

水动力条件对龙须菜 N 吸收的影响

徐永健¹, 钱鲁闽^{1,2}

(1. 厦门大学 环境科学研究中心, 海洋环境科学教育部重点实验室, 福建 厦门 361005; 2. 国家海洋局第三海洋研究所, 福建 厦门 361005)

摘要: 通过在室外 0.5 t 的玻璃缸桶内对不同放养密度的龙须菜进行流水和静水的氮吸收比较养殖试验, 发现龙须菜可以同时吸收介质中的铵态氮和硝态氮; 静水导致水体中的 pH 值升高, 最大的上升了 1 单位以上; 龙须菜的吸收造成介质中营养盐的减少, 在试验开始 3 h 后, 静水组的高放养密度处理中出现氮吸收抑制现象; 采用流水方式, 水流速度在 (160~175) L·h⁻¹ 范围, 养殖介质的条件相对稳定, 藻体所吸收的氮量也较多, 流水组的 2 kg 和 4 kg 处理分别比静水相应处理多吸收 N 为 5.80、10.25 (16 00) 和 7.64、11.59 mg (18 00), 分别比静水条件增加 24%、31% 和 18%、27%。

关键词: 龙须菜; 流水养殖; N 吸收; 水动力状况

中图分类号: X1; S96 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(2004)02-0032-04

Effects of water movement on nitrogen uptake by *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta)

XU Yong-jian¹, QIAN Lu-min^{1,2}

(1. Environmental Science Research Center, Key Lab for Marine Environment Science of the Ministry of Education, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen 361005, China)

Abstract: In outdoor, effects of water movement on nitrogen uptake by different stocking densities *Gracilaria lemaneiformis* were inspected. From this, the following conclusions can be drawn: the macroalgae can simultaneously absorb ambient ammonium and nitrate; In dead media, the uptake of macroalgae to nutrient led to pH values rose in the media and the highest increase in value above 1. After 3 hours of the beginning, nitrogen concentration was low in the dead media and the restrain happened in the barrel had high stocking density; In flowing media, the conditions was good and steady, the macroalgae absorbed more nitrogen than in dead media, in 2kg and 4kg treatments, the nitrogen uptake quantity was more 5.80, 10.25 mg (16 00); 7.64, 11.59 mg (18 00) than counterpoint in dead media, and the ratio was increased 24%, 31%; 18%, 27% respectively.

Key words: *Gracilaria lemaneiformis*; Nitrogen uptake; Water-moving culture

海水富营养化是赤潮发生的基础条件之一, 因此抑制海水富营养化可减少赤潮的发生。目前有不少报道采用大型海藻能防治及降低海水的富营养化^[1]; 但从应用和成本上考虑, 我们需筛选出经济价值较高, 环境适应能力较强及对营养盐如 N 等有较强吸收和储藏能力的大型海藻。目前筛选大型海藻营养吸收的生理生态研究基本上都是在室内进行的小水体静水试验, 而为了在较短的时间能观察到较明显地变化的结果, 放养较多的初始藻量, 就有可能造成局部区域的营养限制, 导致所获得的结果的不准确性。为了考察静水和流水养殖的条件下, 大型海藻对氮的吸收差异情况, 更好地探讨大型海藻在自然状况下对营养物质的吸收, 以

及更好地筛选出适合于营养污染的修复用大型海藻, 作者进行了本次试验。希望为今后这方面的研究和生产提供一些经验。

1 材料与方法

1.1 实验材料

试验在国家海洋局第三海洋研究所内进行, 所用的实验海水为厦门东海域自然海水, 水泵抽提时, 用滤水布袋过滤除去泥浆和杂质后, 贮存在 15 m³ 的蓄水池中备用。大型海藻龙须菜 [*Gracilaria lemaneiformis* (Bory) Weber-Bosse], 自然分布在山东半岛潮间带至潮下带, 是我国北方的产胶海藻之一。试验用的龙须菜来自福建省东山县西埔湾

收稿日期: 2003-06-19, 修改稿收到日期: 2003-07-28

基金项目: 福建省科技攻关重大项目 (20021003; 2002Y005)

