

象山港潮滩底栖微型藻类现存量 和初级生产力^{*}

宁修仁 刘子琳 蔡昱明

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012)

摘 要 作者于 1992 年 2、5、6、8 和 10 月在象山港湖头渡, 5 月和 6 月在大佳河(港顶部)、西沪港(港中部)和横山(近港口区)4 条断面潮滩进行了底栖微型藻现存量生物量和初级生产力的观测研究。结果表明, 潮滩表层叶绿素 a 浓度分布具有明显的空间区域性和时间变异性特征。港顶部的浓度高于港中部和近港口区; 滩面表层的平均叶绿素 a 浓度, 5 月 $[(10.36 \pm 8.08) \mu\text{g/g 湿重}]$ 高于 6 月 $[(2.94 \pm 1.21) \mu\text{g/g 湿重}]$ 。由于光的限制, 沉积物中的叶绿素 a 主要分布在表层 0~1 cm, 随深度的增加浓度下降, 但其降解产物——脱镁叶绿素的浓度却增大。松软、平整、稳定的滩面有利于底栖微型藻类的生长, 5、6 月潮滩表层平均初级生产力为 $(45.1 \pm 46.8) \text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})$ 。湖头渡潮滩叶绿素 a 浓度以夏季最高, 春、秋季次之, 冬季最低; 初级生产力仍以夏季最高, 春、冬季较低, 秋季最低。

关键词 叶绿素 a 初级生产力 潮滩 底栖微型藻 象山港

1 引言

底栖微型藻类是潮滩生境中的主要初级生产者, 是港湾有机物的另一重要来源, 是杂食性鱼类和双壳类软体动物的重要饵料。自 60 年代起, 国外海洋生态学家就十分重视潮滩底栖微型藻现存量生物量和初级生产力的调查研究^[1~9]。但迄今国内未见这方面的报道。占象山港港区面积约三分之一的潮滩生长着大量微小型藻类, 是贝类、甲壳类和鱼类养殖的理想场所。开展潮滩叶绿素 a 浓度和初级生产力的观测研究, 为评估象山港资源生态容量、水产增养殖业的合理布局和资源与环境的管理提供科学依据, 也为我国海湾生态系研究填补一项新的内容。

本文于 1997-08-02 收到, 修改稿于 1998-07-10 收到。

^{*} 浙江省自然科学基金资助项目(编号:398011)。

第一作者简介: 宁修仁, 男, 58 岁, 研究员, 现主要从事海洋生物学研究。

2 材料与方法

2.1 采样

1992年5月14~20日,6月28日至7月1日,在大佳河、西沪港、湖头渡和横山4条断面潮滩进行了叶绿素a浓度和初级生产力的现场观测.湖头渡潮滩增加夏(8月9日)、秋(10月13日)和冬季(2月28日)的观测(图1).在各潮滩断面的高、中和低潮区采样.测定叶绿素a浓度的泥样用玻璃管垂直取0~20 cm深的平行柱状样3份.避光带回实验室立即分割处理.测定底栖微型藻类的碳固定速率的泥样用玻璃管垂直取0~6 cm深的柱状样5份,其中两管避光带回实验室测定其表层的叶绿素a和脱镁叶绿素的浓度,另三管(一黑二白)用于光合作用速率的培养测定.

