

有机碳源对三角褐指藻生长、胞内物质和脂肪酸组分的影响

刘晓娟, 段舜山, 李爱芬

暨南大学水生生物研究所, 广州 510632

摘要: 研究了3种有机碳对三角褐指藻生长、胞内物质和脂肪酸组分的影响。结果表明, 三角褐指藻具有利用有机碳进行兼养生长的能力, 生长速率加快, 倍增时间缩短, 生物量显著提高, 100 mmol/L 甘油兼养的生物量最高(713 mg/L), 是自养(460 mg/L)的1.60倍, 乙酸钠和葡萄糖兼养的生物量分别是自养的1.28倍和1.21倍。兼养下蛋白质含量较自养明显下降, 碳水化合物和总脂含量高于自养, 乙酸钠和甘油兼养的总脂含量分别是自养的1.43倍和1.20倍, 葡萄糖兼养的总脂含量与自养无明显差异。3种有机碳兼养的饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸占总脂肪酸的比例增大, 多不饱和脂肪酸比例降低, EPA(eicosapentaenoic acid)比例降低, 乙酸钠兼养的胞内 EPA 含量(6.23%)和产量(36.59 mg/L)均高于自养, 分别是自养的1.10倍和1.40倍, 甘油和葡萄糖兼养的 EPA 含量和产量均低于自养。

关键词: 有机碳, 三角褐指藻, 兼养, 生长, 总脂, 脂肪酸, EPA

Effects of Organic Carbon Source on Growth, Biochemical Components and Fatty Acid Composition of *Phaeodactylum tricornutum*

Xiaojuan Liu, Shunshan Duan, and Aifen Li

Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China

Abstract: We examined the effects of three organic carbon sources on mixotrophic growth, biochemical components and fatty acid composition of *Phaeodactylum tricornutum*. Mixotrophically, *P. tricornutum* grew faster and had shorter doubling time. The biomass of *P. tricornutum* was greatly enhanced under mixotrophic condition with its highest biomass of 713 mg/L after 16 days, in medium containing 100 mmol/L glycerol. This was 1.60-fold of that obtained under autotrophic condition. The biomass during mixotrophic culture with 100 mmol/L glucose and 100 mmol/L acetate was 1.28-fold and 1.21-fold of that obtained under autotrophic condition, respectively. Compared with autotrophic condition, the content of soluble protein decreased obviously, whereas the content of soluble carbohydrate and total lipid increased. The content of lipid during mixotrophic culture with 100 mmol/L acetate and 100 mmol/L glycerol was 1.43-fold and 1.20-fold of that obtained under autotrophic condition, respectively. There was no difference between lipid content of mixotrophic growth with 100 mmol/L glucose and that of autotrophic condition. The eicosapentaenoic acid (EPA)

Received: April 13, 2007; **Accepted:** July 9, 2007

Supported by: the National Natural Science Foundation of China (No. 30370231), the Guangdong Key Guiding Project of Science and Technology Planning (No. 2005B33201001) and the Zhuhai Science and Technology Planning Project Contract Research (No. PC2006 1045).

Corresponding author: Shunshan Duan. Tel: +86-20-85223192; E-mail: Tssduan@jnu.edu.cn

国家自然科学基金(No.30370231), 广东省科技计划重点引导项目(No. 2005B33201001)和珠海市科技计划项目(No. PC20061045)资助。

content and yield was 6.23% and 36.59 mg/L during mixotrophic culture with 100 mmol/L acetate. These were 1.10-fold and 1.40-fold of that obtained under autotrophic condition, respectively. The EPA content and yield with glycerol and glucose were lower than that obtained under autotrophic condition. These results indicated that mixotrophic cultivation with acetate was beneficial to produce EPA.

