龙须菜在鱼藻混养系统中的生态功能*

胡海燕[1,2] 卢继武[1] 周 毅[1] 杨红生[1]
([1]中国科学院海洋研究所)
([2]中国科学院研究生院)

近年来,随着海水养殖产业的迅速发展,养殖规模的不断扩大,养殖区的自身污染问题也日益显露,以人工投饵和网箱养殖方式为主的浅海鱼类养殖,残饵和鱼体的代谢产物往往导致水体的富营养化和底质的有机污染,既影响周围环境,又不利于鱼类的生长和健康,长远意义上还会制约整个鱼类养殖业的持续发展。怎样减轻海水养殖造成的自身污染和对生态环境的破坏,已成为人们日益关注的问题,国内外学者已提出多种解决这一问题的途径,其中一条重要途径是通过优化养殖结构,实施综合养殖,发展生态养殖技术(杨圣云等, 1996; 杨红生, 2000; 阎希柱等, 2000)。目前国际上,主要的综合养殖方式包括鱼藻混养、鱼贝混养、鱼类与底栖沉积食性动物混养等。近年来的研究又发现,在富含营养盐的鱼类养殖水体中养殖大型海藻,不仅能显著降低养殖废水中的溶解营养盐,而且能提高海藻的产量(Troell, 1999),鱼藻的相互作用重新激起了人们的兴趣,但大型海藻与鱼类混养的基础理论和关键技术还刚刚起步,养殖容量和养殖配比等方面尚亟待研究。

江蓠属龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)是一种大型红藻,具有适温范围较广(12 ~ 23 ℃)、生长快、适应环境能力强和经济价值高等优点,是改善生态环境、提高经济效益的理想品种。本项研究利用室内海水养殖系统,将龙须菜和我国北方海域的代表性养殖鱼类——黑[illegible](*Sebastodes fuscescens*)进行混养,设计不同的养殖密度,测定若干水环境和生物因子指标,旨在查明江蓠在鱼类养殖系统中的生态效应,初步寻求合理的养殖配比,为今后大规模运用大型海藻改善养殖区环境提供科学依据。

一、材料与方法

1. 养殖系统

实验黑[illegible]购自青岛崂山养殖区,体重为 70 ~ 120 g,实验前用 2 ~ 4 mg/L 的氯霉素溶液处理,并驯养 8 d,龙须菜取自广东湛江海域,实验前在同一实验池中暂养 20 d,实验海水取自中国科学院海洋研究所水族楼的海水蓄水池,实验生物的放养情况见表 1。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 4448 号。
中国科学院知识创新工程项目 KZCX2-403、211 号; 国家基础研究规划资助项目 G1999012012 号; 山东省科技攻关课题"浅海鱼藻混养技术"。
收稿日期: 2001 年 11 月 14 日。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://v

表 1 养殖系统龙须菜和黑[illegible]的组合与放养量

实验池号	龙须菜		黑[illegible]	
	数量/串	生物量/(g/m²)	数量/条	生物量/(g/m²)
1#	0	0	0	0
2#	0	0	10	262
3#	3	118	10	274
4#	6	236	10	265
5#	9	354	10	285
6#	12	472	10	291

养殖设备为 6 个直径 1.8m、深 1.2m 的玻璃钢桶, 放置在室外, 顶部遮蔽有透光性较好的塑料棚, 5 个为养殖池, 1 个为空白对照池。实验池用气泵充气, 实验期间不换水, 仅补充因蒸发损失的水量。

2. 取样和测定

日常观测项目有水温、光照、盐度和溶解氧(DO)。观测时间为每天上午 8:30~9:00。每周取水样检测营养盐(NO_3-N、NO_2-N、NH_4-N、PO_4-P)、总颗粒物质、颗粒有机物(POM)、颗粒有机碳(POC)、颗粒氮(PN)和叶绿素 a(Chla)。养殖生物的生长情况在实验开始和结束时测定。营养盐用 Skalar San & Plus 微量自动分析系统分析, POC 和 PN 用 P-E240C 元素分析仪分析, 叶绿素 a 用岛津公司的 RF-5301 型荧光分光光度计测定, 溶解氧采用碘量法测定, 养殖生物的生长指标采用下列公式计算

