

# 基于 Landsat 卫星影像的草海水质遥感反演及营养状态评价

陈艳, 刘绥华, 王堃, 宋善海, 梁萍萍, 陈芳

(贵州师范大学地理与环境科学学院, 山地资源与环境遥感重点实验室, 贵州 贵阳 550025)

**摘要:**通过遥感手段对草海 2000 年、2005 年、2010 年及 2015 年的水质指标进行反演, 并进行营养状态评价, 获取草海水质数据, 为草海湿地保护及污染治理提供依据。利用实测水质数据与遥感影像的关系建立反演模型, 反演草海 2000-2015 年水质指标, 包括 Chl-a、TN、TP、COD<sub>Mn</sub>、SD, 并用综合营养状态指数 (TLI) 对草海水质情况进行评价。研究表明: (1) 通过波段组合与实测数据建立水质参数反演模型能高效、大面积获得草海水质分布情况, 草海整体水质 2000-2005 年为中营养、2010-2015 年为轻度富营养, TLI 表现为先升高后降低; (2) 草海水质季节变化明显, 4 个季节的综合营养状态指数为春季 > 夏季 > 冬季 > 秋季, 主要原因是草海春、夏季节农耕及旅游活动等人为活动较频繁; (3) 空间上看, 草海入水口及湖周围综合营养指数比湖中心及出水口高, 其原因是入水口靠近城市, 城市污水排入湖中, 湖四周存在大量农业污染源。

**关键词:**草海; 遥感; 水质; 营养评价; 时空分布

**中图分类号:**X832, X87 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2020)03-0024-08

贵州威宁草海是国家一级野生保护动物黑颈鹤的保护区, 是典型的喀斯特高原湿地生态系统, 有着多重的服务功能和生态功能, 其水质的优劣影响水生动植物及居民的生活。草海生态环境脆弱, 受人为及自然等因素的影响, 草海水质多年来受到不同程度的污染(任金铜等, 2018; 洪江等, 2018); 随着经济的发展, 草海水域面积萎缩(洪江等, 2018; 徐婷等, 2015; 周慧琴等, 2018)。目前主要问题是补给水源被污染, 大量的城市生活用水及周围居民生活污水不断排入草海。近年, 政府对草海实施了各种环境治理工程, 每月对草海水质进行检测, 维护草海水质及湿地面积。

水质评价是水环境研究、水环境保护的一个重要基础工作, 而水质监测是水体质量评价的主要依据(张先起等, 2005)。目前, 草海主要依靠人工采样进行水质监测, 水质监测方法过程复杂、周期较长、时效性差、代表性不足, 不能很好地满足环保部门的管理与决策等需求, 不能捕捉大范围、突发性的环境问题(田野等, 2015)。前人针对草海水质污染程度

(张珍明等, 2012)、水质分布(于洋等, 2010)、富营养化及生态系统健康评价(彭益书等, 2014)等方面进行了研究, 但这些研究都需要大量的时间与精力采集实测数据, 并进行分析, 这使得管理及研究人员不能实时获取草海大面积的水质情况并及时采取治理措施。

遥感监测方法因高效、经济、可大面积观测及时效性高而被广泛应用于水质监测(刘彦君等, 2018), 其中 Landsat 数据最早被用于水质监测, 数据可靠, 技术成熟, 且成本低、获取方便、成像范围广, 受到了广大研究者的青睐(王皓等, 2012; 王林等, 2013)。当前, 国内外已开展多种利用遥感手段反演水质参数的研究, 获得不错精度(Chen X 等, 2004; Campbell G 等, 2011; Danielbuckton 等, 1999)。本研究通过遥感手段对草海 2000 年、2005 年、2010 年及 2015 年的水质指标进行反演, 并进行营养状态评价, 通过遥感手段获取草海水质数据, 为草海湿地保护及污染治理提供依据。

## 1 区域概况与研究方法

### 1.1 研究区域概况

贵州威宁草海国家级自然保护区位于贵州省威宁县县城西南部, 地理位置为 26°49'~26°53'N、104°12'~104°18'E, 属温带气候, 年均气温 10.5℃, 相对湿度 79%, 年均降雨 950 mm, 冬季长, 干湿季节明显。保护区面积 120 km<sup>2</sup>, 其中水域面积

收稿日期: 2018-11-29 修回日期: 2019-07-15

基金项目: 广西高校无人机重点实验室主任基金/开放项目: 基于无人机遥感影像的 SIFT 匹配算法研究(WRJ2015KF03)。

作者简介: 陈艳, 1993 年生, 女, 硕士研究生, 研究方向: 地理信息系统与遥感应用。E-mail: 1587356209@qq.com

通信作者: 刘绥华, 1977 年, 男, 博士, 副教授, 研究方向: 遥感应用、定量遥感。E-mail: lsh23h@163.com

46.5 km<sup>2</sup>, 水深最深 5m, 为浅水湖泊湿地(周晨等, 2016; 王灿等, 2018; 徐松等, 2009)。草海是中国著名的三大高原湖泊之一, 贵州最大的高原天然淡水湖泊, 是一个完整、典型的喀斯特高原湿地生态系统, 同时也是国家 I 级保护湿地。

