

间歇施肥对龙须菜的生长 和化学组成的影响*

黄晓航 温宗存 彭作圣 吴超元

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 于1984年5—7月在青岛麦岛氮营养盐贫瘠的海区,对人工养殖的龙须菜进行间歇施肥现场实验。结果表明,龙须菜可以在短时间里快速吸收氮盐并累积在藻体内以用于生长;经间歇施肥的藻体生长较快,产量较对照组的高88%;藻体化学组成分析结果显示,龙须菜体内含氮化合物和碳水化合物组成呈现负相关变化,存在氮低糖高、糖低氮高的现象。以上结果提示,对氮盐贫瘠海区人工养殖的龙须菜间歇施肥,可以促进藻体生长,提高产量;在养殖后期适时停止施肥,有利于藻体累积碳水化合物,从而达到提高琼胶产量的目的。

关键词 龙须菜 人工养殖 间歇施肥 琼胶

学科分类号 S968.4

海水中氮盐的多寡是制约海藻生长的重要因素之一。许多海藻可以在短时间里快速吸收海水中的氮盐并以各种形式在藻体内累积,在生长过程中利用。这种对氮的吸收与累积还涉及到藻体内碳代谢及其他代谢过程。自80年代始,国内外使用流动水槽等有控生态系统,对江蓠属海藻的氮营养进行了研究,由于试验条件的局限性,这些研究结果尚需要在自然环境或是人工养殖条件下进行验证。龙须菜是重要的琼胶原料藻和优良的养殖种类。作者在流动水槽中对其研究的同时(黄晓航等,1989),亦在氮盐贫瘠的海区采用间歇施肥法对其进行现场实验,以期增进对龙须菜的生长及体内氮、碳代谢关系的进一步了解,进而为龙须菜的人工养殖和合理施肥提供科学依据。

1 材料与方法

于1984年5月25日—7月7日在青岛麦岛海区进行试验共历时44天。试验前于青岛湛山湾海区采集龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)。选取大小、长度、色泽一致的藻体做苗,采用筏式垂直挂养,设立施肥组和对照组。每组夹苗十绳,每绳夹苗十簇,每簇夹苗2.3g,簇间距10cm。苗绳挂养在大绳上,保持在水下0.5—1.5m处。试验期间海区硝态氮浓度为0.03—0.54 $\mu\text{mol/L}$,铵态氮浓度为0.9—1.9 $\mu\text{mol/L}$;水温在14.9—20.8 $^{\circ}\text{C}$ 。麦岛海区施肥组采用间歇施肥法处理,即每隔3d将材料取回浸泡在浓度为10mmol/L的 NH_4Cl 加富海水中吸收1h,然后将含氮海水洗净,再将材料放回海中挂养;对照组也同时

* 黄晓航,出生于1949年5月,博士,副研究员,现在Department of Physiology, University of Toronto, Canada, E-mail: xiaohang.huang@utoronto.ca

收稿日期: 1996-09-01, 收修改稿日期: 1998-06-02

取放。于同一时间还在青岛栈桥海区设立了肥区对照组, 挂养 20 绳, 不进行施肥处理。其他选苗和养殖条件与麦岛海区组大体一致。每 6—9 天对材料称重一次并测量藻体长度, 依据 DeBoer 公式(1981)计算生长速度。

供化学分析的样品于间歇施肥前随机取样, 洗净后在红外灯下烘干粉碎, 过 60 目筛后放入干燥器中备用。分析前再将样品放在 80℃ 烘箱中烘至恒重后使用。总氮和总碳含量是用 Perkin-Elmer 240C 元素分析仪测定。蛋白质含量是将样品于室温下用 1mol/L 的 NaOH 提取 24h, 然后按 Lowry 等(1951)法分析。总碳水化合物含量是将样品于 80℃ 以 5% 三氯乙酸提取后按 Kochert(1978)法分析。游离低分子碳水化合物含量是将样品于 75℃ 以 80% 乙醇提取后按同法分析。

