

Analysis of Spatial-Temporal Characteristics of Euphotic Zone Depth over Yellow Sea and Bohai Sea Based on Climatological Monthly Average SeaWiFS Data

Peng Zhang¹, Jiannan Cai², Chengmiao Ye²

¹College of the Environment & Ecology, Xiamen University, Xiamen Fujian

²State Key Laboratory of Marine Environment Science, Xiamen University, Xiamen Fujian

Email: 601397458@qq.com

Received: Apr. 5th, 2015; accepted: Apr. 22nd, 2015; published: Apr. 29th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Euphotic Zone Depth (Zeu) plays an important role in studying the ocean primary production, global carbon cycling, or even global warming. The traditional methods may be easy to operate, but needs much time, and cannot measure at large scale. The remote sensing technology is a new tool to observe Zeu at large scale. Bohai sea and Yellow Sea are marginal seas which affect our daily life greatly, so the research of their Zeu is rather important to us. Based on radiation transfer mechanism, this paper uses SeaWiFS climatory $K_d(490)$ monthly data to analyze the spatial-temporal characteristics of Zeu over Yellow Sea and Bohai Sea.

Keywords

Euphotic Zone Depth, Diffuse Attenuation, Yellow Sea and Bohai Sea

基于SeaWiFS气候态月平均数据观测的 黄渤海真光层时空变化特征分析

张 鹏¹, 蔡建南², 叶成淼²

¹厦门大学, 环境与生态学院, 福建 厦门

²厦门大学, 近海海洋环境科学国家重点实验室, 福建 厦门
Email: 601397458@qq.com

收稿日期: 2015年4月5日; 录用日期: 2015年4月22日; 发布日期: 2015年4月29日

摘 要

真光层在海洋初级生产力估算, 全球碳循环, 甚至全球气候变化研究中有重要意义。传统的测量方法非常耗时, 也无法大面积同步观测, 而遥感技术的发展为真光层的计算提供了大尺度观测的新方法。黄海和渤海作为与我们活动最为密切的边缘海, 其真光层研究更为重要。本文尝试依据真光层反演机理模式, 利用SeaWiFS气候态月平均 $K_d(490)$ 数据, 反演出黄渤海的真光层气候态月分布, 并简单分析其空间分布原因。

关键词

真光层, 漫衰减系数, 黄渤海

1. 引言

真光层(Euphotic Zone Depth, Z_{eu})是指有足够穿透光线提供有效光合作用水体上层[1]。由于浮游植物大多分布在真光层, 研究真光层对海洋初级生产力的估算起着重要作用, 在水体生态环境, 全球碳循环, 以及全球气候变化研究中都有重要意义。同时, 真光层深度的分布同水团性质也相关, 可用于示踪水团和海流[2]。真光层深度同水体浑浊程度相关, 但是比透明度更能准确地描述光线衰减程度, 并且比透明度更容易遥感反演, 在海洋军事、海洋工程领域有重要意义[3] [4]。真光层深度一般用光合有效辐射(Photosynthetic Available Radiation, PAR)衰减到表面值 1%时对应的深度来表示[5]。PAR 一般指 400~700 nm 的太阳辐射部分, 约占到达地球表面太阳总辐射的一半。由于海水中浮游植物、无机悬浮物、黄色物质的存在, 可见光在海水中的衰减非常迅速。不同区域海水中, 悬浮颗粒物类型、粒径分布、浓度等差别较大, 导致真光层深度也差别很大。

真光层深度的测量方法有很多, 可以直接测量水下光谱, 也可以由透明度经验计算[6]。测量水下光谱较为准确, 但是操作较为复杂。透明度方法操作简单, 计算简便, 但是准确度不高。两种方法都无法大面积同步获取海水真光层的深度, 且出海观测成本较高。水体散射可见光携带着水中成分信息, 可用于计算浑浊程度, 即可以用于反演计算真光层深度。随着遥感技术的发展, 遥感反演真光层深度逐渐普遍。真光层深度的遥感计算方法主要有两种模式: 一种是经验模式, 真光层深度同水中成分(叶绿素、悬浮物和可溶有色物质浓度)之间有着较好的相关性, 可以通过成分计算真光层深度[7] [8]。另外一种为辐射衰减机理模式, 利用真光层深度与海水漫衰减系数之间的关系, 再根据辐射传输定律算出真光层深度。黄渤海浑浊水体, 水中成分反演本身就不准确, 由此计算的真光层会更加不准, 因此本文使用机理反演模式。

