

DOI: 10.20103/j.stxb.202312302877

秦风约, 徐志文, 段学军, 邹辉, 蔡永久, 王晓龙. 长江干流滨岸洲滩湿地空间分布特征及其影响因素. 生态学报, 2025, 45(4): 1799-1815.

Qin F Y, Xu Z W, Duan X J, Zou H, Cai Y J, Wang X L. Spatial distribution characteristics of the riparian wetlands in the Yangtze River mainstream and their influencing factors. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(4): 1799-1815.

# 长江干流滨岸洲滩湿地空间分布特征及其影响因素

秦风约<sup>1, 2</sup>, 徐志文<sup>3</sup>, 段学军<sup>1, 4</sup>, 邹辉<sup>1</sup>, 蔡永久<sup>1</sup>, 王晓龙<sup>1, 4, \*</sup>

1 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 江西鄱阳湖国家级自然保护区管理局, 南昌 330000

4 中国科学院大学南京学院, 南京 211135

**摘要:**长江干流两岸广布的滨岸洲滩湿地, 具有净化水质、维持生物多样性等生态功能, 是长江流域水生态安全保障的重要物质基础。长江流域湿地的分布格局、动态变化及其生态意义受到广泛关注, 而作为其重要组成部分之一的长江干流滨岸洲滩湿地研究报道相对较少。通过遥感解译定量揭示了长江干流滨岸洲滩湿地分布格局, 探讨了河道形态、气候干湿状况、人口社会经济等因素对滨岸洲滩湿地格局现状形成的影响。结果表明: 长江干流滨岸洲滩湿地发育充分, 湿地斑块共 105 个, 总面积 6976.19 hm<sup>2</sup>, 占据岸线总长 377.14 km。中小型滨岸洲滩湿地占优势, 且呈现单体面积越小, 相应水平上的湿地总面积、总岸线长、总数量越大的趋势。长江干流滨岸洲滩湿地呈三段式空间分布特征, 宜宾-宜昌河段几乎没有滨岸洲滩湿地, 宜昌-岳阳河段仅有中小型滨岸洲滩湿地密布, 岳阳以下河段中小型滨岸洲滩湿地密布, 中大型湿地稀少。湖北、安徽、江苏的滨岸洲滩湿地规模最大。左岸滨岸洲滩湿地的总规模大于右岸滨岸洲滩湿地。低岸线曲率、高河宽条件下, 湿地单体面积显著更大 ( $P \leq 0.05$ ), 低坡度、低 GDP 条件下, 湿地单体面积更大 ( $0.05 \leq P \leq 0.1$ ), 表明河道顺直、宽阔、平缓, 经济相对不发达的条件显著有利于长江干流滨岸洲滩湿地发育。滨岸洲滩湿地发育同时受其“地貌”“湿地”属性的制约。

**关键词:**长江干流; 滨岸洲滩湿地; 空间分布; 河道形态

## Spatial distribution characteristics of the riparian wetlands in the Yangtze River mainstream and their influencing factors

QIN Fengyue<sup>1, 2</sup>, XU Zhiwen<sup>3</sup>, DUAN Xuejun<sup>1, 4</sup>, ZOU Hui<sup>1</sup>, CAI Yongjiu<sup>1</sup>, WANG Xiaolong<sup>1, 4, \*</sup>

1 Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Jiangxi Poyang Lake National Nature Reserve Administration, Nanchang 330000, China

4 University of Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Nanjing 211135, China

**Abstract:** Widely distributed in the Yangtze River mainstream, the riparian wetlands have important ecological functions such as purifying water quality and maintaining biodiversity and are an important material basis for ensuring water ecological security of the Yangtze River Basin. The wetlands in the Yangtze River Basin have received a lot of attention on their distribution pattern, dynamics and ecological significance, while the riparian wetlands in the Yangtze River mainstream, one of their important components, has been less studied and reported. In this study, the distribution pattern of the riparian wetlands in the Yangtze River mainstream is revealed quantitatively by remote sensing images being interpreted. The influences of channel morphology, climatic dryness and wetness, population and socio-economic factors on the formation of

**基金项目:**国家自然科学基金联合基金项目 (U2240219); 江西省重点研发计划项目 (20223BBG74003); 三峡工程运行安全综合监测系统库区维护和管理基金 (2136703)

**收稿日期:**2023-12-30; **网络出版日期:**2024-11-06

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangxl@niglas.ac.cn

the riparian wetland's current distribution pattern are explored and discussed. The results are as follows. The riparian wetlands in the Yangtze River mainstream are fully developed, with 105 riparian wetland patches covering a total area of 6976.19 hm<sup>2</sup> and occupying a total shoreline length of 377.14 km. Small- and medium-sized riparian wetlands are the most dominant of all size, which is consistent with the tendency that the lower the level of individual area of the riparian wetlands, the larger the scale of the wetlands at the corresponding level measured in terms of total area, total shoreline length and total patch number. The spatial distribution of riparian wetlands in the Yangtze River mainstream shows three sections, namely, the Yibin-Yichang section, where almost no riparian wetland is distributed; the Yichang-Yueyang section, where only small- to medium-sized riparian wetlands are densely distributed; the below-Yueyang section, where dense small- to medium-sized riparian wetlands and few medium- to large-sized wetlands are distributed. Hubei, Anhui, and Jiangsu Province have the largest scale of riparian wetlands. The total scale of the riparian wetlands on the left-bank is higher than that on the right-bank. Individual wetland area is significantly larger under low shoreline curvature and high river width conditions ( $P \leq 0.05$ ) and is also larger under low slope and low GDP conditions ( $0.05 \leq P \leq 0.1$ ), indicating that straighter, wider channel and relatively less developed economic are significantly favorable to the development of the riparian wetlands in the Yangtze River mainstream. The development of the riparian wetlands is doubly constrained by the fact that they can be viewed as both "landscapes" and "wetlands" at the same time.

**Key Words:** Yangtze River mainstream; riparian wetlands; spatial distribution; channel morphology

长江干流滨岸洲滩众多,其低矮部分在长江水文节律下经历常年季节性淹水,形成滨岸洲滩湿地。河流洲滩是完整、复杂的河流系统及其生态服务功能的重要组分<sup>[1-3]</sup>;而滨岸洲滩湿地因为处于河水、洲滩的水陆相互作用之下,既具有生态敏感性,又具有保护生物多样性、净化环境等重要生态作用,长江滨岸洲滩湿地更对沿、跨江城市具有构建沿江生态廊道、保障沿江水安全、维持沿江生态格局稳定性等核心生态功能<sup>[4]</sup>。理清长江干流滨岸洲滩湿地的分布及规律,对促进沿江区域生态环境及社会经济可持续发展、支撑长江经济带高质量发展具有重要意义。

关于流域湿地进退的影响因素,目前研究最关注降水<sup>[5]</sup>、气温<sup>[6-7]</sup>、季风<sup>[8]</sup>等气候因素,以及人口、产业结构、经济发展水平等社会经济因素<sup>[9-10]</sup>。至于滨岸洲滩则属于河道微地貌,河流泥沙减少是直接导致其萎缩的重要原因<sup>[11-13]</sup>,气候<sup>[14]</sup>、植被覆盖<sup>[15-16]</sup>、河流形态<sup>[15]</sup>和边界条件<sup>[3,11]</sup>、流量<sup>[11,17-18]</sup>、水利工程<sup>[11,19-20]</sup>、采砂<sup>[21-22]</sup>、岸坡航道整治<sup>[13,23-24]</sup>等因素通过改变水沙输移、边界条件从而间接影响滨岸洲滩。针对长江等大河滨岸洲滩湿地演变开展的系统研究较少,已有研究或针对洲滩微地貌,并聚焦于微观的典型河段、典型洲滩<sup>[19,25-26]</sup>,或针对“湿地”,并从宏观流域尺度展开<sup>[27-28]</sup>。滨岸洲滩湿地具有“地貌”“湿地”双重属性,很少受到单独关注,并很少在适合的中观尺度上被研究,因此本文旨在单独提炼出滨岸洲滩湿地这一具有关键生态重要性的对象,揭示其分布特点与影响因素。本文通过遥感解译及 GIS 方法,获取了长江干流滨岸洲滩湿地数据,理清了长江干流滨岸洲滩湿地的空间分布特征,并通过统计分析探讨长江干流滨岸洲滩湿地分布与河道形态、气候干湿状况、人口、社会经济状况之间的相互关系,以为长江大保护国家战略的实施绩效评估,以及长江湿地功能维持与提升提供科学数据支撑。

