

# 长江口盐沼湿地底栖微藻的分布特征 及其对有机质产出的贡献

商栩<sup>1,2</sup>, 管卫兵<sup>3</sup>, 张经<sup>2</sup>

(1. 温州医学院 水域科学与环境生态研究所, 浙江 温州 325035; 2. 华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062; 3. 上海水产大学 海洋学院, 上海 200090)

**摘要:** 2006年6月(夏季)和12月(冬季)分别对长江口九段沙湿地潮滩底栖微藻的分布状况进行了调查, 估算了湿地内各主要初级生产者的生产力并进行了比较。结果显示分布于该盐沼湿地的底栖微藻在光照条件下主要聚集于沉积物表层, 形成其生物量随深度增加而迅速减少的垂直分布模式, 并随滩面植被盖度从大到小的顺序呈现为: 光滩、蔗草区、米草区、芦苇区的水平分布特征。九段沙湿地中单位面积上底栖微藻的生物量远高于上覆水中浮游植物的生物量, 其单位面积生产力也显著高于后者, 表明底栖微藻在源自单胞藻的湿地有机产出中占有主导地位。九段沙湿地中底栖微藻总生物量远低于地表维管植物, 其生物量仅占潮滩初级生产者总生物量的约0.41%, 所产出的有机质却达到潮滩总初级生产力约16.53%, 意味着这种高营养、易摄取的有机产出有能力成为维持该湿地生态系统的重要食物来源之一。

**关键词:** 长江口; 底栖微藻; 盐沼湿地; 初级生产力; 九段沙

中图分类号: Q948.885.3

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2009)05-0040-08

## 1 引言

湿地作为水陆相互作用形成的特殊生态系统, 与森林、海洋一起并列为全球三大生态系统类型, 被誉为“自然之肾”<sup>[1]</sup>。而河口湿地因其独特的对陆源物质的过滤作用和高生产力的特征, 成为解决沿海国家所面临的河口及近海水域日益严重的富营养化所带来的环境问题, 以及渔业资源的衰竭所带来的经济和社会问题的关键区域<sup>[2]</sup>。自从 Teal<sup>[3]</sup>指出河口湿地的初级生产力高于当地的代谢水平并推测其剩余的有机物质被外来生物所摄取的观点以来, 湿地作为河口、近岸水域生态系统的重要营养来源的观点已被不断发现的事实所证实<sup>[4-5]</sup>。早期的盐沼湿地食物网研究认为湿地维管植物通过碎屑途径维持着湿地中各种无脊椎和脊椎动物的营养需

求<sup>[6]</sup>, 但随后越来越多的研究则意识到维管植物不是盐沼湿地动物唯一的营养来源<sup>[7-8]</sup>, 其他类型的食物源如单胞藻, 特别是底栖微藻对盐沼湿地生产力也有着显著贡献<sup>[9]</sup>。

长江口盐沼湿地作为我国重要的滨海湿地之一, 主要包括了崇明岛东滩、长沙、横沙、南汇东滩、九段沙等及邻近的沿江沿海部分湿地, 在有机质生产、水质净化、生物栖息地等各方面发挥着重要的生态系统服务功能<sup>[1,10]</sup>。虽然长江口盐沼湿地的各类大型维管植物的生态学已得到了较为细致的研究<sup>[11-13]</sup>, 但底栖微藻相关研究则较少, 仅有少量文献提及了底栖微藻在河口湿地食物网中的可能营养贡献<sup>[14]</sup>。造成这种现状的原因可能是由于和地表大型维管植物相比, 底栖微藻的表观生物量显得微不足道。鉴于底栖微藻所具有的可全年生长且世代

收稿日期: 2008-09-08; 修改日期: 2009-07-20。

基金项目: 教育部“创新团队”计划项目(PCSIR T0427); 国家自然科学基金项目(40906072); 浙江省自然科学基金项目(Y5090195); 温州医学院校科研资助项目(Q TJ08003)。

