

# Effects of Phosphate on the Growth and Cell Pigment Accumulation of *Dunaliella salina*

Xiaotian Liu, Peilei Wang

Life Department, Linyi University, Linyi Shandong  
Email: wpl660814@163.com

Received: Sep. 8<sup>th</sup>, 2016; accepted: Sep. 25<sup>th</sup>, 2016; published: Sep. 28<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

The effects of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  with different levels on the growth and cell pigment accumulation of *Dunaliella salina* were investigated and the results indicated that the maximum growth of  $153 \times 10^4$  cell/mL was detected in culture medium with 0.1 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  and the minimum of  $36 \times 10^4$  cell/mL in the control group. The culture medium with 0.20 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  had the highest  $\beta$ -carotene content of 12.8 mg/L, followed by 11.04 mg/L with 0.15 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , and the control group had lower  $\beta$ -carotene content of only 6.28 mg/L. Over 0.25 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  was found to have depressing function to cell growth. Right level  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  was helpful to chlorophyll a biosynthesis. During the first 6 days within culture period, pH values of the culture media rose up, and then declined in the following 4 - 5 days. The cells which were cultured in media with 0.10 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  had the highest protein content of 37.34%, while the control group only had 24.86%; 0.10 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  was assimilated completely within 6 days, and the uptake time had right-relationship with  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  contents. Finally, the assimilated mechanic equation of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  by *D. salina* was set up.

## Keywords

$\text{KH}_2\text{PO}_4$ , *Dunaliella salina*, Growth,  $\beta$ -Carotene, Absorpted Patterns

# 磷酸盐对盐生杜氏藻生长和细胞色素积累的影响

刘笑天, 王培磊

临沂大学生命科学学院, 山东 临沂

Email: wpl660814@163.com

收稿日期: 2016年9月8日; 录用日期: 2016年9月25日; 发布日期: 2016年9月28日

## 摘要

研究了不同浓度(0~0.30 mmol/L)的 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 对盐生杜氏藻生长和细胞色素积累的影响, 结果表明, 添加0.10 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 细胞生长最快, 最高密度为 $153 \times 10^4$  cell/mL, 无磷对照组密度最低, 仅为 $36 \times 10^4$  cell/mL;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 浓度为0.20 mmol/L时,  $\beta$ -胡萝卜素积累量最高, 为12.8 mg/L, 其次是0.15 mmol/L, 对照组很低, 仅为6.28 mg/L,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 超过0.25 mmol/L对 $\beta$ -胡萝卜素积累有抑制作用; 适当添加 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 对*D. salina*叶绿素a合成有促进作用; 在培养的前6天, pH值明显上升, 随后4~5天又下降; 添加0.1 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 细胞蛋白质含量最高, 为37.34%, 对照组仅为24.86%; 0.10 mmol/L组的 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 在6天内吸收完毕,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 吸收的时间与其最初的浓度呈正相关关系, 建立了藻液中 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 被盐生杜氏藻吸收的动力学方程。

## 关键词

$\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 盐生杜氏藻, 生长,  $\beta$ -胡萝卜素, 吸收规律

## 1. 引言

$\beta$ -胡萝卜素具有猝灭人体自由基、延缓衰老、抑制肿瘤转化及抗癌等生物活性功能[1], 因而受到广泛瞩目。盐生杜氏藻 *Dunaliella salina* 在一定培养条件下能大量积累  $\beta$ -胡萝卜素, 最高可达细胞干重的14% [2]。目前, 澳大利亚、以色列、美国、中国、日本、西班牙、加拿大等国家已有几十家公司从事杜氏藻生产, 杜氏藻产品的市场仍在日益扩大[3]。我国具有漫长的海岸线和星罗棋布的的内陆盐湖, 具有培养杜氏藻生产  $\beta$ -胡萝卜素得天独厚的自然条件。营养盐为影响杜氏藻生长和  $\beta$ -胡萝卜素积累的重要环境因子之一。明确杜氏藻对磷盐的吸收规律及杜氏藻生长阶段和  $\beta$ -胡萝卜素积累阶段对磷盐种类和浓度的不同要求对优化杜氏藻培养基配方、提高杜氏藻及  $\beta$ -胡萝卜素产量、降低养殖成本有重要的参考价值。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 藻种

