引文格式：汤金颖, 景海涛, 刘盼盼, 等. 气象驱动下的终端湖泊流域环境变化研究[J]. 地理空间信息, 2023, 21(8): 109-113. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2023.08.028

气象驱动下的终端湖泊流域环境变化研究

汤金颖[1]，景海涛[1]，刘盼盼[1]，张大鹏[1]，刘　琪[1]，王　磊[1]
（1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院，河南 焦作 454000）

摘　要：在干旱地区，终端湖面积变化受气候影响较大，同时湖泊面积变化对生态环境平衡和土地利用变化起着重要作用。基于Landsat和JRC Global Surface Water（JRC GSW）多源遥感数据、气象数据、土地利用数据和NDVI数据，分析了艾比湖水面面积变化及驱动因素，以及对艾比湖流域环境的影响。得出如下结论：2000—2020年艾比湖面积呈现先减少后增加的趋势，2010年左右为转折点；面积变化与降水量的相关性最大（$R^2=0.589$，$P<0.01$和$R^2=0.519$，$P<0.05$）；流域内耕地面积增长最大，为3 140 km^2，占研究区总面积的6.23%；其次是草地面积增加1 402 km^2，占研究区总面积的2.78%；而面积减少最多的是未利用土地，为2 974 km^2，占总面积的5.90%，主要转化为草地和耕地；由NDVI变化可知，该流域内的植被主要由草地构成，并且草地高覆盖（>0.8）区呈现出增加趋势，集中在人类活动区。干旱区终端湖泊面积变化监测是生态环境保护研究的有益补充，为进一步保护以及恢复干旱区生态环境的方法提供理论基础。

关键词：艾比湖；JRC；Landsat；NDWI；土地利用；NDVI
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）08-0109-05

Research on Environmental Changes in Terminal Lake Basin Driven by Meteorology

TANG Jinying[1], JING Haitao[1], LIU Panpan[1], ZHANG Dapeng[1], LIU Qi[1], WANG Lei[1]
(1. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: In arid regions, the change in terminal lake area is greatly affected by climate, and the change in lake area plays an important role in ecological environment balance and land use change. Based on multi-source remote sensing data of Landsat and JRC global surface water(JRC GSW), meteorological data, land-use data and NDVI, westudied the area change of Ebinur Lake and its driving factors, as well as the impacts on the environment of lake. The results indicated that the surface area of Ebinur Lake showed a trend of first decreasing and then increasing from 2000 to 2020 with turning point founded in around 2010. The correlation between the lake area change and precipitation was the greatest (R^2= 0.589, P<0.01 and R^2=0.519, P<0.05). The largest increase in arable land area within the basin is 3140 km^2, accounting for 6.23% of the total area, followed by an increase of 1402 km^2 in grassland, taking up 2.78% of the total area.The area that has decreased the most is unused land, which is 2974 km^2, accounting for 5.90% of the total area, mainly converted into grassland and arable land. The vegetation in the basin was dominated by grassland and an increasing trend was occurred in the high coverage region, which mainly concentrated in human activity region. Monitoring the changes in the area of terminal lakes in arid areas is a beneficial supplement to research on ecological environment protection, providing a theoretical basis for further protecting and restoring the ecological environment in arid areas.

Key words: Ebinur Lake, JRC, Landsat, NDWI, land-use, NDVI

艾比湖流域位于中国西北部的新疆维吾尔族自治区，属于典型的生态退化区。为保护准噶尔盆地关键生态和绿洲生态，艾比湖湿地国家级自然保护区被列入《中国国家级自然保护区名录》[1]。已有学者利用卫星图像，在夏季或秋季的特定时间段内对湖泊的水面面积进行了监测，但一些自然因素对艾比湖湖面面积变化的影响没有得到充分的分析[2-3]。因此，本研究采用4至9月份Landsat数据和全年的JRC全球地表水数据进行特定时间段内以及全年时间的艾比湖水面面积的提取，并对影响其变化的因子进行相关性分析，以弥补前人研究的空白。

1　研究区概况

艾比湖（44°43′~45°12′N，82°35′~83°11′E）是新疆第一大咸水湖[4]，平均海拔189 m。艾比湖流域的气候属于温带大陆性气候，年均温5.6 ℃，且年内温差较大。艾比湖流域的另一个特点是持续的强风，风速大于8 m/s的天数为每年平均164 d，最多时达到了每年

