

硼中子俘获技术对普通小球藻生长的影响

郝昕¹ 谭志新¹ 童永彭¹ 张永夏² 罗奇¹ 李西妮² 陈琳琳² 张瑶²

¹ (深圳大学物理科学与技术学院 深圳 518060)

² (深圳大学生命科学学院 深圳 518060)

摘要 利用硼中子俘获技术对普通小球藻进行辐照, 研究辐照中子通量和时间对小球藻生长效应的影响。结果发现, 经过适当的中子通量($7.5 \times 10^8 - 7.5 \times 10^9 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)和时间(30–60 s)的辐照, 小球藻在多代以后的生长速率、叶绿素荧光动力学参数 F_v/F_m 、产量、叶绿素含量和脂肪酸含量均显著提高, 但是蛋白质含量显著降低。由此表明硼中子俘获技术对小球藻可遗传物质产生了影响, 对于选育高产藻株具有促进作用。

关键词 硼中子俘获, 普通小球藻, 辐照效应

中图分类号 Q691, TL99

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2014.rj.32.060401

随着人们不断地开采利用, 化石能源逐渐面临枯竭, 各国研究者开始在世界范围内寻找可替代能源, 能源植物以其安全、环保、可再生和低成本等特点吸引了人类的注意^[1]。小球藻在自然界分布广泛, 具有广阔的开发利用前景, 是一种有重要意义的藻类, 它既能利用光能自养, 也可在异养条件下利用有机碳源进行生长繁殖^[2-5]。小球藻因其比表面积大且光合效率高, 生物量大, 含有多糖、蛋白质、细胞色素、不饱和脂肪酸和生长因子等多种丰富的营养物质, 且具有生长速度快, 易于培养等特点, 受到各国研究者的青睐^[6-7]。小球藻作为能源植物的价值很高, 但因品系、培养方式不同而有所差异。

中子辐照能够改变生物的生理性状^[8-10]。当中子与生物体内的原子核撞击后, 使原子核激发并放出 β 和 γ -射线, 这些次级射线的辐射作用产生生物学效应, 可能会使生物体出现有利的性状改变。硼化物材料的中子吸收截面高, 吸收中子的能量范围宽, 且资源丰富、价格低, 是核反应堆常用的中子吸收材料^[11]; 硼中子俘获治疗也是目前治疗恶性肿瘤对人体伤害较小的方法^[12], 而且硼中子俘获能有效的提高中子对生物的辐射效应。由于本文选用淡水藻种库提供的普通小球藻中生长速度快(每代6–7 h)、蛋白质含量高的株系作为出发株, 通过硼中子俘获

技术就可能快速筛选出生长速度快的小球藻株, 成为优势株, 多代以后就成为稳定的新品种, 而其他株逐步被淘汰, 本文通过实验获得生长速度较快、产油量高、且其他生理性状得到相对改善的藻株。

1 材料与方法

1.1 试剂

小球藻由中国科学院武汉水生生物研究所淡水藻种库提供, 用基础培养基制成的琼脂斜面保存。选用的培养基为 BG-11 培养基^[13], 其成分为: 柠檬酸 0.3 g、柠檬酸铁胺 0.3 g、EDTANa₂ 0.05 g、NaNO₃ 30 g、K₂HPO₄ 0.78 g、MgSO₄·7H₂O 1.5 g、CaCl₂·2H₂O 1.9 g、Na₂CO₃ 2 g、H₃BO₃ 2.86 g、MnCl₂·4H₂O 1.81 g、ZnSO₄·7H₂O 0.222 g、Na₂MnO₄·2H₂O 0.391 g、CuSO₄·5H₂O 0.079 g、Co(NO₃)₂·6H₂O 0.049 g。各种试剂均为分析纯。

1.2 方法

1.2.1 硼中子俘获处理

选取藻种中生长速度快、蛋白质含量高的株系作为出发株, 取 200 mL 藻液, 4000 r·min⁻¹ 离心 20 min, 弃上清后取藻, 置于 20 mL 浓度为 0.1%