作者简介: 商栩(1977—), 男, 福建省福州市人, 副研究员, 博士, 从事水生生态环境研究。E-mail: copepod@sina.com

更迭迅速的特征,我们推测长江口盐沼湿地中的底栖微藻可能通过高生产力为本区域生态系统贡献可观的有机质产出,从而在食物网中占有重要地位。

## 2 材料与方法

### 2.1 样品采集

采样于 2006 年 6 月(夏季)和 12 月(冬季)在分布于九段沙湿地上、中、下沙的 8 个站位进行,涵盖了光滩、蘆草覆盖的中潮滩、米草或芦苇覆盖的高潮

滩(图 1)。底栖微藻的种类组成在 XSP-10C 生物显微镜下鉴定。底栖微藻生物量则通过测定潮滩表层沉积物中叶绿素 *a* 的浓度来确定,在各站位用内径为 2.1 cm 的 20 mL 注射器自制的采样器随机采集 2 个 2 cm 深的表层沉积物样,用不锈钢小刀以 0.5 cm 厚度将柱样分割为由表向下 0 ~ 0.5 cm, 0.5 ~ 1 cm, 1 ~ 1.5 cm, 1.5 ~ 2 cm 共 4 段,分别置于 10 mL 离心管内,并加入 1 ~ 2 滴饱和碳酸镁溶液,于 -20 °C 下避光冷冻保存。

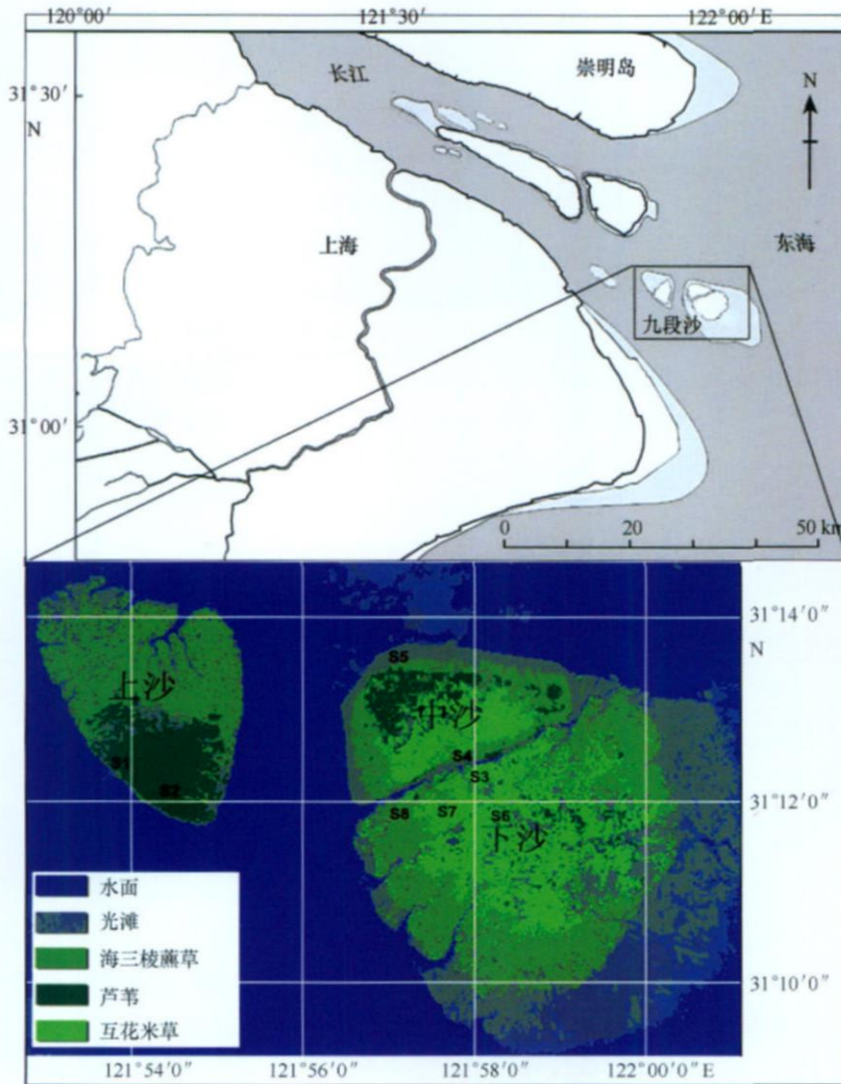


图 1 九段沙湿地采样站位分布

### 2.2 样品分析及生物量、生产力估算

用于测定叶绿素 *a* 浓度的表层沉积物样品加入 5 mL 90% 丙酮溶液研磨,经超声 5 min 后在 4 °C 下于暗处静置萃取 24 h,然后离心取上清液在日立 FL2500 型荧光分光光度计上测定,并参考宁修仁

等<sup>[15]</sup>的建议,将单位面积下沉积物表层 2 cm 中的叶绿素 *a* 含量( $\text{mg}/\text{m}^2$ )作为底栖微藻生物量。将底栖微藻的生物量转化为有机碳含量时采用了类似研究中常用的用叶绿素 *a* 浓度进行换算的办法,底栖微藻的碳和叶绿素 *a* 的平均比率可在 40 以上甚