海水中的铵氮和硝氮含量, 分别按照高风鸣等(1980)和 Riddell(1936)的方法测定。

2 结果

2.1 龙须菜的生长速度

在整个试验期间, 龙须菜的生长速度表现为: 在试验开始阶段低, 中间阶段高, 后期低, 呈现一种抛物线形的变化(见表 1)。在开始的第一周里, 麦岛海区施肥组与对照组生长速度没有差别; 从第二周起, 施肥组生长速度开始高于对照组的并保持其优势直到试验结束。在试验后期, 两组材料的差异尤为明显, 整个试验期间, 施肥组平均日增长率为 8.6%, 较对照组的日平均值高 1.2%; 较栈桥肥区对照组的低 0.5%。经过 44d 的养殖试验, 施肥组每绳藻体平均重量和平均长度均高于对照组的, 施肥组由试验开始时每绳平均重 23g 增至试验结束时的 687g, 每绳较对照组的重 321g, 产量高 88%。平均藻体长度则由开始时的 19cm 增至 97cm, 较对照组的长 26cm。

表1 麦岛海区施肥与对照组, 以及栈桥肥区对照组龙须菜的日增长速率(%)

Tab.1 Growth rates of *G. lemaneiformis* in fertilized group and controls cultivated in Maidaoh area and nitrogen rich Pier area in Qingdao (%)

日期(d)	7	13	19	28	35	44	平均值
麦岛海区施肥组	6.3	9.7	12.3	10.4	8.8	4.2	8.6
麦岛海区对照组	6.3	8.7	11.3	8.3	8.1	1.7	7.4
栈桥肥区对照组	10.2	10.4	9.3	12.6	7.2	4.9	9.1

2.2 龙须菜化学组成的变化

龙须菜总氮、总碳含量和 C/N 比值的变化见表 2。龙须菜的总氮含量在 1.60%—3.25% 之间, 施肥组的略高于对照组; 总碳含量在 28.34%—31.30% 之间, 施肥组的略低于对照组; C/N 比值在 9.32—19.56 之间, 其变化趋势与总碳相同。龙须菜蛋白质、总碳水化合物、低分子碳水化合物含量的变化以及蛋白质与碳水化合物之比的变化见表 3。蛋白质含量的变化与总氮的变化趋势是相同的, 即施肥组蛋白质含量略高, 在 6.23%—12% 之间, 而对照组略低, 在 6.07%—11.7% 之间, 二者间没有明显的差异。总碳水化合物含量的变化为, 施肥组略低, 在 42.7%—50% 之间; 对照组略高, 在 44.1%—53.9% 之间。低分子碳水化合物的变化与总碳水化合物的变化相同, 但其变化幅度比较大, 施肥组较低, 在 2.85%—5.23% 之间; 对照组较高, 在 3.67%—5.44% 之间; 总碳水化合物和低分子碳水化合物的含量都是对照组高于施肥组。综合表 1 和表 3 还可以看出, 总氮、蛋白质和总碳水

表2 麦岛海区施肥与对照组龙须菜总氮(TN)、总碳含量(TC)和C/N比值的变化¹⁾

Tab. 2 Total nitrogen (TN), total carbon contents (TC) and C/N ratio in fertilized *G. lemaneiformis* and in control in Maidao area in Qingdao

日期(d)	麦岛海区施肥组			麦岛海区对照组		
	TN	TC	C/N	TN	TC	C/N
1	2.31	30.42	13.17	2.31	30.42	13.17
7	1.84	30.12	16.37	1.69	30.31	17.93
13	3.20	29.82	9.32	3.04	29.42	9.68
19	2.74	29.44	10.75	2.75	30.66	11.75
28	2.39	28.34	11.86	2.00	29.19	14.60
35	1.73	29.34	16.96	1.60	31.30	19.56
44	3.25	28.50	11.80	2.11	29.80	14.19

