

25-29

2517(4)

# 桑沟湾大型底栖植物的光合作用 和生产力的初步研究\*

毛兴华 朱明远 杨小龙

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛, 266003)

Q948.894

**摘 要** 本文在实验条件下, 用  $O_2$  法和  $^{14}C$  法测定了桑沟湾主要大型底栖植物的光合作用, 并根据现场资源调查结果, 估算了桑沟湾大型底栖植物的生产力。结果表明: 不同底栖植物的光合作用速率的变化范围为:  $1.53-8.84 mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  (以碳计,  $O_2$  法) 或  $0.22-1.93 mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  (以碳计,  $^{14}C$  法);  $^{14}C$  法测出的底栖植物的碳同化速率为  $O_2$  法测定值的 19.0%—40.2%。桑沟湾大型底栖植物的平均年生产力为  $1680 g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$  (以碳计), 每年总碳生产量为 9750t。桑沟湾大型底栖植物的生产力与世界其它地区比较, 水平较高。

**关键词:** 海湾, 大型底栖植物, 光合作用, 初级生产力。

底栖植物, 生产力

桑沟湾是山东半岛东端一个半封闭的海湾。由于该湾的地理环境优越, 生物资源丰富, 因此, 增养殖业及捕捞业十分发达。自1983年以来笔者对该湾的水文动力、底质与沉积物, 海水光学, 化学要素及生物资源等方面的特性和规律进行了大量的研究工作<sup>[1]</sup>, 旨在从物质循环和能量流动的角度来弄清桑沟湾养殖生态系统的结构和功能, 为该湾的合理开发和利用提供理论依据。本文首次报道了桑沟湾大型底栖植物的光合作用、初级生产力, 为桑沟湾养殖生态系模式的最后建立, 提供了有用的数据。

## 1 材料和方法

桑沟湾大型底栖植物主要包括绿藻门、褐藻门、红藻门的一些经济种类和一种显花植物<sup>[1]</sup>。笔者进行了9种主要底栖植物光合作用的测定。其中, 孔石莼(*Ulva pertusa* Kjellm, 长7cm), 肠浒苔(*Enteromorpha intestinalis* (L) Grer.)刺松藻(*Codium fragile* (Sur) Hariot, 长5cm)、石花菜(*Gelidium amansii* (Lamx) Lamx, 长6cm)和江蓠(*Gracillaria verrucosa* (Huds) Papenfuss, 长8cm), 在1990年7—8月间, 采集于青岛潮间带; 鼠尾藻(*Sargassum thunbergii* (Meit) Okuntze, 长10cm)、海带(*Laminaria japonica* Aresch, 长10cm), 裙带菜(*Undaria pinnatifita* (Harv) Sur, 长9cm)和大叶藻(*Zostera marina* L., 长14cm), 在1990年11月至1991年2月期间, 采集于桑沟湾鲟江码头潮间带。材料采集后, 立即浸入盛有海水的容器中, 迅速带回实验室。选择健壮的个体, 用过滤海水洗刷干净后, 将叶状植物体分别在其尖部、中部和底部, 用打孔器打出直径0.8cm的圆片, 将树枝状体分别在其分枝的尖部、中部和底部各剪成0.5cm左右的藻段, 称取湿重150mg左右的样品; 放入培养瓶中, 在温度20℃, 光照强度2500lx, 盐度为30的海水中预培养1d后即可开始测定。