## 1.2 数据获取及预处理

本研究采用 2017 年 8 月晴朗天气下的草海水质实测数据, 包括 Chl-a、TN、TP、COD<sub>Mn</sub> 以及 2016 年的 SD 数据, 根据湖面环境情况, 对每个水样表层 (0.5m) 的水质指标进行采集, 尽可能均匀覆盖整个区域, 筛选有效样点 33 个, 采样点分布如图 1。考虑到遥感影像的云量、与实测数据尽量同步, 水质参数反演模型建立所用到的影像数据选择与实测数据最接近的 2017 年 10 月初晴朗天气的 Landsat 8 遥感影像数据; 2000 年、2005 年、2010 年水质参数反演所用遥感影像为 Landsat 5 的 TM 数据, 2015 年的遥感影像为 Landsat 8 数据, 所有遥感数据的分辨率都为 30 m, 且同一个季度的影像尽量保持在同一个月份。其中, 实测数据的预处理主要包括剔除异常值, 删除没有坐标信息的数据; 遥感影像的预处理主要包括辐射定标和大气校正。

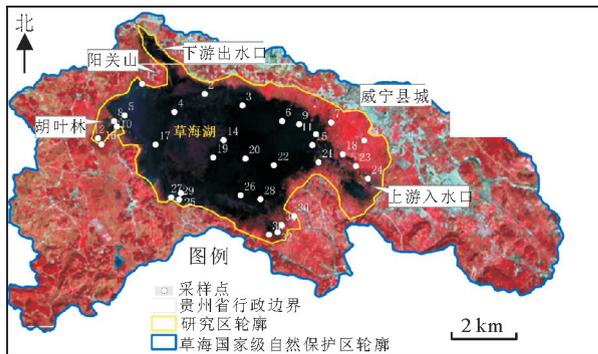


图 1 草海采样点

Fig.1 Location of study area and sampling sites in Caohai Lake

## 2 研究方法

### 2.1 水质指标反演模型构建

水质的反演有分析与半分析方法、经验方法、半经验方法。本研究采用经验方法, 该方法通过建立遥感数据反射率与地面实测数据间关系来预测水质的参数值, 是随着多光谱遥感数据应用于水质监测而发展起来的一种遥感水质监测方法(祝令亚, 2006; 刘灿德等, 2005)。对遥感数据进行预处理以后, 用地面的实测数据和对应的遥感数据的光谱反射率数据建立一元或多元线性回归模型, 根据模型

再预测出不同水质指标值。本文结合卫星数据的波段信息, 利用 SPSS 软件的相关分析软件对各个波段及波段组合与相应的实测水质指标数据进行相关分析, 筛选出水质各指标的最佳波段及波段组合, 分别建立 Chl-a、TN、TP、COD<sub>Mn</sub>、SD 的水质指标模型。

$$\text{Chl-a} = 3248.8 \times X_1^1 - 4006.3 \times X_1^3 - 1501.5 \times X_1^2 - 153.21 \times X_1 + 4.6857 \quad (1)$$

$$\text{TN} = 0.0029 \times X_2^3 + 0.1759 \times X_2^2 - 0.5643 \times X_2 + 1.0893 \quad (2)$$

$$\text{TP} = 1.0448 \times X_3^2 + 0.0242 \times X_3 + 0.0085 \quad (3)$$

$$\text{COD}_{\text{Mn}} = -10865 \times X_4^3 + 2276.5 \times X_4^2 - 114.02 \times X_4 + 7.4545 \quad (4)$$

$$\text{SD} = 5.6078 \times X_5 - 6.2096 \quad (5)$$

式中,  $X_1 = (b_5 - b_4)/(b_5 + b_4)$ ,  $X_2 = b_3/b_5$ ,  $X_3 = (b_3 + b_5 + b_6)/10000$ ,  $X_4 = (b_4 - b_2 + b_6)/10000$ ,  $X_5 = b_2/b_3$ ;  $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$  分别表示 Landsat8 的蓝、绿、红、近红、短波红外 I、短波红外 II 共 6 个波段。

### 2.2 综合营养状态评价与分级

2.2.1 水质综合营养状态评价 综合营养状态指数法是相对于其他评价方法较成熟与全面的水体营养程度评价的方法(王明翠等, 2002; 陈丽华等, 2018)。本文采用综合营养状态指数法对遥感数据反演的草海水质进行评价与分析。计算公式:

$$\text{TLI}(\Sigma) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot \text{TLI}(j) \quad (6)$$