基金资助: 国家自然科学基金面上项目(11375117)、广东省自然科学基金(S2012040007496)和深圳市城管局科研项目(201210)资助

第一作者: 郝昕, 女, 1980 年 5 月出生, 2009 年在中国原子能科学研究院获博士学位, 现任深圳大学讲师, 粒子物理与原子核物理学专业, E-mail: haox@szu.edu.cn

通讯作者: 童永彭, 博士, 研究员, E-mail: yongpeng@szu.edu.cn

收稿日期: 收稿 2014-07-04; 修回 2014-09-10

四硼酸钠溶液中稀释、摇匀,然后取 1.5 mL 于离心管中封装并辐照。实验应用微型中子源核反应堆(深圳大学核技术应用研究所)进行辐照,平均中子能量 2 MeV,为提高中子辐照效率,利用硼化物材料中子吸收截面高、吸收中子的能量范围宽的特点,加入硼酸盐以俘获更多中子。实验选用 5 种辐射中子通量,分别为 7.5×10^8 、 1.5×10^9 、 7.5×10^9 、 1.5×10^{10} 和 $7.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,每种中子通量对应 5 种辐照时间,依次为 30、60、120、300 和 600 s,共产生 25 种辐照后样本,各样本均为 3 次平行试验组。

1.2.2 辐照后样品培养及筛选

辐照后把所有小球藻种植于黑暗处 5 h 以防光修复^[14]。在无菌条件下把辐照后的小球藻涂抹到固体培养基上置于光照培养箱中培养,12 h 光/暗循环,温度 25 °C。以未辐照小球藻作平行对照。

培养 7 d 后,通过观察筛选几个样品生长状况较好的样品,光谱分析发现其生长速率显著高于其他样品。将筛选的这几个样品与对照组样品从培养基上完全转移到 200 mL 锥形瓶中(100 mL 培养液)继续培养,用以测定下列各项指标。每个样品设置 3 个平行试验组。

1.2.3 小球藻生长曲线的测定

培养期间,每天检测其细胞密度,制作生长曲线。细胞密度的测定:在一定范围内,藻细胞密度 C_x 与波长 540 nm 下的光密度值 (OD_{540}) 呈线性关系^[15-16],利用标准曲线计算细胞密度: $C_x = 0.5205 OD_{540}$ ($R^2 = 0.9987$)。光密度值测定采用 754NPC 紫外可见分光光度计(上海奥谱勒仪器有限公司)测定。

1.2.4 小球藻叶绿素荧光动力学参数 F_v/F_m 、量子产量的测定

培养 10 d 后,测定以下各参数。在暗处分别取小球藻培养液 1 mL, $10000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 20 min,取上清液并加蒸馏水稀释 100 倍后用 FMS-2 荧光仪(Hansatech 公司 英国)测定叶绿素荧光动力学参数 F_v/F_m 和量子产量,每组 3 次重复,取平均值,测定温度 25 °C。

1.2.5 小球藻叶绿素含量的测定

取 0.5 g 新鲜小球藻至研钵中,加少量石英砂和碳酸钙粉及 2-3 mL 95%乙醇,研成均浆,过滤并定容至 25 mL,摇匀,得叶绿素提取液。取提取液,在分光光度计上测定 665 nm 和 649 nm 波长的吸光值。每组 3 次重复。

将测得吸光值代入下式: $C_{ha} = 13.95 A_{665} - 6.88 A_{649}$; $C_{hb} = 24.96 A_{649} - 7.32 A_{665}$, 计算得到叶绿素 a 和叶绿素 b 的浓度(C_{ha} 、 C_{hb} : $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$),二者之和为总叶绿素的浓度,代入下式可进一步求得小球藻的叶绿素含量:

叶绿素的含量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) = (叶绿素的浓度 $\times$ 提取液体积 $\times$ 稀释倍数) / 样品鲜重 (或干重)。

1.2.6 小球藻蛋白质含量的测定

取 40 mL 藻液, $4000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 20 min,弃上清,收集藻细胞,加入 10 mL 磷酸缓冲液 ($\text{pH} = 7.0$),再用超声波破碎 10 min,然后,于 $4000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 20 min,吸取上清液并转移至试管,收集藻体用于叶绿素含量的测定。

另取一支具塞试管,加入 0.2 mL 小球藻提取液,并加入 2 mL 蒸馏水和 10 mL 考马斯亮蓝 G-250,盖上塞子,摇匀,静置 5 min 后,利用紫外分光光度计测定其在波长为 595 nm 处的吸光度 (OD_{595}),每组 3 次重复 3 次,取平均值。根据所测样品提取液的吸光度,在标准曲线上查得相应的蛋白质含量 (μg),按下式计算:

样品中蛋白质含量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) = (查得的蛋白质含量 (μg) $\times$ 提取液总体积 (mL)) / (样品重 (g) $\times$ 测定时所用提取液体积 (mL))。

1.2.7 小球藻脂肪酸含量的测定

取 50 mL 藻液,离心后去上清,得到的小球藻细胞于 80 °C 烘干 12 h 保存。每个样品取 100 mg 干燥的小球藻用具塞水解管进行水解,加入 2 mL 的 $\text{CHCl}_3\text{-CH}_3\text{OH}$ 混合液(体积比为 2:1),利用氮吹仪充氮气 1 min 后迅速密封封口,再将水解管放在超声波清洗器中超声萃取 30 min,收集上层清液,以上操作重复 3 次(重复时超声作用时间可缩短为 10 min),并将 4 次的萃取液合并,继续用氮气浓缩吹干后再加入 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $\text{HCl-CH}_3\text{OH}$ 溶液,再接着充氮气,迅速密封封口(为确保气密性良好,使之与空气中氧气隔绝,用聚四氟乙烯材料封闭瓶口后,再拧紧螺帽)。将水解管放入 100 °C 水浴锅中加热 40 min,使其充分反应,待其冷却后用 2 mL 正己烷分两次提取,合并提取液于具塞离心管中,用氮气吹干后,再加入 2 mL 正己烷溶解后,供色谱分析用。

先配制不同浓度的脂肪酸标准样品,在一定操作条件下进样,测定不同浓度脂肪酸标准样品的峰面积,绘出浓度对峰面积的标准曲线。进行样品分

析时，在与标准脂肪酸样品严格相同的条件下定量进样，试样经毛细管气相色谱分离，检测结果由 SATURN2200（瓦里安公司，美国）色谱工作站得到各脂肪酸组分的峰面积，由所得峰面积可以在标准曲线上查出被测脂肪酸的含量。每组 3 次重复。

2 结果与讨论

2.1 中子辐照对小球藻生长的影响

培养七天后，观察发现 1-2、2-2、3-1、3-2 四个样品生长状况较好，藻株数量明显多于其他样品，

藻株深绿色，光谱分析发现其生长速率显著高于其他样品（表 1）。

未经辐照的小球藻作为对照组，在培养的前 3 d 生长较快，此后开始变慢，而辐照后的小球藻在培养到第 4 天后迅速生长，第 9 天达到最大值（图 1）。从图 1 中可看出，辐照后的生长量比出发株有了较大的提高，样本 3-1 增幅最大，提高了 28.0%；样本 1-2、2-2、3-2 分别提高了 13.3%、15.9%、13.6%。这 4 个样本与对应的对照组在培养第 6 天以后的光密度值 t 检验中具有显著差异($p<0.05$)。

表 1 辐照中子通量和辐照时间处理样本编号
Table 1 Neutron irradiation flux and time

辐照时间 / s Radiation time	中子通量 Neutron flux / $\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$				
	7.5×10^8	1.5×10^9	7.5×10^9	1.5×10^{10}	7.5×10^{10}
30	1-1	2-1	3-1*	4-1	5-1
60	1-2*	2-2*	3-2*	4-2	5-2
120	1-3	2-3	3-3	4-3	5-3
300	1-4	2-4	3-4	4-4	5-4
600	1-5	2-5	3-5	4-5	5-5

注：*，辐照后生长情况好的样本。

Note: *, Those grow better than others after irradiation.

