

基于 QA Score 的 GDPS 各个版本在黄海海域 GOCI 数据处理中的适应性分析

刘晓燕, 杨倩*, 刘巧君

齐鲁工业大学(山东省科学院), 山东省科学院海洋仪器仪表研究所, 山东 青岛 266000

摘要 水体的遥感反射比光谱($R_{rs}(\lambda)$)是海洋水色遥感反演海洋生物地球光学参数的关键,其定义是离水辐亮度与恰好水面之上的向下辐照度之比。海洋水色卫星传感器接收到的总信号中90%是大气的贡献,海洋水体贡献的离水辐亮度不足10%,因此对接收的信号进行大气校正获得高精度的水体遥感反射比信号是海洋光学遥感的关键技术之一。基于大量高质量的现场高光谱遥感反射比数据的基础上建立的 $R_{rs}(\lambda)$ 光谱数据的质量评价体系QA(quality assurance),可以通过计算 R_{rs} 的得分情况(QA score)很好地识别出有问题或可能错误的 $R_{rs}(\lambda)$ 光谱。GOCI(geostationary ocean color imager)是搭载在全球第一颗对地静止卫星COMS(communication ocean and meteorological satellite)上的主要传感器,由韩国海洋卫星中心(KOSC)发射,其高观测频次(8景观测数据/天)使生物地球化学参数的日变化监测成为可能。KOSC研发了GDPS(GOCI data processing system)软件专门用于GOCI数据处理,包括大气校正。到目前为止已为全球用户免费提供GDPS1.1, GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4, GDPS1.4.1, GDPS2.0六个版本。应用QA Score评价体系对于GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4.1, GDPS2.0四个版本在黄海海域处理得到的GOCI遥感反射比光谱数据的质量进行了评比。结果发现GDPS1.2的 R_{rs} 数据被视为无效的数据量明显大于GDPS1.3, GDPS1.4.1和GDPS2.0的处理结果;GDPS2.0的 R_{rs} 数据QA得分情况要差于GDPS1.2, GDPS1.3和GDPS1.4.1;GDPS1.3和GDPS1.4.1的数据处理结果基本相同,这与GDPS1.4在GDPS1.3的基础上只进行了软件模块化优化处理且修复了一些小问题的结果相吻合。基于该研究,黄海海域使用GOCI R_{rs} 数据时,如果 R_{rs} 波段比是首要考虑因素(如反演叶绿素a浓度)且对有效数据数量要求不高,可以使用GDPS1.2版本进行大气校正;如果更关心的是某个波段 R_{rs} 值,则使用GDPS2.0进行大气校正更合适。

关键词 海洋水色遥感; GOCI; GDPS; 黄海; 遥感反射比

中图分类号: P733.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2021)07-2233-07

引言

随着海洋水色遥感研究的发展,具有高采样频率和高空间覆盖率的卫星传感器对于海水生物光学性质和生物地球化学参数的研究起着重要的作用^[1]。对于生物光学特性复杂的近岸二类水体海域,由于浮游植物,悬浮物和有形可溶有机物等组成复杂,表现出较高的日变化动态^[2]。在很长一段时间里,国际上主要的海洋水色观测平台搭载在极轨卫星,例如SeaWiFS, MODIS, MERIS, VIIRS, OLCI等,一般1~2d甚至几天覆盖一次全球,无法对近岸海域短时间序列的时

空变化研究提供帮助。COMS(communication ocean and meteorological satellite)卫星发射于2010年,是全球第一颗对地静止的海洋水色卫星,GOCI(geostationary ocean color imager)是搭载在COMS卫星上的主要传感器。与传统的极轨水色卫星相比,GOCI每天可以提供8幅观测数据,使生物地球化学参数的日变化观测成为可能,有助于监测近岸海域水质、赤潮、绿潮等的短期变化^[3-4]。

水体光谱的遥感反射比(R_{rs}),定义为离水辐亮度与恰好水面之上的向下辐照度之比, R_{rs} 是水色遥感反演海水生物地球化学参数的关键,但不能直接在测量中取得,高精度的海洋遥感反演研究以及对这些性质的正确解释都需要精确

收稿日期:2020-07-31, 修订日期:2020-12-11

基金项目:国家自然科学基金项目(41206165, 11904191),山东省自然科学基金项目(ZR2019PD021, ZR2018QD004)资助

作者简介:刘晓燕,女,1989年生,齐鲁工业大学(山东省科学院)工程师 e-mail: liuxiaoyan@qlu.edu.cn

* 通讯作者 e-mail: qian.yang@ymail.com

的 R_{rs} 数据^[5-6]。海洋水色卫星传感器接收到的总信号中 90% 是大气的贡献, 海洋水体贡献的离水辐亮度不足 10%, 因此对接收的信号进行大气校正是海洋光学遥感的关键技术之一, 精确的大气校正是得到高精度的 R_{rs} 数据、实现高精度水色信息反演的前提^[7]。Gordon 等针对 I 类海洋清洁水提出了针对第一代水色遥感传感器 CZCS 和第二代传感器 SeaWiFs 的大气校正算法^[8-9]。第三代传感器 (MODIS, MERIS 等) 以后, 主要针对 II 类水体进行大气校正研究, 与一代二代在气溶胶散射反射处理上有差异^[10-11]。第四代水色传感器 (GOCI, VIIRS, OLCI 等) 也逐步发展了相应的大气校正业务化算法。目前国际上学者提出的近岸 II 类浑浊水体的大气校正算法有暗像元法^[12-13]、MUMM 法^[14]、亮像元法^[15-16]、神经网络法^[17]、光谱匹配法^[18]、光谱优化法^[19]等。

