

海水黄色物质光吸收特性实验研究*

吴永森 张士魁 张绪琴 夏达英 吴隆业 郑建民

(国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061)

提要 实验测量了干样配制的不同浓度黄色物质水溶液、实验室藻类培养液和胶州湾水域黄色物质水样的光吸收特性。测量结果表明,海水黄色物质光吸收系数与波长是单调变化关系,即不存在“波峰”和“波谷”;在蓝紫光波段,海水黄色物质光吸收比海水自身、海洋叶绿素和悬浮粒子光吸收大,它是海洋中对该波段光吸收起着主导作用的物质;海水黄色物质光吸收系数与波长呈指数函数关系,其指数斜率 s 数值范围分别为:胶州湾水域在 $0.0131-0.0180\text{nm}^{-1}$,实验室配制、培养样品是在 $0.0105-0.0139\text{nm}^{-1}$ 。该研究为海水黄色物质含量的遥感探测提供了基础性实验依据。

关键词 海水黄色物质,光吸收,实验研究

中图分类号 P733.3

海水黄色物质是海洋中的有色可溶性有机物。该物质具有的特殊的光吸收性,在许多海洋研究领域起着重要的作用,因而,对其光吸收性质研究已成为海洋光学的重要研究内容及海洋水色遥感应应用研究的基础。

对黄色物质的光吸收研究可追溯到 20 世纪 30 年代, Kalle(1966)、Jerlov(1976)等人进一步对黄色物质吸收光谱开展研究,发现黄色物质的吸收与吸收光波波长呈指数变化; Morel 等(1977)给出了黄色物质光吸收系数的指数表达式,并通过实验测量,得到了吸收系数曲线的指数斜率参数 S 值,为 0.0140nm^{-1} ; Bricaud(1981)采集不同水域的 105 个样品,进行了黄色物质光吸收测量,得出 S 值范围为 $0.0100-0.0200\text{nm}^{-1}$ 之间; 1992 年 Pegau 对美国爱达荷州的 Pond 湖中 26 个水样的黄色物质进行了 S 值测定,得出其平均值为 0.0170nm^{-1} (Pegau, 1995)。

我国从事海水黄色物质方面的研究较少,有关海水黄色物质荧光特性已有报道(夏达英等, 1999),但尚未见到有关我国海区海水黄色物质光吸收方面的报道。作者在本文中介绍了海水黄色物质光吸收物理特性的实验测量研究,通过对胶州湾典型站位黄色物质水样、干样配制的不同浓度黄色物质水样和实验室藻类培养液等不同类型黄色物质光吸收特性实验测量研究,获得了海水黄色物质光吸收的基本特性,以及它们的指数斜率参数 S 的值。以下就测量方法、结果以及分析作出论述。

1 方法与样品

海水黄色物质作为海水中的—种光介质,其光吸收系数 a 由下式计算:

* 国家自然科学基金资助项目,4978605 号、吴永森,男,出生于 1954 年 2 月,研究员,E-mail:yswu@qd-public.sd.cninfo.net

收稿日期:2001-06-16,收稿改稿日期:2001-11-29

$$a = 2.303/r \times OD \quad (1)$$

式中, OD 为分光光度计测得的光学密度(optical density), r 为比色皿(光程)长度。

实验测量在青岛海洋大学测试中心进行。实验选用 UV-260 紫外分光光度计, 吸光值光谱测量范围为 380—680nm; 光谱测量间隔为 10nm; 比色皿选用能透过紫外光的石英质比色槽。

为使黄色物质光吸收实验测量更具有广泛性, 实验测量的样品包括三种不同类型的黄色物质: (1) 1999 年 9 月在胶州湾典型站位取得的水样; (2) 树脂吸附法制备的青岛近海海水腐殖质干基样品, 用 Milli-Q 水稀释而成的不同浓度的 Milli-Q 水溶液, 其浓度分别为 1×10^{-4} g/ml、 1×10^{-5} g/ml 和 1×10^{-6} g/ml; (3) 海洋褐藻类实验室培养液的过滤液。