作者简介: 徐永健 (1975), 男, 浙江台州人, 博士, 从事海洋环境污染生物修复研究。

海区吊养的筏式藻架, 带回厦门后, 洗净除去杂藻, 放在大型水泥池中暂养一周。试验容器为 0.5 t 玻璃缸桶, 底部为圆锥形并有一个出水口可以排干缸内的水。

1.2 实验方法

试验设两个组, 流水组(L)和静水组(J), 分别放养 1、2、4 kg 鲜重的龙须菜, 无重复。试验前称取所需的鲜藻量, 以间隔 10 cm 左右夹一簇藻体到一条长 8 m 的聚乙烯绳子上, 绕在一个四方形的竹子架上。用水泵抽蓄水池中的已加富营养(终浓度为 $\text{NO}_3\text{-N}$ $60 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ $30 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ $20 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) 的海水到试验桶中, 藻架固定在离水面约 50 cm 处。

试验从 09:00 开始, 到 18:00 结束, 持续 9 h, 一共采了 7 次样, 前 4 次每 1 h 取一次, 后 3 次每 2 h 取一次样; 流水试验预处理与静水的一样, 流水是用水泵抽蓄水池的加富海水从桶的底部进入, 桶满后从口部

溢出实现, 实验前测定各桶溢出的水流速度。各桶流速分别为: L 空白, $168.1 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$; L 1kg, $174.2 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$; L 2kg, $163.6 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$; L 4kg, $170.8 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

试验海水的比重为 1.020, 每次取样所测定的指标有: pH、水温(t_w)、三氮($\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$) 等, 所有指标都按《海洋监测规范》进行测定。

2 结果与讨论

2.1 各处理中水温和 pH 的变化

L 组的水温变化不如 J 组大[图 1(a)], 是因为来自蓄水池的海水水温相对稳定; 但两组的水温变化都在龙须菜的适温范围内(数据待发表)。龙须菜利用水体中的 C 源进行光合作用, 以及吸收利用营养盐等, 导致介质环境的 pH 上升, J 组由于没有外源水体的补充, pH 上升要比 L 组大一些, 在实验开始 3 h 后, J 组各处理的 pH 都已比 L 组的来得大[图 1(b)]。

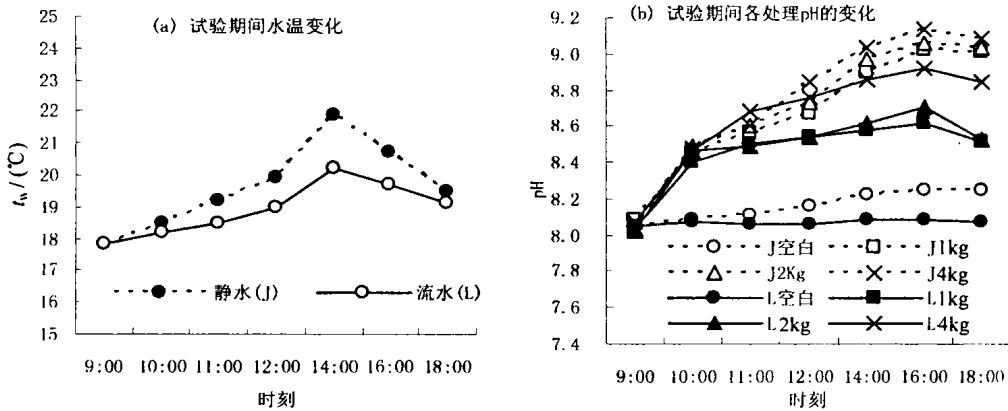


图 1 试验期间各处理的水温和 pH 的变化情况

Fig. 1 Variances of temperature and pH in each treatment in experiment

2.2 各处理中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的变化

放养龙须菜的各处理水体中的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度在实验开始后都有明显的下降[图 2(a)]。而由于没有外源营养的补充, J 组的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的下降幅度比 L

组要大的多, 各曲线也分得开的较为明显; $\text{NO}_3\text{-N}$ 的总的变化趋势与 $\text{NH}_4\text{-N}$ 相似, L 组的降幅小于 J 组, 组间差异很明显, 同一组内不同放养密度处理间也有明显的差别[图 2(b)], 而在 14:00 后, J 组

