

文章编号: 1674 - 5566(2014)05 - 0706 - 06

南麂列岛铜藻氮磷吸收特征研究

南春容¹, 王铁杆², 张 鹏², 张立宁²

(1. 温州医科大学 生命科学学院, 浙江 温州 325035; 2. 浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江 温州 325000)

摘 要: 实验室条件下测定了:(1)不同温度下,铜藻的磷吸收动力学;(2)氮磷比对铜藻氮磷吸收速率的影响;(3)不同化合态氮对铜藻氮磷吸收速率的影响;(4)成熟铜藻体内总氮总磷含量。结果显示:(1)20℃时,铜藻对磷的半饱和吸收常数最低,最大吸收速率最大;(2)氮浓度一定时,随着氮磷比值升高,铜藻对氮磷的吸收速率皆下降;磷浓度一定时,随着氮磷比值升高,铜藻对氮的吸收速率增加,对磷的吸收速率下降;(3)磷充足时,铜藻对硝氮的吸收速率随着氨氮硝氮比升高而下降,对氨氮和磷的吸收速率随着氨氮硝氮比升高先上升后下降;(4)干燥铜藻体内总氮总磷含量分别为 5.70% 和 0.18%。

研究亮点: 铜藻场的修复对南麂列岛具有极为重要的生态学意义,本文模拟南麂列岛海区氮磷等营养盐条件,实验室内测定了铜藻的部分氮磷吸收参数,以期揭示铜藻场修复与南麂列岛海区环境的生态关系。

关键词: 铜藻; 磷吸收动力学; 氮磷比; 硝氮氨氮比; 吸收速率

中图分类号: Q 178.1⁺

文献标志码: A

铜藻(*Sargassum horneri*)隶属褐藻门(Phylum phaeophyta), 马尾藻科(Family sargassaceae), 马尾藻属(*Genus sargassum*)。其植株高大,枝叶繁茂,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。南麂列岛铜藻生长在潮流通畅、风浪较为平静的海湾大干潮线以下至 -4 m 浅海岩礁上,漂浮海面形成海藻场^[1]。海藻场在浅海生态环境中有着重要作用,不仅为许多海洋生物提供栖息、觅食、繁殖和隐蔽的场所,在海藻的生长过程中,其还从周围海水环境中吸收大量的无机氮、活性磷等,对富营养化海区的生态修复起着重要作用^[2]。然而,近年来由于人类不合理的经济活动,全球近岸海域海藻场生态系统遭到严重破坏。为恢复或重建海藻场生态系统,世界许多沿海国家付出了大量的人力物力,进行相关研究。早在 20 世纪 90 年代,欧盟就启动了 EUMAC 重大研究计划,研究水域跨越波罗的海到地中海的欧洲沿岸海区,以研究大型海藻在环境和气候变化中的响应和作用^[3]。21 世纪以来,美国国家海洋与大气管理局(NOAA)启动了内容包括大型

海藻、鱼类养殖与渔业管理研究在内的国家计划,其目的就是为了恢复近海生态系统的功能以维持海洋资源的可持续利用^[4]。韩国从 2002 年开始也启动了以大型海藻作为近海水域生物过滤器和生产力系统的计划,以修复韩国近海由于鱼类养殖等人类活动所带来的富营养化问题^[5]。国家海洋公益性项目“我国南方沿海大型海藻生态系统恢复技术集成与示范”的内容之一即是南麂列岛铜藻场的修复和重建,张婧等^[6]对南麂列岛铜藻受精卵的早期发生与幼孢子体发育进行了研究。作为项目内容的一部分,本文旨在研究南麂列岛铜藻场修复和重建过程中,铜藻的氮磷吸收特征。研究内容包括(1)参照南麂列岛铜藻生长过程中的温度条件以及海区磷限制情况,测定不同温度下铜藻的磷吸收动力学;(2)针对近年来海区氮磷比失调等情况,进行氮磷比对铜藻氮磷吸收速率影响的研究;(3)模拟养殖海区氮磷富营养化、氨氮浓度较高的情况,研究不同化合态氮对铜藻氮磷吸收速率的影响,以期对铜藻用于养殖水体的净化做初步探讨。

收稿日期: 2014-03-24 修回日期: 2014-05-19

基金项目: 国家海洋公益性研究专项(201105008-4)