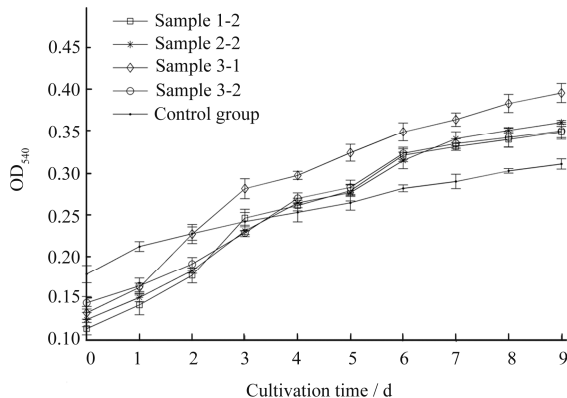


图 1 中子辐照对小球藻光密度值 OD_{540} 的影响

Fig.1 Effects of neutron radiation on OD_{540} value of *Chlorella vulgaris*

2.2 中子辐照对小球藻叶绿素荧光动力学参数的影响

从图 2 A 可以看出，出发株的叶绿素荧光诱导动力学参数 F_v/F_m 较低，说明其潜在最大光合作用能力并不高，经过中子辐照后，除了 2-2 有所降低外，其余三株均有了不同程度的提高，其中 1-2 增

幅最大，提高了 10.8%，与对应的对照组 t 检验中具有显著差异($p<0.05$)。说明中子辐照对提高小球藻的潜在光合作用能力有一定的促进作用。

从图 2 B 可以看出，经中子辐照后，样本 3-1 激发出的叶绿素荧光量子产量较出发株有所降低，样本 3-2 与出发株相比，没有改变。其余两株藻均有不同程度的提高，其中样本 2-2 增加最高，达到 0.35，提高了 9.4%；其次为样本 1-2，提高了 6.3%。说明了在 7.5×10^8 和 $1.5\times 10^9 \text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 这两个中子通量范围的辐照适用于藻株，以获取实际光合效率高的藻株。

2.3 中子辐照对小球藻叶绿素含量的影响

从图 2 C 中可以看出，出发株的叶绿素含量为 $1.1 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ，经过中子辐照后，除了样本 2-2 的叶绿素含量降低了 18%，其余 3 株藻的叶绿素含量都有所提高。其中样本 1-2 的含量最高，达到 $1.5 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ，增加了 36.4%。样本 1-2、2-2 和 3-1 与对应的对照组在 t 检验中具有显著差异($p<0.05$)。

