

鄱阳湖水文干旱化发生的机制研究

齐述华, 张秀秀, 江 丰, 王 鹏

(江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 地理与环境学院,
江西省鄱阳湖综合治理与资源利用重点实验室, 南昌 330022)

摘要: 近年来, 鄱阳湖呈现显著的秋冬季干旱化趋势, 对鄱阳湖水生态安全和湿地生态安全都产生了显著影响, 引起广泛的社会关注。揭示鄱阳湖水文情势发生变化的原因, 对鄱阳湖科学管理具有重要的意义。利用 Landsat 卫星系列遥感影像分析 2000 年以来鄱阳湖采砂基础上, 结合长时间序列水文资料, 分析鄱阳湖水文特征变化, 探讨了鄱阳湖水文特征变化与采砂之间的关系。得到以下结论: (1) 从采砂船数量、采砂规模和采砂方位等来看, 数量和规模远超规划限额的规模, 并且呈扩大趋势, 采砂范围已经扩大到鄱阳湖最南端, 并在生态敏感区出现, 表现出滥采、盗采和超采的无序状态。(2) 新世纪以来, 鄱阳湖枯水期提前、特征低枯水位时间延长, 入江河道的水面坡降呈减小趋势, 但泄流出湖速率呈增加趋势。(3) 长江三峡水库运行对中下游水位的影响, 以及长江中下游含沙量降低造成清水侵蚀, 河床下降削弱长江水对鄱阳湖泄流的顶托作用, 也是鄱阳湖水文干旱化变化的潜在原因。(4) 鄱阳湖采砂导致入江河道加深、加宽, 是鄱阳湖秋冬季水文干旱化的原因之一。研究结果对于如何应对鄱阳湖秋冬季水文干旱化, 开展鄱阳湖综合治理具有参考价值。

关键词: 水文干旱; 采砂; 鄱阳湖; 三峡水库; 成因探讨

湿地水文条件影响湿地生态系统中生物群落的组成、分布以及生态系统的功能。鄱阳湖季节性涨落形成了广阔的滨湖湿地, 孕育了丰富的生物多样性, 被列为国际重要湿地^[1-2]。近年来, 鄱阳湖水文情势发生显著的秋冬季干旱化趋势, 对鄱阳湖湿地生态安全构成显著威胁, 引起了广泛关注。据第二次鄱阳湖科学考察表明: 受鄱阳湖秋冬季干旱化的影响, 鄱阳湖湿地植物群落面积减少, 并且湿生(如苔草)和挺水植物群落(如菰)的面积比例显著增加, 而浮叶和沉水植被分布面积比例明显下降^[3]。同时, 由于干旱造成很多鱼类无法完成产卵繁殖, 大量草洲干涸, 鱼类无法进入这些草洲繁殖、索饵和育肥, 对依赖湖区苔草等植物产卵、索饵、栖息的鲤鱼、鲫鱼等鲤科鱼类产生的影响极大。因此揭示鄱阳湖秋冬季水文干旱化变化的原因, 对于如何应对这种变化及其带来的影响, 开展鄱阳湖综合治理具有重要的意义。

目前, 有研究认为长江三峡水库从 9 月份开始蓄水, 使长江下游水位降低, 形成江湖水位坡降增加, 对鄱阳湖水形成拉空效应, 加大鄱阳湖泄流速率, 是造成鄱阳湖秋冬季干旱的主要原因^[4-9]; 也有研究认为流域范围内的降水减少是鄱阳湖干旱的原因^[10]。最近, 赖锡军等^[11]根据河道流量计算公式, 从理论上证明江河道中采砂是造成鄱阳湖秋冬季干旱的最主要原因; 江丰等^[12]结合多时相卫星遥感影像分析 2000-2010 年采砂船分布和

收稿日期: 2018-06-21; 修订日期: 2018-11-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41471298); 江西省重大生态安全问题监控协同创新中心 (JXS-EW-00)

作者简介: 齐述华 (1973-), 男, 江西婺源人, 博士, 教授, 研究方向为环境遥感。E-mail: qishuhua11@163.com

湖盆地形的变化, 估算了鄱阳湖采砂规模及采砂的水文效应和泥沙效应, 认为采砂可能是引起鄱阳湖水文情势变化的主要原因。

本文利用LANDSAT卫星的系列传感器获取遥感影像, 分析鄱阳湖2000-2016年采砂规模基础上, 结合长时间序列水文资料, 分析鄱阳湖水文特征的变化, 探讨鄱阳湖水文特征变化与采砂、三峡水库运行的关系, 辨析鄱阳湖水文干旱化发生的主要成因, 以期应对鄱阳湖秋冬季干旱变化和鄱阳湖综合治理提供参考。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

鄱阳湖位于长江中下游南岸(图1), 承纳赣江、抚河、信江、修水、饶河等“五河”的来水及清丰山溪、博阳河、漳田河、潼津河等区间来水, 通过调蓄后经湖口流入长江, 是长江中下游重要的调蓄湖泊, 也是中国最大的淡水湖。受东亚季风性气候和湖盆形态的影响, 鄱阳湖属吞吐型、季节性的浅水湖泊。根据多年水文观测, 1951-2014年星子水位站的各年最高水位的平均值为17.05 m(黄海高程, 下同), 年最低水位的平均值为5.98 m, 平均水位为11.36 m, 水位的最大年变幅达14.15 m。季节性涨退水过程造就了大面积滨湖湿地, 孕育了丰富的生物多样性, 是世界最富有生物多样性的湿地生态系统之一, 是中国首批被列入国际重要湿地名录的自然保护区之一, 被世界自然基金会划分为全球重要生态区之一。

