3 底泥细菌的采取

用彼得生采泥器取上层底泥,取湿重 75g 加入 200mL 上述实验用水,曝气 48h 后,静置 6h,取上层水 100mL。

1.4 实验装置

将上述获得的实验用水、微囊藻和底泥细菌加入 5L 降解瓶中,在 28~30℃ 的恒温箱内,无光照,连续搅拌并曝气(空气经 1:14 H₂SO₄ 溶液和蒸馏水过滤)装置见图 1。

1.5 取样及分析

在实验开始时和第 1、3、5、9、14、18、23、29、32 天采取水样。测定 pH、电导、悬浮物、PO₄³⁻、总溶解性磷(TDP)等,分析方法采用标准规范方法,细菌计数采用平板记数法^[3](但此方法不能代表水体所有细菌的总量),采样分析过程如图 2 所示。

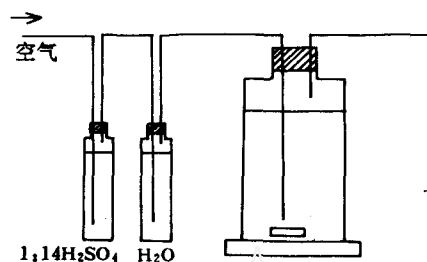


图 1 微囊藻好氧降解装置图

Fig. 1 The aerobic decomposition apparatus of *Microcystis* spp.

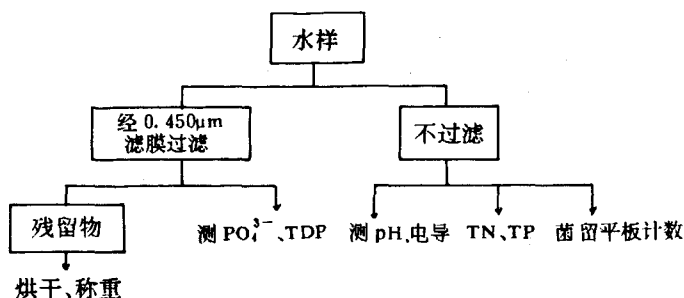


图 2 实验分析流程图

Fig. 2 Diagram of harvest analysis

2 结果与分析

实验初始,由于微囊藻假空液泡的作用,加入降解瓶内的微囊藻全部浮于水体表层,搅拌充气时,悬浮在水中。自实验的第 6 至第 9d 水体已没有可见的悬浮藻类,已变得清澈透明。实验后期,只有少量的黄色沉淀物在降解瓶底。

细菌数量在微囊藻降解中的变化如图 3。在实验过程中,由于细菌是经过好氧条件下培养的,所以在开始实验时细菌生长就进入对数生长期,细菌降解作用是影响微环境内营养盐释放的最重要因素,从第 3 至第 6d,细菌数量维持在 10⁸ 个/mL,进入静止期。第 6d 之后,按指数关系递减,进入衰老期,主要是因为微囊藻残体的逐渐分解,营养物减少。

