近 40 年鄱阳湖枯水期水体面积变化特征及驱动因素分析

吴常雪[1]，田碧青[1]，高 鹏[1,2]，穆兴民[1,2]，赵广举[1,2]，尹殿胜[3]

(1.西北农林科技大学水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,陕西 杨陵 712100；2.中国科学院水利部水土保持研究所,陕西 杨陵 712100;3.中水淮河规划设计研究有限公司,合肥 230601)

摘要： 湖泊是维持生态平衡的重要因素,鄱阳湖作为我国最大的淡水湖,由于枯水期提前且持续时间延长导致水体面积发生变化。研究鄱阳湖枯水期水体面积的变化特征及其驱动因素对区域生态环境的稳定及经济发展具有重要意义。利用 1973－2018 年鄱阳湖枯水期遥感影像数据,采用 Mann－Kendall 趋势检验法、Mann－Kendall 突变分析法及 Pettitt 突变检验对湖泊水体面积变化特征进行分析,并利用双累积曲线法量化出入湖流量之差和人类活动导致的土地利用的变化对鄱阳湖枯水期水体面积的影响。结果表明：(1)在研究时段内,鄱阳湖枯水期水体面积呈极显著下降趋势($P<0.01$),突变点年份为 2002 年($P<0.01$)；(2)出入湖径流量之差多年来呈现不显著的增加趋势;1980－2015 年鄱阳湖流域的土地利用情况表现为城乡工建用地增加,其余用地类型均呈现减小趋势；(3)以 1977－2002 年作为基准期,2003－2016 年人类活动导致的土地利用的变化对鄱阳湖枯水期水体面积变化的贡献率为 87.48%,是鄱阳湖枯水期水体面积显著减少的主要原因。研究成果为鄱阳湖水资源的合理利用及维持区域生态系统的平衡提供了科学依据。

关键词： 鄱阳湖；枯水期；湖区面积；径流；土地利用

中图分类号：P333　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1009-2242(2021)03-0177-08

DOI：10.13870/j.cnki.stbcxb.2021.03.025

Characteristics and Driving Factors of Water Area Change of Poyang Lake During Dry Season in Recent 40 Years

WU Changxue[1], TIAN Biqing[1], GAO Peng[1,2], MU Xingmin[1,2], ZHAO Guangju[1,2], YIN Diansheng[3]

(1.*State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100; 2.*Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi* 712100; 3.*Zhongshui Huaihe Planning and Design Research Co., Ltd., Hefei* 230601)

Abstract: Lake is an important factor to maintain ecological balance. As the largest freshwater lake in China, water area of Poyang Lake has been changed due to the advance and prolonged dry season. It is of great significance for the stability of regional ecological environment and economic development to study the variation characteristics and driving factors of water area in Poyang Lake during the dry season. In this study, based on the remote sensing image data of Poyang Lake in dry season from 1973 to 2018, Mann－Kendall trend test, Mann－Kendall mutation analysis and Pettitt mutation test were used to analyze the area change of Poyang Lake during the dry season, and the double mass curve method was used to quantify the effects of the difference of inflow and outflow as well as land use change caused by human activities on the water area of Poyang Lake. The results showed that: (1) During the study period, the water area of Poyang Lake showed a very significant decline in the dry season ($P<0.01$), the year of the abrupt transition point was 2002 ($P<0.01$). (2) The difference of runoff in and out of the lake showed an insignificant increase trend over the years. From 1980 to 2015, the land use of Poyang Lake basin showed an increase in industrial and construction land in urban and rural areas, while other land use types showed a decreasing trend. (3) Taking 1977 to 2002 as the base period, the contribution rate of land use change caused by human activities was 87.48% to the change of

收稿日期：2020-10-29
资助项目：国家重点研究计划项目(2016YFC0501707)
第一作者：吴常雪(1996－),女,在读博士研究生,主要从事水土保持与生态水文研究。E-mail:1244243611@qq.com
通信作者：高鹏(1976－),男,研究员,博士生导师,主要从事水土保持与生态水文研究。E-mail:gaopeng@ms.iswc.ac.cn

Poyang Lake's water area during the dry season from 2003 to 2016, which was the main reason for the significant reduction of water area of Poyang Lake in dry season. The results could provide scientific basis for the rational utilization of water resources and the maintenance of regional ecosystem balance in Poyang Lake.

Keywords: Poyang Lake; dry season; water area; runoff; land use

江河湖泊具有提供水源、调节流量、为水生生物提供居所、改善区域小气候等多种生态功能,也是经济社会发展的基础支撑[1]。鄱阳湖作为我国最大的淡水湖泊,也是我国十大生态功能保护区之一,其水文情势一直备受关注。

进入 21 世纪后,鄱阳湖长期持续的低枯水位压缩了湖区面积,季节性洼地提前出露[2-3],动植物生存环境遭到破坏,生物多样性大量减少,群落结构日趋简单化[4]。湖泊枯水程度加剧[5],枯水期提前和延长,严重影响了当地居民的生产生活,极大地限制了区域经济的可持续发展。陈娅男等[6]将鄱阳湖 2013—2016 年丰水期(6—8 月)、枯水期(11 月至翌年 3 月)面积相加求平均值,得出丰水期鄱阳湖水域面积大约为枯水期时面积的 4 倍;张文等[7]对 1996—2016 年春夏秋冬 4 个时间段的湖区面积进行叠加发现,鄱阳湖水面面积变化整体呈缓慢减小的趋势且季节波动较大;黄淑娥等[8]以中分辨率极轨卫星数据作为主信息源发现,近 16 年来鄱阳湖丰水季与枯水季水域面积相差 1 倍以上。关于鄱阳湖湖区面积的影响因素,相关研究也给出了具体分析。曾少龙等[9]从涨退水研究鄱阳湖水位与湖泊面积的关系发现,水面面积与涨水退水的幅度变化趋势一致。马海朋等[10]研究表明,降水量、出入湖径流量、社会经济用水量等对鄱阳湖水域面积的变化存在一定的影响。还有研究表明,三峡水库的运行[11]、人类采砂[12]、湖口建闸[13]、长江与鄱阳湖江湖关系[14]等也会对鄱阳湖水体面积产生影响。