以往评价卫星海洋光学数据 (包含 R_{rs} 数据) 质量的常用方法是通过现场数据集印证, 进行误差分析, 如相对百分比误差、无偏绝对百分比误差和均方根误差等, 这些值传达了关于各种海洋光学观测数据总体质量的重要信息^[20-21]。然而, 单独的波段对比散点图的实际意义并不能明确地表达完整的 R_{rs} 光谱质量。Wei 等在基于大量高质量的现场高光谱遥感反射比数据的基础上建立了一个可以客观评估 R_{rs} 光谱质量的质量保证系统 (QA), 并使用 NOMAD 遥感反射比数据集、沿海和大洋的卫星遥感反射比数据对 QA 系统进行进一步测试, 结果显示有问题的或可能错误的 R_{rs} 光谱可以通过 QA 评价系统很好地识别出来^[22]。

GDPS (GOCI data processing system) 是专门为 2010 年 7 月发射的地球同步轨道海洋水色卫星 GOCI 传感器数据所设计的数据分析处理软件。GDPS 最初版本的开发开始于 2003 年, 并于 2008 年完成。GDPS 提供了两种不同的操作模式: 一种是服务器 (实时) 模式, 用于实时生成海洋水色数据和信息; 另一种是为所有公众开放的交互模式。截至目前, 韩国海洋卫星中心 (KOSC) 已为全球用户免费提供 GDPS1.1, GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4, GDPS1.4.1 和 GDPS2.0 六个版本。

本工作针对 GDPS 各个版本处理 GOCI 卫星数据的差异性, 选取了 GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4.1 和 GDPS2.0 四个版本, 基于 QA 评价体系结合现场实测数据对其处理结果在黄海海域的适应性进行了分析。

1 实验部分

1.1 GOCI 数据

GOCI (geostationary ocean color imager), 是搭载在韩国 COMS (communication ocean and meteorological satellite) 卫星上的主要传感器。COMS 发射于 2010 年, 是全球第一颗对地静止的海色卫星。它覆盖了中国渤海、黄海和部分东海海域, 每天可获取 8 景影像, 从当地时间早上 8 点到下午 3 点, 每小时一副影像。GOCI 影像的幅宽为 2 500 km × 2 500 km, 轨道高度 35 837 km, 空间分辨率 500 m, 波段范围为 0.412~0.865 μm (6 个可见光波段和 2 个近红外波段, 详见表 1)。与传统的极轨海色卫星相比, GOCI 的高频次观

测使得生物地球化学参数的日变化观测与研究成为可能。本文使用的是 2011 年和 2015 年 8 月的 GOCI L1B 数据。

表 1 GOCI 数据波段介绍

波段编号	中心波长/nm	带宽/nm
1	412	20
2	443	20
3	490	20
4	555	20
5	660	20
6	680	10
7	745	20
8	865	40

1.2 现场数据

图 1 是 2015 年 8 月 27 日—29 日与晴天的 GOCI R_{rs} 数据匹配的现场实验站位图, 现场测量实验应用高光谱辐射计测量了向上辐亮度剖面和向下辐照度剖面。一共有 4 个现场站位能与 GOCI 卫星数据匹配上。其匹配原则是空间尺度小于 500 m, 时间尺度小于 3 h。

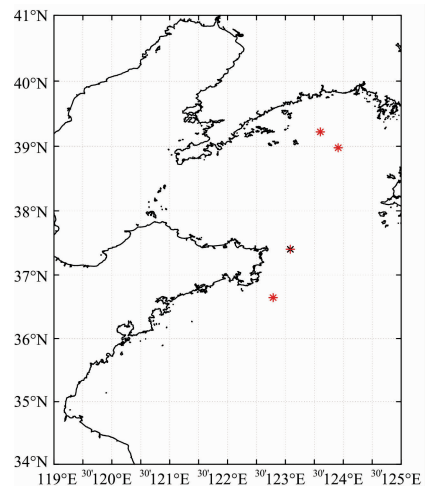


图 1 与 GOCI R_{rs} 数据匹配的实测数据的站位图

Fig. 1 The map of in-situ stations that matched with GOCI R_{rs} data

以 490 nm 为例, 其向下辐照度 $E_d(490, z)$ 和向上辐亮度 $L_u(490, z)$ 可以表示为式 (1) 和式 (2)

$$E_d(490, z) = E_d(490, 0-) \exp[-K_d(490) \times z] \quad (1)$$

$$L_u(490, z) = L_u(490, 0-) \exp[K_L(490) \times z] \quad (2)$$

其中, z 代表水面下的深度, $E_d(490, 0-)$ 和 $L_u(490, 0-)$ 分别为刚好在海面下的向下辐照度和向上辐亮度, $K_d(490)$ 和 $K_L(490)$ 分别为向下辐照度漫射衰减系数和向上辐亮度漫射衰减系数。根据式 (1) 和式 (2), 将 $E_d(490, z)$ 和 $L_u(490, z)$ 的测量数据分别进行曲线拟合, 可得 $E_d(490, 0-)$, $L_u(490, 0-)$, $K_d(490)$ 和 $K_L(490)$ 。将刚好在海面下向上辐亮度与刚好在海面下向上辐照度相比, 得到刚好在海面下的遥感反射比 $rrs(490)$, 利用海气界面的辐照度、辐亮度透过率, 以及海水

