

## 光质对湛江等鞭金藻生长和脂肪酸组成的影响

柴雨, 吴垠\*, 赵慧慧, 于丹

大连水产学院农业部海洋水产增养殖学与生物技术重点开放实验室, 辽宁大连 116023

**摘要:** 在气升式光生物反应器中研究不同光质光影响湛江等鞭金藻的生长。结果表明, 藻细胞密度的大小顺序为: 红光>白光+红光、白光>白光+蓝光+红光>白光+蓝光>蓝光。蓝光下多不饱和脂肪酸百分含量最高, 占总脂肪酸的50.01%。白光下总单不饱和脂肪酸和总饱和脂肪酸含量最高, 占总脂肪酸的24.19%和27.46%。多不饱和脂肪酸中C<sub>18:4n-3</sub>含量最高, 占总脂肪酸的20.3%~23.3%, 最高值出现在蓝光下; 其次为C<sub>22:6n-3</sub> (DHA), 占总脂肪酸的10.2%~12.3%, 在蓝光和白光+蓝光中较高; 而C<sub>18:2n-6</sub>和C<sub>18:3n-3</sub>均以红光下的为最高, 分别达3.11%和8.04%。

**关键词:** 湛江等鞭金藻; 光生物反应器; 光质; 生长; 脂肪酸

## Effects of Light Qualities on Growth and Fatty Acid Composition of *Isochrysis zhanjiangensis* Hu & Liu

CHAI Yu, WU Yin\*, ZHAO Hui-Hui, YU Dan

Key Laboratory of Mariculture and Biotechnology of Agriculture Ministry, Dalian Fisheries University, Dalian, Liaoning 116023, China

**Abstract:** The effects of different light qualities on the growth of *Isochrysis zhanjiangensis* in the air-lift photobioreactor systems were studied. The results indicated that, the cell density of *I. zhanjiangensis* showed that: red light> white+red light, white light>white+red+blue light>white+blue light>blue light. The content of total poly-unsaturated fatty acids reached the maximal value under blue light, accounted for 50.01% of total fatty acids. The content of total mono-unsaturated fatty acids and total saturated fatty acids reached the maximal value under white light, accounted for 24.19% and 27.46% of total fatty acids. Under blue light the C<sub>18:4n-3</sub> content was the highest in poly-unsaturated fatty acids, accounted for 20.3% to 23.3% of total fatty acids; and C<sub>22:6n-3</sub> (DHA) content followed, accounted for 10.2% to 12.3% of total fatty acids under blue and white+blue light; under red light C<sub>18:2n-6</sub> and C<sub>18:3n-3</sub> contents reached 3.11% and 8.04% respectively.

**Key words:** *Isochrysis zhanjiangensis*; photobioreactor; light quality; growth; fatty acids

湛江等鞭金藻是一种分布广泛的海洋浮游单细胞藻类, 隶属于金藻门金藻纲等鞭藻目等鞭金藻属。湛江等鞭金藻个体小, 繁殖快, 具无纤维素的细胞壁, 营养丰富, 尤其在藻体中富含多不饱和脂肪酸(poly-unsaturated fatty acid, PUFA), 是海洋中鱼、虾和贝类的等幼体生长发育过程中必需的营养成分(Reitan等1994; Navarro和Amat1992)。此外, 近年来的研究证明, n-3PUFA还具有防治人类心血管疾病(Bucher等2002; Hu等2002), 促进婴幼儿大脑发育和改善视力(Carlson等1993)的功效。所以它作为一种优质的PUFA海洋生物资源, 有很好的应用前景。

从营光合自养的海洋微藻来说, 光通过影响的光合作用而制约微藻生长和营养组成。对此, 一般

多集中于光照强度对微藻生长和营养组成的影响的研究(韩宏裕和苏宜香2001; Okuda等1994), 至于光质对其生理效应的研究尚未见报道。本文采用气升式光生物反应器培养湛江等鞭金藻, 研究不同光质对湛江等鞭金藻生长和脂肪酸组成的影响, 并探讨促进湛江等鞭金藻生长和提高其不饱和脂肪酸含量的最佳光质条件。

