

桑沟湾水域浮游植物的光量子产值*

吕瑞华 夏 滨 毛兴华

(国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266003)

提要 于1989—1990年对山东半岛的桑沟湾水域进行了综合调查,利用对自然水域现场测量的方法,对浮游植物光合色素对光的吸收及其光量子产值进行了4个季度月的测量和计算,目的是研究这种浅海养殖生态系统初级生产过程中的能量流动状况。结果表明,该海区光量子产值的范围为 $0.189 \times 10^{-2} \text{mol C/E}$ — $6.019 \times 10^{-2} \text{mol C/E}$;浮游植物吸收的光能占海面总吸收光能的0.9%—5.5%;浮游植物的光利用率为0.026%—0.101%,与其他海区相比,较为偏低。

关键词 浮游植物 光量子产值 光利用率 初级生产力

学科分类号 Q948.8

浮游植物利用光能通过光合作用合成有机物,构成海洋生态系中最主要的食物来源。探讨浮游植物光合色素对光的吸收及其光量子产值,弄清生态系统中光能转化为化学能的效率,对掌握生态系统中初级生产过程的能量流动,建立海洋初级生产力模式等具有重要意义。国内外对海洋浮游植物光量子产值已作过许多研究(Tyler,1975;矫晓阳等,1993)。桑沟湾海区位于山东半岛东端,是一个养殖业发达的浅海生态系统。近几年来,国家海洋局第一海洋研究所的科技工作者,在综合性调查的基础上,对桑沟湾生态系统的结构与功能、物质循环、能量变化等方面进行了若干定量分析。本文报告对桑沟湾水域的光量子产值和光利用率系统的估算结果,以期得出这两个参数的变化范围和变化规律,为桑沟湾及其它浅海生态系统功能的深入研究提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 采样站位

于1989年8月、11月,1990年2月、5月,在桑沟湾1063测站采集水样,采样站位见图1。1063测站位于桑沟湾的中央,该站的测定结果可基本反映整个调查区的情况。

1.2 光合速率的测定

光合速率采用 ^{14}C 现场培养法,从相对于表层光强的100%、50%、30%、10%、5%和1%光学深度上采集水样,分别装入250ml培养瓶中,加入 $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$ (185 kBq),密封后,再挂到水样原来的深度上培养24h。然后用0.45 μm 微孔滤膜过滤,经盐酸处理后,用液体闪烁计数器测量光合作用同化的有机 ^{14}C 。光合速率的计算按公式: $P = (R_s - R_b)W / (R \cdot N)$, 式中, P 为光合速率 [$\text{mg} / (\text{m}^3 \cdot \text{h})$]; R_s 为样品中有机 ^{14}C 的数量(Bq); R_b 为零时间样品中有

* 国家自然科学基金资助项目,39570141号。吕瑞华,女,出生于1946年8月,副研究员,Fax:0086-0532-2879562

收稿日期:1996-07-10,收修改稿日期:1998-04-17

机¹⁴C的数量(Bq); W 为无机碳的海水中的丰度(mg / m^3); R 为加入的¹⁴C的量(Bq); N 为培养的时间(h)。

1.3 叶绿素 a 的测定

叶绿素 a 的浓度应用联合国教科文组织(UNESCO, 1966)¹¹推荐的分光光度法测量。计算公式采用 Jeffrey-Humhprey 方程 (Jeffery *et al*, 1975): $C_a = 11.85E_{664} - 1.54E_{647} - 0.08E_{630}$, 式中, C_a 为叶绿素 a 的浓度; E_{664} 、 E_{647} 和 E_{630} 分别表示波长为 664、647 和 630nm 时的光密度值。

1.4 光强和透明度的测定

在有光的时间内, 使用光量子仪 (QSP-170 quantum meter, Biosphetic Instrument) 测量光强。表面光强用 QSP-1700D 型传感器测定; 水下光强用 4p 型 QSP-200D 水下传感器测定。透明度使用赛克圆盘测定。

