

# Analysis of Water Spectral Characteristics of Bohai Bay in Spring

Chunlin Liu<sup>1,2</sup>, Xiaoshen Zheng<sup>1\*</sup>, Wenling Liu<sup>1</sup>, Yanqin Liu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tianjin Key Laboratory of Marine Resources and Chemistry, College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin

<sup>2</sup>Tianjin Marine Advisory Assessment Center, Tianjin

Email: [tjxa5284@163.com](mailto:tjxa5284@163.com), \*[zhengxiaoshen@163.com](mailto:zhengxiaoshen@163.com)

Received: Aug. 16<sup>th</sup>, 2015; accepted: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2015; published: Sep. 11<sup>th</sup>, 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

Based on the CTD data and the measured spectral data of Bohai Bay in May, 2011, the water spectral characteristics of typical survey stations are analyzed. In this paper, the effects of marine environmental elements on the spectral properties of the water body are analyzed by comparing water spectra and the distribution of temperature, salinity, density, photosynthetic active radiation and chlorophyll concentration of Bohai Bay. The results showed that the water body spectral radiation peak height is determined by the chlorophyll concentration and photosynthetic active radiation interaction in the 510 - 620 nm spectral range, but it is determined not only by the chlorophyll concentration and photosynthetic active radiation interaction, but also by other environmental factors in the 380 - 440 nm and 705 - 800 nm spectral range.

## Keywords

Water Spectral, ASD Spectroscopy, CTD Survey Data, Bohai Bay

# 渤海湾春季水体光谱特征分析

刘春琳<sup>1,2</sup>, 郑小慎<sup>1\*</sup>, 刘文岭<sup>1</sup>, 刘燕钦<sup>1</sup>

<sup>1</sup>天津科技大学海洋与环境学院, 天津市海洋资源与化学重点实验室, 天津

<sup>2</sup>天津市海洋咨询评估中心, 天津

Email: [tjxa5284@163.com](mailto:tjxa5284@163.com), \*[zhengxiaoshen@163.com](mailto:zhengxiaoshen@163.com)

\*通讯作者。

收稿日期：2015年8月16日；录用日期：2015年9月2日；发布日期：2015年9月11日

## 摘要

基于2011年5月渤海湾典型站点的CTD观测数据和实测光谱数据分析了渤海湾的水体光谱特性。通过对比实测站位水体光谱和温度、盐度、密度、光合有效辐射和叶绿素浓度在水体中的分布状况，分析了海洋环境要素对水体光谱特性的影响。结果表明在510~620 nm光谱范围内，水体光谱辐射峰的高度由叶绿素浓度和光合有效辐射共同作用决定；在380~440 nm和705~800 nm波长范围水体光谱辐射峰的高度不仅受叶绿素浓度和光合有效辐射影响，还受其他环境要素影响。

## 关键词

水体光谱，ASD波谱仪，CTD观测数据，渤海湾

## 1. 引言

水体的光谱包含有水中光和水面散射光两部分，可以通过高空遥感手段，探测水面水中光和散射光，以获得水面形态、水色、水温等信息，并由此推算有关浮游生物、浑浊水、污水等的质量和数量以及水面风、浪等有关信息[1]。水体光谱特征反映了水体本身和水体中所含物质的综合信息，由各种物质对光辐射的吸收和散射性质所决定，对采集的水体光谱进行分析，可得到水体各物质的含量状况[2] [3]。水体光谱分析不仅为水色遥感提供了基础，还对水体污染、水质监测和水质研究有着深远的影响。选择适合于水质监测的敏感波段、优化波段组合以获取最佳的光谱信息，从而通过对水体光谱的分析，可以获得水体中各种成分的含量。国内外已有不少学者对内陆水体及大洋水体的光谱进行了分析[4]-[11]，但不同海域，由于水体的组分含量不同，光谱特征差异也较大。因此水体光谱特征及其环境要素的分布，可以为水体组分研究及生态环境的保护和修复提供科学依据。