以往的研究对鄱阳湖面积的变化特征及原因进行了多方面的探讨,但是针对鄱阳湖枯水期的水体面积在长时间序列下的变化的研究相对缺乏。本研究基于多光谱遥感影像数据,采用线性回归法、M—K 趋势检验法、M—K突变检验、Pettitt 突变检验和双累积曲线法分析鄱阳湖 1973—2018 年枯水期水体面积变化趋势并定量解析径流量和土地利用对面积变化的贡献率,旨在为保护淡水资源、维持区域生态平衡提供理论依据。

1 研究区概况

鄱阳湖地处江西省北部,长江中下游交界的南岸(28°22′—29°45′N,115°47′—116°45′E),承接赣、抚、信、饶、修的五河之水,是典型的河湖贯通性湖泊(图 1)。鄱阳湖流域面积约 16.22 万 km^2,占江西省国土面积的 94%,南部湖区为鄱阳湖主湖区,约占湖泊总面积的 4/5。流域地处亚热带季风气候区,降水量丰富,具有明显的季节性和区域性[15],呈现从西南向东北递增的趋势[16]。年平均径流量约 1 450 亿 m^3[17],水文特征呈现"高水是湖,低水似河"的景象[18]。由于鄱阳湖枯水的形成与变化与五河入湖水量和长江来水量密切相关,一般 4—6 月为五河主汛期,7—8 月为长江的主汛期,长江对鄱阳湖的倒灌作用一般发生在 7—9 月,故大多数对鄱阳湖枯水期的研究将每年的 10 月至翌年 3 月作为枯水期[19]。

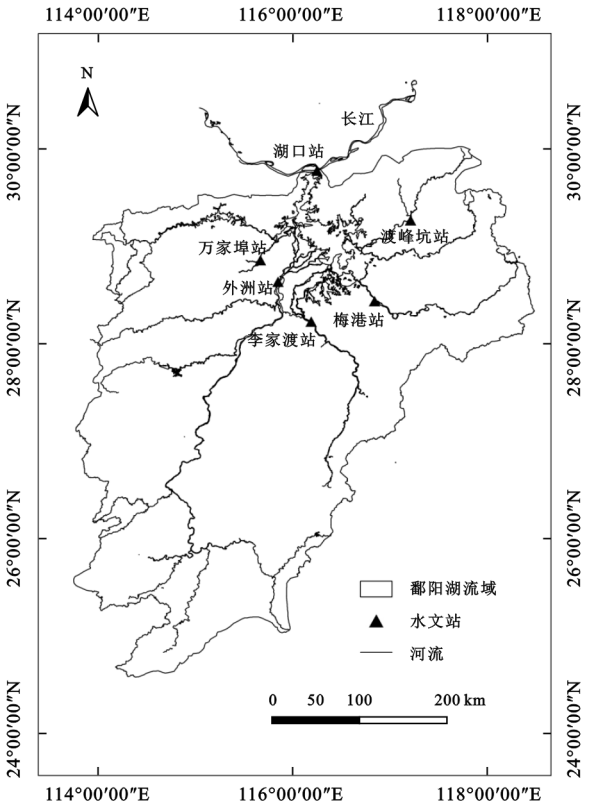

图 1 鄱阳湖流域及水文站点分布

2 数据资料与研究方法

2.1 数据资料与处理

本研究以鄱阳湖枯水期 1973—2018 年水体面积为研究对象,通过处理 Landsat 系列卫星对研究区内拍摄的低云卫星图片获得,数据来源为美国地质调查局官网(http://glovis. usgs. gov/)。由于个别数据缺失或云的遮挡严重影响了水体信息提取的精度,选择了相邻月份的数据代替,最终筛选得到除 1974 年、1978 年、1980 年、1985 年、1997 年以外 1973—2018 年鄱阳湖枯水期的多光谱影像图 116 幅(表 1),借助图像处理软件 ENVI5.3 进行辐射定标、大气校正、掩膜、裁剪等操作,然后采取多波段像元值比较方法提

取水体信息。首先人工判别图像中的地物类,通过收集 1 个或几个湖泊的像元波长,依靠计算机基于光谱自动分类的功能,识别出属于湖泊的区域。步骤为:

(1)掩膜。本文所研究的鄱阳湖水域的水面范围包含圩堤内的水面和五河入湖河道的水面,与鄱阳湖天然湿地范围一致,但一景影像包含研究区以外的数据,故文章以研究区范围为基础对影像进行掩膜。

(2)聚类处理及小斑块的去除。将未能自动识别的区域或者本不属于湖泊的区域人为增加或去除。

(3)面积插件计算各影像图下湖区水体面积。LE07 卫星拍摄的影像图存在规律条带,通过 ENVI 的 Landsat_gapfill 条带修复插件进行修复以后再重复以上步骤计算湖泊水体面积。将各年枯水期面积的平均值作为鄱阳湖枯水期的水体面积。

表 1　鄱阳湖枯水期水体面积提取图像时间

年份	图像时间(年-月-日)
1973	1973-12-24
1975	1975-10-30
1976	1976-10-06
1977	1977-10-01
1979	1979-11-05
1981	1981-12-09
1982	1983-01-28
1983	1983-10-11,1983-11-28
1984	1984-11-06,1984-12-06
1986	1987-01-31
1987	1987-12-01,1987-12-17
1988	1988-11-01,1989-02-13
1989	1990-01-23
1990	1990-12-09
1991	1991-10-09,1991-10-25,1991-11-10
1992	1992-11-28,1993-01-31,1993-03-12
1993	1993-11-15,1993-12-17
1994	1994-11-02,1995-03-10
1995	1995-11-05,1995-12-07,1996-02-09
1996	1996-10-22,1996-11-23,1996-12-09,1996-12-25,1997-01-10,1997-02-11
1998	1998-11-13
1999	1999-11-16,1999-12-02,1999-12-18,1999-12-10,2000-01-27
2000	2000-10-09,2000-11-02
2001	2001-10-20,2001-11-21,2002-01-08
2002	2002-10-15,2002-11-08
2003	2003-12-21,2004-02-15
2004	2004-10-28,2004-11-29,2004-12-07,2004-12-31,2005-01-15,2005-02-01,2005-03-06
2005	2005-10-31
2006	2006-11-03,2006-11-11,2006-12-21,2006-12-29,2007-01-06,2007-01-30
2007	2007-10-05,2007-11-30,2008-01-01
2008	2008-12-02,2008-12-10,2008-12-18
2009	2009-10-02,2009-10-26,2009-11-03,2009-12-21,2010-01-14,2010-02-23,2010-03-11
2010	2010-10-05,2010-11-06,2010-11-22,2010-12-08
2011	2011-11-08,2011-11-12,2011-11-25,2011-12-11
2012	2012-10-26,2012-11-11
2013	2013-10-05,2013-11-22,2013-11-30,2013-11-06,2013-12-24,2014-01-01,2014-01-17
2014	2015-01-04,2015-02-05,2015-02-13
2015	2015-10-03,2015-10-19,2015-12-30,2016-02-16,2016-03-27
2016	2016-10-05,2016-12-16,2017-02-10,2017-02-26
2017	2017-10-08,2017-12-19,2018-02-05,2018-02-13,2018-03-09
2018	2018-10-03,2018-10-11,2019-01-23

