

文章编号: 1004-7271(2007)06-0573-07

铜藻对几种无机盐的吸收动力学的初步研究

孙宏超, 章守宇

(上海水产大学海洋学院, 上海 200090)

摘要:以浙江省枸杞岛马尾藻场为研究海域,通过铜藻对无机磷、硅酸盐、亚硝酸盐和氨氮的吸收实验,初步分析了铜藻在80 h内同时对这几种无机盐吸收速率的随时间变化情况:无机磷吸收速率呈指数衰减,硅酸盐吸收速率呈线性减少,亚硝酸盐吸收速率在实验初期受到抑制而后呈对数增加,氨氮作为优先氮源被吸收;通过不同生物量铜藻对不同初始浓度硅酸盐的吸收实验,分析了24 h内和10 d内硅酸盐浓度变动规律以及硅酸盐消失速率和铜藻对硅酸盐吸收速率的波动:10 d内海水中硅酸盐浓度变化与硅酸盐初始浓度相关,与铜藻生物量无关;海水中硅酸盐消失速率波动的剧烈程度与铜藻生物量和硅酸盐初始浓度相关。

关键词:铜藻;无机盐;吸收;浓度变化;消失速率

中图分类号:S 912 文献标识码:A

The preliminary research of certain inorganic nutrient uptake kinetics of *Sargassum horneri* (Turn.) Ag.

SUN Hong-chao, ZHANG Shou-yu

(College of Marine Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: *Sargassum* beds in Gouqi Island, Zhejiang Province, are the target researching sea area in this paper. Based on the uptake experiments of *Sargassum horneri* (Turn.) Ag. on inorganic phosphate, silicate, nitrite and nitrogen, the fluctuation of the uptake rate in 80 hours is analyzed; the uptake rate of inorganic phosphate decreases with time exponentially; the uptake rate of silicate decreases with time linearly; the uptake rate of nitrite increases with time logarithmically and is suppressed at the initial stage; *Sargassum horneri* (Turn.) Ag. absorbs nitrogen as N nutrient preferentially. Based on the uptake experiment of *Sargassum horneri* (Turn.) Ag. on silicate with gradient biomass of *Sargassum horneri* (Turn.) Ag. and initial silicate consistency, the fluctuation and the correlation factors of the silicate consistency and the dissolve rate of the silicate in seawater and the uptake rate of the *Sargassum horneri* (Turn.) Ag. on silicate are analyzed; the fluctuation of silicate in 10 days correlates with oriental silicate consistency, and doesn't correlate with biomass of *Sargassum horneri* (Turn.) Ag.; the fluctuation of the fierce degree of silicate consistency in seawater correlates with both biomass of *Sargassum horneri* (Turn.) Ag. and oriental silicate consistency.

Key words: *Sargassum horneri* (Turn.) Ag.; inorganic nutrient; consistency fluctuation; uptake rate; dissolve rate

收稿日期:2007-03-22

基金项目:上海市重点学科建设项目(T1101)

作者简介:孙宏超(1980-),女,满族,辽宁大连人,硕士研究生,专业方向为海洋生态系统工程。

通讯作者:章守宇, E-mail: syzhang@shfu.edu.cn

近海大型海藻场是近海典型生态系统之一,具有吸收利用营养物质、缓解海域富营养化等重要功能。二十世纪90年代以来,日本、美国等国家采取了人工修复或重建海藻场生态系统的手段来恢复正在衰退甚或已经消失的海藻场生态系统,或者直接在目标海域营造新的海藻场生态系统,从而达到缓解、治理近岸海域环境与生态等问题的目的,并已取得良好的生态效益。开展海藻对主要营养盐的吸收动力学研究,是认识了解海藻场生态系统内部变化规律、开发应用近岸海域环境保护与治理及集约型海水生态养殖等的基础性工作^[1-10]。而我国有关研究开展较少,本文以枸杞岛海藻场生态系统为目标海域,初步研究了铜藻对几种无机盐的吸收动力学。