收稿日期：2022-03-11；修回日期：2022-05-12。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（41801318）。
第一作者简介：汤金颖（1996—），硕士研究生，主要从事生态环境保护研究，E-mail：1105394732@qq.com。

185 d[5]。在低水位时湖底露出为野生鸟类提供栖息地，使艾比湖地区成为鸟类最重要的迁徙通道之一[6]。

艾比湖及其周边湿地也被认为是天山北坡绿洲–荒漠系统的核心区域[8]。自20世纪五十年代以来，由于自然因素以及人类活动的影响，艾比湖的面积正在急速缩减，并伴随着湖滨周围植被的锐减，流域内多数地区正在趋向干旱化。裸露的干湖床含有丰富的疏松盐类沉积物，是中亚地区沙尘和盐尘的主要来源之一，当地脆弱环境出现严重的生态退化[8-9]。

2 数据与方法

2.1 基于Landsat影像数据提取水域面积

基于2000—2020年的Landsat5 TM、Landsat7 ETM+和Landsat8 OLI影像数据提取艾比湖水域范围，该数据来源于美国地质调查局（USGS），空间分辨率均为30 m，所选取影像数据的云量均小于10%，并且所有数据均经过辐射定标、大气校正和几何校正的预处理过程。由于艾比湖流域内降水稀少且主要集中在7—8月份[10]，因此，主要由精河及博尔塔拉河的地下水和地表径流进行补给水量。本研究采用了NDWI的动态阈值分割法[11-12]，基于该方法提取的水体范围的自动化程度及精度较高[13-15]，计算公式如下：

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$$

式中，GREEN为遥感图像中的绿色波段；NIR为近红外波段。

处理过程如下：①首先选定一个较低的NDWI阈值进行水域范围的初步筛选，将水陆边界大致分开，此时会有很多水体像元会被误判为非水体；②按照湖泊的边界进行缓冲区扩张（1倍湖泊面积），对缓冲区进行NDWI阈值迭代分割，利用双峰分布准则对所有像元进行逐个筛选，直到提取出的水域范围与原始影像上的水体分布达到最佳匹配；③最后使用动态阈值算法实现自动选取最佳阈值并提取湖泊面积，进行人工目视检查和修正，得到经过质量控制的湖泊面积统计结果。

2.2 基于Google Earth Engine提取水域面积

使用GEE中的JRC全球地表水覆盖图层提取水域面积，该数据集是基于1984—2020年的Landsat 5、7和8影像计算而来的月度数据，空间分辨率为30 m，并且使用专用的算法将每个像元分为水体和非水体[16]。但是由于艾比湖周围存在湿地，会出现一些暂时性的积水，这并不能算作湖泊，因此将某个像素有7个月是水体特征的判定为水体。

2.3 水体面积变化分析

采用Pearson相关法对以上由2种方法所提取的水体面积进行相关性分析，并使用最小二乘法对水体面积变化进行了趋势分析，使用Mann–Kendall趋势检验法和突变检测法分析水体面积变化的显著性以及突变点[7]。

2.4 水体面积变化的影响因素分析

本研究分析了降雨、气温对湖泊面积变化的影响。所使用的气象数据（降水和气温）是中国气象站点的日均值数据，来源于国家气象科学数据中心，运用Python编程从全国所有站点数据中筛选出艾比湖流域的5个站点（博乐、阿拉山口、精河、托里和克拉玛依）的降水和气温日均值数据，进而合成年平均数据。

为了查明以上驱动因素对湖泊面积变化的影响，使用偏相关分析法来分析降水和气温的影响，该方法能够有效地控制第3个变量的影响，从而更精确的分析其余2个变量之间的相关性，并且相关性结果采用t检验法进行显著性分析。

2.5 水体面积变化对流域内土地利用的影响

使用2000年和2020年两期土地利用数据来表示在所选时间段内艾比湖流域的土地利用变化情况，该数据集来自资源环境科学与数据中心，空间分辨率为1 km。使用马尔可夫转移矩阵来计算2000—2020年的土地利用变化情况[18]，其公式如下：

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & \cdots & P_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{N1} & \cdots & P_{NN} \end{bmatrix}$$