Keywords: organic carbon source, *Phaeodactylum tricornerutum*, mixotrophic, growth, lipid, fatty acid, EPA

微藻是高价值化学药品和医药品的重要来源,如高度不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFAs)和色素(如虾青素、 β -胡萝卜素和叶黄素)等。高度不饱和脂肪酸在营养学和医学上的重要作用引起了人们广泛关注,特别是二十碳五烯酸(Eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(Docosahexaenoic acid, DHA)已成为研究开发的热点。到目前为止,大多数 EPA 的生产过程主要以光合自养培养为主,由于光合自养培养经常受到光限制,严重影响生物量,生物量的不足制约了微藻 EPA 的开发利用。为了提高 EPA 产量,人们对微藻的培养条件进行过大量研究,包括温度、光照、pH、营养盐种类和浓度等^[1,2,3]。然而许多微藻能够利用有机碳进行兼养生长,获得较高的生物量。硅藻门的三角褐指藻以其生长速率快、生物量高和脂质中 EPA 含量高而引起研究者的极大兴趣。国外对三角褐指藻的不同藻株已有研究,包括 *Phaeodactylum tricornerutum* UTEX-64, *Phaeodactylum tricornerutum* Böhlin 等^[4,5],国内对三角褐指藻的兼养研究相对较少,由于微藻利用有机碳进行生长的能力与藻株和培养条件等均有关,因此本文选用三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornerutum*)为试验材料,研究有机碳源对其生长、胞内物质和脂肪酸组分的影响,从而为更好的开发利用微藻生产 EPA 提供基础资料。

1 材料与方 法

1.1 藻种

试验藻种三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornerutum*)来自暨南大学水生生物研究所藻种室,经抗生素法制备无菌藻株。

1.2 微藻的培养

采用 f/2 培养基,盐度为 30,培养温度为 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$,光照强度为 $50\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,光暗比为 12L:12D,静置培养,每天摇藻并随机更换三角瓶位置,以避免光照不匀。甘油、乙酸钠和葡萄糖的浓度均为 100 mmol/L,以不加有机碳为对照。将对数期的藻液转接到装有 300 mL 无菌培养液的 500 mL

三角瓶中,接种密度为 0.15 g/L。试验设三个平行。

1.3 生长的测定

隔天取 20 μL 藻液利用细胞颗粒计数仪(CASY-TT, Schärfe-System, 德国)进行细胞计数。根据标准曲线回归公式 $Y(\text{生物量})=0.0223X(\text{细胞密度})+0.1028$ 换算成生物量。

比生长速率 $\mu = (\ln N_2 - \ln N_1) / (t_2 - t_1)$ (t 为生长时间),其中, N_2 和 N_1 分别是三角褐指藻在 t_2 和 t_1 时的细胞密度,倍增时间 $= \ln 2 / \mu$,其中, μ 为比生长速率。

1.4 藻体的收获

收集培养至对数末期的藻液,10 000 g 离心 10 min 收集藻细胞,双蒸水洗涤 3 次后,采用 ALPHR 2-4(德国)冷冻干燥,藻粉于 -20°C 冰箱保存备用。

1.5 胞内物质含量的测定

蛋白质含量采用考马斯亮蓝法^[6],碳水化合物含量采用硫酸苯酚法^[7],总脂含量按 Bligh-Dyer(简称 mBD)法进行^[8]。

1.6 脂肪酸的提取

脂肪酸的提取参照 Bigogno 的方法^[9]。在螺口试管中称取藻粉 25 mg,加入 2.0 mL 的 2% H_2SO_4 甲醇溶液,充入氮气。将螺口试管放入 80 $^{\circ}\text{C}$ 砂浴 1 h。冷却至室温,分别加入 1.0 mL 的蒸馏水和 1.0 mL 的正己烷,充分振荡,3500 r/min 离心 5 min。取出上层正己烷层放置到一小玻璃瓶中,氮气下吹干,加入 100 μL 正己烷。再转移到另一小玻璃瓶中,封口备测。

1.7 脂肪酸的气相色谱分析

实验仪器为气相色谱-质谱联用仪,型号为 ThermoFinnigan TRACE GC-MS。色谱条件:DB-5 柱(30 m \times 0.25 mm);进样口温度 260 $^{\circ}\text{C}$;程序升温,60 保留 2 min,以 30/min 升到 120 $^{\circ}\text{C}$,再以 1.5/min 升高到 250 $^{\circ}\text{C}$ 保留 2 min;载气为高纯氮气,柱流量为 1.2 mL/min。质谱条件:电离方式为 EI,电离电压为 70 eV。面积归一法计算各组分的相对百分含量。