1 材料与方 法

本文中实验用铜藻均为在枸杞岛海藻场现场潜水采集,现场采集后24 h内保湿运回上海水产大学渔业环境与资源实验室在现场采集的海水中暂养备用。两次实验分别在2005年3月和11月进行。实验用铜藻在投放进容器前均经过海水与蒸馏水清洗。

第一次实验为A1和A2平行,透气封闭室温(约20℃)培养,分别在0 h、42 h、56 h、80 h取水样并测定无机磷、硅酸盐、亚硝酸盐、氨氮;第二次实验为B1-5设定不同的铜藻投放量和海水中硅酸盐初始浓度,间歇充氧室温(约20℃)培养,分别0 h、1 h、2 h、4 h、6 h、8 h、10 h、14 h、18 h、24 h、2 d、3 d、4 d、5 d、6 d、7 d、8 d、9 d、10 d取样测定硅酸盐浓度。无机盐浓度测定按照GB17378-1998^[11]。实验材料见表1。

表1 铜藻对几种无机盐吸收动力学实验材料

Tab. 1 Materials of certain inorganic nutrient uptake kinetics of *Sargassum horneri* (Turn.) Ag.

		现场海水	人工海水	抽滤	煮沸	铜藻
A	A1	6L		+	+	24g
	A2	6L		+	+	24g
	B1	3L		+	+	10g
	B2	3L		+	+	20g
B	B3	3L		+	+	30g
	B4	3L		+	+	40g
	B5		3L	+	+	20g

2 结果与分析

2.1 铜藻对几种无机盐的吸收

2.1.1 无机磷

铜藻在各时段对无机磷的吸收速率的基本规律为,铜藻在0~42 h和在42~56 h对无机磷的吸收速率,明显高于56~80 h的吸收速率。计算得在无外源无机磷补充的情况下,80 h内A1和A2中的24 g铜藻对无机磷吸收量分别为4.182 0 mg和3.229 7 mg,平均值为3.705 9 mg,平均吸收速率为0.062 3 μmol/(g·h)(表2)。

由表2中数据计算与分析得,铜藻对无机磷的吸收动力学为吸收速率随时间变化呈指数衰减,方程为 $y = 0.0271e^{-0.0451x}$ ($R^2 = 0.9997$)。

2.1.2 硅酸盐

在无外源硅酸盐补充的情况下,铜藻对硅酸盐的吸收速率随时间变化增大。计算得在无外源硅酸盐补充的情况下,80 h内A1和A2中的24 g铜藻对硅酸盐吸收量分别为0.453 8 mg和0.492 3 mg,平均值

表2 铜藻在各时段对无机磷的吸收速率

Tab. 2 The inorganic phosphate uptake rate of *Sargassum horneri* (Turn.) Ag. during the periods mg/(L·h)

时段	0~42(h)	42~56(h)	56~80(h)
A1	0.011 777	0.008 975	0.003 196
A2	0.009 069	0.009 258	0.001 157

为 0.473 1 mg, 平均吸收速率为 0.008 8 $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})$ (表 3)。

由表 3 数据计算与分析, 铜藻对硅酸盐的吸收速率变化曲线可能有两种, 分别为 $y = 3E - 05x - 0.001$ ($R^2 = 0.927 6$), $y = 0.000 2e^{0.032x}$ ($R^2 = 0.890 9$)。

2.1.3 亚硝酸盐

铜藻在各时段对亚硝酸盐的吸收速率在初期出现负吸收速率, 即在铜藻培养初期在无外源亚硝酸盐补充的情况下, 海水中的亚硝酸盐浓度出现增加。计算得在无外源亚硝酸盐补充的情况下, 80 h 内 A1 和 A2 中的 24 g 铜藻对硅酸盐吸收量分别为 0.107 7 mg 和 -0.279 3 mg, 平均值为 -0.171 6 mg (表 4)。

由表 4 数据计算与分析得, 在无外源亚硝酸盐补充的情况下, 铜藻对亚硝酸盐的吸收速率-时间曲线为, $y = 0.001 4 \ln(x) - 0.005 2$ ($R^2 = 0.094 46$)。