渤海湾是一个半封闭海湾，沿岸有多条河流入海，近年来环渤海湾地区的工农业、养殖业和港口的快速发展，大量生活和工业废水排向渤海湾，使渤海湾成为渤海海域污染最为严重、生态环境最脆弱的区域之一。因此现阶段对渤海湾进行大面调查十分必要，探究水体光谱特征及水体固有光学性质对渤海湾生态系统的修复和环境治理有积极意义。本文利用2011年春季国家科技支撑项目“渤海海岸带典型岸段与重要河口生态修复关键技术研究示范”在渤海湾进行的水文和光谱综合调查数据，探讨了渤海湾水体光谱特征及水体环境要素分布对光谱的影响。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 观测站位分布

国家科技支撑项目于2011年5月6日~9日使用中国渔政12001船在渤海湾(38.00N-39.10N, 117.80E-119.00E)进行了水文、化学和生物的大面站和连续站观测[12]。站位以北塘口、海河口两个主要污染物入海口为中心，沿等深线向外辐射分布，各站位相距大约7-10海里。站位和水深分布如图1所示。

### 2.2. 现场观测

使用SBE-25 CTD对温度、盐度和叶绿素浓度进行剖面观测，采样频率为8 Hz，连续站每小时进行一次剖面观测。使用RBR620对光合辐照度(PAR)进行剖面观测，采样频率为6 Hz，连续站每小时进行

一次剖面观测,采用的 PAR 数据为最大深度到表层的测量结果。对上述物理量的剖面数据进行垂向 0.5 m 平均。

使用美国 ASD 公司设计制造的 FieldSpec HandHeld 便携式手持光谱仪,采用水面以上光谱测量与分析方法进行光谱数据测量[13]-[15],使用 ViewSpec 软件对 ASD 波谱仪数据进行处理。

### 3. 结果与讨论

由图 1 可知,观测站位分布在整個渤海湾。近岸站位水深较浅,如 F1, E1, E2, E3, E4, D4, D5, D6, C5, C6, B6 等水深小于 10 m,分布在套儿河河口、大口河河口,海河口附近,水文要素和光谱特性受陆源影响较大。另一方面光谱的观测受到天气和光照的影响,因此本文在分析时以 A3 连续站为例,A3 连续站位于渤海湾的湾口中部,受陆源影响较小,深度达到 25 m,该站位可以作为渤海湾水体的典型站位,该站位光谱观测时间为天气晴朗的 11 点,12 点,13 点和 15 点,为有效可比较的时间观测范围,因此以 A3 连续站的光谱观测具有典型性,光谱的观测也是可靠的,可比较的。

#### 3.1. A3 站位表层水文要素的分布特征

A3 站位于 38.76°N, 118.98°E,测量时间是从 2011 年 5 月 6 日 15:00 到 5 月 7 日 16:00,每间隔一小时测量一次。不同时刻温度、盐度、叶绿素浓度及光合有效辐射的表层分布如图 2 所示,其中横轴为 A3 连续站测量的时间。

由图 2 可知,表层温度的变化主要受到太阳辐射的影响,随着太阳辐射量的变化,温度出现上下波动,变化范围主要是在 7.9°C~11.5°C。盐度变化幅度较小,主要是受到潮汐和风场的影响,A3 站位于渤海湾湾口处,潮汐变化时盐度受到外海水的影响。叶绿素浓度的分布高值区出现在中午,光照较好的时刻。