作者简介: 南春容(1966—),女,教授,研究方向海洋藻类生理生态学。E-mail: nanchunrong@163.com

通信作者: 王铁杆, E-mail: wtg605@163.com

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验铜藻采集于浙江省温州市南麂列岛。选择新鲜健康藻体,去除表面附着物,冲洗干净,暂养于实验室中。培养条件为:光照强度为 $60 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光暗比 12 h: 12 h,温度为 $(20 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$,海水盐度为 30。下述实验条件除特别说明外,皆与此相同。

1.2 不同温度下,铜藻的磷吸收动力学

将陈化(黑暗沉淀)海水过滤、煮沸、冷却后作为实验用海水。藻体在磷饥饿条件下(将实验海水以减磷的 $f/2$ 培养液加富,海水本底磷浓度约为 $0.5 \mu\text{mol}/\text{L}$)培养 7 d。称取 $(3.0 \pm 0.1) \text{ g}$ 鲜重铜藻(选取单株完整铜藻幼苗),置于装有 400 mL 培养液的三角瓶内,培养液中的磷浓度设定为 0.5、2.0、5.0、10.0、20.0、50.0 和 100.0 $\mu\text{mol}/\text{L}$ 共 7 个梯度(以实际测定浓度为准),其余营养元素按 $f/2$ 培养液加富。光照强度为 $60 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,每 0.5 h 摇动培养瓶一次,实验开始 1 h 后测定培养液中磷酸盐的浓度。以上实验分别在 5、10、15、20 和 25 $^\circ\text{C}$ 下进行。实验重复数 $N=3$ 。

1.3 不同氮磷比对铜藻氮磷吸收速率的影响

1.3.1 N 浓度一定(充足),不同氮磷比对 N、P 吸收速率的影响

将实验海水氮($\text{NO}_3^- \text{-N}$)浓度调整至 160.0 $\mu\text{mol}/\text{L}$,磷($\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$)浓度分别调整至 0.625, 1.25, 2.5, 5.0, 10.0 $\mu\text{mol}/\text{L}$,由此得到培养液 N:P 分别为 256:1, 128:1, 64:1, 32:1, 16:1。称取 $(3.0 \pm 0.1) \text{ g}$ 鲜重铜藻,置于装有 400 mL 培养液的三角瓶内,实验开始时同时开始光照阶段,12 h 后进入黑暗阶段,分别在光照结束时(12 h)和黑暗结束时(24 h)测定培养液的 N、P 浓度。实验重复数 $N=3$ 。

1.3.2 P 浓度一定(充足),不同氮磷比对 N、P 吸收速率的影响

将实验海水磷($\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$)浓度调整至 4.0 $\mu\text{mol}/\text{L}$,氮($\text{NO}_3^- \text{-N}$)浓度分别调整至 64.0, 128.0, 256.0, 512.0, 1 024.0 $\mu\text{mol}/\text{L}$,由此得到培养液 N:P 分别为 16:1, 32:1, 64:1, 128:1, 256:1。称取 $(3.0 \pm 0.1) \text{ g}$ 鲜重铜藻,置于装有 400 mL 培养液的三角瓶内,实验开始时同时开始

光照阶段,12 h 后进入黑暗阶段,分别在光照结束时(12 h)和黑暗结束时(24 h)测定培养液的 N、P 浓度。实验重复数 $N=3$ 。

1.4 不同化合态氮比对铜藻氮磷吸收速率的影响研究

将实验海水磷($\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$)浓度调整至 8.0 $\mu\text{mol}/\text{L}$,硝氮($\text{NO}_3^- \text{-N}$)浓度调整至 120.0 $\mu\text{mol}/\text{L}$,氨氮($\text{NH}_4^+ \text{-N}$)浓度分别调整至 120.0, 600.0, 960.0, 1 920.0, 3 840.0 $\mu\text{mol}/\text{L}$,由此得到氨氮硝氮比分别为 1:1, 5:1, 8:1, 16:1 和 32:1。称取 $(3.0 \pm 0.1) \text{ g}$ 鲜重铜藻,置于装有 400 mL 培养液的三角瓶内,实验开始时同时开始光照阶段,12 h 后进入黑暗阶段,分别在光照结束时(12 h)和黑暗结束时(24 h)测定培养液中氨氮、硝氮和磷浓度。实验重复数 $N=3$ 。