2.1.4 氨氮

从表 5 中可以看到, 铜藻对 NH_4^+ 的吸收在实验初期出现较高的正吸收速率, 随后出现一定时期的负吸收速率, 然后再出现较低的正吸收速率。计算得在无外源 NH_4^+ 补充的情况下, 80 h 内 A1 和 A2 中的 24 g 铜藻对 NH_4^+ 吸收量分别为 0.800 4 mg 和 1.024 mg, 平均值为 0.912 2 mg, 平均吸收速率为 0.033 9 $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})$ (表 5)。

2.2 铜藻投放量与海水中硅酸盐初始浓度对硅酸盐吸收的影响

2.2.1 海水中硅酸盐浓度变化及相关因素

图 1 - 图 4 分别反映了 24 h 内和 10 d 内海水中硅酸盐浓度及单位铜藻对海水中硅酸盐浓度变化情况。

由图 1 和图 2 可以看到 B1 - B4 在 24h 内单位铜藻对海水中硅酸盐浓度的变化可以在图 2 中明显区分而在图 1 中则不能明显区分; 由图 3 和图 4 可以看到 B1 - B4 在 10d 内单位铜藻海水中硅酸盐浓度的变化可以在图 4 中明显区分而在图 3 中则不能明显区分。即在铜藻投放量明显不同的情况下, 海水中硅酸盐浓度的变化却是相似的, 铜藻对硅酸盐的吸收, 要维持海水中一定的硅酸盐浓度, 即铜藻对硅酸盐的吸收能力再强, 也要保持海水中的硅酸盐在一定的浓度。这在图 1 和图 3 中反映为, 在 B1 - B4 中铜藻的生物量明显差异的情况下, 保持了相近的硅酸盐吸收量; 在图 2 和图 4 中反映为, B1 - B4 中单位铜藻对应的硅酸盐浓度变化依次为 $B1 > B2 > B3 > B4$, 与海藻的生物量呈明显负相关。而 B5 则以其低硅酸盐初始浓度在图 1 - 图 4 中均可与 B1 - B4 明显区分。

10 d 内单位铜藻对硅酸盐浓度的线性和指数浓度-时间曲线, 见表 6。由表 6 可以看到, B1 - B5 海水中硅酸盐浓度的 10 d 变化的线性方程和指数方程的相关系数 R^2 没有非常明显差异, 但可以看出其更接近线性回归。同时结合上文的分析, 在本实验中, 海水中硅酸盐的浓度-时间曲线的系数与铜藻生物量无明显相关性, 而和硅酸盐的初始浓度密切相关, 计算得硅酸盐初始浓度和线性回归方程的 a 值和 b 值的指数方程相关系数 R^2 分别为 0.862 8 和 0.975 2, 硅酸初始浓度和指数回归方程的 a 值的指数方程相关系数 R^2 为 0.975 7 和 b 值的线性相关系数 R^2 为 0.992 7。

表 3 铜藻在各时段对硅酸盐的吸收速率
Tab. 3 The silicate uptake rate of *Sargassum horneri* (Turn.) Ag. during the periods

	mg/(L · h)		
时段	0 ~ 42(h)	42 ~ 56(h)	56 ~ 80(h)
A1	0.000 181	0.002 644	0.001 291
A2	0.000 621	0.000 369	0.002 117

表 4 铜藻在各时段对亚硝酸盐的吸收速率
Tab. 4 The nitrite uptake rate of *Sargassum horneri* (Turn.) Ag. during the periods

	mg/(L · h)		
时段	0 ~ 42(h)	42 ~ 56(h)	56 ~ 80(h)
A1	-0.000 21	0.001 052	0.000 501
A2	-0.001 63	0.000 145	0.000 825

表 5 铜藻在各时段对 NH_4^+ 的吸收速率
Tab. 5 The nitrogen uptake rate of *Sargassum horneri* (Turn.) Ag. during the periods

	mg/(L · h)		
时段	0 ~ 42(h)	42 ~ 56(h)	56 ~ 80(h)
A1	0.003 353	-0.003 12	0.001 512
A2	0.003 515	-0.003 68	0.003 105