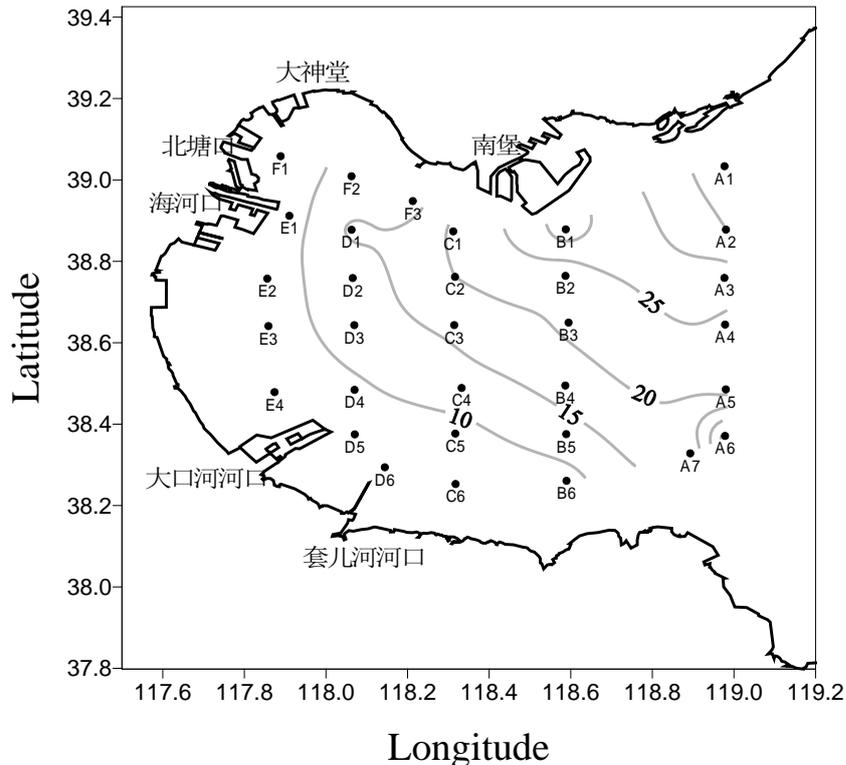


Figure 1. Observation stations and depth distribution of Bohai Bay in May, 2011

图 1. 渤海湾 2011 年 5 月航次观测站位和水深分布

### 3.2. A3 站位 4 个时刻水文要素的剖面分布

A3 站位 5 月 6 日 15 点, 7 日 11、12、13 点 4 个时刻叶绿素浓度、温度、盐度、密度和光合有效辐射的剖面分布如图 3 所示。从上至下每行的 4 个图依次是 6 日 15 点、7 日 11 点、12 点及 13 点的剖面分