1.5 铜藻体内总氮、总磷的测定

于南麂列岛马祖岙、火焜岙分别采集铜藻藻体,随机取完整藻体 20 株,带回实验室,自来水冲洗干净,60 $^\circ\text{C}$ 烘干至恒重,经消化、稀释,测定藻体内的总氮(TN)、总磷(TP)含量^[7]。

1.6 数据处理

铜藻对 N、P 的吸收速率按式(1)计算:

$$V = (S_0 - S_t) \times U / (t \times G) \quad (1)$$

式中: V 为营养盐的吸收速率; S_0 为试验结束时空白组营养盐的含量; S_t 为试验结束时试验组营养盐的含量; U 为培养液的体积; t 为吸收时间; G 为新鲜藻体的质量。

铜藻磷吸收动力学参数,最大吸收速率 V_{max} , 半饱和和吸收常数 K_m , 由式(2)求得:

$$V = V_{\text{max}} S / (K_m + S) \quad (2)$$

式中: V 为吸收速率; V_{max} 为最大吸收速率; K_m 为半饱和和常数; S 为实验起始磷浓度。

2 结果与分析

2.1 不同温度下铜藻对磷的吸收动力学研究

从图 1 和表 1 中看出:铜藻对磷的吸收速率随着温度的升高而升高,在 20 $^\circ\text{C}$ 时最大吸收速率 V_{max} 可达 $(3.385 \pm 0.183) \mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})$,其后随着温度的升高,吸收速率降低;半饱和和吸收常数 K_m 则呈相反趋势,即随着温度升高, K_m 降低, 15 ~ 20 $^\circ\text{C}$ 范围内达最小值,其后又随温度上升而升高。

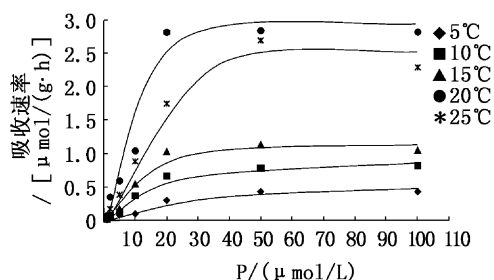


图1 不同温度下铜藻磷吸收动力学曲线
Fig.1 Phosphate uptake kinetics of *S. horneri*

2.2 不同氮磷比对铜藻氮磷吸收速率的影响研究

2.2.1 N 浓度一定,不同氮磷比对 N、P 吸收速率的影响

图2和图3分别为氮浓度一定(160.0 μmol/L),氮磷比从16:1到256:1范围内,铜藻对氮和

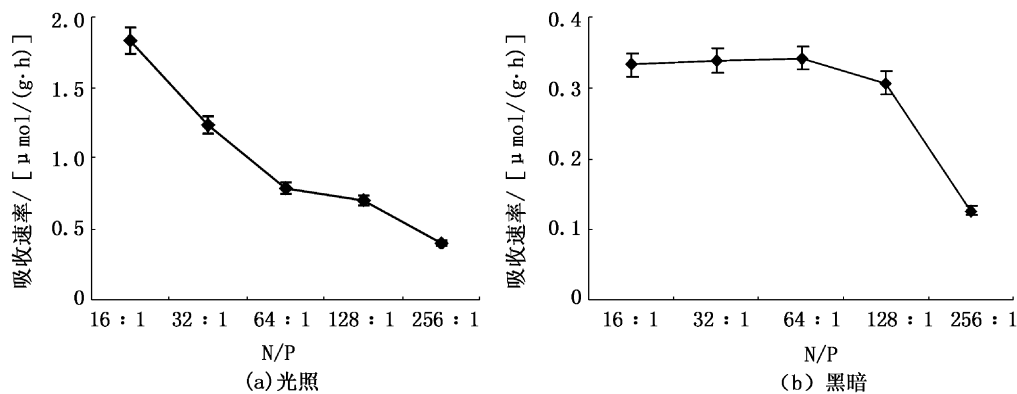


图2 N 浓度一定,不同氮磷比条件下,铜藻对氮吸收速率的变化曲线
Fig.2 N concentration being constant, the relation of N uptake and N/P