\* 国家科委资助项目, 资助号K88-02-11。

本文于1991年6月7日收到, 修改稿于1992年5月20日收到。

所有底栖植物光合作用的测定,均在12klx的光强下进行。 $O_2$ 法测定根据曾呈奎等的方法<sup>[2]</sup>,用YSI Model158型测氧仪进行 $O_2$ 的测定; $^{14}C$ 测定主要参照 Kremer<sup>[3]</sup>的方法,略加改进,具体步骤如下:将预培养后的实验样品各放入盛有250ml过滤海水的黑瓶和白瓶中,在实验光强下稳定10分钟后,向瓶中分别加入 $5\mu Ci Na_2^{14}CO_3$ 。培养0.5h后,用在冰箱中冷却的80%乙醇中断其光合作用,用海水反复冲洗,以除去附着在植物体上的无机 $^{14}C$ 。然后,将样品与0.1ml 60% $HClO_4$ 在闪烁瓶中混合,加入0.2ml  $H_2O_2$ ,在70—80℃烘箱中烘至无色。冷却至室温后,加入3ml 2-乙氧基乙醚(纤溶剂)及5ml Triton x-100 体系闪烁液,用FJ-219液体闪烁计数器进行放射性强度的测定。

$O_2$ 法测定的底栖植物的光合作用速率,即放 $O_2$ 速率,通过光合商(采用1.20)转化成碳同化速率<sup>[4]</sup>。

$^{14}C$ 法测定的底栖植物的光合作用速率可由以下公式计算:

$$P = \frac{1.05 \times (R_L - R_D) \times W_c}{R \times T \times W_s}$$

式中:  $P$  = 底栖植物光合作用速率( $mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ );

$R_L$  = 白瓶中底栖植物的放射性强度(dpm);

$R_D$  = 黑瓶中底栖植物的放射性强度(dpm);

$W_c$  = 实验海水中总 $CO_2$ 重量(mg);

$R$  = 加入 $^{14}C$ 的总强度(dpm);

$T$  = 培养时间(h);

$W_s$  = 样品干重(g)。

底栖植物的日生产力和年生产力,根据底栖植物的光合作用速率、生物量和生长时间计算。

## 2 结果和讨论

### 2.1 桑沟湾主要大型底栖植物的资源量

在桑沟湾采集到的大型底栖植物共有69种,其中,红藻种类最多,有40种,褐藻和绿藻分别为17种和12种,显花植物只有大叶藻1种。表1列出了桑沟湾主要大型底栖植物的生物量、资源面积和资源量<sup>[1]</sup>。表中列出的9种底栖植物的总资源量为2733t,占有大型底栖植物资源量的97%。其中,鼠尾藻的资源量最大,为625t。大型底栖植物资源分布的总面积为10.4 $km^2$ 。

### 2.2 大型底栖植物的光合作用速率

本文用 $O_2$ 法和 $^{14}C$ 法同时测定了9种大型底栖植物的光合作用速率,并比较了两种方法测定结果的差异,结果如表2所示。由表中可

表1 桑沟湾大型底栖植物的资源量  
Table 1 Resources of Benthic Macrophytes in Sanggou Bay

种 类 Species	平均生物量 Mean biomass ( $g \cdot m^{-2}$ )	资源面积 Resource area ( $km^2$ )	资源量 Standing stock (t)
石 莖 <i>U. pertusa</i>	456	0.87	396
浒 苔 <i>E. intestinalis</i>	380	0.93	356
刚松藻 <i>C. fragile</i>	260	0.80	200
海 带 <i>L. japonica</i>	376	0.60	300
裙带菜 <i>Un. pinnatifida</i>	750	0.17	65
鼠尾藻 <i>S. thunbergi</i>	375	1.66	625
石花菜 <i>G. amansii</i>	68	4.00	220
江 藻 <i>Gr. verrucosa</i>	109	0.21	23
大叶藻 <i>Z. marina</i>	650	1.00	550

可以看出: 对于同一种底栖植物, 当 $O_2$ 法测出的放氧率通过光合商转化成碳生产速率时, 其光合作用速率均大于 $^{14}C$ 法测出的值。 $^{14}C$ 法测出的光合作用速率是 $O_2$ 法测定值的19.0%—40.2%, 对于不同种的底栖植物来讲,  $O_2$ 法与 $^{14}C$ 法测定值之间的差别基本一致。例如, 在同样条件下, 用 $^{14}C$ 法和 $O_2$ 法测出的海带和石莼的光合作用速率均较高, 而刺松藻和鼠尾藻则均较低。这9种底栖植物光合作用速率范围为: 1.53—6.84 $mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ (以碳计,  $O_2$ 法)或0.29—1.93 $mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ (以碳计,  $^{14}C$ 法)。