折射率等, 可以由 $r_{rs}(490)$ 推导出遥感反射比 $r_{rs}(490)$ 。利用该方法同样可得其他波段的遥感反射比数据 $R_{rs}(\lambda)$ 。

1.3 QA Score 方法

QA 体系主要取决于光学水体类型的聚类分析法, 也是 QA 体系的核心点。QA 质量评价体系建立及应用的步骤如下:

第一, 将大量作为参考 R_{rs} 谱的现场测量 R_{rs} 谱进行归一化处理, 得到 nR_{rs} 。

$$nR_{rs}(\lambda) = \frac{R_{rs}(\lambda)}{\left[\sum_{i=1}^N R_{rs}(\lambda_i)^2\right]^{1/2}} \quad (3)$$

式(3)中, N 为范围可从 1 到 9 的总波段数, λ_i 对应波长 412, 443, 488, 510, 531, 547, 555, 667, 678。 nR_{rs} 范围在 0 ~ 1 之间, 且保留了原始 R_{rs} 谱的谱形, 波段比与原始 R_{rs} 谱的比值相同。Wei^[22] 等使用了全球较多处海域的 958 组现场高光谱测量数据对其进行水体聚类分析。最终由间隙法确定最优聚类数量 $k=23$, 该结果与光学水体类型(OWT)数目正好一致。

第二, 得到 23 种光学水体九波段的归一化遥感反射率谱, 即 nR_{rs} 谱。通过 nR_{rs} 谱可以得到每一种水体每一波段 nR_{rs} 谱的上边界和下边界值, 并形成附表。除此之外, 在 nR_{rs} 谱中可以找到所谓的圆心点, 这个数据就是 nR_{rs} 谱的平均值。至此, QA 评价体系的关键部分: nR_{rs} 谱的平均值和 nR_{rs} 谱的上边界 nR_{rs}^U 、下边界 nR_{rs}^L 值就形成了。

第三, 给出一个目标 $R_{rs}^*(\lambda')$, 运用 QA 体系来评价。首先确定目标 $R_{rs}^*(\lambda')$ 的波段和 $nR_{rs}(\lambda)$ 的波段是否匹配。如果 $R_{rs}^*(\lambda')$ 的光谱波段比 $nR_{rs}(\lambda)$ 的多, 只选择与 $nR_{rs}(\lambda)$ 波长相同的波段进行进一步分析。如果 $R_{rs}^*(\lambda')$ 的光谱波段比 $nR_{rs}(\lambda)$ 的少(即波段总数少于 9), 那么需要先从 $nR_{rs}(\lambda)$ 中提取对应 λ' 的 $nR_{rs}(\lambda')$ 子集以及与其对应的光谱上边界 $nR_{rs}^U(\lambda')$ 子集和下边界 $nR_{rs}^L(\lambda')$ 子集。然后对目标光谱 $R_{rs}^*(\lambda')$ 应用式(3)进行归一化处理得到 $nR_{rs}^*(\lambda')$, 根据 Kruse^[23] 提出的 SAM(spectral angle mapper)谱相似性公式[式(4)], 为目标光谱 $nR_{rs}^*(\lambda')$ 分配水体类型。

$$\cos\alpha = \frac{\sum_{i=1}^N [nR_{rs}^* \cdot nR_{rs}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N [nR_{rs}^*(\lambda_i)]^2 \sum_{i=1}^N [nR_{rs}(\lambda_i)]^2}} \quad (4)$$

式(4)中, α 是参考光谱 nR_{rs} 与归一化的目标光谱 nR_{rs}^* 之间形成的夹角, SAM 能够通过将它们作为维度等于波段数 N 的空间向量来确定光谱相似性, 最大的余弦值对应的光谱水体类型就确定为目标光谱 nR_{rs}^* 的水体类型。

最后, 通过目标光谱 nR_{rs}^* 与水体类型光谱的上边界值和下边界值的比较来估算 QA 的分值[式(5)]。

$$C_{tot} = \frac{C(\lambda_1) + C(\lambda_2) + \dots + C(\lambda_N)}{N} \quad (5)$$

式(5)中, $C(\lambda_i)$ 是特定波长的分值, N 是 nR_{rs}^* 的总波段数。如果 $nR_{rs}^*(\lambda_i)$ 的值在 $nR_{rs}(\lambda_i)$ 的上($nR_{rs}^U(\lambda_i)$)或下($nR_{rs}^L(\lambda_i)$)边界之外, 这个波长得分将被赋值为 0, 即 $C(\lambda_i)=0$; 否则 $C(\lambda_i)=1$ 。由式(5)可知, nR_{rs}^* 的总分在 $[0, 1]$ 的范围内变化, 分数越高表示数据质量越好。

1.4 GDPS

韩国海洋卫星中心(KOSC)官网目前为全球用户免费提供 GDPS1.1, GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4, GDPS1.4.1 和 GDPS2.0 六个版本的安装程序。下载地址: http://kosc.kiost.ac.kr/eng/p30/kosc_p34.html。