## 1 研究区概况

长江干流起自四川省宜宾市,至湖北省宜昌市之间为上游,从宜昌市下行至江西省湖口县为中游,从湖口县下行至长江口 50 号灯浮为下游(图 1)。长江干流跨越我国第二、三级地形台阶,流经四川盆地、巫山、长江中下游平原。长江流域受亚热带季风控制,多年平均降水量约为 1067 mm<sup>[29]</sup>,但季节分配不均,5—10 月为降水集中期<sup>[30]</sup>。

地形、气候等自然条件影响下河流各段发育具有差异,人类活动使长江各段的差异复杂化。长江上游江

津至宜昌为三峡大坝库区,地处山区,原本滩多流急,建库蓄水后坝前水位抬高、水流平缓、河道淤积。宜昌以下,长江转变为冲积平原河流,蜿蜒、分汊特征显著,洲滩发育。长江中游距三峡坝下最近,首当其冲,水沙冲淤状况被深刻改变<sup>[31]</sup>。长江下游河道趋宽(从 900 m 到长江口以上的 1800 m)、坡度趋缓(平均坡度为 0.0256‰)<sup>[12]</sup>,汉道、洲岛众多,又受到多种人类活动影响,冲淤演变较剧。长江口河道大大放宽,并受到海潮和风暴潮等因素影响,大型洲滩更多<sup>[32]</sup>。

长江干流流经川、渝、鄂、湘、赣、皖、苏、沪。由于解译中上海的滨岸洲滩湿地全部位于河口南岸的河道不对称处,无法计算河宽等指标,而且个别滨岸洲滩湿地跨越了南汇嘴、延伸到了杭州湾,因此本文排除了上海的滨岸洲滩湿地。



图 1 长江干流滨岸洲滩湿地总体空间分布

Fig.1 Research area and the spatial distribution of the riparian wetlands along the Yangtze River mainstem

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

在 Google Earth Engine(下称 GEE)平台上在线调用 Sentinel-2 卫星的 Level-2A 多光谱遥感影像。该影像空间分辨率为 10 m,时间分辨率 5 d,已经经过数字高程模型校正。降水量、蒸散发量分别反映了水分的收入、开支,并都与当地气候有关,而干燥度(Aridity index)为潜在蒸散发与降水量的比值,能够反映一定气候条件下经历降水、蒸散发过程后局部可利用的水量。因此,采用 2021 年干燥度数据,该栅格数据采用比值法计算式生产(年干燥度 = 年潜在蒸散发/年降水量),空间分辨率约为 1 km。2020 年人口密度(Population density)栅格数据空间分辨率为 100 m。2020 年 GDP 栅格数据空间分辨率为 1 km。以上三项数据均来自国家科技基础条件平台—国家地球系统科学数据中心(<http://www.geodata.cn>),其精度可信。

### 2.2 解译方法

在 GEE 平台上编写代码,在线处理、解译遥感影像。首先筛选出长江干流空间范围内 2021—2022 年枯水期(2021 年 11 月 1 日—2022 年 3 月 1 日)的影像,适当扩大时间跨度以保证去云合成后影像完整。使用影像 QA60 波段的云掩膜信息去云,再进行中值合成、裁剪,得到研究区枯水期无云影像<sup>[33]</sup>。

使用光谱、纹理特征组合来构建特征空间,以提高解译分类精度<sup>[34]</sup>。选择了 B2—4、B8、B11 波段(分别为 R、G、B、NIR、SWIR 波段),计算了归一化差值植被指数 NDVI、增强型植被指数 EVI、地表水分指数 LSWI<sup>[35]</sup>、归一化差值水体指数 NDWI<sup>[36]</sup>、归一化建筑指数 NDBI<sup>[37]</sup> 五项遥感专题指数,共同作为光谱特征。为降低“同物异谱、异物同谱”<sup>[34]</sup>的负面影响,使用 GEE 内置的 glcmTexture 函数(基于灰度共生矩阵<sup>[38]</sup>),计算了影像近红外波段 B8 的角二阶矩 asm、对比度 contrast、相关性 corr、方差 var、逆差矩 idm、熵 ent 作为纹理特征<sup>[33]</sup>。

基于类间  $J$ - $M$  距离<sup>[33,39]</sup>(用  $J$  表示)对以上得到的 16 个特征试做优选。如果取  $J > 1$  且从大到小居于前



### 3 结果分析

#### 3.1 数量和空间分布特征

长江干流滨岸洲滩湿地共 105 个,总面积 6976.19  $\text{hm}^2$ ,占据岸线总长 377.14 km。将滨岸洲滩湿地斑块按单体面积水平从小到大等距分为七级<sup>[48]</sup>,一级到七级分别对应 10—60  $\text{hm}^2$ 、60—110  $\text{hm}^2$ 、110—160  $\text{hm}^2$ 、160—210  $\text{hm}^2$ 、210—260  $\text{hm}^2$ 、260—310  $\text{hm}^2$ 、>310  $\text{hm}^2$ 。总地来看,中小型滨岸洲滩湿地占优势,例如一级滨岸洲滩湿地就占总体的 2/3 强。各级的面积之和、岸线长之和、数量之和与面积水平倒挂(图 3),单体小的一级、三级、二级的滨岸洲滩湿地的面积之和(分别为 2135.54  $\text{hm}^2$ 、1861.25  $\text{hm}^2$ 、899.43  $\text{hm}^2$ )、数量之和(分别为 72 个、14 个、11 个)、岸线长之和(分别为 198.27 km、80.37 km、39.31 km)位居前三。

