

米氏凯伦藻对氮源的吸收利用特征

黄凯旋¹, 谢雅慧², 吕颂辉¹

1. 暨南大学赤潮与水环境研究中心, 广东 广州 510632; 2. 国家海洋局南海海洋环境监测中心, 广东 广州 510300

摘要: 对不同氮源的吸收利用特征在一定程度上决定了藻类的生长策略和种群生物量, 采用单因子实验, 以 NaH_2PO_4 作为唯一磷源, 固定初始磷浓度为 $0.65 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 选用硝酸钠、亚硝酸钠、氯化铵和尿素分别作为氮源进行批次培养, 对比研究米氏凯伦藻 (*Karenia mikimotoi*) 在不同氮源不同氮磷浓度比 (c_N/c_P) 条件下的吸收利用特征。结果表明: 当 c_N/c_P 为 80 时, 米氏凯伦藻细胞数量增长明显, 对硝酸钠、亚硝酸钠、氯化铵和尿素的吸收量分别为 $51.64 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $29.28 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $42.17 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $41.42 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。4 种氮源对米氏凯伦藻的营养价值存在差别, 其由大至小的排列顺序依次为: 硝酸钠, 尿素, 亚硝酸钠, 氯化铵。

关键词: 米氏凯伦藻; 氮; 氮磷比; 吸收; 比生长率

中图分类号: X173

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 02-0453-05

不同藻类对不同形态氮源的利用率和优先性存在差异, 对不同氮源的利用特征在一定程度上决定了浮游植物不同种群生物量的差异^[1-2]。一般海洋微藻对硝酸钠吸收率为 32%~66%, 对氯化铵的吸收率为 32%~100%, 对尿素的吸收率变化最大, 范围为 10%~100%^[3]。三角褐指藻 (*Phaeodactylum tricornutum*) 对氮源优先利用的顺序为尿素>氯化铵>硝酸钠; 球等鞭金藻 (*Isochrysis galbana*) 为硝酸钠>亚硝酸钠>氯化铵; 亚心扁藻 (*Platymonas subcordiformis*) 为氯化铵>硝酸钠>亚硝酸钠^[4-5]。藻类这种氮源利用率的差异除与藻细胞的硝酸还原酶和尿素酶活力有关外, 还与氮源的元素组成、藻类释放的胞外营养盐、生长的温度、盐度和 pH 值等有关^[6-8]。米氏凯伦藻 (*Karenia mikimotoi* Hansen) 属于裸甲藻目 (Gymnodiniales), 凯伦藻属 (*Karenia*), 分布广泛, 其引发的赤潮常给渔业带来严重的经济损失, 是近年来常见的有害赤潮生物^[9-10]。为研究米氏凯伦藻对不同氮源的利用特征, 揭示米氏凯伦藻赤潮形成的氮营养机理, 本文选取 4 种常见氮源硝酸钠、亚硝酸钠、氯化铵和尿素, 观察米氏凯伦藻在不同氮源、不同氮磷浓度比条件下的生长情况, 以及各种氮源中有效 N 浓度相应的变化情况。

1 材料与方法

1.1 实验藻种

米氏凯伦藻 (*Karenia mikimotoi*) 分离自南海赤潮高发海域, 经纯化后保存于暨南大学赤潮与水环境研究中心藻种室。实验前将处于对数生长期的实验藻种离心, 用无氮无磷的 f/2 培养基培养 2 d 后再

接种。

1.2 培养条件

氮营养实验所用的器皿均以 5% 的 HCl 浸泡过夜, 超声波清洗机清洗后以去离子水反复冲洗, 灭菌后备用。其余实验所用的器皿用自来水洗净后, 以蒸馏水反复冲洗, 灭菌后备用。培养基采用外海天然海水, 按照不含硅酸盐的 f/2 配方配制, 其中氮、磷浓度按实验要求另加。培养基经 121 °C 高压蒸汽灭菌 20 min 后备用。培养温度为 $(25\pm 1)^\circ\text{C}$, 光照强度约为 3 000 lx, 光暗比为 12 h : 12 h。