GDPS 处理 GOCI 数据的大气校正业务化算法采用亮像元法, 是在 SeaWiFS 标准算法的基础上通过改进计算近红外(NIR)波段离水反射率的迭代模型实现的。由于 GOCI 没有短波红外(SWIR)波段, 因此 GDPS1.1 及 GDPS1.2 版本通过建立红波段与 NIR 离水反射率的经验关系来计算 NIR 离水反射率^[24], 见式(6)和式(7)

$$\rho_w(745) = \sum_{n=1}^5 j_n \rho_w^n(660) \quad (6)$$

$$\rho_w(865) = 1.936 \times \rho_w(745) \quad (7)$$

GDPS1.3 版本对上述算法进行了修改, 增加了离水反射率经验关系的计算阶数^[16], 见式(8)和式(9)。

$$\rho_w(745) = \sum_{n=1}^6 j_n \rho_w^n(660) \quad (8)$$

$$\rho_w(865) = \sum_{n=1}^2 k_n \rho_w(745) \quad (9)$$

GDPS1.4 版本在 GDPS1.3 版本的基础上主要进行了软件模块化的更新, 并修复了一些小问题。GDPS2.0 的大气校正则利用了气溶胶在不同波长之间的多次散射反射率的 SRAMS 光谱关系, 直接计算了近红外的多次散射反射率贡献。然后用 SRAMS 光谱估算气溶胶模型的近红外波段对可见光波段的反射贡献^[25]。多重散射气溶胶反射光谱与不同波长之间的光谱关系可以用多项式函数来建立, 见式(10)

$$\rho_w(\lambda_2) = \sum_{n=1}^D c_n \rho_w^n(\lambda_1) \quad (10)$$

对于 GOCI 数据, 各个 GOCI 波段的光谱关系总结如表 2 所示。

表 2 各个 GOCI 波段的光谱关系
Table 2 The spectral relationship of each GOCI data band

λ_1/nm	λ_2/nm	D
865	745	2
745	680	3
745	660	3
745	555	4
555	490	4
555	430	4
555	412	4

注: D 为计算阶数

2 结果与讨论

分别应用 GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4.1 和 GDPS2.0 四个版本处理了 2011 年 8 月黄海海域的 GOCI L1B 数据, 得到各个版本大气校正算法反演后的 R_{rs} , 然后利用 QA Score 对 GOCI 412, 443, 490, 555, 660 和 680 nm 六个波段进行评价, 计算了每个版本的 R_{rs} 数据的得分情况。

得分表示为 $n/6$ ($n=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$), 表征 6 个波段有 n 个波段的质量较好。

图 2 是 GOCI 数据经 GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4.1 和 GDPS2.0 处理后得到的同时空情况下 (共计 3 487 306 对数据) 的 R_{rs} 的 QA 得分的概率统计柱状图(a)和曲线图(b)。横坐标表示经过 QA 评价体系计算的 GOCI R_{rs} 的得分, 纵坐标表示每个得分出现的概率。不同 GDPS 版本处理的 R_{rs} 数据的 QA 得分概率详细情况见表 3。可以看出 GDPS1.2 处理得到的 R_{rs} 得分值为 5/6 和 1 的概率 (68.990%) 要远大于 GDPS1.3 (55.490%), GDPS1.4.1 (56.074%) 和 GDPS2.0 (18.096%)。GDPS1.3, GDPS1.4.1 处理得到的 R_{rs} 各个得分的分布概率差别不大。GDPS2.0 处理得到的 R_{rs} 的高 QA 得分相比其他三个版本较差。

将 2015 年 8 月 27 日—29 日的四个版本的 GOCI R_{rs} 数据与现场实测的 R_{rs} 数据 (图 1 所示站位) 进行匹配分析得到结果如图 3 所示。匹配原则是: 空间距离不超过 500 m, 时间

距离不超过 ± 3 h。共得到 22 组符合时空条件的匹配数据, 图 3 仅显示了其中的 4 组匹配数据的曲线图。

表 3 GDPS 各个版本处理的 R_{rs} 数据的 QA 得分分布概率

Table 3 R_{rs} data's QA score distribution probability processed by four GDPS versions

Frequency/%	Version			
	GDPS1.2	GDPS1.3	GDPS1.4.1	GDPS2.0
0	0.12	0.030	0.060	2.667
1/6	0.46	0.866	0.711	6.587
2/6	1.34	4.466	3.997	17.874
3/6	5.35	13.134	13.706	25.790
4/6	23.74	26.014	25.452	28.986
5/6	31.24	25.840	25.804	10.680
1	37.75	29.650	30.270	7.417