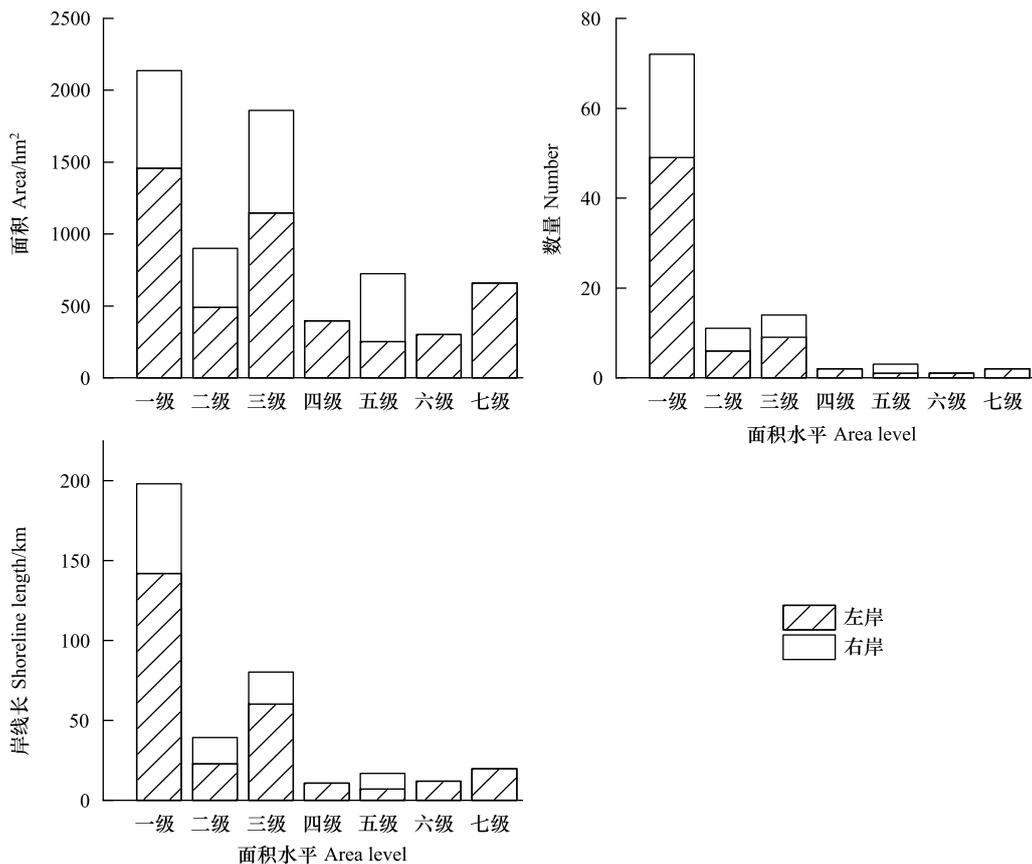


图 3 长江干流滨岸洲滩湿地在各面积水平的规模

Fig.3 Scale of the riparian wetlands in the Yangtze River mainstream ranked by area level

横向上,右岸滨岸洲滩湿地在面积、岸线长、数量上相对总体的比例分别为 0.33、0.27、0.33,表明滨岸洲滩湿地在右岸规模更小,在左岸规模更大,各级左岸湿地的面积之和、岸线长之和、数量之和也明显高于各级右岸湿地,在第四、六、七级上甚至不存在右岸湿地。纵向上,滨岸洲滩湿地呈现出三段式分布特征(图 4),分段节点沿江从上至下大致为湖北宜昌、湖南岳阳。宜宾-宜昌河段内,仅有一个二级湿地。宜昌-岳阳河段内,一级湿地密布,二、三级湿地集中分布,没有中大型的四、五、六、七级湿地分布。岳阳以下河段内,一级湿地密布,二、三级湿地散布,四、五、六、七级湿地稀少。宜昌这一节点的上、下游滨岸洲滩湿地规模差异最大。

#### 3.2 鄂、皖、苏长江干流滨岸洲滩湿地规模居前列

就省级行政区而言,湖北、安徽、江苏各自范围内的滨岸洲滩湿地面积(分别为 4025.18  $\text{hm}^2$ 、1842.85  $\text{hm}^2$ 、503.30  $\text{hm}^2$ ,表 1)、数量(分别为 55、26、15,表 2)、岸线长(分别为 198.21 km、111.26 km、41.43 km,表 3)均位居前三。就市级行政区而言,荆州、安庆、黄冈、南京各自范围内的滨岸洲滩湿地数量(分别为

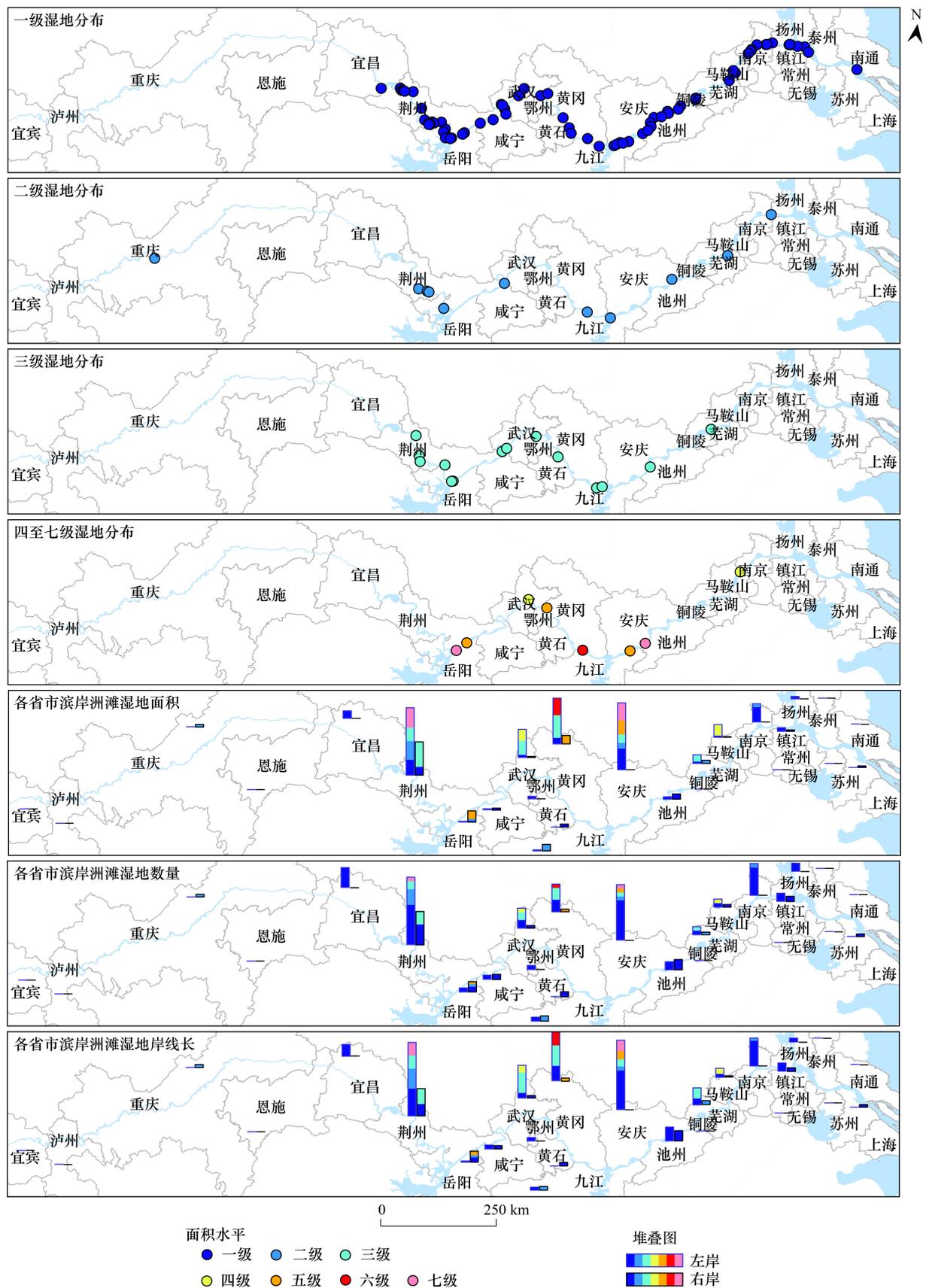


图 4 不同面积水平长江干流滨岸洲滩湿地的空间分布

Fig.4 Spatial distribution of the riparian wetlands in the Yangtze River mainstream ranked by area level

表 1 各行政区、各面积水平的长江干流滨岸洲滩湿地面积

行政区 Administrative district	分级面积 Area summed up by area level/hm <sup>2</sup>							右岸占比 Proportion on the right bank								
	总计 Total	一级 Level 1	二级 Level 2	三级 Level 3	四级 Level 4	五级 Level 5	六级 Level 6	七级 Level 7	总计 Total	一级 Level 1	二级 Level 2	三级 Level 3	四级 Level 4	五级 Level 5	六级 Level 6	七级 Level 7
四川																
宜宾																
泸州																
重庆	70.11		70.11					1.00		1.00						
永川区																
江津区																
九龙坡区																
大渡口区																
巴南区																
南岸区																
渝中区																
江北区																
渝北区																
长寿区																
涪陵区	70.11		70.11					1.00		1.00						
丰都县																
忠县																
石柱县																
万州区																
云阳县																
奉节县																
巫山县																
湖北	4025.18	1007.95	328.67	1597.95	201.03	240.17	300.10	349.31	0.34	0.40	0.00	0.45	0.00	1.00	0.00	0.00
恩施																
宜昌	127.36	127.36							0.00	0.00						
荆州	2142.71	512.88	328.67	951.85				349.31	0.45	0.47	0.00	0.75				0.00
咸宁	72.53	72.53							0.79	0.79						
武汉	517.57	68.20		248.34	201.03				0.05	0.36	0.00	0.00	0.00			
鄂州	39.69	39.69							0.00	0.00						
黄冈	1043.67	105.64		397.75		240.17	300.10		0.23	0.00	0.00		1.00			0.00