黄渤海由于特殊的地理环境, 其悬浮无机物、浮游植物和黄色物质浓度都很高, 其海洋光学特性有很大的时空变化性。黄海平均水深 40 米, 最大水深为 86 米, 渤海是中国的内海, 基本上为陆地所怀抱, 仅东部以渤海海峡与黄海相通, 面积 7.7 万平方公里, 平均深度仅为 18 米。黄渤海的悬浮物质浓度从差别可达到 3 个数量级, 透明度从几十厘米达到了几十米[9]。黄渤海周边有众多河流, 如海河、辽河、长江、淮河、黄河、鸭绿江等, 将大量悬浮颗粒物带入到海洋。

目前东海、南海真光层深度,甚至一些内陆湖泊真光层深度,都有了一些很好的研究,但是对于人类活动极为密切的黄海和渤海,其真光层深度却未见报道。本文尝试利用 SeaWiFS 气候态月平均漫衰减系数 $K_d(490)$ 数据,依据真光层反演机理模式,反演出黄海、渤海的真光层气候态月分布,并分析了其空间分布原因。

2. 数据和方法

本文使用的数据为美国航空航天局(NASA)提供的宽视场海洋观测传感器(SeaWiFS)反演的气候态月平均漫衰减系数 $K_d(490)$ 。SeaWiFS 于 1997 年 8 月 1 日发射,正常工作时间为 1997 年 9 月 18 日到 2010 年 12 月 11 日,服役时间超过 13 年。SeaWiFS 含有 8 个可见光和近红外通道,主要用于探测海洋水色,其星下点分辨率为 1.1 km。向下辐照度的漫衰减系数 $K_d(490)$ 是海色遥感标准产品之一,主要描述可见光在水体的穿透能力。 $K_d(490)$ 海色遥感标准算法是基于蓝(490 nm)绿(555 nm)波段比值的经验算法,在对数坐标下其相关性 R^2 达到 0.931~0.937,在线性坐标下均方跟误差为 0.012 m^{-1} [10]。黄渤海水体较为浑浊,其反演精度可能会略有降低,但反演透明度的时空分布特征不会有太大差异。海色卫星受到云覆盖影响,很多区域没有观测数据,为最大限度地提高空间覆盖率,本文使用气候态月平均数据。

光线在性质均匀的水体中传输时符合 Lambert-Beer 定律,即辐照度随着深度的增加呈指数衰减[11]:

$$E_d(z) = E_d(0)e^{-K_d z} \quad (1)$$

其衰减系数(此处以 PAR 为例)可表示为:

$$K_d(\text{PAR}) = -\frac{1}{z} \ln \frac{E_d(\text{PAR}, z)}{E_d(\text{PAR}, 0)} \quad (2)$$

其中, $K_d(\text{PAR})$ 为 0~z m 深度的平均 PAR 漫射衰减系数(m^{-1}), z 为从海面到测量处的深度(m), $E_d(\text{PAR}, z)$ 为深度 z 处的向下光谱辐照度($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), $E_d(\text{PAR}, 0)$ 为水面以下向下光谱辐照度($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。

真光层深度是指光合有效辐射 PAR 衰减到表层量值的 1% 的深度。假定真光层深度为 Z_{eu} , 由上式可推导出如下真光层深度计算[12]

$$Z_{eu} = -\frac{1}{K_d(\text{PAR})} \ln \frac{1\% E_d(\text{PAR}, 0)}{E_d(\text{PAR}, 0)} = \frac{2 \ln 10}{K_d(\text{PAR})} = \frac{4.605}{K_d(\text{PAR})} \quad (3)$$