1) 总氮和总碳含量以干重的百分比表示

表3 龙须菜蛋白质(P)、总碳水化合物(TCHO)、低分子碳水化合物含量(LMWCHO), 以及蛋白质与碳水化合物之比的变化

Tab. 3 Protein (P), total carbohydrates (TCHO), low molecular weight carbohydrates contents (LMWCHO) and protein/carbohydrate ratio in both fertilized and control *G. lemaneiformis* in Maidao area in Qingdao

日期(d)	麦岛海区施肥组				麦岛海区对照组			
	P	TCHO	LMWCHO	P/TCHO	P	TCHO	LMWCHO	P/TCHO
1	8.67	49.6	3.93	0.17	8.67	49.6	3.93	0.17
7	7.36	50.0	5.61	0.15	6.41	49.7	5.44	0.13
13	11.68	43.7	3.30	0.27	11.70	44.1	3.67	0.27
19	10.41	42.9	5.23	0.24	10.12	44.9	4.59	0.23
28	8.77	45.5	4.67	0.19	7.32	47.1	5.10	0.16
35	6.23	47.1	5.07	0.13	6.07	53.9	5.29	0.11
44	12.00	42.7	2.85	0.28	7.86	44.8	4.14	0.18

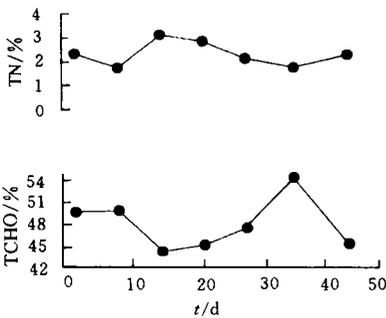


图1 龙须菜藻体总氮(TN)与总碳水化合物(TCHO)的负相关关系
Fig.1 Inverse relationship of total nitrogen (TN) and total carbohydrates (TCHO) in *G. lemaneiformis* in Maidao area in Qingdao

化合物含量的变化呈现负相关的关系,即藻体含氮量降低时,碳水化合物含量增高;反之亦然。见图1。

3 讨论与结论

3.1 间歇施肥同龙须菜生长的关系

试验结果显示,麦岛试验海区海水中氮浓度经常在 $1\mu\text{mol/L}$,最高在 $2\mu\text{mol/L}$ 左右,属于氮营养盐贫瘠海区。氮盐无疑已经成为龙须菜生长的限制因子。通过间歇施肥,为人工养殖的龙须菜增加了氮源,使施肥组生长速度比较接近栈桥海区肥区对照组的水平。在试验后期麦岛海区对照组生长速度仅为 1.7%,生长基本处于停滞状态的情况下,施肥组仍能保持 4.2% 的日增长率,产量较对照组高的 88%。显示这一措施可以使藻体生长期延长、产量增加,有明显的增产效果。这些结果不仅验证了笔者以及 DeBoer(1979)和 Bird

等(1982)利用流动水槽小水体取得的研究结果。而且反映自然状态和生产现场环境中氮盐对藻体生长和化学组成的影响。

3.2 间歇施肥同龙须菜氮累积的关系

在本试验中测到的藻体总氮和蛋白质含量,在施肥组与对照组之间差异并不明显,显示施用的氮盐大部分已被藻体利用。这一结果表明,在适宜的生长条件和施肥条件下,藻体吸收的氮主要用于生长,并没有在藻体中建立氮储备。在试验的第13天,在施肥组和对照组都测得了氮含量的高峰,显示藻体利用海水中暂时性营养盐高峰大量吸收并累积在藻体中建立起氮储备。试验结果显示,这一氮储备随后被用于生长,表现在随后一周于施肥组和对照组都测得了生长高峰。此后随着体内氮储备的减少,藻体生长速度也不断下降。在试验后期,随着生长趋缓,施肥组藻体内又重新建立起氮储备,总氮含量较对照组的高出54%,这一结果表明,龙须菜能在短时间里快速吸收氮盐,在满足生长需要的同时建立氮储备以供日后生长的需要。这一结果也在海区现场验证了黄晓航等(1989), Bird等(1982)、Lapointe等(1979)和Lapointe(1981)在流动水槽中对江蓠属海藻所作的试验结果。由于北方许多海区海水含氮量较低,龙须菜的适温期较短,藻体又具有氮储备的能力,因而对人工养殖的龙须菜间歇施肥,适合龙须菜的生理特性,可以促进生长增加产量。