1.3 实验方法

以 $\text{NaH}_2\text{PO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 作为唯一磷源, 硝酸钠、亚硝酸钠、氯化铵和尿素分别作为氮源进行批次培养。实验中设置初始磷浓度均为 $0.65 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (根据赤潮高发区水域磷的平均值设定), 初始氮浓度依次为: 0 (对照组)、 $10.40 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $52.00 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $78.00 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; 使其氮磷浓度比分别为: 0、16、80 和 120。每种氮源分为 4 个浓度梯度, 每个浓度设两个平行样品。接种的初始密度约为 500 mL, 培养液的总体积为 100 mL, 用 250 mL 的锥形瓶在光照培养箱进行培养。

1.4 测定和计算方法

1.4.1 细胞计数和各氮源 N 含量的测定

自接种当天起, 隔两天在同一时间取样, 用 0.1 mL 浮游生物计数框, 在 Olympus CH30 型双筒显微镜下进行细胞计数。并用 MFS 0.45 μm 混合纤维脂膜过滤 10 mL 藻液, 各氮源采用德国 Bran Luebbe AA3 型流动分析仪测定, 4 种氮源的测量精度均在 99.8% 以上。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409704); 广州市科技计划项目(2003Z3-C7361)

作者简介: 黄凯旋(1982 年生), 女, 助理实验员, 硕士, 主要研究方向为近海环境与赤潮生态。E-mail: babyblue02@163.com

收稿日期: 2008-12-01

1.4.2 数据处理

根据公式 $\mu = (\ln X_t - \ln X_0) / \Delta t$ 求出比生长率, X_0 表示初始细胞密度, X_t 表示隔天后细胞密度。运用 SPSS 13.0 软件对所得细胞密度均值进行多重比较统计分析 (LSD 法), 4 种氮源藻液中 N 浓度下降与藻细胞密度增加的线性回归关系分析。

2 结果

2.1 氮磷浓度比为 16 条件下米氏凯伦藻对氮的吸收利用特征

c_N/c_P 为 16 时, 以硝酸钠为氮源, 米氏凯伦藻的细胞密度与对照组无明显差异 ($P > 0.05$), 最大比生长率为 0.25 d^{-1} , 第 9 天细胞密度开始减少; 第 15 天藻液中 N 浓度下降了 $9.22 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, N 的吸收率为 94.8%, N 浓度的下降与细胞密度的增加线性关系不显著 ($P > 0.05$), 见图 1 和图 2。以亚硝酸钠为氮源, 米氏凯伦藻的细胞密度与对照组无明显差异 ($P > 0.05$), 最大比生长率为 0.18 d^{-1} , 细胞密度可以长时间保持在 $1 \times 10^3 \text{ mL}$ 的水平; 第 15 天藻液中 N 浓度下降了 $5.71 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, N 的吸收率为 95.2%, N 浓度的下降与细胞密度的增加关系极显著 ($P < 0.01$)。以氯化铵为氮源, 米氏凯伦藻增长缓慢, 生长情况基本与对照组一致, 细胞密度与对照组无差异 ($P > 0.05$), 最大比生长率为 0.19 d^{-1} ; 第 15 天藻液中 N 浓度下降了 $10.07 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, N 的吸收率为 85.6%, N 浓度的下降与细胞密度的增加关系不显著 ($P > 0.05$)。以尿素为氮源, 米氏凯伦藻的细胞密度与对照组无明显差异 ($P > 0.05$), 最大比生长率为 0.24 d^{-1} , 第 9 天细胞密度开始下降; 第 15 天藻液中尿素完全被吸收, N 的吸收率为 100%, N 浓度的下降与细胞密度的增加关系不显著 ($P > 0.05$)。低浓度的 N 含量不足以维持米氏凯伦藻的大量繁殖, 除尿素外, 其它 3 种氮源含量在第 3 天即直线下下降。