式中,  $\text{TLI}(\Sigma)$  为综合营养状态指数,  $\text{TLI}(j)$  为第  $j$  种水质指标的营养状态指数,  $W_j$  为第  $j$  种水质指标营养状态指数相对应的权重。

以 Chl-a 作为基准指标, 则第  $j$  种指标的相关权重计算公式为:

$$W_j = \frac{r_{ij}^2}{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2} \quad (7)$$

式中,  $r_{ij}$  为第  $j$  种指标与基准指标 Chl-a 的相关关系,  $m$  为评价指标的个数。  $r_{ij}, r_{ij}^2$  及  $W_j$  取值于《中国湖泊环境》标准, 见表 1。

表 1 各水质指标相关系数及权重

Tab.1 Weighting values of water quality indicators for lakes in China

指标	Chl-a	TN	TP	COD <sub>Mn</sub>	SD
$r_{ij}$	1.00	0.82	0.84	0.83	-0.83
$r_{ij}^2$	1.0000	0.6724	0.7056	0.6889	0.6889
$W_j$	0.26626	0.17903	0.18787	0.18342	0.18342

各指标营养状态指数指标公式为:

$$TLI(Chl-a) = 10(2.5 + 1.086 \ln Chl-a) \quad (8)$$

$$TLI(TN) = 10(5.45 + 1.694 \ln TN) \quad (9)$$

$$TLI(TP) = 10(9.436 + 1.624 \ln TP) \quad (10)$$

$$TLI(COD_{Mn}) = 10(0.109 + 2.661 \ln COD_{Mn}) \quad (11)$$

$$TLI(SD) = 10(5.118 - 1.94 \ln SD) \quad (12)$$

2.2.2 湖泊营养状态分级 采用0~100的连续数对营养状态进行分级,数值越大表明水体的营养程度越高,分级标准如下(王明翠等,2002;李凤山,1999;金璨等,2011):

$0 < TLI(\Sigma) \leq 30$  贫营养、 $30 < TLI(\Sigma) \leq 50$  中营养、 $50 < TLI(\Sigma) \leq 60$  轻度富营养、 $60 < TLI(\Sigma) \leq 70$  中度富营养、 $70 < TLI(\Sigma) \leq 100$  重度富营养,相应水质状态分别为优、良、轻度污染、中度污染、重度污染。

### 3 结果与分析

#### 3.1 波段组合

本研究用到 Landsat8 的 6 个波段数据,分别是蓝、绿、红、近红、短波红外 I、短波红外 II。选择合适的波段进行水质反演模型的构建直接影响着反演的结果,因此,将大气校正后 6 个波段的地表反射率值与同步实测数据进行相关分析,经过波段组合以后,Chl-a、TN、TP、COD<sub>Mn</sub>、SD 与各波段组合的相关系数更高。

#### 3.2 反演模型及精度验证

实测数据随机分为 2 部分,作为反演模型建立与验证使用。通过各波段组合数据与部分实测数据建立反演模型,Chl-a、TN、TP、COD<sub>Mn</sub>、SD 模型的相关系数分别为 0.7721、0.6408、0.7465、0.5958、0.7192,对应图 2(A);运用该模型对草海的水质参数进行预测,提取出与剩余部分实测点相应的预测数据,Chl-a、TN、TP、COD<sub>Mn</sub>、SD 预测值与实测值的相关系数分别为 0.5787、0.7164、0.6356、0.6522 及 0.6779,对应图 2(B)。通过实测值与反演值的相关性验证,各水质参数的相关系数都达到 0.5 以上,反演结果能代表水质指标实际分布情况。

#### 3.3 水质综合营养状态评价

草海 TLI 和 TLI(Σ)年度、季度计算结果见表 2、表 3。TLI(Σ)值 2010 年(53.752) > 2005 年(53.176) > 2015 年(50.972) > 2000 年(48.596)。各季度中,春季的 Chl-a 与 TN TLI 最高。比较各季节的 TLI(Σ),春季(52.482) > 夏季(52.449) >

冬季(51.665) > 秋季(51.645)。

3.3.1 营养状态年际变化 整体上,草海营养状态处于中营养、轻度富营养状态。2000 年综合营养状态指数最低,此时的水质处于中营养状态,水质状态良好;2005 年、2010 年、2015 年草海水质处于轻度富营养状态,水体都受轻度污染,其中 2010 年的水质综合营养指数最高,水质最差。2000 年到 2010 年,草海水质综合指数增大,水质从良好状态下降到轻度污染状态;2010 年到 2015 年,综合指数有所降低,水质有所改善,但没有恢复到 2000 年时的良好状态。