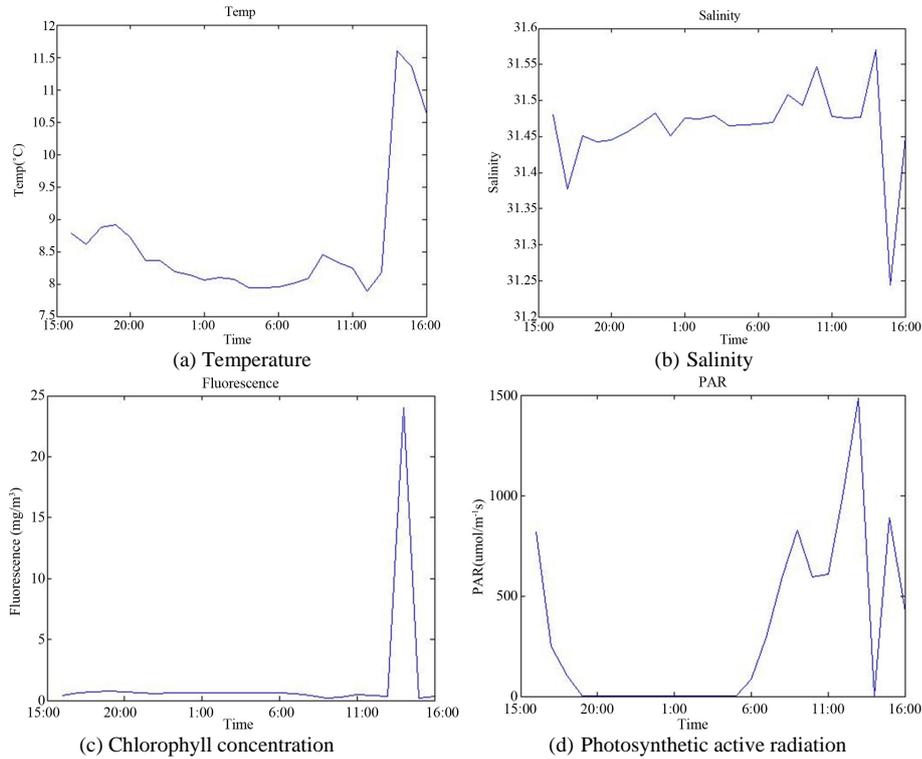


Figure 2. Surface temperature, salinity, chlorophyll concentration and photosynthetic active radiation changes of A3 station at different times

图 2. A3 站位表层温度、盐度、叶绿素浓度、及光合有效辐射随时间的变化

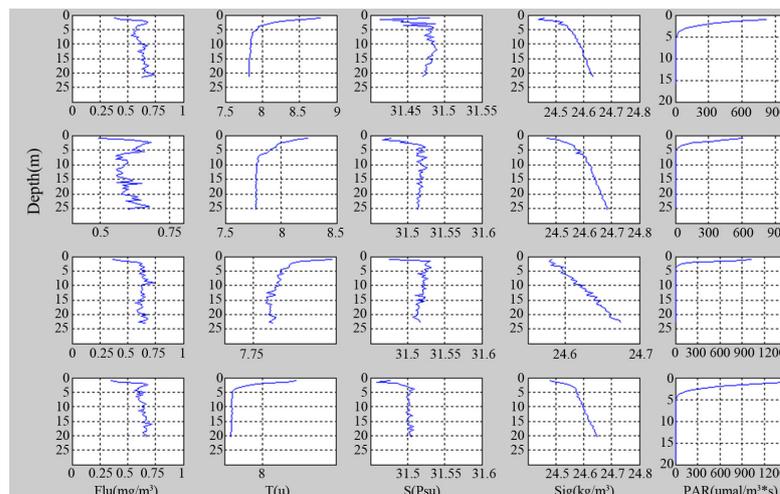


Figure 3. Cross-sectional views of chlorophyll concentration, temperature, salinity, density and photosynthetic active radiation at four times (15:00 on May 6, 11:00, 12:00, 13:00 on May 7) at A3 station

图 3. A3 站位四个时刻(5月 6 日 15 点, 7 日 11、12、13 点)的叶绿素浓度、温度、盐度、密度及光合有效辐射剖面图

布图, 从左往右每列依次表示的是叶绿素浓度、温度、盐度、密度、光合有效辐射的垂直分布剖面图。由图 3 可知, 叶绿素浓度表层偏小, 最大值约为  $0.7 \text{ mg/m}^3$ , 出现在 2.5 m 左右的深度。温度由于受到太阳辐射的影响, 表层温度高于下层。盐度变化不大, 范围为 31.4~31.5, 表层盐度低于下层。密度分布底层高于表层, 水体处于稳定状态。光合有效辐射从表层开始迅速递减至 5 米后其值几乎为零, 这可能是由于渤海湾的水体中含有大量悬浮泥沙, 加速了光线在水中的衰减。

### 3.3. A3 站位 4 个时刻光谱数据的分布特征

首先利用 ViewSpec Pro 软件读取 ASD 波谱仪 5 月 6 日 15 点, 7 日 11、12、13 点 4 个时刻观测的光谱数据, 然后通过 matlab 软件读取生成相应的 ASCII 码光谱数据, 截出波长范围为 325~800 nm 的光谱数据, 输出光谱图如图 4 所示。