1.5 光量子产值的计算

光量子产值的计算按公式: $\Phi = PSR / PUR$, 式中, Φ 表示光量子产值, PSE 表示光合储存的化学能 [$\text{mol C} / (\text{m}^3 \cdot \text{h})$, 其中 C 表示有机碳, 从光合速率中直接求出]; PUR 表示光合利用光(叶绿素 a 吸收)的辐射能 [$\text{E} / (\text{m}^3 \cdot \text{h})$, E 为 1mol 光子]。光量子产值的单位为 molC / E 。

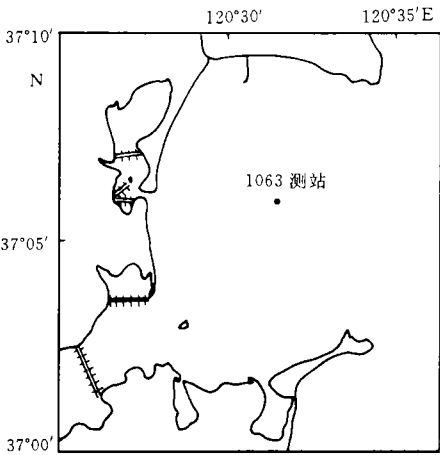


图1 桑沟湾水域采样站位图

Fig.1 Sampling stations in Sanggou Bay water area

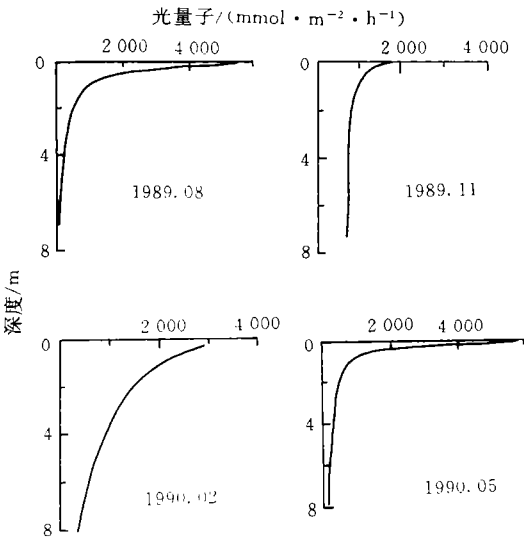


图2 桑沟湾水域水下光量子的垂直分布

Fig.2 The vertical profile of light quantum in Sanggou Bay water area

1.0m。图 2 同时显示, 调查海区水下光量子的分布都遵循比尔-朗伯定律, 呈指数式衰减。

2 结果与讨论

2.1 水下光量子的垂直分布

本次调查得到 4 个季度月 (8 月、11 月、2 月和 5 月) 中的日均海表面可见光部分的太阳辐射能数据, 及其水下的垂直分布状况, 见图 2。由图 2 可知, 4 个月份的水下光量子分布趋势各不相同, 这与海水中浮游植物和非浮游植物颗粒的含量, 即与海水的透明度密切相关。在 8 月、11 月、2 月和 5 月这 4 个月份观测期间的海水透明度分别为 1.3、4.7、3.2 和

1) UNESCO, 1966. Determination of Photosynthetic Pigments in Sea-water. In: Monographs on Oceanographic Methodology, 1:16—17

2.2 浮游植物对光衰减的贡献

海水本身,海水中的各种溶解物质、非浮游植物颗粒物质以及浮游植物等,都对光起衰减作用。为了研究浮游植物对水下光吸收的贡献,很多学者作了大量的实验,Bannister (1974)认为叶绿素 *a* 的平均光衰减比系数变化不大,相对为一个常数,平均值接近 $0.016\text{m}^2/\text{mg}$,本研究在计算中采用了这一数值。桑沟湾水域的海水光的总衰减系数、叶绿素 *a* 的浓度、叶绿素 *a* 的光衰减系数及其占总光衰减系数的百分比见表 1。

表1 总光衰减系数、叶绿素*a*的浓度、叶绿素*a*的光衰减系数及其占总光衰减系数的比例

Tab.1 The total light attenuation factors, chlorophyll *a* concentration and the light attenuation factor of chlorophyll *a* and its fraction in total