Kremer曾总结了49种大型底栖植物的光合速率后得出, 其变化范围为0.07—17.60 $mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ <sup>[6]</sup>。各种底栖植物的光合速率以实验温度、光强以及种的不同而不同。本文在光饱和条件下测出的9种底栖植物的光合作用速率( $O_2$ 法和 $^{14}C$ 法)均在上述范围之内。底栖植物的光合速率用 $O_2$ 法测定的值高于 $^{14}C$ 法的结果, 与Wassman对刺松藻的研究结果<sup>[6]</sup>相同。Wassman认为, 在光补偿点,  $O_2$ 法和 $^{14}C$ 法测定的光合速率值几乎相同, 而在光饱和点,  $O_2$ 法测定值明显高于 $^{14}C$ 测定值<sup>[6]</sup>。由测定结果还可以看出,  $O_2$ 法与 $^{14}C$ 法的差异会因底栖植物种类的不同而不同。鼠尾藻的 $^{14}C$ 法/ $O_2$ 法比值为19.0%, 而刺松藻的比值则为40.2%。因此, 作者认为,  $O_2$ 法与 $^{14}C$ 法测定值的差异与不同植物种类在不同条件下光合商不同有很大关系。

### 2.3 桑沟湾大型底栖植物生产力的估算

根据占桑沟湾97%资源量的大型底栖植物的平均生物量、资源面积、生长时间<sup>[7]</sup>及 $^{14}C$ 法测定的碳同化速率粗略地估算了整个桑沟湾自然生长的底栖植物的初级生产力, 结果如表3所示。由表中可以看出: 桑沟湾主要大型底栖植物的每日碳生产力为0.85—8.69 $g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ 。其中, 海带最高, 江蓠最低。单位面积年碳生产力为153—2664 $g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ , 平均为1060 $g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ ; 桑沟湾年有机碳总生产量为9750t。

在国内, 有关大型底栖植物的研究多集中在其分类地位、生态分布以及其光合特性及其与光强、温度、盐度和干燥等环境因子之间的关系上<sup>[2, 7-10]</sup>。只有少数研究者用 $O_2$ 法测定并估算了海带、裙带菜、紫菜和江蓠的生产力<sup>[2, 11]</sup>。而用 $^{14}C$ 法估算大型底栖植物的生产力还未见报道。由目前国际上已研究过的近30种大型底栖植物的生产力测定结果来看, 其日碳生产力变化范围为: 0.04—22 $g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ 。不同种间日碳生产力的差异主要是由于不同种类的光合作用强度和生物量不同。此外, 即使是同一种类, 在不同地区, 其生产力也不同。例如, 人们都知道, 大叶藻是一种生产力很高的显花植物, 但是, 对于同一种大叶藻, 在美国的马萨诸塞州日碳生产力仅为0.04 $g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ , 在北卡罗来纳州则为0.2—1.2 $g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ , 而在丹麦则可高达7.9 $g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ <sup>[12]</sup>。桑沟湾的大叶藻的生产力为3.68 $g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ , 处于

表2 桑沟湾大型底栖植物的光合作用  
Table 2 The photosynthetic Rate of Benthic Macrophytes in Sanggou Bay