至超过 60<sup>[16]</sup>,因此本研究中进行底栖微藻生物量换算时采用的 C 与叶绿素 *a* 的比率为 40。底栖微藻的生产力估算则根据生物量由下式<sup>[17]</sup>进行换算:

$$P = 1.13B + 8.23,$$

式中, *P* 为底栖微藻年初级生产力(C) [g/(m<sup>2</sup>·a)], *B* 为表层沉积物中叶绿素 *a* 浓度 [mg/(m<sup>2</sup>·a)], 计算中所用叶绿素 *a* 浓度为夏季和冬季的平均值。

为比较九段沙湿地中底栖微藻和其他主要初级生产者的有机产出, 估算了浮游植物和主要维管植物的生物量和生产力。其中对潮滩上覆水体中浮游植物的生物量和生产力进行估算时引用了以往研究中该湿地所处水域水体真光层内叶绿素 *a* 浓度 (0.74 mg/m<sup>3</sup>) 和初级生产力 [8 mg/(m<sup>2</sup>·d)] 数据<sup>[18]</sup>, 换算以有机碳表示的浮游微藻生物量时采用的 C 与叶绿素 *a* 比率为 35<sup>[19-20]</sup>。此外该水域位于长江口最大混浊带内, 真光层深度往往低于 1 m, 因此本文浮游植物生物量计算中真光层深度设为 1 m。估算主要维管植物的生物量和生产力时则引用了文献报道在本湿地中测得的单位生物量和生产力数据, 海三棱藨草、互花米草和芦苇的单位生物量 (C) 分别为 0.56, 3.83, 2.94 kg/m<sup>2</sup>, 单位生产力分别为 0.72, 2.16, 1.69 kg/(m<sup>2</sup>·a)<sup>[21]</sup>。不同植被类型覆盖区域的面积同样来自文献数据, 即

0 m 等深线以上光滩、藨草区、米草区和芦苇区的面积分别约为 93.6, 17.9, 10.1 和 5.7 km<sup>2</sup><sup>[22]</sup>。

### 3 结果

#### 3.1 底栖微藻在九段沙潮滩的分布

镜检显示长江口盐沼湿地滩涂上的底栖微藻以硅藻门羽纹硅藻纲的菱形藻属 (*Nitzschia* sp.) 和舟形藻属 (*Navicula* sp.) 的种类为主。此类硅藻由于其壳面中线上所具有的“纵沟”结构, 因此具有一定的自主运动能力, 在潮滩沉积物中表现出受光或潮汐诱发的垂直移动, 形成覆盖于滩涂表面的黄褐色“油泥”。在夏季和冬季的调查中, 九段沙湿地潮滩表面沉积物中均有很高浓度的叶绿素 *a*, 反映了底栖微藻的生长旺盛。单位面积潮滩上叶绿素 *a* 的浓度远远高于其上覆水体中的叶绿素 *a* 浓度 (约 0.74 mg/m<sup>2</sup>)<sup>[18]</sup>。其中夏季光滩沉积物表层的叶绿素 *a* 含量最高, 而米草和芦苇覆盖区沉积物表层的叶绿素 *a* 含量则较低。冬季光滩、潮沟边滩和米草覆盖的中潮滩的叶绿素 *a* 浓度都较夏季为低, 但藨草覆盖的中潮滩和芦苇覆盖的高潮滩的叶绿素 *a* 浓度反而比夏季有所上升, 其中藨草区的叶绿素 *a* 浓度甚至超过了光滩 (表 1)。

表 1 九段沙盐沼潮滩不同植被覆盖区域沉积物表层平均叶绿素 *a* 浓度 (平均值 ± 标准差, mg/m<sup>2</sup>)

区域	6月	12月	夏、冬平均
光滩	72.9 ± 35.2 (n=4)	46.8 ± 14.4 (n=4)	59.9 ± 26.6
藨草区(中潮滩)	34.2 ± 12.7 (n=4)	54.5 ± 25.6 (n=4)	44.4 ± 16.5
米草区(中潮滩)	21.7 ± 14.2 (n=2)	12.8 ± 4.4 (n=2)	17.3 ± 8.6
芦苇区(高潮滩)	13.8 ± 9.6 (n=2)	18.7 ± 8.6 (n=2)	16.2 ± 7.9