从光谱图可以看到: 6 日 15 点和 7 日 11、12、13 点的光谱曲线高度整体大致为 15 点最高, 12 点最低; 4 条光谱曲线在 450~500 nm 和 650~700 nm 波长范围内各有一个小波峰, 在 550~600 nm 间峰值达到最大; 4 条曲线在 500~550 nm、600~650 nm 及 750~800 nm 这三个波长范围内各有一个谷值。在波长小于 440nm 时 13 点的光谱曲线在 11 点的光谱曲线之上, 这 2 条曲线在 440~455 nm 波长范围内有一个短暂的相会后, 11 点的光谱曲线在 13 点的光谱曲线之上, 至 705 nm 后 2 条光谱曲线的再次相交, 由变成 13 点的光谱曲线在 11 点的光谱曲线之上。15 点、11 点 13 点的三条光谱曲线在小于 350 nm 的波长范围内相互交叉。

### 3.4. 水体光谱数据的特征分析

由图 4 可以看出, 在 400 nm~500 nm 波长范围内, 叶绿素吸收作用明显, 在该波长范围内水体的反射率较低; 580 nm 波长附近属于叶绿素和胡萝卜素弱吸收区域, 加上细胞散射作用的影响, 因此在该波长附近出现反射波峰。而且水体叶绿素浓度越高, 辐射峰值会越高, 这作为叶绿素定量的标志。600 nm 波长后, 叶绿素等有机质反射能力逐步下降, 625 nm 附近由于叶绿素强烈的吸收作用, 导致该波长附近出现反射波谷。

根据前人对二类水体的研究知道 510~620 nm 波长范围水体辐射峰与叶绿素浓度有着正相关的关系,

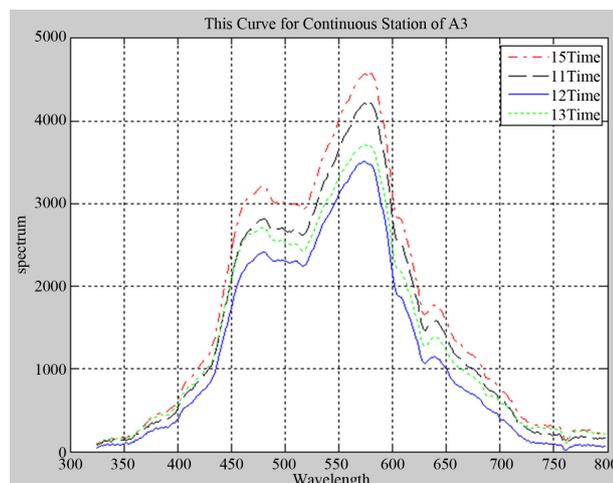


Figure 4. Spectral characteristics at four times (15:00 on May 6, 11:00, 12:00, 13:00 on May 7) at A3 station

图 4. A3 站位四个时刻(5 月 6 日 15 点, 7 日 11、12、13 点)的光谱特征

图 4 中辐射峰最高的是 15 点的光谱曲线, 参照图 3 发现表层 11 点的叶绿素浓度最高, 15 点叶绿素的叶绿素浓度大小在 4 个时刻中仅次于 11 点, 显然叶绿素浓度不是决定水体光谱反射峰高度的唯一因素, 通过分析图 3 中其它环境要素的分布状况, 发现影响海洋光照强度的海表面的光合有效辐射 15 点要比 11 点强, 同样的 12 点的光谱反射峰高度比 13 点高, 其叶绿素浓度大小却比 13 点时点, 而光合有效辐射强度比 13 点时大。由此推测在 510~620 nm 波长范围, 水体辐射峰的高度由叶绿素浓度和光合有效辐射共同作用决定; 从图 4 中可以看到: 11 点、13 点两个时间点的光谱, 约在 440 nm 和 705 nm 两处各有一个交点, 在 380~440 nm 和 705~800 nm 的波长范围内 13 点的光谱值比 11 点的光谱值大, 通过分析图 3 中其它环境要素的分布状况发现 13 点海表面的光合有效辐射都要比 11 点高不少, 但鉴于两光谱在 450~620 nm 波长范围内光谱值 11 点时大于 13 点, 由此推测在 380~440 nm 和 705~800 nm 波长范围除了叶绿素浓度和光合有效辐射外, 可能还受到其他环境要素的影响。