盐生杜氏藻北京1号(*Dunaliella salina* Beijing 1), 由内蒙古兰太集团生物公司提供。

### 2.2. 培养条件

#### 2.2.1. 卤水

饱和卤水取自内蒙古兰太盐湖, 盐度 356, 比重 1.09, pH 6.03。用蒸馏水稀释至盐度 120。

#### 2.2.2. 营养盐

一次性添加  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  0.4 mmol/L, 尿素 0.20 mmol/L, 柠檬酸铁 0.01 mmol/L,  $\text{NaHCO}_3$  3.0 mmol/L,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  添加量为 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 mmol/L, 并设无磷组为对照。

#### 2.2.3. 温度

空调控温,  $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 。

#### 2.2.4. 光照

日光灯管照明, 光强 3200 lux, 光/暗周期为 16 h/8 h。

#### 2.2.5. 其它

250 mL 三角烧瓶, 取对数生长期藻种接种, 接种密度  $2.0 \times 10^4$  cell/mL。每天摇瓶 6 次, 实验设三个平行样, 重复两次。

### 2.3. 测定指标和测定方法

#### 2.3.1. 细胞计数

血球计数板法计数, 每天一次。

#### 2.3.2. $\beta$ -胡萝卜素的测定[4]

培养至 12 天时测定。

5 mL 藻液(加入少量碳酸镁)→90% 丙酮萃取→上清液→90% 丙酮定容至 50 mL→721 分光光度计测  $OD_{450}$  值

$$\beta\text{-胡萝卜素含量(mg/L)} = (\text{定容体积} \times 10 \times OD_{450}) \times 1000 \div (2500 \times \text{取样体积})$$

式中体积单位均为毫升(mL), 测定叶绿素 a 时间。

#### 2.3.3. 叶绿素 a 的测定[4]

培养至 7 天时测定。

5 mL 藻液(加入少量碳酸镁)→90% 丙酮萃取→上清液→90% 丙酮定容至 50 mL→721 分光光度计测  $OD_{663}$ 、 $OD_{645}$  值。

$$\text{叶绿素含量(mg/L)} = (8.02 \times OD_{663} + 20.21 \times OD_{645}) \times \text{定容体积} \div \text{取样体积}$$

#### 2.3.4. pH 值

用 Orion Model 828 型酸度计测定, 每天一次。

#### 2.3.5. 蛋白质测定

培养至 12 天时, 取藻液 500 mL, 离心, 蒸馏水冲洗藻泥, 再离心, 重复 3 次, 冷冻干燥。取干藻粉 0.1~0.2 g, 凯氏定氮法测定蛋白质含量。

#### 2.3.6. 脂肪酸测定[4]

取冷冻干燥的样品 0.1 g, 经皂化、甲酯化, 萃取, 气相色谱仪(HP-5890 型)测定脂肪酸组分。按峰面积归一化法计算脂肪酸组分百分含量。

#### 2.3.7. $KH_2PO_4$ 浓度测定[4]

取藻液 5 mL, 离心, 取上清液, 按 Murphy 和 Riley 所提供的方法测培养液中残存的  $KH_2PO_4$  的浓度, 每天一次。

### 2.4. 数据处理

采用 SPSS 软件包对结果进行统计分析, 以 0.05 作为差异显著性水平。

## 3. 结果

### 3.1. $KH_2PO_4$ 对 *D. salina* 细胞生长的影响

$KH_2PO_4$  对 *D. salina* 细胞生长的影响见图 1。从图 1 可见, 添加 0.10 mmol/L  $KH_2PO_4$  藻液中的细胞

生长最快, 最高密度为  $153 \times 10^4$  cell/mL, 而  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  浓度超过 0.20 mmol/L 对细胞的生长和分裂有抑制作用。无磷对照组的细胞密度最低, 仅为  $36 \times 10^4$  cell/mL ( $p < 0.05$ ), 说明适当添加  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  对 *D. salina* 生长有促进作用。