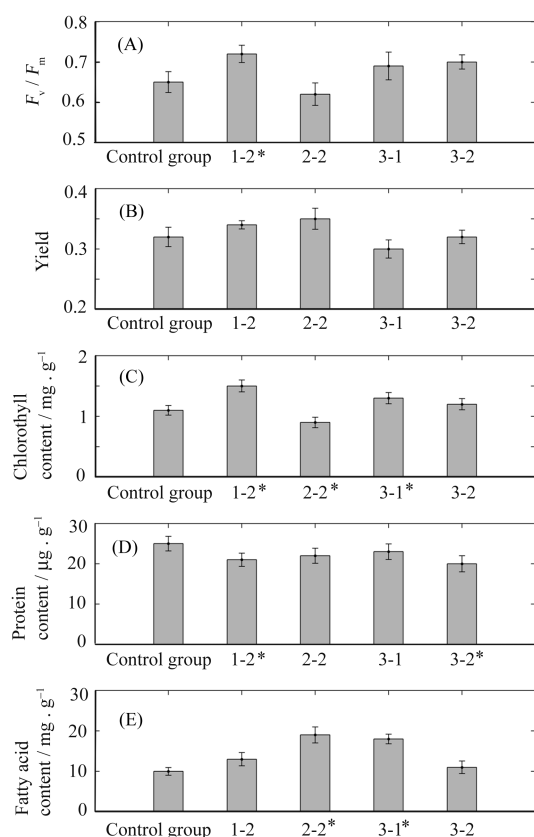


图2 中子辐照对小球藻叶绿素荧光动力学参数 F_v/F_m 、量子产量、叶绿素含量、蛋白质含量和脂肪酸含量的影响 (*表示样本参数与对照组有显著差异)

Fig.2 Effects of neutron radiation on chlorophyll fluorescence parameters F_v/F_m , yield, chlorophyll content, protein content and fatty acid content in *Chlorella vulgaris* (Those with asterisks have significant difference with control group)

2.4 中子辐照对小球藻蛋白质含量的影响

从图2 D上可以看出,对照组的蛋白质含量为 $25 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,而经中子辐照后的蛋白质含量较出发株都有所降低,其中降幅最大的是样本 3-2,仅为 $20 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,降低了 20%,其次是样本 1-2,为 $21 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,降低了 16%,都与对应的对照组在 t 检验中具有显著差异($p < 0.05$)。

2.5 中子辐照对小球藻脂肪酸含量的影响

从图2 E可以看出,对照组的脂肪酸含量为 $10 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,经中子辐照后,脂肪酸含量都有所提高。样本 2-2 增加最多达到 $19 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,增加了 90%,样本 3-1 为 $18 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,增加了 80%,都与对应的对照组在 t 检验中具有显著差异($p < 0.05$)。

2.6 讨论

小球藻是一种具有多方面经济价值的天然藻类,

有着巨大的开发和应用潜力,研究者一直致力于筛选具较好相对性状的小球藻。硼中子俘获是一种有效方法,辐照后通过人工选择,可以培养出我们所需要的优良性状。本研究结果表明,中子辐照是一种有效的方法,筛选出了生长状况好的藻株为样本 1-2、2-2、3-1 和 3-2,其生长速率比对照藻株都有显著提高,其中 3-1 的生长速率提高最大,达到了 28.0%。我们推测中子辐照可能提高了细胞的增殖能力,或激活了与叶绿体合成有关酶的活性,从而增加叶绿体的含量,提高了藻株的光合作用能力,进而提高生长速率和生物量。而生长速率得到提高的样本,其辐照中子通量和辐照时间都限定在一定的范围。过大的中子通量(大于 $7.5 \times 10^9 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)和过长的辐照时间(大于 60 s)都会对细胞造成永久伤害,降低生长速率,而过小的中子通量和过短的辐照时间又起不到产生优良性状的作用。有的研究组则采用近紫外光照射提高细胞增殖能力从而提高生长速率^[17]。

叶绿素的相关参数检测结果证实,我们对小球藻生长速率提高原因的推测,并不是全部辐照后小球藻的叶绿素含量都是增加的,也就是说小球藻生长速率的提高并不是全部来自叶绿素的增加引起的光合作用的提高,同样也不是全部来自藻细胞增殖能力的提高,而是两者皆有之。

