

不同氮、磷浓度及对比对铜藻 (*Sargassum horneri*) 幼苗生长的影响*

李 慧¹ 丁 刚² 辛美丽² 刘 玮² 马增岭¹ 李大鹏² 郭 文²

(1. 温州大学生命与环境科学学院 温州 325035; 2. 山东省海洋生物研究院 青岛 266104)

摘要 采用铜藻(*Sargassum horneri*)幼苗为实验对象, 分别以 NaNO_3 和 NaH_2PO_4 为氮源和磷源, 研究了不同氮磷质量浓度及氮磷对比对铜藻幼苗生长的影响。进行了氮、磷单因子实验、双因子实验以及不同氮磷配比实验, 实验时间为 8d。结果表明: 氮和磷对铜藻幼苗生长影响极显著($P<0.01$), 且当氮、磷的质量浓度分别为 8mg/L、0.4mg/L 时, 铜藻幼苗的特定生长率最大; 交互作用影响不显著($P>0.05$), 不同质量浓度的氮为主效应; 不同氮磷质量浓度比影响极显著($P<0.01$), 且当氮磷比为 10:1 时, 铜藻幼苗的特定生长率最大。研究结果为铜藻幼苗培育过程中营养盐的合理调控提供了理论依据。

关键词 氮磷比; 特定生长率; 铜藻幼苗

中图分类号 S968.42

doi: 10.11693/hyhz20161000226

铜藻 (*Sargassum horneri*), 属于褐藻门 (Phaeophyta) 的墨角藻目 (Fucales)、马尾藻科 (Sargassaceae)、马尾藻属 (*Sargassum*), 主要分布于辽宁、山东、浙江、福建、广东等地, 生长在潮流通畅、风浪较为平静的海湾大干潮线以下至-4m 浅海岩礁上, 漂浮海面形成海藻场(南春容等, 2014)。铜藻是中国暖温带海域浅海区海藻场的主要连片大型褐藻物种, 是浅海生态修复的保护物种(孙建璋等, 2008)。它是藻胶工业的优质原料, 因富含有益的生源要素而被广泛应用到医药、食品、饲料和有机肥料方面(孙建璋等, 2009)。近年来, 随着其生态价值和经济价值的不断发现而备受关注, 社会需求量也大幅增加。然而, 由于铜藻的自然资源极度匮乏, 对其进行大规模种苗培育已成为目前亟待解决的问题。

营养盐是植物维持正常生长所必需的, 不同藻类在其生长过程中, 对营养盐的需求不同(曹春晖等, 2010)。适当的营养盐可以控制藻类的生长、生物量以及种群结构(Caron *et al*, 2000; Duarte *et al*, 2000;

丁刚等, 2014)。藻类生长发育需要碳、氢、氧、氮、磷、钾等数十种大量元素以及一些微量元素, 但限制藻类生长的营养元素主要是氮和磷(董娟等, 2012)。不同氮磷质量浓度及配比的差异对藻类的生长、形态有很大影响(张莹等, 2010)。目前, 关于环境因子对铜藻生长影响的研究较多, 而有关不同营养盐对铜藻幼苗生长速率的研究尚未见报道。笔者进行了铜藻人工幼苗的养殖实验, 以生长速率为监测指标, 研究并探讨了铜藻幼苗的生长发育对氮、磷质量浓度及配比的响应, 旨在为铜藻人工幼苗产业化养殖的营养盐调控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与培养条件

试验在山东省海洋生物研究院海藻养殖与修复实验室进行。试验所用材料为山东省海洋生物研究院王哥庄基地人工培育的铜藻幼苗。藻体长度范围为 6.5—8.9mm。选择藻体完整、无损伤腐烂、规格均一

* 国家海洋公益性行业科研专项资助, 201505022-2 号; 山东省现代农业技术体系建设专项资金资助项目, SDAIT-26 号。李慧, 硕士研究生, E-mail: 15958711213@163.com

通讯作者: 李大鹏, E-mail: 13964860662@139.com

收稿日期: 2016-10-21, 收修改稿日期: 2016-11-18

的铜藻幼苗(见图 1), 用消毒海水反复冲洗后, 在 $(15 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 、光照强度为 $95 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和光暗周期为 12h : 12h 的条件下用过滤后的灭菌天然海水(盐度 30 ± 1)暂养 2 天。试验时选取 20 株幼苗为一组, 选取质量相近的为试验组, 在相同条件下于智能光照培养箱中充气培养, 期间每天更换海水, 试验周期为 8d。