2 结果与分析

2.1 有机碳对三角褐指藻生长的影响

三角褐指藻在自养和 3 种有机碳兼养下的生长曲

线如图 1。三角褐指藻利用有机碳兼养生长显著提高了生物量, 培养第 16 天, 100 mmol/L 甘油兼养生长的生物量最高(713 mg/L), 是自养(460 mg/L)的 1.6 倍, 乙酸钠(587 mg/L)和葡萄糖(555 mg/L)兼养生长的生物量分别是自养的 1.28 倍和 1.21 倍。兼养生长的比生长速率也明显提高, 倍增时间缩短(表 1), 甘油、乙酸钠和葡萄糖兼养生长的比生长速率分别比对照提高了 39.24%、17.72%和 15.19%。由此可见, 三角褐指藻的兼养生长不仅提高了生长速率, 而且提高了生物量。

2.2 有机碳对三角褐指藻胞内组分的影响

三角褐指藻在自养和兼养下的胞内组分存在差异(图 2)。兼养下的蛋白质含量较自养明显下降, 碳水化合物和总脂含量高于自养。甘油、乙酸钠和葡萄糖兼养的蛋白质含量分别比自养下降了 54.57%、19.69%和 59.83%, 3 种有机碳兼养的碳水化合物含

量分别是自养的 2.49 倍、2.37 倍和 1.57 倍, 总脂含量分别是自养的 1.20 倍、1.43 倍和 1.02 倍。

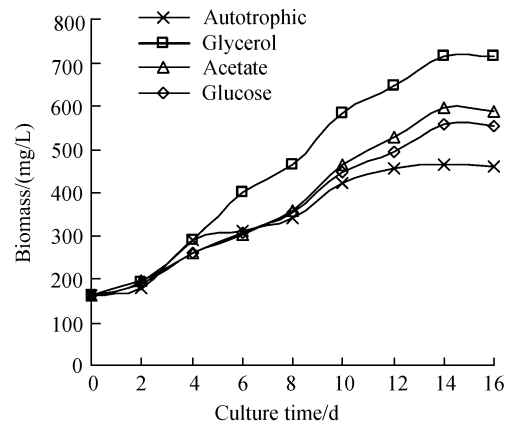


图 1 三角褐指藻在自养和兼养下的生长曲线
Fig. 1 Growth curves of autotrophic and mixotrophic cultivation of *Phaeodactylum tricornutum*
The concentration of glycerol, acetate and glucose of mixotrophic growth is 100 mmol/L

表 1 三角褐指藻在自养和兼养下的生长参数

Table 1 Growth parameters of *Phaeodactylum tricornutum* under autotrophic and mixotrophic cultivation

	Autotrophic	Glycerol	Acetate	Glucose
Specific growth rate/d ⁻¹	0.079±0.004	0.110±0.002	0.093±0.001	0.091±0.002
Doubling time/d	8.75±0.44	6.29±0.12	7.46±0.05	7.64±0.21
Maximum biomass/mg/L	460±3	713±11	587±8	555±10

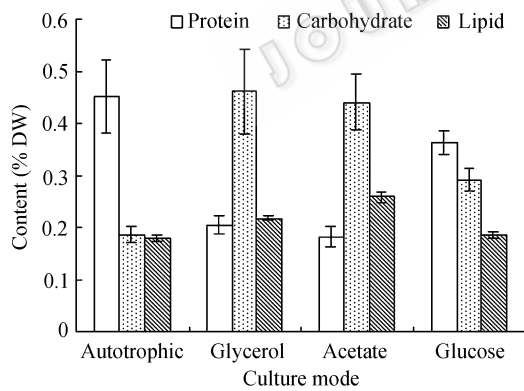


图 2 三角褐指藻在自养和兼养下的胞内组分变化
Fig. 2 Biochemical components of autotrophic and mixotrophic cultivation of *Phaeodactylum tricornutum*
The concentration of glycerol, acetate and glucose of mixotrophic growth is 100 mmol/L

2.3 有机碳对三角褐指藻脂肪酸组分的影响

自养和兼养的脂肪酸组成存在着明显差异, 不仅体现在每种脂肪酸占总脂肪酸的比例, 而且是饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸的比例。总体来看, 三角褐指藻在自养和兼养下的主要脂肪酸组成为 C16:0, C16:1 和 C20:5, 自养培养的 C16:0 和 C16:1 占总脂