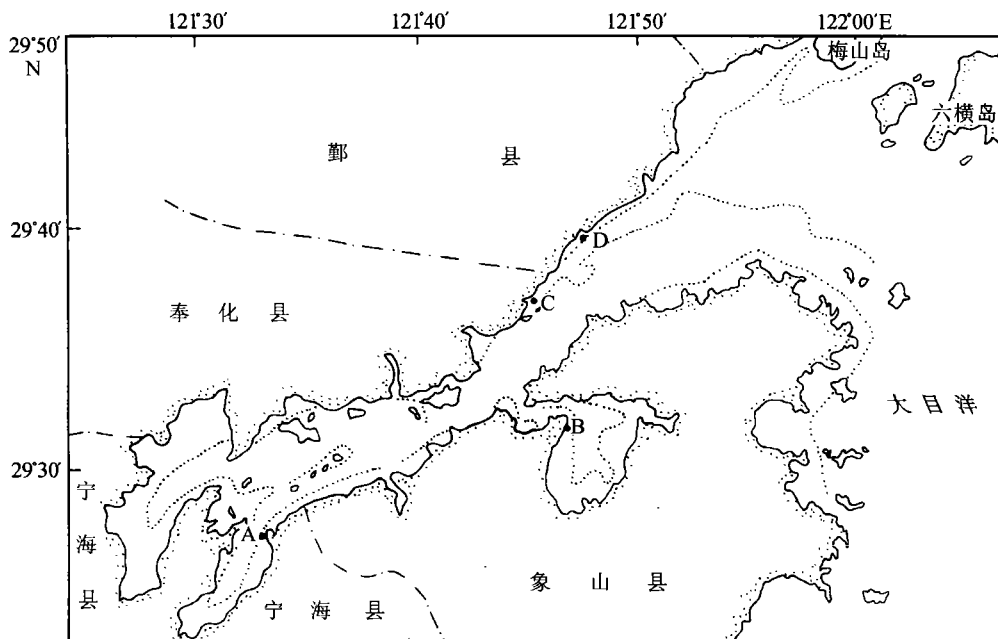


图1 象山港潮滩采样断面

A. 大佳河 B. 西沪港 C. 湖头渡 D. 横山

2.2 样品分析

叶绿素a浓度测定采用荧光法.2月泥样以0~1 cm、1~5 cm、5~10 cm和10~20 cm的间隔切断,5、8和10月以0~5 cm、5~10 cm和10~20 cm的间隔切断.各段泥样混匀后分别称取部分样品,加90%丙酮研磨,经萃取、离心、定容,在Turner-Designs 10型荧光计上测定.依照海洋调查规范(GB 12763.6-91)^[10]的计算公式,以体积与重量之比计算出泥样中的叶绿素a和脱镁叶绿素浓度.

与光合作用速率观测同步采集的泥样,切取上层0~0.5 cm,称其重量,混匀后测定其叶绿素a浓度.并烘干经萃取的沉积物,称其干重.

初级生产力观测,在不同潮区采得的泥样均被插入中潮区的潮滩上,向各管加入一定量过

滤的现场间隙水,并分别加入 370 kBq $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ 溶液,在自然光照下培养 2 h 后切割柱状表层泥样,称其重量,混匀后称取部分样品于闪烁瓶中,加入闪烁液后进行 β 计数,初级生产力按照海洋调查规范(GB 12763.6-91)^[10]计算.

3 结果

3.1 沉积物中叶绿素 a 浓度

5 月各断面表层平均叶绿素 a 浓度以大佳河最高 $[(21.72 \pm 7.89) \mu\text{g/g}$ 湿重(以下简称 $\mu\text{g/g}$)],其他 3 条断面要低得多且相接近(表 1). 各断面不同潮区的平均值,高、低潮区分别为 (11.4 ± 13.07) 和 $(11.32 \pm 5.39) \mu\text{g/g}$,中潮区均值为 $(8.29 \pm 5.56) \mu\text{g/g}$. 6 月表层浓度远低于 5 月,且从港底向湾口逐渐降低,仍以大佳河断面最高 $[(4.16 \pm 1.48) \mu\text{g/g}]$,西沪港断面次之,湖头渡断面最低(表 1).