注: *n* 为样本数。

九段沙湿地潮滩沉积物中分层叶绿素 *a* 浓度测定结果显示, 虽然夏、冬两季各类型植被覆盖区域的底栖微藻垂直分布存在细微差异, 但均呈现叶绿素 *a* 含量随沉积物深度的增加而减少的垂直分布特征。在最表层的 0 ~ 0.5 cm 内的叶绿素 *a* 含量就超过了表层 2 cm 内总叶绿素 *a* 含量的 60%, 而表层 1 cm 内的叶绿素 *a* 含量则可占到总量的 80% 以上 (图 2)。

#### 3.2 底栖微藻生物量和生产力估算

由叶绿素 *a* 浓度换算的底栖微藻生物量和生产力结果显示, 在九段沙湿地光滩的底栖微藻生物量

占到了潮滩底栖微藻总生物量的 83.9%, 加上植被盖度较低的藨草覆盖区的底栖微藻共占到了潮滩底栖微藻总量的 95% 以上, 而米草和芦苇覆盖区的底栖微藻在潮滩底栖微藻总生物量中所占比重很小 (表 2)。就整个滩涂范围而言, 底栖微藻的单位面积平均生物量 (> 2 g/m<sup>2</sup>) 远高于其上覆水体中浮游植物生物量 (约 25.9 mg/m<sup>2</sup>)。

同样地, 较高的单位生产力和广阔的分布面积使得光滩上的底栖微藻有机质产出占到了九段沙湿地内底栖微藻总产出的大部分, 而植被盖度较高的米草和芦苇区则因其中底栖微藻较低

的单位生产力和较小的覆盖面积,产生的底栖微藻有机质很少。相比单位面积上覆水中的浮游

植物仅能提供不到 $3 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 的年生产力,底栖微藻的年生产力要高出一个数量级以上。