径流数据来源于五湖各水文控制站(外洲站、李家渡站、万家埠站、梅港站、渡峰坑站)以及湖口站1977—2016 年 10 月至翌年 3 月的实测月径流量数据,各水文站情况见表 2。求出各年份五湖各水文控制站枯水期年平均径流量,相加得枯水期总入湖径流量,同样求出湖口站同期总出湖径流量,用出入湖径流量差值分析鄱阳湖在枯水期天然径流的变化特征。

表 2 鄱阳湖各水文控制站基本信息

水文站	控制流域	地理位置		控制面积/km²
		经度	纬度	
外洲站	赣江	115°83′	28°63′	80948
李家渡站	抚河	116°17′	28°22′	15811
梅港站	信江	116°82′	28°43′	15535
渡峰坑站	饶河	117°19′	29°26′	5013
万家埠站	修水	115°65′	28°85′	3548

利用 1980 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年 6 期的全国土地利用调查数据分析流域土地利用变化情况,数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心构建的全国土地利用数据库。根据土地利用现状分类标准(GB/T 21010—2007)[20],将土地利用类型共划分 6 类 1 级地类(耕地、林地、草地、水域、建筑用地及未利用地)和 25 类 2 级用地。本研究通过 GIS 软件对土地利用矢量数据进行重分类与栅格化处理,将 2 级土地利用类型合并为 1 级土地利用类型,并重新赋值:耕地(1)、林地(2)、草地(3)、城乡工建用地(4)、未利用土地(5)。

2.2 研究方法

2.2.1 面积及径流变化特征分析 本研究采用线性回归法及非参数 Mann—Kendall(以下简称 M—K 法)趋势检验法对研究时段内湖区枯水期面积及出入湖径流的差值进行趋势分析,该方法是一种非参数统计检验的方法,不要求数据样本遵从一定的分布,在气象水文中应用广泛[21]。使用 Mann—Kendall 突变检验分析水文过程是否存在突变点,再结合 Pettitt 突变检验法确定发生突变的年份。Pettitt 检验法是通过检验时间序列要素均值变化的确切时间来确定跃变变化的确切时间[22]。

2.2.2 土地利用动态度 某种类型土地利用在一定时间内的变化速度可以用单一土地利用动态度来表示,指标数值越大,表示土地利用变化剧烈程度越高,相反则土地利用变化越缓慢[23]。从土地利用变化速度对鄱阳湖流域在人类活动作用下的土地利用变化时空规律进行分析。计算公式为:

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\cdot\frac{1}{t} \tag{1}$$

式中:K 为单一土地利用动态度(%);U_a、U_b 分别为研究期初和研究期末某土地利用类型的面积数量(km²);t 为研究期初至研究期末的间隔年数(a)。

2.2.3 双累积曲线法 双累积曲线是在直角坐标系中绘制同期内一个变量的连续累积值与另一个变量连续累积值的关系线,常用来检验分析水文气象要素长期演变趋势及一致性[24]。本研究中面积与径流所构建的双累积曲线可用于探究湖泊枯水期水体面积演变趋势过程,基于关系曲线斜率变化来判定分析面积变化的阶段性特征,并通过曲线回归分析构建径流面积关系式,进一步量化分析人类活动与径流因素对面积演变过程的影响程度[25-26]。

3 结果与分析

3.1 鄱阳湖枯水期水体面积变化特征

3.1.1 湖泊水体面积年际变化特征 由图 2 可知,鄱阳湖枯水期 1973—2018 年水体面积呈极显著下降趋势($Z=-3.76$),结合不同年代面积变化的特征值(表 3)可知,不同年代湖区面积的变化情况不同。整个研究时段内水体面积的平均值为 1 516.64 km²,最大值为 1975 年的 3 728.32 km²,最小值为 2014 的 715.26 km²。20 世纪 70 年代,枯水期湖泊水体面积的平均值为 2 125.27 km²,Cv 值和极值比相对其他年代来说较大,说明这一时期湖泊面积变化剧烈;80 年代湖泊面积开始减小并且波动程度降低,90 年代到 21 世纪 00 年代湖泊面积的均值相对稳定,但 00 年代湖区枯水期面积的 Cv 值及极值比显著高于 90 年代,说明 21 世纪 00 年代湖区面积的波动情况较 90 年代剧烈;进入 21 世纪 10 年代后鄱阳湖枯水期湖区面积进一步减小,平均面积已减小至 20 世纪 70 年代湖区平均面积的 1/2,水体面积低于 1 000 km² 以下的年份接近 1/2,Cv 值及极值比较小,面积变化不显著。1975 年、1983 年、2000 年、2002 年鄱阳湖水体面积较大,分析其主要原因是当年枯水期降水丰富,五河入湖流量较大,从而增大了湖泊面积。