表 2 三角褐指藻在自养和兼养下的脂肪酸含量

Table 2 Fatty acids composition of autotrophic and mixotrophic cultivation of *Phaeodactylum tricornutum*

Fatty acids of total fatty acids	Autotrophic	Glycerol	Acetate	Glucose
C14:0	2.89	12.79	3.38	2.83
C16:0	13.83	15.27	18.76	19.47
C16:1	31.33	43.96	37.76	46.97
C16:3	6.93	1.89	5.54	2.69
C16:4	1.16	—	0.56	0.45
C18:0	0.31	0.71	0.29	0.59
C18:1	2.15	5.83	2.29	5.35
C18:2	1.65	1.34	1.86	1.28
C18:3	0.34	0.7	0.44	0.48
C18:4	—	1.01	0.39	—
C20:4	—	—	0.51	0.63
C20:5	31.40	15.54	24.07	15.68
Others	8.01	0.96	4.15	3.58
TSFA	17.03	28.77	22.43	22.89
TMUFA	33.48	49.79	40.05	52.32
TPUFA	41.48	20.48	33.37	21.21
EPA content (%dry weight)	5.68	3.39	6.23	2.90
EPA yield/mg/L	26.14	24.15	36.59	16.10

TFA, total fatty acids; TSFA: total saturated fatty acids; TMUFA: total mono-saturated fatty acids; TPUFA: total polyunsaturated fatty acids; —: not detected.

肪酸的比例低于 3 种有机碳兼养, EPA 占总脂肪酸的比例高于 3 种有机碳兼养, 此外, 还含有少量的 C18 脂肪酸(C18:0, C18:1, C18:2, C18:3 和 C18:4)。3 种有机碳兼养的饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸比例增多, 多不饱和脂肪酸比例比自养条件降低, EPA 比例降低。乙酸钠兼养的胞内 EPA 含量(6.23%)和产量(36.59 mg/L)均高于自养, 分别是自养的 1.10 倍和 1.40 倍, 甘油和葡萄糖兼养的 EPA 含量和产量均低于自养。

3 讨论

甘油、乙酸钠和葡萄糖是微藻兼养生长比较常用的 3 种有机碳源, 三角褐指藻能够利用甘油、乙酸钠和葡萄糖进行兼养生长, 生长速率加快, 倍增时间缩短, 生物量显著提高。兼养生长包括光合自养生长和有机物光异养生长^[10], 比生长速率 μ 大约等于自养和异养条件下的总和^[11,12], 因此显著提高了微藻产量, 兼养生物量的显著提高为微藻高密度培养提供了一条有效途径。表 3 列举了不同微藻在自养和兼养下的生物量。亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*)和微绿球藻(*Nannochloropsis* sp.)利用葡萄糖生长的最大生物量分别是自养的 6 倍和 1.4 倍, 衣藻(*Chlamydomonas humicola*)利用乙酸钠生长的生物量是自养的 9.2 倍, 三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum*)利用甘油生长的生物量是自养的 1.60 倍。

三角褐指藻在自养和兼养下的胞内组分存在明显差异。兼养下的蛋白质含量与藻株有关, 蛋白核

小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)^[18]、小球藻(*Chlorella Vulgaris*)^[19]和本文的三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum*)呈现相同的趋势, 兼养下的蛋白质含量均明显下降, 而衣藻(*Chlamydomonas humicola*)^[17]兼养下的蛋白质含量明显高于自养。Ogbonna 等^[20]利用两步法培养小球藻来改进兼养下蛋白质含量低的不足, 先进行兼养或异养培养获得较高的生物量, 然后转入自养条件下, 光诱导产生大量蛋白质。大多数情况下, 兼养培养下有机碳源的吸收提高了藻细胞内总脂含量, 碳水化合物含量因藻株而异。本文三角褐指藻利用兼养的总脂含量和碳水化合物含量均提高。蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)利用葡萄糖兼养的总脂含量是自养的 1.47 倍, 碳水化合物含量降低了 16%^[18]。微绿球藻(*Nannochloropsis* sp.)利用葡萄糖兼养的总脂含量是自养的 1.21 倍^[21]。因此, 胞内产物含量与培养方式和藻株均有关。