### 3.2. $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 对 *D. salina* $\beta$ -胡萝卜素积累的影响

$\text{KH}_2\text{PO}_4$  对 *D. salina*  $\beta$ -胡萝卜素积累的影响见图 2。从图 2 可以看出,  $\beta$ -胡萝卜素积累最适宜的  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  浓度是 0.20 mmol/L, 藻液  $\beta$ -胡萝卜素最大值为 12.8 mg/L,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  超过 2.50 mmol/L 对  $\beta$ -胡萝卜素的合成有抑制作用。无磷对照组的  $\beta$ -胡萝卜素含量较低, 仅为 6.28 mg/L ( $p < 0.05$ )。可见适量添加  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  可以促进  $\beta$ -胡萝卜素的合成。

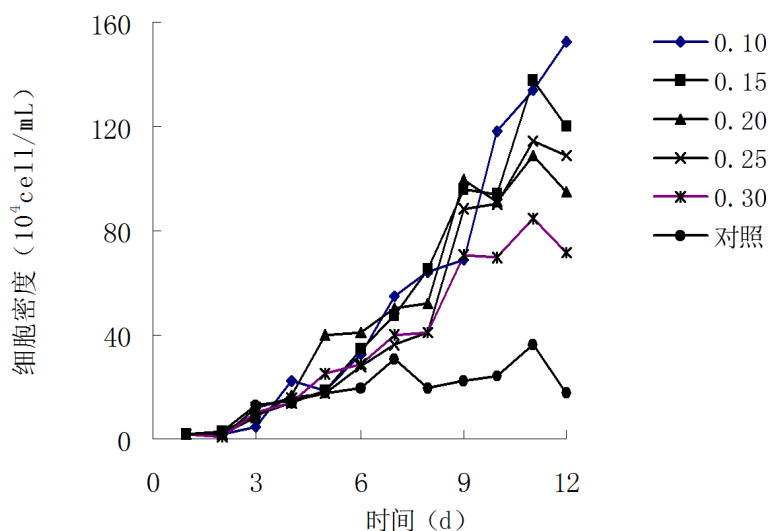


Figure 1. Effect of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  on the growth of *D. salina*

图 1.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  对 *D. salina* 生长的影响

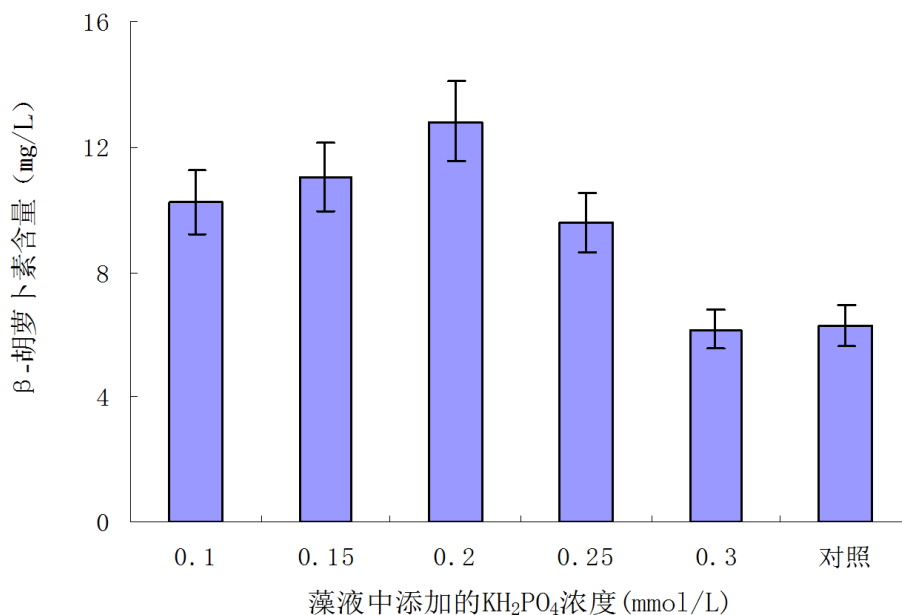


Figure 2. Effect of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  on the biosynthesis of  $\beta$ -carotene in *D. salina*

图 2.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  对 *D. salina*  $\beta$ -胡萝卜素积累的影响

### 3.3. $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 对 *D. salina* 叶绿素 a 合成的影响

$\text{KH}_2\text{PO}_4$  对 *D. salina* 叶绿素 a 合成的影响见图 3。从图 3 可见, 浓度为 0.25 mmol/L 时, 藻液中叶绿素 a 产量最高; 而  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  浓度为 0.30 mmol/L 的藻液的叶绿素 a 含量很低, 说明太高的  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  不利于叶绿素 a 的合成。值得注意的是, 无磷对照组的叶绿素含量最低, 说明适量  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  对 *D. salina* 叶绿素 a 合成有促进作用。