3.3.2 水质指标季节变化 2000 年到 2015 年草海各水质指标的季节变化明显(表 4)。Chl-a 浓度春季最高,夏、秋、冬季较低;TN 浓度春、冬季较高,夏、秋季较低;TP 浓度季节变化与 TN 相反,春、夏、秋季增长,冬季浓度下降;COD<sub>Mn</sub> 浓度春秋季节较高,而夏季最低;SD 秋季最高,夏季最低。

#### 3.4 营养状态分布

3.4.1 营养状态年度分布 通过反演的水质指标,借助遥感手段计算出草海各年度的综合营养状态指数分布见图 3。2000 年到 2015 年,草海水质受污染面积在扩展,随着时间的推移,水体受污染程度在整个湖面有所不同,但主要在城区附近、入海口及人与动物活动较频繁的地区。2000 年,靠近东面城区及东南面上游入水口处水体污染较为严重;2005、2010 年,污染较为严重的为西南面的羊关山与胡叶林间,该地除了有人居住,还有大面积的灯芯草与结缕草及其他的水生挺水植被,是众多野生动物的夜栖地(李凤山,1999),人及动物的活动也一定程度影响水的质量;2015 年,整个湖面的污染主要是在东面靠近城区的湿地地区。

3.4.2 水质指标浓度分布 草海水质参数浓度分布见图 4。

Chl-a 整体上分布主要是湖周围含量较高,越往湖中含量越低,各年的各个季节中几乎都是沿着周边城市分布;2005 年与 2010 年秋天,湖中的 Chl-a 含量都相对较高,这是导致整体上草海秋天叶绿素含量较高的原因。TN 整体上的分布是湖的周围高,特别是湖的东面及东南面;2000 年春季到秋季, TN 主要分布于湖东面靠岸处,2000 年冬季以后、2005 年、2010 年、2015 年, TN 从东面向湖中心蔓延,2010 年冬季,湖中的 TN 含量有所减少。TP 的分布与 Chl-a 相近,主要分布于湖周围及靠近城区的湖面,2015 年的 TN 分布相较于其他 3 年较低。

COD<sub>Mn</sub> 主要分布于湖中及入水口处, 靠近城市的地方分布极少。2000 年、2015 年, SD 几乎是湖中较大, 城市及湖周围较小; 2015 年一整年中, SD 季节值明显要比其他几年的要大。

2000 年草海 TP 浓度为 0.092mg/L, 此时的水

质为 II 类水平; TP 浓度 2005 年为 0.203 mg/L, 2010 年为 0.250 mg/L, 这 2 年的水质为 IV 类; 2015 年, TN 与 COD<sub>Mn</sub> 都显示草海的水质为 IV 类。周琴惠等(2018)研究认为 2001 年草海的水 80% 达到地表水 I 类标准; 周晨等(2016)研究认为, 由于水土流