新世纪以来, 鄱阳湖遭遇显著的秋冬季水文干旱化变化特征, 枯水期呈现出提前和

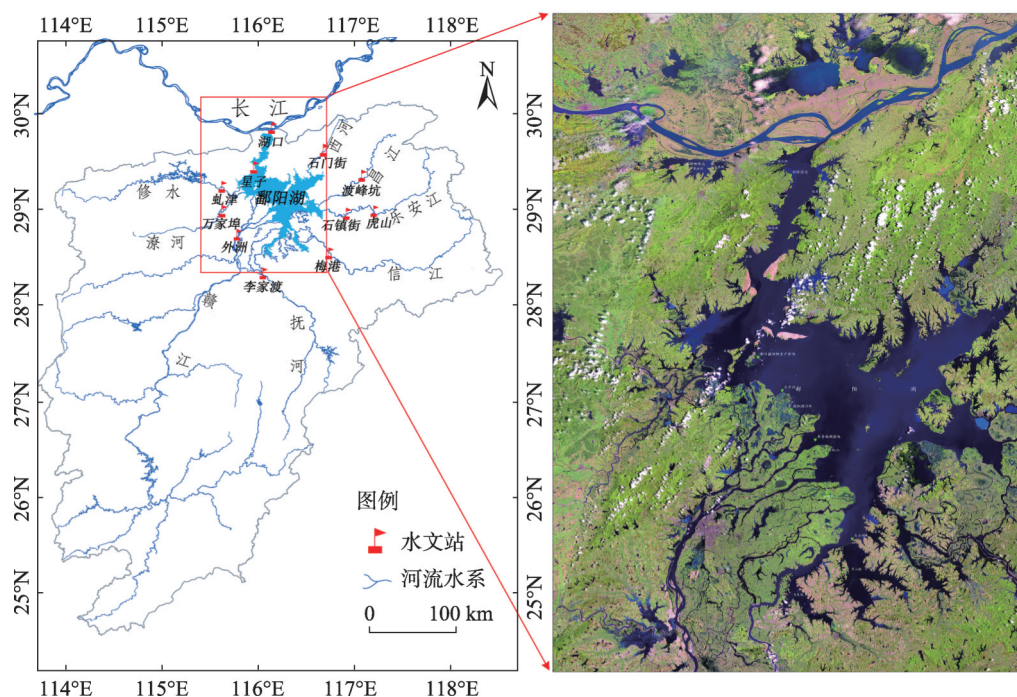


图1 鄱阳湖流域主要水系和鄱阳湖

Fig. 1 Poyang Lake and the main rivers in Poyang Lake watershed

延长趋势,历史同期低枯水位屡创新低,对鄱阳湖湿地生态安全构成显著威胁,引起广泛的社会关注。在此期间,长江三峡水库蓄水运行,同时由于长江干流全面禁止采砂,大量采砂船(本文指包括挖砂、卸砂、运砂等从事采砂行业的各型船只)进入鄱阳湖,显著改变湖床形态以及气候变化等因素的叠加,影响了鄱阳湖的水文特征,但对鄱阳湖水文干旱化的主要原因仍然存在争议。

1.2 研究方法与数据来源

1.2.1 卫星遥感影像处理及采砂船分布特征提取

收集2000-2016年各月无云或少云的Landsat系列卫星遥感影像,包括TM数据17幅、ETM影像102幅和OLS影像39幅,用于2000-2016年各月份采砂船空间分布的提取。所有影像通过最近邻采样算法,利用鄱阳湖区1:5万的DEM数据,生成UTM投影的正射影像。由于在采砂作业过程中,挖沙和洗沙等生产行为会导致作业区附近水体浑浊度显著提高,利用波段5、波段4和波段1的RGB彩色合成可以确定浑浊水体范围,然后在浑浊水体附近,利用中红外波段的黑白影像判别采砂船的位置^[12-15],以点图层保存采砂船位置。

1.2.2 水文与降水资料

收集了1960-2014年鄱阳湖流域“五河”入湖的主要水文控制站点(图1)监测的径流资料。修水干流的水文站先后经历过两次搬迁,1953-1959年为三拱滩水文站,1960-1981年为柘林水文站,1982年至今为虬津水文站。1982-1983年和2002-2010年修河主支(虬津水文站)的流量收集不完整。考虑到修河水文控制站的变迁原因,由于修河主支和潦河同属修河流域,具有相同的气候特点,有日水位数据的1982年和1983年流量采用1981年的日水位—流量关系估算补充;在水位和流量都缺失的2002-2014年的流量,根据修河—潦河的月流量关系估算补充修河月流量。在插补完整水文数据的基础上,进一步计算年入湖流量,并根据湖口水文站观测日流量计算年出湖流量。