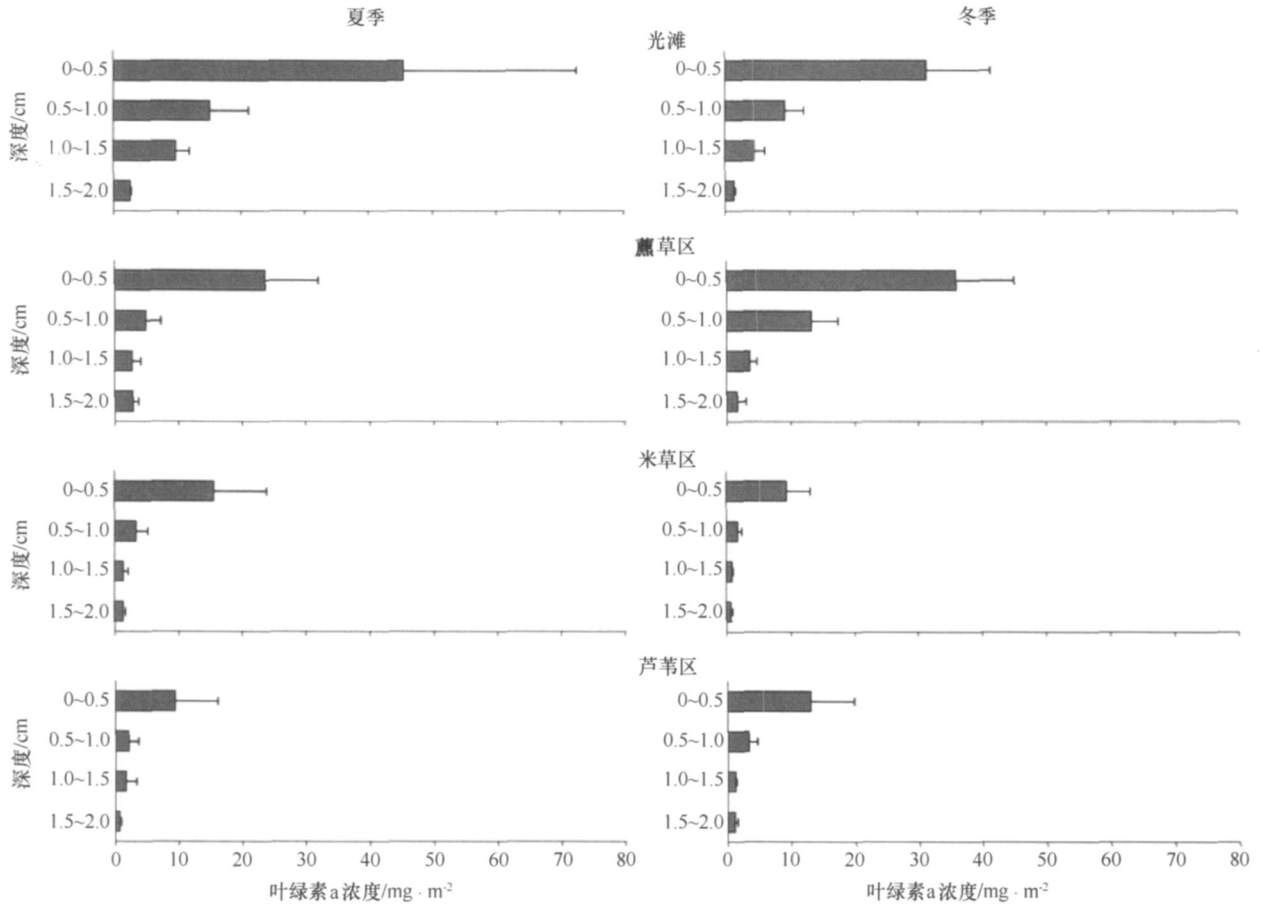


图2 九段沙盐沼潮滩不同植被覆盖区表层2 cm沉积物中叶绿素 a 浓度(平均值 + 标准差)的垂直分布

表2 九段沙湿地潮滩底栖微藻的生物量

区域	分布面积/ $\text{km}^2$	单位生物量/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	总生物量/ $10^6 \text{ g}$	占总量比例(%)
光滩	93.6	2.4	224.6	83.9
蘆草区	17.9	1.8	31.9	11.9
米草区	10.1	0.7	7.1	2.7
芦苇区	5.7	0.7	4.0	1.5
总计	127.3		267.6	

表3 九段沙湿地潮滩底栖微藻的生产力<sup>②</sup>

区域	分布面积/ $\text{km}^2$	单位生产力/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	总生产力/ $10^6 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1}$
光滩	93.6	76.0	7 113.6
蘆草区	17.9	58.4	1 045.4
米草区	10.1	27.8	280.8
芦苇区	5.7	26.5	151.1
总计	127.3		8 590.9

### 3.3 九段沙湿地潮滩各初级生产力的比较

将九段沙湿地潮滩上各初级生产者的生物量进行比较,底栖微藻的生物量(现存量)显著低于维管植物,仅为  $267.6 \times 10^6 \text{ g}$ ,占九段沙湿地初级生产者

总生物量的 0.41%。但其年生产力则很可观,达到  $8590.9 \times 10^6 \text{ g/a}$ ,在湿地植物总初级生产力中所占份额相比其生物量所占比例显著上升,达到总初级生产力的 16.53%(表 4)。

表 4 九段沙湿地潮滩各主要初级生产者的生物量和生产力比较

初级生产者	分布面积/ km <sup>2</sup>	生物量/ 10 <sup>6</sup> g	生产力/ 10 <sup>6</sup> g · a <sup>-1</sup>
底栖微藻	127.3	267.6	8590.9
海三棱藨草	17.9	10024	12888
互花米草	10.1	38683	21816
芦苇	5.7	16758	9633
总计		65732.6	51967.4
底栖微藻所占比例		0.41%	16.53%

## 4 讨论

### 4.1 底栖微藻在九段沙湿地潮滩的分布

盐沼湿地潮滩表层沉积物中的叶绿素 *a* 含量通常被用来表征滩涂光能自养生物的现存生物量。在九段沙湿地,底栖硅藻是滩面占据绝对优势的光合生物,因此沉积物中叶绿素 *a* 含量能够反映底栖微藻的丰度。从叶绿素 *a* 浓度在沉积物中的垂直分布来看,沉积物最表面 1 cm 层内集中了大部分的底栖微藻生物量。宁修仁等在象山港的研究也指出潮滩沉积物中叶绿素 *a* 主要分布在表层 0 ~ 1 cm,并随深度的增加浓度下降<sup>[15]</sup>。而 Wiltshire 采用冷冻切片技术的研究更显示,在最表层的 0.2 mm 内的叶绿素 *a* 含量最多可达沉积物中总量的 50%,该薄层内每 g 沉积物中叶绿素 *a* 浓度可超过 700  $\mu\text{g}$ <sup>[23]</sup>。底栖微藻在沉积物中的这种垂直分布特征被认为是与其光合作用需求及垂直移动能力密切相关的<sup>[24]</sup>。

光照不仅影响着底栖微藻在沉积物中的垂直分布模式,同时也影响着其在不同植被覆盖区域的水平分布。相关研究显示,光滩区域由于没有被大型维管植物所覆盖,其上底栖微藻生物量通常高于植被盖度高、沉积物表面光照较弱的区域<sup>[25-26]</sup>。本研究中九段沙湿地潮滩光滩沉积物中的底栖微藻生物量显著高于米草、芦苇等高大维管植物覆盖的区域,反映了充足的光照能显著增加潮滩表面底栖微藻的生物量。而在冬季的