现场水样采用 $0.45\mu\text{m}$ 纤维膜抽滤, 以获得海水黄色物质的溶液。期间, 为避免水样在储运和测量中发生光化学降解反应, 减少生物活性, 海水样品在低温 4°C 条件下被避光保存。

2 结果与分析

通过上述 3 种不同类型的海水黄色物质样品光吸收测量实验, 获得了较完整的海水黄色物质光吸收系数的光谱曲线。这些曲线明显表明海水黄色物质在蓝紫光波段具有强烈光吸收, 其吸收系数与波长的关系呈指数变化, 且随波长减少而呈单调上升。它们之间的关系可用下式表达:

$$a(\lambda) = a(\lambda_0) \times \exp[-S \times (\lambda - \lambda_0)] \quad (2)$$

其中 $a(\lambda)$ 为波长为 λ 时的光吸收系数, $a(\lambda_0)$ 为 400nm 时的光吸收系数(为结合 SeaWiFS 第一通道而选取 $\lambda_0 = 400\text{nm}$), S 为光谱曲线的指数斜率, 为待定系数。

根据胶州湾的地理位置特点, 现场采集了 25 个样品, 所测海水黄色物质的光吸收光谱曲线显示于图 1; 并选取具有典型性和代表性的胶州湾大沽河口, 胶州湾李村河口和胶州湾中心三个站位的测量结果标在图 1。

对图 1 胶州湾典型水域黄色物质的光吸收系数取对数后拟合, 求得各曲线对应的 S 值, 该海区数值范围为 $0.0131\text{—}0.0180\text{nm}^{-1}$, 将典型站位 a、b、c 列于表 1。

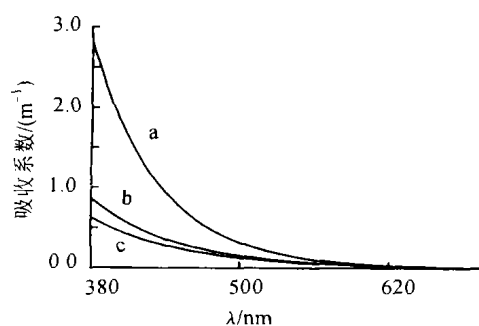


图 1 胶州湾海水黄色物质水样的吸收系数光谱曲线

Fig. 1 The spectral absorption coefficient curves of the yellow substance in the Jiaozhou Bay

a. 胶州湾大沽河口; b. 胶州湾李村河口; c. 胶州湾中心站位

表 1 胶州湾典型站位水样黄色物质光吸收系数曲线的 S 值及波长 $\lambda_0 = 400\text{nm}$ 时的光吸收系数值

Tab. 1 The values S and optical absorption ($\lambda_0 = 400\text{nm}$) of the yellow substance in Jiaozhou Bay

曲线	a	b	c
$S(\text{nm}^{-1})$	0.0180	0.0141	0.0131
$a(\text{m}^{-1})$	1.960	0.650	0.484

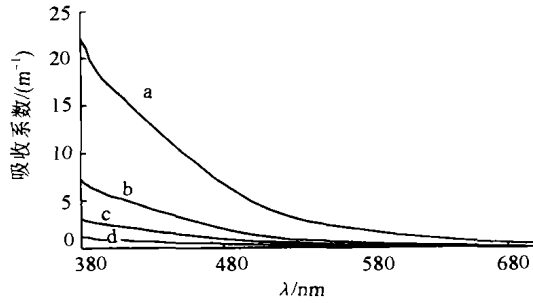


图 2 不同浓度的黄色物质的吸收系数光谱曲线
Fig.2 The various spectral absorption coefficient curves of the yellow substance

a. 浓度为 10^{-4} g/ml 的黄色物质水溶液样品; b. 实验室藻类培养液样品; c. 浓度为 10^{-5} g/ml 的黄色物质水溶液样品浓度; d. 浓度为 10^{-6} g/ml 的黄色物质水溶液样品