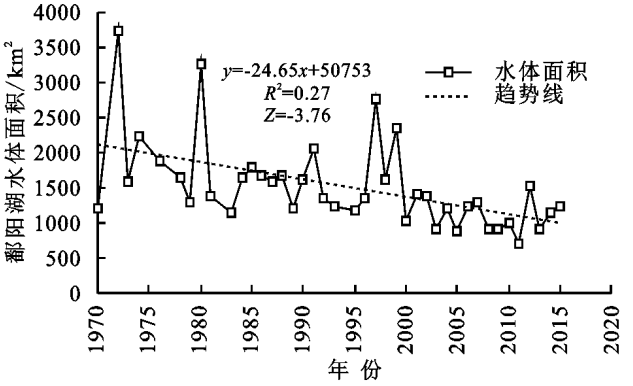

图 2 鄱阳湖枯水期水体面积变化趋势

表 3　鄱阳湖 1973－2018 年枯水期面积

时间	最小值/km²	最大值/km²	极值比	平均值/km²	差异系数(Cv)
1973－1979	1194.98	3728.32	2.12	2125.27	0.41
1980－1989	1149.20	3269.61	1.85	1731.27	0.36
1990－1999	1075.53	2065.40	0.76	1471.23	0.19
2000－2009	868.20	2773.39	2.19	1478.63	0.40
2010－2018	715.26	1523.22	1.13	1075.37	0.22
多年平均	1000.63	2671.99	4.21	1516.64	0.41

3.1.2　湖泊水体面积变化突变分析　Mann－Kendall 突变检验结果(图 3)表明,1973－2018 年鄱阳湖枯水期水体面积突变年份在 2002 年附近。利用 Pettitt 突变检验对该点进一步验证表明,2002 确为枯水期湖泊水体面积的突变点(图 4),且检验结果达到 0.01 显著水平。定义突变点前后时段分别为基准期与变化期,统计分析不同阶段湖泊水体面积特征参数值(表 4)可以看出,鄱阳湖枯水期水体面积的平均值由突变前的1 778.22 km²减小为 1 107.91 km²,减少了 37.70%。极值比和变差系数相较于突变前有所减小,说明枯水期湖泊水体面积的年际变化减小。

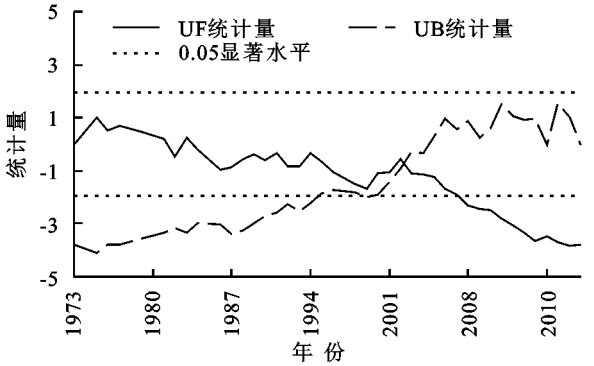

图 3　鄱阳湖枯水期面积 M－K 突变检验曲线

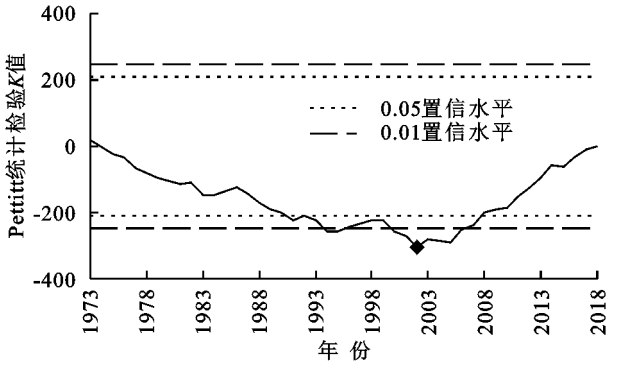

图 4　鄱阳湖枯水期湖泊平均面积 Pettitt 突变检验

表 4　鄱阳湖枯水期面积阶段性变化特征分析

时间	均值/km²	极值比	差异系数(Cv)
1973－2002	1778.22	2.24	0.36
2003－2018	1107.91	1.13	0.20

3.2　鄱阳湖水体面积的空间变化特征

鄱阳湖属于季节性湖泊,不同季节水面变化显著,在枯水期各月份水体面积变化也很明显。从研究时段的湖泊影像分析结果来看,各年份枯水期湖泊水体面积的空间变化具有一致性。选择枯水期图像完整的 2004 年的影像数据为代表分析鄱阳湖枯水期水体面积及空间变化情况(图 5),以 10 月为分析起点可以发现,鄱阳湖西南方向的水面最先开始收缩,到 11 月湖面基本上只剩中部中心以及东北部的部分水面,12 月,枯水程度加深,中心部分及东北部的水面进一步减小,只剩下北部蜿蜒的河道及中部小部分湖面。翌年 1 月,湖泊水体面积开始呈现增加趋势。西南方向的湖面首先出现扩大趋势,紧接着中部和北部的湖面也得到补给。随着雨季的到来,降水源源不断的补给径流从而使湖区面积逐渐增大。其中,南部和东南部的部分封闭性水体,面积基本没有发生变化。

整体来看,鄱阳湖水体面积在枯水期呈现先减小后增加的趋势,水体面积从中心向周围逐渐递减。西南部分最先开始减小,随后中部、东北部大部分水面消失,随着降雨的增加,湖水会先补充北部水面,随后是中部,最后补充西南方向的水面。鄱阳湖水体面积的空间变化与地势变化相一致。

3.3　面积变化驱动因素分析

湖泊水域面积的变化是其所在流域水量平衡的综合结果[27],受自然因素和人类活动的综合影响。自然因素中由气候变化引起的降水量的变化会直接影响湖泊的径流量,从而影响湖泊的水体面积。而土地利用变化是对人类社会经济活动的重要响应和表现[28],人类根据不同的发展需求,驱动区域自然环境发生改变,使陆地表层不同的土地利用方式相互转化,对湖泊面积产生影响。