#### 4. 结论

本文以渤海湾主要海洋观测站点的实测光谱和现场观测数据为研究对象, 研究分析了叶绿素浓度、温度、盐度、密度及光合有效辐射对实测水体光谱特性的影响。通过连续站叶绿素浓度和温度、盐度、密度、光合有效辐射的环境要素在 6 月 5 日 15 点、7 日 11、12、13 点 4 个时刻的剖面分布图可以得出以下结论: 1) 渤海湾水体的叶绿素浓度最大值出现在 2.5 m 左右的深度, 温度收到太阳辐射影响, 表层最高; 2) 在 510~620 nm 光谱范围内, 水体光谱辐射峰的高度由叶绿素浓度和光合有效辐射共同作用决定; 3) 在 380~440 nm 和 705~800 nm 波长范围水体光谱辐射峰的高度不仅受叶绿素浓度和光合有效辐射影响, 还受其他环境要素影响。

#### 基金项目

天津市自然科学基金资助项目(14JCYBJC22500)。

#### 参考文献 (References)

- [1] 赵英时, 等 (2003) 遥感应用分析原理与方法. 科学出版社, 北京.
- [2] 王贵彪, 蔡丽娜 (2011) 水体光谱分析法在解译中的应用. *测绘与空间地理信息*, **6**, 196-200.
- [3] 林飞娜 (2009) 内陆水体波谱特征分析及叶绿素 a 浓度遥感定量模型研究. 硕士论文, 首都师范大学, 北京.
- [4] Bhati, M.A., Rundquis, T.D., Schalles, J., et al. (2009) A comparison between above water surface and subsurface spectral reflectance collected over inland waters. *Geocarto International*, **24**, 133-141. <http://dx.doi.org/10.1080/10106040802460707>
- [5] Singh, N.K., Bajwa, S.G. and Chaubey, I. (2008) Removal of surface reflection from above-water visible-near infrared spectroscopic measurements. *Applied Spectroscopy*, **62**, 1013. <http://dx.doi.org/10.1366/000370208785793191>
- [6] 马荣华, 戴锦芳 (2005) 应用实测光谱估测太湖梅梁湾附近水体叶绿素浓度. *遥感学报*, **1**, 78-86.
- [7] 李铜基, 唐军武, 陈清莲, 等 (2001) 光谱仪测量离水辐射亮度的方法. *热带海洋学报*, **4**, 56-60.
- [8] 叶虎平, 李铜基 (2009) 水体光谱特性监督分类方法研究. *海洋技术*, **3**, 96-101.
- [9] 杨硕, 王世新, 周艺, 等 (2010) 基于光谱匹配的内陆水体反演算法. *光谱学与光谱分析*, **11**, 3056-3060.
- [10] 韩秀珍, 郑伟, 刘翔 (2010) 基于实测光谱的太湖水体表面离水反射率研究. *国土资源遥感*, **3**, 54-57.
- [11] 曹梅盛, 冯学智, 梁凤仙, 陈贤章, 汤瀚 (1998) 马鞍山地区水体反射光谱特性的初步研究. *中国科学院兰州冻土研究所集刊*, **6**, 140-145.
- [12] 郑小慎, 李桂菊 (2014) 渤海湾春季叶绿素浓度分布及环境要素的影响. *海洋技术学报*, **2**, 1-7.
- [13] 唐军武, 田国良, 汪小勇, 等 (2014) 水体光谱测量与分析 I: 水面以上测量法. *遥感学报*, **1**, 37-44.
- [14] 汪小勇, 唐军武, 李铜基, 等 (2012) 水面之上法测量水体光谱的关键技术. *海洋技术*, **1**, 72-76.
- [15] 刘显傅, 李铜基, 陈清莲 (2004) 水体主要成分对表观光学量的影响. *海洋技术*, **1**, 86-90.