表 1 1992 年象山港潮滩表层叶绿素 a 浓度

潮滩	5 月		6 月		平均值	
	($\mu\text{g/g}$)	(mg/m^2)	($\mu\text{g/g}$)	(mg/m^2)	($\mu\text{g/g}$)	(mg/m^2)
大佳河	21.72 ± 7.89	206.7 ± 86.7	4.16 ± 1.48	39.1 ± 15.4	12.94 ± 4.67	122.9 ± 50.9
西沪港	6.86 ± 1.54	74.6 ± 11.3	3.02 ± 1.17	30.9 ± 12.0	4.94 ± 1.33	52.8 ± 10.3
湖头渡	6.10 ± 4.64	51.6 ± 38.4	2.67 ± 0.48	29.0 ± 4.7	4.39 ± 2.55	40.3 ± 21.0
横山	6.77 ± 3.76	64.8 ± 38.5	1.92 ± 0.60	19.8 ± 5.0	4.35 ± 2.0	42.3 ± 20.0
平均值	10.36 ± 8.08	99.4 ± 14.9	2.94 ± 1.21	29.7 ± 7.9	6.65 ± 5.14	64.6 ± 39.3

5 月和 6 月 4 断面不同潮区沉积物中的叶绿素 a 浓度垂直分布示于图 2. 由图 2 可见,潮滩叶绿素 a 浓度以表层最高,随沉积深度的增加其浓度降低,至 10~20 cm 的深层,浓度大多低于 0.5 $\mu\text{g/g}$,在西沪港和横山潮滩的高潮区,该层的浓度接近于零.

湖头渡潮滩 8 月叶绿素 a 浓度居首位,均值为 $(15.26 \pm 9.08) \mu\text{g/g}$. 低潮区表层出现最大值 $(5.52 \mu\text{g/g})$,高潮区的浓度也较高 $(2.86 \mu\text{g/g})$;5 月和 10 月均值较接近,分别为 $(6.10 \pm 4.64) \mu\text{g/g}$ 和 $(6.59 \pm 5.16) \mu\text{g/g}$,6 月浓度最低 $[(2.67 \pm 0.48) \mu\text{g/g}]$,2 月中潮区表层为 4.65 $\mu\text{g/g}$,0.5~2.0 cm 层、2.0~5.0 cm 层和 5.0~10.0 cm 层的浓度依次降低,分别为 1.71、0.28 和 0.19 $\mu\text{g/g}$.

3.2 初级生产力

5 月和 6 月高、中和低潮区沉积物表层初级生产力(PP)均值为 $(4.8 \pm 4.8) \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})(\text{C})$,即单位面积生产力为 $(45.1 \pm 46.8) \text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})$,超过同期水体浮游植物的碳固定能力 $[37.0 \text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})]$ ^[14]. 高、中、低潮区分别为 5.2~18.5 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})$,9.4~45.8 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})$,13.6~147.2 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})$.

各潮区的初级生产力示于图 3. 由图 3 可见,5 月高生产力出现在横山低潮区 $[147.2 \text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})]$. 次高值位于大佳河潮滩高、低潮区[分别为 118.5 和 95.3 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})]$. 该断面平均生产力居 4 潮滩之首 $[(76.6 \pm 53.7) \text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})]$. 湖头渡潮滩高潮区为 5.23 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})$,低潮区高达 70.3 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})$,断面均值为 $(29.2 \pm 35.73) \text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$.