由图 4 可知,悬浮质(主要微囊藻的降解残留物)和颗粒性磷的降解速率的对数与时间呈直线关系(相关系数皆为 0.94),符合一级动力学。

细菌降解作用引起悬浮质和颗粒性磷浓度的变化如图 5。两者在第 3d 之后迅速降低,

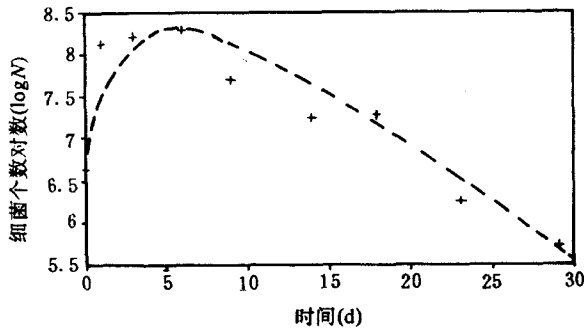


图3 细菌数量的动态变化

Fig. 3 Dynamic change of bacterium number

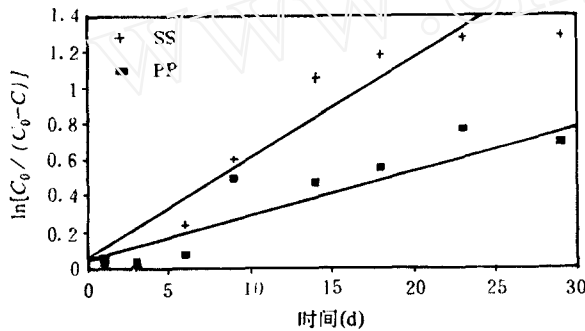


图4 降解率随时间的变化

Fig. 4 Rate of decomposition with time

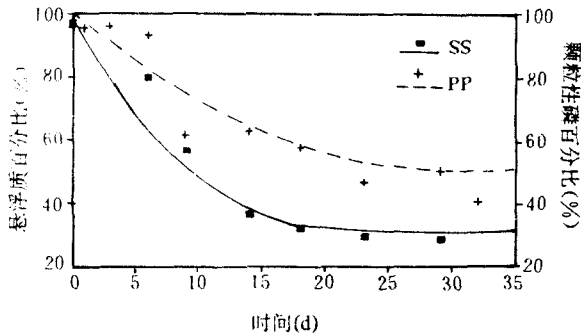


图5 悬浮质和颗粒性磷的降解动态

Fig. 5 The decomposition dynamics of particulate matter and particle phosphorus

显然是这一时期存在高浓度的细菌降解的结果。假定降解平衡后未分解的样品量与起始样品量的比值为 f (f 通常称为难分解系数), 而微囊藻的分解符合一级动力学反应。则有:

$$dC/dt = -k(C - fC_0)$$

式中, k 为分解速率常数;

C 为分解过程中悬浮质或颗粒性磷浓度;

C_0 为起始悬浮质或颗粒性磷浓度。

解方程得:

$$C = fC_0 + (C - fC_0) \cdot e^{-kt}$$

拟合这一曲线求得:

① 对于颗粒性磷的降解:

$$C = 0.172e^{-0.088t} + 0.085$$

$$f = 0.348 \quad k = 0.088/d^{-1} \quad r = 0.95$$

② 对于悬浮质的降解:

$$C = 2.86e^{-0.227t} + 0.808$$

$$f = 0.291 \quad k = 0.227d^{-1} \quad r = 0.98$$

显然, 悬浮质的降解速度明显快于颗粒性磷的降解速率。说明在微囊藻的好氧降解中, 微囊藻残留体的分解首先表现在降解成小于 $0.45\mu m$ 的颗粒(主要是碳水化合物的分解), 然后, 颗粒性磷再显著分解转化成溶解性磷或被细菌利用。

在实验中前 9d 悬浮质可下降 58%, 颗粒性磷在实验的第 6 至第 9d 有大幅度的下降, 达初始浓度的 33%。

溶解性磷酸盐 (TDP) 和 PO_4^{3-} 在实验过程中的变化如图 6。

经细菌的降解, TDP 和 PO_4^{3-} 有较大幅度的增加, 特别在第 6d 至第 9d 的变化最为显著, 这显然是这一时期高浓度的细菌降解颗粒性磷的结果。由于 TDP 也包括一部分细菌体内的磷(部分细菌可通过 $0.45\mu m$ 滤膜), 因此, TDP 浓度增加比 PO_4^{3-} 更快。在实验结束后, TDP 可占总磷的 53%, 而且 TDP 的主要成分为 PO_4^{3-} 。实验结果表明: 在细菌进入快速生长时, TDP、 PO_4^{3-} 浓度维持在较低的水平, 而随着微囊藻残留物的逐渐分解, 细菌数量下降, TDP、 PO_4^{3-} 有较大的上升。第 6、9d 之后, TDP、 PO_4^{3-} 浓度的大幅度增加与这一时期的细菌数量下降有显著的相关性。

$$C_{TDP} = 0.127 - 6.8 \times 10^{-10} N \quad (r = 0.96)$$

其中, N 为细菌数量(个/mL)。

实验过程中,水体的 pH 和电导率等也有较大的变化(图 7),微囊藻的好氧降解其主要产物应为 CO_2 、 H_2O 、 NH_4^+ 等。由于降解产物如 NH_4^+ 浓度的增加,水体的导电强度会有所上升。而 pH 值的变化较为复杂。实验前期(第 1~9d),pH 值下降可能与有机碳的分解有关。根据 Otsuki 等^[4]对栅列藻的降解研究表明:有机碳化合物降解速率比有机氮快。在实验中前 5d 内 45% 的有机碳迅速降解,而 70% 有机氮的降解则在第 30d。因此,有机碳降解产物 CO_2 ,使溶液 pH 值先有所下降,然后可能由于 NH_4^+ 的释放,又使溶液 pH 值回升。