续表

行政区 Administrative district	分级面积 Area summed up by area level/hm <sup>2</sup>							右岸占比 Proportion on the right bank								
	总计 Total	一级 Level 1	二级 Level 2	三级 Level 3	四级 Level 4	五级 Level 5	六级 Level 6	七级 Level 7	总计 Total	一级 Level 1	二级 Level 2	三级 Level 3	四级 Level 4	五级 Level 5	六级 Level 6	七级 Level 7
黄石	81.65	81.65							1.00	1.00						
湖南 岳阳	336.98	43.19	61.86			231.93			0.96	1.00				1.00		
江西 九江	197.77	14.51	183.26						0.93	1.00						
安徽 安庆	1842.85	626.90	195.23	263.30	195.40	251.42		310.60	0.14	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
池州	1177.79	370.45	102.41	142.90		251.42		310.60	0.00	0.00	0.00			0.00		0.00
铜陵	186.39	186.39							0.78	0.78						
芜湖	243.49	30.28	92.82	120.40					0.38	1.00	0.00					
马鞍山	235.18	39.78			195.40				0.06			0.00				
江苏 南京	503.30	443.00	60.30						0.16	0.18						
扬州	320.07	259.76	60.30						0.00	0.00						
镇江	40.47	40.47							0.00	0.00						
泰州	99.93	99.93							0.38	0.38						
常州																
无锡																
苏州	42.83	42.83							1.00	1.00						
南通																
总计 Total	6976.19	2135.54	899.43	1861.25	396.43	723.53	300.10	659.92	0.33	0.45	0.38	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00

表 2 各行政区、各面积水平的长江干流滨岸洲滩湿地数量

Table 2 Number of the riparian wetlands in the Yangtze River mainstream ranked by area level in each administrative district

行政区 Administrative district	分级数量 Number summed up by area level							右岸占比 Proportion on the right bank								
	总计 Total	一级 Level 1	二级 Level 2	三级 Level 3	四级 Level 4	五级 Level 5	六级 Level 6	七级 Level 7	总计 Total	一级 Level 1	二级 Level 2	三级 Level 3	四级 Level 4	五级 Level 5	六级 Level 6	七级 Level 7
四川																
宜宾																
泸州																
永川区	1		1					1.00		1.00						
江津区																
九龙坡区																
大渡口区																
巴南区																
南岸区																
渝中区																
江北区																
渝北区																
长寿区																
涪陵区	1		1					1.00		1.00						
丰都县																
忠县																
石柱县																
万州区																
云阳县																
奉节县																
巫山县																
湖北																
恩施																
宜昌	5	5						0.00	0.00							0.00
荆州	30	18	4	7			1	0.43	0.44	0.00	0.71					
咸宁	3	3						0.67	0.67							
武汉	6	3		2	1			0.17	0.33		0.00	0.00				
鄂州	1	1						0.00	0.00							
黄冈	8	3		3		1	1	0.13	0.00		0.00		1.00			0.00

续表

行政区 Administrative district	分级数量/Number summed up by area level							右岸占比/Proportion on the right bank								
	总计 Total	一级 Level 1	二级 Level 2	三级 Level 3	四级 Level 4	五级 Level 5	六级 Level 6	七级 Level 7	总计 Total	一级 Level 1	二级 Level 2	三级 Level 3	四级 Level 4	五级 Level 5	六级 Level 6	七级 Level 7
黄石	2	2						1.00	1.00							
湖南 岳阳	5	3	1			1		0.80	0.67	1.00			1.00			
江西 九江	3	1	2					0.67	0.00	1.00						
安徽	26	19	2	2	1	1	1	0.23	0.26	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
安庆	14	10	1	1		1	1	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00			0.00
池州	6	6						0.67	0.67							
铜陵																
芜湖	3	1	1	1				0.33	0.00	1.00	0.00					
马鞍山	3	2			1			0.33	0.50			0.00				
江苏	15	14	1					0.20	0.21	0.00						
南京	8	7	1					0.00	0.00	0.00						
扬州	2	2						0.00	0.00							
镇江	4	4						0.50	0.50							
泰州																
常州																
无锡																
苏州	1	1						1.00	1.00							
南通																
总计 Total	105	72	11	14	2	3	1	2	0.33	0.45	0.36	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00

表 3 各行政区、各面积水平的长江干流滨岸洲滩湿地岸线长  
 Table 3 Shoreline length of the riparian wetlands in the Yangtze River mainstream ranked by area level in each administrative district

行政区 Administrative district	分級岸线长 Shoreline length summed up by area level/km							右岸占比 Proportion on the right bank								
	总计 Total	一级 Level 1	二级 Level 2	三级 Level 3	四级 Level 4	五级 Level 5	六级 Level 6	七级 Level 7	总计 Total	一级 Level 1	二级 Level 2	三级 Level 3	四级 Level 4	五级 Level 5	六级 Level 6	七级 Level 7
四川																
宜宾																
泸州			3.68					1.00								
永川区																
江津区																
九龙坡区																
大渡口区																
巴南区																
南岸区																
渝中区																
江北区																
渝北区																
长寿区																
涪陵区	3.68		3.68					1.00								
丰都县																
忠县																
石柱县																
万州区																
云阳县																
奉节县																
巫山县																
湖北																
恩施																
宜昌	9.95	9.95						0.00	0.00							
荆州	97.09	38.08	16.98	31.15			10.88	0.36	0.40	0.00	0.65					0.00
咸宁	7.48	7.48						0.57	0.57							
武汉	30.33	7.08		17.15	6.09			0.10	0.41		0.00	0.00				
鄂州	2.84	2.84						0.00	0.00							
黄冈	45.84	12.60		17.24		4.16	11.84	0.09	0.00		0.00		1.00			0.00