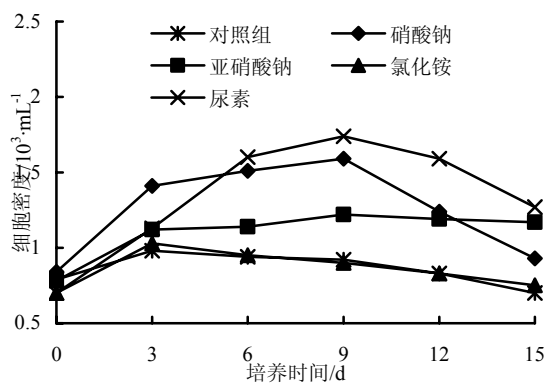


图 1 各氮源 c_N/c_P 为 16 条件下米氏凯伦藻的生长曲线

Fig.1 The growth of *K. mikimotoi* at 16 c_N/c_P ratio of nitrogen sources

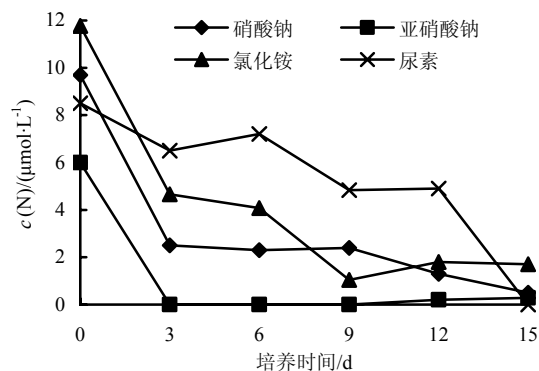


图 2 各氮源 c_N/c_P 为 16 条件下 N 含量的变化

Fig. 2 The change of nitrogen concentration at 16 c_N/c_P ratio of nitrogen sources

2.2 氮磷浓度比为 80 条件下米氏凯伦藻对氮的吸收利用特征

c_N/c_P 为 80 时, 以硝酸钠为氮源, 米氏凯伦藻增长明显, 最大比生长率为 0.43 d^{-1} , 且可以长时间维持高的细胞密度, 细胞密度与对照组和 c_N/c_P 为 16 的差异极显著 ($P < 0.01$), 与 c_N/c_P 为 120 的差异显著 ($P < 0.05$); 第 15 天藻液中 N 浓度下降了 $51.64 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, N 的吸收率为 97.7%, N 浓度的下降与细胞密度的增加关系极显著 ($P < 0.01$), 见图 3 和图 4。以亚硝酸钠为氮源, 米氏凯伦藻的最大比生长率为 0.22 d^{-1} , 细胞密度与对照组差异极显著 ($P < 0.01$), 与 c_N/c_P 为 16 的差异显著 ($P < 0.05$); 第 15 天藻液中 N 浓度下降了 $29.28 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, N 的吸收率为 77.1%, N 浓度的下降与细胞密度的增加关系极显著 ($P < 0.01$)。以氯化铵为氮源, 米氏凯伦藻细胞密度与对照组的差异极显著 ($P < 0.01$), 最大比生长率为 0.21 d^{-1} ; 第 15 天藻液中 N 浓度下降了 $42.17 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, N 的吸收率为 74.1%, N 浓度的下降与细胞密度的增加关系极显著 ($P < 0.01$)。以尿素为氮源, 米氏凯伦藻增长明显, 最大比生长

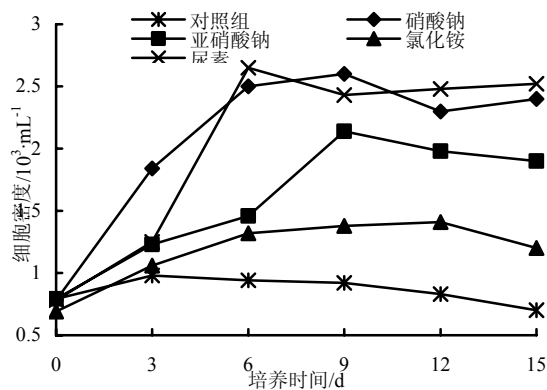


图 3 各氮源 c_N/c_P 为 80 条件下米氏凯伦藻的生长曲线

Fig. 3 The growth of *K. mikimotoi* at 80 c_N/c_P ratio of nitrogen sources

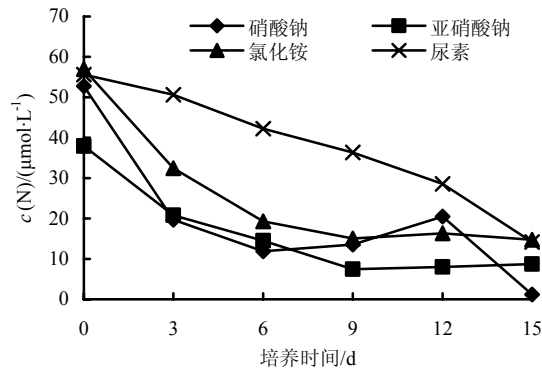


图4 各氮源 c_N/c_P 为 80 条件下 N 含量的变化
Fig. 2 The change of nitrogen concentration at 80 cN/cP ratio of nitrogen sources