海三棱藨草区,因植株大部分死亡并被潮水从滩面剥离而导致盖度显著下降,此时该区域内底栖微藻生物量反而明显高于夏季并和光滩处于同一水平,进一步反映了光照对底栖微藻分布的重要影响。

### 4.2 底栖和浮游微藻有机质产出的比较

在九段沙湿地潮滩,单位面积上底栖微藻的生物量大大高于其上覆水体中浮游植物的生物量,而单位面积上底栖微藻的年生产力也显著高于上覆水体中的浮游植物,这与大多数河口、近岸浅水生态系统中底栖微藻对总生物量和初级生产力的贡献要等于或高于上覆水体中浮游植物的现象是一致的<sup>[27-28]</sup>。宁修仁等对象山港的调查结果也显示潮滩底栖微藻生产力要高于象山港水域的浮游植物生产力<sup>[15]</sup>。湿地潮滩上底栖微藻的生物量和生产力明显高于其上覆水体中的浮游植物,意味着其在湿地食物网中源自单胞藻的营养来源中的地位可能大大高于浮游植物。

### 4.3 底栖微藻对湿地总初级生产力中的贡献

底栖微藻不仅是九段沙湿地主要的微藻生产力来源,其年初级产出量甚至达到或接近各种湿地维管植物的水平(表 4)。能够以仅占潮滩上初级生产者总量约 0.41%的生物量,产出高达总初级生产力约 16.53%的有机质,底栖微藻用高的世代更替速率达到了惊人的生产效率。和国外一些盐沼湿地相关研究加以比较,可以发现底栖微藻的初级生产力往往接近维管植物,甚至超过后者(表 5),这就为底

底栖微藻成为湿地食物网内重要的有机质提供者奠定了物质基础。

表 5 不同盐沼湿地中底栖微藻的年初级生产力 $[g/(cm^2 \cdot a)]$ 及其与维管植物生产力的比值(%)

所在区域	底栖微藻生产力	底栖微藻/维管植物	数据来源
加利福尼亚	185 ~ 341	76 ~ 140	文献[29]
佐治亚州	150	25	文献[30]
得克萨斯州	71	8 ~ 13	文献[31]
密西西比州	28 ~ 151	10 ~ 61	文献[32]
南卡罗来纳州	98 ~ 234	12 ~ 58	文献[33]
九段沙	76	17.2	本研究

许多基于稳定同位素手段的研究显示,底栖微藻是盐沼湿地中各类消费者的重要甚至是主要营养来源<sup>[9,34-35]</sup>。近年来对长江口盐沼湿地食物网所进行的稳定同位素分析结果也表明,底栖微藻是湿地内及周边水体中各营养级底栖和游泳动物的重要营养来源<sup>[36-37]</sup>。相比含氮量较低且大部分有机质以高度折叠结构的聚合体形式存在的维管植物,底栖微藻所产出的有机质更容易被消费者所摄取,且更富于营养<sup>[38]</sup>。高生产力和高可利用性使得底栖微藻成为维持九段沙盐沼湿地及周边水域生态系统的重要初级生产者。

## 5 结论

(1)长江口九段沙湿地的底栖微藻以菱形藻属和

舟形藻属硅藻种类为主,光照条件下聚集于沉积物表层而形成其生物量随深度增加而迅速减少的垂直分布模式,其生物量随滩面植被盖度从大到小的顺序为:光滩、蔗草区、米草区、芦苇区的水平分布格局;

(2)九段沙湿地中单位面积上底栖微藻的生物量远高于上覆水中浮游植物的生物量,其单位面积生产力也显著高于后者,表明底栖微藻在源自单胞藻的湿地有机产出中占有主导地位;

(3)九段沙湿地中底栖微藻总生物量远低于地表维管植物,其仅占潮滩初级生产者总量约 0.41% 的生物量,却产出了占总初级生产力约 16.53% 的有机质,显示这种有机产出有可能成为湿地内消费者的重要食物来源之一。