续表

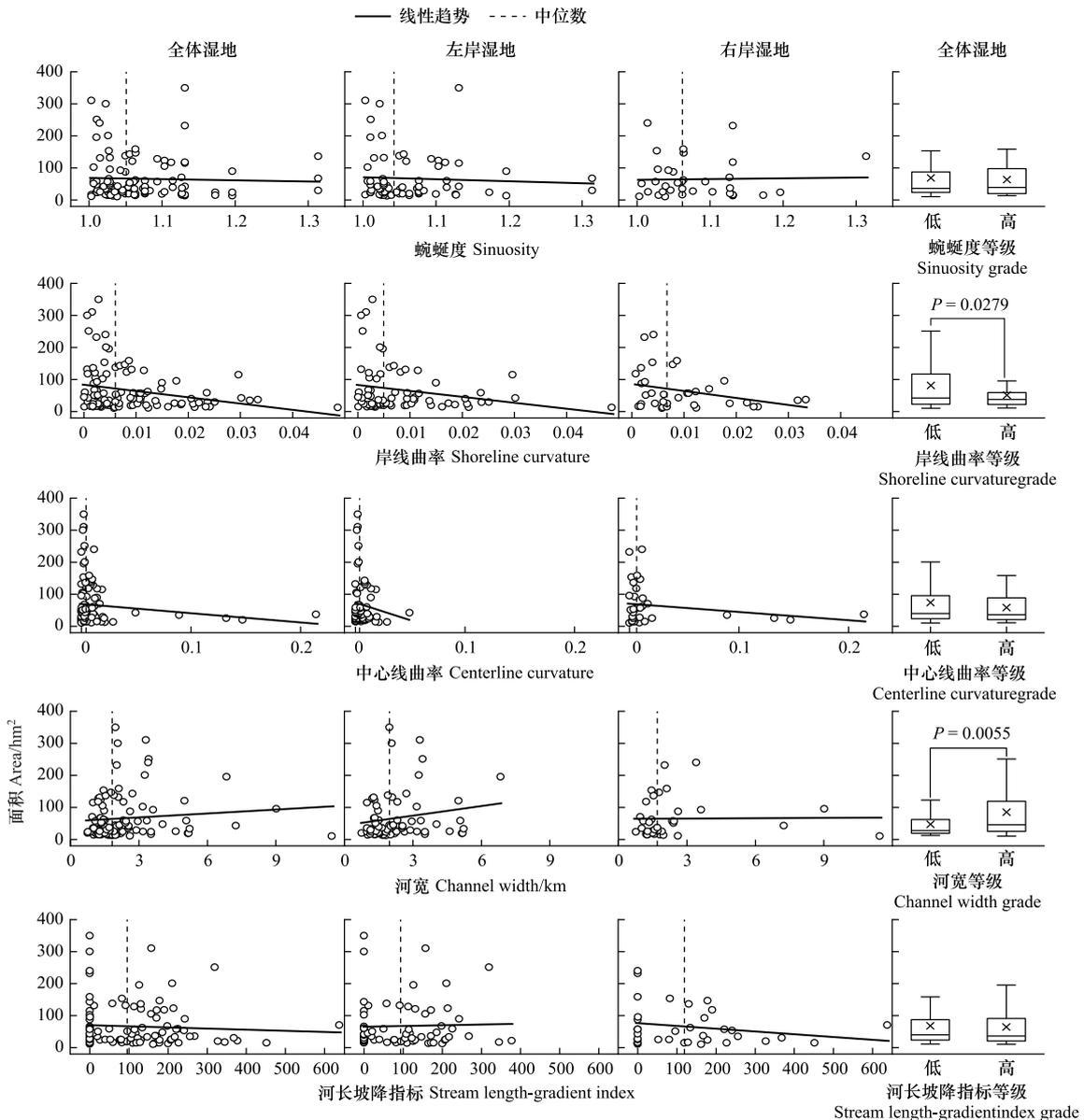
行政区 Administrative district	分级岸线长 Shoreline length summed up by area level/km							右岸占比 Proportion on the right bank								
	总计 Total	一级 Level 1	二级 Level 2	三级 Level 3	四级 Level 4	五级 Level 5	六级 Level 6	七级 Level 7	总计 Total	一级 Level 1	二级 Level 2	三级 Level 3	四级 Level 4	五级 Level 5	六级 Level 6	七级 Level 7
黄石	4.68	4.68							1.00							
湖南 岳阳	15.25	7.13	2.65			5.46			0.94	1.00				1.00		
江西 九江	7.31	2.42	4.89						0.67	1.00						
安徽 安庆	111.27	66.96	8.72	14.82	4.72	7.11		8.93	0.18	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
池州	58.18	32.62	3.70	5.82		7.11		8.93	0.00	0.00	0.00			0.00		0.00
铜陵	24.86	24.86							0.54							
芜湖	19.29	5.27	5.02	9.00					0.26	1.00	0.00					
马鞍山	8.94	4.21			4.72				0.16			0.00				
江苏 南京	41.43	39.04	2.39						0.19	0.21	0.00					
扬州	23.39	21.00	2.39						0.00	0.00	0.00					
镇江	3.17	3.17							0.00							
泰州	11.51	11.51							0.41	0.41						
常州																
无锡																
苏州	3.36	3.36							1.00							
南通																
总计 Total	377.15	198.27	39.31	80.37	10.81	16.74	11.84	19.81	0.27	0.41	0.25	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00

30、14、8、8)居滨岸洲滩湿地数量前三,前三市更是在滨岸洲滩湿地面积(分别为 2142.71 hm<sup>2</sup>、1177.79 hm<sup>2</sup>、1043.67 hm<sup>2</sup>)和岸线长(分别为 97.09 km、58.18 km、45.84 km)上也位居前三。至于湿地的数量分布,尽管因部分省市滨岸洲滩湿地极少而具偶然性,但总体上各省市仍以一、二、三级的滨岸洲滩湿地为主,甚至一级滨岸洲滩湿地占绝大多数(如安徽的 26 个滨岸洲滩湿地中 19 个为一级湿地,在安庆这一比例为 10/14,在江苏这一比例为 14/15)。

### 3.3 影响滨岸洲滩湿地单体面积的因素

#### 3.3.1 河道形态的影响

散点图显示,滨岸洲滩湿地单体面积与多数河道形态因子的线性趋势正负性在左右两岸一致,这包括湿地单体面积与岸线曲率、中心线曲率、坡度所呈的负向线性趋势,和与河宽所呈的正向线性趋势。滨岸洲滩湿地单体面积与其余河道形态因子的线性趋势正负性则在两岸不一致,如与蜿蜒度的线性趋势对于全体、左岸、右岸湿地分别为负向、负向、正向,与河长坡降指标的线性趋势分别为负向、正向、负向,与高程的线性趋势分别为正向、负向、正向。箱线图显示,各影响因素高、低水平间的湿地单体面积差异一般在上四分位数处最大,在平均值、中位数处依次减小。具体而言,低岸线曲率组、低中心线曲率组的面积上四分位数、平均值更高(图 5);高河宽组的面积上四分位数、平均值、中位数都更高。此外,高、低蜿蜒度组间差异很小,高 SL、坡度、



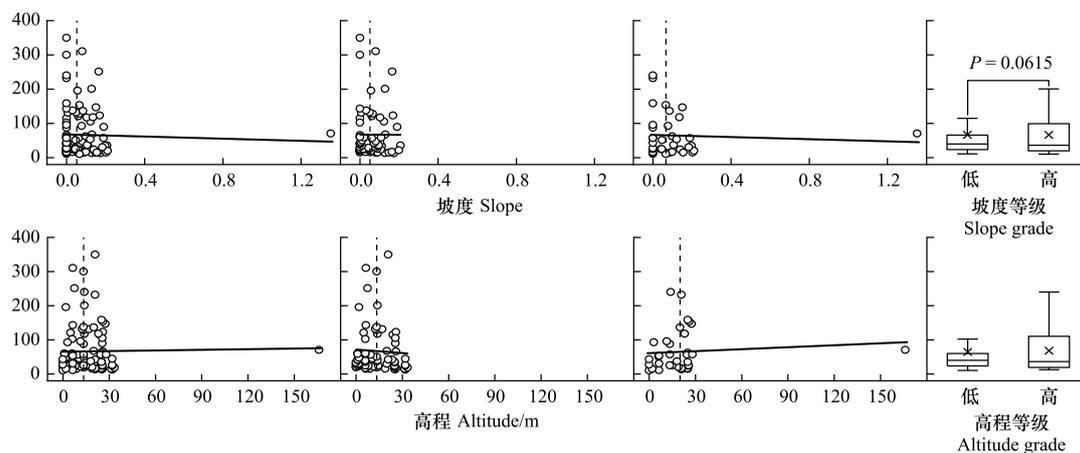


图5 长江干流滨岸洲滩湿地规模与河道形态关系

Fig.5 Relationship between size of riparian wetlands and channel morphology in the Yangtze River mainstream

IQR:四分位距 Interquartile range

高程组仅上四分位数值较高。 $t$  检验显示,低岸线曲率组、高河宽组的湿地单体面积显著更大( $P \leq 0.05$ );低坡度组的湿地单体面积更大,组间差异接近显著( $0.05 \leq P \leq 0.1$ )。总之,河段更顺直、宽阔、坡缓,更有利于单体滨岸洲滩湿地的发育、扩张。

