

# 鄱阳湖叶绿素 a 浓度数据集 (2009–2012)

王卷乐<sup>1\*</sup>, 张永杰<sup>1</sup>, 杨 飞<sup>1</sup>, 曹晓明<sup>2</sup>, 柏中强<sup>1,3</sup>, 祝俊祥<sup>1,3</sup>,  
陈二洋<sup>1,4</sup>, 李一凡<sup>1,3</sup>, 冉盈盈<sup>4</sup>

1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;
2. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 3. 中国科学院大学, 北京 100101;
4. 中国矿业大学, 北京 100083

**摘 要:** 叶绿素 a 浓度是水体富营养化的重要指标。本数据集通过鄱阳湖水体光谱信息实地采集, 分析了其实测光谱特征, 构建了光谱指数, 结合叶绿素 a 浓度实测数据, 采用了最小二乘方法, 回归分析得到了敏感波段区间; 利用 MODIS 数据采用半经验、经验方法分期得到了 2009–2012 年鄱阳湖叶绿素 a 浓度估算模型, 并对其结果进行了精度验证; 最后得到鄱阳湖 2009 至 2012 年 1 月、4 月、7 月和 10 月的叶绿素 a 浓度分布数据。数据结果表明, 2009–2012 年鄱阳湖叶绿素 a 浓度总体呈波动缓慢上升趋势, 每年 12 月–2 月浓度最低, 3–7 月较快上升达到峰值, 8–11 月开始回落; 空间分布上叶绿素 a 浓度的高值区多分布在近岸水域、五湖入湖口水域, 且浓度越高的季节, 空间波动变化特征越显著。该数据集由 3 次实测数据和 16 个月度反演叶绿素 a 浓度数据产品组成。数据格式为.tif 和.xlsx, 压缩后数据量为 1.71 MB。

**关键词:** 水色遥感; 叶绿素 a; 鄱阳湖; 反演模型; 时空分布

**DOI:** 10.3974/geodp.2017.02.12

## 1 前言

鄱阳湖是我国最大的淡水湖, 在防洪调蓄、保护生物多样性等方面发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。水体中叶绿素 a 含量的高低能够反映水体初级生产力状况, 同时它也是评价水体富营养化程度的一个重要指标。常规的叶绿素 a 监测和分析过程复杂、周期长, 耗费大量人力物力, 而且还受气象等自然条件的限制, 难以动态监测大范围水域的叶绿素 a 浓度的分布和变化情况。利用遥感手段进行鄱阳湖叶绿素 a 浓度的监测具有监测广、成本低和便于长期动态监测的优势。

## 2 数据集元数据简介

鄱阳湖叶绿素 a 浓度数据集 (2009–2012)<sup>[2]</sup>的数据集名称、短名名称、作者、地理区域、数据年代、数据空间分辨率、数据出版单位、数据共享政策等信息一并列于表 1。

收稿日期: 2015-06-12; 修订日期: 2016-06-08; 出版日期: 2017-06-25

基金项目: 中华人民共和国环境保护部 (201109075); 中国工程院 (CKCEST-2016-3-7)

\*通讯作者: 王卷乐 R-8881-2016, 中国科学院地理科学与资源研究所, wangjl@lreis.ac.cn

论文引用格式: 王卷乐, 张永杰, 杨飞等. 鄱阳湖叶绿素 a 浓度数据集 (2009–2012) [J]. 全球变化数据学报, 2017, 1(2): 208–215. DOI: 10.3974/geodp.2017.02.12.

数据集引用格式: 王卷乐, 张永杰, 杨飞等. 鄱阳湖叶绿素 a 浓度数据集 (2009–2012) [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2014. DOI: 10.3974/geodb.2014.02.08.V1.