式中，P_{ij}为某个时段内初期某种土地利用类型转变为末期土地利用类型的面积；N为土地利用类型总数。

2.6 水体面积变化对流域内植被变化的影响

利用GEE平台，基于艾比湖流域2000—2020年的Landsat TM/ETM+/OLI遥感影像的归一化植被指数，分析艾比湖流域植被的年际变化。生长季NDVI最大值可以更好地反映地表植被的覆盖及生长情况，对所有计算出的NDVI数据使用最大值合成法生成艾比湖流域年际NDVI最大值，分析艾比湖水域变化对周边植被的影响。对NDVI数据的统计分析处理，首先剔除艾比湖水域范围内的NDVI数据，然后参考前人的研究结果并结合艾比湖流域的植被的实际情况，将流域内年际NDVI数据划分为5个等级[19-20]，分别为高（>0.8）、中高（0.6~0.8）、中（0.4~0.6）、中低（0.2~0.4）和低（<0.2），最后统计艾比湖流域内各个

NDVI等级的面积以及所占比例。

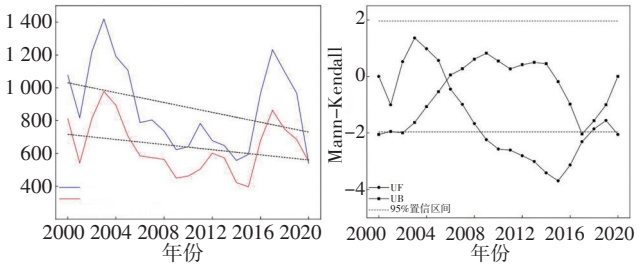
3　结果与分析

3.1　水域面积变化特征

由图1a可以看出，基于Landsat数据和JRC数据计算出的艾比湖水域面积均呈现出先下降后上升的趋势，并且转折点都出现在2010年左右。在下降趋势中，分别由JRC数据计算的和Landsat数据计算的数据为：2000年的水域面积为1 078.02 km^2和813.21 km^2，2010年下降至641.39 km^2和462.56 km^2，水域面积分别下降了463.63 km^2和350.65 km^2，下降速率分别为41.35 km^2/a（$P<0.05$）和31.88 km^2/a（$P<0.05$）。在上升趋势中，2011年的水域面积分别为782.99 km^2和504.73 km^2，2020年艾比湖水域面积分别上升到793.96 km^2和550.97 km^2（即分别上升了10.97 km^2和46.23 km^2），上升速率分别为1.10 km^2/a（$P<0.05$）和4.62 km^2/a（$P<0.05$）。

虽然艾比湖在2000—2020年间湖泊面积在后半段呈现出上升趋势，但是总体上水域面积还是在一直减少的，总体减少速率分别为13.53 km^2（$P<0.05$）和12.49 km^2（$P<0.05$），并且由JRC数据计算出的艾比湖水域面积要高于Landsat所计算的结果，但是由2种方法所计算出的结果在总体趋势上是基本一致的（R^2=0.945，$P<0.01$），均是在2003年和2018年左右出现峰值，2001年和2015年左右出现最低值。

由Mann-kendall突变检验结果可以看出，在2000—2020年之间，艾比湖水域面积在2005年左右出现突变（图1b）。并且由图1a可以看出2005年之后，艾比湖水域面积开始出现持续性的萎缩一直到2009年左右开始出现缓和现象。



a　面积对比　　b　MK检验

图1　不同计算方法的面积变化及MK检验

3.2　面积变化对气象因子的响应

首先对2000—2020年艾比湖流域的降水、气温进行分析。艾比湖流域的降水呈现出整体下降的趋势，气温呈现出整体增长的趋势。分析了艾比湖水域面积的变化和降水及气温的相关性，查明降水、气温对湖泊面积变化的影响。由JRC和Landsat2种数据计算得出的面积数据变化对以上2种因素的响应是一致的，降水的影响最显著，分别是R^2=0.589（$P<0.01$）（JRC）和R^2=0.519（$P<0.05$）；其次是气温，分别是R^2= −0.093（$P>0.05$）和R^2= −0.273（$P>0.05$）。

3.3　面积变化对艾比湖流域内环境的影响

3.3.1　土地面积变化特征

2000—2020年艾比湖流域土地利用类型以草地和未利用土地为主，两者面积之和占流域总面积的82.04%（2000年）和78.92%（2020年），其中草地面积占比最大（48.51%~51.29%），建设用地面积（0.51%~1.20%）和疏林地面积（0.17%~0.18%）占比较小。草地主要分布在艾比湖流域的四周；未利用土地主要分布在艾比湖和草地之间的部分；多数建筑用地和耕地分布在一起，且分布在水分充足的位置。2000—2020年，艾比湖流域内面积增加的土地利用类型是草地、耕地、建设用地和疏林地；面积减少的是灌木林、水域、未利用土地和有林地，但是艾比湖的水体面积呈现上升趋势。