### 3.3.2 气候干湿状况与人口社会经济状况的影响

长江干流滨岸洲滩湿地全体的单体面积与干燥度的线性趋势为负,左岸湿地呈现相似趋势,但右岸湿地则呈相反的正向线性趋势(图6)。箱线图显示,低干燥度组的中位数、均值略高,高干燥度组的上四分位数较大。 $t$  检验下高、低干燥度组间差异不显著。以上结果表明,总体上低干燥度处滨岸洲滩湿地发育更好,尽管右岸滨岸洲滩湿地可能受其他因素或随机干扰而呈相反现象;干燥度对滨岸洲滩湿地发育的影响不突出。

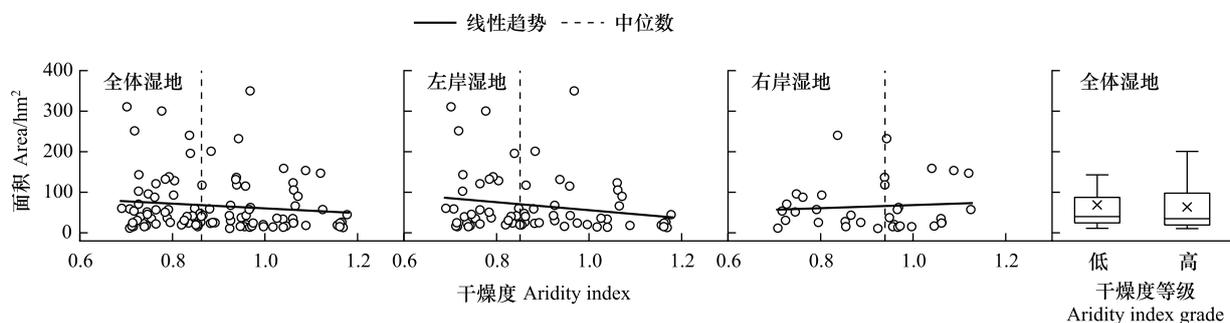


图6 干燥度与长江干流滨岸洲滩湿地规模的关系

Fig.6 Relationship between size of riparian wetlands and aridity index in the Yangtze River mainstream

长江干流全体滨岸洲滩湿地的单体面积,无论全体还是在左右两岸,都与人口密度、GDP 呈负向线性趋势(图7)。箱线图显示,低 GDP 组的中位数、均值、上四分位数都明显更高, $t$  检验显示这一差异接近显著。以上结果表明,在经济相对不发达处滨岸洲滩湿地的发育、扩张更有利。

## 4 讨论

滨岸洲滩湿地具有“地貌”“湿地”双重属性,据此本文从两属性方面选取解释变量,结合空间格局和影响因素分析,认为滨岸洲滩湿地发育同时受其“地貌”“湿地”属性的制约,致使其分布偏离滨岸洲滩的模式。横向来看,长江干流滨岸洲滩湿地左岸(北岸)规模大、右岸(南岸)规模小。从其“地貌”属性分析,地转偏向力

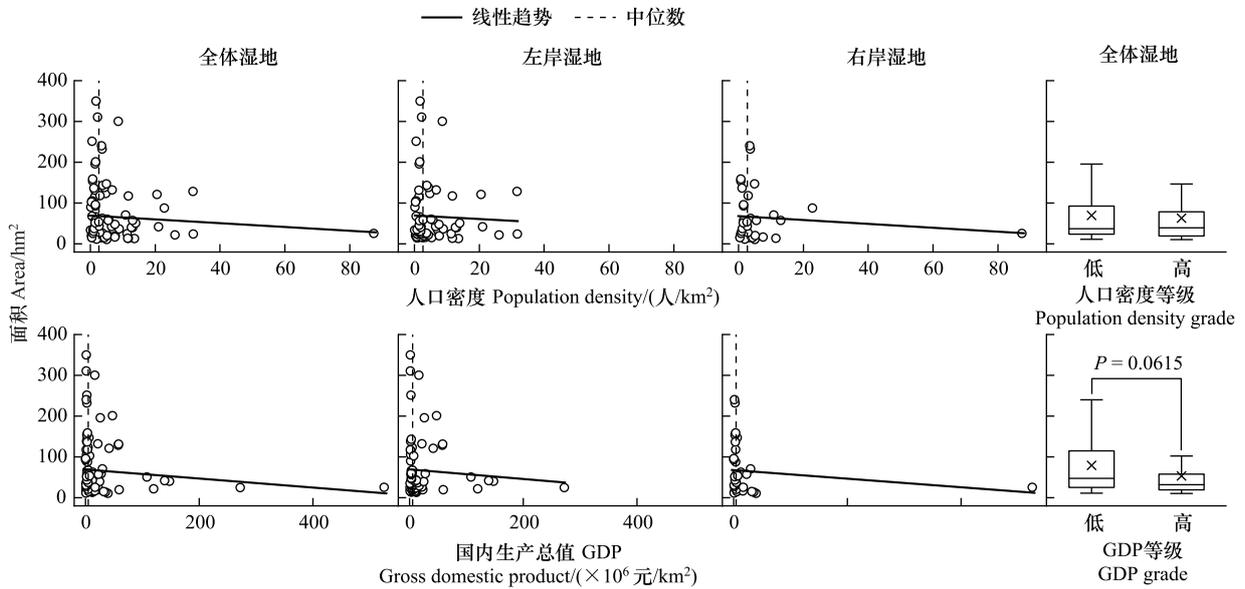


图 7 人口社会经济状况与长江干流滨岸洲滩湿地规模的关系

Fig.7 Relationship between size of riparian wetlands and population as well as socio-economic status in the Yangtze River mainstream

作用下,北半球河流右岸冲刷比左岸强<sup>[49-52]</sup>,左岸滨岸洲滩规模更大;从其“湿地”属性分析,长江两岸长期存在发展差距,左岸发展相对缓慢、岸滩开发程度相对低<sup>[53-54]</sup>,左岸滨岸洲滩湿地较少受侵占干扰。因此,横向上滨岸洲滩湿地作为“地貌”“湿地”受双重制约,但其分布大体与滨岸洲滩的模式一致。

纵向来看,长江干流上游宜宾-宜昌河段滨岸洲滩湿地极少,宜昌-岳阳、岳阳以下两河段滨岸洲滩湿地多且分布广泛,中大型湿地少并集中在岳阳、池州之间。从其“地貌”属性分析,首先,高河宽组的滨岸洲滩湿地单体面积显著大,与世界多条河流内的河宽促进滨岸洲滩的发育<sup>[55-57]</sup>相一致;但长江干流下游河道更宽阔,反而滨岸洲滩湿地少、面积小,推测存在其他因素限制滨岸洲滩湿地发育,并使其分布偏离滨岸洲滩的模式。其次,蜿蜒度组间差异不显著,但宜昌、岳阳之间的荆江河段内滨岸洲滩湿地较多,后者表明局部高蜿蜒河段的滨岸洲滩湿地符合凸岸边滩发育受蜿蜒度胁迫的规律<sup>[15,56]</sup>;推测由于滨岸洲滩涵盖凸岸边滩、顺直河段边滩等类型,主导影响因素不同(如后者主要与河宽有关),因此在长江干流尺度上蜿蜒度对湿地单体面积没有显著影响。再从其“湿地”属性分析,第三,一方面高 GDP 组的滨岸洲滩湿地单体面积较小,与文献中湿地损失常由农业与建设用地扩张、GDP 与人口密度变化等因素驱动相一致<sup>[9,58]</sup>;另一方面,前文长江干流下游宽阔河段滨岸洲滩湿地反而少,与长江干流岸线综合利用程度在下游最高相一致<sup>[59-60]</sup>;据此可推测当地人类经济活动对滨岸洲滩湿地造成了不利影响,且两者关系处于环境库兹涅茨曲线左侧<sup>[9,61]</sup>,因此持续推进岸带产业绿色发展、加强生态空间管控或有助于保护长江干流滨岸洲滩湿地。最后,滨岸洲滩湿地面积在高、低干燥度组间差异不显著,与三江源、内蒙古高原的湿地面积与降水、湿度具有显著正关系<sup>[5,8]</sup>的结果不一致,推测原因在于这些研究区属干旱、半干旱地带,而长江干流处于湿润区,内部干燥度空间差异较小,加之洲滩湿地的水文与长江联系紧密,受气候制约相对不突出。总之,纵向上滨岸洲滩湿地也受双重制约,并因此偏离了滨岸洲滩的分布模式。