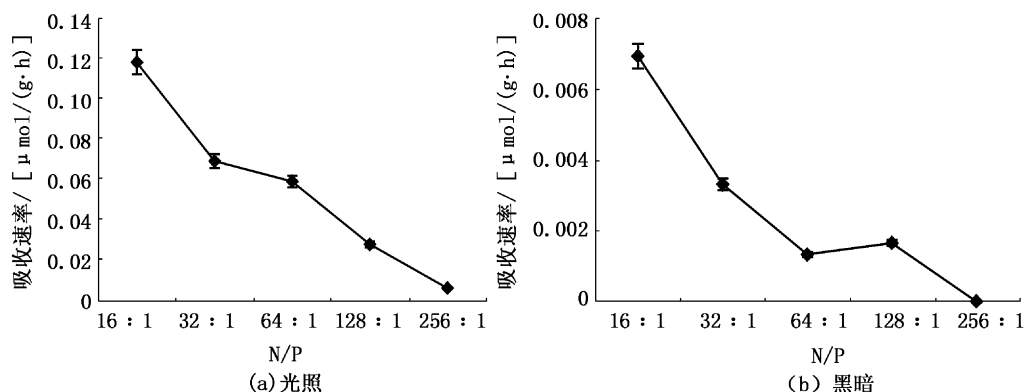


图3 N 浓度一定,不同氮磷比条件下,铜藻对磷的吸收速率变化曲线
Fig.3 N concentration being constant, the relation of P uptake and N/P

2.2.2 P 浓度一定,不同氮磷比对 N、P 吸收速率的影响

图4和图5分别为磷浓度一定条件下,氮磷比从16:1到256:1变化时,铜藻对氮磷吸收速率

磷吸收速率的变化曲线。从图中可以看出,随着氮磷比的升高,铜藻对氮和磷的吸收速率皆呈下降趋势,氮磷比越高,对铜藻氮磷吸收的抑制作用越强。光照条件下(图2a,图3a)铜藻对氮磷的吸收速率明显高于黑暗条件下(图2b,图3b)。

表1 不同温度下,铜藻磷吸收动力学参数
Tab. 1 Parameters of phosphate uptake kinetics of *S. horneri*

温度/°C	R^2	$V_{max}/[\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})]$	$K_m/(\mu\text{mol}/\text{L})$
5	0.901	0.562 ± 0.009	30.844 ± 1.498
10	0.943	1.054 ± 0.054	20.552 ± 2.104
15	0.909	1.253 ± 0.028	15.927 ± 0.382
20	0.959	3.385 ± 0.183	14.793 ± 0.903
25	0.909	2.638 ± 0.189	21.253 ± 4.397

黑暗条件下,铜藻对氮和磷皆表现为负吸收,即

藻体内的氮磷有所释放。

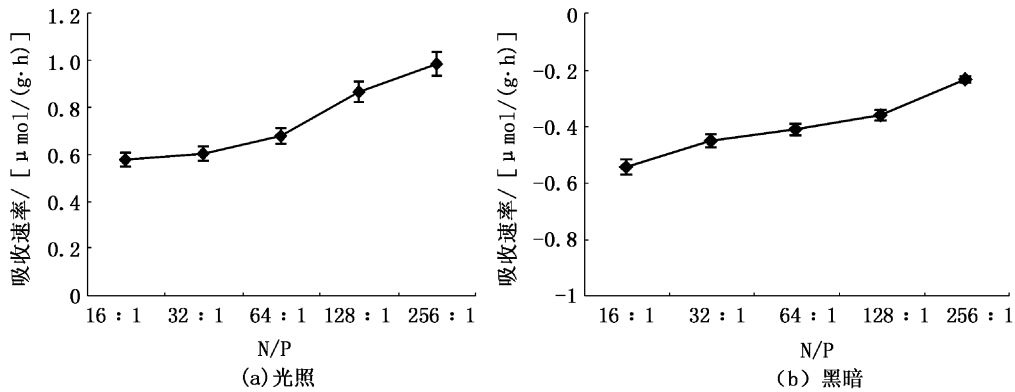


图4 P浓度一定,不同氮磷比条件下,铜藻对氮的吸收速率变化曲线
Fig.4 P concentration being constant, the relation of N uptake and N/P