收集1960-2007年鄱阳湖流域范围内83个雨量站观测的日降水量资料和2008-2013年流域内92个雨量站点的日降水量资料。根据日降水数据汇总为年降水资料,用于分析鄱阳湖流域平均降水量与五河径流量和湖口泄入长江的径流量之间的关系。

收集1955-2014年鄱阳湖星子水位站和湖口水文站每日的水位资料,用于分析鄱阳湖水文情势变化的特征,包括特征低枯水位发生的天数、入江河道的水面坡降以及相同水位条件下的出湖径流量变化等。

2 结果分析

2.1 采砂船空间分布

新世纪以来,受长江主河道全面禁止采砂的影响,大量采砂船进入鄱阳湖采砂。根据各年份所识别出的最多采砂船数量(图2)可以看出:2000年的采砂船是36艘,随后显著增加;受江西省政府2006年颁布实施《江西省河道采砂管理办法》、2008年颁布实施《关于进一步加强赣江中下游及鄱阳湖采砂管理的意见》等条例以及2008年鄱阳湖全面禁止采砂的影响,采砂船数量在2008年和2009年减少,但受采砂行业高利润的驱动,采砂船数量在2010年显著反弹,到2014年采砂船数量进一步激增到850多艘。采砂船数量显著多于《江西省鄱阳湖采砂规划报告(2009-2013年)》和《2014-2018年鄱阳湖采

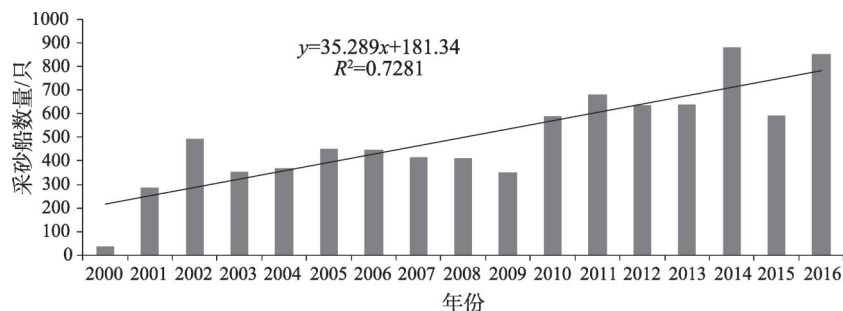


图2 2000-2016年鄱阳湖丰水期采砂船数量变化

Fig. 2 Number of vessels involved in sand mining in Poyang Lake in flood season during 2000-2016

砂规划》中限额的采砂船数量。在2010年以前,枯水期湖水浅,限制了运砂船的活动,采砂范围较小,枯水季采砂船主要处于集中停泊状态。但随着采砂船对运砂通道的疏通,不仅在丰水期可以采砂作业,2010年以来枯水期也有较大规模的采砂作业(图3)。

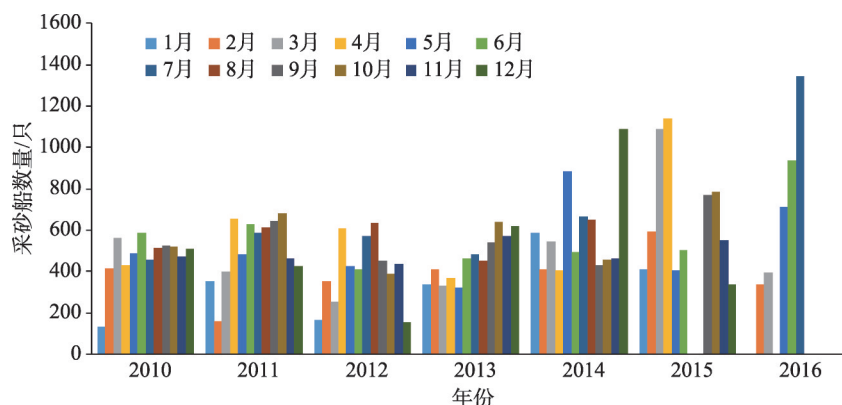


图3 2010-2016年各月份采砂船数量变化

Fig. 3 Number of vessels involved in sand mining in Poyang Lake for each month during 2010-2016

选择每年具有最多采砂船的影像反映年度采砂船分布(图4),由图可知,2006年以前的采砂船主要集中在松门山以北的通江河道,2007年采砂船活动范围显著南移,采砂区域扩大,2010年采砂船活动范围扩大到鄱阳湖康山圩堤附近,尽管2015年和2016年的采砂船向北收缩,但仍有相当数量的采砂船在南矶山国家级自然保护区附近采砂。

根据《江西省鄱阳湖采砂规划报告(2009-2013年)》和《2014-2018年鄱阳湖采砂规划》,尽管江西省政府对鄱阳湖砂石资源的开采制定了采砂规范,划定了可采区和可采期,限额了采砂船数量,批复了各年度的采砂量。但从卫星遥感监测的采砂船数量和分布来看,采砂船数量显著多于规定的数量;结合鄱阳湖中产卵场、觅食场和育肥场的“三场”和自然保护区的分布,可以发现采砂船也经常被发现在鱼类产卵场、育肥场、越冬候鸟栖息保护区等生态敏感区出现。根据水利部门对鄱阳湖采砂的规划报告,2000-2009年鄱阳湖被批复许可采砂量为311.26 Mt,但实际采砂量超过2000 Mt^[13-17]。而且,根据2010-2016年采砂船的数量及其空间分布来看,鄱阳湖采砂处于盗采、滥采和超采等为