三角褐指藻兼养培养的饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸比例提高, 多不饱和脂肪酸比例降低, EPA 占总脂肪酸的比例降低。EPA 占总脂肪酸的比例因藻株而异, 通常认为微藻生产 EPA 有两条生物合成途径, 即 18:2 ω 6 通过 Δ 6 或 Δ 15(ω 3)去饱和途径, 产生 18:3 ω 6 或 18:3 ω 3, 然后分别形成 20:4 ω 6 和 20:5 ω 3。红细胞藻(*Rhodomonas salina*), 菱形藻(*Nitzschia* sp.)和舟形藻(*Navicula saprophila*)在乙酸钠兼养培养条件下提高了 EPA 占总脂肪酸的比例^[12], 进一步的研究表明舟形藻(*Navicula saprophila*)通过 Δ 15(ω 3)去饱和途径提高了 EPA 占总脂肪酸的比例, 从自养的 11.2%上升到乙酸钠兼养培养的 18.6%^[22]。

表 3 不同微藻在自养和兼养下的生物量

Table 3 Biomass of different microalgae under autotrophic and mixotrophic cultivation

Microalgae	Biomass/(g/L)		References
	Autotrophic	Mixotrophic	
<i>Spirulina platensis</i>	1.8	2.5(Glucose)	Marquez <i>et al</i> , 1993 ¹³
<i>Chlorella</i> sp. VJ79	0.042	0.561(Glucose)	Lalucat <i>et al</i> , 1984 ¹⁴
<i>Nannochloropsis</i> sp.	0.39	0.55(Glucose)	Xu <i>et al</i> , 2004 ¹⁵
	0.39	0.51(Ethanol)	
<i>Platymonas subcordiformis</i>	0.61	3.68(Glucose)	Xie <i>et al</i> , 2001 ¹⁶
<i>Chlamydomonas humicola</i>	2.7	59.0(Acetate)	Lalibert é <i>et al</i> , 1993 ¹⁷
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0.46	0.71(Glycerol)	This paper
	0.46	0.59(Acetate)	
	0.46	0.56(Glucose)	

微绿球藻(*Nannochloropsis* sp.)乙酸钠兼养培养降低了 EPA 占总脂肪酸的比例, 从 21.9%降低到 18.0%^[23]。三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum* UTEX-640)兼养培养的 EPA 比例与有机碳有关, 乳酸盐显著提高了 EPA 比例, 淀粉降低了 EPA 比例, 甘油和甘氨酸对 EPA 比例基本没有影响^[4], 这与本文甘油兼养的 EPA 比例降低结果不同, 可能与采用不同的藻株有关。

尽管三角褐指藻兼养培养的 EPA 占总脂肪酸的比例低于自养, 乙酸钠兼养培养的 EPA 含量和产量均高于自养。利用微藻培养生产活性物质, 一般通过两条途径来提高胞内活性物质的含量, 一是提高培养系统内细胞的生物量, 二是通过改变培养条件来提高胞内组分含量。一些微藻利用兼养培养生产 EPA 成为可能。微绿球藻(*Nannochloropsis* sp.)利用葡萄糖分批培养的 EPA 产量(23.4 mg/L)高于自养(21.9 mg/L)^[15], 补料分批培养的 EPA 产量为 56 mg/L^[24]。舟形藻(*Navicula saprophila*)利用乙酸钠兼养培养的 EPA 产量高达 34.6 mg/g, 约是自养下的 3 倍^[22]。菱形藻(*Nitzschia laevis*)利用葡萄糖灌注培养的 EPA 产量高达 1112 mg/L, 这是迄今为止报道的微藻培养生产 EPA 的最高产量^[25]。因此微藻兼养培养生产 EPA 将是一种比较有发展前景的培养方法。