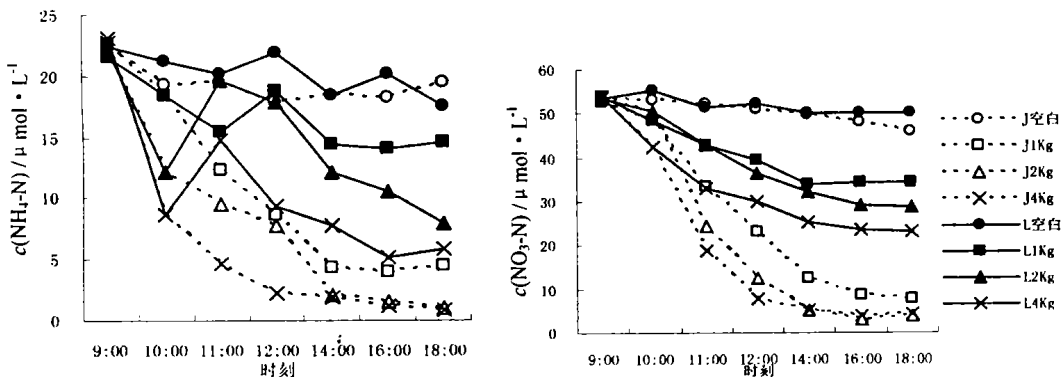


图 2 试验期间各处理的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 及 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的变化情况

Fig. 2 Variances of ammonium and nitrate in each treatment in experiment

中 2 kg 和 4 kg 处理 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的变化趋势较一致, 两曲线靠得很近, 这与这两个处理间 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的变化很相似, 可以推断在没有外源输入的情况下, 经过 3~5 h 的实验, 2 kg 处理与 4 kg 处理间对 N 吸收的差别不大, 都可达到大量吸收水体中的 N, 降低水体中富营养程度的效果。而水体中的 $\text{NO}_2\text{-N}$ 含量很低, 变化也不明显, 基本上是可以忽略不计。

从实验中还可看出, 在介质中有较高 $\text{NH}_4\text{-N}$ 存在的情况下, 龙须菜可同时吸收介质中的 $\text{NO}_3\text{-N}$, 这与很多浮游植物研究报道: 当介质中存在的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度 $> 1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 就很少或不吸收环境中的 $\text{NO}_3\text{-N}$, 即 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的存在能抑制浮游植物对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的利用的现象^[2,3] 不相一致。目前, 对许多的大型海藻的营养研究都发现有相同现象的存在, 尽管它们能优先选择吸收 $\text{NH}_4\text{-N}$, 但是即使在介质中有很高浓度的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 存在时也可吸收 $\text{NO}_3\text{-N}$ 而不受到抑制^[4,5], 有些还可以同时吸收 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ ^[6]。这可能与大型海藻的生理特性与微藻不同有关, 微藻体内的氮贮存库较小, 可能主要以无机氮的形式贮存在液泡内^[7], 而大型海藻尤其是那些能同时吸收 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的大藻, 它们体内的 N 的主要贮存形式是生物代谢物质, 如组织氮(包括构成细胞结构成分)、色素、氨基酸等^[8], 这些 N 的贮存量可多达到干重的 2% 以上^[9]。这些大藻都是机会种, 当环境中存在营养时, 就能高效吸收并贮存供营养缺陷时使用, 因此它们为了更好地生存, 发展了同时吸收不同形态的 N 功能。龙须菜就是这样的一种大型海藻, 本实验也证实其能同时吸收水体中的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 。龙须菜的这一特性为我们提供了一种很好的作为冬春季节(水温较低)营养污染海域的修复植物。