本文采用枯水期遥感影像,保证了解译结果的上下游一致性,但受影像时间分辨率和少数影像质量不佳所限,未能控制水位完全同期,存在不足。本文采用 1 km 分辨率栅格数据解释当地人类经济活动对滨岸洲滩湿地的微观影响,中、宏观人类经济活动因素(例如各省市的湿地保护投入)的影响尚待进一步有效评估。从本文理清的现状规模及空间分布出发,下一步研究可着眼于长江干流滨岸洲滩湿地的时空演变规律乃至其群落结构、栖息地功能等方面的现状和时空演变规律。

## 5 结论

(1) 长江干流滨岸洲滩湿地发育充分, 湿地斑块共 105 个, 总面积 6976.19  $\text{hm}^2$ , 占据岸线总长 377.14 km。中小型滨岸洲滩湿地占优势, 且呈现单体面积越小, 相应水平上的湿地总面积、总岸线长、总数量越大的趋势。

(2) 长江干流滨岸洲滩湿地呈三段式空间分布特征, 宜宾-宜昌河段几乎没有滨岸洲滩湿地, 宜昌-岳阳河段仅有中小型滨岸洲滩湿地密布, 岳阳以下河段中小型滨岸洲滩湿地密布, 中大型湿地稀少。湖北、安徽、江苏的滨岸洲滩湿地规模最大。左岸滨岸洲滩湿地的总规模大于右岸滨岸洲滩湿地。

(3) 低岸线曲率、高河宽条件下, 湿地单体面积显著更大 ( $P \leq 0.05$ ), 低坡度、低 GDP 条件下, 湿地单体面积更大 ( $0.05 \leq P \leq 0.1$ ), 表明河道顺直、宽阔、平缓, 经济相对不发达的条件显著有利于长江干流滨岸洲滩湿地发育。滨岸洲滩湿地发育同时受其“地貌”“湿地”属性的制约。

### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Lewin J, Ashworth P J. Defining large river channel patterns: alluvial exchange and plurality. *Geomorphology*, 2014, 215: 83-98.
- [ 2 ] Legleiter C J. Downstream effects of recent reservoir development on the morphodynamics of a meandering channel: Savery Creek, Wyoming, USA. *River Research and Applications*, 2015, 31(10): 1328-1343.
- [ 3 ] Friedman, Osterkamp W R, Scott M L, Auble G T. Downstream effects of dams on channel geometry and bottomland vegetation: regional patterns in the Great Plains. *Wetlands*, 1998, 18(4): 619-633.
- [ 4 ] 王玉坤, 韩冬. 基于城市转型背景下的内河岛屿发展研究——以马鞍山市江心洲为例//多元与包容——2012 中国城市规划年会论文集 (02.城市总体规划). 昆明: 云南科技出版社, 2012: 318-329.
- [ 5 ] Tong L G, Xu X L, Fu Y, Li S. Wetland changes and their responses to climate change in the “Three-River Headwaters” region of China since the 1990s. *Energies*, 2014, 7(4): 2515-2534.
- [ 6 ] Zhang B, Niu Z G, Zhang D Q, Huo X L. Dynamic changes and driving forces of alpine wetlands on the Qinghai-Tibetan Plateau based on long-term time series satellite data: a case study in the Gansu Maqu Wetlands. *Remote Sensing*, 2022, 14(17): 4147.
- [ 7 ] Han X X, Chen X L, Feng L. Four decades of winter wetland changes in Poyang Lake based on Landsat observations between 1973 and 2013. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 156: 426-437.
- [ 8 ] Jie W H, Xiao C L, Zhang C, Zhang E, Li J Y, Wang B, Niu H W, Dong S F. Remote sensing-based dynamic monitoring and environmental change of wetlands in southern Mongolian Plateau in 2010—2018. *China Geology*, 2021, 4(2): 1-13.
- [ 9 ] Let M, Pal S. Socio-ecological well-being perspectives of wetland loss scenario: a review. *Journal of Environmental Management*, 2023, 326(Pt B): 116692.
- [ 10 ] Song F, Su F L, Mi C X, Sun D. Analysis of driving forces on wetland ecosystem services value change: a case in Northeast China. *Science of the Total Environment*, 2021, 751: 141778.
- [ 11 ] 杨绪海, 熊海滨, 李义天, 李思璇. 三峡水库蓄水后下荆江河段典型洲滩调整机理. *湖泊科学*, 2021, 33(3): 819-829.
- [ 12 ] Wen Z F, Yang H, Zhang C, Shao G F, Wu S J. Remotely sensed mid-channel bar dynamics in downstream of the Three Gorges Dam, China. *Remote Sensing*, 2020, 12(3): 409.
- [ 13 ] Long J L, Li H, Wang Z Y, Wang B, Xu Y J. Three decadal morphodynamic evolution of a large channel bar in the middle Yangtze River: influence of natural and anthropogenic interferences. *C9*, 2021, 199: 105128.
- [ 14 ] Zhang Q, Jiang T, Gemmer M, Becker S. Precipitation, temperature and runoff analysis from 1950 to 2002 in the Yangtze Basin, China/Analyse des précipitations, températures et débits de 1950 à 2002 dans le bassin du Yangtze, en Chine. *Hydrological Sciences Journal*, 2005, 50(1): 10.
- [ 15 ] Hooke J M, Yorke L. Channel bar dynamics on multi-decadal timescales in an active meandering river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2011, 36(14): 1910-1928.
- [ 16 ] Kiss T, Andrúsi G, Hernesz P. Morphological alteration of the Dráva as the result of human impact. *Landscape and Environment*, 2011, 5(2): 58-75.
- [ 17 ] 许全喜, 董炳江, 张为. 2020 年长江中下游干流河道冲淤变化特点及分析. *人民长江*, 2021, 52(12): 1-8.
- [ 18 ] 张为, 吴美琴, 李思璇, 袁晶, 高宇. 三峡水库蓄水后城陵矶至九江段河道冲淤调整机理. *水科学进展*, 2020, 31(2): 162-171.
- [ 19 ] 薛兴华, 常胜, 宋鄂平. 三峡水库蓄水后荆江洲滩变化特征. *地理学报*, 2018, 73(9): 1714-1727.
- [ 20 ] Wang H Y, Yao S M, Lu Y J, Zuo L Q, Liu H X, Zhao Z C. Morphological changes of sharp bends in response to Three Gorges Project operation at different discharges. *Frontiers in Earth Science*, 2022, 10: 876631.
- [ 21 ] 张强, 张小峰. 采砂区布置对分汉河道的影响分析. *武汉大学学报: 工学版*, 2009, 42(2): 153-157.
- [ 22 ] 钟艳红, 岳艳艳, 姚仕明, 朱诗好, 赵占超. 湘江典型河段采砂活动对河道演变影响研究. *人民长江*, 2021, 52(8): 10-15, 29.
- [ 23 ] 李少希, 杨云平, 张华庆, 朱玲玲, 朱玉德, 张明进. 三峡工程运行前后的长江中游河段冲淤变化(1975—2017 年). *湖泊科学*, 2021, 33(5): 1520-1531.
- [ 24 ] Wang B, Xu Y J. Dynamics of 30 large channel bars in the Lower Mississippi River in response to river engineering from 1985 to 2015. *Geomorphology*, 2018, 300: 31-44.
- [ 25 ] 唐金武, 由星莹, 李义天, 侯卫国. 三峡水库蓄水对长江中下游航道影响分析. *水力发电学报*, 2014, 33(1): 102-107.