$$SGR\,\% = 100\{\ln(N_t/N_0)\}/t \quad (1)$$

式中, SGR 为特定生长率(%); N_0 为初始鲜质量(g); N_t 为一定时间后的鲜质量(g); t 为时间(d)。

$$FCR = fw_0/fw_1 \quad (2)$$

式中, FCR 为食物转化率; fw_0为摄食鲜质量(g); fw_1 为增长鲜质量(g)。

3. 实验管理

实验时间为 2001 年 4 月 24 日至 6 月 2 日, 每天 9:00 和 16:00 投饵, 饵料为去头和内脏、切成小段的冰鲜玉筋鱼(*Ammodyte spersonatus*), 投饵量为黑[illegible]体重的 2%~3%, 各养殖池投喂量相同, 同时检查黑[illegible]的活动情况, 定期刷洗养殖池壁, 防止附着藻的滋生。

二、结 果

1. 环境因子

实验期间水温为 13~22 ℃, 盐度为 31.7~33.1, 光照阴天为 50~110 μmol/(s/m²), 晴天为 700~1200 μmol/(s/m²), 溶解氧为 5.70~7.95 mg/L。

2. 营养盐

表 2 为养殖池亚硝酸盐氮(NO_2-N)和硝酸盐氮(NO_3-N)的含量。黑[illegible]单养池中, 二者均在 3 周后开始增加, 尤其是后期增加很快, NO_3-N 和 NO_2-N 含量分别达 42 μmol/L 和 16 μmol/L; 鱼藻混养池中, NO_2-N 和 NO_3-N 的含量在整个实验过程中一直处在较低的水

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://v

平, NO_3-N 为 0.20～1.40 μmol/L, NO_2-N 为 0.20～0.99 μmol/L, 与空白对照池接近。

表 2 实验池中 NO_2-N 和 NO_3-N 的含量

取样日期	NO_2-N(μmol/L)			NO_3-N(μmol/L)		
	空白池(1#)	单养池(2#)	混养池平均值(3#, 4#, 5#, 6#)	空白池(1#)	单养池(2#)	混养池平均值(3#, 4#, 5#, 6#)
4 月 24 日	0.18	0.20	0.22±0.02	0.89	0.95	1.00±0.25
5 月 1 日	0.33	0.37	0.29±0.10	1.25	1.76	0.21±0.17
5 月 8 日	0.21	0.33	0.70±0.25	0.72	1.61	0.74±0.44
5 月 16 日	0.26	0.66	0.33±0.21	0.76	1.47	0.41±0.09
5 月 24 日	0.32	2.83	0.33±0.10	0.81	7.22	0.58±0.17
6 月 1 日	0.26	16.45	0.38±0.10	0.44	42.75	0.64±0.28

图 1 为各养殖池氨氮(NH_4-N)含量的比较。实验前 3 周, 单养池 NH_4-N 含量随时间递增, 达到 42.7 μmol/L 后迅速下降, 与同期 NO_3-N 和 NO_2-N 含量的变化相反; 混养池 4 号、5 号和 6 号的 NH_4-N 含量始终处在较低的水平, 低于 4.3 μmol/L; 3 号混养池 NH_4-N 含量的变化情况则与单养池相似, 可能与 3 号池龙须菜放养密度较低, 而浮游植物生物量较高有关。

单养池溶解无机氮(DIN)含量的波动幅度较大, 3 周后上升至 44.86 μmol/L, 逐渐下降至 22.27 μmol/L, 实验结束时又上升, 高达 64.85 μmol/L, 前 3 周 DIN 与铵氮含量的变化一致, 实验后期, 尽管 NH_4-N 的含量下降, 但同期 NO_3-N 和 NO_2-N 的含量迅速上升, 故后期 DIN 的含量还是大幅上升, 不过此时 NH_4-N 已不是氮盐存在的主要形式。混养池中, 除 3 号在 2 周后出现一峰值外, 其他混养池 DIN 的变化幅度很小, 各实验池均处在较低的水平, 平均为 2.53 μmol/L(图 2)。