3.3.2　土地转移变化特征

对艾比湖流域不同时期的土地覆盖变化进行动态监测得到土地利用转移矩阵（表1）。由表可知，耕地处于增加趋势，主要是由草地（4.66%）转化而来；艾比湖流域内增加的建设用地主要是来自草地（0.33%）和耕地（0.39%）；艾比湖流域内减少的水域部分主要转化为未利用土地（1.49%）；未利用土地一直呈现减少趋势，主要转化为草地（8.45%）和耕地（1.90%）；而草地是一直增加的趋势，主要由未利用土地（8.45%）、有林地（1.97）和灌木林（1.14%）转化而来。

表1　土地利用转移矩阵/km^2

2020年	2000年								
	草地	耕地	灌木林	建筑用地	疏林地	水域	未利用	有林地	总计
草地	19 567	221	577	11	58	166	4 261	994	25 855
耕地	2 350	3 616	111	100	3	58	956	28	7 222
灌木林	178	13	79	0	0	6	23	3	302
建筑用地	166	196	6	135	3	7	86	4	603
疏林地	35	6	8	1	12	0	11	17	90
水域	57	14	8	2		1325	261	6	1673
未利用	1729	16	41	6	1	752	11 280	100	13 925
有林地	371	0	23	0	9	0	21	313	737
总计	24 453	4 082	853	255	86	2 314	16 899	1 465	50 407

3.3.3　植被变化特征

以艾比湖水域面积突变点（2005年）为节点分析前后2个阶段（2000—2005年和2006—2020年）艾比湖流域内植被变化。植被覆盖显著增加的地区

主要分布在艾比湖周围人类活动区。根据统计2个阶段之内均是中低值（0.2~0.4）植被覆盖区所占面积最大，并且主要是由流域内草地所构成的，但是该覆盖区仍然是由第一阶段的17 589.57 km^2下降至第二阶段的16 084.94 km^2，下降了1 504.63 km^2，占植被总面积的2.98%。在突变点前后的2个阶段之中，高覆盖（>0.8）植被区增长最多，为1 452.73 km^2，占植被总面积的2.88%，除此之外，其他4个等级的植被覆盖区均呈现出减少的趋势。

4 讨 论

从以上的分析可以看出，由GEE使用JRC数据所计算出的艾比湖面积要大于Landsat数据所计算出的面积，但是整体趋势上基本一致，都是先减少后增加，这与前人的研究结果基本一致[21]。且2005年，艾比湖流域内人口增加，农业用地需求增大，大面积的开荒造田、饮水灌溉和兴修水库等[19]，导致了2005—2010年艾比湖水面面积持续萎缩。

受地质条件、水文地质等因素的影响，艾比湖的平均深度比较浅（约1.40 m）。此外，阿拉山口是该地区强风的入口。因此，在这种条件下艾比湖的水面面积对风（方向和速度）非常敏感。并且艾比湖作为封闭性内陆湖，补给主要是来自入湖流量和降水，其他的因素对湖水面积的影响并不显著。综上所述，艾比湖水面面积与降水的相关性较高[13]，而对气温的响应并不明显，这与前人的研究结果相一致。

艾比湖湖面面积的变化不仅受限于外部因素的影响，同样艾比湖水面面积的变化会对流域环境产生影响。从艾比湖流域的土地利用变化情况可以看出，变化幅度最显著的是草地和耕地，并且未利用土地一直处于下降趋势，同样可以归因于人类活动幅度的增加，例如开垦荒地和扩大种植面积等。由于来自阿拉山口的强风以及气温逐渐升高，导致湖泊蒸腾作用加剧，并且伴随着降水量的减少以及径流量减少等综合作用，有部分水域面积转化为盐碱地和未利用土地，这与前人的研究结果一致[12]。由于人类活动的增加以及水域转化为盐碱地，导致艾比湖流域的NDVI值下降，但是艾比湖流域的中部地区仍然存在植被覆盖增加的趋势，可能是因为人工林的增加。

