

李强, 唐军武, 葛化鑫, 等. 海洋水色遥感原位测量数据共享平台综述[J]. 海洋学报, 2025, 47(2): 108–130, doi:10.12284/hyxb2025005

Li Qiang, Tang Junwu, Ge Huaxin, et al. Summary of sharing platforms for ocean color remote sensing *in situ* measurement data[J]. Haiyang Xuebao, 2025, 47(2): 108–130, doi:10.12284/hyxb2025005

海洋水色遥感原位测量数据共享平台综述

李强^{1,2,3}, 唐军武^{2,4,5}, 葛化鑫⁶, 吴国俊^{2,4}, 姜玲玲⁷, 邵晓鹏^{2*}

(1. 西安电子科技大学 光电工程学院, 陕西 西安 710071; 2. 中国科学院 西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 崂山实验室, 山东 青岛 266237; 5. 中国海洋大学 信息科学与工程学院海洋技术学院, 山东 青岛 266100; 6. 青岛国实科技集团有限公司, 山东 青岛 266237; 7. 大连海事大学 环境科学与工程学院, 辽宁 大连 116026)

摘要: 高质量的原位测量数据是海洋水色遥感数据产品真实性检验、算法开发和气候变化研究的先决条件。原位数据的采集通常需要耗费大量的人力、物力、财力, 单个研究团队采集的数据通常难以支持长时序和大范围的研究。在“大数据”科学研究的驱动下, 国内外多个开放存取数据平台、政府间和国家级海洋科学数据中心以及主要涉海部门数据库平台发布了不同类型的海洋原位测量数据并向用户共享, 以充分发挥原位测量数据的价值, 支撑大科学问题的研究。由于各数据集在数据平台中离散分布, 数据采集时间、区域、学科门类及数据获取方式不尽相同, 数据使用者很难短时间内知晓并应用这些平台数据, 导致搜集相关研究数据费时费力。因此, 本文收集整理了 29 个可以获取海洋光学和海洋生物地球化学等参数的数据库平台, 这些平台存储了全球海洋近百年来的原位测量数据, 列举了共享数据在海洋水色遥感研究中的典型应用, 并给出了常用参数的数据检索建议, 以期帮助数据使用者快速获取研究数据。

关键词: 水色遥感; 海洋光学; 生物光学; 原位测量; 数据库; 共享数据; 生物地球化学

中图分类号: P717

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2025)02-0108-23

1 引言

海洋水色遥感技术提供认识海洋生态系统的宏观窗口, 是目前我们了解全球海洋上层生物圈的主要方法^[1-2]。水色遥感即通过卫星遥感影像获取水体光学信号, 通过分析光谱信息反演得到生物地球化学参数, 因其大范围、近实时和长时序的独特优势, 成为海洋环境监测系统的重要组成部分^[3-4]。海洋水色遥感数据产品的定标和验证以及完善海洋水色算法都离不开海洋光学和生物地球化学原位测量, 这是水色遥感技术发展进步的先决条件^[5-7]。在 Web of Science 中以 TS = “Ocean Color”和 TS = “Remote Sensing”

作为关键词共检索到 4 573 条相关研究, 加入 TS = “in situ”关键词, 共检索到 1 700 条相关研究(截至 2024 年 7 月 10 日), 进一步表明原位测量数据在水色遥感中的重要性。

海洋光学和生物地球化学原位测量数据主要来自于船测、锚泊平台(锚系浮标)和 Argo 浮标阵列等, 长时间序列和大空间范围难以兼得, 且需要耗费大量人力、物力、财力。过去由于缺乏星地同步观测数据和全球分布的原位测量数据, 导致适用于算法开发和卫星产品验证的数据量有限^[8-9]。随着“大数据”驱动的科学研究的兴起, 国内外学者通过搜集整理大范围 and 长时序原位测量数据, 结合遥感影像, 宏观地研

收稿日期: 2024-07-11; 修订日期: 2024-12-10。

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFB3901705); 崂山实验室科技创新项目(LSKJ202201202)。

作者简介: 李强(1998—), 男, 山东省枣庄市人, 研究方向为海洋水色遥感。E-mail: liqiang235@mails.ucas.ac.cn

* 通信作者: 邵晓鹏, 教授, 主要从事计算光学成像方向研究。E-mail: xpshao@xidian.edu.cn

究了全球海洋溶解有机碳(DOC)、颗粒有机碳(POC)、总悬浮颗粒物(TSM)浓度,浮游植物类群分布及水体光学分类等^[10-15]。以上研究中使用的原位测量数据来自各研究团队自己的船测数据和共享数据集,以后者为主导。共享数据集主要有4个来源:(1)研究人员发布的共享数据集;(2)政府间大型数据存储平台;(3)国家级海洋数据中心;(4)国内外涉海机构数据中心。由于共享数据离散分布,数据使用者很难在短时间内充分搜集研究所需的数据集。

本文收集整理了29个海洋数据发布平台,包括开放存取数据平台、海洋科学数据中心和海洋长时间序列观测站网平台,主要由欧美等发达国家发起,平台共享的数据类型包括但不限于海洋光学和海洋生物地球化学;综述了各平台存储的数据类型以及数据在海洋水色遥感中的应用;最后给出水色遥感研究常用参数的数据检索建议。

2 开放存取数据平台

面向全球的开放存取数据平台和科学期刊中,存储和发表了大量地球科学领域的原位测量数据集,在海洋水色遥感研究中被大量使用。本节列举科学期刊和开放存取数据平台以及部分海洋水色遥感研究中使用的数据集。

2.1 《科学数据》

《科学数据》(Scientific Data, <https://www.nature.com/sdata/>)是一本同行评议的开放获取期刊,由英国自然出版集团出版,用于描述数据集和研究,促进研究数据的共享和再利用。《科学数据》的主要内容类型是数据描述,它将传统的叙述性内容与结构化的数据描述相结合,为数据共享提供了一个框架。研究人员将海洋光学和生物地球化学等数据归纳整理后形成新的汇编数据集,在发表文章的同时将数据集共享在相关数据库中,其在海洋水色遥感研究中的部分应用案例如表1所示。

2.2 《地球系统科学数据》

《地球系统科学数据》(Earth System Science Data, <https://www.earth-system-science-data.net/>)是由哥白尼出版社出版的国际性跨学科开放获取期刊,旨在发表有关原始研究数据(集)的文章,促进对地球系统科学有益的高质量数据的再利用。与《科学数据》期刊相似,《地球系统科学数据》主要发表的文章类型是数据(集)描述,详细记录数据的采集、处理和汇编过程,并将研究数据(集)发布在相关数据库中。表2列举了该期刊发表的研究数据及在海洋水色遥感中的部分应用。其中,MAREDAT数据集是一个全球范围的HPLC色素浓度数据集,共收集35 634条来自136个野外调查项目的数据,在海洋生态学和水质遥感领域应用广泛,促进我们对海洋生物多样性的认识^[25],在PANEAGA数据平台中开放下载^[26]。

2.3 地球与环境科学数据出版社

地球与环境科学数据出版社(PANGAEA, <https://www.pangaea.de/>)信息系统是一个地球科学领域的开放存取图书馆,旨在归档、出版和传播地球系统的研究数据,其内容具有长期可用性(超过10年)。PANGAEA向任何项目、机构或科学家个人开放,供其使用或归档和发布数据,主要包含地理参照观测和实验数据。该数据库中存储了《科学数据》和《地球系统科学数据》期刊中发表的多个海洋生物地球化学和海洋光学原位测量数据集,表3列举了PANGAEA中的部分数据集及其在海洋水色遥感研究中的应用。

2.4 开放数据发布平台

开放数据发布平台(Dryad)是一个受美国国家科学基金会资助的开放式数据发布平台(<https://datadryad.org/>),致力于所有研究数据的开放性和常规再利用,以推动研究的发现并转化为社会利益。Dryad数据库中存储了海洋生物地球化学和海洋光学原位测量数据集(相比PANGAEA较少),其部分数据集与应用案例如表4所示。Dryad数据库中存储的北极生物

表1 《科学数据》发表数据及其部分应用案例

Table 1 Partial application cases of the data published in the *Scientific Data*

数据集描述	数据集	参数名称	应用案例
GLORIA-A globally representative hyperspectral <i>in situ</i> dataset for optical sensing of water quality ^[16]	文献[17]	a_{CDOM} , Chl a , R_{rs} , SDD, TSM	文献[12, 18]
A database of chlorophyll a in Australian waters ^[19]	DOI:10.4225/69/586f220c3f708	Chl a	文献[20]
Concentrations and ratios of particulate organic carbon, nitrogen, and phosphorus in the global ocean ^[21]	DOI: 10.5061/dryad.d702p https://www.bco-dmo.org/dataset/526747	POC, PON, POP	文献[10, 22]
Nutrient, pigment, suspended matter and turbidity measurements in the Belgian part of the North Sea ^[23]	http://mda.vliz.be/	HPLC, TSM, 营养盐, 浑浊度	文献[24]

表 2 《地球系统科学数据》期刊发表数据的部分应用案例
Table 2 Partial application cases of the data published in the *Earth System Science Data*

数据集描述	数据集	参数名称	应用案例
The MAREDAT global database of high performance liquid chromatography marine pigment measurements ^[25]	文献[26]	HPLC	文献[28–31]
Coastcolour round robin data sets: a database to evaluate the performance of algorithms for the retrieval of water quality parameters in coastal waters ^[32]	文献[33]	Chl <i>a</i> , TSM, CDOM	文献[12, 34]
Photosynthesis–irradiance parameters of marine phytoplankton: synthesis of a global data set ^[35]	文献[36]	Chl <i>a</i> , 光合–辐照度参数	文献[37]
A global compilation of <i>in situ</i> aquatic high spectral resolution inherent and apparent optical property data for remote sensing applications ^[38]	文献[39]	$a_{\text{tot}}, a_{\text{CDOM}}, a_{\text{nap}}, a_{\text{p}}, a_{\text{ph}}, b_{\text{tot}}, b_{\text{bp}}, c, c_{\text{p}}, R, R_{\text{rs}}$	文献[24, 40]
Collection and analysis of a global marine phytoplankton primary-production dataset ^[41]	文献[42]	Chl <i>a</i> , PP	文献[43]
The HYPERMAQ dataset: bio-optical properties of moderately to extremely turbid waters ^[44]	文献[45]	Chl <i>a</i> , HPLC, TSM, $\rho_w, a_{\text{tot}}, c$	文献[46]
A compilation of global bio-optical <i>in situ</i> data for ocean colour satellite applications–version three ^[47]	文献[48]	Chl <i>a</i> , $a_{\text{ph}}, a_{\text{dg}}, b_{\text{bp}}, K_d, R_{\text{rs}}, \text{TSM}$	文献[12, 49]

表 3 PANGAEA 中部分数据应用案例
Table 3 Partial application cases of the data published in the PANGAEA

参数类别	参数名称	数据集	应用案例	
生物地球化学参数	HPLC	The MAREDAT global database of high performance liquid chromatography marine pigment measurements ^[26] ;	文献 [11, 29, 40, 54]	
		Global surface ocean HPLC phytoplankton pigments and hyperspectral remote sensing reflectance ^[50] ;		
		Global retrieval of diatom abundance based on phytoplankton pigments and satellite data ^[51] ;		
		Phytoplankton pigment concentrations in the South Atlantic Ocean ^[52] ;		
		Phytoplankton pigment concentration and phytoplankton groups measured on water samples and from radiometric measurements obtained during POLARSTERN cruise PS113 in the Atlantic Ocean ^[53]		
		Suspended particulate matter concentrations and organic matter fractions from water samples ^[55]		文献[56]
		DOC		Hydrographical, biogeochemical and biooptical water properties in the Mackenzie Delta Region during 4 expeditions from spring to fall in 2019 ^[57]
表观光学量 (AOPs)	Chl <i>a</i>	GLORIA-A globally representative hyperspectral <i>in situ</i> dataset for optical sensing of water quality ^[17] ;	文献[46]	
		The HYPERMAQ dataset ^[45] ;		
		A compilation of global bio-optical <i>in situ</i> data for ocean-colour satellite applications–version 3 ^[48]		
表观光学量 (AOPs)	POC	Spring phytoplankton communities of the Labrador Sea (2005–2014): pigment signatures, photophysiology and elemental ratios ^[60]	—	
		PP	Global marine phytoplankton production dataset ^[42]	文献[61]
		PFT-Chl <i>a</i>	Global data sets of Chlorophyll <i>a</i> concentration for diatoms, coccolithophores (haptophytes) and cyanobacteria obtained from <i>in situ</i> observations and satellite retrievals ^[62]	文献[63]
表观光学量 (AOPs)	R _{rs}	GLORIA-A globally representative hyperspectral <i>in situ</i> dataset for optical sensing of water quality ^[17] ;	文献 [12, 18, 32]	
		CoastColour Round Robin datasets, Version 1 ^[33] ;		
		<i>In situ</i> high spectral resolution inherent and apparent optical property data from diverse aquatic environments ^[39] ;		
		A compilation of global bio-optical <i>in situ</i> data for ocean-colour satellite applications–version 3 ^[48] ;		
固有光学量 (IOPs)	a _p	Global surface ocean HPLC phytoplankton pigments and hyperspectral remote sensing reflectance ^[50] ;	文献[67]	
		The SeaSWIR dataset ^[64] ;		
		Remote sensing reflectance during POLARSTERN cruise ANT-XXV/1 ^[65] ;		
		Properties of seawater and particulate matter from a WETLabs AC-S spectrophotometer and a WETLabs chlorophyll fluorometer mounted on the continuous surface water sampling system during the Tara Oceans expedition 2009–2013 ^[66]		
固有光学量 (IOPs)	a _{ph}	GLORIA-A globally representative hyperspectral <i>in situ</i> dataset for optical sensing of water quality ^[17]	—	
		b _{bp}	A compilation of global bio-optical <i>in situ</i> data for ocean-colour satellite applications–version 3 ^[48]	—

光学数据库汇集了来自北冰洋 34 次考察 (1998–2018 年) 的生物和光学数据, 同时包含多光谱 IOPs、AOPs、Chl *a* 浓度和环境数据, 促进了北冰洋初级生