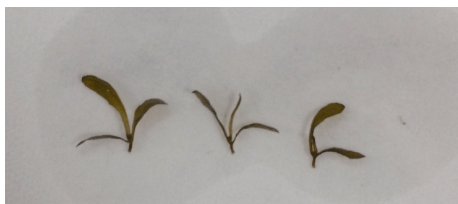


图 1 试验使用的铜藻幼苗

Fig.1 *S. horneri* seedlings used in the experiments

1.2 氮磷浓度及其不同比值培养液的配制

在单因子试验中, 氮的质量浓度分别为 0、2、4、6、8、10mg/L, 磷的质量浓度分别为 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0mg/L。

双因子试验氮、磷各选择 4 个质量浓度, 试验因子水平见表 1。

表 1 双因子试验氮磷水平

Tab.1 The different concentrations of N and P

编号	氮质量浓度(mg/L)	磷质量浓度(mg/L)
1	2	0.2
2	4	0.4
3	6	0.6
4	8	0.8

氮、磷质量浓度比试验中氮:磷分别为 5 : 1、10 : 1、15 : 1、20 : 1、25 : 1、30 : 1、35 : 1、40 : 1, 其中磷质量浓度为 0.4mg/L。

1.3 鲜重的测定

用镊子将浮萍从培养水体中捞出, 用蒸馏水清洗 3 遍, 然后平铺在滤纸上 3 min 后称重。

1.4 比生长速率的计算

藻的生长用特定生长率表示, 通过试验前后藻体的湿重变化得出。计算公式为: 特定生长率(%) = $(\ln m_t - \ln m_0) / t \times 100\%$, 其中 m_0 为初始藻的鲜重(g); m_t 为试验结束时藻的鲜重(g); t 为试验持续的天数(d)。

1.5 数据处理

所有实验数据均为平均值 $\pm$ 标准误($X \pm SD$)表示, 数据采用 Excel 和 SPSS 进行整理和分析, 采用单因素方差分析(one-way ANOVA)并应用 Duncan 多重比

较对各实验结果进行差异显著性检验和分析, 差异显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同质量浓度氮对铜藻幼苗生长速率的影响

铜藻幼苗在不同质量的氮浓度(0、2、4、6、8、10mg/L)下培养 8d 的特定生长率见图 2: 在氮质量浓度为 2—8mg/L 时, 该藻幼苗的特定生长率随氮浓度的增加而增加; 在 8mg/L 时, 特定生长率达到最大值 30.87%; 而后氮浓度的进一步增加呈降低趋势。并且在实验过程中观察到: 当氮质量浓度为 10mg/L 时, 培养的铜藻幼苗出现叶片腐烂的现象。方差分析表明, 不同氮质量浓度对铜藻幼苗特定生长率的影响极显著($P < 0.01$)。

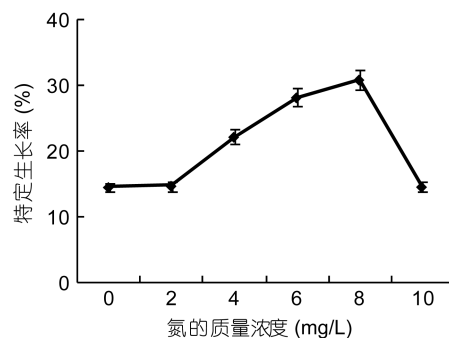


图 2 不同质量浓度氮对铜藻幼苗特定生长速率的影响

Fig.2 Effects of different mass concentrations of nitrogen on specific growth rate of *S. horneri* seedlings

2.2 不同质量浓度磷对铜藻幼苗生长速率的影响

铜藻幼苗在不同质量的磷浓度(0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0mg/L)下培养 8d 藻体的特定生长率见图 3: 该藻幼苗在磷质量浓度为 0.4—0.8mg/L 时生长较好, 在 0.4mg/L 时特定生长率最大为 19.32%。方差分析表明, 不同磷质量浓度对铜藻幼苗特定生长率的影响极显著($P < 0.01$)。

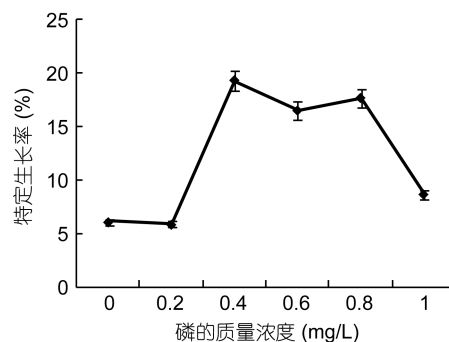


图 3 不同质量浓度磷对铜藻幼苗特定生长速率的影响

Fig.3 Effects of different mass concentrations of phosphorus on specific growth rate of *S. horneri* seedlings