3.3 间歇施肥同龙须菜碳水化合物累积的关系

在本试验中,龙须菜的总氮、蛋白质同总碳水化合物、低分子碳水化合物之间存在负相关的关系,这表明,藻体在吸收与同化氮盐的过程中不仅涉及到氮代谢,而且还涉及到碳代谢过程。藻体吸收,同化氮盐可能改变体内碳的流向,即较多地转向合成含氮化合物;而当氮供应受限,就较多地转向合成碳水化合物。形成氮低糖高或氮高糖低的现象。这一结果与笔者在流动水槽试验的结果是一致的(黄晓航等,1989)。针对这一现象,DeBoer(1979)建议在养殖江蓠的后期适时停止施肥,以利于碳水化合物累积。本试验后期施肥组藻体生长减缓,含氮量上升到3.25%,表示藻体对氮处于过量吸收(luxury consumption)的状态。在这种情况下,适时停止施肥,使藻体总氮保持适宜的低水平,应有利于碳水化合物的累积和提高琼胶产量。

3.4 对龙须菜氮营养状态的估计

测定藻体生化指标可以直接揭示藻体的氮营养状态,以决定人工施肥的时间与强度。含氮量是最直观的生化指标。Hanisak(1979)和DeBoer(1979)都提出过“氮临界点浓度”的概念,用以衡量海藻是否缺氮。例如叶江蓠的氮临界点浓度就在1.8%—2.0%左右。比照这一标准,本试验中施肥组藻体含氮量有两次已经处于临界点,说明施用的氮肥不足,藻体处于缺氮状态。 C/N 比值和蛋白质与碳水化合物之比也常被用来衡量藻体是否缺氮。一般认为, C/N 比值在10以下,藻体生长不缺氮; C/N 比值在10—15之间,藻体含氮量开始进入临界值(DeBoer,1981)。在本试验中,当藻体总氮低于1.9%时,其 C/N 比值都高于15,显示这两种指标都能反映藻体的氮营养状态。此外藻体的色素变化也能反映其是否缺氮。Lapointe(1981)指出,江蓠的藻红蛋白占到蛋白质总量的20%,在缺氮时往往首先被动用,引起色泽变化。在本试验中,藻体含氮量高时外观呈褐红色;在多数情况下藻体呈棕褐色,而在藻体含氮量处于临界点之下时,藻体呈现棕黄色。因此用外观色泽的变化来估计藻体的氮营养状态无疑是非常简便和直观的一种方法。

3.5 结论

龙须菜可以在短时间里大量吸收氮盐以满足生长的需要。因此,对人工养殖的龙须菜适时进行间歇施肥,可以达到促进生长、增加产量的目的。

龙须菜体内含氮化合物与碳水化合物的变化呈现负相关的关系,因而在养殖后期适时停止施肥,有利于碳水化合物的累积,提高琼胶产量。

龙须菜的生长是否处于缺氮状态可以用多种方法估计,包括测定总氮含量、C / N比值等生化指标。也可以用目测方法观察藻体色泽的变化粗略地估计藻体的氮营养状态以确定合适的施肥时间与施肥强度。