### 3.4. $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 对 *D. salina* 藻液 pH 值的影响

$\text{KH}_2\text{PO}_4$  对 *D. salina* 藻液 pH 值的影响见图 4。从图 4 可看出, 在培养的前 6 天, pH 值有一个明显上升趋势, 随后 4~5 天在波动中下降。但无磷对照组 pH 值的变化不符合这个规律, pH 值总体水平较低。

### 3.5. $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 对 *D. salina* 细胞蛋白质含量的影响

$\text{KH}_2\text{PO}_4$  对 *D. salina* 细胞蛋白质含量的影响见表 1。表 1 显示, 培养基中添加  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.1 mmol/L 时, 细胞中蛋白质含量最高, 为 37.34%; 对照组蛋白含量最低, 为 24.86%, 且处理组与对照组差异均显著 ( $p < 0.05$ ), 说明在实验范围内, 较低的  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  有利于细胞内蛋白质的合成。

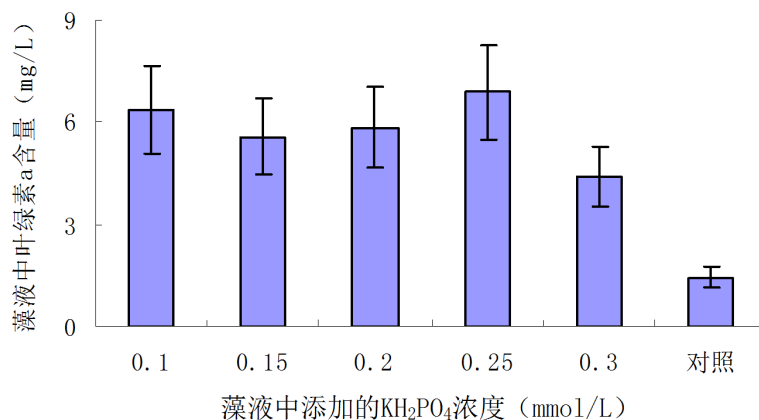


Figure 3. Effect of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  on biosynthesis of chlorophyll a in *D. salina*

图 3.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  对 *D. salina* 叶绿素 a 的影响

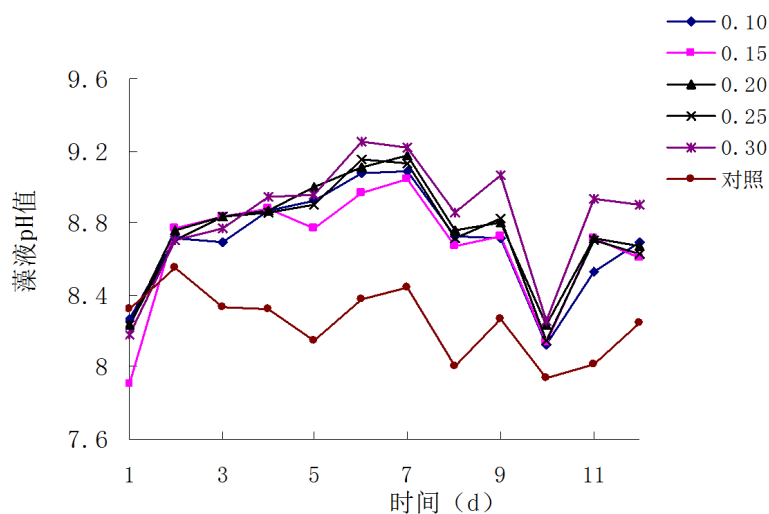


Figure 4. Effect of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  on pH values of the *D. salina* media

图 4.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  对 *D. salina* 藻液 pH 值的影响

### 3.6. $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 对 *D. salina* 脂肪酸组成的影响

表 2 显示了  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  对 *D. salina* 脂肪酸组成的影响, 可见 *D. salina* 脂肪酸主要由 16:0、18:1 和 18:2  $\omega$ -6 组成, 0.25 mmol/L 组的总脂肪酸含量( $82.60 \pm 13.67\%$ )是最高的, 与对照组( $70.26 \pm 10.41\%$ )有显著差异( $p < 0.05$ )。