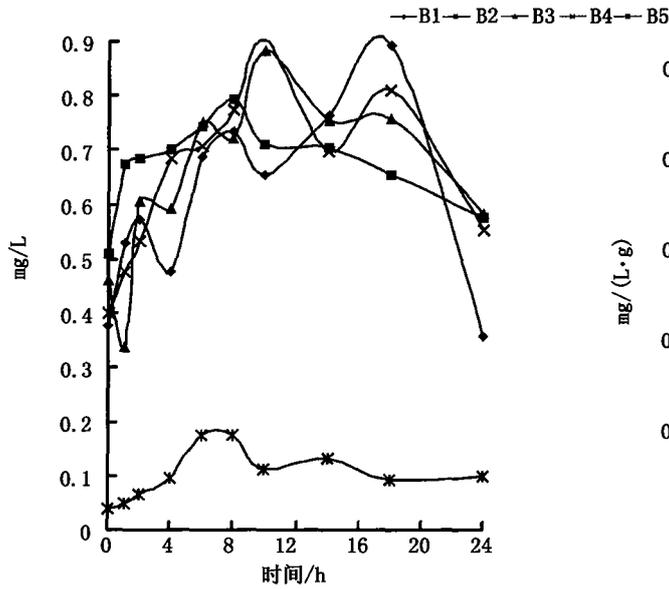


图1 24 h内海水中硅酸盐浓度
Fig.1 Silicate consistency in seawater within 24hrs

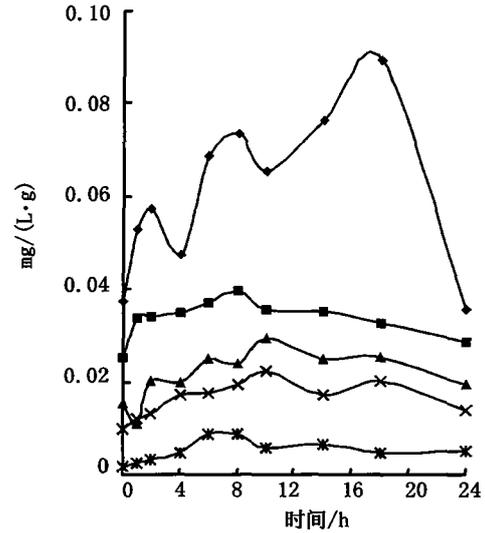


图2 24 h内单位铜藻对海水中硅酸盐浓度
Fig.2 Unit *Sargassum horneri* (Turn.) Ag. to silicate consistency in seawater within 24hrs