大量研究证明, $K_d(\text{PAR})$ 和 $K_d(490)$ 之间的关系有很好的线性关系, 可表示为:

$$K_d(\text{PAR}) = m \times K_d(490) \quad (4)$$

因此真光层深度可表示为:

$$Z_{eu} = \frac{4.605}{m \times K_d(490)} \quad (5)$$

$K_d(\text{PAR})$ 为 400~700 nm 可见光范围光谱总辐照度的漫射衰减系数, 是各个波段漫射衰减系数的加权平均值, 但由于不同波段漫射衰减系数并不存在明确的线性关系, 因此, 对于不同海区, $K_d(\text{PAR})$ 和 $K_d(490)$ 之间的统计系数 m 并不相同。

李国胜等[13]利用《渤海、黄海、东海海洋图集——水文分册》实测数据, 分析透明度, 真光层深度和光谱衰减系数得出黄渤海 m 约为 1.311, 即:

$$Z_{eu} = \frac{3.512}{K_d(490)} \quad (6)$$

3. 结果与讨论

由于云覆盖的影响,或太阳耀斑的影响,海色遥感数据存在或多或少的空白数据。图 1 为 SeaWiFS 数据计算的冬季(1 月),春季(4 月),夏季(7 月),秋季(10 月)13 年平均气候态的真光层深度。可以看出即使观测时间长达 13 年,近岸很多区域仍然没有观测数据。

从图 1 可以看出,黄渤海真光层具有很大的时空变化性。总体来说,渤海真光层要小于黄海。渤海真光层冬季最浅基本都在 10 m 以下,夏季最深,最大真光层在 20 m 左右。黄海真光层深度春季最小,基本都在 20 m 以下,夏季真光层大多数区域都在 40 m 以上。

3.1. 渤海真光层时空变化特点及成因

渤海真光层非常浅主要由其独特环境造成的。渤海面积很小,离岸较近,且水深很浅,平均水深仅为 18 m。渤海有辽河、滦河、海河、黄河等携带大量泥沙流入,并且渤海深处内海,与外界水体交换速率较低,使得渤海的悬浮物含量较高,可见光不能穿透太深。其次渤海周围为人类活动剧烈,认为排放的有机污染物较多,造成生态环境脆弱,赤潮频发,这同样降低了真光层深度。渤海沿岸流呈逆时针方向,从渤海流入黄海的沿岸流经过烟台威海沿岸,使得此处的水体较为浑浊,真光层深度也较浅。

在季节变化上,可以看出渤海冬季真光层最浅,基本都在 10 m 以下,这主要因为受冬季季风影响,渤海水深较浅,垂直混合较为强烈,将底层的颗粒物质带到了上层,加剧了光线衰减。而夏季风速相对较小,垂直混合较弱,并且水温很高,渤海会出现层化,上层颗粒物含量相对较少,因此真光层最大。同时在夏季和秋季,在渤海靠近胶东半岛渤海海峡区域,可以看到很明显的由黄海深入渤海的较深的真光层。黄海的水体透明度要明显高于渤海的水体,因此此处的真光层深度也要明显高些。

3.2. 黄海真光层时空变化特点及成因

黄海真光层基本趋势为越靠近岸边真光层越小,大部分沿岸区域的真光层深度在 10 m 左右,在南黄海中间区域最大,在夏季甚至超过 50 m。同渤海一样,黄海受鸭绿江、韩江、长江、淮河输入影响,高浓度的陆源物质输入同样是黄海沿岸真光层较低的原因。在苏北浅滩-古黄河口区域,由于悬浮无机物含量很高,海水非常浑浊,其真光层为黄海最小区域,在夏季小于 10 m。长江河口处真光层较浅,且向海内延伸,其原因可能为河流输入影响。河流带有大量的陆源物质入海,使得叶绿素和泥沙浓度增高,真光层深度变浅。河流的流量越大,其影响范围越为广泛,其造成较浅的真光层区域向海内延伸的越远。真光层深度在夏季南黄海中间区域达到 60 m,是黄海中最高的区域,使黄海真光层深度呈现向里递增趋势,其中主要原因是黄海的面积大,中心区域远离岸边,受河流和人们活动的影响较小,且该地区的水深较大,可达到 100 米左右,且该地区靠近外海,受到黄海暖流的影响。北黄海真光层相对南黄海较浅,在冬春季节都要小于 30 m,其北黄海中间真光层深度最深也处也只比近岸处高 10 m 左右。此外,沿岸流对黄海沿岸海区影响较大,导致沿岸区域在四个季节真光层深度都要小于 10 m。