种 类 Species	光合作用速率 Photo synthetic Rate ( $mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ )		$^{14}C$ 法/ $O_2$ 法 $^{14}C$ method/ $O_2$ method (%)
	$O_2$ Method	$^{14}C$ Method	
石 莼 <i>U. pertusa</i>	6.53	1.36	20.7
浒 苔 <i>E. intestinalis</i>	2.81	0.86	23.1
刺松藻 <i>C. fragile</i>	1.12	0.46	40.2
海 带 <i>L. japonica</i>	6.84	1.93	28.3
裙带菜 <i>Uo. pinnatifida</i>	—	0.61	—
鼠尾藻 <i>S. thunbergi</i>	1.53	0.29	19.0
石花菜 <i>G. amansii</i>	—	1.49	—
江 蓠 ( <i>Gr. verrucosa</i> )	2.03	0.85	32.0
大叶藻 ( <i>Z. marina</i> )	—	0.66	—

表 3 桑沟湾主要大型底栖植物的生产力  
Table 3 Production of Benthic Macrophytes in Sanggou Bay

类 种 Species	生长时间 (d) Growth Time	日生产力 (g·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> ) Daily Primary Production	年生产力(g·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> ) Annual Primary Production	年碳生产量(t) Annual Carbon Production
石 莼 <i>U. pertusa</i>	360	7.40	2664	2318
浒 苔 <i>E. intestinalis</i>	360	2.97	1069	994
刺 松 藻 <i>C. fragile</i>	300	1.36	405	324
海 带 <i>L. japonica</i>	240	8.69	2088	1868
裙 带 菜 <i>Un. pinnatifida</i>	240	2.28	547	93
鼠 尾 藻 <i>S. thunbergi</i>	360	2.59	932	1548
石 花 菜 <i>G. amansii</i>	360	1.00	360	1440
江 蓴 <i>Gr. verrucosa</i>	180	0.35	153	32
大 叶 藻 <i>Z. marina</i>	360	3.88	1325	1330

表 4 桑沟湾与世界其它近海潮间带大型底栖植物生产力的比较

Table 4 Comparisons of Production of Intertidal Macrophytes in Sanggou Bay and Other Regions

地 点 Place	年生产力(g·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> ) Annual Primary Production	参考文献 Reference
美国加利福尼亚 California, U.S.A	360—3240	[14]
美国夏威夷 Hawaii, U.S.A	180—940	[15]
美国圣克利门蒂岛 San Clemente Island U.S.A	144—1110	[18]
加拿大圣马格丽特湾 St. Margaret's Bay, Canada	1720	[18]
大西洋东加利群岛 Eastern Canary Islands, Atlantic Ocean	540—1080	[17]
桑 沟 湾 Sanggou Bay	1080	本文

中间水平。

与浮游植物初级生产力的大量报道相比，有关潮间带大型底栖植物群落总生产力的报道很少。表 4 列出了世界部分近海潮间带大型底栖植物的生产力。由表中可以看出，桑沟湾大型底栖植物的生产力与其它地区比较，水平较高。

有人认为，尽管大型底栖植物的分布面积仅为浮游植物的 0.1%，但其生产力却可占世界海洋总初级生产的 10% [12]。对于沿岸较浅的水域来讲，大型底栖植物的生产力在总初级生产中所占的比例还会更高。从我们的研究结果来看，大型底栖植物的资源分布面积仅为桑沟湾总面积的 7%，而与浮游植物年碳生产量 16500t 相比，其碳生产量达 9750t，可占整个桑沟湾初级生产的 37%。另外，从每 m<sup>2</sup> 的年碳生产量来看，大型底栖植物为浮游植物的 7.5 倍。由此可见，大型底栖植物的初级生产在桑沟湾等近岸水域起着十分重要的作用。