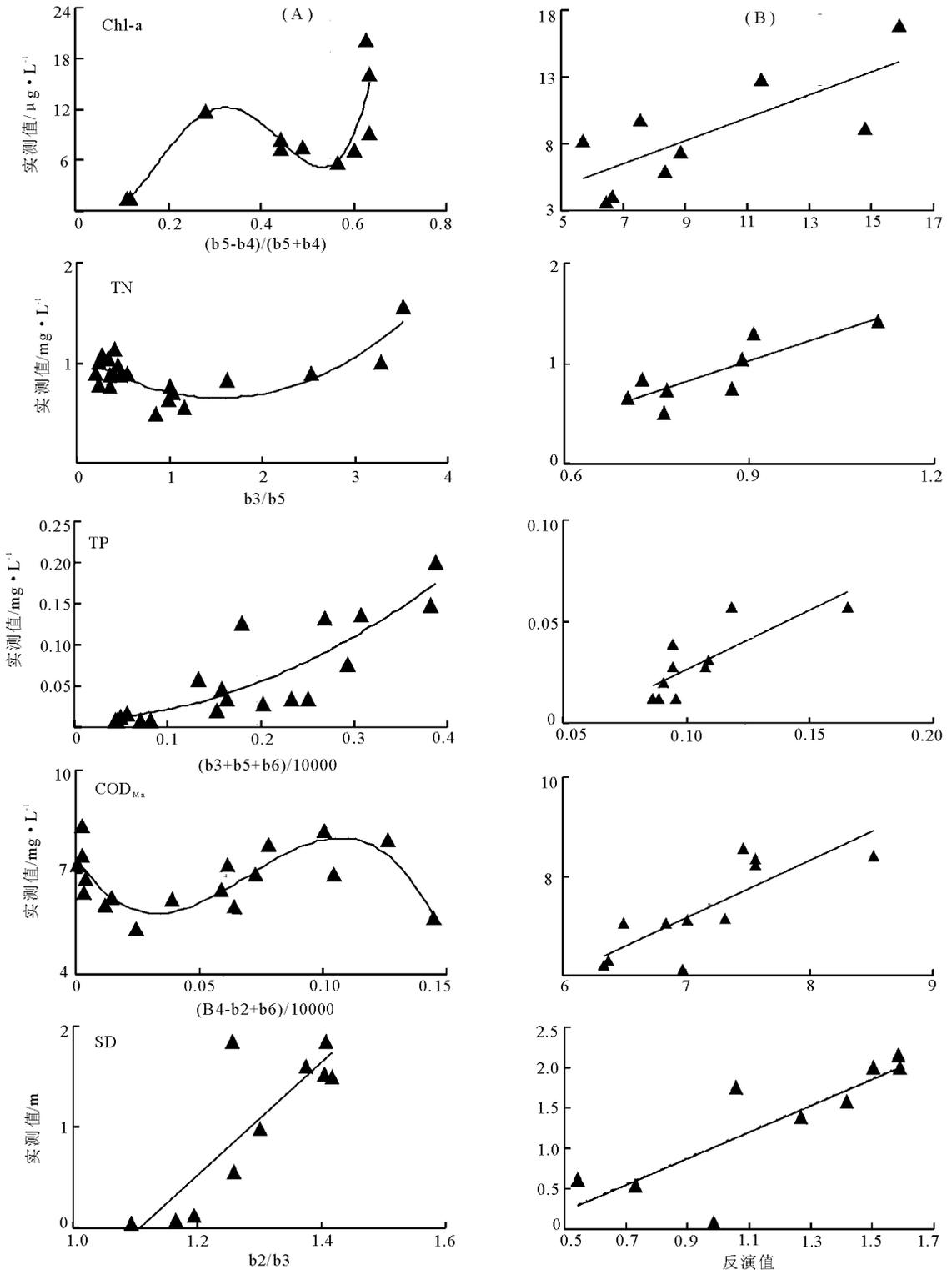


图 2 各水质参数反演模型建立及验证

Fig.2 Establishment and verification of each parameter for the water quality regression models

表2 各年水质指标及综合营养状态指数

Tab.2 Comprehensive nutritional status index calculated from water quality parameters for the four study years

年份	各指标营养状态指数 TLI					TLI (Σ)
	Chl-a	TN	TP	COD <sub>Mn</sub>	SD	
2000	53.129	54.227	55.532	35.810	42.165	48.596
2005	51.364	53.503	68.432	43.701	49.338	53.176
2010	50.410	57.784	71.843	42.783	47.106	53.752
2015	54.574	61.073	49.650	52.832	35.38	50.972

表3 各季节水质指标及综合营养状态指数

Tab.3 Seasonal variation of water quality parameters used to calculate the comprehensive nutritional status index

季节	各指标营养状态指数 TLI					TLI (Σ)
	Chl-a	TN	TP	COD <sub>Mn</sub>	SD	
春	53.860	59.390	57.217	43.407	43.4073	52.482
夏	51.489	56.555	65.781	38.376	50.267	52.449
秋	52.097	53.457	68.598	46.542	36.963	51.645
冬	52.374	57.775	61.165	44.065	42.544	51.665

表4 各指标各年浓度均值及综合营养状态

Tab.4 Average value of each water quality parameter for each year of the study

年	Chl-a/	TN/	TP/	COD <sub>Mn</sub> /	SD/	综合营养状态
	μg · L <sup>-1</sup>	mg · L <sup>-1</sup>	mg · L <sup>-1</sup>	mg · L <sup>-1</sup>	m	
2000	13.331	0.985	0.092	3.687	1.592	中营养
2005	11.332	0.941	0.203	4.960	1.100	轻度富营养
2010	10.379	1.212	0.250	4.791	1.234	轻度富营养
2015	15.229	1.471	0.064	6.990	2.258	轻度富营养

表5 各指标各季节浓度均值及综合营养状态

Tab.5 Average value for each water quality parameter and comprehensive nutritional status in different seasons

季	Chl-a/	TN/	TP/	COD <sub>Mn</sub> /	SD/	综合营养状态
	μg · L <sup>-1</sup>	mg · L <sup>-1</sup>	mg · L <sup>-1</sup>	mg · L <sup>-1</sup>	m	
春	14.259	1.332	0.102	5.821	1.493	轻度富营养
夏	11.452	1.127	0.172	4.060	1.048	轻度富营养
秋	12.123	0.939	0.205	5.518	2.081	轻度富营养
冬	12.436	1.211	0.130	5.028	1.561	轻度富营养