率为 0.38 d^{-1} ，且可以长时间维持高的细胞密度，细胞密度与对照组和 c_N/c_P 为 16 的差异极显著 ($P < 0.01$)，与 c_N/c_P 为 120 的差异显著 ($P < 0.05$)；第 15 天藻液中 N 浓度下降了 $41.42\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，N 的吸收率为 74.5%，N 浓度的下降与细胞密度的增加关系不显著 ($P > 0.05$)。此浓度下，米氏凯伦藻对各种氮源大量吸收，细胞增长明显，长时间维持高的细胞密度。

2.3 氮磷浓度比为 120 条件下米氏凯伦藻对氮的吸收利用特征

c_N/c_P 为 120 时，以硝酸钠为氮源，米氏凯伦藻细胞密度与对照组差异显著 ($P < 0.05$)，但前 6 d 生长较缓慢，可能较高浓度的硝酸钠抑制了细胞的增长，最大比生长率为 0.22 d^{-1} ；第 15 天藻液中 N 浓度下降了 $23.95\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，N 的吸收率为 27.3%，N 浓度的下降与细胞密度的增加关系极显著 ($P < 0.01$)，见图 5 和图 6。以亚硝酸钠为氮源，米氏凯伦藻细胞密度与对照组差异显著 ($P < 0.05$)，最大比生长率为 0.23 d^{-1} ；第 15 天藻液中 N 浓度下降了 $31.74\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，N 的吸收率为 34.3%，N 浓度的下降与细胞密度的增加关系极显著 ($P < 0.01$)。以氯化铵为氮源，米氏凯伦藻细胞密度与对照组差异显

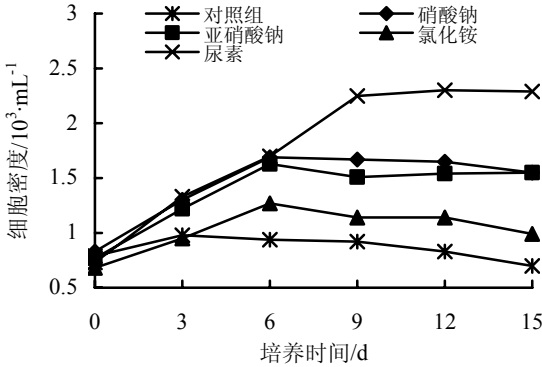


图5 各氮源 c_N/c_P 为 120 条件下米氏凯伦藻的生长曲线
Fig. 5 The growth of *K. mikimotoi* at 120 c_N/c_P ratio of nitrogen sources

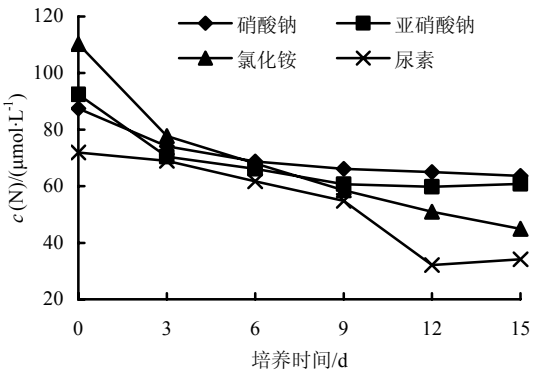


图6 各氮源 c_N/c_P 为 16 条件下 N 含量的变化
Fig. 6 The change of nitrogen concentration at 120 cN/cP ratio of nitrogen sources

著 ($P < 0.05$)，最大比生长率为 0.22 d^{-1} ，第 9 天起细胞密度开始减少；第 15 天藻液中 N 浓度下降了 $65.33\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，N 的吸收率为 59.2%，N 浓度的下降与细胞密度的增加关系显著 ($P < 0.05$)。以尿素为氮源，米氏凯伦藻细胞密度与对照组差异显著 ($P < 0.05$)，最大比生长率为 0.30 d^{-1} ；第 15 天藻液中 N 浓度下降了 $37.76\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，N 的吸收率为 52.5%，N 浓度的下降与细胞密度的增加关系显著 ($P < 0.05$)。氮源高的起始浓度并没有刺激米氏凯伦藻的大量生长，以硝酸钠和尿素为氮源，氮吸收量、比生长率和最高细胞密度低于 c_N/c_P 为 80 的条件；以亚硝酸钠和氯化铵为氮源，氮吸收量高于 c_N/c_P 为 80 的条件，但比生长率和最高细胞密度反而变小，见表 1。