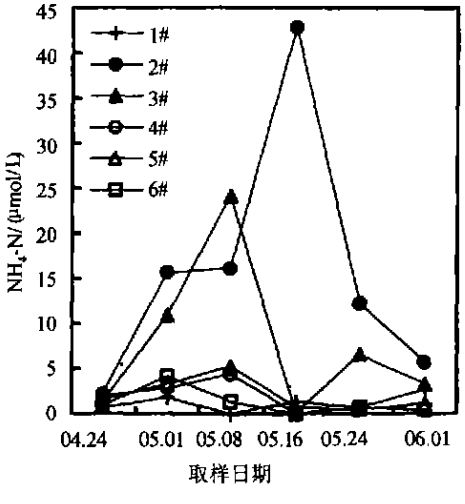

图 1 各实验池氨氮含量比较

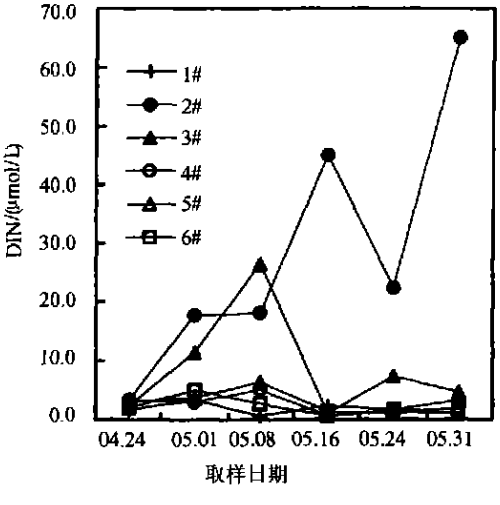

图 2 各实验池总溶解无机氮含量比较

养殖池磷酸盐(PO_4-P)的变化范围为 0.16～1.44 μmol/L, 其中 2 号单养池略高于

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://v

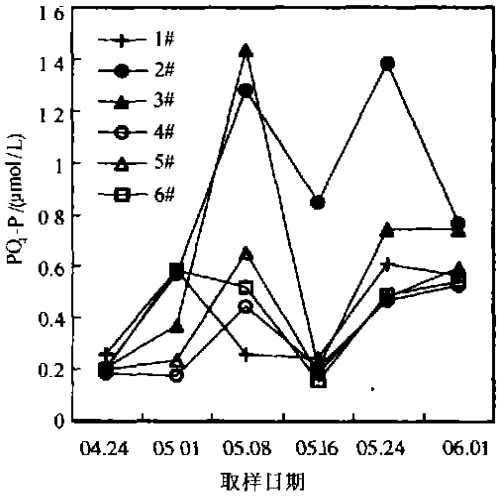

图 3 各实验池磷酸盐含量的比较

混养池，平均为 0.84 μmol/L，3 号池的 PO_4-P 和 NH_4-N 含量变化相似，前期增幅明显，2 周后迅速下降，后期又有所回升（图 3）。其他混养池 PO_4-P 的含量变动较小，数值较低。

3. 悬浮颗粒物质和叶绿素 **a**（Chla）

养殖池颗粒有机物（POM）的含量为 5 ~ 36 mg/L，空白对照池为 8 ~ 14 mg/L，2 周后，各养殖池 POM 的含量增加，其中 3 号混养池高于其他养殖池。由图 4 和图 5 可看出，养殖池颗粒有机碳（POC）含量与叶绿素 a 含量的变化相似，尤其是 3 号混养池和单养池，二者含量均在 2 周后迅速上升，远高于其他养殖池，单养池则在 4 周后迅速增加并超过 4 号、5 号和 6 号混养池，实验后期，单养池 Chla 含量为 74 mg/m^3，POC 含量为 476 mg/L，混养池的增长势头被抑制，其中 4 号最早减弱增长势头，Chla 含量稳定在 30 mg/m^3 左右，POC 含量由 296 mg/L 降至 259 mg/L，颗粒氮（PN）的含量变化也与 POC 相似。