而对蛋白质和脂肪酸的检测结果显示辐照后藻株(1-2、2-2、3-1、3-2)的蛋白质含量有了不同程度的降低,同时脂肪含量有不同程度的增加。4个样本的蛋白质含量分别下降了 16%、12%、5%和 20%,而脂肪酸的增加幅度则分别为 30%、90%、80%和 10%。通过数值计算对比,我们发现蛋白质降低的量并不是全部增加在油脂上,有一些是增加在了其他物质上。所以看起来油脂的增加幅度很大,但是绝对量增加的并不是很多。我们采用中子辐照的方法对小球藻脂肪酸含量的提高还很有限,实验中样本 2-2 提高最多达到了 90%,这与异氧条件下培养小球藻脂肪酸含量提高的幅度还有些差距^[18],但进一步中子辐照多次诱变将有望获得更好的小球藻。

3 结论

我们利用硼中子俘获技术对普通小球藻进行辐照,确定使小球藻生长速率得到提高的辐照中子通量($7.5 \times 10^8 - 7.5 \times 10^9 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)和辐照时间(30–60 s)

的范围。在适当的中子辐照后小球藻多代以后的生长速率、叶绿素荧光动力学参数 F_v/F_m 、量子产量、叶绿素含量、脂肪酸含量有了不同程度的提高,但是蛋白质含量降低。综合分析发现,在适当剂量的中子辐照下硼中子俘获技术能使小球藻的可遗传物质发生变化,这对于选取高产藻株具有重要的意义。

参考文献

- 1 王莉衡. 能源植物的研究与开发利用 [J]. 化学与生物工程, 2010, 27(4): 6-8.
WANG Liheng. Research and exploitation of energy plant [J]. Chemistry and Bioengineering, 2010, 27(4): 6-8.
- 2 闫海, 周洁, 何宏胜, 等. 小球藻的筛选和异养培养 [J]. 北京科技大学学报, 2005, 27(4): 408-412.
YAN Hai, ZHOU Jie, HE Hongsheng, et al. Isolation and heterotrophic culture of *Chlorella* sp. [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2005, 27(4): 408-412.
- 3 Orosa, M, Torres E, Fidalgo P, et al. Production and analysis of secondary carotenoids in green algae [J]. Journal of Applied Phycology, 2000, 12: 553-556.
- 4 Ip P F, Chen F. Production of astaxanthin by the green microalga *Chlorella zofingiensis* in the dark [J]. Process Biochemistry, 2005, 40: 733-738.
- 5 Sun N, Wang Y, Li Y T, et al. Sugar-based growth, astaxanthin accumulation and carotenogenic transcription of heterotrophic *Chlorella zofingiensis* (Chlorophyta) [J]. Process Biochemistry, 2008, 43: 1288-1292.
- 6 高庆, 沈发治, 秦建华. 生物柴油及生产概述 [J]. 当代石油石化, 2007, 15(2): 17-21.
GAO Qing, SHEN Fazhi, QIN Jianhua. General study on biodiesel and its production [J]. Petroleum and Petrochemical Today, 2007, 15(2): 17-21.
- 7 Sarote S, Somruethai S, Wanna C, et al. Photoautotrophic production of lipids by some *Chlorella* strains [J]. Marine Biotechnology, 2011, 13(5): 928-941.
- 8 王丹, 任少雄, 苏军, 等. 中子辐照对观赏羽衣甘蓝种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2008, 37(3): 261-264.
WANG Dan, REN Shaoxiong, SU Jun, et al. Effects of neutron radiation on seed germination and seedling growth in ornamental kale [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2008, 37(3): 261-264.
- 9 韩微波, 张月学, 唐凤兰, 等. 快中子辐照紫花苜蓿的生物学效应与 RAPD 分析 [J]. 核农学报, 2011, 25(4): 704-707.
HAN Weibo, ZHANG Yueyue, TANG Fenglan, et al. Biological effects and RAPD analysis of alfalfa (*Medicago sativa* L) irradiated by fast neutrons [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2011, 25(4): 704-707.
- 10 王莉莉, 赵明霞, 乔利仙, 等. 快中子辐照对花生胚小叶体细胞胚胎发生的影响 [J]. 核农学报, 2011, 25(4): 0652-0656.
WANG Lili, ZHAO Mingxia, QIAO Lixian, et al. Effect of neutron irradiation on somatic embryogenesis from embryonic leaflets of peanut (*Arachis hypogaea* L) [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2011, 25(4): 0652-0656.
- 11 魏强, 林杨波, 王毅, 等. 含硼钢对慢中子衰减性能的蒙特卡罗模拟 [J]. 核技术, 2010, 33(5): 367-369.
WEI Qiang, LIN Yangbo, WANG Yi, et al. M-C simulation of slow neutron attenuation in boron-containing stainless steel [J]. Nuclear Techniques, 2010, 33(5): 367-369.
- 12 罗全勇, 朱瑞森. 硼中子俘获治疗 [J]. 同位素, 2004, 17(3): 174-182.
LUO Quanyong, ZHU Ruisen. Boron neutron capture therapy [J]. Journal of Isotopes, 2004, 17(3): 174-182.
- 13 潘欣, 李建宏, 戴传超, 等. 小球藻异养培养的研究 [J]. 食品科学, 2002, 23(4): 28-33.
PAN Xin, LI Jianhong, DAI Chuanchao, et al. The study of heterotrophic cultivation of *Chlorella ellipsoidea* [J]. Food Science, 2002, 23(4): 28-33.
- 14 张学成, 时艳侠, 孟振. 小球藻紫外线诱变及高产藻株筛选 [J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2007, 37(5): 749-753.
ZHANG Xuecheng, SHI Yanxia, MENG Zhen. The UV-irradiation of *Chlorella vulgaris* Beijerinck and screening of productive strain [J]. Periodical of Ocean University of China, 2007, 37(5): 749-753.
- 15 朱碧银, 陈艳, 林玉双, 等. 小球藻的分离及生物量研究 [J]. 海峡药业, 2008, 20(11): 117-120.
ZHU Biyin, CHEN Yan, LIN Yushuang, et al. The separation of *C. vulgaris* and the study of algae biomass [J]. Strait Pharmaceutical Journal, 2008, 20(11): 117-120.
- 16 黄美玲, 何庆, 黄建荣, 等. 小球藻生物量的快速测定技术研究 [J]. 河北渔业, 2010(4): 1-3.
HUANG Meiling, HE Qing, HUANG Jianrong, et al. A rapid determination of *Chlorella* biomass [J]. Hebei Fisheries, 2010(4): 1-3.

