

三峡库区水体磷浓度对蓝藻垂直迁移的影响^{*}

湛 敏^{1,2} 姚建玉^{1,3} 张云怀^{1,3**} 郑登典¹

(1. 重庆大学化学化工学院, 重庆, 400030; 2. 重庆大学材料科学与工程学院, 重庆, 400030;
3. 重庆市三峡库区自然生态系统结构与系统模拟重点实验室, 重庆, 400030)

摘 要 通过建立蓝藻细胞内部营养状态磷份额模型和水体磷浓度对蓝藻聚集体垂直迁移影响模型, 模拟计算了水体中不同磷浓度对蓝藻聚集体垂直迁移速度及迁移距离的影响. 结果表明, 蓝藻细胞内磷份额与水体中的磷浓度密切相关. 当水体磷浓度为 $0.075 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 水华暴发压力不大; 当水体中磷浓度达到 $0.090 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 最大迁移距离已经接近 4 m, 较易发生水华; 在水体中磷浓度达到 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时蓝藻就会迁移到水体表层且不再向下迁移, 此时极易暴发水华.

关键词 蓝藻, 水体磷浓度, 磷份额, 垂直迁移.

三峡工程建坝蓄水后, 流速减缓, 水体自净能力减弱, 库区上游大量磷矿开采、沿江两岸污染物滞留时间延长, 被淹土壤中的大量营养物质溶解使局部水域营养盐浓度特别是磷浓度增高^[1-3], 给生态环境特别是水质调控带来极大隐患. 而引起水华暴发的藻类急剧生长量主要取决于水体中磷的供应量^[4], 有研究表明, 约 80% 的湖泊富营养化受磷元素的制约, 约 10% 与氮元素有关, 约 10% 与其它因素有关^[5]. 三峡库区优势藻类——蓝藻具有一种调节细胞沉降的结构——伪空胞, 可以通过动态调节伪空胞内的气囊数来控制浮力^[6], 蓝藻聚集体在水体中的上升/下沉垂直迁移过程, 在宏观上表现为水华暴发/消退.

蓝藻的浮力调节机制是依靠细胞密度的变化来实现的, 包括三部分: 伪空胞的合成, 伪空胞的破裂和细胞镇重物的合成与消耗. 因为细胞密度的变化决定于细胞内伪空胞和镇重物的含量, 两者分别为细胞提供上浮和下沉的动力^[7]. 细胞镇重物的合成就是藻细胞通过光合作用固定溶解在水中的无机碳和营养物质, 以碳水化合物形式存储在细胞内的过程^[8], 因此藻胞内营养状态的起伏直接影响着细胞镇重物的变化, 提高/降低镇重物的储量而使细胞开始下降/漂浮, 并直接影响到蓝藻的垂直迁移行为. 研究中常用营养份额 Q (细胞体内每单位碳中营养物质的量) 来表示这种内部的营养状态变化^[9].

三峡蓄水后, 各次级河流水文情况发生变化, 特别是支流回水区平均流速在 $0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下, 为藻类迅速增值创造了条件^[8-9]. 本文将三峡库区复杂生态环境下支流回水区近似视为静止水体, 通过蓝藻细胞磷份额的变化建立了磷份额(P/C) 营养状态模型, 探讨在静止水体中, 水体磷浓度的变化对蓝藻垂直迁移过程的影响, 并比较不同聚集体直径和温度下的聚集体迁移的异同. 对于进一步研究蓝藻垂直迁移过程和三峡库区水域蓝藻生长增殖的复杂生化机制具有重要的理论意义和现实意义.

1 实验方法

1.1 水体中磷浓度对蓝藻藻胞磷份额变化影响模型构筑

1.1.1 蓝藻细胞内磷份额模型

根据磷份额定义 Q_P (细胞营养库的磷含量 C_P 与碳含量 C_C 的比值), 可表示为^[10]:

$$Q_P = \frac{C_P}{C_C} \quad (1)$$

研究发现, 蓝藻在垂直迁移过程中, 细胞内的磷份额会呈现规律性变化^[11]. 蓝藻的磷份额变化主要

2010 年 5 月 12 日收稿.