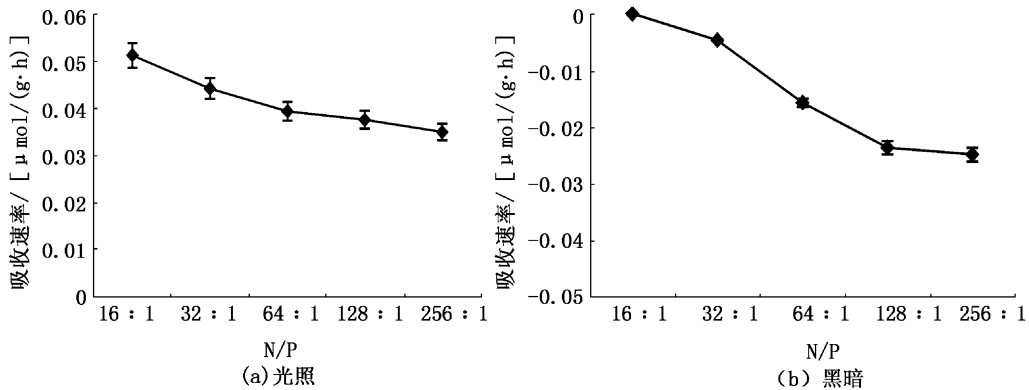


图5 P浓度一定,不同氮磷比条件下,铜藻对磷的吸收速率变化曲线
Fig.5 P concentration being constant, the relation of P uptake and N/P

2.3 不同化合态氮比对铜藻氮磷吸收速率的影响研究

图6为氨氮硝氮比在1:1到32:1条件下,铜藻对氨氮、硝氮的吸收变化曲线。光照条件下(图6a),在氨氮硝氮比1:1~1:8范围内,铜藻对氨氮的吸收速率远高于硝氮,且随着比值的上

升,铜藻对氨氮的吸收速率上升,对硝氮的吸收速率下降,当比值达到或超过16:1后,铜藻对氨氮的吸收速率迅速降低;黑暗条件下(图6b),铜藻对氨氮、硝氮的吸收速率明显降低,且随着比值的升高,铜藻对氨氮、硝氮的吸收速率皆降低。

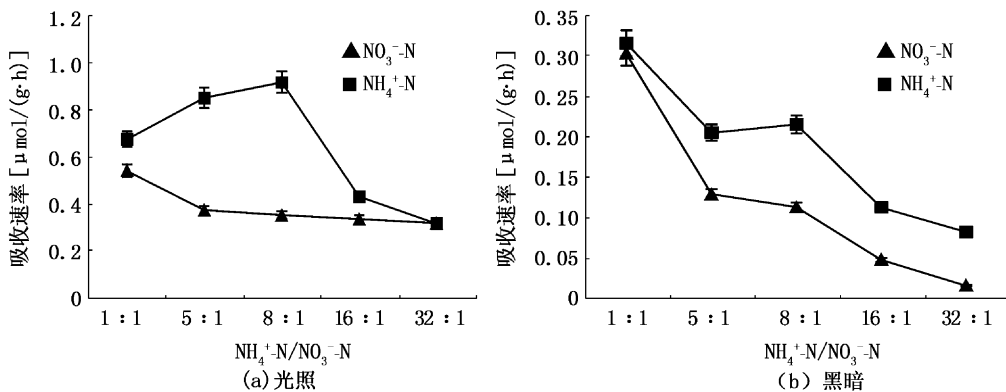


图6 不同化合态氮比条件下,铜藻对氨氮和硝氮的吸收速率变化曲线
Fig.6 The relationship of uptake kinetics and NH₄⁺-N/NO₃⁻-N

