

## 龙须菜在网箱养殖区的生物修复研究

汤坤贤<sup>1,2</sup>

(1. 厦门大学 近海海洋环境科学国家重点实验室, 福建 厦门 361005; 2. 东山县生态环境科学研究所, 福建 东山 363400)

**摘要:**在福建省东山县八尺门网箱养殖区的浅水区吊养面积约 0.7 hm<sup>2</sup> 的龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*), 研究龙须菜对网箱养殖区水质的修复效果。通过对实验区及其内外两侧的定点监测, 以及对与潮流方向一致和垂直的 2 个断面的监测, 结果表明, 修复区的溶解氧 (DO) 浓度明显高于非修复区, 无机氮 (IN)、无机磷 (IP) 浓度低于非修复区, 由此可见, 通过海水交换, 龙须菜可以吸收流经修复区的 IN、IP, 并提高流出修复区的海水的 DO 水平。这有利于改善网箱养殖区的海水水质, 提高网箱养鱼的成活率和生长率, 促进海水养殖的可持续发展。[中国水产科学, 2007, 14(3): 488 - 492]

**关键词:**龙须菜; 生物修复; 溶解氧; 无机氮; 无机磷

**中图分类号:** S931.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1005 - 8737 - (2007) 03 - 0488 - 05

网箱养殖过程中, 大量的残饵、粪便及生物残骸进入水体和底质, 容易造成水质恶化。利用大型海藻对富营养化海域进行生物修复近年来倍受推崇<sup>[1-2]</sup>, 特别是大型经济海藻江蓠 (*Gracilaria*) 对富营养化的海区有良好的修复效果<sup>[3-5]</sup>。但至今在自然海区进行较大面积的原位生物修复实验的研究报道还很少。汤坤贤等<sup>[4]</sup>曾经在夏秋季节利用菊花心江蓠 (*Gracilaria lichenoides*) 在福建省东山县八尺门网箱养殖区进行生物修复的研究。本实验利用生长在冬、春季节的龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*) 对同一网箱养殖区进行生物修复研究, 利用菊花心江蓠 (*Gracilaria lichenoides*) 和龙须菜生长季节的互补性, 实现对同一海区全年不间断地生物修复。以期能为减轻网箱养殖污染, 恢复海区养殖功能, 实现海上生态养殖提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验藻类

龙须菜, 江蓠属, 原产青岛, 已经于南方沿海驯化, 适宜海上吊养, 本地生长季节为冬季和春季。生长适温 12 ~ 26, 适宜盐度 25 ~ 34, 适宜的 pH 为 7 ~ 9。

#### 1.2 实验地点

福建省东山县八尺门网箱养殖区 (图 1), 为半封闭海湾, 风浪小, 是该县主要的网箱养殖区, 有养殖网箱 14 000 只。由于过度养殖和水交换条件差, 环境污染严重, 不利的气候条件下经常发生大面积的网箱养鱼死亡事故。实验区位于八尺门东海域网箱养殖区边的浅水区, 共有相邻的 2 片, 宽约 36 m, 长分别为 70 m 和 120 m, 总面积约 0.7 hm<sup>2</sup>。



图 1 修复实验区位置示意图

Fig. 1 Location of the studied area

收稿日期: 2006 - 05 - 26; 修订日期: 2006 - 08 - 14.

基金项目: 福建省重大科技项目 (2002 Y005); 漳州市科技项目 (Z05048).

作者简介: 汤坤贤 (1968 - ), 男, 高级工程师, 博士生, 主要研究方向为海洋环境污染及生物修复. E-mail: kunxiantang@sina.com

### 1.3 实验方法

实验时间为2003年1~3月。龙须菜采用绳子夹苗、挂于筏架的方式吊养,苗绳上每隔10~20 cm夹一簇龙须菜,质量约10 g,苗绳间距30~50 cm,苗绳总长约16 000 m。吊养筏架均为竹筏<sup>[5]</sup>,根据此处潮差较大的特点,筏架通过主绳固定在海底的铁锚和条石上。初始养殖密度约1 500 kg/hm<sup>2</sup>。