产力研究^[27]。

2.5 数字图书馆

数字图书馆 (Zenodo) 是一个开放的传播研究数

据的数据库(<https://zenodo.org/>),由欧洲核子研究组织开发,用于保存和提供研究、教育和信息内容,对所有人开放。Zenodo 数据库接受来自所有研究领域的的数据,且对数据格式无限制。大量海洋科学研究者将数据上传至 Zenodo 数据库中,使用者可在许可范围内重复使用。Zenodo 数据库中存储的数据集在水色遥感研究中应用较少,部分数据集与应用该数据集进行的相关研究如表 5 所示。

3 海洋科学数据中心

除了开放存取的数据平台,政府间海洋数据存储平台、国家级海洋数据中心以及国内外涉海机构数据中心长期维护着不同用途的数据库。这些数据平台保存并分发来自船测、锚泊平台或 Argo 浮标阵列的海洋数据,涉及海洋物理、化学、生物等学科。本节列举海洋综合数据平台及其数据在水色遥感研究中的应用。

3.1 国际海洋数据和信息交换中心

国际海洋数据和信息交换中心(International Oceanographic Data and Information Exchange, IODE, <https://www.ioode.org/>)由联合国教科文组织“政府间海洋学

委员会”于 1961 年成立。其宗旨是通过促进 100 多个成员国之间的海洋学数据和信息交流,以及通过满足用户对数据和信息产品的需求,加强海洋研究、开发和发展。IODE 数据中心收集、控制来自所属数据库的数百万海洋观测数据的质量和存档,并向用户提供这些数据目录。IODE 数据中心主要包含 1884 年至今的物理海洋学、化学、生物学等数据。海洋数据信息系统(<https://catalogue.odis.org/>)提供了所有在线数据的资源目录,提供有关数据的信息,用户可通过关键词检索,获取在线数据或信息来源。

3.2 世界海洋数据库

世界海洋数据库(World Ocean Database, WOD, <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-ocean-database/>)由美国国家海洋和大气管理局(NOAA)国家环境信息中心发起,是世界上最大的格式统一、质量受控、公开可用的海洋剖面数据集,属于 IODE 项目成员。它是海洋学、气候学和环境研究的有力工具,也是 20 多年来各机构、部门、研究人员和数据恢复计划共同努力的最终成果。WOD 数据的时间跨度从 1772 年至今,是进行长期和历史海洋气候分析的宝贵资源。WOD 存储了大量来自船测和浮标等手段采

表 4 Dryad 中部分数据应用案例

Table 4 Partial application cases of the data published in the Dryad

数据集	参数名称	应用案例
Bio-optical Database of the Arctic Ocean [DOI: 10.5061/dryad.cnp5hq17]	R_{rs} , Kd, a_{tot} , a_{ph} , b_{btot} , b_{bp} , POC, Chl a	文献[27]
Data from: Concentrations and ratios of particulate organic carbon, nitrogen, and phosphorus in the global ocean [DOI: 10.5061/dryad.d702p]	POC, PON, POP	文献[21]
A synthetic database of hyperspectral ocean optical properties [DOI: 10.6076/D1630T]	R_{rs}	文献[68]
Data from: Effects of sea ice cover on satellite-detected primary production in the Arctic Ocean [DOI: 10.5061/dryad.34f4q]	PP	文献[69]
Tracking freshwater browning and coastal water darkening from boreal forests to the Arctic Ocean [DOI: 10.5061/dryad.xwdbv1gq]	Chl a , SDD	文献[70]

表 5 Zenodo 中部分数据应用案例

Table 5 Partial application cases of the data published in the Zenodo

数据集	参数名称	应用案例
Baltic Sea shipborne Hyperspectral Reflectance data from 2016. [DOI: 10.5281/zenodo.5572537]	R_{rs}	文献 [12, 71]
Data set for the paper: Intercomparison of ocean colour algorithms for picophytoplankton carbon in the ocean. [DOI: 10.5281/zenodo.1067229]	Pico- C_{phy}	文献[31]
Particulate organic carbon and particulate organic nitrogen concentrations and stable isotope composition of seawater sampled during the Antarctic Circumnavigation Expedition (ACE) during the Austral Summer of 2016/2017. [DOI: 10.5281/zenodo.3859515]	POC, PON	文献[72]
Phytoplankton pigment concentrations of seawater sampled during the Antarctic Circumnavigation Expedition (ACE) during the Austral Summer of 2016/2017. [DOI: 10.5281/zenodo.3816726]	HPLC	文献[73]
Particulate light absorption coefficients (350–750 nm) measured using the filter pad method during the Antarctic Circumnavigation Expedition (ACE) during the austral summer of 2016/2017. [DOI: 10.5281/zenodo.3993096]	a_p	文献[73]
Sky irradiance over photosynthetically active radiation wavelengths (400–700 nm) recorded shipboard during the Antarctic Circumnavigation Expedition (ACE) during the Austral Summer of 2016/2017. [DOI: 10.5281/zenodo.3859836]	PAR	文献[73]

集的海洋物理、化学和生物数据,所有数据均转换为标准格式存储,供用户开放下载。

3.3 海洋数据网

海洋数据网(SeaDataNet, <https://www.seadatanet.org/>),是欧盟第六框架计划的一个泛欧海洋数据管理基础设施,用于管理来自大量国家的专业海洋数据中心的原位测量数据集。多个海洋数据中心的数据集整合使得SeaDataNet公共数据索引系统提供大量的大气科学、海洋物理、生物、化学等学科数据供用户下载,时间跨度从1805年至今,可用于水色遥感反演算法的开发及验证^[74]。

3.4 国际海洋考察理事会

国际海洋考察理事会(International Council for the Exploration of the Sea, ICES, <https://www.ices.dk/>)于1902年在丹麦成立,是一个负责协调和促进海洋科学考察的政府间海洋科学组织,致力于满足社会对有关海洋状况和可持续利用的公正证据的需求。

ICES提供1877年至今,包含海洋生物、地理、水文和水质化学参数的数据集,存储的数据采样区域主要分布在大西洋、北太平洋、北极、地中海、黑海等海域,用户可根据需求开放下载使用。对于海洋水色遥感研究,ICES提供透明度(SDD)、浮游植物类型和Chl *a*浓度等数据^[47]。Ciavatta等^[75]利用ICES数据库中的温度、盐度、营养盐、Chl *a*浓度等参数将海洋水色反演的浮游植物功能类型同化为海洋生态系统模型,使模型更好地模拟浮游生物群落结构。

3.5 SeaWiFS生物光学档案和存储系统

美国国家航空航天局(NASA)海洋生物处理小组(OBPG)维护着一个海洋和大气相关的原位数据存储库——SeaWiFS生物光学档案和存储系统(SeaWiFS Bio-optical Archive and Storage System, SeaBASS, <https://seabass.gsfc.nasa.gov/>),以支持卫星遥感产品验证、算法开发和许多气候相关调查。这一系统最初为SeaWiFS项目开发,用于开展校准和验证活动,以对辐射测量和浮游植物色素数据进行编目,Werdell等^[76]对此进行了详细说明。存档数据时间跨度从1933年至今,包括AOPs、IOPs、生物地球化学参数,以及其他相关海洋和大气数据,如水温、盐度、受激荧光和AOD等。用户可根据需求直接检索下载数据,或根据原位测量数据与卫星数据之间特定的时空匹配规则,通过“验证检索”,直接检索下载与卫星匹配后的数据集。

由于SeaBASS平台源起于海洋水色遥感,国内外学者基于SeaBASS中存储的数据集进行卫星数据真

实性验证和开发水色算法。其中,海洋光学数据被用于发展和评估大气校正^[77-78]、K_d遥感反演研究^[79]、水体分类方法研究^[12, 80];生物地球化学参数被用于研究Chl *a*浓度遥感反演^[81-83]、POC浓度遥感反演^[10, 15, 84-88]、游植物类群遥感反演^[11]和TSM浓度遥感反演^[14]。

除了直接使用SeaBASS中的数据,Lehmann等^[16]对SeaBASS中的海洋光学数据加以分析处理后,生成了新的高光谱原位数据集(GLORIA),并在PANGAEA数据库中开放下载^[17];OBPG将SeaBASS中存储的 L_w 、IOPs和Chl *a*浓度等同步观测数据汇编了一个全球范围、高质量的生物光学数据集(NASA bio-Optical Marine Algorithm Data set, NOMAD),现版本NOMAD数据集(Version 2.0)汇编自1991-2007年的原位测量数据,并在SeaBASS中开放下载。

总体而言,SeaBASS是海洋水色遥感研究获取原位测量数据最主要的平台,其中的原位测量数据支撑了大量相关研究成果,推动学科快速发展迭代。

3.6 生物和化学海洋学数据管理办公室

生物和化学海洋学数据管理办公室(Biological and Chemical Oceanography Data Management Office, BCO-DMO, <http://bco-dmo.org/>)目的是在线提供美国国家科学基金会资助项目的数据和相关信息。BCO-DMO数据系统存储了不同类型的多个数据集,时间跨度从1949年至今,包括生物(Chl *a*浓度、HPLC色素浓度等)、化学(营养盐、溶解氧、二氧化碳分压、酸碱度(pH)、溶解有机碳(DOC)、溶解无机碳(DIC)等)和物理(温度、盐度、透明度等)在内的1000多项测量参数,分布于全球海洋。

BCO-DMO数据系统提供的数据在海洋水色遥感相关研究中被大量使用。Cetinić等^[89-90]使用2008年北大西洋藻华实验项目中的海洋光学与生物地球化学数据分别研究揭示了IOPs与POC和浮游植物群落之间的关系。Evers-King等^[22, 87, 91]使用POC原位数据评估了多个POC浓度反演算法的可靠性;Bonelli等^[13, 92]集合多个航次数据构建了CDOM和DOC浓度的反演算法;Arteaga等^[93]使用PP数据库结合BGC-Argo剖面数据,估算混合层中海洋剖面PP;Park等^[94]使用Chl *a*浓度数据重构了南极罗斯海区域的Chl *a*产品缺失值。

3.7 英国海洋数据中心

英国海洋数据中心(British Oceanographic Data Centre, BODC, <https://www.bodc.ac.uk/>)是一个负责管理和发布海洋环境相关数据的英国国家机构,属于IODE项目成员,保存并发布大量可供公众使用的数据。

BODC 维护和发展了国家海洋学数据库,数据源主要来自英国研究机构的海洋数据集的集合。该数据库包含大气、海洋化学、海洋物理和海洋生物等数十个学科类型,约 15 万条可用数据,时间跨度从 1842 年至今,来自原始的船测和发表的再整理数据集。

BODC 数据库中存储着大量收集自大西洋的数据集,其中大西洋经向横断面 (Atlantic Meridional Transect, AMT) 航次自 1995 年启动以来,每年在英国和南大西洋之间的航行中采集海洋物理、生物和化学数据,航程跨越多个生态系统(图 1)。AMT 航次数据在海洋水色遥感领域被广泛使用。国内外学者使用 AMT 航次中测量的 POC 和海洋光学数据,对 POC 的光学遥感反演参数及反演算法进行了大量研究^[10, 22, 89, 91, 95-97]。除此之外,AMT 航次同步采集的光学、生物化学以及颗粒物等数据被用于开发和改进生物地球化学参数的反演模型^[31, 98-99]、研究不同粒径颗粒物的光学特性^[100-101]以及评估水色产品的精度^[102-103]。

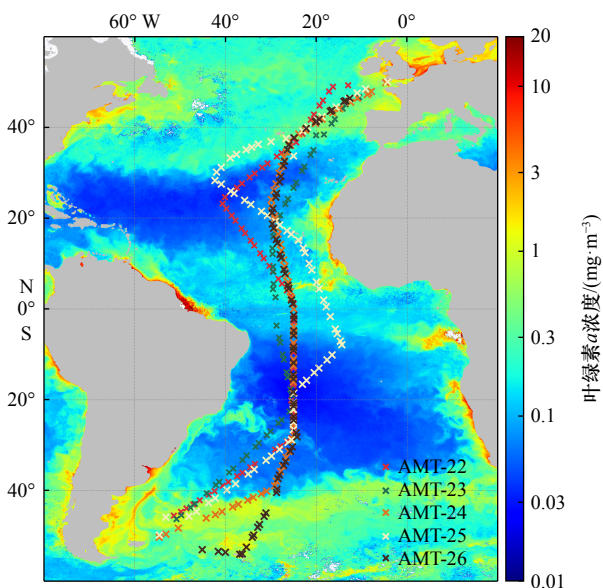


图 1 AMT22-26 航次 CTD 采样点(背景为 2023 年 3 月 OC-CCI 月平均 Chl *a* 浓度产品)

Fig. 1 AMT22-26 cruises CTD sampling points (the background is OC-CCI monthly average Chl *a* concentration product in March 2023)

3.8 中国国家海洋科学数据中心

中国国家海洋科学数据中心 (<https://mds.nmdis.org.cn/>) 由国家海洋信息中心牵头,联合多家单位共同建设,面向国际国内用户提供数据共享服务,于 2023 年接入 IODE。该数据中心存储我国所有海洋重大专项、极地考察与测绘、大洋科学考察、业务化观测和国际交换资料,开展国内外全学科全要素的海洋

数据整合集成,空间范围覆盖全球海域,实测数据时间跨度从 1846 年至今,实测数据类型包括海洋水文、生物、化学、地球物理等。海洋生物地球化学数据包含美国、日本东部、爱尔兰、澳大利亚等近岸和开阔大洋采集的 Chl *a* 浓度、POC 浓度、浮游植物生物量和初级生产力等大量数据,可被用于水色遥感相关研究,用户可以根据需求免费下载使用。

3.9 澳大利亚海洋数据网

自 2006 年以来,澳大利亚的综合海洋观测系统一直在澳大利亚沿海和公海运行着各种各样的观测设备。澳大利亚海洋数据网 (Australian Ocean Data Network, AODN, <http://portal.aodn.org.au/>) 提供所有现有的澳大利亚海洋和气候科学数据,用户能够公开自由地获取所有数据,属于 IODE 项目成员。AODN 网站中提供海洋生物、海洋化学以及海洋物理等数据供用户下载,时间跨度从 1844 年至今,主要采集于澳大利亚沿岸区域,少量分布于开阔大洋中。