不同浓度的黄色物质 Milli-Q 水溶液与海洋褐藻类实验室培养液的过滤液实验测量结果显示于图 2 和表 2 中。

从表 1 和表 2 可以看出,胶州湾典型站位黄色物质光吸收指数斜率 S 值的范围在 $0.0131-0.0180\text{nm}^{-1}$,这与文献报道数值基本相同:Morel 等(1977)给出的指数斜率参数 S 的值为 0.0140nm^{-1} ,Bricaud(1981)对 105 个样品的 S 的值为 $0.0100-0.0200\text{nm}^{-1}$,以及 1992 年 Pegau 对 26 个水样样品的黄色物质测定的 S 值为 0.0170nm^{-1} 。

从表 2 也可以看出,实验室配制、培养样品是在 $0.0105-0.0139\text{nm}^{-1}$ 范围之内,并与 $a(\lambda_0)$ 的选取无关。不同的海水黄色物质浓

度,在同一波长的光吸收系数也不同,浓度大则光吸收系数也大,它们之间为正相关关系。依据这一对应关系,可用海水黄色物质的光吸收系数来表征海水黄色物质的浓度。

表 2 干基配制的不同浓度黄色物质水样及实验室藻类培养液样品的光吸收系数曲线的 S 值和波长 $\lambda_0 = 400\text{nm}$ 时的光吸收系数值

Tab.2 The values S of various concentration spectral absorbance curves and optical absorption ($\lambda_0 = 400\text{nm}$) of the yellow substance from

曲线	a	b	c	d
$S(\text{nm}^{-1})$	0.0125	0.0139	0.0120	0.0105
$a(\text{m}^{-1})$	17.148	5.447	2.485	0.943

图 2 中的“b”曲线是经抽滤处理后的实验室藻类培养液的光吸收系数光谱曲线,分析曲线随波长变化不难发现,藻类培养液与干基配制的不同浓度黄色物质的光吸收系数光谱曲线的变化规律相同, S 值为 0.0139nm^{-1} 。这印证了青岛近海海水黄色物质的主要生产者是海洋藻类。

图 1 中,胶州湾典型站位海水黄色物质在蓝紫光波段的光吸收系数值表现出明显大的特征。究其原因:在湾内河口区,因河水径流携带了大量陆源黄色物质入海,而造成湾内河口区光吸收系数数值增大,而处于湾内的中心区,因受河水径流影响小,海水黄色物质的光吸收系数也较小。另外,大沽河口区及李村河口区两区虽然同属河口区,但它们之间的光吸收系数值的差异较大,其原因是,在调查测量时正值 9 月,河流处于丰水期,达 $47\text{m}^3/\text{s}$,使大沽河的径流量增大,而将携带的大量陆缘黄色物质注入湾内河口区,而同期的李村河其径流增加不大,陆缘黄色物质入海也少,从而造成两河口区光吸收系数数值较大差异。

为了比较胶州湾海水黄色物质光吸收系数光谱曲线与海洋叶绿素、纯海水和海水悬浮粒子的光吸收谱,图 3 给出了海洋叶绿素、纯海水及海水悬浮粒子的吸收系数光谱曲线

和胶州湾湾中心区海水黄色物质光吸收系数光谱曲线。图 3 中海洋叶绿素、纯海水及海水悬浮粒子的吸收系数数据见 Prieur 等 (1981)。

综合分析图 1、图 2、图 3,可以看出,海水黄色物质光吸收系数光谱曲线不具有海洋叶绿素吸收光谱曲线的起伏性,即无“波峰”与“波谷”。图 1 和图 3 清楚地表明,在蓝紫光波段,胶州湾中心区的海水黄色物质对光的吸收与海水自身,海洋叶绿素及海水悬浮粒子的光吸收相比要大得多,从而表明在此波段,海水黄色物质已成为海水中对光吸收起着主导作用的物质。这为海洋水色遥感选用此波段探测海水黄色物质含量以及为海洋水色遥感应应用研究提供了第一手基础性实验依据。

3 结论

3.1 海水黄色物质光吸收系数与波长的关系为指数函数关系为:

$$a(\lambda) = a(\lambda_0) \times \exp[-S \times (\lambda - \lambda_0)]$$

它随波长减少而单调增加,不存在“波峰”与“波谷”。其指数斜率 S 分别为:胶州湾典型站位 $0.0131-0.0180\text{nm}^{-1}$,实验室配制、培养样品 $0.0105-0.0139\text{nm}^{-1}$,这与 $a(\lambda_0)$ 的选取无关。