### 1.4 环境监测

**1.4.1 监测站位** 如图2所示。在实验区与潮流平行方向上的内侧非修复区( )、生物修复区( )和外侧非修复区( )共布3个定点监测站位,内外两侧的非修复区的站位距修复区的距离约50 m。生物修复区每片各布一个站位,每个站位每次取2个平行样,生物修复区的数据取2片实验区的平均值;在与潮流平行的方向上布监测断面A1~A31,相邻站位间距约12 m,与潮流垂直的方向上布监测断面B1~B10,其中B1~B9相邻站位间距约8 m,B9与B10相距50 m。

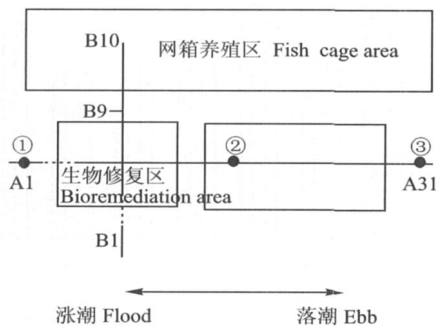


图2 修复区及定点、断面监测位置示意图

A1~A31、B1~B10—监测断面, —定点监测站位

Fig. 2 Setting of bioremediation area and the fish cage area and monitoring transects and spots

A1 - A31, B1 - B10 — monitoring transects, — monitoring spots

**1.4.2 监测项目** 温度、盐度、pH、溶解氧(DO)、DO饱和度、化学需氧量(COD)、无机氮(IN)(为NH<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N的合计)、无机磷(IP)、叶绿素a(Chl-a)。

**1.4.3 监测频率** 定点监测一般每周1次,一般在上午的10 00~11 00;在龙须菜生长到一定数量后进行断面监测。

**1.4.4 监测方法** 温度、盐度、pH、DO、DO饱和度

采用德国WTW公司制造的P4多参数计现场速测,其余项目的分析按GB17378—1998《海洋监测规范》执行。

## 2 结果与分析

### 2.1 实验期间温度、盐度、pH、COD、Chl-a变化

实验区挂苗1周后开始定期监测,从1月28日~3月26日的2个月内,生物修复区内水温变化范围15.2~18.7 (16.6 ±0.5) ( $\bar{X} \pm SE$ ,下同);盐度28.9~30.3(29.8 ±0.2);pH为7.20~8.07(7.66 ±0.14),均在龙须菜的适宜生长条件下。COD、Chl-a质量浓度均较低,分别为(0.62 ±0.14) mg/L和(1.53 ±0.14) μg/L。

### 2.2 龙须菜的生长

实验开始时龙须菜藻体长约15 cm,实验结束时藻体长1 m多,共收获龙须菜17 700 kg,特殊生长率4.2%。

### 2.3 龙须菜对IN、IP的修复

实验期间潮水方向上的生物修复区和内外两侧的非修复区的IN、IP变化如图3a、3b所示。尽管由于海水交换,水质仍受修复区的影响,但仍然可以观察到龙须菜修复区的IN、IP浓度略低于外围非修复区,或介于二者之间。说明海水流经修复区时水中部分IN、IP被龙须菜吸收,龙须菜对海水中的IN、IP具有一定的降低作用。

2003年3月27日与潮水方向垂直的B断面的IN、IP浓度变化情况显示修复区的IN、IP浓度最低,网箱养殖区的浓度最高,非修复区介于二者之间,如图4所示。结果表明网箱养殖导致IN、IP浓度上升,龙须菜则使IN、IP浓度下降,龙须菜可以降低海水的营养盐浓度。

### 2.4 龙须菜对DO的修复

实验期间生物修复区和内外两侧非修复区的DO定点监测结果如图5所示,修复区的DO浓度一般高于内外两侧。水流下方向非修复区的DO浓度往往高于水流上方向的浓度,说明龙须菜不仅提高了修复区的DO浓度,其产生的DO不断被水流带走,也提高了外围海水的DO浓度。