2.3 各处理龙须菜吸收 N 量比较

试验期间各处理中的龙须菜随时间变化吸收无机氮的量如图 3。从图中可见, 这个吸收量是相当惊人的, 这可能与实验前的暂养造成了龙须菜的饥饿有关, 当把这些龙须菜转移到富 N 的介质中时, 就会快速而大量地吸收 N。相似的情况在其它大藻中也有报道, 如处于 N 饥饿状态下的一种江蓠 *Gracilaria* spp 在 8 h 内就能快速吸收两倍于总组织 N 含量的 $\text{NH}_4\text{-N}$, 圆扁江蓠 (*G. tikvahiae*) 在 6 h 内吸收的 N 可供他在氮限制的环境中生活两周^[10]。还有一种海藻能够使组织内的氮含量达

到外界环境的氮含量的 28 000 倍, 占到其总干重的 2.1%, 而当在外界 N 含量下降后, 仍能维持 2 个月不受 N 限制的生长状态^[11]。这些都说明了大型海藻有快速吸收并大量贮存 N 的能力。

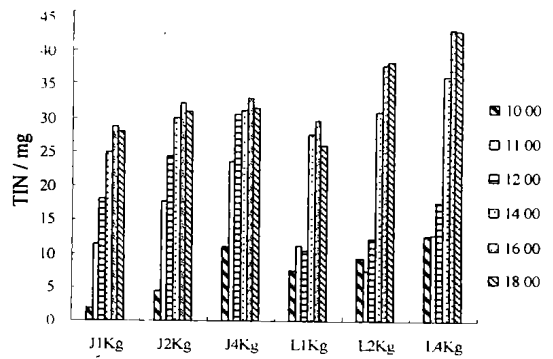


图 3 试验期间各处理的龙须菜吸收无机氮情况

Fig. 3 Inorganic nitrogen uptake of macroalgae in each treatment in experiment

从图中还可看到: 在 J 组中, 不同龙须菜放养密度的处理之间吸收无机氮的量与所放养的鲜藻量相关, 龙须菜放养的越多吸收 N 的量也越大; 但在 12 00 之后, 该组的 2 kg 与 4 kg 处理间, 两者在吸收 N 量上的差别就不明显了, 这可能有几个原因, 一是水体中的无机氮含量下降后, 造成了 4 kg 桶中大藻的生长抑制, 减少对 N 的吸收; 二是藻体光合作用产生的氧气以小气泡的形式逸出, 有些小气泡粘附在藻体的表面, 阻碍了其对 N 的吸收, 因为 4 kg 桶中藻量多产生的气泡也多, 藻密度高造成气泡逸出慢, 阻碍吸收更严重。因此, 在本实验的静水试验中, 可以推测 0.5 t 桶中放养 4 kg 的龙须菜密度太高了。由于吸收实验一般都要求时间不能太短, 一般要求试验持续 4 h 以上, 本试验 9:00 到 12:00 仅 3 h 就出现吸收抑制, 因此静水试验在一定程度上会对结果造成影响。

在 L 组中, 前几次采样各处理间的 N 吸收差别不是很大, 不知是何原因。但从后几次来看各处理间的差别非常明显, 且各处理吸收的 N 量都高于 J 组相对应处理, 说明流水至少能缓解一部分由于上述原因造成的 N 吸收的抑制作用; 随着试验时间的延长, 藻体对 N 的吸收量也在不断增加, 尽管存在着 2 kg 和 4 kg 处理间的结果差别不大, 这也再一次说明了放养 4 kg 鲜藻量是太多了。流水试验吸收的 N 量较 J 组多, 尤其在 2 kg 和 4 kg 处理, 在水流速度不大的情况下 ($160\sim 175 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$), 较静水相应处理多吸收了 5.80、10.25 mg (16:00) 和 7.64、11.59 mg (18:00), 分别比静水组吸收增

加了 24、31 和 18、27%。这也说明水流速度对藻类营养吸收和生长是很重要的, Kain 和 Norton^[12]认为水流能改变藻体周围的水体, 补充藻体的营养供给, 带走藻体产生的废物及阻止泥沙在藻体表面的沉积等等; 边界层即最接近于藻体表面的水层, 由于粘着作用使水的流速减少, 营养盐经扩散作用通过边界层, 当有水流时扩散变得更为有利。在对 *Macrocystis pyerfera* 的研究中发现当作用于该藻叶状体上的水流速度从 0 增加到 $4 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 其光合产量增加了 300%^[13]。因此进行藻体的营养吸收研究时, 最好采用流水方式, 才能获得较理想的结果。