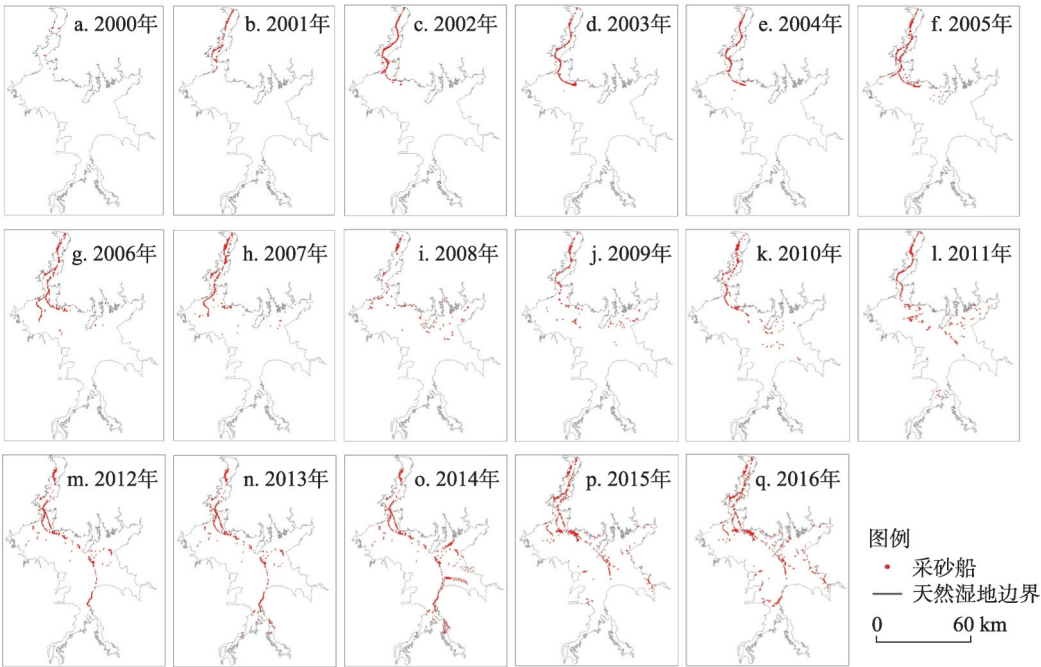


图4 2000-2016年鄱阳湖丰水期采砂船分布

Fig. 4 The distribution of vessels involved in sand mining in Poyang Lake in flood season during 2000-2016

特征的无序状态。

2.2 水文特征变化

2.2.1 水位变化特征

新世纪以来，鄱阳湖秋冬季干旱频发，低枯水位频繁，引起广泛的社会关注。2000年以来，历史同期的最低水位频繁出现。从表1可以看出，2000-2014年的低枯水位天数显著比1951-1999年间的低枯水位天数长。从各个时期的特征水位对比（表2）可以看出：2003年以来的平均最低水位、平均最高水位和平均水位普遍低于2003年以前各年代的值，鄱阳湖水文干旱化趋势非常明显。比较2003-2014年和1950s-2002年的年最高水位均值，星子站两个时期的年最高水位平均值分别为18.751 m和16.677 m；湖口站分别为18.768 m和16.680 m，两站的最大水位分别都下降了2.074 m和2.080 m。

2.2.2 鄱阳湖流域入湖径流变化

统计1955-2013年鄱阳湖流域“五河”入湖总径流的年度变化（图5），有水文观测记录以来，鄱阳湖入湖年总径流量呈微弱上升趋势，“五河”入湖总径流量的年度变化趋势与鄱阳湖流域范围降水量的年度变化趋势高度一致，入湖径流量取决于流域范围降雨量；从局部时间来看，在1998-2009年间，降水量和入湖径流量呈波动下降趋势明显，降水量下降一度被认为是鄱阳湖水文干旱化的主要原因之一。然而，随后的2010年鄱阳湖流域降水量达2290 mm，大于多年平均降水量1644 mm，是历史上降水丰富的年份，“五河”入湖总径流量也达到1818亿m³，大于多年平均入湖径流量1215亿m³。但是2010年鄱阳湖8 m以下低枯水位持续时间仍然大于1955-1999年的平均时间。

表 1 近年鄱阳湖枯水期变化（据星子水文站）

Table 1 The drought duration in recent years according to water level records from Xingzi station						
年份	枯水天数/d					
	<5.5 m	5.5~6 m	6~7 m	7~8 m	8~9 m	9~10 m
2003	0	1	31	54	83	118
2004	31	61	83	118	175	190
2005	0	0	34	71	95	152
2006	0	6	83	139	184	229
2007	20	61	100	145	195	222
2008	9	42	86	109	127	159
2009	0	55	123	141	167	188
2010	0	13	57	88	122	142
2011	0	0	70	181	239	264
2012	0	9	19	59	104	134
2013	3	16	69	122	148	188
2014	4	52	69	90	144	169
1951-1999年平均	3.4	12.7	42.7	73.5	100	126.4
2000-2014年平均	4.5	18.9	56.6	97.8	136	169.5