表 1 鄱阳湖叶绿素 a 浓度数据集（2009–2012）元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	鄱阳湖叶绿素 a 浓度数据集（2009–2012）
数据集短名	Chlorophyll-a Concen of Poyang Lake, China
作者信息	王卷乐 R-8881-2016, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, wangjl@lreis.ac.cn 张永杰 S-1642-2016, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, yongjie1218@163.com 杨 飞 S-1413-2016, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, yangfei@lreis.ac.cn 曹晓明 R-9449-2016, 中国林业科学研究院荒漠化研究所, caoxm1027@gmail.com 柏中强 S-1951-2016, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, wterrybzq@163.com 祝俊祥 R-9443-2016, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, zhujx@lreis.ac.cn 陈二洋 S-1107-2016, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, cheney@lreis.ac.cn 李一凡 R-8984-2016, 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, lyf@lreis.ac.cn 冉盈盈 S-1004-2016, 中国矿业大学, wsranyingying@163.com
地理区域	中国鄱阳湖地区（28°22'N–29°45'N, 115°47'E–116°45'E）
数据年代	2009–2012 年
空间分辨率	250 m
数据格式	.tif, .xlsx, .rar
数据量	原始数据为 12.2 MB，压缩后为 1.71 MB
数据集组成	本数据集由实测数据和反演数据组成：（1）实测数据，分别为 2011 年 10 月、2012 年 7 月和 2012 年 10 月三次到实测站点测量的位置信息和光谱数据。存储为.xlsx 文件，共 758 KB；数据压缩为 In-situData.rar，703 KB；（2）反演数据，共包括 16 个 2009–2012 年的鄱阳湖叶绿素 a 浓度的数据文件，.tif 格式，共 11.4 MB；压缩为 Chlorophyll-a Concen of Poyang Lake.rar，1.02 MB
基金项目	中华人民共和国环境保护部（201109075）；中国工程院（CKCEST-2016-3-7）
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 <a href="http://www.geodoi.ac.cn">http://www.geodoi.ac.cn</a>
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、实体数据（中英文）和通过《全球变化数据学报》（中英文）发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报》（中英文）编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 <sup>[3]</sup>

3 数据研发方法

3.1 实测数据

本数据集形成过程中共进行了 3 次水质采样和同步水体光谱测量工作<sup>[4-5]</sup>, 时间分别为 2011 年 10 月, 2012 年 7 月和 2012 年 10 月。对应的采样站点的地理位置和海拔高度等信息列于数据文件中。表 2、表 3 为 2011 年 10 月采样点的地理信息(节选)。3 次采样的光谱曲线如图 1-图 3 所示。

表 2 2011 年 10 月 25 个实测点的地理位置和海拔高度数据表(节选)

ID	测量日期	测量时间	经度 (°E)	纬度 (°N)	海拔高度 (m)	注释
1	10.16	11:55-12:05	116.400,916,7	29.053,81	13	瓢山
2	10.16	12:20-12:30	116.379,722,2	29.069,30	12	瓢山与棠荫之间
5	10.15	16:35-16:43	116.083,625,0	29.250,16	8	都昌与饶河口之间
...	...	...	...	...	...	...
25	10.17	12:48	116.276,360,0	29.796,68	16.5	湖口

注: 全部数据见 In\_SITU\_LOCATION\_201110.xlsx。

3.2 实测点数据的节选

表 3 2011 年 10 月 25 个实测数据表(节选)

波长 (nm)	1	2	5	6	...	长江 0 号
325	0.009,51	0.004,204	0.002,356	0.010,482	...	0.008,174
326	0.008,938	0.003,997	0.003,548	0.011,104	...	0.008,895
327	0.008,650	0.004,129	0.003,777	0.011,224	...	0.009,337
328	0.008,837	0.004,252	0.003,323	0.010,966	...	0.009,463
...	...	...	...	...	...	...
1,050	0.076,226	0.006,099	-0.036,280	0.005,943		0.002,600