表 1 不同氮磷浓度比条件下米氏凯伦藻对氮源的吸收利用特征
Table 1 The nitrogen uptake of *K. mikimotoi* at different c_N/c_P ratios

氮源	$c_N/c_P=16$		$c_N/c_P=80$		$c_N/c_P=120$	
	比生长率 /($\times\text{d}^{-1}$)	N 吸收量 /($\mu\text{mol/L}$)	比生长率 /($\times\text{d}^{-1}$)	N 吸收量 /($\mu\text{mol/L}$)	比生长率 /($\times\text{d}^{-1}$)	N 吸收量 /($\mu\text{mol/L}$)
硝酸钠	0.25	9.22	0.43	51.64	0.22	23.95
亚硝酸钠	0.18	5.71	0.22	29.28	0.23	31.74
氯化铵	0.19	10.07	0.21	42.17	0.22	65.33
尿素	0.24	8.50	0.38	41.42	0.30	37.76

3 分析与讨论

韩秀容等人^[11]在东海赤潮高发区通过现场培养实验发现，米氏凯伦藻对营养盐有较高需求，当硝酸盐和磷酸盐的浓度分别达到 $50.34\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $2.32\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时，培养期间米氏凯伦藻可以形成赤潮。2005 年浙江米氏凯伦藻赤潮发生海域连续监测显示：赤潮未发生的磷酸盐和无机氮质量浓度分别为 $20\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $484\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ，赤潮消灭期间磷酸盐和无机氮质量浓度分别为 $5\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $64\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ，赤潮发生期间，米氏凯伦藻消耗了大量营养物质，无机氮含量大幅度下降^[12]。本实验培养基采用外海天然

海水配制,根据赤潮高发区水域磷的平均值设定磷酸盐浓度为 $0.65 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $c_{\text{N}}/c_{\text{P}}$ 为 80 的各培养基中,米氏凯伦藻增长明显达到赤潮细胞密度,对硝酸钠、亚硝酸钠、氯化铵和尿素的吸收量分别为 $51.64 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $29.28 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $42.17 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $41.42 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。值得指出的是本实验是单种氮源条件下对米氏凯伦藻的作用,要了解自然水体中多种形态氮源的共同作用还需要进行深入的研究。

米氏凯伦藻对 4 种氮源的利用存在一定的差别,在硝酸钠、尿素、亚硝酸钠、氯化铵 $c_{\text{N}}/c_{\text{P}}$ 为 80 的培养基中,米氏凯伦藻最大比生长率分别为 0.43 d^{-1} 、 0.38 d^{-1} 、 0.22 d^{-1} 、 0.21 d^{-1} ;最高细胞密度分别为 $2.61 \times 10^3 \text{ mL}^{-1}$ 、 $2.65 \times 10^3 \text{ mL}^{-1}$ 、 $2.14 \times 10^3 \text{ mL}^{-1}$ 、 $1.41 \times 10^3 \text{ mL}^{-1}$ 。米氏凯伦藻可以大幅度吸收氯化铵,吸收率与其它 3 种氮源持平,但其比生长率和细胞密度是 4 种氮源中最低。许多研究发现藻类优先利用氯化铵,当水体中铵盐浓度高于硝酸盐 $1 \sim 2 \mu\text{mol/L}$ 时,铵盐抑制浮游植物对硝酸盐的吸收,细胞中硝酸还原酶活性受到抑制^[6-8]。但 Arzul 等人^[7]对米氏凯伦藻的研究结果指出,当氯化铵浓度达到 $30 \sim 46.5 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,高浓度的铵盐抑制氮的同化作用,从而使米氏凯伦藻的生长受到抑制。也有研究指出,随着氯化铵被吸收,培养液的 pH 值逐渐下降, pH 值的改变可能影响了藻细胞的生长^[13]。对东海原甲藻 (*Prorocentrum donghaiense*) 的研究发现,同样固定磷酸盐为 $0.65 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,该藻最佳的生长浓度氯化铵和尿素为 $5.20 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,硝酸钠为 $7.80 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,亚硝酸钠为 $10.40 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,当各氮浓度高于 $20.80 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 东海原甲藻的生长受到抑制^[14]。米氏凯伦藻和东海原甲藻是近年来常见的赤潮生物,经常形成双相赤潮,由上可见两种藻对氮源有不同的偏向,并且东海原甲藻对氮浓度的需求低于米氏凯伦藻,从而能否作为解释两种藻形成双相赤潮的依据之一还有待进一步的研究。影响浮游植物细胞分裂速率最关键的一个因素是对营养盐的利用率,不同氮营养盐的形态和浓度对藻类的营养价值存在差异^[15]。从本次实验结果看,4 种氮源对米氏凯伦藻的营养价值由高到低的次序为硝酸钠,尿素,亚硝酸钠,氯化铵。出现这种差别,可能性原因:氯化铵改变了藻液的 pH 值从而不利于米氏凯伦藻的生长;或是氯化铵的积累抑制了氮的同化作用;也有可能是由于米氏凯伦藻酶功能的差异造成了对氮源利用率的差异,以不同形态的 N 作为氮源,藻细胞尿素酶的活力存在差异^[1]。尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 是重要的有机氮化合物,它可以透过细胞膜直接被浮游植物吸收和代谢,并可以提供一定的碳源。一些甲藻首先以尿素作为生长的氮