表 2 星子水位站和湖口水文站主要时段的平均水位、平均年最高水位和最低水位

Table 2 The average, maximum and minimum water levels at Xingzi gauging station in each decadal period (m)							
时段	平均水位		(星子—湖口) 平均水位差	平均年最高水位		平均年最低水位	
	星子站	湖口站		星子站	湖口站	星子站	湖口站
1950s	11.675	11.125	0.550	16.677	16.609	5.924	4.956
1960s	11.160	10.721	0.439	16.479	16.568	5.586	4.737
1970s	11.256	10.737	0.519	17.087	17.075	5.932	5.018
1980s	11.744	11.223	0.521	17.295	16.976	6.144	5.332
1990s	11.917	11.496	0.421	18.751	18.768	6.464	5.585
2000-2002	11.537	11.021	0.516	16.483	16.520	6.813	5.890
2003-2005	10.650	10.753	-0.103	16.629	16.680	5.796	5.470
2006-2009	10.028	9.715	0.313	16.677	16.609	5.924	4.956
2010-2014	10.699	10.518	0.181	16.479	16.568	5.586	4.737

2.2.3 鄱阳湖入江河道星子—湖口河段水位梯度的变化特征

很多研究认为：长江上游三峡水库拦水，使长江下游水位下降，导致鄱阳湖与长江之间的水位差增加，形成拉空效应，致使鄱阳湖泄流速度加大，从而造成鄱阳湖的秋冬季干旱。然而，根据星子站与湖口站多年观测的水位，统计两个水文站不同时期的水位差及其标准差（图 6）表明：新世纪以来，一定星子水位条件下，星子—湖口段的平均水位差随时间的推移不断降低，并且不同时期的星子—湖口段的平均水位差在 2003 年之后也表现为明显的下降趋势（表 2）。而三峡水库蓄水运行对鄱阳湖形成的拉空效应不能解释星子—湖口段的水位梯度变化。

从鄱阳湖星子—湖口段水位差的季节变化特征可以看出（图 7）：1950s 到 2014 年

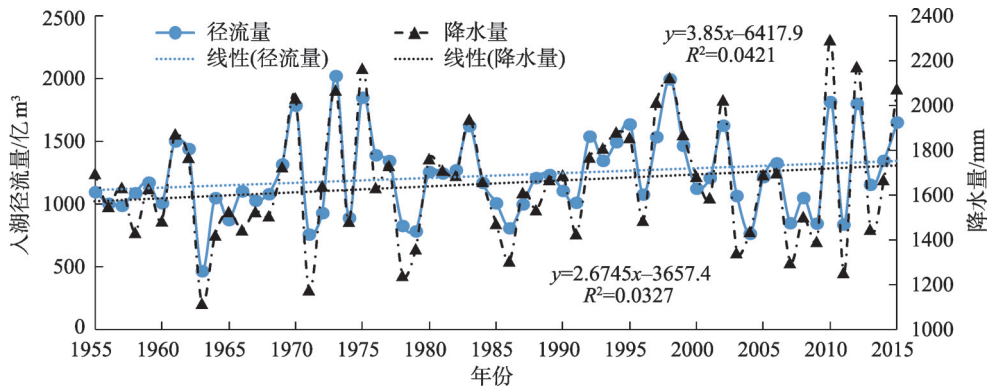


图5 1955-2013年间的鄱阳湖流域“五河”入湖径流和降水量的年度变化趋势
Fig. 5 The annual average precipitation and annual runoff dynamics during 1955-2013

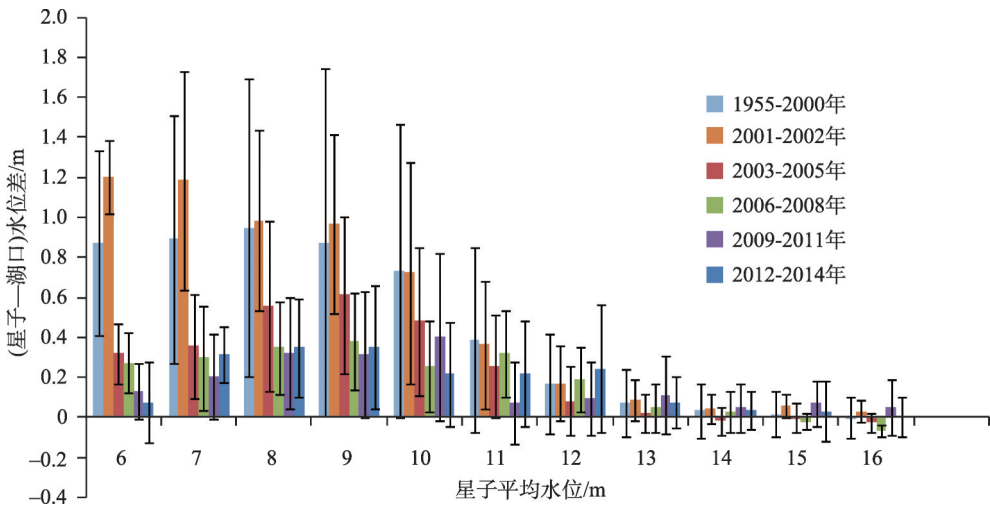


图6 不同时期一定水位下的星子与湖口水位差及其标准差
Fig. 6 The water level difference between Hukou and Xingzi gauging stations in different periods