^{*} 国家自然科学基金(No. 20877105); 重庆大学“211 工程”三期创新人才培养计划项目(No. S-09013) 资助.

^{**} 通讯联系人, Tel: 023-65102531; E-mail: xp2031@163.com

与藻细胞对磷的摄取率 V_p 、生物合成作用 Φ 以及呼吸作用(用蓝藻细胞的呼吸率 R 表示)有关^[12]. 蓝藻对于磷的摄取使蓝藻细胞内的磷份额增加;藻体生物合成作用消耗细胞营养库内储存的磷. 随着生物合成作用的进行,蓝藻细胞的磷份额减少. 而呼吸作用虽没有直接影响细胞内的磷份额,但是其消耗细胞营养库的碳含量,对应磷份额增加. 由此,蓝藻细胞内的磷份额的变化模型可表示为:

$$\frac{\partial Q_p}{\partial t} = V_p - \Phi + R \quad (2)$$

蓝藻细胞内某时刻的磷份额 Q_p 由初始磷份额 Q_0 以及磷份额变化率可得:

$$Q_p = Q_0 + \int_0^t \frac{\partial Q}{\partial t} dt \quad (3)$$

1.1.2 蓝藻对水体中磷的摄取

蓝藻对于磷的摄取率 V_p 受水体扰动性以及光照等因子影响较小,受水体中的磷浓度以及藻的种类影响较大^[11],其表达式为^[12]:

$$V_p = \frac{V_{\max} \cdot P}{K_m + P} \quad (3)$$

式中, $V_{\max}$ 为蓝藻细胞的最大磷摄取率, K_m 为磷摄取的半饱和参数, P 为水体中的磷浓度.

1.1.3 蓝藻生物合成作用 Φ

在磷限制条件下,光照对蓝藻细胞内磷份额的影响集中表现为对蓝藻生物合成作用上. 根据韩小波和 Joao Serodio 等人的研究可知,蓝藻的生物合成作用 Φ 可表示为^[7,14]:

$$\Phi = \mu_{\max} \cdot f_l \cdot \left(\frac{Q_0 - Q_{\min}}{Q_0} \right) \cdot \theta^{T-20} \quad (4)$$

式中, $\mu_{\max}$ 为最大生长率, f_l 为光限制函数,初始磷浓度 Q_0 为在一定磷浓度的水体中,蓝藻刚开始发生垂直迁移的磷份额. $Q_{\min}$ 为蓝藻细胞开始增殖的最小磷份额,当蓝藻细胞内的磷份额低于这个值时,蓝藻便停止增殖. 一天之内光照强度不同,并且不同深度的水层,光照强度不同,具体光照函数 f_l 可表示如下^[15]:

$$f_l = I_m \cdot \sin\left(\frac{\pi t}{D_L}\right) \cdot e^{-KZ} \quad (5)$$

式中, D_L 为昼长, I_m 为水面最大光强, Z 为水深.

根据研究初始磷份额 Q_0 与水体中的磷浓度的关系为^[14]:

$$Q_0 = \frac{Q_{\max}}{1 + e^{-A(P-P^*)}} \quad (6)$$

式中, $Q_{\max}$ 为蓝藻体内最大磷份额, A 为指数参数, P 为水体中磷浓度参数.

1.1.4 蓝藻呼吸作用

蓝藻的呼吸作用 R 包括基础呼吸率 R_b (零摄氏度下的呼吸率) 和活性呼吸率 R_a (也叫光呼吸率,也就是蓝藻在光合作用时的呼吸率)^[11].