2.3 不同质量浓度氮、磷对铜藻幼苗生长速率的交互影响

不同质量浓度氮、磷对铜藻幼苗生长速率的交互影响结果见图 4。经统计分析得出: 当磷质量浓度一定时, 改变氮的质量浓度, 铜藻幼苗特定生长率之间存在显著差异($P<0.05$); 反之, 差异不显著($P>0.05$)。因此, 不同质量浓度氮、磷之间不存在交互作用。对各组间进行两两比较得出: 不同质量浓度氮为主效应, 即当两种营养盐均存在时, 不同质量浓度氮对铜藻幼苗的特定生长率影响极显著($P<0.01$)。

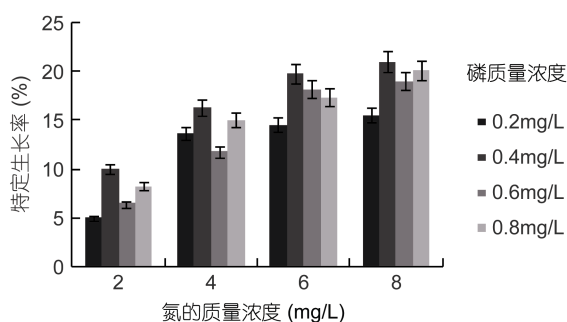


图 4 氮、磷不同质量浓度对铜藻幼苗特定生长速率的影响

Fig.4 Effects of different mass concentrations of nitrogen and phosphorus on specific growth rate of *S. horneri* seedlings

2.4 氮、磷不同质量浓度比对铜藻幼苗生长速率的影响

铜藻幼苗在不同氮磷质量浓度比(5:1、10:1、15:1、20:1、25:1、30:1、35:1、40:1)条件下培养 8d 藻体的特定生长率见图 5, 该藻幼苗在氮磷质量浓度比为 10:1 时, 特定生长率达到最大 26.11%。方差分析表明, 不同氮磷质量浓度比对铜藻幼苗特定生长率的影响极显著($P<0.01$)。

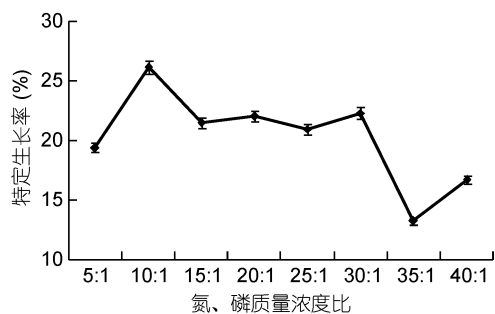


图 5 氮、磷不同质量浓度比对铜藻幼苗特定生长速率的影响

Fig.5 Effects of different ratios of nitrogen and phosphorus on specific growth rate of *S. horneri* seedlings

3 讨论

3.1 氮、磷不同质量浓度对铜藻幼苗生长发育的影响

氮和磷是藻类生长所必需的主要元素, 氮在细胞代谢中是形成氨基酸、嘌呤、氨基糖和胺类化合物的基本元素; 磷直接参与光合作用的各个环节, 包括光能吸收与同化、卡尔文循环以及对一些酶的活性起调节作用等(曹春晖等, 2010)。本试验结果表明, 氮和磷对铜藻幼苗的生长均有极显著影响($P<0.01$), 这与众多研究结果一致(李雅娟等, 1998; 梁英等, 1999; 林霞等, 2000; 丁刚等, 2014)。双因子方差分析表明, 不同浓度的氮和磷之间不存在交互作用, 并且铜藻幼苗的生长对氮浓度变化更敏感。由单因子试验也可看出, 在不同质量浓度氮影响下铜藻幼苗的最大特定生长率高达 30.87%, 远远高于不同质量浓度磷影响下的最大特定生长率(19.32%)。而南春容等(2014)在对南麂列岛铜藻氮磷吸收特征进行研究时得出, 铜藻生长及繁殖期对环境磷水平要求较高。猜测原因可能是: 本试验采用的是铜藻幼苗, 处于快速生长期, 细胞代谢快, 但叶片面积小, 因此光合作用较弱。进而导致铜藻幼苗对氮浓度的变化更敏感。