源。国外研究发现,最近甲藻赤潮的相继发生与水体中溶解态有机氮(DON)特别是尿素被利用有关,有些甲藻可以生长于高浓度有机氮和低浓度无机氮的混合条件下^[16-17]。

4 结论

(1) 米氏凯伦藻对氮有较高需求,当磷酸盐为 $0.65 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $c_{\text{N}}/c_{\text{P}}$ 为 80 的培养基中,米氏凯伦藻增长明显,对硝酸钠、亚硝酸钠、氯化铵和尿素的吸收量分别为 $51.64 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $29.28 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $42.17 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $41.42 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

(2) 4 种氮源的对米氏凯伦藻的营养价值存在差别,由高到低的次序为:硝酸钠,尿素,亚硝酸钠,氯化铵。硝酸钠和尿素是培养米氏凯伦藻营养价值很高的氮源,适宜的浓度可以促使该藻大量繁殖,并长时间维持较高的细胞密度。

参考文献:

- [1] FAN C, GLIBERT P, ALEXANDER J, et al. Characterization of urease activity in three marine phytoplankton species, *Aureococcus anophagefferens*, *prorocentrum minimum*, and *Thalassiosira weissflogii*[J]. Marine Biology, 2003, 142: 949-958.
- [2] DEVELI E, KIDEYS A, TUGRUL S. Effect of nutrients on culture dynamics of marine phytoplankton[J]. Aquatic Sciences, 2006, 68: 28-39.
- [3] 高亚辉, 荆红梅, 黄德强, 等. 海洋微藻胞外产物研究进展[J]. 海洋科学, 2002, 26(3): 35-38.
GAO Yahui, JING Hongmei, HUANG Deqiang, et al. Advances in studies on the extracellular products of marine microalgae[J]. Marine Sciences, 2002, 26(3): 35-38.
- [4] 马志珍. 氮源及其浓度对三角褐指藻生长的影响[J]. 海洋湖泊通报, 1983, 2: 45-50.
MA Zhizhen. Effect of nitrogen sources and their different concentrations on the growth of *Phaeodactylum Tricornutum* Bohlin[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1983, 2: 45-50.
- [5] 朱艺峰, 林霞, 朱鹏, 等. 混合氮源对扁藻与金藻共培养和单培养生长的影响[J]. 海洋科学, 2006, 30(8): 34-40.
ZHU Yifeng, LIN Xia, ZHU Peng, et al. Effects of mixed nitrogen sources on growth of mixed culture and monoculture of *Platymonas subcordiformis* and *Isochrysis galbana*[J]. Marine Sciences, 2006, 30(8): 34-40.
- [6] 胡忻, 王伟, 林均民. 光和无机氮盐对高盒形藻硝酸还原酶活性的影响[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2000, 39(4): 516-520.
HU Xin, WANG Wei, LIN Junmin. Effect of light, nitrate and ammonium on the activity of nitrate reductase from *Biddulphia regia*[J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 2000, 39(4): 516-520.
- [7] ARZUL G, SEGUEL M, CLEMENT A. Effect of marine animal excretions on differential growth of phytoplankton species[J]. Marine Science, 2001, 58: 386-390.
- [8] COLLOS Y, VAQUER A, BIBENT B, et al. Response of coastal phytoplankton to ammonium and nitrate pulses: seasonal variations of nitrogen uptake and regeneration[J]. Aquatic Ecology, 2003, 37: 227-236.