月份 (年、月)	表面光强[$\times 10^{15}$ 光子/($\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)]	海水总光衰减 系数(m^{-1})	真光层深度 (m)	真光层内平均叶绿 素 <i>a</i> 浓度(mg/m^3)	叶绿素 <i>a</i> 的 光衰减系数(m^{-1})	叶绿素 <i>a</i> 的光衰减系数占 总光衰减系数的比例(%)
1989.08	94	1.20	5.3	1.12	0.018	1.5
1989.11	50	0.20	10.0	0.66	0.011	5.5
1990.02	54	0.36	8.2	0.69	0.011	3.1
1990.05	108	1.50	3.5	0.80	0.013	0.9

由表 1 可知,叶绿素 *a* 的光衰减系数占总光衰减系数的百分比可影响浮游植物的光利用率,从而进一步影响水域的初级生产力。这一比值与浮游植物的现存量呈正相关,与海水混浊度呈负相关。桑沟湾水域由于在观测期间叶绿素 *a* 的浓度较低,且海水的混浊度较高,所以浮游植物的光吸收占总光吸收的百分比较小,只有 0.9%—5.5%,这一比值小于与对渤海水域的测定结果(1.4%—11%)¹⁾。

2.3 浮游植物光合速率的垂直分布及光量子产值

在分层进行光合速率测定的同时,对各层次的光强和叶绿素 *a* 的浓度也进行了测定。浮游植物光合速率的垂直分布如图 3 所示。由图 3 可知,光合作用速率与光强的关系十分密切,在真光层的下部,光限制了光合作用,随着深度的减少光强增高,光合速率也增加,一般在表层光强的 30%—50% 深度上达到饱和。但 1990 年 5 月的表层光合速率不高,说明表层浮游植物的光合作用有时受到了一定程度的光抑制。

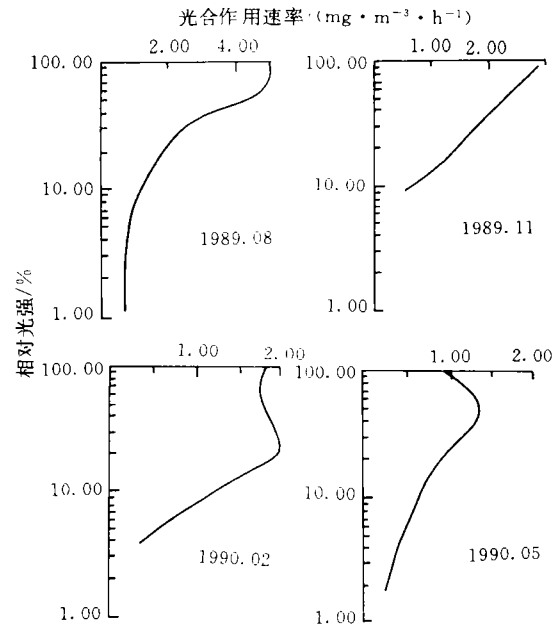


图3 桑沟湾水域光合速率的垂直分布

Fig.3 The vertical profile of the rate of photosynthesis in Sanggou Bay water area

1) 朱明远,吕瑞华、杨小龙等,1998. 渤海水域的光量子产值. 青岛海洋大学学报,待刊

光量子产值是指浮游植物光合作用时吸收一个光子能够固定二氧化碳分子(或释放氧气分子)的数量,它表示浮游植物吸收光能转化为化学能的效率。4个季度月的光量子产值的计算结果见表2。由表2可知,桑沟湾水域光量子产值的变化范围:1989年8月为 $0.302 \times 10^{-2} \text{mol C/E}$ — $6.019 \times 10^{-2} \text{mol C/E}$ (以下光量子产值单位相同。)11月为 0.566×10^{-2} — 1.31×10^{-2} 、1990年2月为 0.288×10^{-2} — 1.65×10^{-2} ,5月份为 0.189×10^{-2} — 0.917×10^{-2} 。最大光量子产值出现在1989年8月的底层水中,最小光量子产值则出现在1990年5月的表层水中。