## 参考文献:

- [1] 陆健健. 中国湿地 [M]. 上海:华东师范大学出版社, 1990: 58—60.
- [2] TEAL J M, HOWES B L. Salt marsh values: retrospection from the end of the century [M]// Weinstein M P, Kreeger D A. Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002: 9—19.
- [3] TEAL J M. Energy flow in the salt marsh ecosystem of Georgia [J]. Ecology, 1962, 43: 614—624.
- [4] ODUM E P. A research challenge: evaluating the productivity of coastal and estuarine water [C]// Proceedings of the 2nd Sea Grant congress. Kingston: University of Rhode Island, 1968: 63—64.
- [5] HOPKINSON C S. Shallow water benthic and pelagic metabolism: evidence for heterotrophy in the nearshore Georgia Bight [J]. Marine Biology, 1985, 87: 19—32.
- [6] ODUM E P, DELA CRUZA. Particulate organic detritus in a Georgia salt marsh - estuarine ecosystem [M]// LAUFF G H. Estuaries: American Association for the Advancement of Science Publication, 1967: 383—388.
- [7] HAINES E B. Relation between the stable isotope composition of fiddler crabs, plants and soils in a salt marsh [J]. Limnology and Oceanography, 1976, 21: 609—616.
- [8] HAINES E B, MONTAGUE C L. Food sources of estuarine invertebrates analyzed using  $^{13}C/^{12}C$  ratios [J]. Ecology, 1979, 60: 48—56.
- [9] SULLIVAN M J, MONCREIFF C A. Edaphic algae are an important component of salt marsh food - webs: evidence from multiple stable isotope analyses [J]. Marine Ecology Progress Series, 1990, 62: 149—159.
- [10] 陆健健,孙宪坤,何文珊. 上海地区湿地的研究 [M]. 郎惠卿,林鹏,陆健健. 中国湿地研究和保护. 上海:华东师范大学出版社,

- 1998: 97—309.
- [11] 宋国元,袁俊峰,左本荣. 九段沙植被分布及其环境因子研究 [J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2001, 30(1): 69—73.
- [12] 孙书存,蔡永立,刘红. 长江口盐沼海三棱藨草在高程梯度上的生物量分配 [J]. 植物学报, 2001, 43(2): 178—185.
- [13] 陈家宽. 上海九段沙湿地自然保护区科学考察集 [M]. 北京:科学出版社,2003.
- [14] 罗秉征,韦晟,龚硕增. 长江口鱼类食物网与营养结构的研究 [J]. 海洋科学集刊, 1997, 38: 143—153.
- [15] 宁修仁,刘子琳,蔡昱明. 象山港潮滩底栖微型藻类现存量 and 初级生产力 [J]. 海洋学报, 1999, 21(3): 98—105.
- [16] DE JONGE V N. Fluctuations in the organic carbon to chlorophyll *a* ratios for estuarine benthic diatom populations [J]. Marine Ecology Progress Series, 1980, 2: 345—353.
- [17] DE JONG D J, NIENHUIS P H, KATER B J. Microphytobenthos in the Oosterschelde estuary (the Netherlands), 1981 - 1990; consequences of a changed tidal regime [J]. Hydrobiologia, 1994, 282/283: 183—195.
- [18] 刘子琳,宁修仁,蔡昱明. 杭州湾—舟山渔场秋季浮游植物现存量 and 初级生产力 [J]. 海洋学报, 2001, 23(2): 93—99.
- [19] CLOERN J E, GRENZ C, VIDERGAR - LUCAS L. An empirical model of the phytoplankton chlorophyll:carbon ration—the conversion factor between productivity and growth rate [J]. Limnology and Oceanography, 1995, 40: 1313—1321.
- [20] JASSBY A D, CLOERN J E, COLE B E. Annual primary production: patterns and mechanisms of change in a nutrient - rich tidal ecosystem [J]. Limnology and Oceanography, 2002, 47: 698—712.
- [21] LIAO C Z, LUO Y Q, JIANG L F, et al. Invasion of *Spartina alterniflora* enhanced ecosystem carbon and nitrogen stocks in the Yangtze estuary, China [J]. Ecosystems, 2007, 10: 1351—1361.
- [22] HUANG H, ZHANG L Q. A study of the population dynamics of *Spartina alterniflora* at Jiuduansha shoals, Shanghai, China [J]. Ecological Engineering, 2007, 29: 164—172.
- [23] WILTSCHIRE K H. Algae and associated pigments of intertidal sediments, new observations and methods [J]. Limnologica, 2000, 30: 205—214.
- [24] JANSSEN M, HUST M, RHIEL E, et al. Vertical migration behaviour of diatom assemblages of Wadden Sea sediments (Dangast, Germany): a study using cryo - scanning electron microscopy [J]. International Microbiology, 1999, 2: 103—110.
- [25] WHITNEY D E, DARLEY W M. Effect of light intensity upon salt marsh benthic microalgal photosynthesis [J]. Marine Biology, 1983, 75: 249—252.
- [26] BLANCHARD G F, MONTAGNA P A. Photosynthetic response of natural assemblages of marine benthic microalgae to short - and long - term variations of incident irradiance in Baffin bay, Texas [J]. Journal of Phycology, 1992, 28: 7—14.
- [27] KROMKAMP J, PEENE J, VAN RUSWIJ K P, et al. Nutrients, light and primary production by phytoplankton and microphytobenthos in the eutrophic, turbid Westerschelde estuary (The Netherlands) [J]. Hydrobiologia, 1995, 311: 9—19.
- [28] NOZAIS C, PERISSINOTTO R, MUNDREE S. Annual cycle of microalgal biomass in a South African temporarily - open estuary: nutrient versus light limitation [J]. Marine Ecology Progress Series, 2001, 223: 39—48.
- [29] ZEDLER J B. Algal mat productivity: comparisons in a salt marsh [J]. Estuaries, 1980, 3: 122—131.
- [30] POMEROY L R, DARLEY E, DUNN E, et al. Primary production [M]// POMEROY L R, WIEGERT R G The Ecology of a Salt Marsh New York: Springer, 1981: 39—67.
- [31] HALL S L, FISHER F M Jr. Annual productivity and extracellular release of dissolved organic compounds by the epibenthic algae community of a brackish marsh [J]. Journal of Phycology, 1985, 21: 277—281.
- [32] SULLIVAN M J, MONCREIFF C A. Primary production of edaphic algal communities in a Mississippi salt marsh [J]. Journal of Phycology, 1988, 24: 49—58.
- [33] PINCKNEY J, ZINGMARK R G. Biomass and production of benthic microalgal communities in estuarine habitats [J]. Estuaries, 1993, 164: 887—897.
- [34] PETERSON B J, HOWARTH R W. Sulfur, carbon and nitrogen isotopes used to trace organic matter flow in the salt - marsh estuaries of Sapelo Island, Georgia [J]. Limnology and Oceanography, 1987, 32: 1195—1213.
- [35] RIERA P, STAL L J, NIEUWENHUIZE J, et al. Determination of food sources for benthic invertebrates in a salt marsh (Aiguillon Bay, France) by carbon and nitrogen stable isotopes: importance of locally produced sources [J]. Marine Ecology Progress Series, 1999, 187: 301—307.
- [36] QUAN W M, FU C Z, JIN B S, et al. Tidal marshes as energy sources for commercially important nektonic organisms: stable isotope analysis [J]. Marine Ecology Progress Series, 2007, 352: 89—99.
- [37] SHANG X, ZHANG G S, ZHANG J. Relative importance of vascular plants and algal production in the food web of a *Spartina*-invaded salt marsh in the Yangtze River estuary [J]. Marine Ecology Progress Series, 2008, 367: 93—107.
- [38] MILLER D C, GEIDER R J, MACINTYRE H L. Microphytobenthos: The ecological role of the “secret garden” of unvegetated, shallow - water marine habitats: . Role in sediment stability and shallow-water food webs [J]. Estuaries, 1996, 19: 202—212.