图7为氨氮硝氮比在1:1到32:1条件下,铜藻对磷的吸收变化曲线。在比值1:1~1:8范围内,铜藻对磷的吸收速率随比值的升高而上升,

随后显著下降;光照条件下铜藻对磷的吸收速率明显高于黑暗条件。

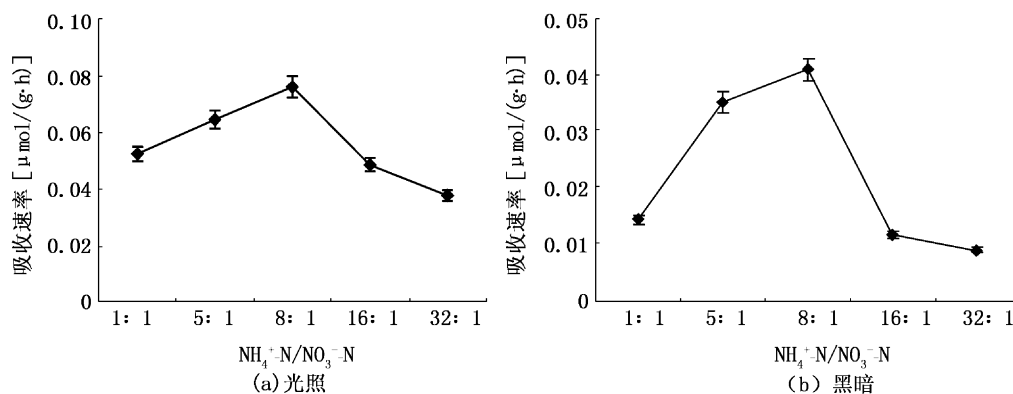


图7 不同化合态氮比条件下,铜藻对磷的吸收速率变化曲线

Fig. 7 The relationship of P uptake kinetics and $\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{NO}_3^- \text{-N}$

2.4 铜藻体内 TN、TP 含量

新鲜铜藻经 60 °C 烘干至恒重,干湿比为 1:7。经测定,干燥铜藻体内总氮总磷含量分别为 5.70% 和 0.18%。

3 讨论

南麂列岛铜藻生长季节为冬春两季,较适宜的生长水温为 11 ~ 16 °C,繁殖盛期水温 16 ~ 20 °C^[1]。本研究显示,在 5 ~ 20 °C 范围内,铜藻对磷的半饱和吸收常数 K_m 逐渐降低,15 ~ 20 °C 时达到最低,说明此时铜藻对磷的亲合力最强,对磷的利用效率最高,而铜藻对磷的最大吸收速率 (V_{max}) 峰值出现在 20 °C。以上数据说明,铜藻在生长及繁殖期对磷的需求量大,利用率高。与其他大型海藻的磷吸收动力参数相比较,如孔石莼^[8],两者对磷的最大吸收速率基本相同,但铜藻对磷的半饱和吸收常数高出近一个数量级,说明铜藻生长及繁殖期对环境中磷水平要求较高。

根据 Redfield 比值,海水中氮磷比值 16:1 时较适合海洋藻类的生长^[9]。许多研究表明,水体氮磷比与藻类的群落更替有着密切关系^[10]。近年来,许多海区氮磷比例失调,据作者对温州部分海区氮磷比跟踪监测的结果,海区氮磷比失调较严重(最高达 250:1)。本文研究结果显示,在氮源较丰富的条件下,氮磷比增加,会抑制铜藻对无机氮和活性磷的吸收利用;在磷源较充足条

件下,氮磷比增加,会促进铜藻对氮的吸收,抑制铜藻对磷的吸收利用。总之,海区氮磷比的升高,会抑制铜藻对活性磷的吸收,从而影响铜藻的生长,最终可能对铜藻场的形成发生影响。

本研究结果还显示,在高密度养殖情况下(氨氮浓度较高,氮磷富营养化),铜藻会优先吸收利用氨氮,对磷也有很好吸收(但在氨氮浓度过高的情况下,如 > 1 000.0 μmol/L,铜藻对氮磷的吸收都会受到抑制)。因此,铜藻可以作为去除养殖海区富营养化的合适生物过滤材料。

大型海藻体内 TN 和 TP 含量随海藻类别和季节而有所变化。黄道建等分析测定了广东珠海桂山岛附近海域网箱养殖区生长的 5 种大型海藻体内的总氮总磷含量,以评估大型海藻净化近海水质能力^[11],研究得出 TN 为 4.076% ~ 5.460%, TP 为 0.285% ~ 0.510%。本研究的结果铜藻体内 TN 为 5.70%, TP 为 0.18%。两相比较,铜藻体内总氮含量偏高,而总磷含量则偏低,且铜藻体内氮磷比值 31.6,较传统的 Redfield 比值(16:1)高出一倍^[12]。这可能与目前海区的氮磷比失调状况有关。但该数据也说明,若铜藻场能建立起来并达到一定规模,其生长期间对周围海区氮磷等营养盐的去除能力是毋庸置疑的,对近海环境修复将有重大意义。