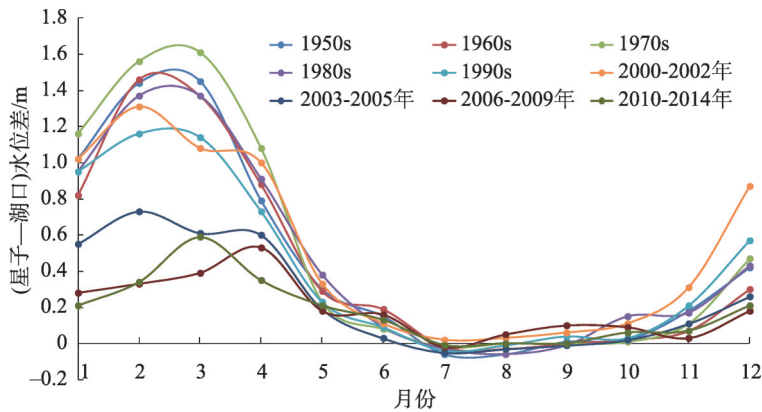


图7 不同时期星子—湖口段水位差的季节变化特征
Fig. 7 Monthly dynamics of the difference of water level gauged at Xingzi and Hukou stations in different periods

间, 丰水期星子—湖口段水位梯度较小, 且年代间没有明显变化; 但枯水季节, 2003年以后的星子—湖口段水位梯度表现为明显的减少趋势。因此, 三峡水库的运行和鄱阳湖采砂行为, 都没有显著改变丰水期鄱阳湖入江河道的水面坡降特征, 但改变了枯水季鄱阳湖入江河道的水面坡降特征。

2.2.4 鄱阳湖湖口流量的变化特征

根据湖口水文站观测的长时间序列的流量, 统计相同星子水位下的湖口流量变化表明 (图8): 新世纪以来, 在低水位条件下, 鄱阳湖出湖流量随时间推移呈显著增加趋势; 在10~14 m中水位条件下, 这种趋势也比较明显; 在14 m以上高水位下, 鄱阳湖水泄流进入长江的速度的增加趋势不明显。

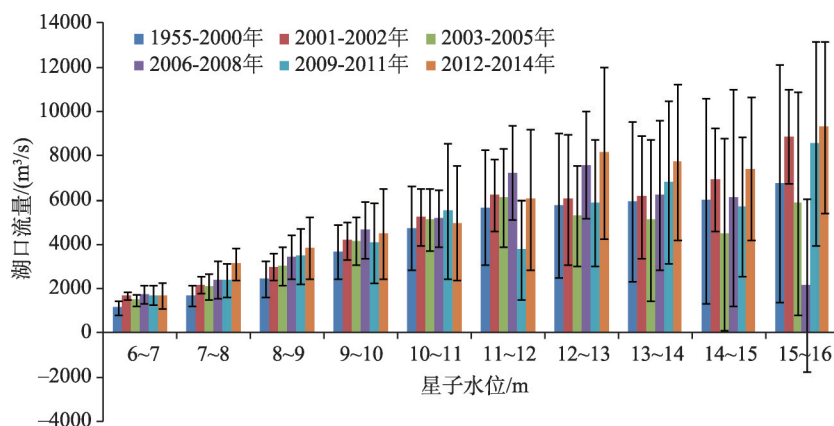


图8 不同时期一定水位下鄱阳湖出湖径流量和标准差

Fig. 8 Comparison of water discharge rate from Poyang Lake to Yangtze River at different water levels in different periods

2.3 水文干旱化原因的辨析

近期鄱阳湖的水文秋冬季干旱化引起广泛的社会关注, 对于造成干旱化的原因主要有三种观点。有研究认为: 新世纪以来的鄱阳湖秋冬季干旱主要与鄱阳湖流域上游降水量减少有关。通过比较2000年以来各年份鄱阳湖流域平均降水量和鄱阳湖典型枯水位持续时间, 可以发现: 虽然2010年鄱阳湖流域平均降水量达到2290 mm, 远大于多年平均降水量1600 mm, 是历史上降水丰富的年份, 但从表1可以看出: 该年度的典型低枯水位持续天数都大于1955-1999年的平均天数。而且, 受强厄尔尼诺的影响, 2016年鄱阳湖流域降水非常丰富, 7~8月份鄱阳湖周边防汛压力一度非常大, 但9月份鄱阳湖就已经进入枯水季, 涝旱逆转速度非常快。因此, 本文认为, 降水量减少不是近期鄱阳湖秋冬季干旱的原因。

枯水季长江上游三峡水库蓄水, 长江下游水位下降; 以及水库蓄水拦沙造成下游水含沙量降低, 对河床侵蚀加强, 也进一步加剧下游水位下降。从而导致长江对鄱阳湖泄流顶托作用减弱、拉空效应增强, 促使鄱阳湖的泄流速度加快, 也是鄱阳湖秋冬季干旱发生的主要原因。但从星子—湖口水面坡降的变化趋势看 (图6), 长江三峡运行形成的拉空效应难以解释水位梯度趋于减少的变化特征。因此, 尽管长江三峡水库蓄水是鄱阳湖秋冬季水文干旱的一个原因, 但不足以解释鄱阳湖水文干旱化过程中的一些水文特征。