3.3.1　出入湖径流量对湖泊水体面积的影响　在研究时段内,鄱阳湖枯水期湖区的径流量在长时间序列下表现为出湖流量大于入湖流量,出入湖径流量之差多年来呈现出丰枯交替的随机变化过程,总体呈不显著的增加趋势(图 6),平均值为 1 194.85m³/s。1988 年净出湖流量最大,为 1 967m³/s,1978 年最小,为 223 m³/s。20 世纪 70－90 年代出入湖径流差变化最显著,进入 21 世纪,波动趋势减缓,但总体上较为稳定。为进一步分析径流的趋势性,利用 Mann－Kendall 法进行趋势检验,统计量 Z 值为－0.27,未通过显著性检验,说明出入湖径流量之差的增加趋势不显著,与图 5 结果一致。

研究时段内出入湖径流量之差呈不显著的增加趋势,而湖泊水体面积呈下降趋势;同时两者的相关性分析表明,出入湖径流量之差与湖泊水体面积之间呈现不显著的负相关,本研究表明,径流量不是影响

鄱阳湖水体面积变化的主要驱动因素。

3.3.2 土地利用对湖泊水体面积的影响 通过对鄱阳湖流域 6 个时期的土地利用变化数据统计分析，得到各年份土地利用分布状况（图 7），用公式（1）计算鄱阳湖流域 1980－2015 年各地类土地利用动态度（表 5），土地利用变化速度的大小表征人类活动对自然环境的影响强弱。可以看出，在 1980－2015 年内土地利用变化总体趋势为建筑用地增加，耕地、林地、草地和未利用地面积均有所减少，其中未利用地面积减小速度最快，动态度为－1.52%。