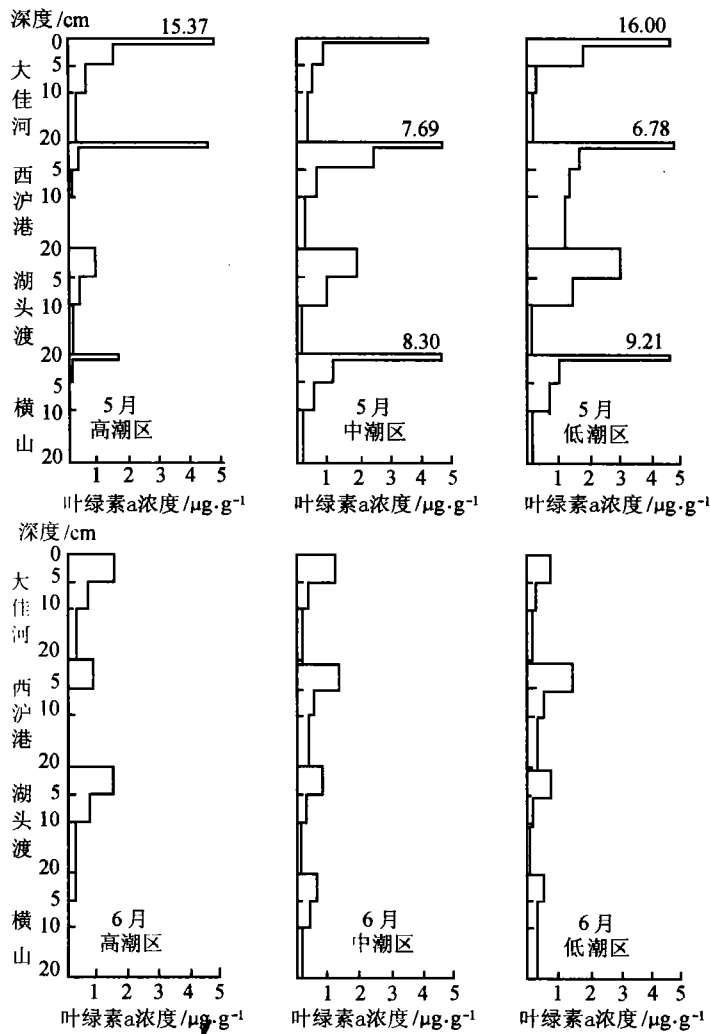


图 2 象山港潮滩叶绿素 a 浓度(μg/g)的垂直分布

西沪港断面生产力较低[(10.45 ± 2.80) mg/(m²·h)(C)](表 2)。

表 2 象山港潮滩初级生产力

潮滩	PP/μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹		PP/mg·m ⁻² ·h ⁻¹		PP/mg·m ⁻² ·d ⁻¹		同化数/mg·mg ⁻¹ ·h ⁻¹	
	5 月	6 月	5 月	6 月	5 月	6 月	5 月	6 月
大佳河	8.5 ± 6.0	3.7 ± 3.7	76.6 ± 53.7	34.1 ± 36.7	919 ± 643	426 ± 458	0.4 ± 0.3	0.8 ± 0.3
西沪港	1.0 ± 0.2	ND*	10.5 ± 2.8	ND	125 ± 34	ND	0.1 ± 0.1	ND
湖头渡	3.4 ± 4.2	5.6 ± 7.6	29.2 ± 35.7	58.6 ± 78.4	350 ± 429	732 ± 980	0.6 ± 0.3	2.1 ± 2.3
横山	7.1 ± 5.9	4.4 ± 2.9	70.8 ± 67.3	35.6 ± 21.9	849 ± 1 142	445 ± 274	1.1 ± 0.2	2.3 ± 1.5
平均值	5.0 ± 3.4	4.6 ± 1.0	46.8 ± 32.1	42.8 ± 13.7	561 ± 385	535 ± 171	0.5 ± 0.4	1.6 ± 0.8