REFERENCES

- [1] Nuutila AM, Aura AM, Kiesvaara M, *et al.* The effect of salinity, nitrate concentration, pH and temperature on eicosapentaenoic acid (EPA) production by the red unicellular alga *Porphyridium purpureum*. *Journal of Biotechnology*, 1997, **55**: 55–63.
- [2] Xu NJ, Zhang XC, Fan X, *et al.* Effects of nitrogen source and concentration on growth rate and fatty acid composition of *Ellipsoidium* sp. (*Eustigmatophyta*). *Journal of Applied Phycology*, 2001, **13**: 463–469.
- [3] Hoshida H, Ohira T, Minematsu A, *et al.* Accumulation of eicosapentaenoic acid in *Nannochloropsis* sp. in response to elevated CO₂ concentrations. *Journal of Applied Phycology*, 2005, **17**: 29–34.
- [4] Cerón García MC, Sánchez Mirón A, Fernández Sevilla JM, *et al.* Mixotrophic growth of the microalga *Phaeodactylum tricornutum* Influence of different nitrogen and organic carbon sources on productivity and biomass composition. *Process Biochemistry*, 2005, **40**: 297–305.
- [5] Ukeles R, Rose WE. Observations on organic carbon utilisation by photosynthetic marine microalgae. *Marine Biology*, 1976, **37**: 11–28.
- [6] Zhang ZL. Guidance of Phytophysiology Experiment. Beijing: Higher Education Press, 1990, 183–184.
- [7] Michel D, Gilles KA, Hamilton JK, *et al.* Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 1956, **28**(3): 350–356.
- [8] Bligh EG, Dyer WJ. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 1959, **37**: 911–917.
- [9] Bigogno C, Khozin-Goldberg I, Cohena Z. Accumulation of arachidonic acid-rich triacylglycerols in the microalga *Parietochloris incisa* (Trebuxiophyceae, Chlorophyta). *Phytochemistry*, 2002, **60**: 135–143.
- [10] Facundo JM, Sasaki K, Kakizono T, *et al.* Growth characteristics of *Spirulina platensis* in mixotrophic and heterotrophic conditions. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 1993, **76**: 408–410.
- [11] Kobayashi M, Kakizono T, Yamaguchi K, *et al.* Growth and astaxanthin formation of *Haematococcus pluvialis* in heterotrophic and mixotrophic conditions. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 1992, **74**: 17–20.
- [12] Kitano M, Matsukawa R, Karube I. Changes in eicosapentaenoic acid content of *Navicula saprophila*, *Rhodomonas salina* and *Nitzschia* sp. under mixotrophic conditions. *Journal of Applied Phycology*, 1997, **9**: 559–563.
- [13] Marquez FJ, Sasaki K, Kakizono T, *et al.* Growth characteristics of *Spirulina platensis* in mixotrophic and heterotrophic conditions. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 1993, **76**: 408–410.
- [14] Lalucat J, Imperial J, Pares R. Utilization of light for the assimilation of organic matter in *Chlorella* sp. VJ79. *Biotechnology and Bioengineering*, 1984, **26**: 677–681.
- [15] Xu F, Cong W, Cai ZL, *et al.* Effects of organic carbon sources on cell growth and eicosapentaenoic acid content of *Nannochloropsis* sp. *Journal of Applied Phycology*, 2004, **16**: 499–503.
- [16] Xie JL, Zhang YX, Li YG, *et al.* Mixotrophic cultivation of *Platymonas subcordiformis*. *Journal of Applied Phycology*, 2001, **13**: 343–347.
- [17] Laliberté G, de la Noüe J. Auto-, hetero-, and Mixotrophic growth of *Chlamydomonas humicola* (Chlorophyceae) on acetate. *Journal of Phycology*, 1993, **29**: 612–620.
- [18] Gui L, Shi XM, Li L, *et al.* Comparison of the different cultivation systems for *Chlorella pyrenoidosa*. *Journal of Henan University of Technology* (Natural Science Edition), 2005, **26**(5): 52–55.
- [19] Wang HY, Guo SY, Zheng BS, *et al.* Growth and biochemical components of *Chlorella Vulgaris* under autotrophic, heterotrophic and mixotrophic cultivations. *Journal of South China University of Technology* (Natural Science Edition), 2004, **32**(5): 47–55.
- [20] Ogbonna JC, Masui H, Tanaka H. Sequential heterotrophic/autotrophic cultivation—An efficient method of producing *Chlorella* biomass for health food and animal feed. *Journal of Applied Phycology*, 1997, **9**: 359–366.
- [21] Xu F, Hu HH, Cong W, *et al.* Effect of Organic Carbon Sources on Growth and Photosynthesis of *Nannochloropsis* sp.. *The Chinese Journal of Process Engineering*, 2003, **3**(6): 560–563.
- [22] 张志明. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 1990, 183–184.
- [23] 桂林, 史贤明, 李琳. 蛋白核小球藻不同培养方式的比较. 河南工业大学学报: 2005, **26**(5): 52–55.