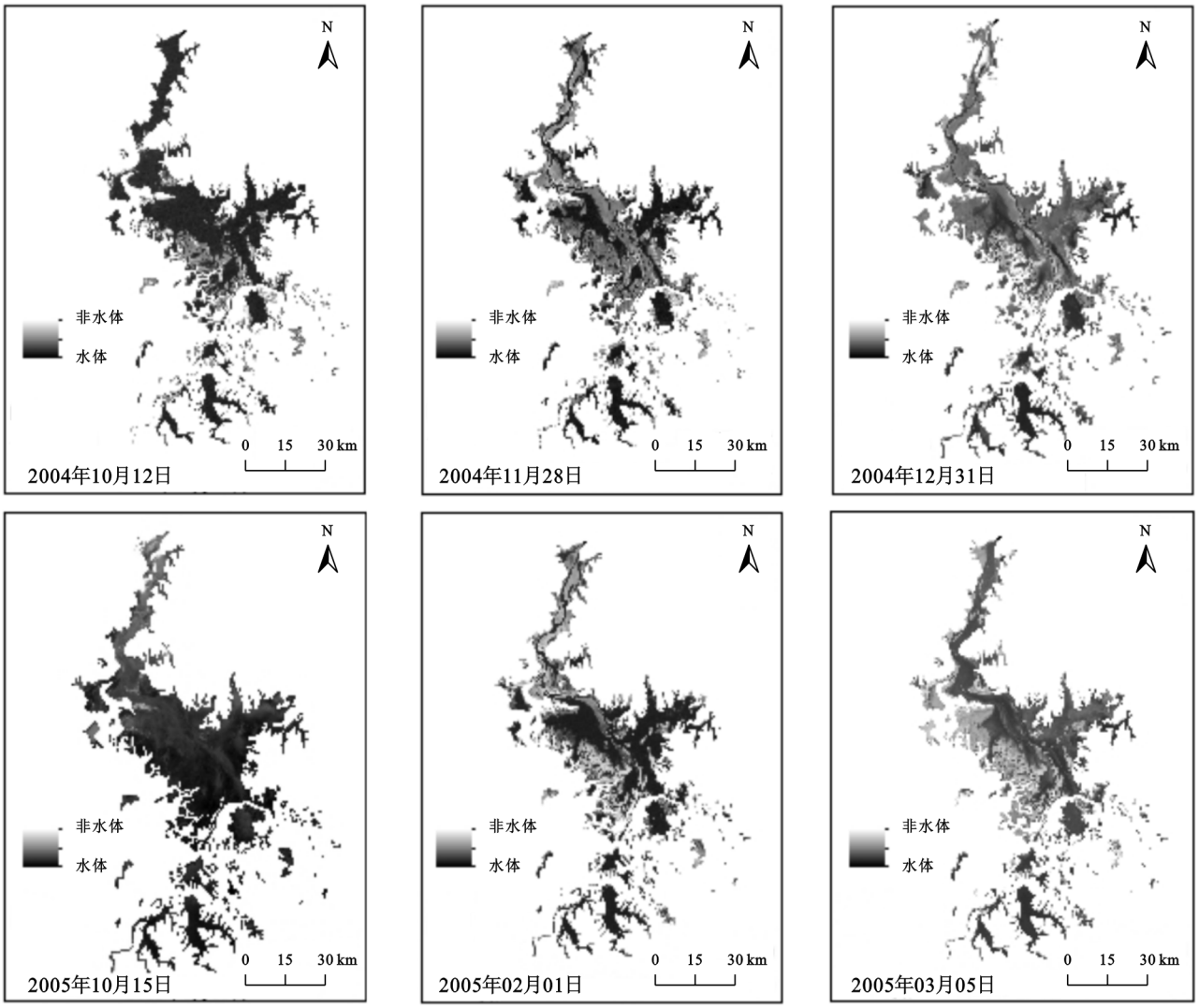

图 5 2004 年鄱阳湖枯水期水体面积空间变化

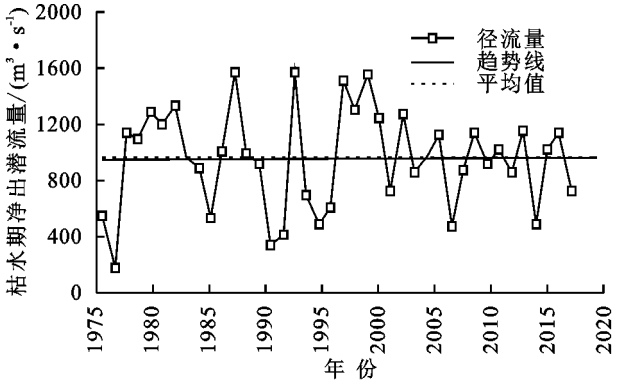

图 6 鄱阳湖枯水期径流变化趋势分析

不同时期，土地利用变化特点不同。1980－2005 年，耕地面积持续减小，但减小速度减缓，从 1980－1995 年的 0.89%减小至 2000－2005 年的 0.07%，2005－2015 年耕地面积出现增加趋势。林地多年来变化呈现动态变化的趋势，1980－2000 年呈增加趋势，2000－2010 年呈现减小趋势，且动态度达到－3.58%，2000－2015 年又出现增加趋势。草地面积在 1980－2010 年逐年减小，且减小速度逐渐增大，从 1980—1995 年的 0.18%增大至 2000－2005 年的 0.47%，2005－2010 年出现短暂的增加后又在 2010－2015 年减少。城乡工建用地在 1980－2010 年呈增加趋势，2005－2010 年增加速度最快，动态度达 6.30%，但 2010－2015 年建筑用地面积呈现出减小的趋势。未利用地总体呈减小趋势，2000－2005 年减小速度达最大，为－8.53%。

鄱阳湖周围主要的土地利用方式为耕地、林地和未利用地，1980－2000 年 3 种用地类型面积都增

大,压缩了部分水体。2000 年以后,林地、未利用地面积减小,城乡工建用地面积进一步加大,湖区面积继续减小。土地利用方式的改变影响了流域的水文情势,并且随着城镇化的发展,流域取水量不断增加,而降水量无法提供足够径流致使湖区面积减小。这同样也说明在经济区位和国家政策的影响下,区域土地资源经济价值整体上升。市场经济条件下,建设用地面积势必增加,耕地、草地等生态用地相对减少,进一步导致土地利用程度上升[29]。1998 年后国家实施了“退田还湖”政策,鄱阳湖流域根据实际情况划定了“单退区”和“双退区”,使得耕地农田面积减少,而湖区面积增大。另外,“山江湖工程”立足生态环境,以可持续发展为目标,80 年代后期和 90 年代在许多水土流失严重的区域,开展了大面积的植树造林,该区的林地面积在 90 年代有所增加,并得到保护。

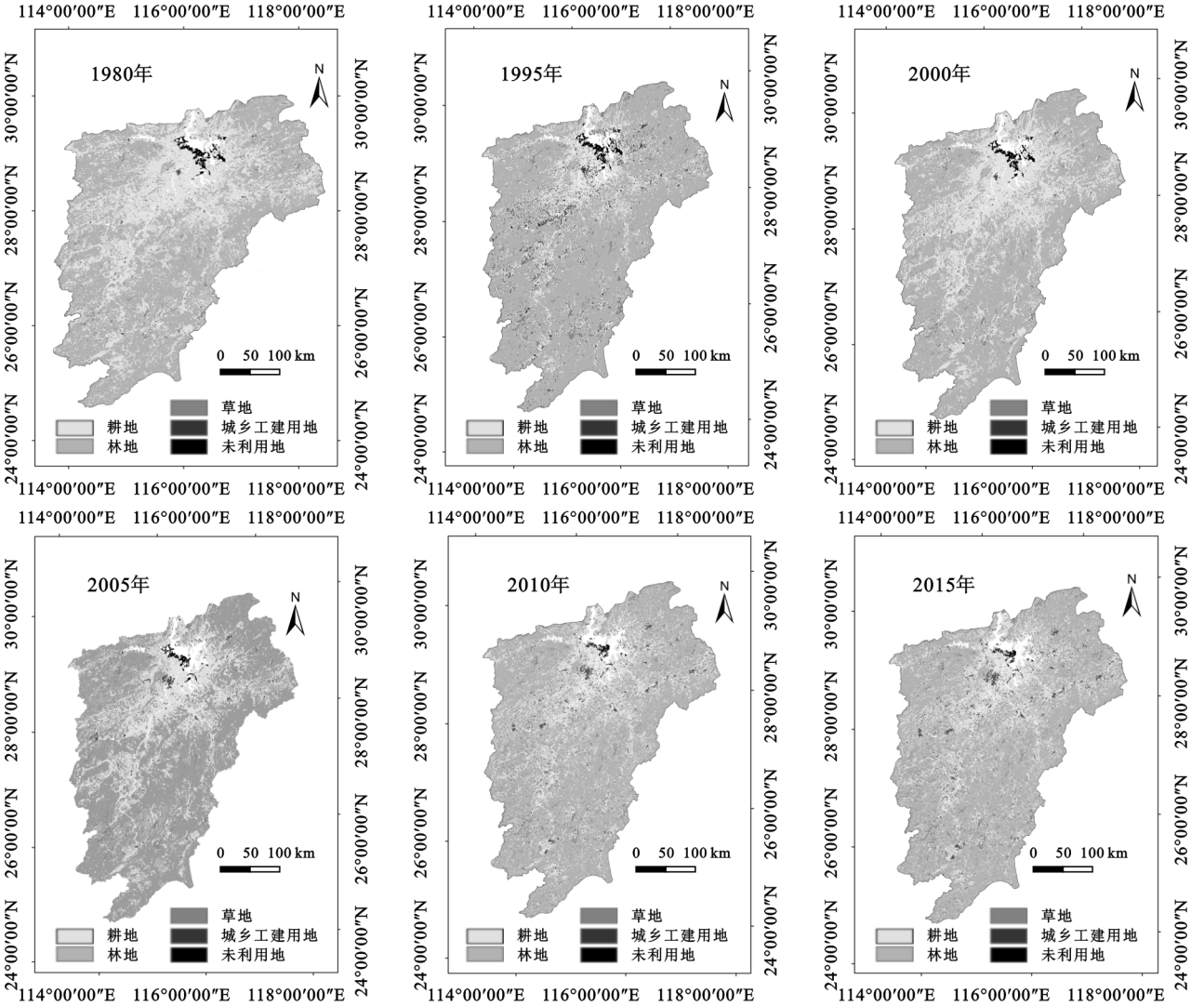

图 7　鄱阳湖流域 1980－2015 年土地利用分布

表 5　1980－2005 年鄱阳湖流域各土地利用类型动态度

土地利用类型	单一土地利用动态度 K/%					
	1980－1995 年	1995－2000 年	2000－2005 年	2005－2010 年	2010－2015 年	1980－2015 年
耕地	0.10	－0.14	－0.07	0.39	－0.02	－0.34
林地	1.16	0.38	－3.58	－1.57	0.15	－0.15
草地	－0.18	－0.12	－0.47	0.64	－1.03	－0.21
城乡工建用地	0.38	0.14	2.99	6.30	－4.20	1.36
未利用地	－0.10	0.44	－8.53	－5.66	0.74	－1.52