2003年3月27日对与涨落潮方向一致的A断面,与涨落潮方向垂直的B断面的监测结果可以更加明显地观察到生物修复区中DO浓度的提高和对外围水域的影响。

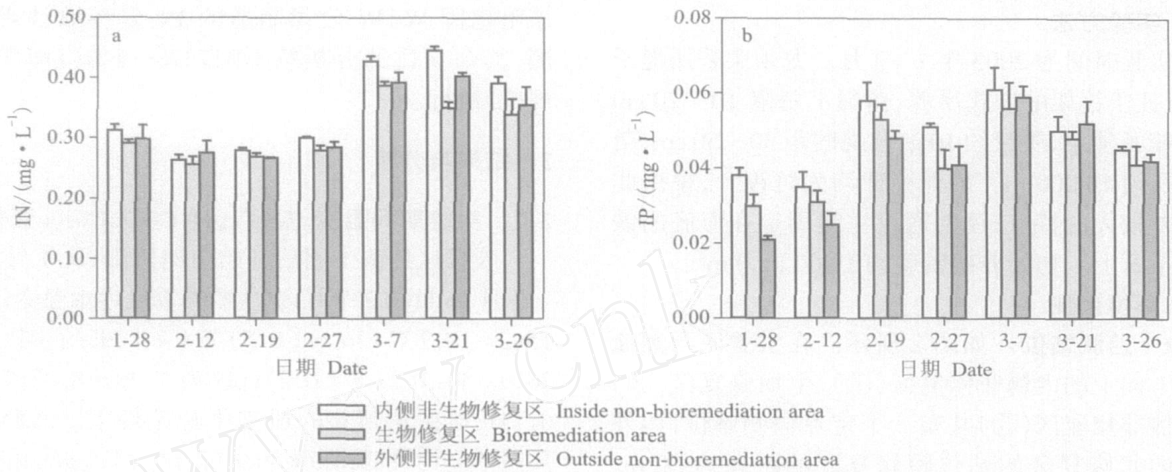


图 3 生物修复区与内外两侧非修复区 IN、IP 浓度对比(与潮流方向平行)

Fig. 3 Comparison of IN and IP concentrations between bioremediation and non-bioremediation areas (parallel with the tide direction)

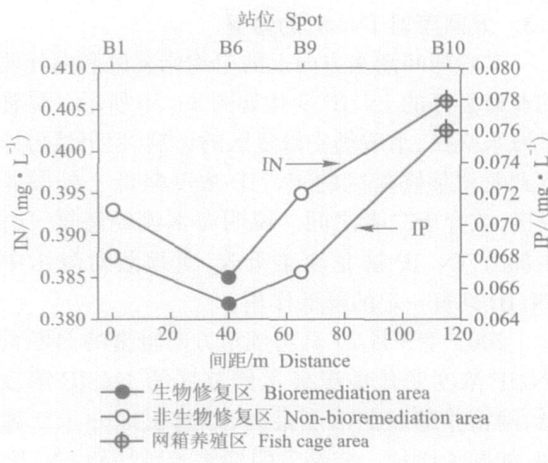


图 4 B 断面 IN、IP 浓度变化(与潮流方向垂直)

Fig. 4 Variations of IN and IP concentration along transect B (perpendicular to the tide direction)

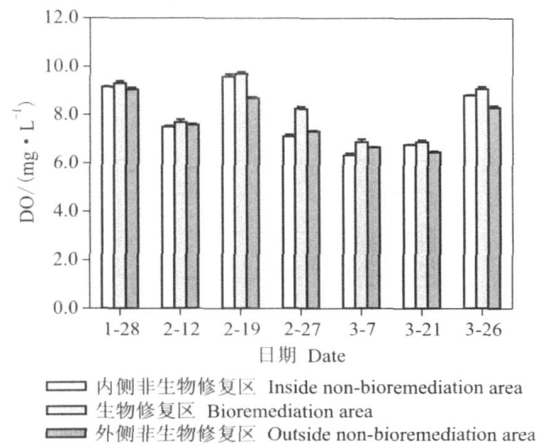


图 5 生物修复区与非生物修复区 DO 浓度对比

Fig. 5 Comparison of DO concentration between bioremediation and non-bioremediation areas

图 6 是 A 断面下午落潮的 DO 变化。结果表明,修复区中 DO 浓度高于外围非修复区,修复区往外 DO 浓度呈递减趋势;流出修复区的 DO 浓度高于流进时的浓度,说明龙须菜对提高外围水体的 DO 浓度有明显的效果。