早在 2008 年, 丰茂武等(2008)便研究得出: 氮磷营养盐是藻类生长过程中的重要影响因子, 藻类的生长取决于氮的质量浓度, 这与本实验结果相符。孙修涛等(2006)在对鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)新生枝条的室内培育条件优化的研究中, 发现氮和盐度对鼠尾藻新生枝条的影响不明显, 低于温度和光照的影响。国外有学者研究发现: 绿藻对磷有较高的需求, 而甲藻和羽纹目硅藻对氮的需求比较高(Tilman *et al.*, 1984)。由此可见藻类对氮、磷营养盐的敏感程度随着其种类及生长阶段的不同而存在差异。随着铜藻幼苗的生长, 其对氮、磷营养盐的敏感程度是否保持不变, 仍需进一步研究。

3.2 不同氮、磷比对铜藻幼苗生长速率的影响

营养盐的浓度及配比通常被认为是影响海藻种群季节性变化的重要因素(Lüning *et al.*, 1989)。对多种藻类的研究表明, 不同氮、磷比对藻类的生长影响显著(Austin *et al.*, 1990; 于瑾等, 2006; 丁刚等, 2014)。本实验中, 铜藻幼苗在氮磷比为 10:1 时, 获得了较好的生长。尽管海洋浮游植物的氮磷比通常遵循 Redfield(1958)比值(16:1), 但丰茂武等认为 Redfield 定律有其适用的范围。孙军等(2004)研究发现, 新月

柱鞘藻(*Cylindrotheca closterium*)在 $N:P=160:1$ 时细胞比生长速率最快, 而青岛大扁藻(*Platymonas helgolandica* var. *tsingtaoensis*)和米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)分别在 $4:1$ 和 $80:1$ 的条件下生长速率最快。康燕玉等(2006)研究发现, 裸甲藻(*Gymnodinium* sp.)生长的最佳营养盐条件是 $N:P=6:1$ 。杨彬等(2013)研究表明, 在氮磷质量比例为 $15:1$ 时最适合莫氏马尾藻(*Sargassum mcclurei*)的生长, 并且认为藻体对氮、磷比例可能存在一个饱和点, 当达到这个饱和点时藻体的生长速度最快。由此可见, 影响藻类生长的氮、磷比应根据藻类的生长阶段及生长环境进行综合考虑。笔者也将延长实验周期、优化实验设计, 全面探讨铜藻幼苗生长过程中的最适氮、磷比。

3.3 不同营养盐水平研究的意义

首先, 不同营养盐水平的研究为铜藻幼苗培育提供了理论依据。通过本研究发现, 合理调节营养盐的浓度和配比可以提高铜藻幼苗的特定生长率。但由于幼苗的生长不仅受到营养盐的影响, 对水温、光照和水流等也有严格的要求, 因此如何协调各个环境因子使其特定生长率达到最大仍需探究。

其次, 不同营养盐水平的研究在培育优质的铜藻幼苗以及更大程度的实现其应用价值方面有极其重要的意义。由于铜藻体内含有丰富的营养成分(例如矿物质元素、蛋白质和氨基酸等), 因此被广泛应用到饲料、有机肥料、食品和医药等方面。而藻体内营养成分的组成和含量均受到养殖水体中营养盐种类及水平的影响, 进一步关系到所培育的藻的质地。不同质量浓度的营养盐及配比培养的藻体内营养物质含量和组成不同, 徐怡等(2011)在研究不同氮磷浓度培养的普通小球藻(*Chlorella vulgaris*)对透明蚤(*Daphnia hyalina*)生长和繁殖的影响时发现, 低磷且高 $N:P$ 的培养基不能使小球藻较好的吸收营养盐, 以致种群增长缓慢, 最高藻密度较低。以其为食物投喂透明蚤时, 食物质地相对较低, 对透明蚤的生长、繁殖等产生了负面影响。因此, 可以通过养殖水体中营养盐的调节来实现铜藻幼苗的最大利用价值。