$$R = (R_a + R_b) \cdot Q_0 \cdot \theta^{T-20} \quad (7)$$

1.1.5 水体磷浓度对藻胞磷份额的影响模型

水体中的磷浓度 P 在蓝藻垂直迁移过程中,影响着 V_p 、 Q_0 ,而 Q_0 又影响着 Φ 和 R ,因此 P 对藻胞磷份额影响最终可表示为:

$$Q_p = \frac{Q_{\max}}{1 + e^{-A(P-P^*)}} + \int_0^t \frac{\left(\frac{V_{\max} \cdot P}{K_m + P} - \mu_{\max} \cdot f_l \left(\frac{Q_{\max}}{1 + e^{-A(P-P^*)}} - Q_{\min} \right) \cdot \theta^{T-20} + (R_a + R_b) \cdot \frac{Q_{\max}}{1 + e^{-A(P-P^*)}} \cdot \theta^{T-20} \right)}{\partial t} dt \quad (8)$$

1.2 蓝藻聚集体细胞密度研究

蓝藻细胞中伪空胞的比例为 V_p ,伪空胞的密度 $\rho_{ves} = 150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[11]. 可计算包含伪空胞的蓝藻细胞密度为:

$$\rho_{\text{cel}} = (1 - V_p) \rho_c + V_p \rho_{\text{ves}} \quad (9)$$

式中, ρ_c 为不含伪空胞的蓝藻聚集体细胞密度.

1.2.1 不含伪空胞的蓝藻聚集体细胞密度 ρ_c 的计算

蓝藻细胞内的磷份额与蓝藻伪空胞的合成以及糖分等镇重物的合成密不可分, 表现为细胞内的磷份额的变化与细胞密度间存在非线性回归关系, Visser 研究了不含伪空胞蓝藻细胞密度与磷份额之间的关系^[7], 本文对细胞密度与磷份额之间的关系进行拟合并得出蓝藻细胞磷份额与不含伪空胞的蓝藻细胞密度之间存在如下关系:

$$\rho_c = \rho_0 + h \cdot e^{-Q_p/n} \quad (10)$$

式中, ρ_c 为不含伪空胞的蓝藻聚集体细胞密度, ρ_0 为不含伪空胞的基础细胞密度, 为 $1038 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[2], h 和 n 为拟合参数, 分别为 332.2829 和 3.23425. 拟合置信度 $R^2 = 0.99806$.

1.2.2 蓝藻聚集体细胞密度计算

蓝藻是单细胞个体, 大量的蓝藻细胞通过粘质(多糖构成的胶鞘或胶被, 密度略大于水) 连结在一起, 形成蓝藻聚集体. 设藻细胞在聚集体的比例为 X_{cel} , 则粘质的比例为 $(1 - X_{\text{cel}})$, 粘质密度为 $\rho_{\text{muc}} = \rho_w + 0.7$ ^[2], 其中 ρ_w 为水的密度, 因此蓝藻聚集体的细胞密度为^[1]:

$$\rho_{\text{col}} = (1 - X_{\text{cel}}) \rho_{\text{muc}} + X_{\text{cel}} \rho_{\text{cel}} \quad (11)$$

1.3 水体磷浓度 P 对蓝藻聚集体垂直迁移影响的模型构筑

陈飞勇等研究发现蓝藻是单细胞生物, 每个蓝藻细胞的直径在 $3\text{--}7 \mu\text{m}$ 之间, 蓝藻聚集体是由数十个甚至上百个蓝藻细胞通过粘质连结形成, 因此蓝藻的聚集体直径在 $100\text{--}800 \mu\text{m}$ 之间^[8]. 蓝藻聚集体的垂直迁移模型用斯托克斯质点运动模型可表示如下^[2]:

$$V_s = \frac{d^2(\rho_w - \rho_{\text{col}}) \times g}{18\eta} \quad (12)$$

式中, V_s 为蓝藻聚集体迁移速度, 当其值为负时表示蓝藻聚集体下沉, 为正表示蓝藻聚集体上浮. d 表示聚集体直径, ρ_w 表示水的密度, ρ_{col} 表示蓝藻聚集体细胞密度, g 表示重力加速度, η 表示水的粘度.