3.3.3　基于双累积曲线的影响因子贡献率分析　湖泊面积受控于出入湖径流量的变化,但同时也叠加了人类活动的影响。为了消除径流变化对面积的影响,进而显现人类活动的的作用,双累积曲线已经成为一种常用的方法[25]。为了保证研究时序的一致性,采用 1977－2016 年湖区面积和径流数据做归因分析。

由前面的变点分析可知，鄱阳湖枯水期水体面积在2002年发生突变(图8)。为进一步对鄱阳湖枯水期水体面积缩小进行归因辨析，基于突变前出入湖径流量之差与面积关系，通过径流引起的湖泊面积减少量占湖泊面积总减少量的比例，计算分析突变后径流与人类活动对鄱阳湖水体面积变化贡献(表6)。2003—2016年人类活动对鄱阳湖枯水期水体面积变化的贡献率为87.48%，而出入湖径流量之差对面积变化的贡献率较小，仅为12.52%。结合以上研究结果可知，人类活动导致的土地利用的变化是鄱阳湖枯水期面积显著减少的主要原因。

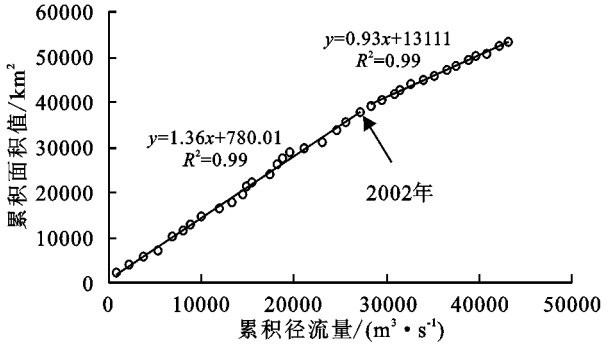

图8 鄱阳湖枯水期1977—2016年径流—面积双累积曲线

表6 不同时段径流与人类活动对湖泊面积减少的贡献率分析

时间	实测面积平均值/km²	实测径流平均值/km²	实测面积变化		径流影响		人类活动影响	
			变化量/km²	百分比/%	变化量/km²	百分比/%	变化量/km²	百分比/%
1977—2002	1724.62	1222.68						
2003—2016	1095.42	1143.92	629.20	36.48	78.76	12.52	550.44	87.48

4 结论

(1)1973—2018年，鄱阳湖枯水期水体面积变化总体呈极显著下降趋势($P<0.01$)，在2002年发生突变($P<0.01$)。枯水期时，水体面积从中心向周围逐渐递减，空间变化表现为西南部分最先开始减小，随后中部、东北部大部分水面消失，水量最少的时候只剩中心蜿蜒的河道。

(2)鄱阳湖枯水期出入湖径流量之差多年来呈现不显著的增加趋势($P>0.05$)，且与枯水期湖泊水体面积呈不显著的负相关性($P>0.05$)，说明出入湖径流量对湖泊水体面积的变化无显著影响。

(3)1980—2015年鄱阳湖流域各土地利用类型变化情况表现为城乡工建用地持续增加($K=1.36\%$)，耕地、林地、草地及未利用地面积整体呈减小趋势，说明在研究时段内，土地利用的变化对流域的影响逐渐加强。土地利用方式的改变一方面影响流域的水文情势，另一方面随着城镇化的发展，流域取水量不断增加，进而影响湖泊的径流补给，致使湖区面积减小。

(4)人类活动是鄱阳湖枯水期水体面积变化的主要驱动因素。相较于基准期(1977—2002年)，2003—2016年间人类活动导致的土地利用对湖泊面积减小的贡献率为87.48%，而出入湖径流量的贡献率为12.52%。

参考文献：

[1] 李仁.河湖治理，重在基层[N].烟台日报，2019-11-24(001).

[2] 郭华，张奇，王艳君.鄱阳湖流域水文变化特征成因及旱涝规律[J].地理学报，2012，67(5)：699-709.

[3] Li M F, Zhang Q, Li Y L, et al. Inter-annual variations of Poyang Lake area during dry seasons: Characteristics and implications [J]. Hydrology Research, 2016, 47(S1):40-50.

[4] Guo H, Hu Q, Zhang Q, et al. Effects of the Three Gorges Dam on Yangtze River flow and river interaction with Poyang Lake, China: 2003—2008 [J]. Journal of Hydrology, 2012, 416/417:19-27.

[5] 胡振鹏，林玉茹.鄱阳湖水生植被30年演变及其驱动因素分析[J].长江流域资源与环境，2019，28(8)：1947-1955.

[6] 陈娅男，黄义忠，郭瑞，等.基于2013—2016年TM影像鄱阳湖面积动态监测[J].软件，2019，40(5)：179-184.

[7] 张文，崔长露，李林宜，等.基于长时间序列遥感数据的鄱阳湖水面面积监测分析[J].水文，2019，39(3)：29-35.

[8] 黄淑娥，聂志强，陈兴鹃，等.基于MERSI和MODIS资料的鄱阳湖水体面积遥感监测及其变化特征[J].江西农业大学学报，2019，41(3)：610-618.

[9] 曾少龙，赖格英，杨涛.从涨退水看鄱阳湖水位—湖面面积关系[J].水文，2019，39(3)：46-51.

[10] 马海朋，张继超.面向对象水域信息提取及其面积变化分析：以鄱阳湖为例[J].测绘与空间地理信息，2018，41(12)：149-153.

[11] 杨沛钧，廖智凌.鄱阳湖流域江湖关系研究综述[J].中国农村水利水电，2017(3)：65-67，74.

[12] 江丰，齐述华，廖富强，等.2001—2010年鄱阳湖采砂规模及其水文泥沙效应[J].地理学报，2015，70(5)：837-845.