3 小 结

用于筛选高效的营养污染修复植物的生理生态学的研究工作, 非常重要。目前室内的静水试验可能存在着一些缺陷: 试验导致介质中的 pH 升得过高, 试验时间稍延长就可能造成营养吸收的抑制, 以及由于藻体周围边界层的加厚产生局部的营养不足等等, 都有可能使所得的结果产生不准确。采用流水可以改变藻体周围的水体, 补充藻体的营养供给, 还可以起到稳定介质的作用, 所得的结果更符合于自然环境中海藻的营养吸收和生长状况。本实验在水流不大的条件下 ($160 \sim 175 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$), 流水试验组内水温相对稳定 (温差 J 组 4.1°C 、L 组 2.4°C); pH 升幅小, 流水组在试验期间 pH 一直小于 9; 介质中的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 及 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的浓度较高, 相对不会造成 N 的抑制; 尤其是吸收无机氮的量, 流水组藻体较静水组相应处理多吸收了 N 5.80、10.25 mg (16:00) 和 7.64、11.59 mg (18:00), 即分别比静水条件下吸收增加了 24、31 和 18、27%。因此, 在有条件时, 尽量采用流水条件进行藻类的营养吸收的筛选工作。

致谢: 厦门大学环境科学研究中心 2001 级本科生孙广大、张显会同学参加了营养盐分析, 海洋三所的刘俊明同志参与海藻养殖, 在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1] GAO K, MCKINLEY K R. Use of macroalgae for marine biomass production and CO₂ remediation: A review [J]. J Appl Phycol, 1994, 1: 45-60.
- [2] DORTCH O. The interaction between ammonium and nitrate uptake in phytoplankton [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1990, 61: 183-201.
- [3] LOMAS M W, GLIBERT P M. Interactions between NH₄ and NO₃ uptake and assimilation: Comparison of diatoms and dinoflagellates at several growth temperature [J]. Mar Biol, 1999, 133: 541-551.
- [4] HANISAK M D, HARLIN M M. Uptake of inorganic N by *Codium fragile* [J]. J Phycol, 1978, 14: 450-454.
- [5] TOPINKA J A. Nitrogen uptake by *Fucus spiralis* (Phaeophyceae) [J]. J Phycol, 1978, 14: 241-247.
- [6] OKHYUN A, ROYANN J P, PAUL J H. Ammonium and nitrate uptake by *Laminaria saccharina* and *Nereocystis luetkeana* originating from a salmon sea cage farm [J]. J Appl Phycol, 1998, 10: 333-340.
- [7] GERLOFF G C, KROMBOLZ P H. Tissue analysis as a measure of nutrient availability for the growth of angiosperm aquatic plants [J]. Limnol Oceanogr, 1966, 11: 529-537.
- [8] JONES A B, DENNISON W C, STEWART G R. Influence of nitrogen source and availability on amino acids pigments and tissue nitrogen of *Gracilaria edulis* (Rhodophyta) [J]. J Phycol, 1996, 32: 757-766.
- [9] HANISAK M D. Nitrogen limitation of *Codium fragile* ssp. *Tomentosoides* as determined by tissue analysis [J]. Mar Biol (Berlin), 1979, 50: 330-337.
- [10] RYTHER J H, CORWIN N, DEBUSK T A, et al. Nitrogen uptake by the red algae *Gracilaria tikvahiae* [J]. Aquaculture, 1981, 26: 107-115.
- [11] CHAPMAN A R O, CRAIGIE J S. Seasonal growth in *Laminaria longicruris*: Relations with dissolved inorganic nutrients and internal reserves of nitrogen [J]. Mar Biol (Berlin), 1977, 40: 197-205.
- [12] KAIN J M, NORTON T A. Marine Ecology [A]. COLE K M, SHEATH R G. Biology of the Red Algae [C]. Cambridge: Cambridge Univ Press, 1990.
- [13] WHEELER W N. Effect of boundary layer transport on the fixation of carbon by the giant kelp *Macrocystis pyrifera* [J]. Mar Biol, 1980, 56: 103-110.