### 材料与amp;方法

实验用的湛江等鞭金藻(*Isochrysis zhanjiangensis*)

收稿 2008-12-22 修订 2009-05-04

资助 国家科技支撑项目(2006BAD09A12)。

\* 通讯作者(E-mail: wuyin@dlfu.edu.cn; Tel: 0411-83047135)。

Hu & Liu)取自本院的微藻实验室,藻种先接入5 000 mL的三角烧瓶中,于光照培养箱(MODEL SPX-250-G)中培养。将处于指数生长期的微藻接种于光生物反应器中,后分组调整不同光质,气升式循环,每天定时向藻液中充入纯CO<sub>2</sub>至饱和。

实验用的光生物反应器由有机玻璃制成的19根内径4 cm的管组成,容积为26 L,中央管接充气泵以促进藻液流动。实验过程中的光周期为18 h:6 h,温度为25~28 °C。共设6组试验:分别为白光、单色红光、单色蓝光、白光+红光(1:1)、白光+蓝光(1:1)、白光+红光+蓝光(1:1:1)。每组重复3次。选定的红光波长为660 nm,蓝光波长为440 nm。各实验组的反应器中光照强度均为(60±2) μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。

用分光光度计算测定波长为665 nm处金藻液吸光值(OD值)。生长率的计算公式:  $GR = (\ln N_T - \ln N_0) / T$ 。其中GR为生长率;N<sub>T</sub>为培养T天OD值;N<sub>0</sub>为初始OD值;T为培养天数。

按照改进的Folch法萃取样品的脂质。将所得到的萃取物用KOH-甲醇于70 °C下皂化1 h后,用BF<sub>3</sub>催化法制取脂肪酸甲酯。最后转移浓缩到石油醚中供色谱分析用。色谱仪采用日本岛公司

GC-9A型气相色谱仪上测定,配有C-R3A色谱数据微处理机。用30 cm×0.25 mm的FFAP抗氧化交联石英毛细管色谱柱(中国科学院大连化学物理研究所)。FID为检测器,N<sub>2</sub>为载气,线速17 m·min<sup>-1</sup>。柱温由160 °C以2 °C·min<sup>-1</sup>的速度上升至230 °C,并保持至出峰完毕,进样口温度260 °C。采用部分脂肪酸甲酯标准样品(上海试剂一厂和Sigma公司)与ECL值相结合的方法定性,采用面积归一化法定量。

## 结果与讨论

### 1 不同光质培养的湛江等鞭金藻生长率

从图1可见,在初始密度(OD值)相同的情况下,不同光质培养的湛江等鞭金藻的密度随着培养时间的延长而有不同程度的增加,培养8 d后蓝光的OD值最低,为初始值的17倍;而红光下的OD值最高,为初始值的25倍。与此相应的是,在培养前期(前4 d)不同光质光下的各组生长速度较快,生长率也较高,以红光下的为最高,其由大小顺序为红光>白光、白光+红光>白光+蓝光+红光、白光+蓝光>蓝光;而培养8 d时的生长率依序为红光>白光+红光、白光>白光+蓝光+红光>白光+