### 3.7. *D. salina* 对 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 的吸收规律

*D. salina* 对  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  的吸收规律见图 5。从图 5 可见, 最初溶液中  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  的浓度越高, 其残存时间越长, 即  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  在培养液中残存的时间与其最初的施用浓度呈正相关关系; 最初 5 天磷的消耗较快, 这是最初几天藻细胞生长、分裂迅速, 光合作用旺盛的结果。

**Table 1.** Effect of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  on the contents of cell protein in *D. salina*

**表 1.**  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  浓度对 *D. salina* 细胞蛋白质含量的影响

$\text{KH}_2\text{PO}_4$ 浓度	蛋白质含量(占干重%)
0.10	$37.34 \pm 6.12^*$
0.15	$35.17 \pm 5.40^*$
0.20	$32.87 \pm 4.21^*$
0.25	$31.77 \pm 4.17^*$
0.30	$28.44 \pm 3.26^*$
对照	$24.86 \pm 3.04$

\*表示与对照组差异显著( $p < 0.05$ )。

**Table 2.** Effects of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  on the fatty acid composition of *D. salina*

**表 2.**  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  对 *D. salina* 脂肪酸组成的影响(占总脂肪酸的百分比)

脂肪酸	$\text{KH}_2\text{PO}_4$ 浓度					对照
	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	
14:0	$1.98 \pm 0.26$	$2.13 \pm 0.09$	$1.87 \pm 0.12$	$2.46 \pm 0.19^*$	$1.64 \pm 0.19^*$	$2.12 \pm 0.18$
16:0	$28.44 \pm 4.12$	$24.67 \pm 3.25^*$	$29.33 \pm 3.78$	$35.71 \pm 4.26^*$	$28.76 \pm 3.96$	$29.60 \pm 3.42$
16:1	$0.96 \pm 0.11^*$	$0.88 \pm 0.14^*$	$0.76 \pm 0.12^*$	$0.64 \pm 0.14^*$	$1.47 \pm 0.19$	$1.96 \pm 0.36$
16:2	$1.87 \pm 0.24^*$	$1.68 \pm 0.17^*$	$1.52 \pm 0.19^*$	$1.12 \pm 0.18^*$	$0.98 \pm 0.17^*$	$1.24 \pm 0.26$
16:3	$1.68 \pm 0.36$	$1.84 \pm 0.21^*$	$1.76 \pm 0.22$	$1.96 \pm 0.29^*$	$2.14 \pm 0.34^*$	$1.37 \pm 0.34$
16:4	$0.46 \pm 0.09^*$	$0.86 \pm 0.13$	$0.79 \pm 0.19$	$0.62 \pm 0.14$	$0.96 \pm 0.17^*$	$0.61 \pm 0.15$
18:1	$17.44 \pm 2.87^*$	$15.52 \pm 2.13$	$17.88 \pm 3.24^*$	$16.42 \pm 3.48^*$	$11.23 \pm 2.18$	$12.66 \pm 3.24$
18:2 $\omega$ -6	$12.61 \pm 3.12$	$13.68 \pm 2.87$	$11.56 \pm 3.29$	$14.33 \pm 2.66^*$	$8.47 \pm 1.16^*$	$10.09 \pm 1.18$
18:3 $\omega$ -6	$4.22 \pm 0.64$	$3.56 \pm 0.48^*$	$4.39 \pm 0.56$	$3.26 \pm 0.49^*$	$2.96 \pm 0.39^*$	$5.14 \pm 0.69$
18:3 $\omega$ -3	$2.58 \pm 0.15$	$2.38 \pm 0.26$	$2.73 \pm 0.57$	$3.64 \pm 0.97^*$	$2.11 \pm 0.36^*$	$2.86 \pm 0.25$
18:3 $\omega$ -4	$1.87 \pm 0.21^*$	$1.89 \pm 0.31^*$	$1.98 \pm 0.67$	$2.44 \pm 0.87$	$1.96 \pm 0.31^*$	$2.61 \pm 0.34$
饱和与单不饱和脂肪酸	$48.82 \pm 7.36$	$49.68 \pm 8.16$	$52.45 \pm 7.96^*$	$55.23 \pm 8.07^*$	$43.10 \pm 6.52^*$	$46.34 \pm 7.20$
多不饱和脂肪酸	$25.29 \pm 4.81$	$24.89 \pm 5.23$	$26.78 \pm 5.12$	$27.37 \pm 5.60^*$	$19.58 \pm 2.90^*$	$23.92 \pm 3.21$
总和	$74.11 \pm 12.17$	$74.57 \pm 13.39$	$79.23 \pm 13.08^*$	$82.60 \pm 13.67^*$	$62.68 \pm 9.42^*$	$70.26 \pm 10.41$