5 结 论

本研究基于Landsat和JRC多源遥感数据，综合运用RS和GIS技术，对2000—2020年艾比湖长时序湖泊水面面积进行研究；同时分析了降水、气温对面积变化的影响以及湖面面积变化对艾比湖流域环境的影响，以期为当地政府开展艾比湖流域的生态环境保护和灾害预警监测提供科学参考。

参考文献

[1] Wang J Z, Tiyip T, Ding J L, et al. Desert Soil Clay Content Estimation Using Reflectance Spectroscopy Preprocessed by Fractional Derivative[J]. PLoS One, 2017, 12(9): e0184836

[2] Jing Y Q, Zhang F, Wang X P. Monitoring Dynamics and Driving Forces of Lake Changes in Different Seasons in Xinjiang Using Multi-source Remote Sensing[J]. European Journal of Remote Sensing, 2017, 51(1):150-165

[3] Ma L, Wu J L, Liu W, et al. Distinguishing Between Anthropogenic and Climatic Impacts on Lake Size: A Modeling Approach Using Data from Ebinur Lake in Arid Northwest China[J]. Journal of Limnology, 2014, 73(2):148-155

[4] Wang J, Ding J, Yu D, et al. Capability of Sentinel-2 Msi Data for Monitoring and Mapping of Soil Salinity in Dry and Wet Seasons in the Ebinur Lake Region, Xinjiang[J]. Geoderma, 2019, 353:172-187

[5] 唐梦迎, 丁建丽, 夏楠, 等. 博尔塔拉蒙古自治州植被覆盖度估算[J]. 测绘科学, 2019, 44(7):74-81

[6] Wang J, Ding J, Abulimiti A, et al. Quantitative Estimation of Soil Salinity by Means of Different Modeling Methods and Visible-near Infrared (VIS-NIR) Spectroscopy, Ebinur Lake Wetland, Northwest China[J]. PeerJ, 2018, 6:e4703

[7] He X, Lyu G, Qin L, et al. Effects of Simulated Nitrogen Deposition on Soil Respiration in a Populus Euphratica Community in the Ebinur Lake Area, a Desert Ecosystem of Northwestern China[J]. PLoS One, 2015, 10(9):e0137827

[8] Ge Y, Abuduwaili J, Ma L, et al. Potential Transport Pathways of Dust Emanating from the Playa of Ebinur Lake, Xinjiang, in Arid Northwest China[J]. Atmospheric Research, 2016:178-179

[9] 王瑾杰, 丁建丽, 张喆. 2008—2014年新疆艾比湖流域土壤水分时空分布特征[J]. 生态学报, 2019, 39(5):1 784-1 794

[10] 陈立欣, 张芸, 孔昭宸. 新疆艾比湖小叶桦湿地空气花粉散布特征及其与气象因子的关系[J]. 中国科学(地球科学), 2021, 51(11):1-15

[11] 骆剑承, 盛永伟, 沈占锋, 等. 分步迭代的多光谱遥感水体信息高精度自动提取[J]. 遥感学报, 2009, 13(4):610-615

[12] 李均力, 盛永伟, 骆剑承. 喜马拉雅山地区冰湖信息的遥感自动化提取[J]. 遥感学报, 2011, 15(1):29-43

[13] Li J, Sheng Y. An Automated Scheme for Glacial Lake Dy-

namics Mapping Using Landsat Imagery and Digital Elevation Models: a Case Study in the Himalayas[J]. International Journal of Remote Sensing,2012,33(16):5 194-5 213

[14] Song C, Sheng Y. Contrasting Evolution Patterns Between Glacier-fed and Non-glacier-fed Lakes in the Tanggula Mountains and Climate Cause Analysis[J]. Climatic Change, 2015,135(3-4):493-507

[15] Wang J, Sheng Y, Tong T S D. Monitoring Decadal Lake Dynamics Across the Yangtze Basin Downstream of Three Gorges Dam[J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 152:251-269

[16] Pekel J F, Cottam A, Gorelick N, et al. High-resolution Mapping of Global Surface Water and Its Long-term Changes[J]. Nature,2016,540(7 633):418-422

[17] Sumiya E, Dorjsuren B, Yan D, et al. Changes in Water Surface Area of the Lake in the Steppe Region of Mongolia: A Case Study of Ugii Nuur Lake, Central Mongolia[J]. Water, 2020,12(5):1 470

[18] 梁旭,刘华民,纪美辰,等. 北方半干旱区土地利用/覆被变化对湖泊水质的影响: 以岱海流域为例(2000-2018年)[J]. 湖泊科学,2021,33(3):727-736