注: 全部数据见 In\_SITU\_DATA\_201110.xlsx。

3.3 由实测点到湖泊面数据反演方法

2009-2012 年鄱阳湖叶绿素 a 浓度的反演模型采用半经验、经验方法分期进行构建。基于实测光谱信息, 在水体光谱特性的分析的基础上, 利用实测光谱数据寻找敏感波段区间, 将敏感波段区间所在的各个 MODIS 通道的反射率与叶绿素 a 浓度进行回归分析, 逐季(1 月代表冬季、4 月代表春季、7 月代表夏季、10 月代表秋季)以 MODIS 数据波段各种组合为光谱指数, 分别建立光谱指数与叶绿素 a 浓度的回归关系, 选择决定系数最大、均方根误差最小的模型作为叶绿素 a 浓度的反演模型。数据研发方法详见文献[1]和[6]。表 4 为建立的 2009-2012 年鄱阳湖叶绿素 a 浓度分期反演模型。

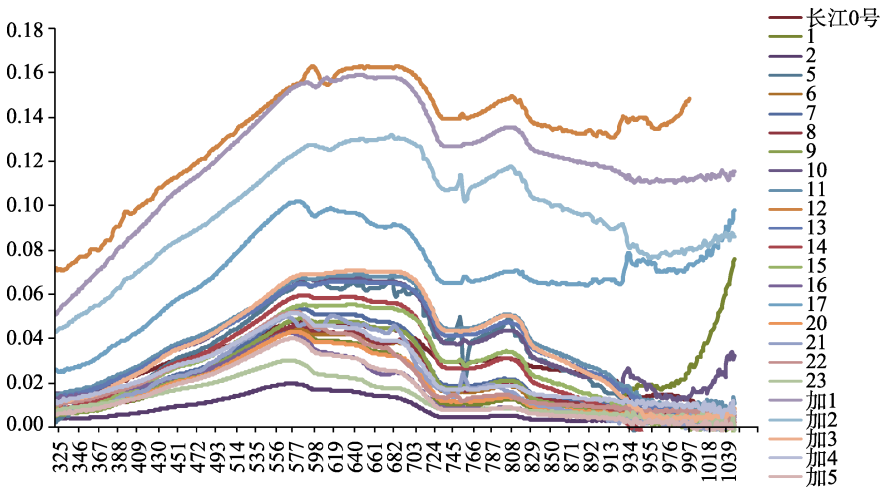


图 1 2011 年 10 月在鄱阳湖取样数据光谱曲线图

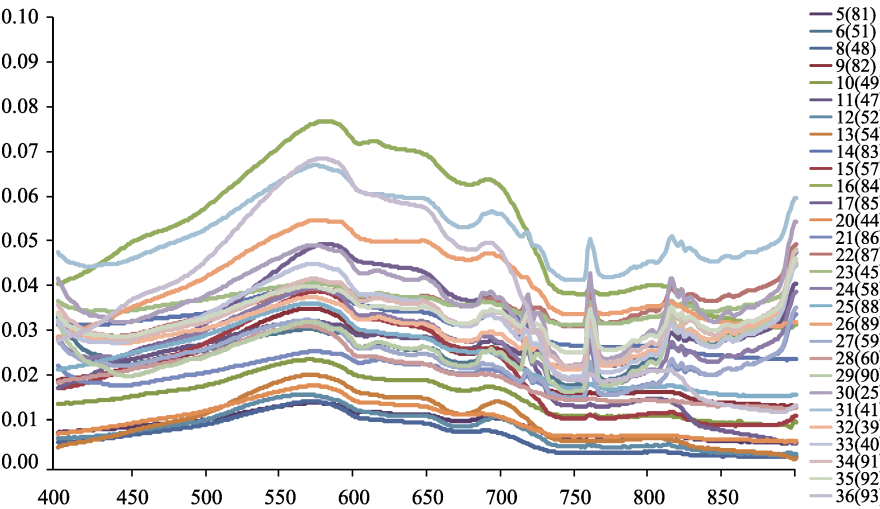


图 2 2012 年 7 月在鄱阳湖取样光谱曲线图

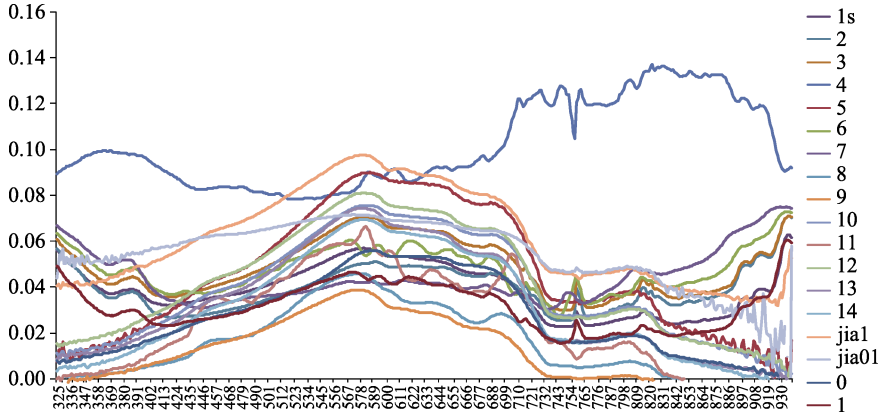


图 3 2012 年 10 月在鄱阳湖取样光谱曲线图

注：图 1、图 2、图 3 中横坐标表示波段的波长；纵坐标表示光谱反射率；曲线表示每一个采样点的光谱曲线。

表 4 2009–2012 年鄱阳湖叶绿素 a 浓度回归模型

模型指数	反演模型	月份	$R^2$	RMSE	F	P
$X=B1/(B2+B3+B4)$	$Y=0.7969EXP(-2.6605X)$	2012 年 1 月	0.453	0.27	7.44	0.023,2
$X=B1/(B2+B3+B4)$	$Y=19.148EXP(-3.235X)$	2012 年 4 月	0.513	2.11	13.68	0.002,7
$X=B1/(B3+B4)$	$Y=741.57EXP(-7.923X)$	2012 年 7 月	0.678	2.22	107.23	3.8E-14
$X=B1-B4$	$Y=3.354EXP(-45.39X)$	2012 年 10 月	0.714	0.95	32.49	7.3E-05