* ND 表示无数据。

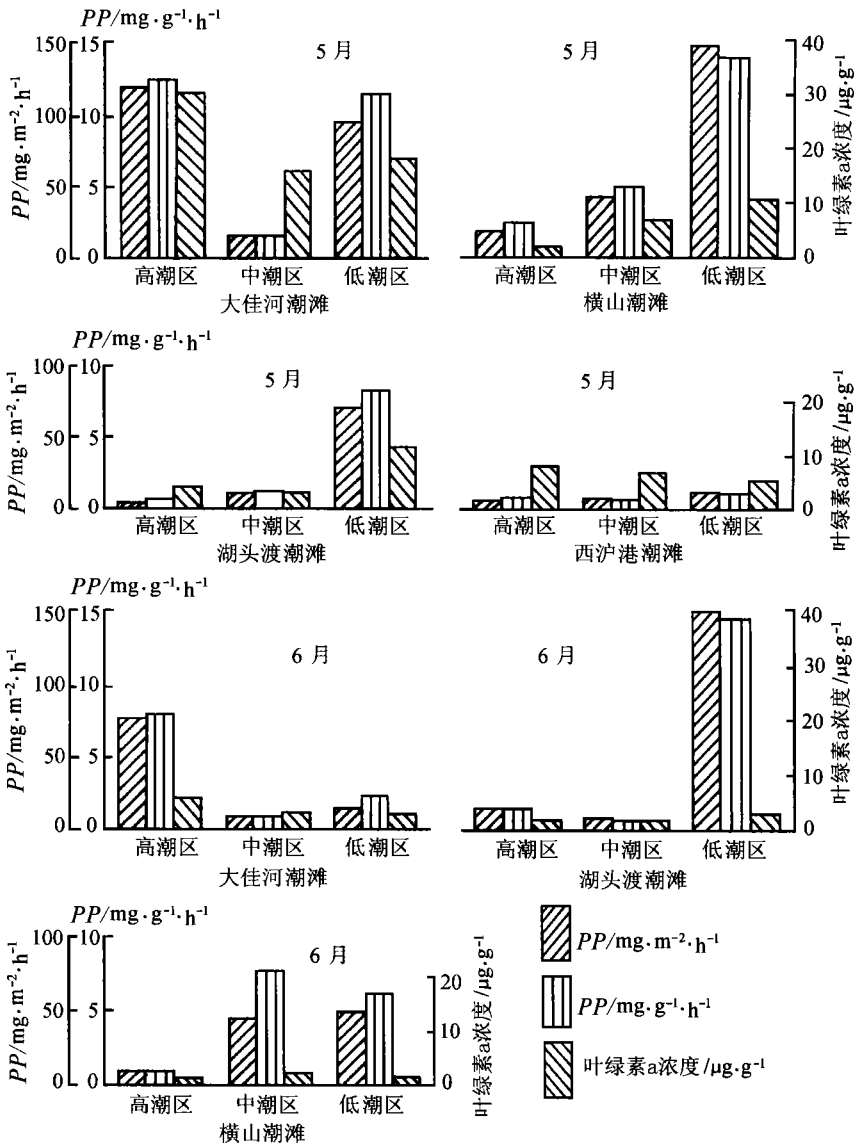


图3 象山港潮滩初级生产力

6月湖头渡低潮区出现最高值[149.0 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})$];大佳河潮滩高潮区生产力仍较高[76.3 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})$]. 低值位于湖头渡和大佳河中潮区及横山高潮区,其值为10 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 左右. 各潮滩平均生产力,大佳河和横山5月比6月高一倍,而湖头渡6月比5月高一倍多.

湖头渡潮滩8月低潮区表层生物量高(叶绿素a浓度为25.48 $\mu\text{g}/\text{g}$),光强适宜,生产力为410.3 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})$. 6月生产力居第二,低潮区出现149.0 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})$ 的高值. 5月低潮区生产力为70.3 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})$,断面均值为29.2 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})$. 10月生产力低,均值仅15.1 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})(\text{C})$. 2月仅有中潮区的观测资料,不宜与其他季节比较,仅从中潮区比

较,其生产力还是较高的(表 3).

表 3 1992 年象山港湖头渡潮滩叶绿素 a 浓度和初级生产力的季节变化

月份	叶绿素 a 浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	叶绿素 a 浓度/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$	$PP/\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	$PP/\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$	$PP/\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$	$PP/\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$	同化数/ $\text{mg}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$
2	4.24	42.39	4.0	32.6	44	359	1.0
5	6.10 ± 4.64	51.59 ± 38.40	3.4 ± 4.2	29.2 ± 35.7	41 ± 50	350 ± 429	0.6 ± 0.3
6	2.67 ± 0.48	29.01 ± 4.72	5.6 ± 7.7	58.6 ± 78.4	71 ± 96	732 ± 980	2.1 ± 2.3
8	15.26 ± 9.08	146.56 ± 96.8	23.2 ± 23.6	198.8 ± 186.9	302 ± 308	$2\,584\pm 2\,431$	1.5 ± 0.6
10	6.59 ± 5.16	56.25 ± 44.42	1.8 ± 1.8	15.1 ± 14.9	21 ± 21	181 ± 179	0.3 ± 0.1
平均值	6.99 ± 4.87	70.88 ± 46.61	8.6 ± 8.8	76.1 ± 75.4	109 ± 130	$962\pm 1\,106$	1.2 ± 0.9