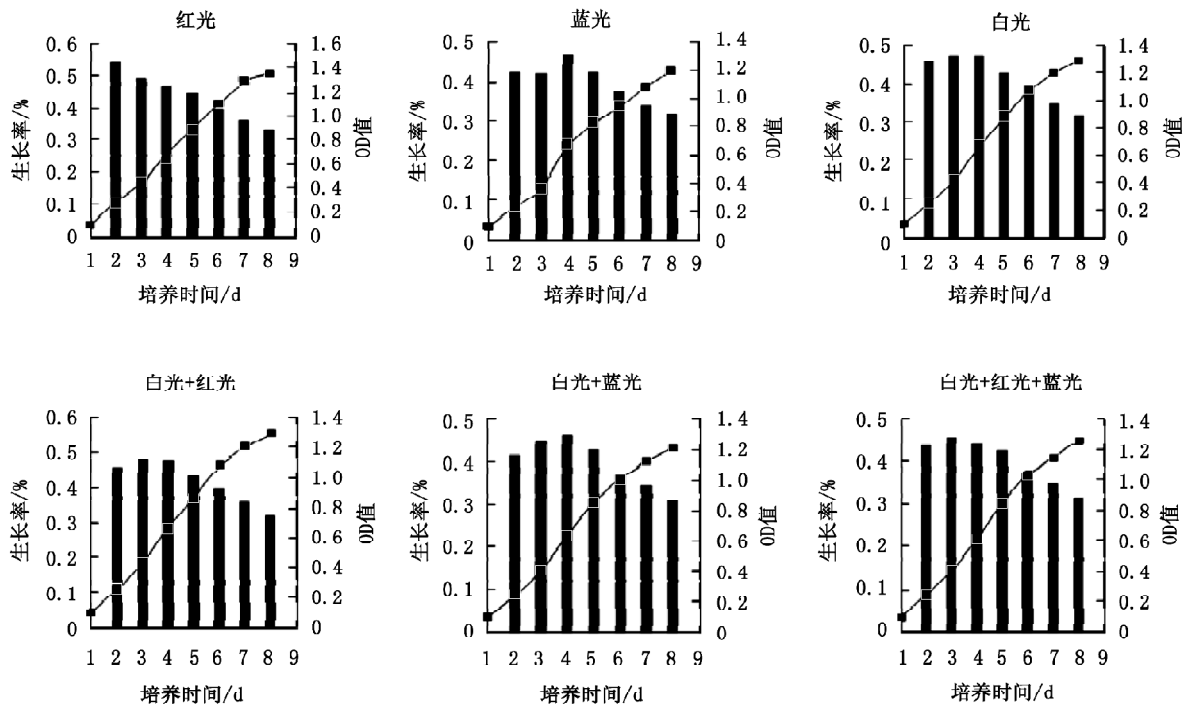


图1 不同光质光培养下的湛江等鞭金藻生长率和OD值

Fig.1 Effect of different light qualities on OD values and growth rates of *I. zhanjiangensis*

蓝光>蓝光, 不同光质下的差异显著( $P<0.05$ )。

表1 不同光质光培养下湛江等鞭金藻的生长率

Table 1 Growth rate of *I. zhanjiangensis* under different light qualities

光质	生长率 /%	
	前期生长率(前4 d)	平均生长率(8 d)
白光	0.505±0.011 <sup>b</sup>	0.442±0.007 <sup>b</sup>
红光	0.527±0.014 <sup>a</sup>	0.460±0.004 <sup>a</sup>
蓝光	0.441±0.004 <sup>d</sup>	0.406±0.008 <sup>e</sup>
白光+红光	0.505±0.009 <sup>b</sup>	0.447±0.006 <sup>b</sup>
白光+蓝光	0.462±0.011 <sup>c</sup>	0.428±0.010 <sup>d</sup>
白光+蓝光+红光	0.475±0.008 <sup>c</sup>	0.437±0.002 <sup>c</sup>

同一行上标字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

## 2 不同光质光培养下湛江等鞭金藻的脂肪酸组成

表2显示, 不同光质培养下湛江等鞭金藻的不饱和脂肪酸种类和含量变化不同。即  $C_{18:4n-3}$  含量最高, 占脂肪酸总量的 20.3%~23.3%, 且最高值出

现在蓝光下; 其次为  $C_{22:6n-3}$  (DHA), 占脂肪酸总量的 10.2%~12.3%, 在蓝光和白光+蓝光下较高; 而  $C_{18:2n-6}$  和  $C_{18:3n-3}$  均以红光下为最高, 分别达 3.11% 和 8.04%。从不同脂肪酸总量来看, 总饱和脂肪酸(total saturated fatty acid, TSFA) 含量和单不饱和脂肪酸(total mono-unsaturated fatty acid, TMUFA) 含量均以白光组为最高, 分别高于最低蓝光 TSFA 的 26.48% 和红光 TMUFA 的 13.46%。在蓝光培养下的总不饱和脂肪酸(total polyunsaturated fatty acid, TPUFA) 最高, 占总脂肪酸含量的 50.01%, 其次为红光, 最低为白光培养的等鞭金藻。而且在各光质中, 白光的 n-3 PUFA 也最低, 分别低于蓝光和红光 13.58% 和 10.18%。