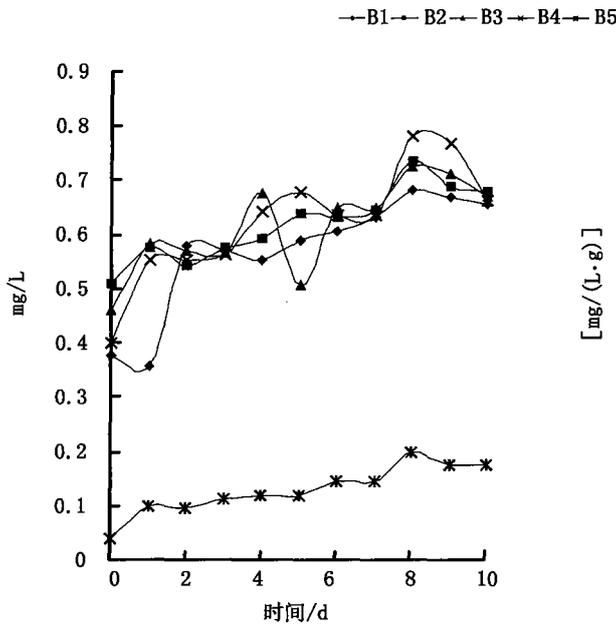


图3 10 d内海水中硅酸盐浓度
Fig.3 Silicate consistency in seawater within 10 days

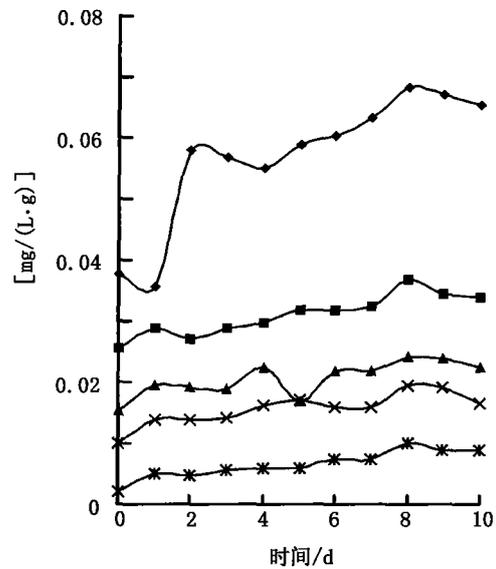


图4 10 d内单位铜藻对海水中硅酸盐浓度
Fig.4 Unit *Sargassum horneri* (Turn.) Ag. to silicate consistency in seawater within 10 days

表6 10 d 硅酸盐浓度-时间曲线及相关因素
Tab.6 The equations of silicate consistency-time and correlations within 10 days

B	铜藻(g)	硅酸盐初始浓度(mg/L)	线性回归	指数方程
B1	10	0.376	$y=0.0014x+0.0213 (R^2=0.7534)$	$y=0.0211e^{0.0554x} (R^2=0.6993)$
B2	20	0.51	$y=0.0019x+0.0526 (R^2=0.8487)$	$y=0.0529e^{0.0304x} (R^2=0.8558)$
B3	30	0.461	$y=0.001x+0.0258 (R^2=0.5923)$	$y=0.0259e^{0.0328x} (R^2=0.5759)$
B4	40	0.401	$y=0.0009x+0.0163 (R^2=0.715)$	$y=0.0163e^{0.0464x} (R^2=0.6973)$
B5	20	0.04	$y=0.0003x+0.0017 (R^2=0.8691)$	$y=0.0017e^{0.1139x} (R^2=0.7505)$

2.2.2 海水中硅酸盐消失速率及相关因素

根据表7和表8分别计算24 h内和10 d内海水中硅酸盐消失速率的标准方差,得表9,该表中标准方差的值反映了海水中硅酸盐消失速率波动的剧烈程度,标准方差的值越大,海水中硅酸盐消失速率波动的剧烈程度越大。计算得,铜藻生物量和24 h海水中硅酸盐消失速率的标准方差和10 d海水中硅酸盐消失速率的标准方差的二次曲线回归相关系数分别为0.738 0和0.926 2,海水中硅酸盐初始浓度和24 h海水中硅酸盐消失速率的标准方差和10 d海水中硅酸盐消失速率的标准方差的二次曲线回归相关系数分别为0.525 9和0.708 5,可以认为,在本实验中海水中硅酸盐消失速率波动的剧烈程度和铜藻生物量和海水中硅酸盐初始浓度呈二次曲线相关,且相关性在10 d波动较24 h波动明显。

表7 24 h内铜藻对硅酸盐吸收速率的变化

Tab.7 The fluctuation of the silicate uptake rate of *Sargassum horneri* (Turn.) Ag. within 24hrs

B	mg/(L·h)								
	0~1h	1~2h	2~4h	4~6h	6~8h	8~10h	10~14h	14~18h	18~24h
B1	-0.153	-0.044	0.048 5	-0.106	-0.023 5	0.039 5	-0.027	-0.032 25	0.089 5
B2	-0.164	-0.01	-0.008 5	-0.022	-0.024	0.040 5	0.015	0.013	0.013 17
B3	0.124	-0.27	0.007 5	-0.079	0.014 5	-0.081	0.0322 5	-0.000 75	0.029
B4	-0.077	-0.054	-0.077	-0.011	-0.033 5	-0.064	0.051 5	-0.028 75	0.043 17
B5	-0.009	-0.016	-0.015 5	-0.040 5	0.001 5	0.030 5	-0.005	0.009 75	-0.000 83