4 讨论

潮滩叶绿素 a 浓度表征滩涂光能自养生物的现存生物量. 滩面既有大型海藻的固着生长,又有游离或附着的微型藻类(硅藻、鞭毛藻和蓝绿藻等)的生存与繁衍. 随着滩涂表面的平整、凹陷和稳定程度而表现出生物群落的多样性和不均匀性. 我们在现场采样观测过程中,注重沉积物的完整性,一般选择滩面比较平整,少受底栖生物扰动的地方取样,使观测点的小生境更具代表性. 从象山港潮滩叶绿素 a 浓度垂直分布来看,光是重要的影响因素. 0~0.5 cm 层光强足,叶绿素 a 浓度高. 随着沉积深度增加,光强迅速减弱并趋于零,叶绿素 a 浓度也接近于零,而降解产物——脱镁叶绿素浓度在 20 cm 以浅随深度增加而增加.

Cadee 和 Hegeman^[4]在 Dutch Wadden 海潮滩观测的结果显示,滩面 0~1 cm 层的叶绿素 a 浓度约占 0~10 cm 层浓度的 25%. 5 月大佳河、西沪港和横山潮滩 9 个观测点的数据表明,象山港 0~1 cm 层的叶绿素 a 浓度约占 0~10 cm 层浓度的 50%,比 Dutch Wadden 海高一倍. 这可能与后者潮滩为沙质底,粒度粗、空隙度较大,不易保持“肥质”有关,又因其透气性好,光能透入较深底质层次,有助于自养生物的生长,因而,0~1 cm 层的叶绿素 a 浓度所占比重较低. 象山港潮滩均为泥质或泥-沙质,底泥肥沃,有利于微型藻大量生长繁衍,使 0~1 cm 层的叶绿素 a 浓度较高. 泥质底较为致密,光难以透入深层,使 1 cm 层以下的微型藻类生存困难或无法繁衍,叶绿素 a 浓度显著下降,尤其在 10~20 cm 层,其浓度降至很低(见图 2).

为了与初级生产力表达方式一致,本文中叶绿素 a 浓度以 $\mu\text{g/g}$ (湿重泥)或以 mg/m^2 表达. 国外学者大多以 $\mu\text{g/g}$ (干重泥)表达^[4,8~11],这可克服滩面泥样含水量的不同而引起的差异. 一般来说,沙底质含水量少,泥底质含水量多,高潮区底质硬度高,含水量少,中、低潮区底质松软,含水量多. 象山港潮滩 4 断面湿重与干重泥样中叶绿素 a 浓度比率约为 50%,若以单位面积(m^2)中的叶绿素 a 浓度或初级生产力表达,则不受干湿重比率的影响.

象山港潮滩表层有较高生物量(平均叶绿素 a 浓度为 45.05 mg/m^2),碳固定能力较强. 在现场观测加样后培养 0.5 h,即可看到培养管内沉积物表面不断有气泡溢出,说明底栖微型藻类的光合释氧. 根据沉积物粒度大小和底栖微型藻类丰度及其他颗粒有机物的含量,可知光合层一般在潮滩表面至 2~5 mm 深度^[4],因此使用 0.5 cm 以浅的泥样进行测定已足够.