蓝藻在一段时间内的迁移, 其垂直迁移位置 Z 的变化表示为:

$$Z = Z_0 + \int_0^t V_s dt \quad (13)$$

根据式(9) — (12), 蓝藻聚集体在垂直迁移过程中的迁移速度可表示为:

$$V_s = \frac{d^2(\rho_w - (1 - X_{\text{cel}}) \rho_{\text{muc}} + X_{\text{cel}}(1 - V_p)(\rho_0 + h \cdot e^{-\frac{Q_p}{n}} + \rho_{\text{ves}} \cdot V_p) \cdot g}{18\eta} \quad (14)$$

其中, 藻胞内磷份额 Q_p 受水体中磷浓度 P 影响如(8)式所示, 联立(8)式和(14)式即可得水体磷浓度 P 对蓝藻聚集体垂直迁移过程的影响模型.

2 结果与讨论

2.1 水体中磷浓度对蓝藻聚集体垂直迁移影响模型参数选择

本文以三峡库区水域环境为研究对象, 模拟计算了不同水体磷浓度下蓝藻聚集体的垂直迁移速度和垂直迁移距离. 由于构筑的模型涉及众多变量及参数, 为简化模型, 对众多参数及变量进行了定量取值. 但由于缺乏相关研究, 考虑到 μ_{max} 、 R_a 、 R_b 等参数与藻种具有直接关联但国内缺乏相关研究, 选取时参考了国外相关研究; V_{max} 、 K_m 、 Q_{min} 、 Q_{max} 等由于没有库区相关研究, 选取时参考了国内相关研究数据; 而 I_m 、 D_L 等参数根据库区的相关数据来确定, 具体参数选择如表 1 所示.

由于上升对于藻类漂浮形成水华意义重大, 本文假定蓝藻开始沉在水体底部, 因此 Z_0 取值 0 m , 表示在水体底部, 还未开始向上迁移的初始位置. 考虑到水华多发生在昼间, 因此选择初始时刻 t_0 为早上 7 点. 同时由于水体密度主要与水体的温度以及水体中溶解的离子盐度有关. 水体的密度变化不大, 本文取 24°C 时水密度值为 $998 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. 重力加速度采用的是纬度为 45° 的海平面的重力加速度.

表 1 水体中磷浓度对蓝藻垂直迁移影响模型参数的取值
Table 1 The values of parameters in modelling the effect of phosphorus concentration on the vertical migration behavior of blue-green algae in water

参数	意义	取值	单位	参考文献
$V_{\max}$	磷的最大摄取率	0.787	$\mu\text{g}\cdot(\text{mg}\cdot\text{d})^{-1}$	[7]
K_{m}	磷摄取半饱和常数	17.66	—	[7]
$\mu_{\max}$	最大生长率	0.0019	min^{-1}	[11]
$Q_{\min}$	最小磷份额	3.87	$\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$	[7]
θ	温度系数	1.066	—	[6]
I_{m}	一天最大光强	800	$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	重庆气象
D_{L}	昼长	12	h	设定值
$Q_{\max}$	最大磷份额	31.80	$\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$	[7]
K	水消光系数	1.2	m^{-1}	[6]
A	指前参数	13.146	—	[12]
p'	磷浓度参数	0.178	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	[12]
R_{a}	光呼吸率	0.2	—	[12]
R_{b}	基础呼吸率	0.001	—	[12]
V_{p}	细胞内伪空胞的比例	0.25	—	[9]
ρ_{ves}	伪空胞密度	150	$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	[9]
X_{cel}	藻细胞的比例	0.25	—	[20]
Q_{p}	初始磷份额	3.87—31.80	$\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$	[7]
ρ_{muc}	粘质密度	$\rho_{\text{w}}+0.7$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	[20]
ρ_{w}	水的密度	998	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	—
d	聚集体直径	100—800	μm	[18]
g	重力加速度	9.80665	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	—
η	水的粘度	$0.001779/(1+0.03368\times t+0.000221\times t_2)$	$\text{Pa}\cdot\text{s}$	[21]
t_0	初始时刻	7	时	—
Z_0	初始位置	0	m	—

(1) 聚集体直径 d 的确定

蓝藻细胞之间通过粘质粘结在一起,形成蓝藻聚集体. 根据(12)式,聚集体直径 d 不同将直接影响蓝藻聚集体迁移速度和垂直迁移距离. 本文选取温度为 20℃,初始磷份额为 $7.5\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ 条件下,聚集体直径取值范围为 100—800 μm ,计算不同聚集体直径的垂直迁移距离,如图 1 所示.