参 考 文 献

[1] 毛兴华主编. 桑沟湾增殖环境综合调查研究. 青岛出版社, 1988  
 [2] 曾呈奎等. 底栖海藻比较光合作用研究. I. 潮间带绿藻光合作用特性和色素组成. 海洋与潮沼, 1980, 11(2): 134—139  
 [3] Kremer B P. Determination of photosynthetic rates and C photoassimilatory products of brown seaweeds in Hellebust. J. A. & J. S., Craigie(ed) "Handbook of phycological methods, physiology & biochemistry methods" 1973, 269—283  
 [4] 王永川, 黄良民. 细基江蓴的光合作用及生产力与温、盐度的关系. 水产学报, 1985, 9(2): 156—163  
 [5] Kremer B P. Aspects of carbon metabolism in marine macroalgae. In *Oceanography and Marine Biology, Annual Review*, 1981a, 19: 41—64  
 [6] Wassman E R and Ramus J. Primary-production measurements for the green seaweed *Codium fragile* in Long Sound. *Mar. Biol.*, 1973, 21: 289—297  
 [7] 杨毓英. 青岛鲁迅公园潮间带底栖海藻的季节变化. 山东海洋学院学报, 1987, 17(1): 103—112

- [8] 曹呈奎等. 底栖海藻比较光合作用研究 I. 潮间带褐藻的光合作用与光强的关系. 海洋与湖沼. 1981, 12(3): 254—257
- [9] 姚南瑜等. 近海底栖藻类对介质渗透压变化的适应研究 I. 海水浓度对潮间带底栖藻类光合活性的影响. 海洋与湖沼. 1983, 14(3): 250—255
- [10] 刘力, 高尚德. 失水干燥对紫菜等海藻光合作用、呼吸作用及生长的影响. 水产学报. 1987, 9(3): 233—240
- [11] 吴冠元等. 几种经济海藻光合生产力的初步研究. 第一届中国海藻学术讨论会论文集. 科学出版社. 1983
- [12] Dawes C J. *Marine Botany*. A Wiley Interscience Publication, 1981 488—493
- [13] Kremer B P. Carbon metabolism In Lobban, C. S. & Wynne, M. J. (ed) *The Biology of Seaweeds*. Blackwell Scientific Publications 1981b. 493—633
- [14] Blinks L R. Photosynthesis and productivity of littoral marine algae. *J. Mar. Res.* 1955, 14: 363—373
- [15] Litter M M. The productivity of Hawaiian fringing reef crustose corallineaceae and an experimental evaluation of production methodology *Limnol. Oceanogr.* 1973, 18: 946—952
- [16] Litter M M. The primary productivity of marine macrophytes from a rocky shore intertidal community. *Mar. Biol.* 1974, 27: 131—135
- [17] Johnston O S. The ecological distribution and primary production of macrophytic marine algae in the Eastern Canaries. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* 1969, 54: 473—490
- [18] Mann K H. Ecological energetics of the sea-weed zone in a marine bay on the Atlantic coast of Canada I. productivity of the seaweeds *Mar Biol.* 1972, 14: 199—209

## THE PHOTOSYNTHESIS AND PRODUCTIVITY OF BENTHIC MACROPHYTES IN SANGGOU BAY

Mao Xing-Hua Zhu Ming-Yuan Yang Xiao-Long

(First Institute of Oceanography, State Ocean Administration, Qingdao, 266003)

The photosynthesis of dominant benthic macrophytes in Sanggou Bay was measured with  $O_2$  and  $^{14}C$  method under laboratory condition. According to in situ investigation of macrophytes resources, the primary productivity of macrophytes in Sanggou Bay was estimated. Results indicate that the photosynthetic rate of different macrophytes ranges from 1.53 to 6.84 mg/g.h (carbon fixed,  $O_2$  method) or from 0.29 to 1.93 mg/g.h (carbon fixed,  $^{14}C$  method). The carbon assimilatory rate of macrophytes measured by  $^{14}C$  method is 19.0%—40.2% of that measured by  $O_2$  method. The average primary productivity of macrophytes in Sanggou Bay is 1060g/m·a and the annual carbon production is 9750 t. Compared with other region of the world, the primary productivity in Sanggou Bay ranks upper level.

**Keywords:** macrophyte, photosynthesis, primary productivity, bay.