$X=B1/(B2+B3+B4)$	$Y=66.414EXP(-4.925X)$	2011 年 1 月	0.678	1.64	14.71	0.006,4
$X=B1/(B2+B3+B4)$	$Y=24.77EXP(-4.632X)$	2011 年 4 月	0.724	2.73	26.25	0.000,4
$X=B1/(B2+B3+B4)$	$Y=26.606EXP(-4.093X)$	2011 年 7 月	0.793	1.49	33.366,9	0.000,1
$X=B4/(B1+B2+B3)$	$Y=31.514EXP(-5.69X)$	2011 年 10 月	0.670	1.89	30.45	5.9E-05
$X=B4/(B1+B2+B3)$	$Y=23.967EXP(-10.65X)$	2010 年 1 月	0.538	0.28	15.14	0.001,9
$X=B1/(B3+B4)$	$Y=36.974EXP(-5.181X)$	2010 年 4 月	0.598	0.44	14.88	0.003,0
$X=B1/(B3+B4)$	$Y=433.24X^2-458.458X+123.97$	2010 年 7 月	0.813	1.93	21.71	0.000,23
$X=B1/(B2+B3+B4)$	$Y=958.32EXP(-10.59X)$	2010 年 10 月	0.702	3.16	16.45	0.004,8
$X=B4/(B1+B2+B3)$	$Y=4.1263EXP(-3.171X)$	2009 年 1 月	0.462	0.38	10.32	0.007,5
$X=B4/(B1+B2+B3)$	$Y=7.4876EXP(-2.318X)$	2009 年 4 月	0.490	1.10	12.48	0.003,8
$X=B1/(B3+B4)$	$Y=53.959EXP(-4.854X)$	2009 年 7 月	0.538	1.66	18.64	0.000,5
$X=B1/(B2+B3+B4)$	$Y=19.174EXP(-3.053X)$	2009 年 10 月	0.693	1.08	18.02	0.002,8