带\*者表示与对照组差异显著( $p < 0.05$ )。

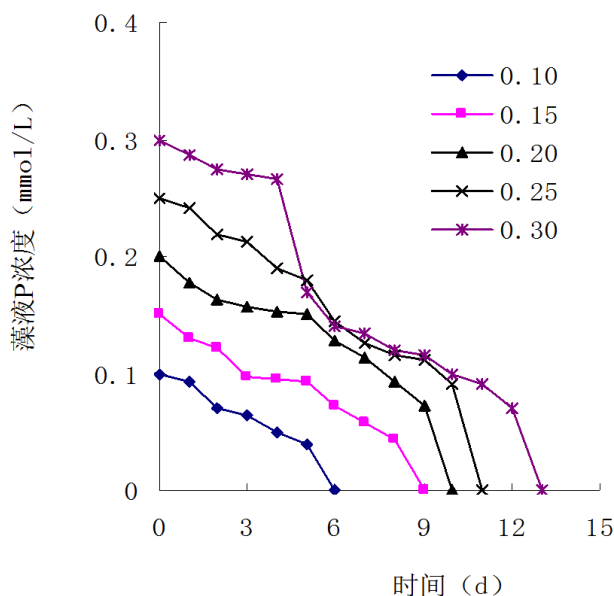


Figure 5. Absorption patterns of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  by *D. salina*  
 图 5. 杜氏藻对  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  吸收的情况

用数学模型拟合  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  浓度为 0.2 mmol/L 藻液中  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  的残存量和培养时间的关系, 可得如下函数:

$$y = -0.0004x - 0.0097x + 0.0995$$

其中  $x$  为培养时间(天),  $y$  为藻液中残存的  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  浓度(mmol/L)。

相关系数  $R^2 = 0.9603$ , 大于 0.90, 说明该方程较好地反映了 *D. salina* 对  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  的吸收规律。

#### 4. 讨论

N、P 盐种类、浓度及其比例、温度、光照、盐度、pH 值等对杜氏藻生长和  $\beta$ -胡萝卜素积累都有重要影响[5]。本研究表明, 0.10 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  有助于杜氏藻生长和  $\beta$ -胡萝卜素积累, 但浓度超过 0.20 mmol/L 对细胞生长和  $\beta$ -胡萝卜素积累有抑制作用, 且浓度越高, 抑制作用越大。研究普遍认为, P、N 饥饿或不足有利于  $\beta$ -胡萝卜素积累[6]。本研究结果也证实 P 的缺乏有助于单细胞  $\beta$ -胡萝卜素大量合成。笔者另一项研究表明, N 缺乏不利于细胞生长, 但有助于  $\beta$ -胡萝卜素积累, 这与其他学者研究结果是一致的[6]。杜氏藻生长阶段和  $\beta$ -胡萝卜素积累阶段对光照、温度、营养盐、盐度等环境因子要求显著不同[7]。生长阶段要求高的营养盐浓度, 而  $\beta$ -胡萝卜素积累阶段需要很低的营养盐浓度甚至是 0。据此, Amotz *et al.* (1997)提出了杜氏藻生产的二阶段养殖法[8], 即先用较低的盐度和光照及较高的氮盐条件使藻增殖至较理想密度, 再提高盐度和光照胁迫  $\beta$ -胡萝卜素积累。姜建国等研究表明, [N]/[P]比为 15 时, 杜氏藻生长最好[9]。结合大生产的经验, 我们认为培养基中添 0.10 mmol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  对 *D. salina* 生长和  $\beta$ -胡萝卜素积累是较合适的。