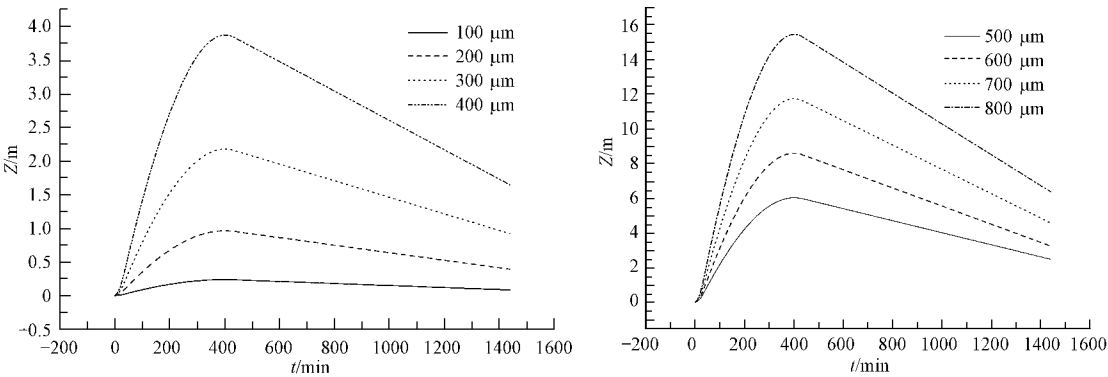


图 1 聚集体直径为 100—800 μm 蓝藻的垂直迁移距离

Fig. 1 The vertical migration distance of cyanobacteria aggregates in 100—800 μm diameter

从图 1 中可得,在蓝藻聚集体直径小于 200 μm 时,蓝藻的垂直迁移距离极小,不超过 1 m. 随着聚集体直径的增加,蓝藻迁移速度逐渐增大,迁移距离逐渐增加,相应暴发水华的可能性也大大增加. 特别是当聚集体直径大于 400 μm 后,蓝藻聚集体的垂直迁移距离增大到 3.5 m 以上,考虑到水华暴发实际

情况和三峡库区回水湾水域实际地理情势,当垂直迁移距离超过 3 m,将极易暴发水华. 因此,本文选取蓝藻聚集体直径为 400 μm .

(2) 适宜迁移的水体温度确定

根据(7)式,水温 T 影响着蓝藻的呼吸作用,进而影响 Q_p 和蓝藻聚集体的垂直迁移距离. 本文选取蓝藻聚集体直径为 400 μm ,初始磷份额取值 $7.5 \mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ 条件下,改变温度区间为 $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $28\text{ }^{\circ}\text{C}$. 模拟计算不同温度下的蓝藻聚集体的垂直迁移,结果如图 2 所示.

由图 2 可得,在水体温度 $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内,蓝藻聚集体的最大垂直迁移距离都超过了 3 m,其中随着温度升高,最大迁移距离出现先上升再下降的趋势,在 $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,最大迁移距离最大,说明 $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 是蓝藻聚集体最易发生垂直迁移的温度. 在此温度下,聚集体的迁移速度和迁移距离都大于其它温度下的迁移速度和迁移距离. 而在相同温度下,聚集体的垂直迁移距离都呈现快速迁移到最大迁移距离处再缓慢减小的过程,这也从另一个角度说明了水华暴发的突发性.

2.2 计算水体中磷浓度对蓝藻垂直迁移的影响

本文选取蓝藻聚集体直径为 400 μm , $T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下,根据库区实际,选取水体磷浓度范围为 $0.05\text{--}0.10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,计算在不同水体磷浓度下蓝藻聚集体迁移的距离,结果如图 3 所示.