4 数据结果与验证

4.1 数据结果

鄱阳湖叶绿素 a 浓度反演结果如图 4 所示。

2009 年 1 月份鄱阳湖叶绿素浓度在 0–3  $\mu\text{g/L}$  之间，最大值仅 2.9  $\mu\text{g/L}$ ，相对较高值分布在中南部五河入湖口水域、北部近岸水域，湖中心浓度值偏低<sup>[6]</sup>；4 月浓度有所上升，在 0–5  $\mu\text{g/L}$  之间，最大值为 4.9  $\mu\text{g/L}$ ，该月份中部偏西、北部近岸水域出现相对高值，湖中心浓度值偏低；7 月浓度值达到最高值，在 5–30  $\mu\text{g/L}$  之间，最大值为 29.8  $\mu\text{g/L}$ ；10 月浓度有所下降，在 0–16  $\mu\text{g/L}$  之间，最大值为 15.8  $\mu\text{g/L}$ 。

2010 年 1 月份叶绿素浓度值又降至 0–4  $\mu\text{g/L}$  之间，其最大值为 3.3  $\mu\text{g/L}$ ，相对高值出现在北部近岸水域、五河入湖口水域；4 月份浓度依然在 0–4  $\mu\text{g/L}$  之间，最大值为 3.9  $\mu\text{g/L}$ ，全湖平均浓度较 1 月份有所上升；7 月份浓度值在 3–30  $\mu\text{g/L}$  之间，最大值为 29.5  $\mu\text{g/L}$ ，相对高值区分布在中部偏西、中部偏东水域；2010 年 10 月浓度值达到全年最高值，在 2–32  $\mu\text{g/L}$  之间，最大值为 31.9  $\mu\text{g/L}$ ，相对高值分布在近水区域、五河入湖口水域、大湖面上的主航道及南部水域。

由图 5 知，2011 年 1 月份叶绿素 a 浓度值降至 0–12  $\mu\text{g/L}$  之间，由于上一年的基点比较高，并没有降到往年的水平（0–3  $\mu\text{g/L}$ ），该月份的最高值为 11.7  $\mu\text{g/L}$ ，相对较高值分布在北部近岸水域、中部偏西及五河入湖口水域；4 月份浓度值有所下降，在 1–8  $\mu\text{g/L}$  之间，最大值为 7.32  $\mu\text{g/L}$ ，相对较高值分布在五河入湖口水域、近岸水域和南部水域。7 月份浓度又回