- [26] 赵维阳, 杨云平, 张华庆, 张明进, 袁晶, 杨保岑. 三峡大坝下游近坝段沙质河床形态调整及洲滩联动演变关系. 水科学进展, 2020, 31(6): 862-874.
- [27] 尹德超, 王旭清, 王雨山, 王晓燕, 王茜, 吴斌, 刘肖肖, 龚磊. 近 60 年来白洋淀流域河川径流演变及湿地生态响应. 湖泊科学, 2022, 34(6): 2122-2133.
- [28] 孟阳阳, 何志斌, 刘冰, 陈龙飞, 刘蓓. 干旱区绿洲湿地空间分布及生态系统服务价值变化——以三大典型内陆河流域为例. 资源科学, 2020, 42(10): 2022-2034.
- [29] 徐文馨, 陈杰, 顾磊, 朱碧莹, 专美佳. 长江流域径流对全球升温 1.5°C 与 2.0°C 的响应. 气候变化研究进展, 2020, 16(6): 690-705.
- [30] 张录军, 钱永甫. 长江流域汛期降水集中程度和洪涝关系研究. 地球物理学报, 2004, 47(4): 622-630.
- [31] 王华琳, 郑珊, 谈广鸣, 李凌云. 三峡水库运行后宜昌-城陵矶河段冲刷重心下移与时空演变. 水利学报, 2021, 52(12): 1470-1481.
- [32] 姚仕明, 胡呈维, 渠庚. 三峡水库下游河道演变与生态治理研究进展. 长江科学院院报, 2021, 38(10): 16-26.
- [33] 何昭欣, 张森, 吴炳方, 邢强. Google Earth Engine 支持下的江苏省夏收作物遥感提取. 地球信息科学学报, 2019, 21(5): 752-766.
- [34] 贾坤, 李强子. 农作物遥感分类特征变量选择研究现状与展望. 资源科学, 2013, 35(12): 2507-2516.
- [35] Dong J W, Xiao X M, Menarguez M A, Zhang G L, Qin Y W, Thau D, Biradar C, Moore B 3rd. Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine. Remote Sensing of Environment, 2016, 185: 142-154.
- [36] Yang X C, Zhao S S, Qin X B, Zhao N, Liang L G. Mapping of urban surface water bodies from sentinel-2 MSI imagery at 10 m resolution via NDWI-based image sharpening. Remote Sensing, 2017, 9(6): 596.
- [37] Li K N, Chen Y H. A genetic algorithm-based urban cluster automatic threshold method by combining VIIRS DNB, NDVI, and NDBI to monitor urbanization. Remote Sensing, 2018, 10(2): 277.
- [38] 裴欢, 孙天娇, 王晓妍. 基于 Landsat 8 OLI 影像纹理特征的面向对象土地利用/覆盖分类. 农业工程学报, 2018, 34(2): 248-255.
- [39] 宁晓刚, 常文涛, 王浩, 张翰超, 朱乾德. 联合 GEE 与多源遥感数据的黑龙江流域沼泽湿地信息提取. 遥感学报, 2022, 26(2): 386-396.
- [40] Feng Q L, Liu J T, Gong J H. UAV remote sensing for urban vegetation mapping using random forest and texture analysis. Remote Sensing, 2015, 7(1): 1074-1094.
- [41] 程丽娜, 钟才荣, 李晓燕, 贾明明, 王宗明, 毛德华. Sentinel-2 密集时间序列数据和 Google Earth Engine 的潮间带湿地快速自动分类. 遥感学报, 2022, 26(2): 348-357.
- [42] 王梅力, 陈秀芳, 王平义, 林孝松. 长江上游边滩形态及与河道的关系. 武汉大学学报: 工学版, 2015, 48(4): 466-470.
- [43] Bag R, Mondal I, Bandyopadhyay J. Assessing the oscillation of channel geometry and meander migration cardinality of Bhagirathi River, West Bengal, India. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29(4): 613-634.
- [44] Camarero J J, Colangelo M, Rodríguez-González P M. Historical disconnection from floodplain alters riparian forest composition, tree growth and deadwood amount. Science of the Total Environment, 2023, 896: 165266.
- [45] 曹鹏举. 祁连山东段庄浪河流域地貌特征及其构造指示意义[D]. 西安: 长安大学, 2022.
- [46] Cohen S, Wan T, Islam M T, Syvitski J P M. Global river slope: a new geospatial dataset and global-scale analysis. Journal of Hydrology, 2018, 563: 1057-1067.
- [47] Bahn G S, An B C. Analysis of environmental purification effect of riparian forest with poplar trees for ecological watershed management; a case study in the floodplain of the dam reservoir in Korea. Sustainability, 2020, 12(17): 6871.
- [48] Jiang W G, Lv J X, Wang C C, Chen Z, Liu Y H. Marsh wetland degradation risk assessment and change analysis: a case study in the Zoige Plateau, China. Ecological Indicators, 2017, 82: 316-326.
- [49] 孙昭华, 李义天, 黄颖, 高凯春. 长江中游城陵矶-湖口分叉河道洲滩演变及碍航成因探析. 水利学报, 2011, 42(12): 1398-1406.
- [50] 余文畴. 长江中下游河道水力和输沙特性的初步分析——初论分叉河道形成条件. 长江科学院院报, 1994, 11(4): 16-22, 56.
- [51] 李国英. 黄河河势演变中科氏力的作用. 水利学报, 2007, 38(12): 1409-1413, 1420.
- [52] Dewan A, Comer R, Saleem A, Rahman M M, Haider M R, Rahman M M, Sarker M H. Assessing channel changes of the Ganges-Padma River system in Bangladesh using Landsat and hydrological data. Geomorphology, 2017, 276: 257-279.
- [53] 刘玮辰, 曹有挥, 梁双波, 郭嘉颖. 过江通道对长江两岸城市空间联系的影响——以长三角地区为例. 经济地理, 2020, 40(7): 49-56, 80.
- [54] 秦海旭, 段学军, 姚利鹏, 胡璐, 邹辉, 杨琳, 陈维肖. 长江南京段岸线资源与腹地空间响应评价及保护对策研究. 环境监测管理与技术, 2023, 35(4): 57-62.
- [55] 李志威, 王兆印, 张康. 典型沙洲形态与河道的关系. 泥沙研究, 2012(1): 68-73.
- [56] Crosato A, Mosselman E. Simple physics-based predictor for the number of river bars and the transition between meandering and braiding. Water Resources Research, 2009, 45(3): W03424.
- [57] Crosato A, Mosselman E. An integrated review of river bars for engineering, management and transdisciplinary research. Water, 2020, 12(2): 596.
- [58] Ge Y, Sklenička P, Chen Z B. Socioeconomic and climate effects on changes in wetlands in China during a three-decade period of rapid growth. Remote Sensing, 2023, 15(6): 1683.
- [59] 段学军, 王晓龙, 徐昔保, 黄群, 肖飞, 梁双波, 张继飞, 邹辉. 长江岸线生态保护的重大问题及对策建议. 长江流域资源与环境, 2019, 28(11): 2641-2648.
- [60] 殷守敬, 吴传庆, 乐松, 余嘉琦, 王楠. 长江干流岸线类型遥感监测分析. 人民长江, 2020, 51(11): 16-21, 120.
- [61] Ai S Y, Hu Y K, Li J L, Tian P, Pu R L, Liu Y C, Fan H F. Tracking economic-driven coastal wetland change along the East China Sea. Applied Geography, 2023, 156: 102995.