表8 10 d内铜藻对硅酸盐吸收速率的日变化

Tab.8 The diurnal fluctuation of the silicate uptake rate of *Sargassum horneri* (Turn.) Ag. within 10 days

B	mg/(L·h)									
	0~1 d	1~2 d	2~3 d	3~4 d	4~5 d	5~6 d	6~7 d	7~8 d	8~9 d	9~10 d
B1	-0.02	0.222	-0.009	-0.018	0.037	0.016	0.029	0.049	-0.012	-0.016
B2	0.065	-0.033	0.033	0.018	0.045	-0.005	0.013	0.087	-0.045	-0.01
B3	0.122	-0.013	-0.005	0.111	-0.17	0.144	0	0.074	-0.012	-0.044
B4	0.152	-0.002	0.01	0.081	0.036	-0.042	0	0.144	-0.013	-0.105
B5	0.059	-0.003	0.016	0.008	-0.001	0.026	0	0.052	-0.023	0.002

表9 海水中硅酸盐消失速率波动的标准方差

Tab.9 The STD of the fluctuation of dissolve rate of the silicate in seawater

B	铜藻(g)	海水中硅酸盐初始浓度(mg/L)	标准方差(24h)	标准方差(10d)
B1	10	0.376	0.072 746	0.075 834
B2	20	0.51	0.041 923	0.059 098
B3	30	0.461	0.094 461	0.110 497
B3	40	0.401	0.080 241	0.048 061
B5	20	0.04	0.025 548	0.019 509

3 讨论

3.1 大型海藻对无机磷的吸收动力学

目前,国外在大型海藻的无机盐吸收研究中多采用无机盐消失法^[12],本文中采用的实验方法即为无机盐消失法。从铜藻对几种无机盐吸收实验的结果来看,在无外源无机磷补充的情况下,铜藻在0~42 h和42~56 h对无机磷的吸收速率分别为9.069~11.777 $\mu\text{g/L}$ 和8.975~9.258 $\mu\text{g/L}$,明显高于56~80h的吸收速率1.157~3.196 $\mu\text{g/L}$,结合2005年3月枸杞岛海藻场处于P限制的现场调查结果分析,在实验初期处于P限制的铜藻在初期出现较高的吸收速率为9.069~11.777 $\mu\text{g/L}$,而后降为

8.975 ~ 9.258 $\mu\text{g/L}$,接着由于介质中无外源无机磷补充,出现了相对很低的吸收速率 1.157 ~ 3.196 $\mu\text{g/L}$,此时铜藻再次受到 P 限制,所以铜藻对 P 的吸收存在初期的高吸收速率且在 P 源充足的 0 ~ 42 h 内达到,并在 0 ~ 56 h 内保持平稳的吸收速率,因此铜藻对 P 的吸收存在 P 限制后最初的快吸收状态、介质中 P 源充足时的饱和状态以及 P 源缺乏时的低速率吸收状态。Pederson^[13]对红藻吸收磷的研究结果表明,其对磷的吸收呈现 0 ~ 0.2 $\mu\text{mol/L}$, 0 ~ 2 $\mu\text{mol/L}$ 和 0 ~ 11 $\mu\text{mol/L}$ 直线阶段。Friedlander^[14]研究圆扁江蓐吸收磷的结果表明,圆扁江蓐对磷的吸收呈现低浓度下的两个饱和阶段和一个直线。Hurd 等^[15]对不同区域和季节的 5 个种的墨角藻对磷的吸收动力学的研究表明,该 5 个种的墨角藻对磷的吸收在 0 ~ 30 min 内的快吸收、30 ~ 60 min 不吸收和 1 h ~ 6 h 内的中度吸收。因此本文认为在藻体生理状态和介质中无机磷源浓度不同的条件下,铜藻对无机磷的吸收也存在阶段性,表现为在介质中无机磷源充分的情况下,初期出现快吸收阶段,而后出现饱和吸收阶段并维持一定的吸收速率,而在介质中无机磷不充分时,又出现一个同时维持藻体对无机磷源的需求和介质中一定无机磷浓度的低吸收速率阶段。