失、生态环境破坏、生活垃圾等的影响,草海水质每况愈下,2014年草海水质为Ⅲ类和Ⅳ类;周琴惠等(2017)研究结果2015年草海的水质处地表水质标准Ⅲ~Ⅴ类水平;草海的水质下降与社会发展及人为活动有莫大关系,其中畜禽养殖、农业化肥使用、生活污水排放,使得草海水体恶化、发臭,导致大量藻类疯长,破坏草海水生生态环境(徐松等,2009;孙金华等,2012)。

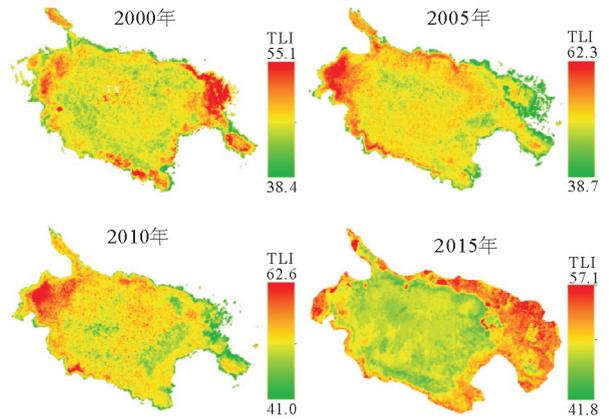


图3 草海综合营养状态指数年度分布

Fig.3 Comprehensive nutritional status index of Caohai Lake in each year

### 4 结论

利用 Landsat 数据,经预处理后,结合草海实测水质数据反演出草海水体 Chl-a、TN、TP、COD<sub>Mn</sub> 及 SD 的 4 年各季节分布值,经综合营养状态指数法计算出草海各年、各季节的综合营养状态指数,发现草海各年及季度的水质差异较大,整体水质在Ⅱ~Ⅳ类水平。

从时间变化特征上看,2000年,草海 TLI(Σ) 值为 4 年中最低,水质综合营养状态为中营养状态,整体水质良好;2005 年与 2010 年,草海的 TLI(Σ) 值比 2000 年、2015 年都要高,水质综合营养状态为轻度富营养状态,整体水质为轻度污染,2010 年水体污染最严重;2015 年,草海水质有所好转,但仍然是轻度污染状态。季节上,春季和夏季的 TLI(Σ) 值较高,此时是农耕的季节,大量的农药、化肥使用,使得 N、P 经河流流入湖中,导致草海水质春夏季节污染较为严重。

从空间变化特征上看,草海水质污染呈自东向西、自湖周围向湖中心降低的趋势;上游入水口及各码头处污染相较于下游出水口较严重;动物及人类活动的区域污染较大。而 Chl-a、TN、TP 也呈湖周围向湖心降低分布,COD<sub>Mn</sub> 则相反,SD 在污染高的地方较低。

目前,通过遥感手段能监测水质的时空分布状况,且技术较为成熟。但是由于草海特殊地理位置、气候特征,较多的云雨天气等,获取连续、质量好的遥感数据困难较大;同时,由于水质反演使用的实测数据是点数据,实现高精度的反演对遥感影像的分辨率及采样点的分布有较高的要求。因此,要提高遥感反演水质的精度,应研究更成熟的去云技术,合