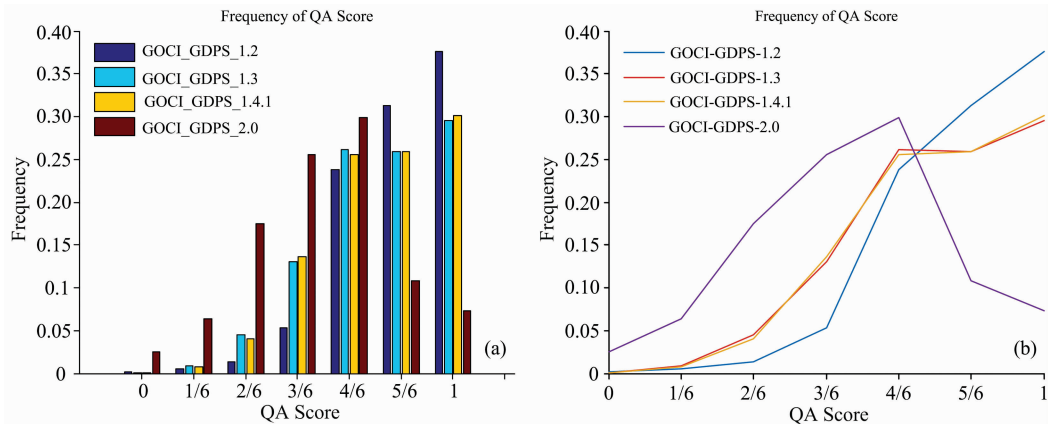


图 2 GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4.1, GDPS2.0 处理 GOCI R_{rs} 数据在黄海海域 QA 得分统计概率分布图

(a): GOCI R_{rs} 数据 QA 得分柱状图; (b): GOCI R_{rs} 数据 QA 得分曲线图

Fig. 2 Statistical probability distribution of QA score of GOCI R_{rs} data processed by GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4.1 and GDPS2.0 in Yellow Sea

(a): Histogram figure of QA score of R_{rs} data; (b): Graph figure of QA score of R_{rs} data

由图 3 (a—d) 与现场实测 R_{rs} 曲线比较, 可以发现 GDPS1.2, GDPS1.3 和 GDPS1.4.1 处理得到的 GOCI R_{rs} 光谱曲线在曲线形状上优于 GDPS2.0。并且其 QA 得分也相应高于 GDPS2.0。但是 GDPS2.0 的 R_{rs} 处理结果在 550nm 以后的波段的 R_{rs} 数值要更加逼近实测的 R_{rs} 数值。

通常得到 R_{rs} 数据只是科学研究的第一步, 很多研究内容则会用到 R_{rs} 不同波段数据的比值运算, 例如叶绿素反演的经典算法 OC2M-H 中就使用了 R_{rs} (469) 与 R_{rs} (555) 的波段比值 [记为 $R_{rs-chla} = R_{rs}(469)/R_{rs}(555)$]。将由 GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4.1, GDPS2.0 处理得到的 R_{rs} (469), R_{rs} (555), $R_{rs}(469)/R_{rs}(555)$ 值分别与实测数据值进行了比较, 并定义平均百分比偏差表达式 ϵ [式 (11)] 对其进行分析, 结果分别如图 4 (a, b, c) 所示。

$$\epsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z_{gdps} - z_{insitu}] / [z_{gdps} + z_{insitu}] \times 200\% \quad (11)$$

图 4 (a, b, c) 详表明在 469 nm 波段, 各个版本的 GDPS

得到的 R_{rs} (469) 的值与实测数据之间都存在较大的绝对偏差, 但是偏差值相差不大; 但是在 555 nm 波段, 各个版本的 GDPS 得到的 R_{rs} (555) 的值与实测数据之间的绝对偏差存在较大差异, 其中 GDPS2.0 的结果 ($\epsilon = 14.53\%$) 要明显优于 GDPS1.2 ($\epsilon = 49.04\%$), GDPS1.3 ($\epsilon = 47.93\%$), GDPS1.4.1 ($\epsilon = 47.93\%$) 的结果。然而对这两个波段进行波段比值运算的时候, GDPS1.2 ($\epsilon = 19.50\%$) 处理得到的结果优于 GDPS1.3, GDPS1.4.1, GDPS2.0, 并且 GDPS2.0 的结果最差, 平均绝对偏差高达 45.49%。GDPS1.3 和 GDPS1.4.1 的结果稍差于 GDPS1.2, 平均绝对偏差为 20.82%。这也说明了传统的单独的波段对比结果的实际意义并不能明确地表达完整的 R_{rs} 光谱的质量。

图 5 (a—d) 分别展示了 2015.08.27.04:16 时刻 GOCI 在黄海海域的 R_{rs} 数据 QA 得分的空间分布情况。可以看出在 GDPS1.2 版本在处理 GOCI 数据大气校正的时候被视为无效的数据量 (图中海洋里的空白数据) 要大于 GDPS1.3,

GDPS1.4.1 和 GDPS2.0。在黄海海域的 GOCI 数据拼接处的 R_{rs} QA 得分 GDPS1.2 的结果要明显高于 GDPS1.3, GDPS1.4.1 和 GDPS2.0。

3 结 论

鉴于目前 GOCI 数据的官方处理软件 GDPS 已有多个版

本,并且有几个版本所使用的大气校正方法有所差异。为了对各个版本处理得到的 R_{rs} 数据进行质量评价分析,本研究应用 QA Score 质量评价体系分别对 GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4.1, GDPS2.0 四个版本处理的 2011 年 8 月的黄海海域 GOCI R_{rs} 数据的 QA 得分情况进行了比较分析。结果显示 GDPS1.2 的 R_{rs} 数据被视为无效的数据量明显大于 GDPS1.3, GDPS1.4.1 和 GDPS2.0 的处理结果;GDPS2.0