- 徐芳, 胡晗华, 丛威, 等. 有机碳源对产 EPA 微藻 (*Nannochloropsis* sp.) 生长及光合作用的影响. *过程工程学报*, 2003, 3(6): 560-563.
- [22] Kitano M, Matsukawa R, Karube I. Enhanced eicosapentaenoic acid production by *Navicula saprophila*. *Journal of Applied Phycology*, 1998, 10: 101-105.
- [23] Hu HH, Gao K. Optimization of growth and fatty acid composition of a unicellular marine picoplankton, *Nannochloropsis* sp., with enriched carbon sources. *Biotechnology Letters*, 2003, 25: 421-425.
- [24] Xu F, Hu HH, Cong W, et al. Growth characteristics and eicosapentaenoic acid production by *Nannochloropsis* sp. in mixotrophic conditions. *Biotechnology Letters*, 2004, 26: 51-53.
- [25] Wen ZY, Chen F. Perfusion culture of the diatom *Nitzschia laevis* for ultra-high yield of eicosapentaenoic acid. *Process Biochemistry*, 2002, 38: 523-529.

2008 年中国微生物学会及各专业委员会学术活动计划表

序号	会议名称	筹办单位	时间	人数	地点	联系人
1	“病毒性肝炎：成就与挑战”国际研讨会	中国微生物学会病毒学专业委员会	4月	200人	福建厦门	杜海莲 0592-2183111
2	医学真菌学学术研讨会	中国微生物学会真菌学专业委员会	6月	200人	湖北武汉	郑岳臣 02761151310
3	疫苗质量控制与安全性评价会议	中国微生物学会生物制品专业委员会	6月	200人	北京	白东亭 01067095727
4	中日病毒学会议	中国微生物学会病毒学专业委员会	6月	100人	日本东京	李昌 lichang78@163.com
5	第二届全国农业微生物研究及其产业化研讨会暨第十一届全国杀虫微生物学术讨论会	中国微生物学会农业微生物学专业委员会	6月	150人	内蒙古	孙明 027-87283455
6	第三届微生物资源与环境修复学术会议	中国微生物学会农业微生物学专业委员会	7-8月	150人	山东烟台	朱昌雄 010-68919561
7	全国第二届海洋微生物研讨会	中国微生物学会海洋微生物学专业委员会	8月	150人	山东济南	张玉忠 13969185852
8	中国病原生物学(医学微生物学和寄生虫学)教育教学研讨会	中国微生物学会	8月	100人	上海	董珂 021-63846590-776712
9	全国第六届感染与免疫和生物制品学术研讨会	中国微生物学会医学微生物学与免疫学专业委员会	8月	100人	吉林延吉	孟繁平
10	第二届全国微生物基因组学学术研讨会	中国微生物学会基础、农业微生物学专业委员会	8月	100人	上海	李林 027-87286952
11	全国第16次干扰素与细胞因子学术研讨会	中国微生物学会干扰素专业委员会	10月	100人	内蒙古	范中善 13671683629
12	第十届中-日-韩国际酶工程会议	中国微生物学会酶工程专业委员会	10月	150-200人	韩国济州岛	欧阳浩森 010-64807420
13	第十一次全国环境微生物学学术研讨会	中国微生物学会环境微生物学专业委员会	10月	150-200人	江苏无锡	蒋建东 025-84396348
14	感染与健康研讨会	中国微生物学会微生物毒素专业委员会	10月	200人	广东广州	姚永明 010-66867394
15	第七届全国青年微生物学者学术研讨会暨全国青年微生物遗传学学术研讨会	中国微生物学会基础微生物学专业委员会	10月	100人	山东济南	李越中 0531-88564288
16	2008年中国微生物学会学术年会	中国微生物学会	11月	400人	海南海口	王旭 010-64807200
17	链霉菌分子生物学学术研讨会	中国微生物学会分子微生物学与生物工程专业委员会	11月	80-100人	海南海口	朱春宝 021-62470561