与海流方向垂直的 B 断面的 DO 变化如图 7 所

示,龙须菜修复实验区 DO 的浓度同样高于相邻的非养殖水域,而网箱养殖区的 DO 略低于非养殖水域。说明网箱养鱼呼吸作用使海水中 DO 浓度下降,龙须菜的光合作用则使 DO 浓度得到提高,龙须菜可以缓解网箱养鱼出现的水体缺氧状况。

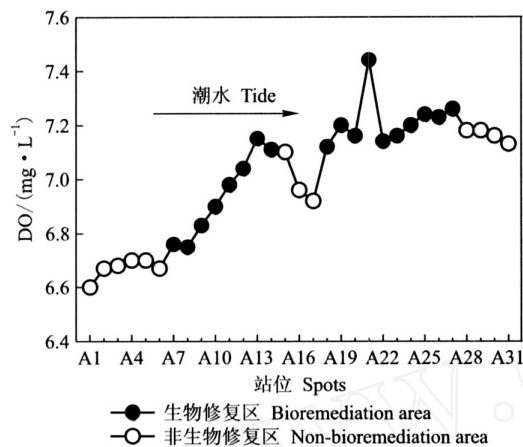


图 6 A 断面涨落潮 DO 浓度变化(与潮流方向平行)  
Fig. 6 Variations of DO concentration along transect A (parallel to the tide direction) when tides rise or ebb

### 3 讨论

龙须菜对环境修复的最显著特征是对水中 DO 浓度的提高。据测定,阳光下,龙须菜 1 d 向水体提供的 DO 大于 20 mg/g。如果龙须菜的密度以平均 12.5 t/hm<sup>2</sup>计,实验区海水平均深度约 2 m,海水流速平均约 0.03 m/s,白天可使流经修复区的 DO 浓度上升约 0.26 mg/L。因此,实验结果可以明显地观察到修复区的 DO 浓度高于非修复区,并通过海水交换,提高周边网箱养殖区的 DO 浓度,这种现象在实验后期生物量较大的中午和下午表现得更加明显(图 6)。

龙须菜生长过程中吸收海水中的 IN、IP 转化为自身的有机成分,通过收获藻体将这些营养物质彻底从海水中转移出去,可以从根本上铲除营养盐对海洋环境的污染,减轻海水的富营养化程度。龙须菜藻体中含氮量约占干重的 5%,含磷量约 0.3%<sup>[6]</sup>。龙须菜干重占湿重 12.5%,那么,通过收获藻体本次实验可实现将海水中约 111 kg 的 IN 和 7 kg 的 IP 转移出水体。因此,在实验后期龙须菜生物量较大的情况下,对 IN、IP 的修复效果还是能够被明显观察到。

网箱养殖区发生大面积死鱼的主要原因往往是水体缺氧和 NH<sub>3</sub> 等有害物质浓度升高。龙须菜的产氧率是鱼、贝类耗氧率的几倍至十几倍,龙须菜对氮的吸收速率与鱼、贝类排氮率相当或是其数

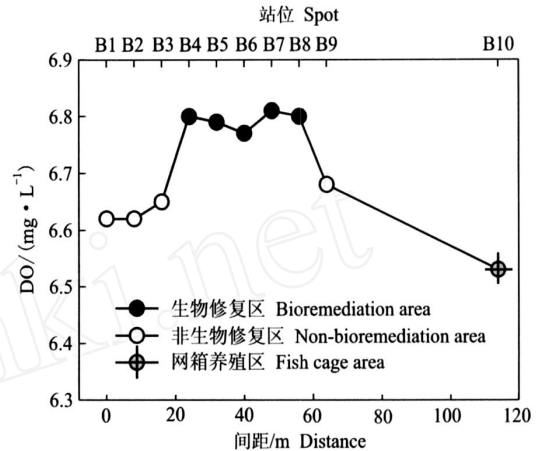


图 7 B 断面 DO 浓度变化(与潮流方向垂直)  
Fig. 7 Variations of DO concentration along transect B (perpendicular to the tide)