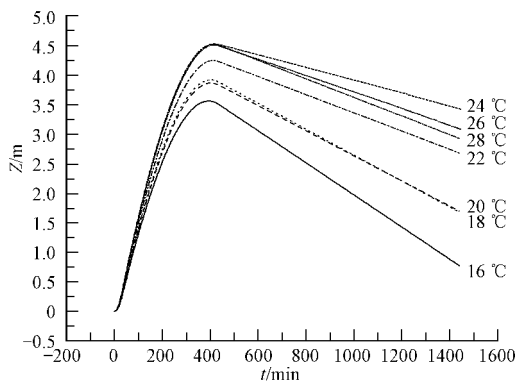


图2 温度为 $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下的垂直迁移距离
Fig. 2 The vertical migration distance at $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $28\text{ }^{\circ}\text{C}$

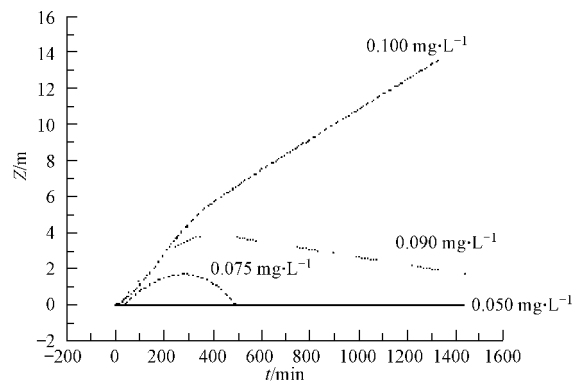


图3 不同水体磷浓度下蓝藻聚集体的垂直迁移距离
Fig. 3 The vertical migration distance of cyanobacteria aggregates in water with different phosphorus concentrations

从图 3 中可得,磷浓度的轻微变化就会引起蓝藻垂直迁移距离发生较大改变. 当水体磷浓度较低时(小于 $0.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),蓝藻聚集体并没有发生垂直迁移. 而随着水体中磷浓度升高,蓝藻聚集体开始出现垂直迁移,当水体磷浓度为 $0.075 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,聚集体的垂直迁移距离小于 2 m,此时水华暴发压力不大. 但水体磷浓度越高,蓝藻垂直迁移趋势越明显,当水体中磷浓度达到 $0.090 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,蓝藻可以向上迁移也可以向下迁移,最大迁移距离已经接近 4 m,较易发生水华. 当水体中磷浓度达到 $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时蓝藻就会迁移到水体表层且不再向下迁移,此时极易暴发水华. 这可能是因为蓝藻细胞内储存的磷已经达到足够蓝藻迁移到水体表层之后细胞增殖所需要的营养状态.

2001 年 3 月,乌江流域暴发水华,乌江从贵州到重庆市涪陵乌江河口的河道水体呈墨绿色. 根据监测,水体磷浓度在 $0.076\text{--}0.118 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,与蓝藻在水体磷浓度大于 $0.075 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 便会发生向上垂直迁移形成水华污染^[2]相一致. 三峡蓄水后,库区支流中的香溪河、大宁河、神女溪、抱龙河等河流总磷浓度都在 $0.118 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上,而这些河段在 2004 年、2005 年多次发生水华^[23]. 特别是 2008 年 6 月 16 日,香溪河发生的大面积蓝藻水华持续一月有余,涉及范围广,影响巨大^[24],与计算结果相符.

本文构筑的水体磷浓度对三峡库区蓝藻垂直迁移影响模型涉及众多变量及参数,由于缺乏相关研究,使模型预测的可靠性受到一定影响. 但本研究模拟计算了水体磷浓度的变化引起蓝藻垂直迁移距离的变化,并根据现有实测资料对预测结果的合理性进行了分析,预测结果和实测资料具有良好的一致性,论证了本文预测结果的可靠性.

3 结论

根据蓝藻聚集体直径对聚集体垂直迁移影响计算,当聚集体直径较小时,蓝藻基本上不发生迁移,此时发生水华的概率较低.当聚集体直径达到 400 μm 以上,最大迁移距离可达 4 m 以上,此时在较浅的水域中就可能暴发水华.