[19] 曹家睿,陈蜀江,范贺娟,等. 艾比湖湖滨隐域性植被与地带性植被交错带土壤盐分对水域面积变化的响应[J]. 西南农业学报,2021,34(4):862-871

[20] Wang J Z, Ge X Y, Ding J L. Ebinur Lake Wetland Identification and Its Spatio-temporal Dynamic Changes[J]. Journal of Natural Resources,2021,36(8):1 949-1 963

[21] 白瑞东,何隆华,吴敬禄. 基于MODIS数据的近期新疆主要湖泊水面变化分析[J]. 干旱区研究,2012,29(4):561-566

[22] 约日古丽卡斯木,杨胜天,孜比布拉·司马义. 新疆艾比湖流域土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 农业工程学报,2019,35(2):260-269

[23] 李春娥,马静,何芷.伊犁河谷天然植被覆盖度的变化特征分析[J].地理空间信息,2022,20(2):84-88

（上接第64页）

实验结果表明，抽穗期与成熟期的B2/B3/B4/B8/NDVI波段组合提取效果最好，在研究区域测试集中的提取总体精度为94.50%，召回率为90.49%，准确率为90.54%，$F1$分数为0.91。抽穗期水稻突出的植被特征可以有效区别于建筑、裸地等非植被地物，但难以与其他植被区分；而成熟期较低的植被特征可有效区别于林地等植被，却与裸地、建筑等区别不明显。二者特征结合，能够较好的提取出水稻种植区域。在与传统监督分类方法的对比中，基于深度学习与多时序遥感影像水稻提取方法的提取效果明显优于传统监督分类方法。

水稻生长在不同物候期具有不同的植被特点，利用相关光谱特征指数（如NDVI）可使遥感影像上水稻特征更加突出。深度学习结合多时序遥感影像进行水稻提取，可以提取水稻在多时序影像中隐藏的信息，从而实现较高精度地提取。水稻生长具有地域性特点，随着纬度的变化，同一品种的水稻生长节点也会产生数天的差异。在多时序水稻遥感样本集制作中，考虑精确的时序信息时难以顾及水稻样本的广泛性（水稻分布方面）。因而深度学习用于多时序遥感影像水稻提取具有地区局限性的特点。在后续工作中，本研究将不断探讨多时序遥感影像样本集的最优构建方式，并继续挖掘水稻生长过程中更多的多时序信息。

参考文献

[1] 牛鑫鑫,孙阿猛,王钎沣,等. 基于深度学习的遥感图像分类研究[J]. 激光杂志,2021,42(5):10-14

[2] 董蕴雅,张倩. 基于CNN的高分遥感影像深度语义特征提取研究综述[J]. 遥感技术与应用,2019,34(1): 1-11

[3] 冯权泷,陈泊安,李国庆,等. 遥感影像样本数据集研究综述[J]. 遥感学报,2022,26(4):589-605

[4] 王立涛. 凤台县水稻生产现状及对策[J]. 现代农业科技,2017(12):55-56

[5] Xiao X, Boles S, Liu J, et al. Mapping Paddy Rice Agriculture in Southern China Using Multi-temporal MODIS Images[J]. Remote Sensing of Environment,2005,95(4):480-492

[6] Chandrasekar K, Sesha S, Mvrs, et al. Land Surface Water Index (LSWI) Response to Rainfall and NDVI Using the MODIS Vegetation Index Product[J]. International Journal of Remote Sensing,2010,31(15):3 987-4 005

[7] Qi J, Chehbouni A, Huete A R, et al. A Modified Soil Adjusted Vegetation Index[J]. Remote Sens Envrion, 2015, 48(2): 119-126

[8] 陈树辉,李杨,曾凡君,等. 基于多源数据的水稻种植面积提取[J]. 安徽农业科学,2011,39(12):7 442-7 444

[9] 许玉萍,刘鹏程,秦自成,等. NDVI时序曲线形状相似性模型的水稻提取方法[J]. 地理空间信息,2016,14(8):56-60

[10] 刘道芳,许志辉,卢欣. 基于国产数据及物候特征的水稻面积精细遥感监测方法研究[J]. 河南科技，2021，40(21): 23-26

[11] 崔璐,张鹏,车进. 基于深度神经网络的遥感图像分类算法综述[J]. 计算机科学,2018,45(增刊):50-53