总之, 不同光质影响湛江等鞭金藻的生长和脂肪酸的积累。红光促进藻细胞生长, 蓝光则促进不饱和脂肪酸的积累。据此认为, 在人工培育微藻的过程中用调节光质的方法促进微藻的生长和脂肪酸的合成。似乎是值得考虑的。

表2 不同光质培养下湛江等鞭金藻的脂肪酸含量

Table 2 Contents of fatty acids of *I. zhanjiangensis* under different light qualities

光质	脂肪酸含量 /%									
	$C_{14:0}$	$C_{14:1}$	$C_{15:0}$	$C_{16:0}$	$C_{16:1}$	$C_{16:2}$	$C_{16:3}$	$C_{17:1}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$
红光	15.96	2.17	0.55	8.70	5.96	0.93	0.61	—	—	10.98
白光	17.20	1.92	0.48	9.38	5.63	0.90	0.78	0.40	0.40	13.73
蓝光	13.75	2.19	0.42	7.55	5.83	0.89	0.46	—	—	9.64
白光+红光	17.95	2.03	0.46	8.20	5.57	—	—	—	—	11.29
白光+蓝光	17.48	1.99	0.38	7.85	5.62	—	—	—	—	10.34
白光+红光+蓝光	14.81	1.90	0.46	8.71	5.52	0.90	0.57	—	—	12.13

光质	脂肪酸含量 /%										
	$C_{18:2n-6}$ (亚油酸)	$C_{18:3n-3}$ (亚麻酸)	$C_{18:4n-3}$	$C_{20:1}$	$C_{20:3n-3}$	$C_{22:5n-6}$	$C_{22:6n-3}$ (DHA)	TSFA	TMUFA	TPUFA	n-3 PUFA
红光	3.11	8.04	22.23	2.31	0.53	2.24	11.06	25.21	21.42	48.75	41.86
白光	2.66	7.00	20.31	2.52	0.49	2.08	10.20	27.46	24.19	44.40	37.99
蓝光	2.62	7.80	23.33	4.55	0.61	2.28	12.02	21.71	22.22	50.01	43.15
白光+红光	2.97	7.07	21.17	3.31	0.58	2.22	11.67	26.61	22.20	45.67	39.91
白光+蓝光	3.01	7.36	21.41	3.74	0.57	2.29	12.31	25.71	21.69	46.96	41.65
白光+红光+蓝光	3.05	7.76	21.55	2.89	—	2.29	11.62	23.98	22.44	47.75	40.95

TSFA: 总饱和脂肪酸; TMUFA: 总单不饱和脂肪酸; TPUFA: 总多不饱和脂肪酸。

## 参考文献

- 韩宏裕, 苏宜香(2001).  $C_{20:4}$  和  $C_{22:6}$  对早产儿视功能和认知功能的影响. 中山医科大学学报, 22 (1): 64~67, 78
- Bucher HC, Hengstler P, Schindler C, Meier G (2002). Omega-3 polyunsaturated fatty acids in coronary heart disease: a meta-

- analysis of randomized controlled trials. *AM J Med*, 112 (4): 298~304
- Carlson SE, Werkman SH, Rhodes PG, Tolley EA (1993). Visual-acuity development in healthy preterm infants: effect of marine oil supplementation. *Am J Clin Nutr*, 58: 35~42
- Hu FB, Bronner L, Willett WC, Stampfer MJ, Rexrode KM, Albert CM, Hunter D, Manson JE (2002). Fish and omega-3 fatty acid intake and risk of coronary heart disease in worn-en. *JAMA*, 287: 1815~1821
- Navarro JC, Amat F (1992). Effect of algal diets on the fatty acid composition of brine shrimp, *Artemia* sp., cysts. *Aquaculture*, 110: 223~227
- Okuda S, Saito H, Katsuki K (1994). Arachidonic acid:toxic and trophic effects of cultured hippocampal neurons. *Neuroscience*, 63: 691~699
- Reitan KI, Rainuzzo JR, Olsen Y (1994). Effect of nutrient limitation on fatty acid and lipid content of marine microalgae. *J Phycol*, 30: 972 ~979