3.2 在可见光或紫外波段任一波长,海水黄色物质浓度与光吸收系数值之间呈正相关。

3.3 在蓝紫光波段,海水黄色物质的光吸收与海水自身,海洋叶绿素及海水悬浮粒子的光吸收相比要大,从而成为该波段海水中光吸收的主导物质,在 1 类海水中尤其如此。

3.4 海洋藻类是青岛近海海水黄色物质的主要生产者。

致谢 测量中使用的腐殖质干基样品由中国科学院海洋研究所曹文达教授提供,青岛海洋大学水产学院林洪教授在实验上给予帮助,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 夏达英,李宝华,吴永森等,1999. 海水黄色物质荧光特性的初步研究. 海洋与湖沼, 30(6): 719—725
- Bricaud A, 1981. Absorption by dissolved organic matter of the sea (Yellow substance) in the UV and visible domains. *Limnol Oceanogr.* 26: 43—53
- Jerlov N G, 1976. *Marine Optics*. Amsterdam: Elsevier Science Publications, 57—63
- Kalle K, 1966. The problem of the Gelbstoff in the sea. *Oceanog Mar Biol Ann Rev.* 4: 91—104
- Morel A, Prieur L, 1977. Analysis of variations in ocean color. *Limnol Oceanogr.* 22(4): 709—722
- Pegau W S, 1995. A comparison of methods for the measurement of the absorption coefficient in natural waters. *J Geophysical Res.* 100(7): 13201—13220

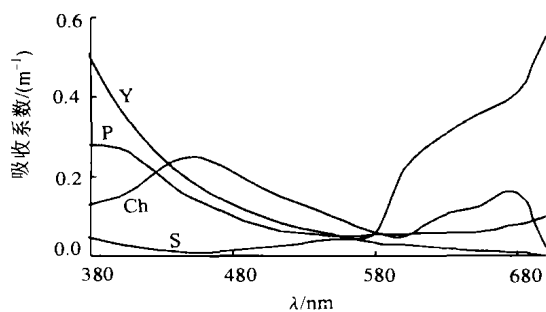


图 3 胶州湾中心区为代表性的海水黄色物质光吸收系数与海洋叶绿素、纯海水及海水悬浮粒子的吸收系数光谱曲线比较

Fig.3 The spectral absorbance curves of Chlorophyll pigment, yellow substance in the central water of Jiaozhou Bay, suspended particles and pure sea water

Ch. 海洋叶绿素; Y. 胶州湾中心站位海水黄色物质;
S. 纯海水; P. 海水悬浮粒子

Prieur L, Shubha Sathyendranath, 1981. An optical classification of coastal and oceanic waters based on the spectral absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter, and other particulate materials. *Limnol Oceanogr.* 26(4): 671—689

EXPERIMENTAL STUDY ON THE OPTICAL ABSORPTION PROPERTY OF YELLOW SUBSTANCE IN SEAWATER

WU Yong-Sen, ZHANG Shi-Kui, ZHANG Xu-Qin, XIA Da-Ying,
WU Long-Ye, ZHENG Jian-Min

(*First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao, 266061*)

Abstract The research is one of series study on yellow substance in seawater. The yellow substance from typical sea waters in Jiaozhou Bay, different concentration of yellow substance and algae filtrate are measured. A rule on its optical absorption is acquired. The relation of its optical absorption coefficient with light wave length is that $a(\lambda) = a(\lambda_0) \times \exp[-S \times (\lambda - \lambda_0)]$. There are no "peak" and "trough" in the relation. The values S range from 0.0131nm^{-1} to 0.0180nm^{-1} in Jiaozhou Bay, from 0.0105nm^{-1} to 0.0137nm^{-1} in Various Concentrate and algae filtrate without relation to $a(\lambda_0)$. The study also show the yellow substance is one of main light absorption substance in sea water on blue and ultraviolet wavebands. Therefore it set up a theoretical base for detecting yellow substance in seawater by remote sensing.

Key words Seawater yellow substance, Optical absorption, Experimental study