3 小结

(1) 因微囊藻分解释放出许多无机盐离子如: NH_4^+ 、 K^+ 等,会使水体的电导率增加。pH 值受不同酸、碱降解产物的影响,在实验过程中将产生一定的变化和波动。

(2) 细菌降解作用是水质变化的最根本因素,在好氧降解过程中,细菌生长可明显分为三个时期:对数期、静止期和衰老期。每个时期使水质都发生相应的变化。

(3) 微囊藻的好氧降解符合一级动力学反应,微囊藻悬浮质和颗粒性磷浓度的变化呈指数关系递减,速率分别为 0.227/d 和 0.088/d。这是由于微囊藻残留物中碳水化合物优先降解引起的。 PO_4^{3-} 和 TDP 浓度在第 6 至第 9d 明显上升。实验结束后,TDP 可占 TP 的 53%,TDP 中的主要成份为 PO_4^{3-} 。

(4) 对微囊藻经细菌降解而引起的水质内负荷增加应引起足够的重视。

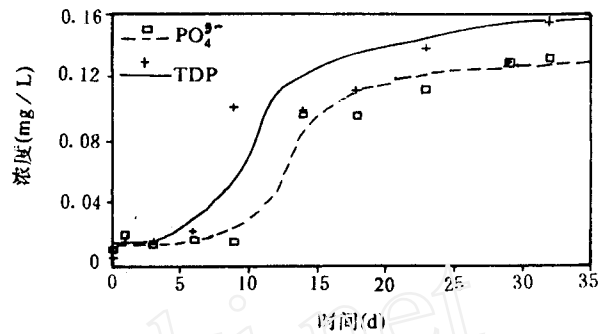


图 6 PO_4^{3-} 及 TDP 浓度的变化动态

Fig. 6 Changes in concentration of PO_4^{3-} and TDP

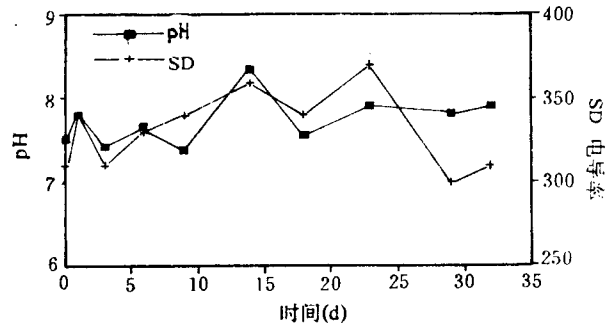


图 7 pH 值与电导率的动态变化

Fig. 7 Changes in pH and conductivity

参 考 文 献

- 1 蔡后建等. 太湖梅梁湾口浮游植物初级生产力及相关因素研究. 湖泊科学, 1994, 6(4): 340~347
- 2 蔡启铭等. 太湖水质的动态变化及影响因子的多元分析. 湖泊科学, 1995, 7(2): 97~105
- 3 金相灿等. 湖泊富营养化调查规范. 北京: 中国环境科学出版社, 1990
- 4 Otsuki A & Hanya T. Production of dissolved organic matter from dead green algal cells. *Limnol & Oceanog*, 1972, 17(2): 248~264

- 5 Rodgers P W & Depinto J. Estimation of phytoplankton decomposition rates using two-stage continuous flow studies. *Water Res*, 1983, **17**(7):761~769
- 6 Sommaruga R, et al. Study on the decomposition of *Pistia stratiotes* L. (Araceae) in Cisne Reservoir, Uruguay. *Int Reviews Hydrobiol*, 1993, **78**(2):263~272

STUDY ON THE AEROBIC DECOMPOSITION OF *MICROCYSTIS* IN TAIHU LAKE

Chen Weimin Cai Houjian

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract

The model experiment of aerobic decomposition of *Microcystis* spp. (mainly including *M. aeruginosa*, *M. flosaquae*) in Taihu Lake was studied. The results show: the decomposition can be approximated by first-order kinetics. The particulate matter and concentration of particle phosphorus are decreased exponentially. The rates of decomposition are 0.227d^{-1} and 0.088d^{-1} , respectively. After 32 days, experiment, the total dissolved phosphorus (TDP) accounts for 53% of total phosphorus (TP), and phosphate (PO_4^{3-}) is the main component of TDP. During the aerobic decomposition of *Microcystis*, the water quality and the cycling of nutrient, especially the release of PO_4^{3-} may not be overlooked.

Key Words *Microcystis*, aerobic decomposition, Taihu Lake