最近, Lai等^[10]根据河渠流量计算的曼宁公式, 从理论上探讨了采砂引起鄱阳湖秋冬

季干旱化的可能性:

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) AR^{2/3} J^{1/2} \quad (1)$$

式中: A 为过水面积; R 为水力半径; J 为水面坡降; n 为糙率, 综合反映管渠壁面粗糙情况对水流影响的系数。图6反映了水面坡降 J 随时间推移在减小; 图7反映了相同水位下的流量 Q 随时间推移呈增加趋势; 而采砂改变了湖底地形和湖岸线, 使入江河道坑洼不平、水陆边界呈锯齿状不平, 造成糙率 n 增加; 根据曼宁公式, $AR^{2/3}$ 必然随时间推移呈增加趋势, 而 $AR^{2/3}$ 的增加与鄱阳湖采砂改变入江河道的宽度和深度有关。

3 结论

新世纪以来鄱阳湖秋冬季水文干旱化趋势明显, 厘清鄱阳湖水文环境发生变化的原因, 对于选择什么措施开展鄱阳湖综合治理, 具有重要意义。本文在利用多时相 Landsat 卫星遥感影像分析鄱阳湖采砂现状基础上, 结合长时间序列水文资料, 分析鄱阳湖水文变化的特征, 探讨了鄱阳湖水文特征变化的主要原因, 得到以下结论:

(1) 鄱阳湖采砂船数量显著多于相关规划所限额的数量, 采砂船也经常被发现在鱼类产卵场、育肥场、越冬候鸟栖息保护区等生态敏感区和禁采区出现; 采砂船数量显著超过政府规划的限额采砂船数量; 实际采砂量严重超过政府批复的采砂量。因此, 鄱阳湖采砂在 2003-2016 年间长期处于盗采、滥采和超采状态。

(2) 新世纪以来, 鄱阳湖秋冬季水文干旱化趋势明显; 枯水期入江河道的水面坡降呈减少趋势, 但丰水期水面坡降变化不明显; 泄流出湖速率呈显著增加趋势。

(3) 无序采砂导致入江河道加深、加宽, 从而导致泄流出湖速率增加, 是鄱阳湖秋冬季水文干旱化的原因之一。

(4) 长江三峡水库运行对长江中下游水位的影响以及长江中下游含沙量降低造成清水侵蚀、河床下降, 都削弱了长江水对鄱阳湖泄流的顶托作用, 形成对鄱阳湖水的拉空效应, 也可能是鄱阳湖水文干旱化的潜在原因之一。

基于以上认识, 建议有关部门从导致鄱阳湖秋冬季水文干旱化发生的主要原因出发, 制定鄱阳湖综合治理和管理方案。

参考文献(References):

- [1] 李鹏, 封志明, 姜鲁光, 等. 鄱阳湖天然湖面遥感监测及其与水位关系研究. 自然资源学报, 2013, 28(9): 1556-1568. [LI P, FENG Z M, JIANG L G, et al. Natural water surface of Poyang Lake monitoring based on remote sensing and the relationship with water level. Journal of Natural Resources, 2013, 28(9): 1556-1568.]
- [2] 齐述华, 张起明, 江丰, 等. 水位对鄱阳湖湿地越冬候鸟生境景观格局的影响研究. 自然资源学报, 2014, 29(8): 1345-1355. [QI S H, ZHANG Q M, JIANG F, et al. Study on the effects on the landscape spatial pattern of the wintering birds' habitat from lake level in Poyang Lake wetland. Journal of Natural Resources, 2014, 29(8): 1345-1355.]
- [3] 胡振鹏, 葛刚, 刘成林. 鄱阳湖湿地植被退化原因分析及其预警. 长江流域资源与环境, 2015, 24(3): 381-386. [HU Z P, GE G, LIU C L. Cause analysis and early warning for wetland vegetation degradation in Poyang Lake. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(3): 381-386.]
- [4] 许继军, 陈进. 三峡水库运行对鄱阳湖影响及对策研究. 水利学报, 2013, 44(7): 757-763. [XU J J, CHEN J. Study on the impact of Three Gorges Reservoir on Poyang Lake and some proposals. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(7): 757-763.]