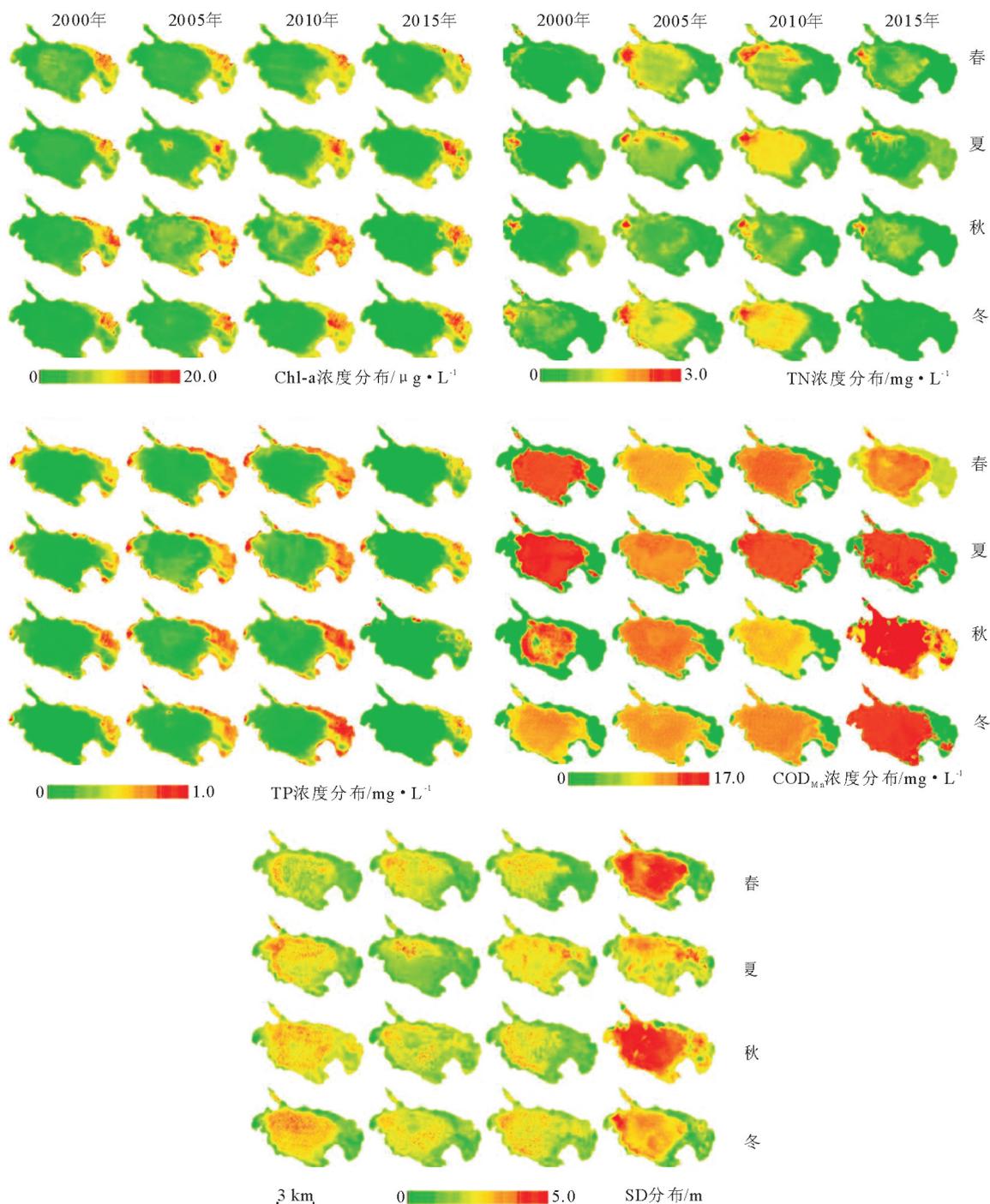


图4 草海水质指标浓度分布模型

Fig.4 Concentration distribution of water quality parameters in four seasons of Caohai Lake

理设置实测采样数据,发射精度更高的遥感卫星,获取高精度的遥感影像,结合不同尺度的卫星数据进一步优化反演模型。

#### 参考文献

陈丽华,喻记新,李丽,等,2018.基于 TLI 和 PCA 的贵州草海水水质状况评价[J]. 长江科学院院报, 35(8): 40-45, 50.

洪江,张家春,江波,等,2018.贵州草海湿地生态环境现状及其评价[J]. 贵州科学, 36(5): 62-66.

金璨,张文涛,孙卓,2011.湖库富营养化评价方法和分级标准的讨论[J]. 贵州水力发电, 25(5): 4-6, 9.

李贵宝,王圣瑞,2014.我国湖泊水环境标准体系建设及其发展建议[J]. 环境保护, 42(13): 33-35.

李凤山,1999.贵州草海越冬黑颈鹤觅食栖息地选择的初步研究[J]. 生物多样性, 7(4): 257-262.