- [9] 龙华, 杜琦. 福建沿海米氏凯伦藻赤潮的步研究[J]. 福建水产, 2005, 4(12): 22-26.
LONG Hua, DU Qi. Primary research on karenia mikimotoi bloom in Fujian coast[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2005, 4(12): 22-26.
- [10] ONJI M, NAKANO S, SUZUKI S. Virus-like particles Suppress growth of the red-tide-forming marine dinoflagellate *Gymnodinium mikimotoi*[J]. Marine Biotechnology, 2003, 5: 435-442.
- [11] 韩秀荣, 李雁宾, 王修林, 等. 营养盐对东海浮游植物生长影响的现场培养实验[EB/OL]. 中国科技论文在线: http://www.paper.edu.cn/paper.php?serial_number=200512-725.
HAN Xiurong, LI Yanbin, WANG Xiulin, et al. Effects of nurients on phytoplankton growth in East China Sea by culture experiment in *situ*. [EB/OL] http://www.paper.edu.cn/paper.php?serial_number=200512-725.
- [12] 姚伟民, 潘晓东, 华丹丹. 浙江海域米氏凯伦藻赤潮成因的初步研究[J]. 水利渔业, 2007, 27(6): 57-59.
YAO Weimin, PAN Xiaodong, HUA Dandan. Rimay research on *Karenia mikimotoi* bloom in Zhejiang coast[J]. Reservoir Fisheries, 2007, 27(6): 57-59.
- [13] 蒋汉明, 高坤山. 氮源及其浓度对三角褐指藻生长和脂肪酸组成的影响[J]. 水生生物学报, 2004, 28(5): 545-551.
- JIANG Hanming, GAO Kunshan. Effects of nitrogen sources and concentrations on the growth and fatty acid composition of *Phaeoda-ctylum Tricornutum*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2004, 28(5): 545-551.
- [14] 吕颂辉, 欧美珊. 不同 N 源及 N/P 对东海原甲藻生长的影响[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(2): 33-36.
LU Songhui, OU Meishan. Effects of different nitrogen sources and N/P ratios on the growth of a marine dinoflagellate *Prorocentrum donghaiense*[J]. Marine Environmental Science, 2006, 25(2): 33-36.
- [15] AULT T, VELZEBOER R, ZAMMIT R. Influence of nutrient availability on phytoplankton growth and community structure in Port Adelaide River, Australia: bioassay assessment of potential nutrient limitation[J]. Hydrobiologia, 2000, 429(83): 89-103.
- [16] BURFORD M. Relative uptake of urea and ammonium by dinoflagellates or cyanobacteria in shrimp mesocosms[J]. Hydrobiologia, 2005, 549: 297-303.
- [17] 孙灵毅, 王力勇, 徐惠章. 单细胞藻类对营养盐类的吸收[J]. 水产科技情报, 2003, 30(3): 119-120.
SUN Lingyi, WANG Liyong, XU Huizhang. Nutrition uptake of unicellular algae[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2003, 30(3): 119-120.

Effects of nitrogen availability on growth of *Karenia mikimotoi*

Huang Kaixuan¹, Xie Yahui², Lu Songhui¹

1. Research Center for Harmful Algae and Aquatic Environment, Jinan University, Guangzhou 510632, China;

2. South China Sea Environment Monitor Center, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300, China

Abstract: Single factor test was used to study the effect of four different types of nitrogen sources on growth of *Karenia mikimotoi* Hansen. NaH_2PO_4 was the sole phosphorus source, and the initial concentration was $0.65 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. The four different types of nitrogen were: NaNO_3 , NaNO_2 , NH_4Cl and urea. The results showed that, the optimum $c_{\text{N}}/c_{\text{P}}$ ratio for four types of nitrogens was 80. At such nitrogen condition, *K. mikimotoi* absorbed $51.64 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ of NaNO_3 , $29.28 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ of NaNO_2 , $42.17 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ of NH_4Cl , and $41.42 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ of urea. The ability for using nitrogen was in order of $\text{NaNO}_3 > \text{urea} > \text{NaNO}_2 > \text{NH}_4\text{Cl}$.

Key words: *Karenia mikimotoi*; nitrogen; $c_{\text{N}}/c_{\text{P}}$ ratio; uptake; specific growth rate