AODN 网站中提供自 1965 年以来的 Chl *a* 浓度数据,由 Davies 等^[19] 整理汇编成澳大利亚水体 Chl *a* 浓度数据库。除此之外,Chl *a* 浓度和 HPLC 色素浓度还作为全球生物光学原位测量数据集^[47-48] 的一部分,分别验证欧空局水色气候变化倡议 (Ocean Colour Climate Change Initiative, OC-CCI) 的水色产品以及开发浮游植物群落和粒级结构反演模型^[11, 104]。Schroeder 等^[105] 使用 R_{rs} 数据开发了适用于 Sentinel-3 OLCI (Ocean and Land Color Instrument) 传感器的近岸水体大气校正算法。AODN 中还储存了一个生物光学数据库,包含同步采集的 IOPs、AOPs 和生物地球化学参数等,有助于推动海洋光学与生物地球化学参数之间的进一步研究。

3.10 日本海洋数据中心

日本海洋数据中心 (Japan Oceanographic Data Center, JODC, <https://www.jodc.go.jp/>) 是日本的综合海洋数据库,收集和管理日本各组织 (包括政府机构、大学和其他海洋研究机构) 观测的海洋数据,属于 IODE 项目成员。JODC 确保数据质量,并为用户提供日本近海海洋物理、化学、生物等数据,时间跨度从 1772 年至今。Siswanto 等^[106] 利用 JODC 中提供的 Chl *a* 数据,评估了适用于东中国海东部的初级生产力模型。

3.11 加利福尼亚海洋渔业合作调查

加利福尼亚海洋渔业合作调查 (California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations, CalCOFI, <https://calcofi.org/>) 是加利福尼亚海岸外的一个长期生态系

统研究项目,全面研究海洋的物理、化学和生物学,为在气候多变性和变化背景下海洋生态系统的可持续管理提供信息。CalCOFI自1949年开始每季度在加利福尼亚南部和中部海域进行船测(图2),收集一系列环境和海洋生态系统数据,可通过CalCOFI官网或SeaBASS获取。

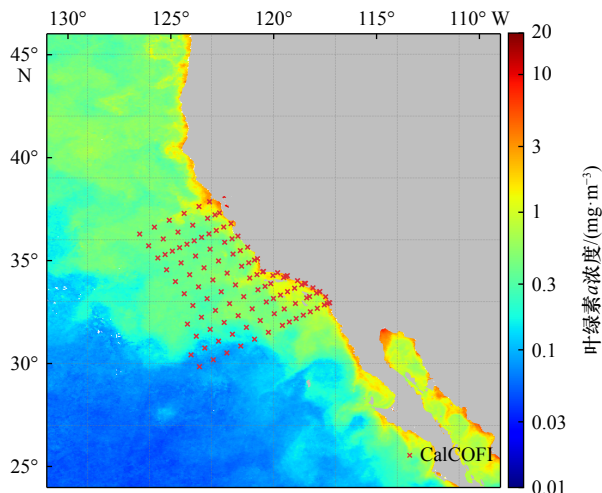


图2 CalCOFI 船测采样网格(背景为2023年3月OC-CCI月平均Chl *a*浓度产品)

Fig. 2 CalCOFI sampling grid (the background is OC-CCI monthly average Chl *a* concentration product in March 2023)

CalCOFI提供的数据被用于区域性遥感Chl *a*和CDOM产品的精度评估^[107-108]、作为全球原位数据集的一部分评估POC反演算法的性能^[95]以及开发紫外波长下的K_d反演算法^[109]。

3.12 近岸和海洋观察

近岸和海洋观察(CoastWatch·OceanWatch, <https://coastwatch.noaa.gov/insitu/insituSearch.html>)由美国NOAA发起,旨在帮助人们获取和使用全球和区域卫星数据,用于海洋和沿海应用。CoastWatch·OceanWatch中包含一个原位海洋水色数据库,该数据库中共享的数据免费提供给公众和科学界。数据库中提供的原位数据来自2014-2021年的多个航次,主要分布于美国东部和西部沿海区域,包含海洋光学和Chl *a*浓度等数据,可以为二类水体的水色遥感研究提供数据支持。

3.13 中国南海海洋数据中心

中国南海海洋数据中心(<http://data.scsio.ac.cn/>)成立于2010年,集成“空天海地观测网”和“预测预报感知网”两大体系,贯彻“共建共享”数据工作机制,为全国相关学科研究人员与等提供全面、科学、权威的数据和资料。南海海洋数据中心存储了1959年至今的南海科学考察原位测量数据集,共计35 000多个站

位,主要包含水文气象、生物生态、地质地球物理和海洋渔业等相关数据。用户可根据需求在平台中申请下载使用数据。其中同步测量的IOPs和生物化学参数被用于研究水色遥感中生物光学模型的优化^[110]。

3.14 香港环境保护署环境保护互动中心

香港环境保护署自1986年起对香港海域实施海水水质监测。监测计划包括:每月在76个监测站进行水质监测;每两个月在18个海上避风地点进行水质监测;每半年在60个监测站对海底沉积物进行监测(图3)。环境保护互动中心(<https://cd.epic.epd.gov.hk/EPICDI/>)是香港环境保护署公共服务网上系统,向用户提供海水水质监测数据,包含海洋化学和生物等数据。

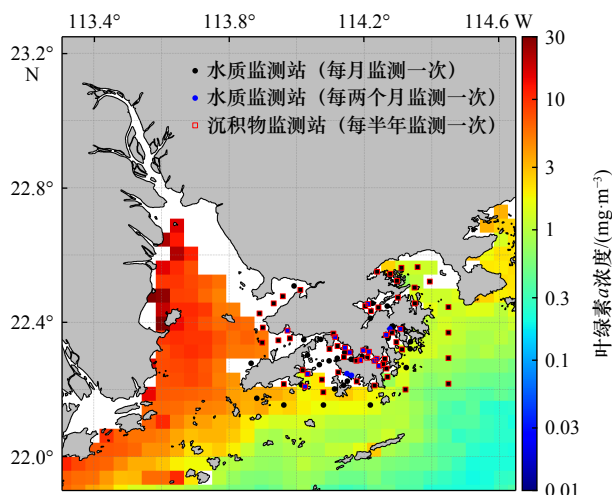


图3 香港环境保护互动中心船测采样点(背景为2023年3月OC-CCI月平均Chl *a*浓度产品)

Fig. 3 Hong Kong Environmental Protection Interactive Centre sampling points (the background is OC-CCI monthly average Chl *a* concentration product in March 2023)

环境保护互动中心发布的水质监测数据被用于部分海洋水色遥感研究中。Nazeer等^[111]使用TSS和Chl *a*浓度数据利用水体光学分类策略改善了光学环境复杂水域的水质参数遥感反演结果,进一步提出新的Chl *a*浓度反演算法^[112]; Ma等^[113]基于机器学习方法构建了新的水质参数反演算法并分析了珠江河口长时间序列的水质变化。Liu等^[114]使用该数据库中深圳湾区域长期的化学参数监测数据构建了正磷酸盐磷遥感反演模型。

3.15 持续浮游生物记录调查

持续浮游生物记录(Continuous Plankton Recorder, CPR, <https://www.cprsurvey.org/>)由英国海洋生物协会负责运营,于1931年开始生物调查,进行了近一个世纪的持续浮游生物观测,为科学界和政策制定者提供

了一个全海盆范围内海洋浮游生物生态健康状况的长期衡量标准^[115]。

CPR 调查提供北大西洋海域月平均浮游植物和浮游动物物种丰度数据。Raitos^[116-117]发现 CPR 调查得到的浮游植物颜色指数与 SeaWiFS 获得的 Chl *a* 产品有较好的一致性,可以利用 CPR 调查数据向前推演 Chl *a* 浓度的长时间序列变化。水色传感器反演得到的 PAR 信息结合海表面温度等数据,可以定量反演藻类分布情况,与 CPR 调查数据相关性较高^[118-119]。遥感技术的高时空覆盖能力结合 CPR 调查的物种信息,将会促进环境对浮游植物的影响的认识^[120]。

3.16 帕尔默长期生态研究

帕尔默长期生态研究 (Palmer Long-Term Ecological Research, Palmer LTER, <https://pallter.marine.rutgers.edu/>) 计划由美国国家科学基金会资助,其研究区域为南极半岛西部,旨在研究极地海洋生态系统。Palmer 站位于南极洲半岛中部的安弗斯岛 (64°42'S, 64°00'W), Palmer LTER 计划在南极半岛西海岸设立了一个采样网格 (图 4), 每年夏季沿南极半岛西部船测,并在 Palmer 站执行每天至每两周一次的小船采样,促进多学科数据集的建模,常规采集数据包含海冰、生物光学特性、初级生产力、浮游植物和浮游细菌的丰度及组成等参数^[121],时间跨度从 1989 年至今。用户可通过 Palmer LTER 网站或 SeaBASS 下载数据。

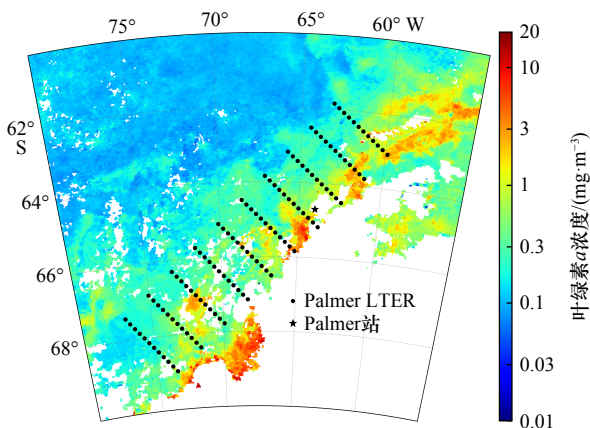


图 4 Palmer LTER 采样网格 (背景为 2023 年 3 月 OC-CCI 月平均 Chl *a* 浓度产品)

Fig. 4 Palmer LTER sampling grid (the background is OC-CCI monthly average Chl *a* concentration product in March 2023)

Palmer LTER 计划提供的生物光学等数据被用于构建南极半岛 POC 浓度、浮游植物粒级结构、真光层深度等参数的区域遥感反演算法^[87, 122-123]; 验证

Chl *a* 遥感产品在南极半岛的鲁棒性^[124-125]; 作为全球原位数据集的一部分进行浮游植物类群和粒级结构相关研究^[104, 126]。

4 海洋长时间序列观测站网数据

对海洋中气候相关的变量进行长时间序列观测有助于深入了解全球气候变化和海洋对地球大气变化的反应。为此,多个机构在全球范围内发起海洋长时间序列的海洋学变量观测计划,通过锚泊平台、剖面阵列浮标和定期船测等手段,收集了长时间列表层和剖面海洋生物地球化学数据。为了便于水色传感器替代定标,通过在锚泊平台或剖面阵列浮标上额外安装光学传感器,可获取长时间序列的 AOD、 E_d 和 R_{rs}/L_{wn} 等数据。这些海洋长时间序列观测站网数据被广泛应用于水色传感器的替代定标、算法开发和真实性检验,进一步将水色产品与剖面信息进行融合分析,提供不同尺度的观测结果,弥合测量技术上的差异,实现对海洋的三维探测。广泛用于海洋水色遥感研究的观测站网包括海洋光学浮标 (Marine Optical BuoY, MOBY)、长时间序列光学浮标 (Bouée pour l'acquisition de Séries Optiques à Long Terme, BOUSSOLE); 气溶胶自动网络 (Aerosol Robotic Network, AERONET); 百慕大大西洋时间序列研究 (Bermuda Atlantic Time-series Study, BATS)、夏威夷海洋时间序列 (Hawaii Ocean Time-series, HOT); 欧洲加那利群岛海洋时间序列站 (European Station for Time-Series in the Ocean of the Canary Islands, ESTOC); 黄东海光学遥感海上检验场 (数据目前仅在有限范围内共享),其空间分布如图 5 所示,以及 2024 年 6 月海洋生物地球化学剖面浮标 (Biogeochemical Argo, BGC-Argo) 空间分布如图 6 所示。

4.1 海洋光学浮标

海洋光学浮标 (MOBY) (<https://mlml.sjsu.edu/moby/>) 是 NOAA 资助的一个锚泊光学浮标,停泊在夏威夷拉奈岛附近 (20°49.0'N, 157°11.5'W), 目的是对海洋水色传感器 (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) 进行替代定标^[127]。该系统设计用于测量入射到海洋表层 (1 m、5 m 和 9 m) 和散射出海洋的太阳光,向用户免费提供 1997 年 7 月至今的可见光波长范围的 L_{wn} 和海表面辐照度产品。

MOBY 数据被用于我国 HY-1C 卫星上搭载的水色水温扫描仪 (Chinese Ocean Color and Temperature Scanner, COCTS) 的替代定标^[128]、VIIRS (Visible infrared Imaging Radiometer) 和 MODIS 传感器水色遥感

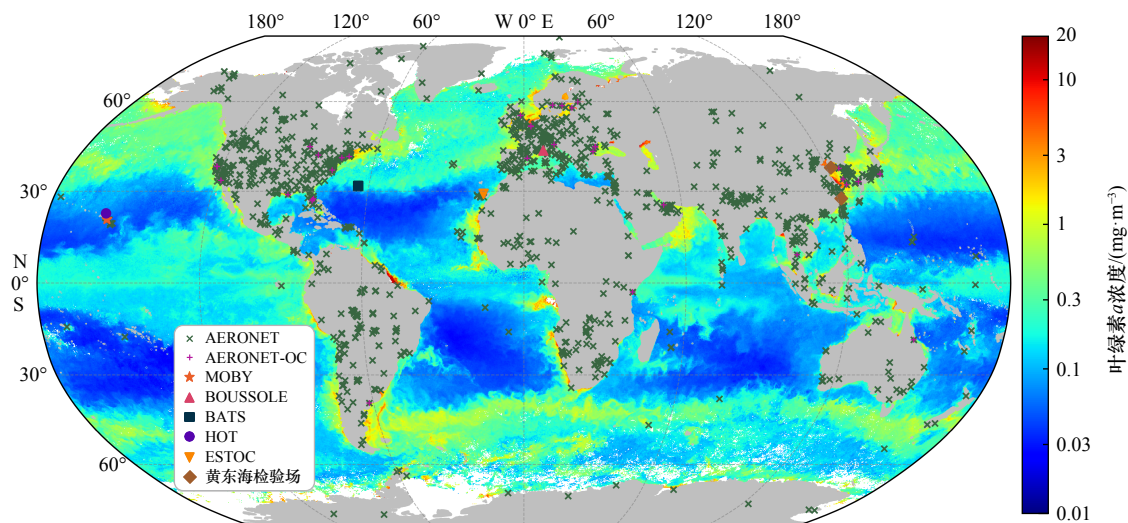


图 5 海洋长时间序列观测站网空间分布图(背景为 2023 年 3 月 OC-CCI 月平均 Chl a 浓度产品)