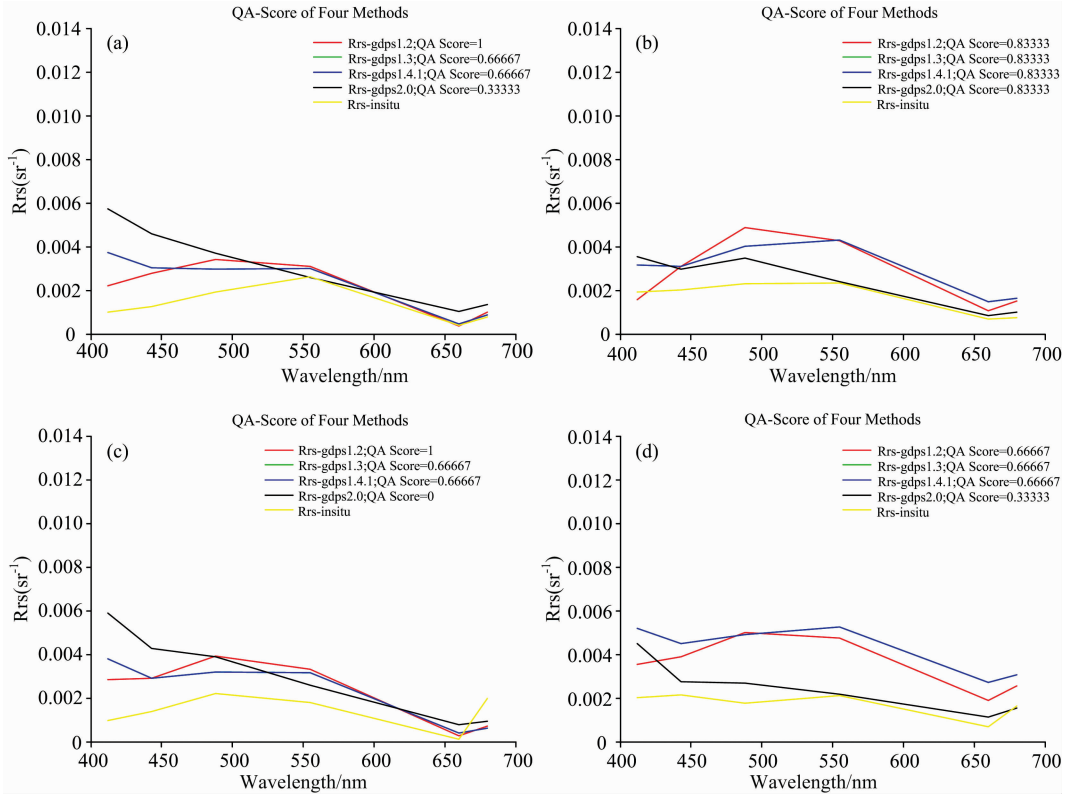


图 3 GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4.1, GDPS2.0 处理 GOCI 得到的 R_{rs} 数据与四个站点的实测数据的对比分析图
GDPS1.3(绿线)、GDPS1.4.1(蓝线)得到的 R_{rs} 曲线重合;(a),(b),(c),(d)分别对应图中从北到南四个站点对比结果

Fig. 3 Comparison analysis figures of R_{rs} data obtained from GOCI data processed by GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4.1 and GDPS2.0 with the in-situ measured R_{rs} data of four stations

The GOCI R_{rs} spectra obtained by GDPS1.3(green line) and GDPS1.4.1(blue line) are coincident

(a), (b), (c), (d) correspond to the comparison results of the four stations from north to south in Figure 1 respectively

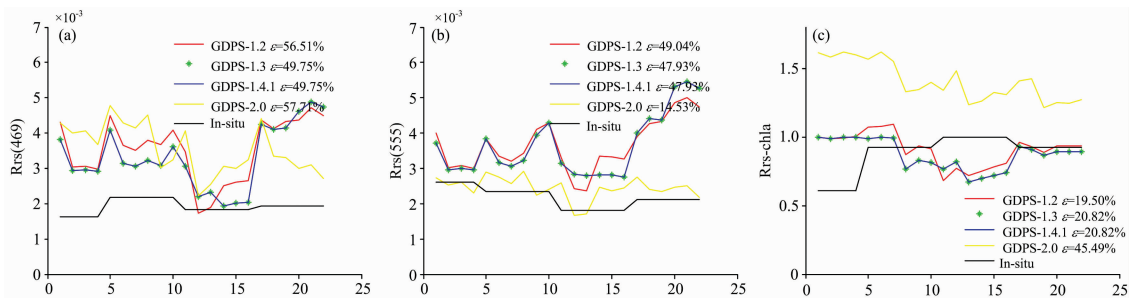


图 4 (a)469 nm 波段各版本 GDPS 处理得到的 R_{rs} 值与现场实测数据之间的对比结果;(b)555 nm 波段各版本 GDPS 处理得到的 R_{rs} 值与现场实测数据之间的对比结果;(c)各版本 GDPS 处理得到的 $R_{rs-chla}$ 与现场实测数据得到的 $R_{rs-chla}$ 的对比图

Fig. 4 (a) Comparison results between R_{rs} values processed by four GDPS versions of 469nm and field measured data; (b) Comparison results between R_{rs} values processed by four GDPS versions of 555 nm and field measured data; (c) Comparison results between $R_{rs-chla}$ obtained from $R_{rs}(469)$ and $R_{rs}(555)$ processed by four GDPS versions and $R_{rs-chla}$ data obtained from field measured data