刘彦君,夏凯,冯海林,等,2018.基于无人机多光谱影像的小

- 微水域水质要素反演[J].环境科学学报, 39(4):1241-1249.
- 刘灿德,何报寅,2005.水质遥感监测研究进展[J].世界科技研究与发展, 27(5): 46-50.
- 彭益书,付培,杨瑞东,2014.草海湿地生态系统健康评价[J].地球与环境, 42(1): 68-81.
- 任金铜,杨可明,陈群利,等,2018.贵州草海湿地区域土地利用景观生态安全评价[J].环境科学与技术, 41(5): 158-165.
- 孙金华,曹晓峰,黄艺,2012.滇池水质时空特征及与流域人类活动的关系[J].湖泊科学, 24(3): 347-354.
- 田野,郭子祺,乔彦超,等,2015.基于遥感的官厅水库水质监测研究[J].生态学报, 35(7): 2217-2226.
- 王皓,赵冬至,王林,等,2012.水质遥感研究进展[J].海洋环境科学, 31(2): 285-288.
- 王林,白洪伟,2013.基于遥感技术的湖泊水质参数反演研究综述[J].全球定位系统, 38(1): 57-61, 72.
- 王明翠,刘雪芹,张建辉,2002.湖泊富营养化评价方法及分级标准[J].中国环境监测, 18(5): 47-49.
- 王灿,袁婷,张建利,等,2018.贵州草海水质时空变化和水体营养状况[J].长江科学院院报, 36(6):14-19.
- 徐婷,徐跃,江波,等,2015.贵州草海湿地生态系统服务价值评估[J].生态学报, 35(13): 4295-4303.
- 徐松,高英,2009.草海湖泊湿地水环境污染现状及可持续利用研究[J].环境科学导刊, 28(5): 33-36.
- 于洋,张民,钱善勤,等,2010.云贵高原湖泊水质现状及演变[J].湖泊科学, 22(6): 820-828.
- 张先起,梁川,2005.基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用[J].水利学报, 36(9): 1057-1061.
- 张珍明,张清海,林绍霞,等,2012.贵州草海湖湿地水体污染特征及污染因子分析研究[J].广东农业科学, 39(20): 183-187.
- 周琴慧,童道辉,张和喜,2017.贵州草海生态良性发展综合措施研究[J].人民长江, 48(S2): 57-60.
- 周琴慧,童道辉,张和喜,2018.草海生态现状分析及治理措施研究[J].中国水土保持, (6):59-61,69.
- 周晨,喻理飞,蔡国俊,等,2016.草海高原湿地湖泊水质时空变化及水质分区研究[J].水生态学杂志, 37(1): 24-30.
- 祝令亚,2006.湖泊水质遥感监测与评价方法研究[D].北京:中国科学院研究生院(遥感应用研究所).
- Chen X, Li YS, Liu Z, et al, 2004. Integration of Multi-source Data for Water Quality Classification in the Pearl River Estuary and Its Adjacent Coastal Waters of Hong Kong[J]. Continental Shelf Research, 24(16): 1827-1843.
- Campbell G, Phinn SR, Dekker AG, et al, 2011. Remote Sensing of Water Quality in an Australian Tropical Freshwater Impoundment Using Matrix Inversion and Meris Images[J]. Remote Sensing of Environment, 115(9): 2402-2414.
- Danielbuckton, 1999. Eonomongain, Seandanaher, The Use of Neural Networks for the Estimation of Oceanic Constituents Based on the Meris Instrument[J]. International Journal of Remote Sensing, 20(9): 1841-1851.

(责任编辑 张俊友 郑金秀)

## Remote Sensing of Caohai Lake Water Quality Using Landsat Satellite Images

CHEN Yan, LIU Sui-hua, WANG Kun, SONG Shan-hai, LIANG Ping-ping, CHEN Fang

(School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Key Laboratory of Mountain Resources and Environmental Remote Sensing, Guiyang 550025, P.R.China)

**Abstract:** Water quality assessment is basic to water environment research and conservation. Water quality monitoring based on remote sensing is widely applied because it is efficient, economical and can be used to monitor large areas. In this study, we developed a regression model based on the relationship between measured water quality data and spectral data from Landsat satellite images. After verification, the model was used to estimate water quality parameters (WQPs) from the different spectral bands of satellite imagery. WQPs included chlorophyll a (chl-a), total nitrogen (TN), total phosphorous (TP), chemical oxygen demand ( $COD_{Mn}$ ) and transparency (SD). The water quality data for developing the model were measured at 33 sampling sites in August of 2017 and Landsat satellite imagery, providing spectral data for the model, were obtained in October of 2017. The regression model was then used to estimate WQPs from Landsat satellite images from the same months in 2000, 2005, 2010 and 2015. The estimated WQPs were then used to calculate Caohai Lake water quality indices for 2000, 2005, 2010 and 2015. The nutritional status of Caohai Lake was evaluated using the Trophic Level Index (TLI). The model successfully met the study objective of providing information on current water quality conditions in Caohai wetlands, derived from Landsat images, that is valuable for conserving Caohai wetland and controlling pollution. Results show that: (1) Water quality parameters estimated from the regression model, based on spectral bands from satellite imagery, can show the large-scale distribution of water in Caohai Lake. Overall water quality of Caohai Lake in 2000, 2005 was mesotrophic and was slightly eutrophic in 2010 and 2015. The TLI increased and then decreased; (2) There is clearly seasonal variation of water quality in Caohai Lake. The TLI across four seasons was in the order: spring > summer > winter > autumn and attributed to intensive farming and tourism around Caohai Lake in spring and summer. (3) Spatially, the TLI of the inlet and surrounding area of Caohai Lake was higher than that at the lake center and outlet. The inlet is near Weining County, and the discharge of municipal sewage and nonpoint source agricultural pollution are serious.

**Key words:** Caohai Lake; remote sensing; water quality; nutrient assessment; temporal-spatial distribution