Fig. 5 Spatial distribution of marine science long-time series observation station networks (the background is OC-CCI monthly average Chl a concentration product in March 2023)

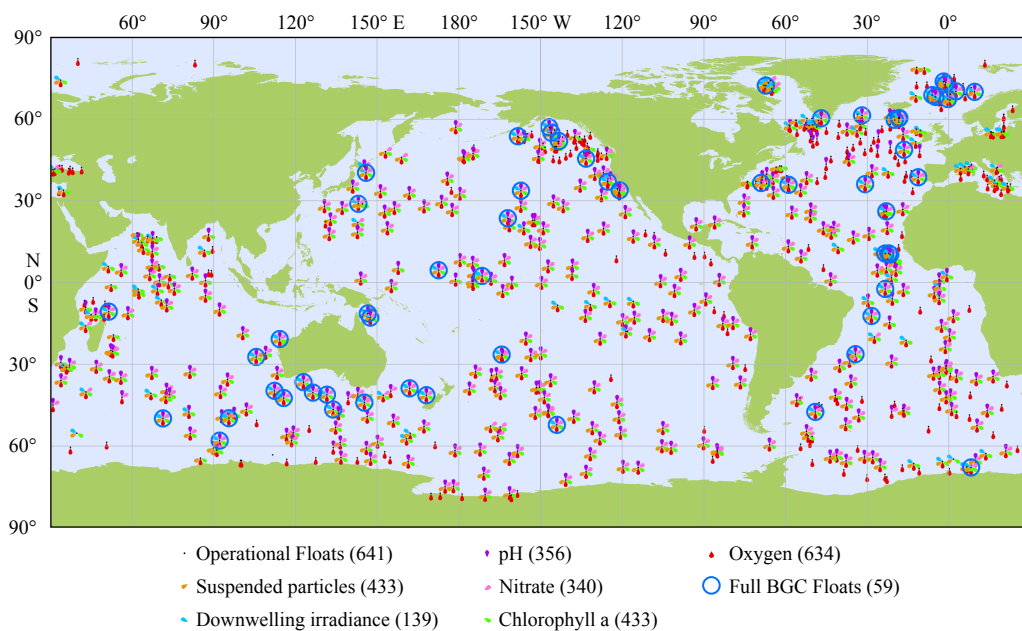


图 6 全球 BGC-Argo 空间分布(2024 年 6 月, 引自 <https://biogeochemical-argo.org/float-map-network-status-maps.php>)

Fig. 6 Global BGC-Argo spatial distribution (June 2024, from <https://biogeochemical-argo.org/float-map-network-status-maps.php>)

基本参数 L_{wn} 和 R_{rs} 产品的精度评估^[129-130]。Wang 等^[131]证明了基于波段差异的 Chl a 浓度反演算法可以降低仪器校准和不完善的大气校正带来的数据噪声。

由于 MOBY 在空间分布上的单一性, 不少学者将 MOBY 与 AERONET-Ocean Color (AERONET-OC) 等数据结合, 分析卫星与原位数据之间不同时空匹配方案对研究结果的影响^[132]、研究传感器接收到的总信号中各成分的信号对大气校正不确定性的贡献^[133-134]以及检验 VIIRS 传感器水色产品的真实性^[135]。

4.2 长时间序列光学浮标

长时间序列光学浮标 (BOUSSOLE) 项目 ([http://](http://www.obs-vlfr.fr/Boussole/)

www.obs-vlfr.fr/Boussole/) 致力于建立海洋光学特性的时间序列数据集, 以支持生物光学研究、校准海洋水色卫星产品, 并验证这些观测产品的真实性。其数据由一个部署在地中海西北部的永久性锚泊海洋光学浮标 (43°22'N, 7°54'E) 和每月的船测构成。锚泊浮标向用户提供 2003 年 9 月以来基于浮标测量的不同深度 (4 m 和 9 m) 的辐照度、叶绿素荧光和部分 IOPs 数据 (c_{tot} 和 b_{blot}); 船测数据包含表层至 200 m 的 11 个间隔深度的直接测量的海洋光学数据以及实验室测量的 HPLC 浮游植物色素和 a_{ph} 等数据。

BOUSSOLE 提供的辐射度学数据被用于 SeaWi-

FS、MODIS-Aqua 和 MERIS 传感器获取的离水反射率(ρ_w)产品的真实性检验^[136]。BOUSSOLE 还提供大量区域性 IOPs 和生物光学数据,促进了地中海 CDOM 和浮游植物等光学特性的研究。Organeli 等^[137]分析了地中海 a_{CDOM} 的季节性动态,并且使用吸收光谱测量值构建了基于多元偏最小二乘回归技术的浮游植物粒径结构反演模型^[138]。Kheireddine 等^[139]发现 c_p 和 b_{bp} 的昼夜变化与浮游植物特性的变化有关。结合 HPLC 浮游植物色素数据, Kramer 等^[126]表明 HPLC 色素可用于全球范围内不超过 4 个浮游植物种群的卫星遥感定量; Navarro 等^[140]开发了适用于地中海区域的浮游植物功能类型识别模型,后续对该模型加以改进,并成功应用于其他区域^[141]。

4.3 气溶胶自动网络

气溶胶自动网络(AERONET)计划(<https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>)是由 NASA 和 PHOTONS 建立的地面遥感气溶胶网络联盟,并通过与不同国家的机构或个人合作扩展观测网络。AERONET 提供 1992 年至今的全球范围多光谱气溶胶光学厚度(AOD)、气溶胶反演产品(粒径分布、复折射指数等)和不同气溶胶状态下的可降水量观测数据。

AERONET-OC 是 AERONET 计划的一个组成部分,利用安装在灯塔、海洋学塔和石油塔等近海平台上的太阳光度计,提供 2002 年至今的 400~1 020 nm 波长区间内的 9 个波段处的 L_{wn} 等数据^[142-143]。AERONET-OC 提供 Level-1.0、Level-1.5、Level-2.0 3 个等级的 L_{wn} 产品,Level-2.0 级别产品质量最高,用户应根据研究兴趣合理选择产品级别。

海洋上空气溶胶光学特性对于大气校正过程至关重要,由于 AERONET 在全球范围内布设了大量站点,因此 AERONET 提供的 AOD 数据被广泛应用于气溶胶模型的建立与评估^[144-149]和 AOD 反演算法的验证^[150-152]。AERONET-OC 站点提供额外的多光谱 L_{wn} 数据,通过在不同站点应用相同的测量系统和规范进行标准化测量,其数据被广泛用于开发和验证大气校正算法^[49, 71, 150, 153-160]。除此之外,为了获取空间分布更广和时间跨度更长的数据, Müller 等^[161]将 MOBY、BOUSSOLE 和 AERONET-OC 提供的数据汇编后,研究评估大气校正模型的方法。

4.4 生物地球化学剖面浮标

生物地球化学剖面浮标(BGC-Argo)项目(<https://biogeochemical-argo.org/>)旨在开发一个由 Argo 剖面浮标上的生物地球化学传感器组成的全球网络,以在全球尺度上监测关键的海洋生物地球化学参数^[162]。

相较于传统的 Argo 浮标测量的压强、温度和盐度数据, BGC-Argo 项目额外提供 2002 年至今的溶解氧、酸碱度(pH)、硝酸盐、下行辐照度[E_d , 380(或 443)、412 和 490 nm]、瞬时平面光合有效辐射、叶绿素荧光和光学后向散射系数(b_{bot} , 700 nm)数据供用户下载。BGC-Argo 网络是当前全球尺度上数据量最大的海洋光学和生物化学数据源^[163],目前全球已有 500 多个 BGC-Argo 正常运行,其空间分布如图 6 所示(截至 2024 年 6 月)。

BGC-Argo 数据被广泛应用于海洋水色产品验证,为水色产品补充剖面信息和被云遮挡的信息。经过一系列的验证工作,水色传感器获取的 R_{rs} 、Chl a 、 b_{bp} 、 K_d 等产品均与 BGC-Argo 数据有较好的一致性^[163-169]。结合 BGC-Argo 提供的剖面生物光学数据,学者对多个生物地球化学参数的剖面分布进行研究,其中包括剖面 POC 浓度^[97]、POC 通量^[170]、不同粒径颗粒对碳通量的贡献^[171]、水下光合有效辐射^[169]、和剖面 PP^[93, 172]等。随着投放数量的逐步增加, BGC-Argo 有望成为水色遥感产品验证的主要数据源^[173]。BGC-Argo 补充的剖面信息,可以促进我们进一步了解海洋生物地球化学和地球气候变化^[174]。

4.5 深海时间序列水文站

1988 年,由美国自然科学基金支持建立了两个深海时间序列水文站,分别位于北太平洋亚热带环流区域的夏威夷附近(HOT, <https://hahana.soest.hawaii.edu/hot/>)和北大西洋西部亚热带环流区百慕大附近的马尾藻海(BATS, <https://bats.bios.asu.edu/>)。主要目标是通过建立和维护深海水文站,进行长时间的物理和生物地球化学观测并解释其变化。

HOT 计划是一项基于锚泊和船测的深海观测实验,锚泊站 ALOHA 位于夏威夷瓦胡岛北部约 100 km 处(22°46'N, 158°5.5'W),每月前往 ALOHA 站巡航一次,大部分数据采集工作在 ALOHA 站从海面到距离海底 10 m 以内的区域进行,用于化学和生物分析。HOT 计划提供 1988 年至今的海洋光学(AOD、 E_d 、PAR 等)、物理(温度、盐度、深度等)、化学(硝酸盐、磷酸盐等)和生物(Chl a 、HPLC、PP 等)数据,其中,海洋光学数据需从 SeaBASS 中获取,其他数据可从 HOT 数据系统(HOT-DOGS, <http://hahana.soest.hawaii.edu/hot/hot-dogs>)下载。

BATS 同样是基于锚泊和巡航的深远海观测实验,自 1988 年 10 月起,每月前往锚泊站 BATS(31°40'N, 64°10'W)执行 4~5 d 的巡航采样,采样深度为表层至 4 600 m。BATS 提供与 HOT 计划相似的数据,用户

可在其官网中免费获取。

由于 HOT 计划和 BATS 均提供长时间序列的生物地球化学参数,因此被广泛应用于大区域的水色遥感研究中。其中, E_d 数据被用于评估 VIIRS 水色产品的真实性^[175]; 基于¹⁴C 培养的 PP 数据被用于开发基于碳的初级生产力模型^[176]、验证 PP 模型的鲁棒性^[93, 177]; POC 数据被用于构建 POC 浓度反演算法^[178-179]、比较不同算法的性能^[95]; DOC 浓度被用于构建新的遥感反演算法^[13]; a_{CDOM} 数据被用于分析马尾藻海微生物群落活动与 CDOM 动态之间的联系^[180]。

4.6 欧洲加那利群岛海洋时间序列站

欧洲加那利群岛海洋时间序列站 (ESTOC) 是加那利群岛海洋平台的深远海观测站,位于北大西洋东部亚热带环流区加那利群岛以北 100 km 处(29°10'N, 15°30'W),与 BATS 纬度相似,水深约 3 600 m,用于研究北大西洋东部水文地理和海洋地球化学的季节性和年际变化以及亚热带环流区生物地球化学的东西不对称性^[181]。自 1994 年 1 月开始每月前往 ESTOC 站巡航采集数据,核心参数囊括海洋物理(盐度、温度等)、化学(硝酸盐、磷酸盐等)、生物地球化学(Chl *a*、POC、PON 等),可通过加那利群岛海洋平台数据服务中心(<http://data.plocan.eu/thredds/catalog/estoc/catalog.html>)下载。

使用 ESTOC 数据结合卫星水色数据可以深入理解加那利群岛生物地球化学参数的变化特征,例如, Chl *a* 浓度的季节性和年际变化^[182]、颗粒物通量季节变化趋势^[183]以及初级生产力模型^[184]等;进一步结合其他北大西洋时间序列站, Helmke 等^[185]研究了北大西洋亚热带环流中 POC 输出和通量衰减的东西差异性, Stramska 等^[186]分析了大西洋扩散 POC 通量的时间和空间差异性。

4.7 黄东海光学遥感海上检验场

国家卫星海洋应用中心于 2019 年建设黄东海光学遥感海上检验场,用于中国水色卫星产品的定标检验。黄东海光学遥感海上检验场计划部署 10 个 AERONET-OC 站,目前已部署牟平(37°40'52''N, 121°42'0''E)和东瓯(27°40'30''N, 121°21'18''E)两个观测站^[187]。牟平观测站搭载两个 CE318-T 型太阳光度计和 3 个 RAMSES 高光谱辐射计,东瓯观测站仅搭载 1 台 CE318-T 型(CE318-TV12-OC, SeaPRISM)太阳光度计,两个观测站均在白天时段多次自动测量 R_{rs} 和 AOD 参数。海上检验场数据目前仅提供给相关合作者使用,在有限范围内共享,不对公众完全开放使用。当所有站点部署完成和质量评估后,开发者

可能将其并入 AERONET-OC 网站。

该检验场对我国水色卫星数据产品的真实性检验提供有力保障,国内相关科研人员使用检验场原位测量数据评估了国内外水色卫星数据产品的精度。Song 等^[187]评估了 MODIS 和 OLCI 水色传感器的 R_{rs} 和 AOD 产品的精度,还进一步评估了大气校正算法的精度;史鑫皓等^[188]评估了 HY-1D 卫星搭载的 COCTS 测得的 R_{rs} 产品的精度。