3.2 大型海藻对氮盐的吸收动力学

从铜藻对几种无机盐的吸收实验结果来看,铜藻对 NO_2^- 的吸收速率在初期出现了负吸收速率为 $-0.21 \sim -1.63 \mu\text{g}/(\text{L}\cdot\text{h})$,而在对 NH_4^+ 的吸收在实验初期出现了很高的正吸收速率为 $3.353 \sim 3.515 \mu\text{g}/(\text{L}\cdot\text{h})$,这与海藻优先选择 NH_4^+ 作为 N 源有关。McGlathery 等^[16]研究大型海藻的吸收和同化表明,海藻对 NH_4^+ 的吸收率大于对 NO_3^- 的吸收率,且一般不选择 NO_2^- 作为 N 源。钱鲁闽等^[17]对龙须菜 (*G. leaneiformis*) 和菊花江蓐 (*G. lichevoide*) 对 N 吸收的研究表明,N 的吸收速率在 NH_4^+ 和 NO_3^- 的比为 1:2 或者 2:1 时分别为 $0.255 \mu\text{mol}/(\text{h}\cdot\text{g})$ 和 $0.276 \mu\text{mol}/(\text{h}\cdot\text{g})$ (龙须菜)、 $0.301 \mu\text{mol}/(\text{h}\cdot\text{g})$ 和 $0.319 \mu\text{mol}/(\text{h}\cdot\text{g})$ (菊花江蓐),这与 NH_4^+ 是海藻的优先 N 源有关。同时,在铜藻对 NO_2^- 的吸收速率来看,其在 42 ~ 56 h 和 56 ~ 80 h 分别出现正吸收速率 $0.145 \sim 1.052 \mu\text{g}/(\text{L}\cdot\text{h})$ 和 $0.501 \sim 0.825 \mu\text{g}/(\text{L}\cdot\text{h})$,这与实验初期 NH_4^+ 的较高速率吸收后出现介质中 N 源缺乏有关,可见 NO_2^- 在特殊情况下也可作为大型海藻的 N 源。而 NH_4^+ 的吸收在 42 ~ 56 h 出现负吸收速率 $-3.12 \sim -3.68 \mu\text{g}/(\text{L}\cdot\text{h})$,而后在 56 ~ 80 h 又恢复为正吸收速率 $1.512 \sim 3.105 \mu\text{g}/(\text{L}\cdot\text{h})$,这可能与经过初期对 NH_4^+ 的吸收, NH_4^+ 出现不足,而选择 NO_3^- 作为次选 N 源有关。钱鲁闽等^[17]对龙须菜 (*G. leaneiformis*) 和菊花江蓐 (*G. lichevoide*) 对 N 吸收的研究还表明, NO_3^- 和 NH_4^+ 的比从 10:1 到 1:10 的过程中,该 2 种海藻对 NH_4^+ 的吸收速率随着 NO_3^- 和 NH_4^+ 比的降低而增加,对 NO_3^- 的吸收速率则随着 NO_3^- 和 NH_4^+ 比的降低而降低,可以看出,当介质中 NH_4^+ 和 NO_3^- 的比减少时,对 NH_4^+ 和 NO_3^- 的吸收速率会分别出现降低和升高,这与铜藻对 N 的吸收实验中当 NH_4^+ 出现不足时会选择 NO_3^- 作为次选 N 源的结论一致。