- [5] FENG L, HU C M, CHEN X L. Satellites capture the drought severity around China's largest freshwater lake. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2012, 5(4): 1266-1271.
- [6] FENG L, HU C M, CHEN X L. Dramatic changes of China's largest freshwater lakes linked to the Three Gorges Dam. *Environmental Science & Technology*, 2013, 47(17): 9628-9634.
- [7] ZHANG Q, LI L, WANG Y G, et al. Has the Three-Gorges Dam made the Poyang Lake wetlands wetter and drier?. *Geophysical Research Letters*, 2012, 39(20): 1-7.
- [8] ZHANG Q, YEX C, ADRIAN D W, et al. An investigation of enhanced recessions in Poyang Lake: Comparison of Yangtze River and local catchment impacts. *Journal of Hydrology*, 2014, 517(2): 425-434.
- [9] LIU Y, WU G. Hydroclimatological influences on recently increased droughts in China's largest freshwater lake. *Hydrology & Earth System Sciences*, 2016, 20(1): 93-107.
- [10] 郭华, 张奇. 近 50 年来长江与鄱阳湖水文相互作用的变化. *地理学报*, 2011, 66(5): 609-618. [GUO H, ZHANG Q. Changes in hydrological interactions of the Yangtze River and the Poyang Lake in China during 1957-2008. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(5): 609-618.]
- [11] LAI X J, SHANKMAN D, HUBER C, et al. Sand mining and Increasing Poyang Lake's discharge ability: A reassessment of causes for lake decline in China. *Journal of Hydrology*, 2014, 519: 1698-1706.
- [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. *地理学报*, 2015, 70(5): 838-845 [JIANG F, QI S H, LIAO F Q, et al. Hydrological and sediment effects from sand mining in Poyang Lake during 2001-2010. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(5): 838-845.]
- [13] WU G F, DE LEEUW J, SKIDMORE A K, et al. Performance of Landsat TM in ship detection in turbid waters. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2009, 11(1): 54-61.
- [14] DE LEEUW J, SHANKMAN D, WU G F, et al. Strategic assessment of the magnitude and impacts of sand mining in Poyang Lake, China. *Regional Environmental Change*, 2010, 10(1): 95-102.
- [15] 陈前金. 九江市对鄱阳湖采砂实行统一管理初见成效. *江西水利科技*, 2010, 36(2): 147-148. [CHEN Q J. Effect of unified managing sand-excavating on Poyang Lake in Jiujiang city. *Jiangxi Hydrologic Science & Technology*, 2010, 36(2): 147-148.]
- [16] 刘冲, 齐述华, 汤林玲, 等. 植被恢复与气候变化双重影响下的鄱阳湖流域蒸散时空特征研究. *地理研究*, 2016, 35(12): 2373-2383. [LIU C, QI S H, TANG L L, et al. Spatiotemporal pattern of evapotranspiration in Poyang Lake Basin under the joint influences of vegetation restoration and climate change. *Geographical Research*, 2016, 35(12): 2373-2383.]
- [17] 江西省科学院, 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江西省山江湖开发治理委员会办公室. 鄱阳湖地图集, 北京: 科学出版社, 1993: 6. [Jiangxi Provincial Academy of Sciences, Nanjing Institute of Geography & Limnology, China Academy of Sciences, Office of the Mountain-River-Lake Development Committee of Jiangxi Province. *The Atlas of Poyang Lake*. Beijing: Science Press, 1993: 6.]

Research on the causes for hydrological drought trend in Poyang Lake

QI Shu-hua, ZHANG Xiu-xiu, JIANG Feng, WANG Peng

(Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, School of Geography and Environment, Jiangxi Provincial Key Laboratory of Poyang Lake Comprehensive Management and Resource Development, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

Abstract: Poyang Lake is the largest fresh water lake in China. Seasonal fluctuation of water level is a typical hydrological feature of Poyang Lake. And Poyang Lake wetland is one of the most important international wetlands and the largest habitat for wintering birds in East Asia. Since the beginning of the 21st century, the hydrological drought trend of Poyang Lake that emerged in autumn and winter seasons has not only posed serious threats to the local freshwater/wetland ecological security, but also attracted wide attention from the public. It is therefore of great significance to precisely monitor hydrological changes in the study lake and reveal the underlying drivers. Some studies suggest that the drought trend of Poyang Lake is related to the decrease of precipitation in the basin or the running of Three Gorges Dam (TGD) displaced in the middle reach of Yangtze River. Lai et al. argued theoretically that the drought trend in Poyang Lake was caused by sand minning in the lake. In this study, we used the long term records of LANDSAT images to locate and analyze sand mining in Poyang Lake during 2000-2016. On this basis, long time-series hydrological data were used to analyse hydrological changes. Finally, we combined these two datasets to investigate the impact of sand mining on the drought trend of Poyang Lake. Our results showed that: (1) During 2000- 2016, an increasing number of vessels involved in sand mining was observed in the lake, and the sand mining has been extended to the whole lake region, including its southernmost tip and ecologically sensitive areas; (2) The drought period of Poyang Lake tended to be prolonged, and a decreasing water surface gradient and an increasing outflow from Poyang Lake into Yangtze River at similar water level happened in these years; (3) Sand mining, causing river channel connecting Poyang Lake with Yangtze River becoming deeper and wider, contributed to the hydrological drought in autumn and winter of the lake. (4) Three Gorges Dam (TGD), which reduced the water level in downstream, and weakened the backwater effect to Poyang Lake drainage from Yangtze River, could also be one of the reasons for hydrological change in Poyang Lake. In recent years, Jiangxi provincial government has been promoting Poyang Lake Water Conservancy Project to deal with the drought trend. We should urge the departments concerned to formulate a comprehensive management scheme for Poyang Lake according to the main causes for hydrological changes.

Keywords: hydrological changes; sand mining; Poyang Lake; Three Gorges Dam; cause analysis