5 数据检索与使用建议

研究目的的差异导致各研究计划采集数据的侧重点不同。生物光学特性调查侧重于采集 AOPs、IOPs 以及生物地球化学等参数;浮游生物调查侧重于采集浮游植物类群和丰度、海洋物理和化学参数;海洋光学调查侧重于采集 AOPs、IOPs 和 AOD 数据;气候变化调查的数据采集更加全面,包括但不限于海洋物理、化学和生物参数。

开放存取数据平台存储的数据集的特点是经过作者团队按照研究兴趣搜集、整理,格式统一,数据量较大,开放下载,用户的使用学习成本较低。海洋科学数据中心和长时间序列观测站网中的数据分布较离散,需要用户按照研究兴趣,根据原始数据处理规范仔细筛选合适的数据使用。不同平台存储的数据时空分布、格式和可获取性有差别,将其综合对比后整理在表 6 中。除中国南海海洋数据中心和黄东海光学遥感海上检验场外,数据共享平台中的数据均可开放下载。政府间大型数据存储平台和部分国家级海洋科学数据中心提供全球范围的原位测量数据,时间跨度上百年,数据类型较全面,但数据检索下载的难度一般。涉海机构数据中心和长时间序列观测站提供的数据类型由于其研究内容不同,数据类型较为单一,但其数据检索下载的难度较低,方便获取数据。

浮游植物是海洋碳循环过程的关键部分,生产全球近一半的 PP^[189]。不难发现,由于 Chl *a* 浓度在一定程度上可以代表浮游植物生物量,且测量方法成熟、简单, Chl *a* 浓度数据几乎可以通过所有海洋综合数据平台和部分海洋长时间序列观测站网获取。除此之外, Chl *a* 浓度是应用最广泛的水色遥感产品之一,因此,基于原位测量的 Chl *a* 浓度遥感反演研究屡见不鲜。在收集汇编 Chl *a* 浓度原位测量数据时,应特别注意测量方法(荧光法、分光光度法和 HPLC 法)之间的差异。HPLC 色素浓度可被用于分析浮游植物的类群,其原位测量数据主要来自于生物光学特性、浮游

表6 数据共享平台综合对比
Table 6 Comprehensive comparison of data-sharing platforms

章节	数据共享平台	是否开放	时间跨度	空间覆盖	数据类型*	易用性**
3.1	国际海洋数据和信息交换中心(IODE)	是	1884-	全球	ABCDEF	良
3.2	世界海洋数据库(WOD)	是	1772-	全球	ABCDEF	良
3.3	海洋数据网(SeaDataNet)	是	1805-	全球	ABCDEF	良
3.4	国际海洋考察理事会(ICES)	是	1877-	大西洋、北太平洋、北极、地中海、黑海等	ABC	优
3.5	SeaWiFS生物光学档案和存储系统(SeaBASS)	是	1933-	全球	ABCDF	优
3.6	生物和化学海洋学数据管理办公室(BCO-DMO)	是	1949-	全球	ABCDEF	良
3.7	英国海洋数据中心(BODC)	是	1842-	全球	ABCDEF	良
3.8	中国国家海洋科学数据中心	是	1846-	全球	ABCDEF	优
3.9	澳大利亚海洋数据网(AODN)	是	1844-	澳大利亚沿岸	ABCDF	优
3.10	日本海洋数据中心(JODC)	是	1772-	日本近海	ABC	优
3.11	加利福尼亚海洋渔业合作调查(CalCOFI)	是	1949-	美国近海	ABC	优
3.12	近岸和海洋观察(CoastWatch • OceanWatch)	是	2014-2021	美国近海	CD	优
3.13	中国南海海洋数据中心	申请	1959-	中国南海	ABCDEF	差
3.14	香港环境保护署环境保护互动中心	是	1986-	中国南海	ABC	优
3.15	持续浮游生物记录(CPR)调查	是	1931-	北大西洋	C	差
3.16	帕尔默长期生态研究(Palmer LTER)	是	1989-	南极	ACD	良
4.1	海洋光学浮标(MOBY)	是	1997-	北太平洋	D	良
4.2	长时间序列光学浮标(BOUSSOLE)	是	2003-2023	地中海	ACD	优
4.3	气溶胶自动网络(AERONET)	是	1992-	全球	DF	优
4.4	生物地球化学剖面浮标(BGC-Argo)	是	2002-	全球	ABCD	优
4.5	夏威夷海洋时间序列(HOT)	是	1988-	北太平洋	ABCD	优
	百慕大大西洋时间序列(BATS)	是	1988-	北大西洋	ABCD	优
4.6	欧洲加那利群岛海洋时间序列站(ESTOC)	是	1994-	北大西洋	ABC	优
4.7	黄东海光学遥感海上检验场	否	2019-	黄/东海	DF	-

* A: 海洋物理, B: 海洋化学, C: 海洋生物, D: 海洋光学, E: 海洋地质, F: 大气科学。 ** 通过下载Chl *a*或 L_{wn} 原位测量数据所需的步骤数评估各数据平台的易用性。

生物和气候变化调查项目(Palmer LTER、BOUSSOLE、HOT、BATS等)。海洋初级生产力(PP)的测量对于定量了解全球生物圈至关重要。测量PP的方法包括但不限于 ^{14}C 、 ^{13}C 、 ^{18}O 示踪法、明暗瓶培养法。多个数据库共享 ^{14}C 示踪和明暗瓶等方法培养测得的PP, CalCOFI、Palmer LTER、HOT、BATS提供基于 ^{14}C 示踪培养测得的PP数据集, 中国南海海洋数据中心可申请使用基于明暗瓶测得的PP共享数据集。POC指海洋中的有机颗粒物, 包含浮游植物、浮游动物、细菌和碎屑。测量POC的方法相对单一, 通常是样品经过酸化的孔径为 $0.7\ \mu\text{m}$ 的GF/F滤膜过滤后, 利用

元素分析仪将有机碳转化为 CO_2 , 计算其质量。使用POC共享数据时, 应特别注意其对空白校正的处理过程。多个海洋调查项目将POC浓度作为核心测量参数, 其数据集可从CalCOFI、中国南海海洋数据中心、Palmer LTER、HOT、BATS平台检索获取。

辐射度学、IOPs、AOPs和AOD等海洋光学参数在水色遥感产品定标检验和开发中都起到十分重要的作用。对于辐射度学数据, CalCOFI、CoastWatch-OceanWatch、Palmer LTER、MOBY、BOUSSOLE、AERONET-OC、BGC-Argo、HOT等平台可检索下载多光谱辐照度和辐亮度数据。多个平台提供不同IOPs

数据检索下载, CalCOFI、CoastWatch-OceanWatch 提供水中不同成分吸收系数数据集, 中国南海海洋数据中心提供 b_{bp} 和 a_{ph} 数据集, BOUSSOLE 提供 c_{tot} 数据集、水中不同成分吸收系数和 b_{tot} 数据集, BGC-Argo 提供 b_{tot} 数据集。共享的 AOPs 参数主要是 R_{rs} 和 K_d , 可从 CalCOFI、CoastWatch-OceanWatch、Palmer LTER、BOUSSOLE 平台检索获取。

用户使用相关数据时, 建议先了解各航次报告或数据说明, 熟悉相关数据处理规范[NASA 和 International Ocean Colour Coordinating Group (IOCCG) 均体系性地提供用于水色遥感验证的原位数据处理规范^[190, 191], 避免不同测量仪器和方法引起的误差。除此之外, 用户还应当遵守各平台数据使用政策, 按要求引用。

6 总结

在长时间和大区域的海洋水色遥感研究中, 原位测量数据的数量和质量对研究结果至关重要。为了推动海洋研究和管理, 开放存取数据平台、政府间海洋数据库、国家级海洋数据中心以及国内外涉海机构数据中心公开发布了大量原位测量数据和再整理数据集, 供用户获取使用。本文整理了 29 个可供海洋水色遥感研究使用或有潜在使用价值的平台, 列举各平台中的共享数据在部分研究中的典型应用, 主要包括卫星产品的替代定标和真实性检验、生物

地球化学参数的遥感反演模型开发与改进, 以及水体光学特性研究等。从来源上看, 共享数据多数由欧美等发达国家发布, 尽管我国国家海洋科学数据中心和南海海洋数据中心提供部分原位测量数据, 但是拥有自主知识产权和我国海域采集的数据量仍占少数。从时空分布上看, 共享数据采集时间跨越百年, 多数采集于近 30 年, 主要分布于开阔大洋和美国、澳大利亚等国家近岸。从数据类型上看, 海洋光学和生物地球化学参数丰富, 但是仍然存在欠缺:(1)海洋光学与生物地球化学同步采集数据量不足, 不利于生物地球化学参数光学特性研究;(2)颗粒物相关测量数据中缺少颗粒物偏振参数, 即 Mueller 矩阵参数, 随着 NASA 带有偏振载荷的 PACE (Plankton Aerosol, Cloud, ocean Ecosystem) 卫星的成功发射, 颗粒物偏振参数将极大地促进水色偏振遥感研究发展。未来, 建议学者在发表研究型文章的同时共享其原位测量数据, 这将极大地提高数据再利用, 切实为研究人员提供便利, 推动学科快速发展。

致谢: 本文受启发于 2023 年第三届中国水色理论及遥感暑期班。衷心感谢班友深圳大学刘会增、王永全, 浙江海洋大学李嘉桦, 中山大学向金朝, 中国科学院南海海洋研究所郑文迪, 以及中国科学院南海海洋研究所徐超对本文海洋科学数据中心的内容补充。

参考文献:

- [1] Gordon H R, Morel A Y. Remote Assessment of Ocean Color for Interpretation of Satellite Visible Imagery: A review[M]. New York: Springer-Verlag, 1983: 292.
- [2] Platt T, Hoepffner N, Stuart V, et al. Why ocean colour? The societal benefits of ocean-colour technology[R]. Dartmouth: International Ocean-Colour Coordinating Group (IOCCG), 2008: 141.
- [3] 潘德炉, 白雁. 我国海洋水色遥感应应用工程技术的新进展[J]. 中国工程科学, 2008, 10(9): 14-24,46. Pan Delu, Bai Yan. Advances on the application of ocean color remote sensing engineering in China[J]. Strategic Study of Chinese Academy of Engineering, 2008, 10(9): 14-24,46.
- [4] 《水色学概览》编写组. 水色学概览[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2019. Editorial group of 'Overview of Ocean Color'. Overlook of Ocean Color[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2019.
- [5] Hooker S B, McClain C R. The calibration and validation of SeaWiFS data[J]. Progress in Oceanography, 2000, 45(3/4): 427-465.
- [6] Mueller J L, Morel A, Frouin R, et al. Ocean optics protocols for satellite ocean color sensor validation, Revision 4. Volume III: radiometric measurements and data analysis protocols[R]. Greenbelt, MD: Goddard Space Flight Space Center, 2003: 1-63.
- [7] Zibordi G, Voss K J, Johnson B C, et al. Ocean optics and biogeochemistry protocols for satellite ocean colour sensor validation, Volume 3.0: protocols for satellite ocean colour data validation: *in situ* optical radiometry[R]. Dartmouth: IOCCG, 2019.
- [8] Fargion G S, McClain C R, Werdell P J, et al. The SeaWiFS bio-optical archive and storage system (SeaBASS): current architecture and implementation[R]. Greenbelt, Maryland: Goddard Space Flight Center, 2002.
- [9] Brewin R J W, Sathyendranath S, Kulk G, et al. Ocean carbon from space: current status and priorities for the next decade[J]. *Earth-Science Reviews*, 2023, 240: 104386.
- [10] Li Qiang, Jiang Lingling, Chen Yanlong, et al. Absorption-based algorithm for satellite estimating the particulate organic carbon concentration in the global surface ocean[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2023, 9: 1048893.
- [11] Zhang Yuan, Shen Fang, Sun Xuerong, et al. Marine big data-driven ensemble learning for estimating global phytoplankton group com-