表2 1063测站四个季度月各光学深度上的光量子产值

Tab.2 The light quantum yield at different photometric depth during four seasonal months in the No. 1063 station

月份 (年.月)	相对光强 (%)	深度(m)	辐射能 [mmol/(m ² ·h)]	叶绿素a浓度 (mg/m ³)	叶绿素a吸收 的辐射能 [mmol/(m ³ ·h)]	初级生产力 [mg/(m ³ ·h)]	光量子产值 ($\times 10^{-2} \text{mol C/E}$)
1989.08	100	0.0	5 594	1.61	144.10	5.23	0.302
	50	0.6	2 797	1.61	72.21	5.11	0.590
	30	1.3	1 678	0.79	21.21	1.68	0.660
	10	2.4	559	0.79	7.07	1.44	1.697
	5	3.5	280	1.01	4.52	1.13	2.083
	1	5.3	56	1.01	0.90	0.65	6.019
1989.11	100	0.0	2 988	0.84	40.16	2.73	0.566
	50	3.4	1 494	0.54	12.91	1.97	1.27
	30	6.0	896	0.82	11.76	1.40	0.99
	10	10.0	299	0.44	2.10	0.33	1.31
1990.02	100	0.0	3 211	0.93	47.78	1.65	0.288
	50	2.0	1 606	0.49	12.59	1.06	0.702
	30	3.3	963	0.58	8.94	0.77	1.65
	10	6.4	321	0.72	3.70	0.73	1.64
	5	8.2	161	0.72	1.85	0.33	1.48
1990.05	100	0.0	6 348	0.70	71.08	1.61	0.189
	50	0.5	3 174	0.70	35.55	2.43	0.570
	30	1.0	1 904	0.70	21.32	0.94	0.367
	10	1.8	635	0.86	8.74	0.91	0.868
	5	2.5	317	0.86	4.36	0.44	0.841
	1	3.5	63	0.99	1.00	0.11	0.917

由表2还可知,光量子产值随着深度的增加(即随着光强的减弱)呈明显增加的趋势,其中1990年2月和5月的光量子产值增加到一定值后保持较为稳定。一般来说,在光辐射较强的情况下,到达光合作用反应中心的光量子多于电子传递系统中CO₂固定酶的需求量,因此只有一部分光量子为光合作用所利用,其余部分主要以热的方式散失,光量子产值比较低;而在弱光条件下,被藻细胞吸收的光量子几乎可以全部用于光合作用,若其它条件也合适,光量子产值会达到最大值,并保持稳定。从理论上讲,固定1个碳原子需要

8 个光量子,即最大光量子产值为 0.125,但实际上,由于藻类的生理状况影响其光合作用效率,以及反射光损失等,使光量子产值不可能达到理论值,本研究测定的结果最大光量子产值为 0.062,约为理论值的二分之一。

2.4 浮游植物对光的利用率(表 3)

浮游植物对光的利用率是指单位水体储存的化学能占总光能吸收的比例,也就是通过初级生产过程,把太阳能转化为初级生产者所储存的化学能的效率。Kolblentz-Mishke 等(1970)总结了前苏联和世界各国科学家的研究,提出世界大洋不同海区中浮游植物光利用率的范围为 0.2%—5.2%;Morel(1978)计算出具有一般初级生产力水平的东太平洋的光利用率为 0.01%—1.0%。本文对桑沟湾水域浮游植物光利用率的估算值为 0.026%—0.101%,由此看来,桑沟湾水域的营养盐含量虽然较高,但浮游植物对光的利用率却不高,这可能是水域中大面积与高密度的养殖生物(海带和扇贝等)影响了光在水下投射而造成的。

表3 桑沟湾四个季度月中浮游植物对光的利用率
Tab.3 The light utilization efficiency of phytoplankton during four seasonal months