参考文献:

- [1] 孙建璋,陈万东,庄定根,等. 中国南麂列岛铜藻实地生

- 态学的初步研究[J]. 南方水产,2008,4(3):59-64.
- [2] 杨宇峰,费修纛. 大型海藻对富营养化海水养殖区生物修复的研究与展望[J]. 青岛海洋大学学报:自然科学版,2003,33(1):53-57.
- [3] SCHRAMM W. Factors influencing seaweed responses to eutrophication: Some results from EU-project EUMAC [J]. Journal of Applied Phycology, 1999, 11(1): 69-78.
- [4] MCVEY J P, STICKNEY R R, YARISH C, et al. Aquatic polyculture and balanced ecosystem management: New paradigms for seaweed production [C]// Responsible marine aquaculture. New York: CABI Publishing, 2002: 91-104.
- [5] CHUNG I K, KANG Y H, YARISH C, et al. Application of seaweed cultivation to the bioremediation of nutrient-rich effluent [J]. Algae, 2002, 17(3): 187-194.
- [6] 张婧,严兴洪,章守宇. 铜藻受精卵的早期发生与幼孢子体发育观察[J]. 水产学报,2012,36(11):1706-1711.
- [7] 邢殿楼,霍堂斌,吴会民,等. 总磷、总氮联合消化的测定方法[J]. 大连水产学院学报,2006,21(3):219-224.
- [8] NAN C R, DONG S L. Comparative Studies on Phosphorus Uptake and Growth Kinetics of the Microalga *Tetraselmis subcordiformis* and the Macroalga *Ulva pertusa*[J]. Journal of Ocean University of China (Oceanic and Coastal Sea Research), 2004, 3(1): 56-59.
- [9] JOHN H S, STEVE A T, KARL K T. Encyclopedia of Ocean Sciences[M]. 2nd ed. Academic Press Inc, 2009: 677-686.
- [10] 孙凌,金相灿,钟远,等. 不同氮磷比条件下浮游藻类群落变化[J]. 应用生态学报,2006,17(7):1218-1223.
- [11] 黄道建,黄小平,岳维忠. 大型海藻体内 TN 和 TP 含量及其对近海环境修复的意义[J]. 台湾海峡,2005, 24(3):316-321.
- [12] 王保栋,陈爱萍,刘峰. 海洋中 Redfield 比值的研究[J]. 海洋科学进展,2003,21(2):232-235.

Absorption characteristics of N and P by a macroalga, *Sargassum horneri*, in Nanji Islands

NAN Chun-rong¹, WANG Tie-gan², ZHANG Peng², ZHANG Li-ning²

(1. Life Science School, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325035, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Mariculture Research Institute, Wenzhou 325000, Zhejiang, China)

Abstract: Three uptake experiments were performed under laboratory conditions: (1) Phosphate uptake kinetics of macroalga, *Sargassum horneri*, between 5-25 °C; (2) Effect of N:P ratio on the uptake of N and P by *S. horneri*; (3) Effect of NH₄⁺-N/NO₃⁻-N ratio on the uptake of N and P by *S. horneri*. The results were: (1) The maximum absorption rate (V_{max}) rises with temperature variation between 5-20 °C, and reaches the max at 20 °C; The half saturated absorption constant (K_m) decreases with temperature variation between 5-20 °C, and reaches the min at 20 °C; (2) when the N concentration was constant, the uptake rate of N and P decreases with the N:P ratio variation between 16:1 to 256:1; While the P concentration was constant, the uptake rate of N rises, and P decreases with the variation of N:P ratio. (3) when phosphate is adequate, the uptake rate of NO₃⁻-N has a negative relation with NH₄⁺-N/NO₃⁻-N, while NH₄⁺-N and P have a positive relation with NH₄⁺-N/NO₃⁻-N variation between 1:1-8:1, and a negative relation with that above 16:1. (4) The TN and TP in *S. horneri* are 5.70% and 0.18%, respectively.

Key words: *Sargassum horneri*; phosphate uptake kinetics; N/P; NH₄⁺-N/NO₃⁻-N; uptake rate