- position over two decades (1997–2020)[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2023, 294: 113596.
- [12] Men Jilin, Chen Xi, Hou Xuejiao, et al. OC_3S: an optical classification and spectral scoring system for global waters using UV-visible remote sensing reflectance[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2023, 200: 153–172.
- [13] Bonelli A G, Loisel H, Jorge D S F, et al. A new method to estimate the dissolved organic carbon concentration from remote sensing in the global open ocean[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2022, 281: 113227.
- [14] Wei Jianwei, Wang Menghua, Jiang Lide, et al. Global estimation of suspended particulate matter from satellite ocean color imagery[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2021, 126(8): e2021JC017303.
- [15] Krishna K V, Shanmugam P, Sarangi R K. Robust algorithm based on the reflectance curvature for estimating particulate organic carbon and its spatiotemporal variability in the global ocean[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2023, 61: 4207116.
- [16] Lehmann M K, Gurlin D, Pahlevan N, et al. GLORIA-a globally representative hyperspectral *in situ* dataset for optical sensing of water quality[J]. *Scientific Data*, 2023, 10(1): 100.
- [17] Lehmann M K, Gurlin D, Pahlevan N, et al. GLORIA-a global dataset of remote sensing reflectance and water quality from inland and coastal waters[DS]. PANGAEA, 2022.
- [18] Burket M O, Olmanson L G, Brezonik P L. Comparison of two water color algorithms: implications for the remote sensing of water bodies with moderate to high CDOM or chlorophyll levels[J]. *Sensors*, 2023, 23(3): 1071.
- [19] Davies C H, Ajani P, Armbrecht L, et al. A database of chlorophyll *a* in Australian waters[J]. *Scientific Data*, 2018, 5(1): 180018.
- [20] Baldry K, Strutton P G, Hill N A, et al. Subsurface chlorophyll-*a* maxima in the Southern Ocean[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 671.
- [21] Martiny A C, Vrugt J A, Lomas M W. Concentrations and ratios of particulate organic carbon, nitrogen, and phosphorus in the global ocean[J]. *Scientific Data*, 2014, 1(1): 140048.
- [22] Evers-King H, Martinez-Vicente V, Brewin R J W, et al. Validation and intercomparison of ocean color algorithms for estimating particulate organic carbon in the oceans[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2017, 4: 251.
- [23] Mortelmans J, Deneudt K, Cattrijsse A, et al. Nutrient, pigment, suspended matter and turbidity measurements in the Belgian part of the North Sea[J]. *Scientific Data*, 2019, 6(1): 22.
- [24] Dierssen H M, Ackleson S G, Joyce K E, et al. Living up to the hype of hyperspectral aquatic remote sensing: science, resources and outlook[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2021, 9: 649528.
- [25] Peloquin J, Swan C, Gruber N, et al. The MAREDAT global database of high performance liquid chromatography marine pigment measurements[J]. *Earth System Science Data*, 2013, 5(1): 109–123.
- [26] Peloquin J M, Swan C, Gruber N, et al. The MAREDAT global database of high performance liquid chromatography marine pigment measurements-gridded data product (NetCDF)-contribution to the MAREDAT world ocean atlas of plankton functional types[DS]. PANGAEA, 2013.
- [27] Lewis K M, Van Dijken G L, Arrigo K R. Changes in phytoplankton concentration now drive increased Arctic Ocean primary production[J]. *Science*, 2020, 369(6500): 198–202.
- [28] Puissant A, El Hourany R, Charantonis A A, et al. Inversion of phytoplankton pigment vertical profiles from satellite data using machine learning[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(8): 1445.
- [29] Xi Hongyan, Losa S N, Mangin A, et al. Global retrieval of phytoplankton functional types based on empirical orthogonal functions using CMEMS GlobColour merged products and further extension to OLCI data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 240: 111704.
- [30] El Hourany R, Saab M A A, Faour G, et al. Estimation of secondary phytoplankton pigments from satellite observations using self-organizing maps (SOMs)[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2019, 124(2): 1357–1378.
- [31] Martínez-Vicente V, Evers-King H, Roy S, et al. Intercomparison of ocean color algorithms for picophytoplankton carbon in the ocean[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2017, 4: 378.
- [32] Nechad B, Ruddick K, Schroeder T, et al. CoastColour Round Robin data sets: a database to evaluate the performance of algorithms for the retrieval of water quality parameters in coastal waters[J]. *Earth System Science Data*, 2015, 7(2): 319–348.
- [33] Nechad B, Ruddick K, Schroeder T, et al. CoastColour Round Robin datasets, Version 1[DS]. PANGAEA, 2015.
- [34] Lavigne H, Van Der Zande D, Ruddick K, et al. Quality-control tests for OC4, OC5 and NIR-red satellite chlorophyll-*a* algorithms applied to coastal waters[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2021, 255: 112237.
- [35] Bouman H A, Platt T, Doblin M, et al. Photosynthesis-irradiance parameters of marine phytoplankton: synthesis of a global data set[J]. *Earth System Science Data*, 2018, 10(1): 251–266.
- [36] Bouman H A, Platt T, Doblin M A, et al. A global dataset of photosynthesis-irradiance parameters for marine phytoplankton[DS]. PANGAEA, 2017.
- [37] Kulk G, Platt T, Dingle J, et al. Primary production, an index of climate change in the ocean: satellite-based estimates over two decades[J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(5): 826.
- [38] Casey K A, Rousseaux C S, Gregg W W, et al. A global compilation of *in situ* aquatic high spectral resolution inherent and apparent optical property data for remote sensing applications[J]. *Earth System Science Data*, 2020, 12(2): 1123–1139.
- [39] Casey K A, Rousseaux C S, Gregg W W, et al. *In situ* high spectral resolution inherent and apparent optical property data from diverse

- aquatic environments[DS]. PANGAEA, 2019.
- [40] Kramer S J, Siegel D A, Maritorena S, et al. Modeling surface ocean phytoplankton pigments from hyperspectral remote sensing reflectance on global scales[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2022, 270: 112879.
- [41] Mattei F, Scardi M. Collection and analysis of a global marine phytoplankton primary-production dataset[J]. *Earth System Science Data*, 2021, 13(10): 4967–4985.
- [42] Mattei F, Scardi M. Global marine phytoplankton production dataset[DS]. PANGAEA, 2021.
- [43] Xu Lei, Yu Hongchu, Chen Zeqiang, et al. Monthly ocean primary productivity forecasting by joint use of seasonal climate prediction and temporal memory[J]. *Remote Sensing*, 2023, 15(5): 1417.
- [44] Lavigne H, Dogliotti A, Doxaran D, et al. The HYPERMAQ dataset: bio-optical properties of moderately to extremely turbid waters[J]. *Earth System Science Data*, 2022, 14(11): 4935–4947.
- [45] Lavigne H, Dogliotti A I, Doxaran D, et al. The HYPERMAQ dataset[DS]. PANGAEA, 2022.
- [46] Bi Shun, Hieronymi M, Röttgers R. Bio-geo-optical modelling of natural waters[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2023, 10: 1196352.
- [47] Valente A, Sathyendranath S, Brotas V, et al. A compilation of global bio-optical *in situ* data for ocean colour satellite applications-version three[J]. *Earth System Science Data*, 2022, 14(12): 5737–5770.
- [48] Valente A, Sathyendranath S, Brotas V, et al. A compilation of global bio-optical *in situ* data for ocean-colour satellite applications-version 3[DS]. PANGAEA, 2022.
- [49] Hieronymi M, Bi Shun, Müller D, et al. Ocean color atmospheric correction methods in view of usability for different optical water types[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2023, 10: 1129876.
- [50] Kramer S J, Siegel D A, Maritorena S, et al. Global surface ocean HPLC phytoplankton pigments and hyperspectral remote sensing reflectance[DS]. PANGAEA, 2021.
- [51] Soppa M A, Hirata T, Silva B, et al. Global retrieval of diatom abundance based on phytoplankton pigments and satellite data[J]. *Remote Sensing*, 2014, 6(10): 10089–10106.
- [52] Soppa M A, Hirata T, Silva B, et al. Phytoplankton pigment concentrations in the South Atlantic Ocean[DS]. PANGAEA, 2014.
- [53] Bracher A, Xi Hongyan, Dinter T, et al. Phytoplankton pigment concentration and phytoplankton groups measured on water samples and from radiometric measurements obtained during POLARSTERN cruise PS113 in the Atlantic Ocean[DS]. PANGAEA, 2020.
- [54] Bracher A, Xi Hongyan, Dinter T, et al. High resolution water column phytoplankton composition across the atlantic ocean from ship-towed vertical undulating radiometry[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 235.
- [55] Riethmüller R, Flöser G. Suspended particulate matter concentrations and organic matter fractions from water samples[DS]. PANGAEA, 2017.
- [56] Schartau M, Riethmüller R, Flöser G, et al. On the separation between inorganic and organic fractions of suspended matter in a marine coastal environment[J]. *Progress in Oceanography*, 2019, 171: 231–250.
- [57] Juhls B, Lizotte M, Matsuoka A, et al. Hydrographical, biogeochemical and biooptical water properties in the Mackenzie Delta Region during 4 expeditions from spring to fall in 2019[DS]. PANGAEA, 2021.
- [58] Juhls B, Matsuoka A, Lizotte M, et al. Seasonal dynamics of dissolved organic matter in the Mackenzie Delta, Canadian Arctic waters: implications for ocean colour remote sensing[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2022, 283: 113327.
- [59] Gonçalves-Araujo R, Granskog M A, Osburn C L, et al. A Pan-Arctic algorithm to estimate dissolved organic carbon concentrations from colored dissolved organic matter spectral absorption[J]. *Geophysical Research Letters*, 2023, 50(21): e2023GL105028.
- [60] Fragoso G M, Poulton A J, Yashayaev I M, et al. Spring phytoplankton communities of the Labrador Sea (2005–2014): pigment signatures, photophysiology and elemental ratios[J]. *Biogeosciences*, 2017, 14(5): 1235–1259.
- [61] Ping Bo, Meng Yunshan, Xue Cunjin, et al. Oceanic primary production estimation based on machine learning[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2023, 128(5): e2022JC018980.
- [62] Losa S N, Soppa M A, Dinter T, et al. Synergistic exploitation of hyper- and multi-spectral precursor sentinel measurements to determine phytoplankton functional types (SynSenPFT)[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2017, 4: 203.
- [63] Pradhan H K, Völker C, Losa S N, et al. Assimilation of global total chlorophyll OC-CCI data and its impact on individual phytoplankton fields[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2019, 124(1): 470–490.
- [64] Knaeps E, Doxaran D, Dogliotti A I, et al. The SeaSWIR dataset[DS]. PANGAEA, 2018.
- [65] Taylor B B, Torrecilla E, Bernhardt A, et al. Remote sensing reflectance during POLARSTERN cruise ANT-XXV/1[DS]. PANGAEA, 2011.
- [66] Boss E, Picheral M, Slade W, et al. [RAW VALIDATED DATA] Properties of seawater and particulate matter from a WETLabs AC-S spectrophotometer and a WETLabs chlorophyll fluorometer mounted on the continuous surface water sampling system during the Tara Oceans expedition 2009–2013[DS]. PANGAEA, 2014.
- [67] Boss E, Picheral M, Leeuw T, et al. The characteristics of particulate absorption, scattering and attenuation coefficients in the surface ocean; contribution of the Tara Oceans expedition[J]. *Methods in Oceanography*, 2013, 7: 52–62.
- [68] Loisel H, Jorge D S F, Reynolds R A, et al. A synthetic optical database generated by radiative transfer simulations in support of studies in ocean optics and optical remote sensing of the global ocean[J]. *Earth System Science Data*, 2023, 15(8): 3711–3731.

- [69] Kahru M, Lee Z, Mitchell B G, et al. Effects of sea ice cover on satellite-detected primary production in the Arctic Ocean[J]. *Biology Letters*, 2016, 12(11): 20160223.
- [70] Opdal A F, Andersen T, Hessen D O, et al. Tracking freshwater browning and coastal water darkening from boreal forests to the Arctic Ocean[J]. *Limnology and Oceanography Letters*, 2023, 8(4): 611–619.
- [71] Qin Ping, Simis S G H, Tilstone G H. Radiometric validation of atmospheric correction for MERIS in the Baltic Sea based on continuous observations from ships and AERONET-OC[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 200: 263–280.
- [72] Moallemi A, Landwehr S, Robinson C, et al. Sources, occurrence and characteristics of fluorescent biological aerosol particles measured over the pristine Southern Ocean[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2021, 126(11): e2021JD034811.
- [73] Robinson C M, Huot Y, Schuback N, et al. High latitude Southern Ocean phytoplankton have distinctive bio-optical properties[J]. *Optics Express*, 2021, 29(14): 21084–21112.
- [74] Pitarch J, Volpe G, Colella S, et al. Remote sensing of chlorophyll in the Baltic Sea at basin scale from 1997 to 2012 using merged multi-sensor data[J]. *Ocean Science*, 2016, 12(2): 379–389.
- [75] Ciavatta S, Brewin R J W, Skákala J, et al. Assimilation of ocean-color plankton functional types to improve marine ecosystem simulations[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2018, 123(2): 834–854.
- [76] Werdell P J, Bailey S W. An improved *in-situ* bio-optical data set for ocean color algorithm development and satellite data product validation[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 98(1): 122–140.
- [77] He Xianqiang, Bai Yan, Pan Delu, et al. Atmospheric correction of satellite ocean color imagery using the ultraviolet wavelength for highly turbid waters[J]. *Optics Express*, 2012, 20(18): 20754–20770.
- [78] Wang Menghua, Son S, Shi Wei. Evaluation of MODIS SWIR and NIR-SWIR atmospheric correction algorithms using SeaBASS data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(3): 635–644.
- [79] Wang Menghua, Son S, Harding Jr L W. Retrieval of diffuse attenuation coefficient in the Chesapeake Bay and turbid ocean regions for satellite ocean color applications[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2009, 114(C10): C10011.
- [80] Moore T S, Campbell J W, Hui Feng. A fuzzy logic classification scheme for selecting and blending satellite ocean color algorithms[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2001, 39(8): 1764–1776.
- [81] Hu Chuanmin, Lee Z, Franz B. Chlorophyll *a* algorithms for oligotrophic oceans: a novel approach based on three-band reflectance difference[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2012, 117(C1): C01011.
- [82] Johnson R, Strutton P G, Wright S W, et al. Three improved satellite chlorophyll algorithms for the Southern Ocean[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2013, 118(7): 3694–3703.
- [83] 崔廷伟, 张杰, 马毅, 等. 北冰洋卫星水色遥观测能力评价与展望[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2021, 51(1): 125–137.
- [83] Cui Tingwei, Zhang Jie, Ma Yi, et al. Overview and Prospect of satellite ocean colour observation over the Arctic Ocean[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2021, 51(1): 125–137.
- [84] Kostadinov T S, Milutinović S, Marinov I, et al. Carbon-based phytoplankton size classes retrieved via ocean color estimates of the particle size distribution[J]. *Ocean Science*, 2016, 12(2): 561–575.
- [85] Liu Huizeng, Li Qingquan, Bai Yan, et al. Improving satellite retrieval of oceanic particulate organic carbon concentrations using machine learning methods[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2021, 256: 112316.
- [86] Le Chengfeng, Zhou Xueying, Hu Chuanmin, et al. A color-index-based empirical algorithm for determining particulate organic carbon concentration in the ocean from satellite observations[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2018, 123(10): 7407–7419.
- [87] Le Chengfeng, Wu Ming, Cai Sunbin, et al. Remote sensing of particulate organic carbon on the Western Antarctic Peninsula shelf using a color index-based algorithm[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2023, 61: 4203113.
- [88] Loisel H, Bosc E, Stramski D, et al. Seasonal variability of the backscattering coefficient in the Mediterranean Sea based on satellite SeaWiFS imagery[J]. *Geophysical Research Letters*, 2001, 28(22): 4203–4206.
- [89] Cetinić I, Perry M J, Briggs N T, et al. Particulate organic carbon and inherent optical properties during 2008 North Atlantic Bloom Experiment[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2012, 117(C6): C06028.
- [90] Cetinić I, Perry M J, D'asaro E, et al. A simple optical index shows spatial and temporal heterogeneity in phytoplankton community composition during the 2008 North Atlantic Bloom Experiment[J]. *Biogeosciences*, 2015, 12(7): 2179–2194.
- [91] Joshi I D, Stramski D, Reynolds R A, et al. Performance assessment and validation of ocean color sensor-specific algorithms for estimating the concentration of particulate organic carbon in oceanic surface waters from satellite observations[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2023, 286: 113417.
- [92] Tehrani N C, D'Sa E J, Osburn C L, et al. Chromophoric dissolved organic matter and dissolved organic carbon from sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS), Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and MERIS sensors: case study for the northern Gulf of Mexico[J]. *Remote Sensing*, 2013, 5(3): 1439–1464.
- [93] Arteaga L A, Behrenfeld M J, Boss E, et al. Vertical structure in phytoplankton growth and productivity inferred from Biogeochemical-Argo floats and the Carbon-based productivity model[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2022, 36(8): e2022GB007389.
- [94] Park J, Kim H C, Bae D, et al. Data reconstruction for remotely sensed chlorophyll-*a* concentration in the Ross Sea using ensemble-based machine learning[J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(11): 1898.