## Distribution characteristics and contribution to total primary production of microphotobenthos in the salt marshes of the Changjiang Estuary

SHANG Xu<sup>1,2</sup>, GUAN Wei-bing<sup>3</sup>, ZHANG Jing<sup>2</sup>

(1. School of Environmental Science and Public Health, Wenzhou Medical College, Wenzhou China, 325035 China;  
2. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China;  
3. College of Marine Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

**Abstract :** The observation of vertical and horizontal distribution of microphytobenthos (MPB) living on tidal flats, and the estimate of the contribution of the dominant primary producers to total primary production have been carried out in the Jiuduansha salt marshes of the Changjiang Estuary in June (summer) and December (winter) of 2006. MPB concentrate on the surface of the sediments under illumination, and its biomass decrease rapidly with depth. Significant variations of chlorophyll a concentrations in the surface sediments are found between tidal flats covered by different vegetations, following the sequence of bare flat > *Scirpus mariqueter* region > *Spartina alterniflora* region > *Phragmites australis* region. The biomass and production of MPB are much higher than phytoplankton in the overlying water column, indicating MPB dominate the algal production in these salt marshes. Although the biomass of MPB are much lower than vascular plants, and only account for 0.41% of total biomass of primary producers in Jiuduansha, MPB contribute 16.53% of total primary production to the ecosystem here. Considerable production of MPB makes this nutritious and digestible producer may play an important role in maintaining this salt marsh ecosystem.

**Key words :** Changjiang Estuary; microphytobenthos; salt marsh; primary production; Jiuduansha