培养过程的前 6 天, pH 值有明显上升趋势, 随后 4~5 天有一个下降。第 4~6 天是细胞分裂最旺盛的时间, 这期间细胞的快速分裂、生长和旺盛的光合作用、大量消耗  $\text{CO}_2$  正好与 pH 值的明显上升从时间上相吻合。不难推断, 第 1~6 天 pH 值的上升是这期间细胞旺盛的分裂、生长和光合作用的结果。对于随后几天 pH 值的下降, Hirsch *et al.*认为, 随着密度升高, 细胞分泌一些酸性物质抑制细胞继续分裂, 大量死亡的细胞也可能向藻液释放酸性物质, 从而导致 pH 值下降[10]。本研究发现  $\beta$ -胡萝卜素大量积累的开始与 pH 值的下降在时间上是吻合的, 由此推测  $\beta$ -胡萝卜素的合成是 *D. salina* 对细胞高度密集、分泌

物大增、pH 值上升等不良环境适应的结果。Amotz (1996)研究认为, pH 值控制在 8.0~8.5 对杜氏藻生长和  $\beta$ -胡萝卜素积累比较合适[11]。pH 升高不利于藻类继续生长和  $\beta$ -胡萝卜素的积累, 生产上大多采用通入 CO<sub>2</sub> 的办法加以解决, 既能降低 pH 值, 又能补充碳源。

## 基金项目

国家 863 计划项目(863-819-04-10); 临沂大学博士科研启动基金资助项目(BS07004)。

## 参考文献 (References)

- [1] 姜建国, 姚汝华. 氮磷比对盐藻生长及甘油和色素积累的影响[J]. 热带海洋, 1999, 18(1): 68-74.
- [2] 郝建欣, 孙玉, 丛威. 不同因子胁迫盐藻积累  $\beta$ -胡萝卜素异构体的 HPLC 动态规律分析[J]. 海洋科学, 2003, 27(2): 41-49.
- [3] Borowitzka, M.A., Borowitzka, L.J. and Kessly, D. (1990) Mass Culture of *Dunaliella*: from Laboratory to Pilot Plant. *Journal of Applied Phycology*, **2**, 111-123.
- [4] 陈晗华, 钱凯先. 氮磷对盐藻生长及其  $\beta$ -胡萝卜素积累的影响[J]. 浙江大学学报, 1997, 31(6): 732-735.
- [5] Hejazi, M.A. and Wijffels, R.H. (1993) Cell Characteristics and Biochemical Composition of *Dunaliella primolecta* Butcher Conditioned at Different Concentration of Dissolved Nitrogen. *Journal of Applied Phycology*, **5**, 447-453. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02182737>
- [6] 李建宏, 翁永萍, 胡寒萍. 不同氮源对盐生杜氏藻生长和  $\beta$ -胡萝卜素积累的影响[J]. 南京师范大学学报, 1999, 22(3): 73-85.
- [7] Thakur, A. and Kumar, H.D. (1999) Effects of pH, Light Quality and Various Carbon Sources on Glycerol Production by the Brackish Water Alga *Dunalia salina*. *Cytobios*, **97**, 79-83.
- [8] Laws, E.A. and Wong, D.C.L. (1978) Effect of Nitrate Concentration on Growth and Pigment Synthesis of *Dunaliella salina* Cultivated under Low Illumination and Preadapted to Different Salinities. *Journal of Applied Phycology*, **10**, 406-411. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1529-8817.1978.tb02460.x>
- [9] Giordano, M. and Bowes, G. (1997) A Salt-Induced Chloroplast Protein in *Dunaliella salina* (Chlorophyta). *Plant Physiology*, **115**, 1049-1058.
- [10] Hirsch, R., Carandang, J. and Treffny, B. (1992) Effect of Low Temperature on the Stereoisomer Composition of  $\beta$ -Carotene in the Halotolerant Alga *Dunaliella bardawil* (Chlorophyta). *Journal of Experimental Botany*, **43**, 887-894. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/43.7.887>
- [11] Amotz, A.B. (1996) New Mode of *Dunaliella* Biotechnology: Two-Phase Growth for  $\beta$ -Carotene Production. *Phycologia*, **32**, 272-284.

### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网覆盖推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ams@hanspub.org](mailto:ams@hanspub.org)