象山港为半日潮港湾,潮差在 284~374 cm 之间^[12]. 随着潮水的涨落,各个潮区接受阳光辐照的时间长短不一,高低潮间有数小时之差,由于高潮区的日照时间最长,因而叶绿素 a

浓度和初级生产力也较中、低潮区为高。由于港内水域真光层深度一般在 3~4 m 左右,因而,即使在高平潮时,低潮区潮滩表面仍能接受阳光的透入。5~6 月潮滩表面微型藻类的日光合作用时间按 12 h 计算是比较客观的,这样港内 5 月潮滩底栖藻类的平均初级生产力为 560 mg/(m²·d)(C),6 月为 535 mg/(m²·d)(C),与国外学者的观测结果相近(表 4)。

表 4 象山港潮滩叶绿素 a 和初级生产力与其他海湾的比较

海 湾	底质类型	叶绿素 a 浓度/mg·m ⁻²	PP/mg·m ⁻² ·h ⁻¹	资料来源
Danish Wadden 海(55°N)	沙质	—	25~300	Greatved(1962) ^[11]
S N E USA(41°N)	混合底质	100	8~31	Marshall 等(1971) ^[2]
Madagascar (13°S)	沙质	39	9	Plante - Cuny (1978) ^[3]
荷兰 Wadden 海(53°N)	沙 - 泥	100	50~100	Cadee 和 Hegeman (1974) ^[4]
英格兰西南 RL 河口(50°N)	泥质	30~80 *	5~115	Joint (1978) ^[6]
Baigzand Wadden 海(53°N)	—	3~13 *	0~75	Cadee 和 Hegeman (1977) ^[5]
美国 Bolss 湾(34°N)	泥质	185~385	26~59	Riznyk(1978) ^[3]
Ems - Dollard 河口(53°N)	泥质	33~184	37	Colijin 和 Jonge (1984) ^[8]
Langebean 潟湖(33°N)	沙 - 沙泥质	0~322	17~70	Fielding 等(1988) ^[9]
象山港(29.5°N)	泥质	16~307	45 ± 23	本文

* 单位为 μg/g 干泥。

6 月潮滩叶绿素 a 浓度和初级生产力均较 5 月低,这与 6 月多阴雨天气,底栖微型藻类的生产受光的限制有关。象山港顶部潮滩叶绿素 a 浓度和初级生产力普遍较港中部和口部为高,这与顶部水体较为稳定,有利于悬浮体沉降,使光透射率提高有关。

象山港水域浮游植物初级生产力为 162 g/(m²·a)^[3],低于潮滩底栖微型藻类的初级生产力。这主要与生物量的高低有关,因为潮滩单位面积叶绿素 a 浓度比水域高数倍。Fielding 等^[9]在 Langebaan 潟湖的观测也得到同样的结果,浮游植物生产力为 123 g/(m²·a),底栖微型藻类生产力为 171 g/(m²·a)。他们认为,Langebaan 潟湖春、夏季的底栖藻类初级生产力总是超过浮游植物生产力。Cadee 和 Hegeman^[5]及 Colijin 和 Jonge^[8]的结果也表明,底栖微型藻类的生产力往往超过位于其上方水体中的浮游植物生产力。

5 小结

- 5.1 象山港潮滩表层叶绿素 a 浓度分布具明显的空间区域性,港顶部的浓度高于港中部和近港口区,高潮区的浓度高于低潮区和中潮区。5 月的叶绿素 a 浓度高于 6 月,这均与光照有关。
- 5.2 受光的限制,潮滩沉积物中的叶绿素 a 浓度主要分布在表层,随沉积物深度的增加,叶绿素 a 浓度逐渐下降,脱镁叶绿素浓度逐渐增大。
- 5.3 松软、平整、稳定的潮滩滩面有利于底栖微型藻类的生长和繁衍,港区潮滩单位面积初级生产力超过单位面积水体的浮游植物碳固定能力。

参考文献

1 Grentved Jul. Preliminary report on the productivity of microbenthos and phytoplankton in the Danish Wadden Sea. Medd Danm Fiskert Havunders N.S., 1962, 3(12): 347~378

2 Marshall N, Oviat A, Skauen D M. Productivity of the benthic microflora of shoal estuarine environments in southern New