- 17 Gojo R, Suzuki H, Tezuka T. Near-UV radiation promotes growth of *Chlorella* [J]. Environmental Sciences, 2004, **11**(4): 189-198. Differential lipid and fatty acid profiles of photoautotrophic and heterotrophic *Chlorella zofingiensis*: assessment of algal oils for biodiesel production [J]. Bioresource Technology, 2011, **102**: 106-110.
- 18 LIU Jin, HUANG Junchao, SUN Zheng, *et al.*

Effects of boron neutron capture on growth of *Chlorella vulgaris*

HAO Xin¹ TAN Zhixin¹ TONG Yongpeng¹ ZHANG Yongxia²
LUO Qi¹ LI Xini² CHEN Linlin² ZHANG Yao²

¹ (College of Physics and Technology, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

² (College of Life Sciences, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

ABSTRACT Boron neutron capture was used to treat productive strains of *Chlorella* and the effects of neutron flux together with radiation time on growth of *Chlorella vulgaris* were studied. The results showed that the growth rates, chlorophyll fluorescence parameters F_v/F_m , yield, Chlorophyll content, and fatty acid content increased significantly with suitable neutron flux ($7.5 \times 10^8 - 7.5 \times 10^9 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and radiation time (30–60 s), while the protein content significantly decreased. The neutron irradiation could affect the genetic material of *Chlorella*, which has a positive effect on selecting productive *Chlorella* strains.

KEYWORDS Boron neutron capture, *Chlorella vulgaris*, Irradiation effect

CLC Q691, TL99