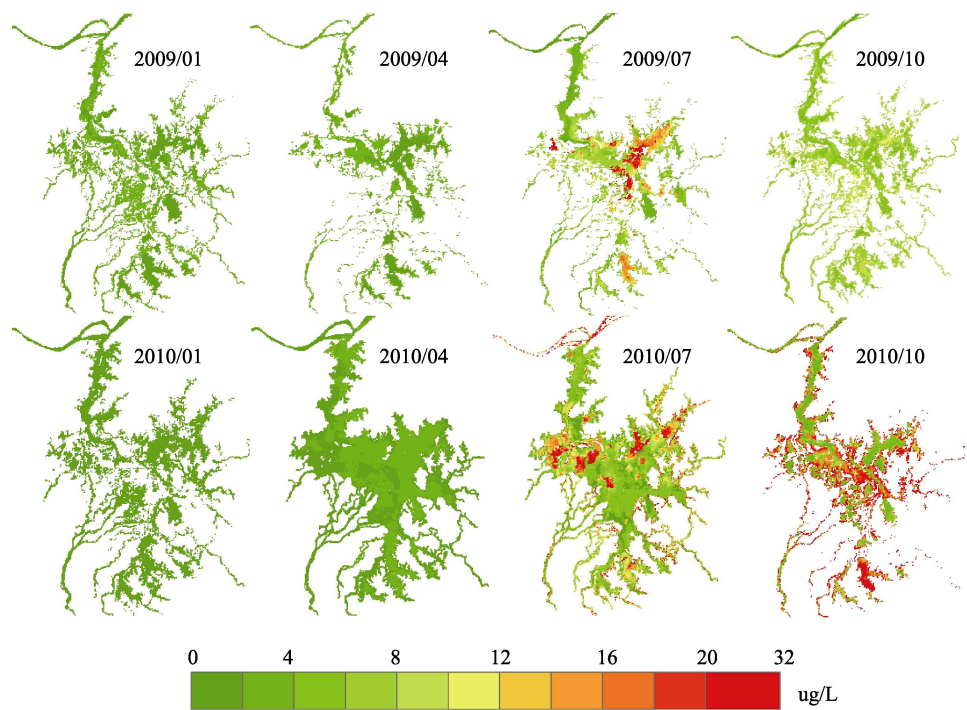


图 4 2009–2010 年鄱阳湖叶绿素 a 浓度空间分布对比图

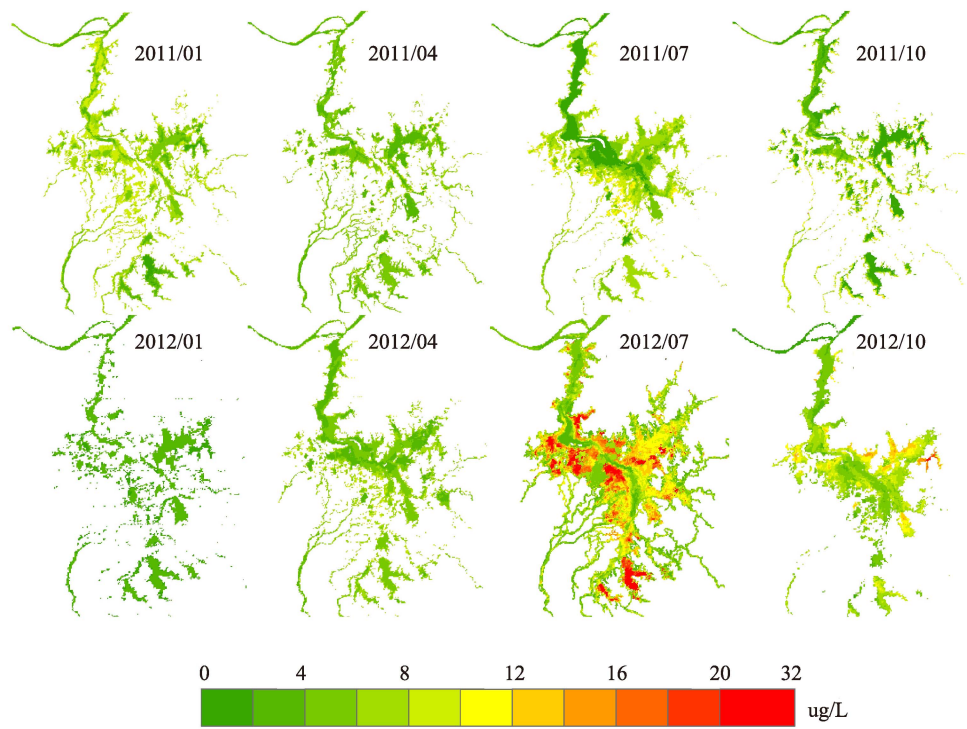


图 5 2011–2012 年鄱阳湖叶绿素 a 浓度空间分布对比图

升到该年的最高水平，在 2-15 μg/L 之间，相对较高值出现在五湖入湖口水域、近岸水域和南部水域；10 月份浓度开始下降，在 0-13 μg/L 之间，其中相对较高值出现在全湖的近岸水域。

2012 年 1 月叶绿素 a 浓度值降至最低水平，在 0-4 μg/L 之间，最大值为 3.6 μg/L，相对高值分布在都昌水域，南端部分水域点状高值区；4 月份浓度值有所上升，在 2-9 μg/L 之间，最高值为 8.8 μg/L，相对高值分布在五河入湖口水域及南端水域；7 月份浓度值达到全年最高水平在 2-30 μg/L 之间；最高值为 29.5 μg/L，相对高值区分布在部分近岸水域、赣江主支入湖口水域及南端水域。10 月份浓度值有所下降，分布在 0-14 μg/L 之间，最大值为 13.4 μg/L。