聚集体直径的较小变化会引起蓝藻聚集体最大垂直迁移距离的较大改变,因此温度对蓝藻聚集体垂直迁移的影响小于聚集体直径对蓝藻垂直迁移的影响.

磷浓度的轻微变化会引起蓝藻垂直迁移距离发生较大改变.当水体磷浓度为 0.075 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,水华暴发压力不大;当水体中磷浓度达到 0.090 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,较易发生水华;在水体中磷浓度达到 0.1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时蓝藻就会迁移到水体表层且不再向下迁移,此时极易暴发水华.

作为对水体营养条件影响藻类聚集体迁移等水域生态系统时空行为的研究的一种大胆尝试和探索,本文对于三峡库区水体营养条件影响藻类时空行为的研究提供了研究思路和依据,具有重要的借鉴意义和理论意义.

参 考 文 献

- [1] 况琪军,周广杰,胡征宇. 三峡库区藻类种群结构与密度变化及其与氮磷浓度的相关性分析 [J]. 长江流域资源与环境,2007,2(16):231-235
- [2] 马利民,张明,刘丛,等. 外源磷对消落区土壤性质及磷释放的影响 [J]. 环境化学,2008,27(1):73-76
- [3] Paerl H W, Fulton R S, Moisaner P H, et al. Harmful freshwater algal blooms, with an emphasis on cyanobacterial [J]. Sci World, 2001,1:76-113
- [4] 单爱琴,郭小品,郝红艳,等. 磷对云龙湖富营养化优势藻及混合藻生长的影响 [J]. 环境科学与技术, 2006,29(8):36-38
- [5] Reynolds C S, Walsby A E. Water-blooms [J]. Biological Reviews, 1975, 50:437-481
- [6] 杨波. 蓝藻伪空胞的特征及其浮力对氮、磷和温度的响应机制研究 [D]. 湖南农业大学硕士学位论文,2007:7
- [7] 韩小波,孔繁翔,阎荣. 太湖铜绿微囊藻摄取得力学若干参数与其竞争优势相关研究 [J]. 湖泊科学,2004,16(3):252-257
- [8] 金鉴明,汪俊三. 三峡库区生态修复与屏障建设 [C]. 第十一届中国科协年会三峡库区生态环境建设论坛,重庆,2009:75-81
- [9] 林于廉,龙腾锐,夏之宁,等. 干湿交替模式下土壤中镉的释放特征 [J]. 环境化学,2008,27(5):624-628
- [10] Liu X A, Zhang Y H, Zhan M. Modeling vertical migration of the cyanobacteria in the static water [J]. Progress in Environmental Science and Technology, Shanghai China, 2009:1604-1608
- [11] Basak Guven, Alan Havarad. Identify the critical parameters of a cyanobacterial growth and movement model of using generalized sensitivity analysis [J]. Ecological Modeling, 2007,207:11-21
- [12] Sophie Rabouille, Marie-jose Salencon. Functional analysis of *Microcystis* vertical migration: A dynamic model as a prospecting tool I-Processes analysis [J]. Ecological Modeling, 2005,188:386-403
- [13] 史小丽,王凤平,蒋丽娟,等. 扰动对外源性磷在模拟水生态系统中迁移的影响 [J]. 中国环境科学,2002,22(6):537-541
- [14] Joao Serodio, Sonia Vieira, Sonia Cruz. Photosynthetic activity, photoprotection and photoinhibition in intertidal microphytobenthos as studied *in situ* using variable chlorophyll fluorescence [J]. Continental Shelf Research, 2008, 1363-1375
- [15] Jerloy N G. Marine Optics [M]. Aesterclan: Elsevier Scientific Publishing Company, 1976:231
- [16] Kenesi, G, Shafik H, Kovacs A, et al. Effect of nitrogen forms on growth cell composition and N-2 fixation of *Cylindrospermopsis raciborskii* in phosphorus-limited chemostat cultures [J]. Hydrobiologia, 2009, 623(1):191-202
- [17] Visser P M, Passarge J, Mur L R. Modelling vertical migration of the cyanobacterium *Microcystis*. 1st International Conference on Algal Modelling-Processes and Management. UNIV READING READING ENGLAND [J]. Hydrobiologia, 1997, 349:99-109
- [18] 陈飞勇,刘凤丽,金峰. 蓝藻的特征及其水华防治研究 [J]. 人民长江,2008,39(2):69-71
- [19] Reynolds C S. Cyanobacterial water blooms [J]. Advances in Botanical Research B. London: Academic Press, 1987,13:67-143
- [20] Reynolds C S. Artificial induction of surface blooms of cyanobacteria. Int. Theor [J]. Verh Int Ver Limnol, 1984, 22:638-643
- [21] 摇玉英. 化工原理 [M]. 天津: 天津科学技术出版社,1995:146-176
- [22] 张晟,李崇明,王毓丹,等. 乌江水污染调查 [J]. 中国环境监测, 2003,19(2):23-26
- [23] 王海云,程胜高,黄磊. 三峡水库“藻类水华”成因条件研究 [J]. 人民长江,2007,38(2):16-18
- [24] Webmaster. 三峡库区因磷矿排污大规模暴发水华 [EB/OL]. [2008-07-21]. <http://www.waterquan.com/html/9/n-12499.html>