从季节上看,黄海中央海区真光层深度最小值出现在春季,而非冬季。这主要的原因可能为,此处海区离岸边很远,河流输入和沿岸流的影响较小,海洋光学性质的主要影响因子为浮游植物并非悬浮无机物。在春季海水温度变暖,出现层化,混合层浅于真光层,有利于浮游植物的积聚,形成藻华[14]。大量浮游植物的出现,使入射太阳光在上层海洋被利用,真光层相对很浅。而在夏季,颗粒物含量很低的大洋水体进入黄海,太阳光在水中穿透较深,致使该季节真光层也较深。在沿岸区域,水体很浅,由于冬季季风强烈,垂直混合剧烈,同渤海相似,再悬浮过程将底层无极颗粒带到上层,导致真光层很浅。

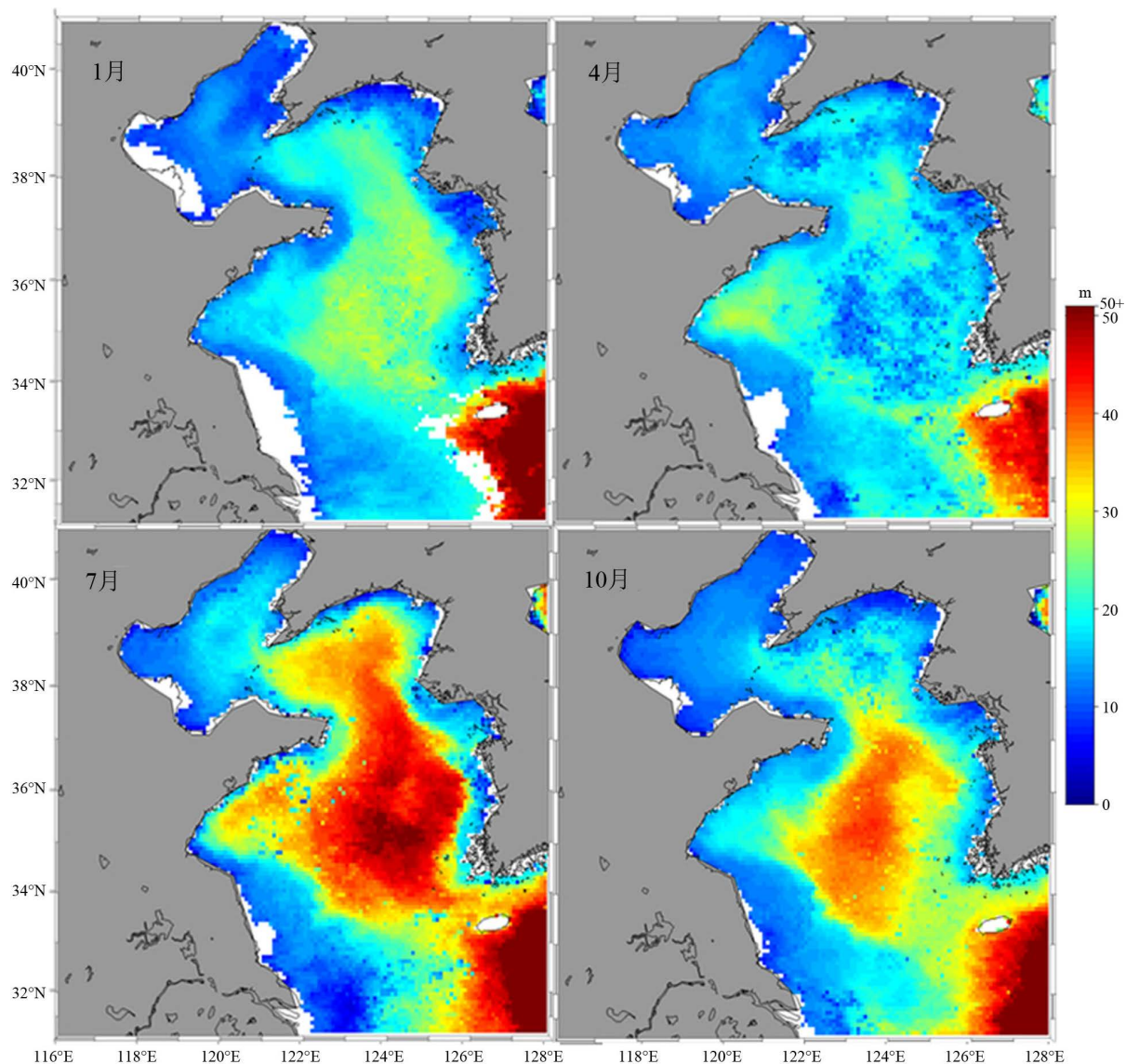


Figure 1. The spatial distributions of Euphotic Zone Depth over Yellow Sea and Bohai Sea in January, April, July and October

图 1. 黄渤海真光层 1、4、7、10 月空间分布

4. 总结

真光层深度的研究对于物理海洋学、生态动力学等研究具有重要的意义。本文基于 SeaWiFS 气候态月平均数据，利用机理模式反演了渤黄海的真光层，并分析了其时空变化性。渤海真光层要浅于黄海，并且受河流输入和人类活动影响。黄海真光层深度要受到黄海暖流的影响，在近岸苏北浅滩区域受海底再悬浮影响。受沿岸流影响，黄海和渤海真光层都较小。在季节变化上，渤海真光层冬季最小，主要归因于冬季季风引起的强混合作用。黄海中部海区真光层在春季最小，可能和春季浮游植物藻华有关。

参考文献 (References)

- [1] Morel, A., Antoine, D., Babin, M., et al. (1996) Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program), the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill.

Deep Sea Research I, **43**, 1273-1304.

- [2] Hinojosa, F.D., Castro, G.G., Zavala, J.A.S., et al. (1997) The effect of vertical mixing on primary production in a bay of the Gulf of California. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **45**, 135-148.
- [3] 陈晶晶, 商少平, 商少陵 (2007) 台湾海峡真光层深度半分析算法遥感反演的真实性检验. *厦门大学学报*, **S1**, 12-17.
- [4] 张运林, 秦伯强, 胡维平, 等 (2006) 太湖典型湖区真光层深度时空变化及其生态意义. *中国科学(D 辑), 地球科学*, **3**, 287-296.