参 考 文 献

- 丁 刚, 于晓清, 詹冬梅等, 2014. 不同氮、磷浓度及对比对鼠尾藻幼苗生长的影响. 水产科学, 33(4): 219—222
- 于 瑾, 蒋霞敏, 梁 洪等, 2006. 氮、磷、铁对牟氏角毛藻生长速率的影响. 水产科学, 25(3): 121—124
- 丰茂武, 吴云海, 冯仕训等, 2008. 不同氮磷比对藻类生长的影响. 生态环境学报, 17(5): 1759—1763
- 孙 军, 刘东艳, 陈宗涛等, 2004. 不同氮磷比率对青岛大扁藻、新月柱鞘藻和米氏凯伦藻生长影响及其生存策略研究. 应用生态学报, 15(11): 2122—2126
- 孙建璋, 庄定根, 王铁干等, 2009. 南麂列岛铜藻的研究. 现代渔业信息, 24(5): 19—21
- 孙建璋, 陈万东, 庄定根等, 2008. 中国南麂列岛铜藻 *Sargassum horneri* 实地生态学的初步研究. 南方水产, 4(3): 58—63
- 孙修涛, 王飞久, 刘桂珍, 2006. 鼠尾藻新生枝条的室内培养及条件优化. 海洋水产研究, 27(5): 7—12
- 李雅娟, 王起华, 1998. 氮、磷、铁、硅营养盐对底栖硅藻生长速率的影响. 大连水产学院学报, 13(4): 7—14
- 杨 彬, 谢恩义, 曲元凯, 2013. 不同环境因子对莫氏马尾藻幼苗生长和光合色素的影响. 南方水产科学, 9(4): 39—44
- 张 莹, 李宝珍, 屈建航等, 2010. 斜生栅藻对低浓度无机磷去除和生长情况的研究. 环境科学, 31(11): 2661—2665
- 林 霞, 陆开宏, 盛岚岚, 2000. 氮磷铁营养浓度对不同品系三角褐指藻生长影响的比较研究. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 19(4): 384—387
- 南春容, 王铁杆, 张 鹏等, 2014. 南麂列岛铜藻氮磷吸收特征研究. 上海海洋大学学报, 23(5): 706—711
- 徐 怡, 胡忠军, 刘其根等, 2011. 温度和不同氮磷浓度培养的小球藻对透明蚤生长和繁殖的影响. 上海海洋大学学报, 20(5): 712—719
- 曹春晖, 刘文岭, 施定基等, 2010. 不同氮磷浓度对米氏凯伦藻生长的影响. 天津科技大学学报, 25(2): 22—25
- 康燕玉, 梁君荣, 高亚辉等, 2006. 氮、磷比对两种赤潮藻生长特性的影响及藻间竞争作用. 海洋学报, 28(5): 117—122
- 梁 英, 麦康森, 孙世春等, 1999. 不同的营养盐浓度对三角褐指藻生长的影响. 海洋湖沼通报, (4): 43—47
- 董 娟, 李大平, 陶 勇等, 2012. 氮磷胁迫下藻—菌群落的变化研究. 环境科学与技术, 35(12): 40—45, 55
- Austin A P, Ridley-Thomas C I, Lucey W P *et al*, 1990. Effects of nutrient enrichment on marine periphyton: implications for abalone culture. Botanica Marina, 33(3): 235—240
- Caron D A, Lim E L, Sanders R W *et al*, 2000. Responses of bacterioplankton and phytoplankton to organic carbon and inorganic nutrient additions in contrasting oceanic ecosystems. Aquatic Microbial Ecology, 22(2): 175—184
- Duarte C M, Agustí S, Agawin N S R, 2000. Response of a mediterranean phytoplankton community to increased nutrient inputs: a mesocosm experiment. Marine Ecology Progress Series, 195: 61—70
- Lüning K, Dieck I T, 1989. Environmental triggers in algal seasonality. Botanica Marina, 32(5): 389—397
- Redfield A C, 1958. The biological control of chemical factors in the environment. American Scientist, 46(3): 205—221
- Tilman D, Sterner R W, 1984. Invasions of equilibria: tests of resource competition using two species of algae. Oecologia, 61(2): 197—200

EFFECTS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS CONCENTRATIONS AND RATIOS ON GROWTH OF *SARGASSUM HORNERI* SEEDLINGS

LI Hui¹, DING Gang², XIN Mei-Li², LIU Wei², MA Zeng-Ling¹, LI Da-Peng², GUO Wen²

(1. College of Life and Environmental Science, Wenzhou University, Wenzhou 325035, China;

2. Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao 266104, China)

Abstract The effects of different nitrogen (N) concentrations (0, 2, 4, 6, 8, and 10mg/L) and phosphorus (P) concentrations (0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0mg/L) and N/P ratios (5 : 1, 10 : 1, 15 : 1, 20 : 1, 25 : 1, 30 : 1, 35 : 1 and 40 : 1) on the growth and development of macrophyte *Sargassum horneri* seedlings were studied. The single factor and two-factor experiments were conducted for 8 days. The results showed that the concentrations and proportions of N and P in the medium had great significant ($P < 0.01$) influence on the growth of the seedlings, but no interaction between N and P ($P > 0.05$). The maximal specific growth rate of the seedlings occurred at 8mg/L N, 0.4mg/L P and 10 : 1 of N to P, respectively. The findings suggested that suitable nutrient concentration and ratio of N and P in the medium was needed for artificial culture of *S. horneri* seedlings.

Key words N/P ratio; specific growth rate; *Sargassum horneri* seedling