INFLUENCE OF PHOSPHORUS CONCENTRATION ON CYANOBACTERIA'S VERTICAL MIGRATION IN THE THREE GORGES RESERVOIR AREA

ZHAN Min^{1,2} YAO Jianyu^{1,3} ZHANG Yunhui^{1,3} ZHENG Dengdian¹

(1. Chemistry and Chemical Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400030, China;

2. College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400030, China;

3. Chongqing Key Laboratory of Natural Ecosystem Structure and System Simulation of Three Gorges Reservoir Area, Chongqing, 400030, China)

ABSTRACT

In this paper, the coupling effect between the concentration of phosphorus in water and the velocity and distance of vertical transport of cyanobacteria aggregates was investigated by establishing a phosphorus quota model of interior nutrition condition in cyanobacteria cell and studying the influence of the concentration of phosphorus in water on vertical transport of cyanobacteria aggregates. The results show that the phosphorus quota in cyanobacteria cells is closely related to the concentration of phosphorus in water. When the concentration of phosphorus in water reaches $0.075 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, water bloom does not occur easily. Maximum migration distance of cyanobacteria aggregates is close to 4 m when the concentration reaches to $0.09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, and algae bloom easily. When the concentration is $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ cyanobacteria aggregates move up to the surface of water and no longer move downward, Algae blooms occur.

Keywords: cyanobacteria, concentration of phosphorus in water, phosphorus quota, vertical migration.

赛默飞世尔科技在新应用指南中展示 FT-IR 光谱仪的 QA/QC 测试高可靠性

赛默飞世尔科技的 FT-IR 光谱仪可为科研人员提供更高置信度的质量保证/质量控制(QA/QC) 测试结果. 科研人员能够专注于处理样品,而无需深入了解 FT-IR 操作的每个部分,仪器本身担负起性能验证的职责. Thermo Scientific FT-IR 仪器专为提高实验室效率和简化需遵守常规要求的生产过程而设计.

QA/QC 的主要功能是确定某一产品是否满足与密度、组分或纯度相关的控制参数. 由于产品质量的至关重要性,QA/QC 测试的每一过程都由严格的标准作业程序(SOPs) 来限定. 日常性能验证可提供光谱仪性能管理和审核水平的详细信息,并测试 FT-IR 系统是否符合制造商发布的参数.

通过分析用于制造食品包装薄膜和热熔粘合剂的聚乙烯和醋酸乙烯酯(EVA) 的聚合物共混物,阐述如何简化 QA/QC 过程. 首先获取含不同浓度范围 EVA 的样品的谱图并将其保存为参考谱图. 随后利用 Thermo Scientific QCheck 算法及其独特的高灵敏度设置(用以突出样品中可能存在的极小但却至关重要的差异) 验证生产线上的材料满足预期聚合物共混水平,从而使 QC 实验室以高置信度结果快速确认聚合物共混物.

本刊讯