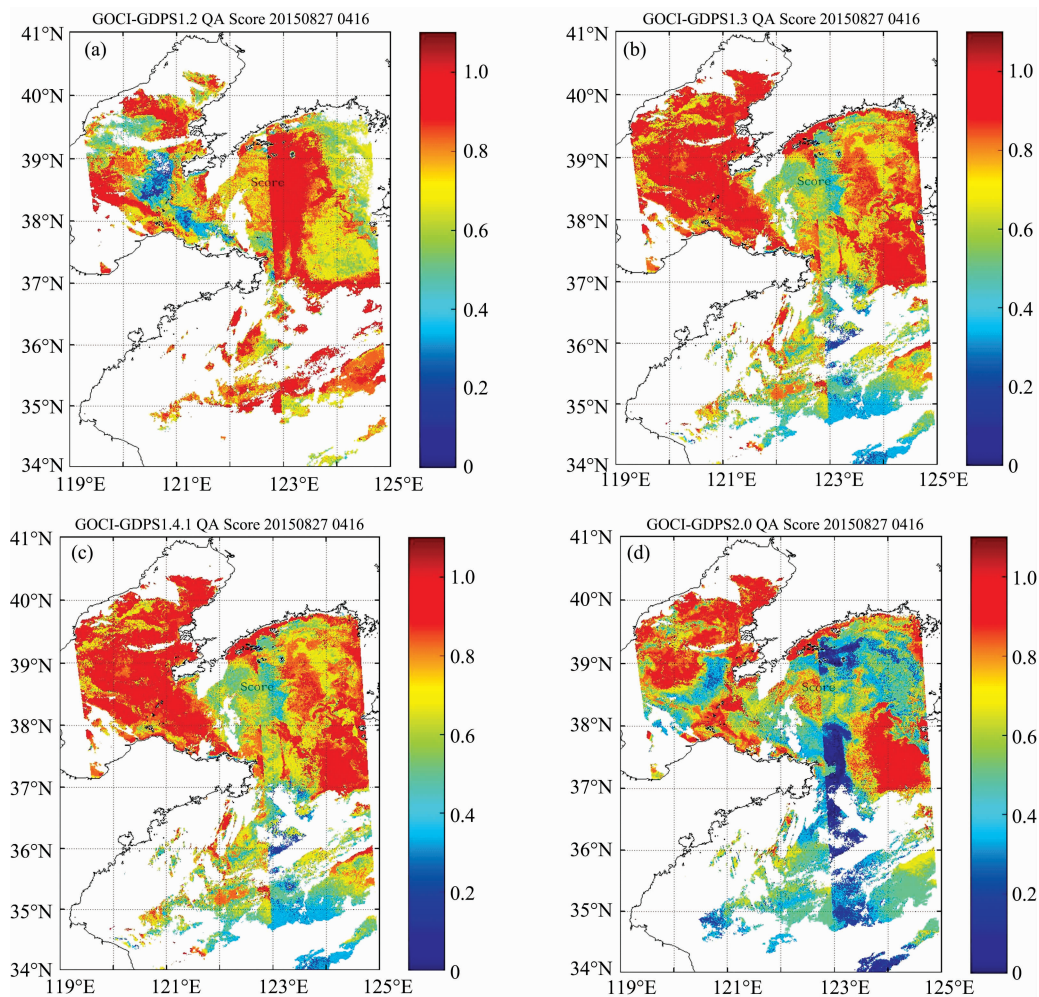


图 5 (a) GDPS1.2, (b) GDPS1.3, (c) GDPS1.4.1, (d) GDPS2.0 处理 GOCI(2015.08.27 04:16) R_{rs} 数据应用 QA 评价体系在黄海海域的 QA 得分分布图

Fig. 5 Distribution figures of GOCI R_{rs} 's QA score calculated by QA evaluation system in Yellow Sea (2015.08.27 04:16). The GOCI R_{rs} data processed by GDPS1.2 (a), GDPS1.3 (b), GDPS1.4.1 (c) and GDPS2.0 (d) respectively

的 R_{rs} 数据 QA 得分情况要差于 GDPS1.2, GDPS1.3 和 GDPS1.4.1; GDPS1.3 和 GDPS1.4.1 的数据处理结果基本相同, 这与 GDPS1.4 在 GDPS1.3 的基础上只进行了软件模块化优化处理且修复了一些小问题的结果相吻合。因此建议在黄海海域应用 GOCI 数据进行一些科学研究的时候, 如果是 R_{rs} 的曲线形状有关的运算为主(例如, 波段比值运算)

且不追求大面积有效数据时以 GDPS1.2 版本来处理 GOCI L1B; 如果是 R_{rs} 的曲线形状有关的运算为主且需要有大面积有效数据时以 GDPS1.4.1 版本来处理 GOCI L1B; 如果是 R_{rs} 的某个波段(特别大于等于 550 nm)的 R_{rs} 数值而不涉及波段比值时以 GDPS2.0 版本来处理 GOCI L1B 以进行后续的研究。

References

- [1] Sathyendranath Shubha, Arnone Robert, Babin Marcel. Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 3, 2000. 140
- [2] Morel A, Prieur L. Limnol. Oceanogr, 1977, 22: 709.
- [3] Yang Qian, Du Libin, Liu Xiaoyan, et al. Proceedings of SPIE—The International Society for Optical Engineering, 2014. 9261.
- [4] Kim W, Moon J, Park Y, et al. Remote Sens. Environ., 2016, 184: 482.
- [5] Lee Z P, Carder K L, Arnone R. Appl. Opt., 2002, 41(27): 5755.
- [6] Wei J, Lee Z P. Appl. Opt., 2015, 54(4): 636.
- [7] HUANG Xiao-can, ZHU Jian-hua, LI Tong-ji(黄筱灿, 朱建华, 李铜基). Journal of Ocean Technology(海洋技术学报), 2018, 37(6): 118.