- [95] Świrgoń M, Stramska M. Comparison of *in situ* and satellite ocean color determinations of particulate organic carbon concentration in the global ocean[J]. *Oceanologia*, 2015, 57(1): 25–31.
- [96] Rasse R, Dall’olmo G, Graff J, et al. Evaluating optical proxies of particulate organic carbon across the Surface Atlantic Ocean[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2017, 4: 367.
- [97] Koestner D, Stramski D, Reynolds R A. A multivariable empirical algorithm for estimating particulate organic carbon concentration in marine environments from optical backscattering and chlorophyll-a measurements[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9: 941950.
- [98] Graff J R, Westberry T K, Milligan A J, et al. Analytical phytoplankton carbon measurements spanning diverse ecosystems[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2015, 102: 16–25.
- [99] Mitchell C, Hu C, Bowler B, et al. Estimating particulate inorganic carbon concentrations of the global ocean from ocean color measurements using a reflectance difference approach[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2017, 122(11): 8707–8720.
- [100] Organelli E, Dall’Olmo G, Brewin R J W, et al. The open-ocean missing backscattering is in the structural complexity of particles[J]. *Nature Communications*, 2018, 9(1): 5439.
- [101] Kostadinov T S, Robertson Lain L, Kong C E, et al. Ocean color algorithm for the retrieval of the particle size distribution and carbon-based phytoplankton size classes using a two-component coated-sphere backscattering model[J]. *Ocean Science*, 2023, 19(3): 703–727.
- [102] Brewin R J W, Dall’Olmo G, Pardo S, et al. Underway spectrophotometry along the Atlantic Meridional Transect reveals high performance in satellite chlorophyll retrievals[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 183: 82–97.
- [103] Gregg W W, Casey N W. Improving the consistency of ocean color data: a step toward climate data records[J]. *Geophysical Research Letters*, 2010, 37(4): L04605.
- [104] Sun Xuerong, Brewin R J W, Sathyendranath S, et al. Coupling ecological concepts with an ocean-colour model: phytoplankton size structure[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2023, 285: 113415.
- [105] Schroeder T, Schaale M, Lovell J, et al. An ensemble neural network atmospheric correction for Sentinel-3 OLCI over coastal waters providing inherent model uncertainty estimation and sensor noise propagation[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2022, 270: 112848.
- [106] Siswanto E, Ishizaka J, Yokouchi K. Optimal primary production model and parameterization in the eastern East China Sea[J]. *Journal of Oceanography*, 2006, 62(3): 361–372.
- [107] Kahru M, Kudela R M, Anderson C R, et al. Evaluation of satellite retrievals of ocean chlorophyll-a in the California Current[J]. *Remote Sensing*, 2014, 6(9): 8524–8540.
- [108] Kahru M, Mitchell B G. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and colored dissolved organic matter concentration in the California Current[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2001, 106(C2): 2517–2529.
- [109] Sun Kumpeng, Zhang Tinglu, Chen Shuguo, et al. Retrieval of ultraviolet diffuse attenuation coefficients from ocean color using the kernel principal components analysis over ocean[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2021, 59(6): 4579–4589.
- [110] Zhou Wen, Cao Wenxi, Zhao Jun, et al. Variability of scattering and backscattering of marine particles in relation to particle concentration, size distribution, and composition off the eastern hainan coast in the south China sea[J]. *Continental Shelf Research*, 2022, 232: 104615.
- [111] Nazeer M, Nichol J E. Improved water quality retrieval by identifying optically unique water classes[J]. *Journal of Hydrology*, 2016, 541: 1119–1132.
- [112] Nazeer M, Nichol J E. Development and application of a remote sensing-based Chlorophyll-a concentration prediction model for complex coastal waters of Hong Kong[J]. *Journal of Hydrology*, 2016, 532: 80–89.
- [113] Ma Chunlei, Zhao Jun, Ai Bin, et al. Machine learning based long-term water quality in the turbid Pearl River Estuary, China[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2022, 127(1): e2021JC018017.
- [114] Liu Huizeng, Wu Guofeng, Shi Tiezhu, et al. Estimating orthophosphate phosphorus concentration in Shenzhen Bay with remote sensing and legacy *in-situ* measurements[C]//2016 4th International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA). Guangzhou: IEEE, 2016: 127–131.
- [115] Reid P C, Colebrook J M, Matthews J B L, et al. The Continuous Plankton Recorder: concepts and history, from Plankton Indicator to undulating recorders[J]. *Progress in Oceanography*, 2003, 58(2/4): 117–173.
- [116] Raitso D E, Reid P C, Lavender S J, et al. Extending the SeaWiFS chlorophyll data set back 50 years in the northeast Atlantic[J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32(6): L06603.
- [117] Batten S D, Walne A W, Edwards M, et al. Phytoplankton biomass from continuous plankton recorder data: an assessment of the phytoplankton colour index[J]. *Journal of Plankton Research*, 2003, 25(7): 697–702.
- [118] Raitso D E, Lavender S J, Maravelias C D, et al. Macroscale factors affecting diatom abundance: a synergistic use of Continuous Plankton Recorder and satellite remote sensing data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2011, 32(8): 2081–2094.
- [119] Raitso D E, Lavender S J, Maravelias C D, et al. Identifying four phytoplankton functional types from space: an ecological approach[J]. *Limnology and Oceanography*, 2008, 53(2): 605–613.
- [120] Head E J H, Pepin P. Monitoring changes in phytoplankton abundance and composition in the Northwest Atlantic: a comparison of results obtained by continuous plankton recorder sampling and colour satellite imagery[J]. *Journal of Plankton Research*, 2010, 32(12): 1649–1660.

- [121] Smith R C, Baker K S, Fraser W R, et al. The Palmer LTER: a long-term ecological research program at Palmer Station, Antarctica[J]. *Oceanography*, 1995, 8(3): 77–86.
- [122] Montes - Hugo M A, Vernet M, Smith R, et al. Phytoplankton size - structure on the western shelf of the Antarctic Peninsula: a remote - sensing approach[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29(3): 801–829.
- [123] Soppa M A, Dinter T, Taylor B B, et al. Satellite derived euphotic depth in the Southern Ocean: implications for primary production modelling[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2013, 137: 198–211.
- [124] Dierssen H M, Smith R C. Bio-optical properties and remote sensing ocean color algorithms for Antarctic Peninsula waters[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2000, 105(C11): 26301–26312.
- [125] Marrari M, Hu Chuanmin, Daly K. Validation of SeaWiFS chlorophyll *a* concentrations in the Southern Ocean: a revisit[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 105(4): 367–375.
- [126] Kramer S J, Siegel D A. How can phytoplankton pigments be best used to characterize surface ocean phytoplankton groups for ocean color remote sensing algorithms?[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2019, 124(11): 7557–7574.
- [127] Clark D K, Gordon H R, Voss K J, et al. Validation of atmospheric correction over the oceans[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1997, 102(D14): 17209–17217.
- [128] Song Qingjun, Chen Shuguo, Xue Cheng, et al. Vicarious calibration of COCTS-HY1C at visible and near-infrared bands for ocean color application[J]. *Optics Express*, 2019, 27(20): A1615–A1626.
- [129] Wang Menghua, Liu Xiaoming, Jiang Lide, et al. VIIRS ocean color research and applications[C]//2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Milan: IEEE, 2015: 2911–2914.
- [130] Gerbi G P, Boss E, Werdell P J, et al. Validation of ocean color remote sensing reflectance using autonomous floats[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2016, 33(11): 2331–2352.
- [131] Wang Menghua, Son S. VIIRS-derived chlorophyll-*a* using the ocean color index method[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 182: 141–149.
- [132] Lawson A, Bowers J, Ladner S, et al. Analyzing satellite ocean color match-up protocols using the satellite validation navy tool (SAV-ANT) at MOBY and two AERONET-OC sites[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(14): 2673.
- [133] Gilerson A, Herrera-Estrella E, Foster R, et al. Determining the primary sources of uncertainty in retrieval of marine remote sensing reflectance from satellite ocean color sensors[J]. *Frontiers in Remote Sensing*, 2022, 3: 857530.
- [134] Gilerson A, Herrera-Estrella E, Agagliate J, et al. Determining the primary sources of uncertainty in the retrieval of marine remote sensing reflectance from satellite ocean color sensors II. Sentinel 3 OLCI sensors[J]. *Frontiers in Remote Sensing*, 2023, 4: 1146110.
- [135] Wang Menghua, Wilson C. Applications of satellite ocean color products[C]//2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Fort Worth: IEEE, 2017: 2794–2797.
- [136] Antoine D, D’Ortenzio F, Hooker S B, et al. Assessment of uncertainty in the ocean reflectance determined by three satellite ocean color sensors (MERIS, SeaWiFS and MODIS-A) at an offshore site in the Mediterranean Sea (BOUSSOLE project)[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2008, 113(C7): C07013.
- [137] Organelli E, Bricaud A, Antoine D, et al. Seasonal dynamics of light absorption by chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in the NW Mediterranean Sea (BOUSSOLE site)[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2014, 91: 72–85.
- [138] Organelli E, Bricaud A, Antoine D, et al. Multivariate approach for the retrieval of phytoplankton size structure from measured light absorption spectra in the Mediterranean Sea (BOUSSOLE site)[J]. *Applied Optics*, 2013, 52(11): 2257–2273.
- [139] Kheireddine M, Antoine D. Diel variability of the beam attenuation and backscattering coefficients in the northwestern Mediterranean Sea (BOUSSOLE site)[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2014, 119(8): 5465–5482.
- [140] Navarro G, Alvain S, Vantrepotte V, et al. Identification of dominant phytoplankton functional types in the Mediterranean Sea based on a regionalized remote sensing approach[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 152: 557–575.
- [141] Navarro G, Almaraz P, Caballero I, et al. Reproduction of spatio-temporal patterns of major mediterranean phytoplankton groups from remote sensing OC-CCI data[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2017, 4: 246.
- [142] Zibordi G, Mélin F, Berthon J F, et al. AERONET-OC: a network for the validation of ocean color primary products[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2009, 26(8): 1634–1651.
- [143] Zibordi G, Holben B, Hooker S B, et al. A network for standardized ocean color validation measurements[J]. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 2006, 87(30): 293–297.
- [144] Nobileau D, Antoine D. Detection of blue-absorbing aerosols using near infrared and visible (ocean color) remote sensing observations[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 95(3): 368–387.
- [145] Schroeder T, Schaale M, Fischer J. Retrieval of atmospheric and oceanic properties from MERIS measurements: a new Case-2 water processor for BEAM[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28(24): 5627–5632.
- [146] Ahmad Z, Franz B A, McClain C R, et al. New aerosol models for the retrieval of aerosol optical thickness and normalized water-leaving radiances from the SeaWiFS and MODIS sensors over coastal regions and open oceans[J]. *Applied Optics*, 2010, 49(29): 5545–5560.
- [147] He Xianqiang, Pan Delu, Bai Yan, et al. Evaluation of the aerosol models for SeaWiFS and MODIS by AERONET data over open