- [5] Lee, Z.P., Weidemann, A., Kindle, J., et al. (2007) Euphotic zone depth: Its derivation and implication to ocean color remote sensing. *JGR*, **112**, C03009.
- [6] Kratzer, S., Hakansson, B. and Sahlin, C. (2003) Assessing secchi and photic zone depth in the Baltic Sea from satellite data. *Ambio*, **32**, 577-582.
- [7] Morel, A. and Berthon, J.F. (1989) Surface pigments, algal biomass profiles and potential production of the euphotic layer, Relationships reinvestigated in view of remote-sensing applications. *Limnology & Oceanography*, **34**, 1545-1562.
- [8] Wozniak, B., Dera, J., Ficek, D., et al. (2003) Modeling light and photosynthesis in the marine environment. *Oceanologia*, **45**, 171-245.
- [9] 冯士筭, 李凤岐, 李少菁 (2007) 海洋科学导论. 高等教育出版社, 北京, 464.
- [10] O'Reilly, J.E. and 24 Coauthors (2000) Sea WiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3. NASA Tech. Memo. 2000-206892, Vol. 11, In: Hooker, S.B. and Firestone, E.R., Eds., NASA Goddard Space Flight Center, 49 pp.
- [11] Kirk, J.T.O. (1994) Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University Press, New York.
- [12] Jerlov, N.G. (1976) Marine optics. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 231.
- [13] 李国胜, 梁强, 李柏良 (2003) 东海真光层深度的遥感反演与影响机理研究. *自然科学进展*, **1**, 90-94.
- [14] Sverdrup, H.U. (1953) On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. *Journal du Conseil*, **18**, 287-295.