月份(年.月)	太阳辐射能[J/(m ² ·h)]	真光层内初级生产力[J/(m ² ·h)]	浮游植物对光的利用率(%)
1989.08	1 219 492	525	0.042
1989.11	651 384	658	0.101
1990.02	699 998	365	0.052
1990.05	1 383 864	285	0.026

3 结语

桑沟湾水域浮游植物吸收的光能占海面总吸收光能的 0.9%—5.5%,明显低于渤海水域的(1.46%—11%)。光量子产值的范围为 0.189 × 10⁻²mol C/E—6.019 × 10⁻²mol C/E,最大光量子产值出现在 1989 年 8 月的底层水中,最小光量子产值出现在 1990 年 5 月的表层水中。浮游植物的光利用率为 0.026%—0.101%,与其它测量海区相比较为偏低,说明在高密度的浅海养殖生态系统中,浮游植物的光利用率会受到一定程度的影响。

参 考 文 献

矫晓阳,朱明远,吴宝铃,1993.一些海洋浮游植物量子产值的研究.生态学报,13:17—24
Bannister T T, 1974. Production equations in terms of Chlorophyll concentration, quantum yield, and upper limit to production. Limnol Oceanogr, 19(1):1—12
Jeffery S W, Humphrey G F, 1975. New spectrophotometric equation for determination of chlorophylls *a*, *b*, *c*₁ and *c*₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton. Biochem Physiol, 167:191—194
Kolblentz-Mishke O J, Volkovinsky V V, 1970. Plankton Production of the World Ocean. In: Woodter W S ed. Scientific Exploration of the South Pacific. Washington, D. C.: National Academy of Science, 183—193
Morel A, 1978. Available, usable, and stored energy in relation to marine photosynthesis. Deep-Sea Res, 25: 673—688
Tyler J E, 1975. The *in situ* quantum efficiency of natural phytoplankton populations. Limnol Oceanogr, 20(6):976—980

THE LIGHT QUANTUM YIELD OF PHYTOPLANKTON IN SANGGOU BAY AREA

Lü Rui-hua, XIA Bin, MAO Xing-hua

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

Abstract Seasonal comprehensive investigations for the Sanggou Bay area was carried out by the First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration in Aug. and Dec. in 1989 and Feb. and May in 1990. Sanggou Bay is a cultivation developed shallow water ecosystem. In order to understand the situation of light energy transformation in the process of primary production in this water, based on *in situ* measurements, the light absorption and light quantum yield of phytoplankton in the four months of different seasons were studied. Measurements were carried out at the No. 1063 station in the middle of the Bay. The ^{14}C *in situ* culture was used to measure the rate of photosynthesis and a two-channel liquid scintillation counter was used to determine the radioactivity of ^{14}C absorbed by the sample. Chlorophyll *a* was measured by spectrophotometry and determined by Jeffery-Humphrey equation.

A QSP-170 quantum meter was used to measure the light intensity. The results show that the light energy absorbed by phytoplankton takes the 0.9%—5.5% of the total energy absorbed on the sea surface, which is much lower than that of the Bohai Sea (1.46%—11%). The quantum yields of this area ranges between 0.189×10^{-2} and 6.019×10^{-2} mol C (mol quantum) $^{-1}$, in which the results of Aug. and Dec. in 1989 and Feb. and May in 1990 are 0.302×10^{-2} — 6.019×10^{-2} , 0.566×10^{-2} — 1.31×10^{-2} , 0.288×10^{-2} — 1.65×10^{-2} and 0.189×10^{-2} — 0.917×10^{-2} mol C (mol quantum) $^{-1}$, respectively. Maximum values appeared in the bottom water in Aug. 1989 and minimum appeared in the surface water in May 1990. The light utilization efficiency of phytoplankton ranges from 0.026% to 0.101% which is at the lower end of 0.01%—1.0% determined by Morel (1978) for eastern Pacific waters where the primary productivity is at a general level. The low light utilization efficiency accounts for the cultivation of marine organisms in a high density which must have an effect on the light transmission under water.

Key words Phytoplankton Light quantum yield Light utilization efficiency Primary productivity

Subject classification number Q948.8