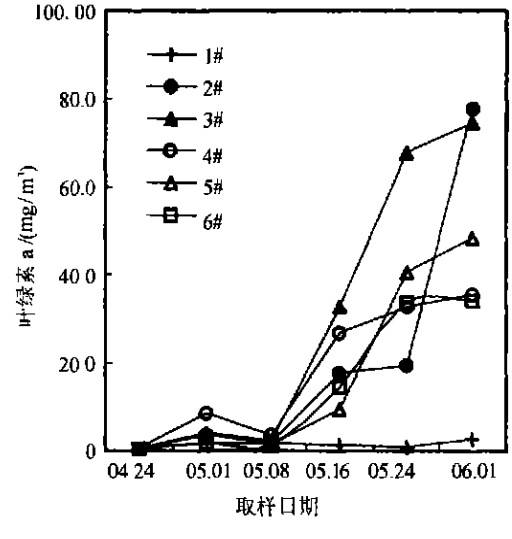

图 4 各实验池叶绿素 a 含量的比较

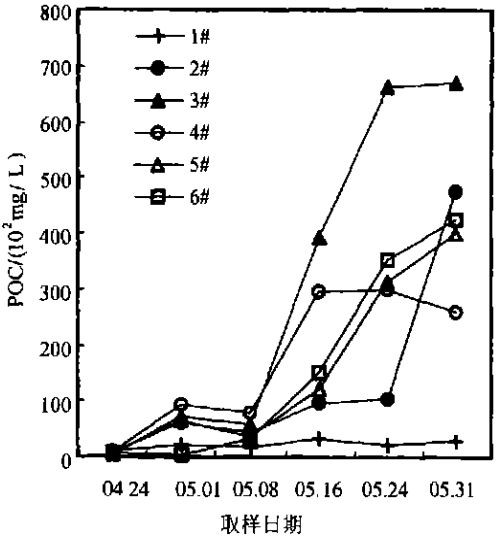

图 5 各实验池颗粒有机碳含量比较

一般来说，春季养殖池中的悬浮物主要是有机物，且以浮游生物为主。如果以叶绿素 a 的含量来反映浮游植物的生物量，则叶绿素 a 和 POC、PN 等颗粒物质指标有一定的联系。本文通过对叶绿素 a、POC 和 PN 的相关分析表明，三者相关性强，且相关系数均大于 0.9（表 3）。

表 **3** 叶绿素 **a**、**POC** 和 **PN** 的相关性

	POC	PN	Chla
POC	1		
PN	0.980	1	
Chla	0.966	0.942	1

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://v

4. 养殖生物的生长

表 4 为实验生物的增长量、特定生长率、食物转化率和存活情况, 由于限量投喂等原因, 总的来看, 各实验池黑[illegible]的生长较缓慢, 生长速度差别不大, 混养池中黑[illegible]的鲜增长量和特定生长率较 2 号单养池略高, 且具有较小的食物转化率和死亡率。混养池中, 龙须菜具有较高的生长速度, 特定生长率的平均值为 4. 05%, 其中 4 号池最高, 为 4. 5%。实验期间正处于春季, 水温、光照等环境条件都有利于海藻的生长, 大型海藻组织内丰富的营养库大量吸收营养盐, 藻体颜色由浅转深, 环境营养盐的浓度则很低。

表 **4** 龙须菜和黑[illegible]的生长情况

实验池	黑[illegible]的生长情况				龙须菜的生长情况	
	增长量/ g	特定生长率 *SGR*/ %	食物转化率 *FCR*	死亡率/ %	增长量/ g	特定生长率 *SGR*/ %
2 #	80	0. 30	5. 01	40		
3 #	135	0. 46	3. 40	30	1049	4. 0
4 #	116	0. 41	3. 96	10	2711	4. 5
5 #	102	0. 34	4. 50	20	3279	4. 0
6 #	150	0. 48	3. 06	10	3754	3. 7

三、讨 论

本项研究表明, 龙须菜能显著降低养殖水体营养盐含量(见图 2、图 3), 从而改善养殖生物的栖息环境。尽管实验期间没有换水, 4 号、5 号和 6 号池仍能保持良好的水质, 养殖生物生长情况较好, 而 2 号单养池后期水体硝酸盐氮和亚硝酸盐氮含量迅速上升, 叶绿素 a、颗粒有机碳和颗粒氮含量也大幅增加, 养殖生物死亡率高。