- [8] Gordon H R. *Applied Optics*, 1978, 17(10): 1631.
- [9] Gordon H R, Wang Menghua. *Applied Optics*, 1994, 33(3): 443.
- [10] Antoine D, Morel A. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, 20(9): 1875.
- [11] Antoine D, Morel A. *Applied Optics*, 1998, 37(12): 2245.
- [12] He Xianqiang, Bai Yan, Pan Delu. *Optics Express*, 2012, 20(18): 20754.
- [13] Wang Menghua, Shi Wei. *Applied Optics*, 2007, 46(9): 1535.
- [14] Ruddick K G, Ovidio F, Rijkeboer M. *Applied Optics*, 2009, 39(6): 897.
- [15] Moore G F, Aiken J, Lavender S J. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, 20(9): 1713.
- [16] Ahn J H, Park Y J, Ryu J H, et al. *Ocean Science Journal*, 2012, 47(3): 247.
- [17] Doerffer R, Schiller H. GKSS Research Center, 21502 Geesthacht, 2008, 28(2): 517.
- [18] Gordon H R, Du Tao, Zhang Tingmin. *Applied Optics*, 1997, 36(33): 8670.
- [19] Garver S A, Siegel D A. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(C8): 18607.
- [20] Bailey S W, Werdell P J. *Remote Sens. Environ.*, 2006, 102(1-2): 12.
- [21] Zibordi G, Berthon J F, Melin F, et al. *Remote Sens. Environ.*, 2009a, 113: 2574.
- [22] Wei Jianwei, Lee Zhongping, Shang Shaoling. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2016, 121(11): 8189.
- [23] Kruse F A, Lefkoff A B, Boardman J B, et al. *Remote Sens. Environ.*, 1993, 44: 145.
- [24] ARyu J H, Han H J, Cho S. *Ocean Science Journal*, 2012, 47(3): 223.
- [25] Jae-Hyun Ahn, Young-Je Park, Wonkook Kim. *Opt Express*, 2016, 24(26): 29659.

Adaptability Analysis of Various Versions of GDPS Based on QA Score for GOCI Data Processing in the Yellow Sea

LIU Xiao-yan, YANG Qian* , LIU Qiao-jun

Institute of Oceanographic Instrumentation, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Qingdao 266000, China

Abstract Spectral remote-reflectance sensing ($R_{rs}(\lambda)$) is significant to the retrieval of ocean bio-optical properties from ocean color. $R_{rs}(\lambda)$ is defined as the ratio of water-leaving radiance to the downward irradiance just above the water surface. About 90% of the total signal received by ocean color sensor is contributed by the atmosphere, while only less than 10% is contributed by ocean water. Therefore, the process of atmospheric correction is an essential part of ocean color remote sensing to get accurate remote-sensing reflectance. Based on a large number of high-quality on-site hyper-spectral remote-reflectance sensing data, a QA (Quality Assurance) evaluation system for R_{rs} data has been established to diagnose problematic or possibly wrong R_{rs} spectra by calculating R_{rs} QA scores. GOCI (Geostationary Ocean Color Imager) is the main sensor on the world's first geostationary satellite COMS (Communication Ocean and Meteorological Satellite), launched by the Korea Ocean Satellite Center (KOSC). Its high observation frequency (8 observation survey Data/day) makes it possible to monitor daily changes in biogeochemical parameters. KOSC developed GDPS (GOCI Data Processing System) software for GOCI data processing, within which atmospheric correction algorithm is integrated. The versions GDPS1.1, GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4, GDPS1.4.1 and GDPS2.0 have been published and provided for free. In this paper, a QA Score evaluation system was applied to evaluate the quality of GOCI remote-sensing reflectance product processed by GDPS1.2, GDPS1.3, GDPS1.4.1 and GDPS2.0 in the China Yellow Sea. It showed that the amount of valid R_{rs} data from GDPS1.2 was significantly less than that either from GDPS1.3, GDPS1.4.1 or GDPS2.0. The QA score of R_{rs} data from GDPS2.0 was lower than that of GDPS1.2, GDPS1.3 or GDPS1.4.1. It makes sense that the QA score of R_{rs} from GDPS1.3 and GDPS1.4.1 are the same. Because compared to GDPS1.3, only software modularization is optimized, and some minor problems are fixed in GDPS1.4. Based on our results, when applying GOCI R_{rs} data to the Yellow Sea, it is suggested that if R_{rs} ratio is the first-order parameter (i. e., retrieving chl-a concentration) and there is no requirement of valid data amount, atmospheric correction codes in GDPS 1.2 can be selected to used to get R_{rs} . If R_{rs} data at a certain wavelength is concerned, GDPS2.0 is more suitable for processing GOCI data.

Keywords Ocean color remote sensing; GOCI; GDPS; Yellow Sea; Remote-reflectance sensing

* Corresponding author

(Received Jul. 31, 2020; accepted Dec. 11, 2020)