[13] 周建军，张曼.长江鄱阳湖问题的原因及湖口建闸的影响[J].水资源保护，2019，35(2)：1-12.

[14] 邴建平.长江—鄱阳湖江湖关系演变趋势与调控效应研究[D].武汉：武汉大学，2018.

[15] 郭华，姜彤，王国杰，等.1961—2003年间鄱阳湖流域气候变化趋势及突变分析[J].湖泊科学，2006，18(5)：443-451.

[16] 姬志军，张连明.鄱阳湖流域降雨量及降雨侵蚀力时空分布特征[J].人民黄河，2019，41(6)：81-84.

[17] 彭薇，霍军军，许继军.鄱阳湖枯水期入湖径流变化特征分析[J].长江科学院院报，2016，33(3)：19-22.

(下转第189页)

[5] 张兴刚，王春红，程甜甜，等.山东省药乡小流域侵蚀性降雨分布特征[J].中国水土保持科学，2017，5(1)：128-133.

[6] 李林育，王志杰，焦菊英.紫色丘陵区侵蚀性降雨与降雨侵蚀力特征[J].中国水土保持科学，2013，1(1)：8-16.

[7] 王改玲，王青杵，石生新.晋北黄土区降雨特征及其对坡地土壤侵蚀的影响[J].水土保持学报，2013，27(1)：1-5.

[8] 左长清，马良.天然降雨对红壤坡地侵蚀的影响[J].水土保持学报，2005，19(2)：1-4，32.

[9] 贺燕子，岳大鹏，达兴，等.陕北黄土洼聚湫类型划分与侵蚀产沙模拟研究[J].水土保持学报，2017，31(2)：87-91，165.

[10] Richardson C W，Foster G R，Wright D A. Estimation of erosion index from daily rainfall amount [J].Transactions of the ASAE American Society of Agricultural Engineers，1983，26(1)：153-156.

[11] Anees M P，Abdullah K，Nawawi M，et al. Development of daily rainfall erosivity model for Kelantan state，Peninsular Malaysia [J]. Hydrology Research，2018，49(5)：1434-1451.

[12] Lee M H，Lin H H. Evaluation of annual rainfall erosivity index based on daily，monthly，and annual precipitation data of rainfall station network in southern Taiwan [J]. International Journal of Distributed Sensor Networks，2015，11(6)：285-229.

[13] 范俊甫，何惠馨，郭兵.1980-2015 年黄河流域降雨侵蚀力时空变化分析[J].地球信息科学学报，2018，20(2)：196-204.

[14] 章文波，谢云，刘宝元.利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J].地理科学，2002，22(6)：705-711.

[15] 白云博，王婷，欧阳斯达，等.安徽省 1990—2010 年降雨侵蚀力分析[J].中国水土保持，2020，41(6)：31-33，5.

[16] Xie Y，Yin S Q，Liu B Y，et al. Models for estimating daily rainfall erosivity in China [J].Journal of Hydrology，2016，535：547-558.

[17] 鄱阳湖研究编委会.鄱阳湖研究[M].上海：上海科学技术出版社，1988.

[18] 殷剑敏，苏布达，陈晓玲，等.鄱阳湖流域气候变化影响评估报告[M].北京：气象出版社，2011.

[19] 金建君，谢云，张科利.不同样本序列下侵蚀性雨量标准的研究[J].水土保持通报，2001，21(2)：31-33.

[20] 王万忠.黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究Ⅲ：关于侵蚀性降雨的标准问题[J].水土保持通报，1984，4(2)：58-63.

[21] Foster G R. User's reference guide：Revised universal soil loss equation (RUSLE2) [M]. Washington D C：Department of Agriculture，Agricultural Research Service，2004.

[22] 刘灵.全球气候变化背景下江西省降雨侵蚀力研究[D].南昌：江西农业大学，2013.

[23] 詹丰兴，何金海，章毅之，等.江南雨季地理区域及起止时间的客观确定[J].海洋学报，2015，37(6)：1-11.

[24] 江西省地方志编纂委员会.江西省志丛书：江西省气象志[M].北京：方志出版社，1997.

[25] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会.GB/T 28592—2012 降水量等级[S].北京：中国标准出版社，2012.

(上接第 184 页)

[18] 戴雪，万荣荣，杨桂山，等.鄱阳湖水文节律变化及其与江湖水量交换的关系[J].地理科学，2014，34(12)：1488-1496.

[19] 彭薇.鄱阳湖枯水期水文特征分析及旱限水位研究[D].武汉：长江科学院，2015.

[20] 土地利用现状分类.国家质量监督检验检疫总局，国家标准化管理委员会. GB/T 21010-2007[S].北京：中国标准出版社，2007.

[21] 赵广举，穆兴民，田鹏，等.近 60 年黄河中游水沙变化趋势及其影响因素分析[J].资源科学，2012，34(6)：1070-1078.

[22] Pettitt A N. A non-parametric approach to the change-point problem [J].Journal of the Royal Statistical Society，1979，28(2)：126-135.

[23] 侯湖平，张绍良，闫艳，等.基于 RS、GIS 的徐州城北矿区生态景观修复研究[J].中国矿业大学学报，2010，39(4)：504-510.

[24] Gao P，Li P F，Zhao B L，et al. Use of double mass curves in hydrologic benefit evaluations [J].Hydrological Processes，2017，31(26)：4639-4646.

[25] Zhao G J，LI E H，MU X M，et al. Changing trends and regime shift of streamflow in the Yellow River basin [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment，2015，29(5)：1331-1343.

[26] 穆兴民，张秀勤，高鹏，等.双累积曲线方法理论及在水文气象领域应用中应注意的问题[J].水文，2010，30(4)：47-51.

[27] 丁永建，刘时银，叶柏生，等.近 50 a 中国寒区与旱区湖泊变化的气候因素分析[J].冰川冻土，2006，28(5)：623-632.

[28] 刘纪远，张增祥，庄大方，等.20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J].地理研究，2003，22(1)：1-12.

[29] 徐羽，钟业喜，冯兴华，等.江西省土地利用变化及其对人类活动的响应[J].水土保持研究，2017，24(1)：181-186，193.