参 考 文 献

- 高凤鸣 张淑华 汪心源等,1980. 次溴酸钠氧化法测定海水中氨氮的研究. 海洋湖沼通报,4: 41—46
- 黄晓航 温宗存 吴超元,1989. 氮氮对龙须菜含氮化合物和碳水化合物组成的影响. 海洋与湖沼,20(6): 491—501
- Bird K T, Habig C, Debusk T, 1982. Nitrogen allocation and storage patterns in *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta). J Phycol, 18:344—348
- DeBoer J A, 1979. Effects of nitrogen enrichment on growth rate and phycocolloid content in *Gracilaria foliifera* and *Neogardhiella baileyi* (Florideophyceae). Proc Int Seaweeds Symp, 9:263—271
- DeBoer J A, 1981. Biology of Seaweeds. Cambridge, MA, USA: Blackwell Sci. Press. 356—392
- Hanisak M D, 1979. Nitrogen limitation of *Codium fragile* spp. tomentosoides as determined by tissue analysis. Mr Biol, 50:333—337
- Kochert G, 1978. Physiological and Biochemical Methods. London: Cambridge Univ Press. 95—99
- Lapointe B E, Ryther J H, 1979. The effects of nitrogen and seawater flow rate on the growth and biochemical composition of *Gracilaria foliifera* var. *angustissima* in mass outdoor cultures. Bot Mar, 22:529—537
- Lapointe B E, 1981. The effect of light and nitrogen on growth, pigment content and biochemical composition of *Gracilaria foliifera* var. *angustissima*. J Phycol, 17:90—95
- Lowry O H, Rosebough N G, Farr A I *et al*, 1951. Protein measurements with the folin phenol reagent. J Biol Chem, 193:265—275
- Riddell W A, 1936. The reduced-strychnine method for determining nitrates in sea water. Biol Board Canada, 2(1):1—11

EFFECT OF INTERMITTENT NITROGEN FERTILIZATION ON GROWTH AND CHEMICAL CONSTITUENTS OF *GRACILARIA LEMANEIFORMIS*

HUANG Xiao-hang, WEN Zong-cun, PENG Zuo-sheng, WU Chao-yuan

(Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract The effect of ammonium nitrogen fertilization on growth and chemical constituents of cultured *Gracilaria lemaneiformis* was studied using the data collected from the Maida area in Qingdao from May to July, 1984. The thalli were tied on floating ropes and kept 0.5—1m underneath the sea surface. The total nitrogen level ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) in ambient seawater was 0.93—2.44 $\mu\text{mol} / \text{L}$ and the seawater temperatures were 14.9—20.8 $^{\circ}\text{C}$ during the experiments. For the nitrogen fertilized group, the thalli were intermittently immersed in the seawater with a NH_4Cl concentration of 10mmol / L for 1 hour at 3-day intervals. The samples for chemical analysis were collected before fertilization. For every 6—9 days, the weight and length of the thalli were measured and growth rates calculated. The results show that the fertilized thalli had an average growth rate of 8.6% per day, 1.2% higher than the unfertilized group. This growth rate was close to that cultivated in the nitrogen rich Pier area (Tab. 1). At the end of the experiment, the average biomass of fertilized thalli was 687g / rope. It was 88% increase over that of the control group. Chemical analysis shows that there were slightly higher levels of total nitrogen (Tab. 2) and protein content (Tab. 3) in fertilized thalli, indicating that the absorbed nitrogen was mostly utilized for growth. The total carbohydrate and low molecular weight carbohydrate contents were slightly higher in the control group (Tab. 3). An inverse relationship of total nitrogen with total carbohydrates and proteins with low molecular weight carbohydrates was observed (Fig. 1). The accumulation of nitrogen in fertilized thalli at later periods of cultivation suggests that to halt nitrogen fertilization at this time may help the accumulation of polysaccharide and increase the output of the agar. For efficient nitrogen fertilization, different methods for evaluating critical nitrogen point are discussed; the simplest way is observing the thali pigments variation in order to determine the proper time and strength of nitrogen application.

Key words *Gracilaria lemaneiformis* Aquaculture Intermittent fertilization Agar

Subject classification number S968.4