- oceans[J]. *Applied Optics*, 2011, 50(22): 4353–4364.
- [148] Martins V S, Barbosa C C F, De Carvalho L A S, et al. Assessment of atmospheric correction methods for Sentinel-2 MSI images applied to amazon floodplain lakes[J]. *Remote Sensing*, 2017, 9(4): 322.
- [149] Kravitz J, Matthews M, Bernard S, et al. Application of Sentinel 3 OLCI for chl-a retrieval over small inland water targets: successes and challenges[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 237: 111562.
- [150] Vanhellemont Q, Ruddick K. Atmospheric correction of metre-scale optical satellite data for inland and coastal water applications[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 216: 586–597.
- [151] Zhang Minwei, Hu Chuanmin, Barnes B B. Performance of POLYMER atmospheric correction of ocean color imagery in the presence of absorbing aerosols[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2019, 57(9): 6666–6674.
- [152] Wolters E, Toté C, Sterckx S, et al. iCOR atmospheric correction on Sentinel-3/OLCI over land: intercomparison with AERONET, RadCalNet, and SYN Level-2[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(4): 654.
- [153] Zibordi G, Berthon J F, Mélin F, et al. Validation of satellite ocean color primary products at optically complex coastal sites: northern Adriatic Sea, northern Baltic Proper and Gulf of Finland[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(12): 2574–2591.
- [154] Goyens C, Jamet C, Schroeder T. Evaluation of four atmospheric correction algorithms for MODIS-Aqua images over contrasted coastal waters[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2013, 131: 63–75.
- [155] Pahlevan N, Schott J R, Franz B A, et al. Landsat 8 remote sensing reflectance (R_{rs}) products: evaluations, intercomparisons, and enhancements[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 190: 289–301.
- [156] Steinmetz F, Ramon D. Sentinel-2 MSI and Sentinel-3 OLCI consistent ocean colour products using POLYMER[C]//Remote Sensing of the Open and Coastal Ocean and Inland Waters. Honolulu: SPIE, 2018.
- [157] Fan Yongzhen, Li Wei, Chen Nan, et al. OC-SMART: a machine learning based data analysis platform for satellite ocean color sensors[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2021, 253: 112236.
- [158] Ye Xiaomin, Liu Jianqiang, Lin Mingsen, et al. Global ocean chlorophyll-a concentrations derived from COCTS onboard the HY-1C satellite and their preliminary evaluation[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2021, 59(12): 9914–9926.
- [159] Wang Junwei, Wang Yongchao, Lee Z, et al. A revision of NASA SeaDAS atmospheric correction algorithm over turbid waters with artificial Neural Networks estimated remote-sensing reflectance in the near-infrared[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2022, 194: 235–249.
- [160] Jamet C, Loisel H, Kuchinke C P, et al. Comparison of three SeaWiFS atmospheric correction algorithms for turbid waters using AERONET-OC measurements[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(8): 1955–1965.
- [161] Müller D, Krasemann H, Brewin R J W, et al. The Ocean Colour Climate Change Initiative: I. A methodology for assessing atmospheric correction processors based on *in-situ* measurements[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 162: 242–256.
- [162] Bittig H C, Maurer T L, Plant J N, et al. A BGC-Argo guide: planning, deployment, data handling and usage[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2019, 6: 502.
- [163] Xing Xiaogang, Boss E, Zhang Jie, et al. Evaluation of ocean color remote sensing algorithms for diffuse attenuation coefficients and optical depths with data collected on BGC-Argo floats[J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(15): 2367.
- [164] Boss E, Swift D, Taylor L, et al. Observations of pigment and particle distributions in the western North Atlantic from an autonomous float and ocean color satellite[J]. *Limnology and Oceanography*, 2008, 53(5part2): 2112–2122.
- [165] Haëntjens N, Boss E, Talley L D. Revisiting Ocean Color algorithms for chlorophyll *a* and particulate organic carbon in the Southern Ocean using biogeochemical floats[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2017, 122(8): 6583–6593.
- [166] Gittings J A, Raitos D E, Kheireddine M, et al. Evaluating tropical phytoplankton phenology metrics using contemporary tools[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 674.
- [167] Wojtasiewicz B, Hardman-Mountford N J, Antoine D, et al. Use of bio-optical profiling float data in validation of ocean colour satellite products in a remote ocean region[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 209: 275–290.
- [168] Terzić E, Miró A, Organelli E, et al. Radiative transfer modeling with biogeochemical-argo float data in the Mediterranean Sea[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2021, 126(10): e2021JC017690.
- [169] Xing Xiaogang, Boss E. Chlorophyll-based model to estimate underwater photosynthetically available radiation for modeling, *in-situ*, and remote-sensing applications[J]. *Geophysical Research Letters*, 2021, 48(7): e2020GL092189.
- [170] Wang Bin, Fennel K, Yu Liuqian, et al. Assessing the value of biogeochemical Argo profiles versus ocean color observations for biogeochemical model optimization in the Gulf of Mexico[J]. *Biogeosciences*, 2020, 17(15): 4059–4074.
- [171] Wang Bin, Fennel K. Biogeochemical-Argo data suggest significant contributions of small particles to the vertical carbon flux in the subpolar North Atlantic[J]. *Limnology and Oceanography*, 2022, 67(11): 2405–2417.
- [172] Johnson K S, Bif M B. Constraint on net primary productivity of the global ocean by Argo oxygen measurements[J]. *Nature Geoscience*, 2021, 14(10): 769–774.
- [173] 邱国强, 王海黎, 邢小罡. BGC-Argo 浮标观测在海洋生物地球化学中的应用[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2018, 57(6): 827–840.
- Qiu Guoqiang, Wang Haili, Xing Xiaogang. Application of BGC-Argo floats observation to ocean biogeochemistry[J]. *Journal of Xia-*

- men University (Natural Science), 2018, 57(6): 827–840.
- [174] Addey C I. Using Biogeochemical Argo floats to understand ocean carbon and oxygen dynamics[J]. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2022, 3(11): 739.
- [175] Davis C O, Tuffillaro N, Nahorniak J, et al. Evaluating VIIRS ocean color products for west coast and Hawaiian waters[C]//*Ocean Sensing and Monitoring V*. Baltimore: SPIE, 2013: 87240J.
- [176] Westberry T, Behrenfeld M J, Siegel D A, et al. Carbon-based primary productivity modeling with vertically resolved photoacclimation[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2008, 22(2): GB2024.
- [177] Westberry T K, Silsbe G M, Behrenfeld M J. Gross and net primary production in the global ocean: an ocean color remote sensing perspective[J]. *Earth-Science Reviews*, 2023, 237: 104322.
- [178] Gardner W D, Mishonov A V, Richardson M J. Global POC concentrations from *in-situ* and satellite data[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2006, 53(5/7): 718–740.
- [179] Loisel H, Nicolas J M, Deschamps P Y, et al. Seasonal and inter-annual variability of particulate organic matter in the global ocean[J]. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(24): 2196.
- [180] Nelson N B, Siegel D A, Michaels A F. Seasonal dynamics of colored dissolved material in the Sargasso Sea[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 1998, 45(6): 931–957.
- [181] Neuer S, Cianca A, Helmke P, et al. Biogeochemistry and hydrography in the eastern subtropical North Atlantic gyre. Results from the European time-series station ESTOC[J]. *Progress in Oceanography*, 2007, 72(1): 1–29.
- [182] Davenport R, Neuer S, Hernandez-Guerra A, et al. Seasonal and interannual pigment concentration in the Canary Islands region from CZCS data and comparison with observations from the ESTOC[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, 20(7): 1419–1433.
- [183] Neuer S, Ratmeyer V, Davenport R, et al. Deep water particle flux in the Canary Island region: seasonal trends in relation to long-term satellite derived pigment data and lateral sources[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 1997, 44(8): 1451–1466.
- [184] Davenport R, Neuer S, Helmke P, et al. Primary productivity in the northern Canary Islands region as inferred from SeaWiFS imagery[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2002, 49(17): 3481–3496.
- [185] Helmke P, Neuer S, Lomas M W, et al. Cross-basin differences in particulate organic carbon export and flux attenuation in the subtropical North Atlantic gyre[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2010, 57(2): 213–227.
- [186] Stramska M. The diffusive component of particulate organic carbon export in the North Atlantic estimated from SeaWiFS ocean color[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2010, 57(2): 284–296.
- [187] Song Qingjun, Chen Shuguo, Hu Lianbo, et al. Introducing two fixed platforms in the Yellow Sea and East China Sea supporting long-term satellite ocean color validation: preliminary data and results[J]. *Remote Sensing*, 2022, 14(12): 2894.
- [188] 史鑫皓, 陈树果, 林明森, 等. 中国海洋水色卫星传感器 COCTS HY-1D 产品初步评价[J]. *遥感学报*, 2023, 27(4): 943–952.
- Shi Xinhao, Chen Shuguo, Lin Mingsen, et al. Preliminary performance of the COCTS onboard HY-1D satellite in the global ocean[J]. *National Remote Sensing Bulletin*, 2023, 27(4): 943–952.
- [189] Field C B, Behrenfeld M J, Randerson J T, et al. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components[J]. *Science*, 1998, 281(5374): 237–240.
- [190] Mueller J L, Morel A, Frouin R, et al. Ocean optics protocols for satellite ocean color sensor validation, Revision 4[R]. Greenbelt, MD: Goddard Space Flight Space Center, 2003: 1–63.
- [191] IOCCG. IOCCG ocean optics and biogeochemistry protocols for satellite ocean colour sensor validation[R]. Dartmouth: International Ocean Colour Coordinating Group (IOCCG), 2018–2024.

附录

表 A1 名词缩写说明表
Table A1 Glossary of abbreviations

缩写	英文全称	中文全称
a_{CDOM}	Absorption coefficient by the colored dissolved organic matter	有色溶解有机物的吸收系数
AOD	Aerosol optical depth	气溶胶光学深度
AOP	Apparent optical property	表观光学属性
a_{dg}	Detrital plus CDOM absorption coefficient	碎屑与有色溶解有机物吸收系数之和
a_{nap}	Absorption coefficient by the non-algal particles	非藻类颗粒物吸收系数
a_{p}	Absorption coefficient by the particles	颗粒物吸收系数
a_{ph}	Absorption coefficient by the phytoplankton	浮游植物吸收系数
a_{tot}	Total absorption coefficient	总吸收系数
b_{bp}	Particulate backscattering coefficients	颗粒物后向散射系数
b_{btot}	Total backscattering coefficients	总后向散射系数
c_{tot}	Beam attenuation coefficient	光束衰减系数
c_{p}	Particulate attenuation coefficient	颗粒物衰减系数
CDOM	Colored dissolved organic matter	有色溶解有机物
Chl a	Chlorophyll- a	叶绿素- a
DOC	Dissolved Organic Carbon	溶解有机碳
E_{d}	Downward irradiance	下行辐照度
HPLC	High Performance Liquid Chromatography	高效液相色谱
K $_d$	Diffuse attenuation coefficient	漫射衰减系数
IOP	Inherent optical properties	固有光学属性
L_{w}	Water-leaving radiance	离水辐亮度
L_{wn}	Normalized water-leaving radiance	归一化离水辐亮度
PAR	Photosynthetically active radiation	光合有效辐射
PFT	Phytoplankton functional type	浮游植物功能类型
Pico- C_{phy}	Pico- Phytoplankton carbon	Pico级浮游植物碳
POC	Particulate organic carbon	颗粒有机碳
PON	Particulate organic nitrogen	颗粒有机氮
POP	Particulate organic phosphorus	颗粒有机磷
PP	Primary production	初级生产力
PSD	Particle size distribution	颗粒物粒径分布
R	Irradiance reflectance	辐照度反射率
R_{rs}	Remote sensing reflectance	遥感反射比
SDD	Secchi disk depth	透明度
TSM	Total suspended matter	总悬浮物

续表 A1

缩写	英文全称	中文全称
TSS	Total suspended solids	总悬浮固体
ρ_w	Water-leaving reflectance	离水反射率

表 A2 数据共享平台网址汇总

Table A2 Summary of data-sharing platform websites

章节	平台名称	网址[2023年11月]
2.1	《科学数据》(Scientific Data)	https://www.nature.com/sdata/
2.2	《地球系统科学数据》(Earth System Science Data)	https://www.earth-system-science-data.net/
2.3	地球与环境科学数据出版社—PANGAEA	https://www.pangaea.de/
2.4	开放数据发布平台—Dryad	https://datadryad.org/
2.5	数字图书馆—Zenodo	https://zenodo.org/
3.1	国际海洋数据和信息交换中心(IODE)	https://www.iode.org/
3.2	世界海洋数据库(WOD)	https://www.ncei.noaa.gov/products/world-ocean-database/
3.3	海洋数据网(SeaDataNet)	https://www.seadatanet.org/
3.4	国际海洋考察理事会(ICES)	https://www.ices.dk/
3.5	SeaWiFS生物光学档案和存储系统(SeaBASS)	https://seabass.gsfc.nasa.gov/
3.6	生物和化学海洋学数据管理办公室(BCO-DMO)	http://bco-dmo.org/
3.7	英国海洋数据中心(BODC)	https://www.bodc.ac.uk/
3.8	中国国家海洋科学数据中心	https://mds.nmdis.org.cn/
3.9	澳大利亚海洋数据网(AODN)	http://portal.aodn.org.au/
3.10	日本海洋数据中心(JODC)	https://www.jodc.go.jp/
3.11	加利福尼亚海洋渔业合作调查(CalCOFI)	https://calcofi.org/
3.12	近岸和海洋观察(CoastWatch • OceanWatch)	https://coastwatch.noaa.gov/insitu/insituSearch.html
3.13	中国南海海洋数据中心	http://data.scasio.ac.cn/
3.14	香港环境保护署环境保护互动中心	https://cd.epic.epd.gov.hk/EPICDI/
3.15	持续浮游生物记录(CPR)调查	https://www.cprsurvey.org/
3.16	帕尔默长期生态研究(Palmer LTER)	https://pallter.marine.rutgers.edu/
4.1	海洋光学浮标(MOBY)	https://mlml.sjsu.edu/moby/
4.2	长时间序列光学浮标(BOUSSOLE)	http://www.obs-vlfr.fr/Boussole/
4.3	气溶胶自动网络(AERONET)	https://aeronet.gsfc.nasa.gov/
4.4	生物地球化学剖面浮标(BGC-Argo)	https://biogeochemical-argo.org/
4.5	夏威夷海洋时间序列(HOT)	https://hahana.soest.hawaii.edu/hot/
	百慕大大西洋时间序列(BATS)	https://bats.bios.asu.edu/
4.6	欧洲加那利群岛海洋时间序列站(ESTOC)	https://plocan.eu/

Summary of sharing platforms for ocean color remote sensing *in situ* measurement data

Li Qiang^{1,2,3}, Tang Junwu^{2,4,5}, Ge Huaxin⁶, Wu Guojun^{2,4}, Jiang Lingling⁷, Shao Xiaopeng²

(1. School of Optoelectronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China; 2. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of Chinese Academy of Science, Xi'an 710119, China; 3. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China; 4. Laoshan Laboratory, Qingdao 266237, China; 5. College of Marine Technology, Faculty of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 6. Gosci Technology Group, Qingdao 266237, China; 7. College of Environment Science and Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: High-quality *in situ* measurement data is a prerequisite for the validation of ocean color remote sensing data products, algorithm development, and climate change research. The collection of *in situ* measurement data, however, typically requires a substantial investment of human, material and financial resources. The data collected by a single research team often insufficient to support long-term and large-scale research. Driven by the advances in scientific research of “big data”, several open-access data platforms, intergovernmental and national marine scientific data centers, as well as database platforms of major marine-related departments, have released diverse types of *in-situ* measurement data and shared them with users. This is aimed at giving full play to the value of *in-situ* measurement data and supporting the research on major scientific issues. It is difficult for data users to quickly understand and apply shared data from these platforms, because of the discrete distribution of datasets on different platforms, and differences in data collection time, regions, disciplinary categories, and acquisition methods. This results in a time-consuming and labor-intensive process of gathering relevant research data. Therefore, this paper compiles and organizes 29 database platforms from which parameters such as ocean optics, biogeochemistry can be obtained. These platforms store *in-situ* measurement data from the global ocean over the past century. This paper reviews the typical applications of these shared data in the research of ocean color remote sensing, and provides suggestions for data retrieval of commonly used parameters, with the aim of helping data users obtain research data quickly.

Key words: ocean color; ocean optics; bio-optics; *in situ* measurements; database; shared data; biogeochemistry