3.3 海藻场生态系统内部的缓冲机制

从不同投放量和海水中硅酸盐初始浓度的铜藻吸收硅酸盐的实验结果来看,10 d 内海水中硅酸盐浓度变化与硅酸盐初始浓度相关,与铜藻生物量无关;海水中硅酸盐消失速率波动的剧烈程度与铜藻生物量和硅酸盐初始浓度相关。这样的实验结果与枸杞岛马尾藻场生态系统的独特性有关,藻场生态系统内部有着很好的缓冲机制,其生物因素和非生物因素之间相互作用、相互制约,海水中硅酸盐浓度的变化不会因为藻场内生物因素(例如铜藻)的生物量的剧烈变化而过度波动,系统协调的最终结果必然是维持一个系统内部的稳态,这也是为什么实验中 10 d 内海水中硅酸盐浓度变化与硅酸盐初始浓度相关而与铜藻生物量无关。系统在自身调节过程中,其内部因子波动的剧烈程度必然与其他因素的改变相关,这也是为什么实验中海水中硅酸盐消失速率的剧烈程度与铜藻生物量和硅酸盐初始浓度同时相关。

海藻场生态系统是一个非常独特的生态系统,就其改善海域环境的功能来说,它可以通过自身对无机盐和有机质的强大吸收作用改善受一定程度污染的海域水质,也有可能被海域污染所毁灭,这取决于污染程度和系统自身的稳定与协调能力。本课题下一步研究将立足于枸杞岛海藻场主要支持生物铜藻

对各种无机盐的吸收动力学的各项研究,确定各项参数,揭示吸收机制,建立相关数学模型,为开展海藻场生态工程等有关研究奠定理论基础。

参考文献:

- [1] Ashalata D K, Khan M L, Tripathi R S. Sacred groves of Manipur, northeast India: biodiversity value, status and strategies for their conservation[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2005, 14: 1541 - 1582.
- [2] Baelde P. Differences in the structures of fish assemblages in *Thalassia testudinum* beds in Guadeloupe, French West Indies, and their ecological significance[J]. *Marine Biology*, 1990, 105: 163 - 173.
- [3] Nagelkerken I, van der Velde, Gorissen G, et al. Importance of Mangroves, Seagrass Beds and the Shallow Coral Reef as a Nursery for Important Coral Reef Fishes, Using a Visual Census Technique[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 51: 31 - 44.
- [4] 日本水产学会编. 藻场·海中林[M]. 东京: 恒星社厚生阁, 2000.
- [5] 东京久荣株式会社. 湿地·藻场·珊瑚礁造成技术事例集[M]. 东京: 宣传册, 2003.
- [6] Chapman A R O. *Biology of seaweeds*[M]. Baltimore: University Park Press, 1979.
- [7] Grime J P. *Plant strategies and vegetation Processes*[M]. Chichester: John Wiley, 1979.
- [8] James W. Nybakken. *Marine Biology: An Ecological Approach*[M]. Harper & Row Publishers Inc USA, 1982.
- [9] Klaus Lüning. *Seaweeds*[M]. Wiley-Interscience. Hoboken, 1990.
- [10] Levitt J. *Responses of Plants to Environmental Stresses*[M]. New York: Academic Press, 1975.
- [11] 海洋监测规范, 中华人民共和国国家标准 GB17378 - 1998[S].
- [12] Harrison P J, Parelou J S, Conway H L, et al. Determination of nutrient uptake kinetic parameters: a comparison of methods[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1989, 52: 301 - 312.
- [13] Pederson M F, Paling E I, Walker D I, et al. Nitrogen uptake and allocation in the searass *Amphibolis antarctica*[J]. *Aquatv Bot*, 1997, 56: 105 - 117.
- [14] Friedlander M, Dawes C J. In situ uptake kinetics of ammonium and phosphate and chemical composition of the red seaweed *Gracilaria tikvahiae*[J]. *J Phycol*, 1985, 21: 448 - 453.
- [15] Hurd C L, Dring M J. Phosphate uptake by intertidal furoid algae in relation to donation and season [J]. *Mar Biol*, 1990, 107: 281 - 289.
- [16] McGlathery K J. Changes in intracellular nitrogen pools and feedback controls on nitrogen uptake in *Chaetomorpha hnum*[J]. *J Phycol*, 1996, 31: 393 - 401.
- [17] 钱鲁闽, 徐永健, 王永胜. 营养盐因子对龙须菜和菊花江蓠氮磷吸收速率的影响[J]. *台湾海峡*, 2005, 24(4): 546 - 552.