- England. *Int. Revue ges Hydrobiol.*, 1971, **56**(6): 947~956
- 3 Raelte C D Van, Vallela I, Teal J M. Production of epibenthic salt marsh algae: light and nutrient limitation. *Limnol. Oceanogr.*, 1976, **21**(6): 862~872
 - 4 Cadée G C, Hegeman J. Primary production of the benthic microflora living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea. Res.*, 1974, **8**(2/3): 260~291
 - 5 Cadée G C, Hegeman J. Distribution of primary production of the benthic microflora and accumulation of organic matter on a tidal flat area. *Balgzand Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea. Res.*, 1977, **11**(1): 24~41
 - 6 Joint I R. Microbial production of an estuarine mud-flat. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 1978, **7**, 185~195
 - 7 Riznyk R Z, Edens J J, Libby R C. Production of epibenthic diatoms in Southern California impounded estuary. *J. Phycol.*, 1978, **14**, 273~279
 - 8 Colijn F, Jonge V N de. Primary production of microphytobenthos in the Ems - Dollard Estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1984, **14**, 185~196
 - 9 Fielding P J, Damstra K St J, Branch G M. Benthic diatom biomass, production and sediment chlorophyll in Langebean Lagoon, South Africa. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 1988, **27**, 413~426
 - 10 国家技术监督局. 海洋调查规范, 海洋生物调查 GB 12763.6 - 91. 北京: 海洋出版社, 1991
 - 11 Varela M, Penas E. Primary production of benthic microalgae in an intertidal sand flat of the Ria de Arosa NW Spain. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1985, **25**, 111~119
 - 12 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志, 第五分册. 北京: 海洋出版社, 1992, 166~233
 - 13 Plante-Cuny M R. Pigment photosynthetiques et production primaire des fonds meubles meritiques d'une region tropical (Nosy-Be, Madagascar). *Trav. Doc. I'O. R. S. T. O. M.*, 1978, **96**, 1~359
 - 14 刘子琳, 宁修仁, 史君贤等. 象山港对虾增殖放流区浮游植物现存量和初级生产力. *海洋学报*, 1997, **19**(6): 109~115

Standing crop and productivity of the benthic microflora living on tidal flats of the Xiangshan Bay

Ning Xiuren,¹ Liu Zilin,¹ Cai Yuming¹

¹. Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012

Abstract—The observations on standing crop and productivity of the benthic microflora living on tidal flats of the Xiangshan Bay, Zhejiang have been carried out in 1992. Four zonal representative transects on the flats, i. e., (a) Dajiahe (near apex of the bay), (b) Xihugang (in the middle-southern bay), (c) Hutoudu (in the middle-northern bay) and (d) Hengshan (near the bay mouth), were selected in the observations during May and June, and the additionally seasonal observations (in February, August and October) at Hutoudu tidal flat transect were also conducted. The results obtained show that there are pronounced spatial and seasonal variations of chlorophyll a concentrations at the surface of the tidal flats, i. e., the concentrations are higher at near apex than at the middle and near the mouth of the bay, and those are higher in May [$(10.36 \pm 8.08) \mu\text{g/g}$] than in June [$(2.94 \pm 1.21) \mu\text{g/g}$]. The chlorophyll a concentrations at the surface of the sediments are high, and rapidly decrease with the depth, due to the light limitation, but the concentrations of phaeopigments increase. The average primary productivity of the benthic microflora is $(561 \pm 385) \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})(\text{C})$ in May and $(535 \pm 171) \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})(\text{C})$ in June, which is higher than the average productivity of phytoplankton in the water column. On the tidal flats of Hutoudu, the highest chlorophyll a concentration occurred in August [$(15.26 \pm 9.08) \mu\text{g/g}$], the lowest in February ($4.24 \mu\text{g/g}$), and the primary productivity was the highest in August [$(2\,584 \pm 2\,431) \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})(\text{C})$] and the lowest in October [$(181 \pm 179) \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})(\text{C})$].

Key words Chlorophyll a, primary productivity, benthic microflora, Xiangshan Bay