倍<sup>[7-9]</sup>。因此,网箱养殖区中栽种较少数量的龙须菜就能维持区内生物间的氧和营养盐的供需平衡。特别是 3 种价态的 IN 中龙须菜优先吸收 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N,而后者对鱼具有毒性,这对防止网箱养鱼死亡,提高鱼类的成活率和生长率具有重要的作用<sup>[4]</sup>。

龙须菜在本地的生长季节是冬季和春季,可以和生长在夏、秋季节的菊花心江蓠<sup>[4]</sup>互补,实现对同一网箱养殖水域全年不间断地生物修复。这对维护网箱养殖区良好的养殖环境,促进鱼类健康生长和网箱养殖可持续发展具有良好的应用前景。

致谢:感谢导师厦门大学环科中心焦念志教授的指导和东山县生态环境科学研究所的林亚森、游秀萍、陈敏儿、林泗彬、沈东煜的帮助。

#### 参考文献:

- [1] Fei X. Solving the coastal eutrophication problem by large scale seaweed cultivation[J]. Hydrobiologia, 2004, 512: 145 - 151.
- [2] 毛玉泽,杨红生,王如才. 大型藻类在综合海水养殖系统中的生物修复作用[J]. 中国水产科学, 2005, 12(2): 225 - 231.
- [3] Troell M, Halling C, Nilsson A, et al. Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output [J]. Aquaculture, 1997, 156: 45 - 61.
- [4] 汤坤贤,焦念志,游秀萍,等. 菊花心江蓠在网箱养殖区的生物修复作用[J]. 中国水产科学, 2005, 12(2): 156 - 161.
- [5] 汤坤贤,游秀萍,林亚森,等. 龙须菜对富营养化海水的生物修复[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 3 044 - 3 051.

- [6] 黄道建,黄小平,岳维忠.大型海藻体内和含量及其对近海环境修复的意义[J].台湾海峡,2005,24(3):316-321.
- [7] 孙忠,余方平,姚海富,等.网箱养殖大黄鱼和美国红鱼的耗氧率与氮排泄率[J].浙江海洋学院学报:自然科学版,2004,23(3):207-210.
- [8] 范德朋,潘鲁青,马麟,等.盐度和pH对缢蛏耗氧率及排氮率的影响[J].中国水产科学,2002,9(3):234-238.
- [9] 钱鲁闽,徐永健,王永胜.营养盐因子对龙须菜和菊花心江蓠氮磷吸收速率的影响[J].台湾海峡,2005,24(4):546-552.

## Bioremediation in fish cage-farming areas by *Gracilaria lemaneiformis*

TANG Kun-xian<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Ecological Environmental Science Institute of Dongshan, Dongshan, 363400, China)

**Abstract:** Eutrophication caused by caged fish culture has become the most important environmental problem in mariculture area of Chinese coastal waters. Since excess nutrients can be uptaken by macroalga and ultimately removed from water by alga harvest, and DO concentration is enhanced as well, macroalga-based bioremediation of eutrophication is possible to be the best way to solve such environmental problem. In this study, *Gracilaria lemaneiformis* introduced from Shandong Province was employed as bioremediator to rescue the eutrophication of the fish cage-farming area, Bachimen, Dongshan County, Fujian Province. The experiments with bioremediation area about 0.7 hm<sup>2</sup> were conducted from January to March in 2003. Water quality was monitored at three fixed sites, including bioremediation and non-bioremediation areas, and two transects parallel or perpendicular to the tide direction during the experimental courses. The results showed that the specific growth rate of *G. lemaneiformis* was 4.2% during the experiment. The IN (inorganic nitrogen) and IP (inorganic phosphorus) concentrations in bioremediation area were lower than those in non-bioremediation areas. The DO concentration in bioremediation area was significantly higher than that in non-bioremediation area. In particular, the DO concentration of downstream seawater increased and as IN and IP were taken up by seawater exchange. It is possible to alleviate the pollution of marine environment, prevent eutrophication and improve fish survival rate and growth rate. Thus, this study demonstrated a promising ecological approach of sustainable mariculture. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(3):488-492]

**Key words:** *Gracilaria lemaneiformis*; bioremediation; dissolved oxygen; inorganic nitrogen; inorganic phosphorus