4.2 数据验证

利用 MODIS 遥感数据和剩余实测值对 2009-2012 年的反演模型进行了结果验证，以保证各期模型在遥感数据上应用的有效性<sup>[7]</sup>。公式为：

$$\text{相对误差值 (\%)} = \frac{\text{实测值} - \text{反演值}}{\text{实测值}} \times 100\%$$

(1)

由表 5 可知：2009-2012 年叶绿素 a 浓度结果验证的平均相对误差分布在 16.5%-52.5% 之间。分期模型的平均相对误差的平均值为 35.8%。

表 5 鄱阳湖叶绿素 a 浓度 2009-2012 年回归模型反演结果验证结果表

时间	建模点数	验证点数	平均相对误差 (%)
2009 年 1 月	14	6	48.1
2009 年 4 月	15	5	52.5
2009 年 7 月	18	6	31.7
2009 年 10 月	10	5	31.4
2010 年 1 月	15	9	33.3
2010 年 4 月	12	7	35.1
2010 年 7 月	12	3	45.5
2010 年 10 月	9	3	31.9
2011 年 1 月	7	8	40.4
2011 年 4 月	12	3	34.7
2011 年 7 月	12	12	32.7
2011 年 10 月	17	8	41.3
2012 年 1 月	11	5	16.5
2012 年 4 月	15	9	24.1
2012 年 7 月	53	29	36.7
2012 年 10 月	15	9	36.9

5 讨论

鄱阳湖叶绿素 a 浓度时空变化数据结果显示：2009-2012 年鄱阳湖叶绿素 a 浓度总体

呈波动缓慢上升趋势<sup>[8]</sup>, 每年 12–2 月浓度最低, 3–7 月较快上升达到峰值, 8–11 月开始回落; 空间分布上叶绿素 a 浓度的高值区多分布在近岸水域、五湖入湖口水域, 且浓度越高的季节, 空间波动变化特征越显著。

鄱阳湖叶绿素 a 浓度的时空变化是湖泊营养条件、水温、水位变化、风浪及人类活动等因素共同作用的结果。其时间变化规律主要受水体面积变化等自然因素的影响, 空间分布差异则主要受周边人类航运、采砂、工矿和农业活动的影响。

**作者分工:** 王卷乐负责数据集设计和方法研发。王卷乐、张永杰负责数据分析和数据论文撰写。杨飞、曹晓明、柏中强、祝俊祥、陈二洋、李一凡、冉盈盈参与数据采集和数据验证。

**致谢:** 感谢中国科学院鄱阳湖湖泊湿地观测研究站提供的野外工作条件和实地采样数据支持。

## 参考文献

- [1] 张永杰, 王卷乐, 冉盈盈等. 基于实测光谱分析和 MODIS 数据鄱阳湖叶绿素 a 浓度估算[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(8): 1081–1089.
- [2] 王卷乐, 张永杰, 杨飞等. 鄱阳湖叶绿素 a 浓度数据集 (2009–2012) [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2014. DOI: 10.3974/geodb.2014.02.08.V1.
- [3] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策 [OL]. DOI: 10.3974/dp.policy.2014.05 (2017 年更新).
- [4] 唐军武, 田国良, 汪小勇等. 水体光谱测量与分析 I: 水面以上测量法[J]. 遥感学报. 2004, 8(1): 37–44.
- [5] SCOR-UNESCO. Determination of Photosynthetic Pigment in Seawater [M]. Monographs on Oceanographic Methodology. France: Paris, 1966.
- [6] Wang, J. L., Zhang, Y. J., Yang, F., *et al.* Spatial and temporal variations of chlorophyll-a concentration from 2009 to 2012 in Poyang Lake, China [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 73(8): 4063–4075. DOI: 10.1007/s12665-014-3691-x.
- [7] Hu, C. M. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113: 2118–2129.
- [8] Feng, L., Hu, C. M., Chen, X. L., *et al.* Assessment of inundation changes of Poyang Lake using MODIS observations between 2000 and 2010 [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 121: 80–92.
- [9] Wu, Z., Cai, Y., Liu, X., *et al.* Temporal and spatial variability of phytoplankton in Lake Poyang: the largest freshwater lake in China [J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2013, 39 (3): 476–483.