实验后期, 混养池水体中颗粒物质和浮游植物的增长势头被抑制, 可能是因为水体处于封闭状态, 浮游植物和龙须菜竞争营养盐, 虽然浮游植物的生长半饱和常数比大型海藻低, 对氮的亲和力较高, 但后期水温上升, 龙须菜的生长加快, 加强了对营养盐的竞争, 从而抑制了浮游植物的生长。关于大型藻类和浮游植物对营养盐的竞争, Peggy (1993)等认为外界营养盐浓度较高时, 大型藻类处于竞争优势; 外界营养盐浓度较低时, 浮游植物处于竞争优势。但是, 另外一些封闭水体实验表明, 营养盐过剩能刺激浮游植物的生长, 大型藻类的生长会因浮游植物的遮光效应受到抑制(Taylor, 1995)。在本实验条件下, 如果以叶绿素 a 反映浮游植物生物量, 即使水体营养盐含量较低, 经过一段时期后, 龙须菜仍能抑制浮游植物的丰度(见图 4)。可见, 大型藻类与浮游植物间的竞争关系复杂, 竞争的结果受多种因素的影响, 这一点证实了 Eleanor(1998)的结论。

对于特定的养殖生态系, 其养殖容量是一定的, 选择合适的养殖种类和合理的养殖密度很重要, 本实验设计了 4 个养殖密度, 以单位面积鲜重计, 鱼藻养殖密度比依次为 273 ∶118(3 #)、264 ∶236(4 #)、285 ∶353(5 #)、291 ∶471(6 #)。水质分析结果表明, 3 号、4 号、5 号和 6 号池硝酸盐氮和亚硝酸盐氮含量均比较低(见表 2), 但 3 号池叶绿素 a、颗粒

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://v

有机碳、颗粒氮以及氨氮和磷酸盐的含量相对较高，可能与龙须菜放养密度较低有关，4号、5号和6号池相比，4号池叶绿素a和颗粒有机碳较早减弱增长势头(图4、图5)，并且龙须菜的产量较高，黑[illegible]的死亡率较低，这一结果表明本实验条件下，龙须菜和黑[illegible]按1∶1的放养密度比较合理。

参 考 文 献

杨圣云、许振祖，1997，优化养殖水域生态系统结构的若干途径，海洋科学，(3)：42～43。

杨红生，2000，清洁生产：海水养殖业持续发展的新模式，世界科技研究与发展，23(1)：62～65。

阎希柱、李德尚等，2000，对虾池塘养殖业现状及可持续发展，海洋科学，24(11)：30～34。

Eleanor H.，1998，Response of primary producers to nutrient enrichment in a shallow estuary，*Mar. Ecol. Prog. Ser.*，163：89～98.

Peggy Fong，1993，Competition with macroalgae and bethic cyanobacterial mats limits phytoplankton abundence in experimental microcosms，*Mar. Ecol. Prog. Ser.*，100：97～102.

Taylor，1995，Response of coast lagoon plant communities to different forms of nutrient enrichment-a mesocosm experiment，*Aquat. Bot.*，52：19～34.

Troell，M.，1999，Ecological engineering in aquaculture：use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture，*J. Appli. Phyco.*，11：89～97.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://v

ECOLOGICAL FUNCTION OF *GRACILARIA LEMANEIFORMIS* IN FISH AND SEAWEED POLYCULTURE SYSTEM *

HU Haiyan [1,2], LU Jiwu[1], ZHOU Yi [1], YANG Hongsheng [1]
([1] *Insititute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences*)
([2] *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*)

Abstract

Rapid growth of marine fish farming often leads to adverse impacts on the environment, especially the release of dissolved nutrients which may cause eutrophicaton. As an ecological treatment solution, large seaweeds can be used to get rid of the excess nutrients while obtaining higher output. A setup consisting of six $3m^3$ tanks (one with neither fish nor seaweeds, others with or without seaweeds) was used to investigate ecological function of polyculture of fish and seaweeds. As the experiment period was spring, *Gracilaria lemaneiformis* grew well even in the low nutrient environment; and had average specific growth rate (SGR) of 4.05% in the four polyculture tanks, with the highest one (4.5%) in the #4 tank. In addition, except the #3 tank, *G. lemaneiformis* had competitive advantage over phytoplankton after a period of time. At the same time, most of the dissolved nutrients (NO_3-N, NO_2-N, NH_4-N, PO_4-P) in the polyculture tanks were removed as the enviromental dissolved inorganic nutrients (DIN) were much lower than those of the tank without G. *lemaneiformis*, whose average content was 2.53 μmol/L. In order to achieve good water quality as well as high production, carrying capacity has to be considered according to existing system and conditions. In this experiment, 1∶1 co-culture of *G. lemaneiformis* and *Sebastodes fuscescens* yielded good results.

* Contribution No. 4448 from the Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://v