

# 基于多光谱数据的湿地景观格局变化对越冬候鸟生境影响

高祥<sup>1</sup>, 戚雨婷<sup>1</sup>, 董斌<sup>1\*</sup>, 崔玉环<sup>1</sup>, 郝泷<sup>1</sup>, 赵芳<sup>2</sup>, 王宏昌<sup>3</sup>

1. 安徽农业大学理学院, 安徽合肥 230036

2. 山东省水利勘测设计院, 山东济南 250013

3. 山东省国土测绘院, 山东济南 250102

**摘要** 安徽升金湖是典型的长江中下游自然通江湖泊湿地, 是越冬候鸟尤其是珍稀鹤类的理想越冬地, 水利设施的修建改变了升金湖的自然连通状况, 使湖泊水位变化受人控制, 继而引起景观格局变化, 从而影响越冬候鸟生境。为探究水位波动对越冬候鸟生境影响规律, 基于 Landsat-8(OLI)多光谱遥感影像对升金湖土地利用类型进行分类, 结合水位数据和候鸟种群特征数据, 选取景观斑块谱特征指数并对其分级, 分析不同水文期升金湖湿地水位变化规律, 探索湿地景观斑块谱特征时空变化特征, 探究不同水文时期自然湿地景观格局和越冬候鸟生境变化规律。结果表明: 空间上该区域丰水期大斑块面积占优, 枯水期中等斑块面积达到峰值, 在退水期和枯水期景观格局分布良好, 景观整体表现出大斑块面积占优、数量较少且形状复杂, 小斑块分布分散、数量巨大且形状规则, 中小型斑块面积均匀, 形状各异。时间上景观格局随水位变化, 斑块总数随水位升高先增后降, 小斑块数量变化最大且稳定性差易受水位波动影响; 水位对大斑块形状指数影响较大, 水位升高大斑块形状趋于复杂化, 涨水期和丰水期大斑块形状指数最大, 趋于狭长式分布, 景观边缘效应趋于明显, 内部结构异质性降低; 四个水文期香浓多样性指数分别为 1.754 2(涨水期)、1.571 7(丰水期)、1.762 3(退水期)、1.790 1(枯水期), 香浓多样性指数减小, 景观类型多样性趋于单一。越冬候鸟生境面积与水位高低呈负相关, 草滩地、泥滩地和芦苇滩地三种类型面积此消彼长并长期处于平衡状态, 草滩地面积在生境面积中占比最高起主导作用(68.01%), 总体生境面积在候鸟越冬末期(枯水期)达到峰值, 利于越冬候鸟觅食等行为活动。基于此, 建议在越冬候鸟前期(8月—翌年1月)通过控水闸人为调控升金湖水位, 使各生境类型面积增加, 为越冬候鸟提供优质生境。

**关键词** 升金湖; 多光谱数据; Landsat-8(OLI); 候鸟生境; 景观斑块谱

**中图分类号:** P237 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2021)02-0579-07

## 引言

升金湖是典型的长江中下游自然湿地, 上世纪 90 年代前景观格局呈理想状态, 景观生态系统多样性丰富, 为越冬候鸟提供极佳的生境<sup>[1]</sup>。为预防沿河地区发生洪涝等自然灾害, 长江中下游通江湖泊、河流大规模兴建水利设施, 致使河流自然连通状态改变, 升金湖水位在人为控制状态下一年中最高值保持在警戒水位(15 m), 水位变化使升金湖景观时空格局改变明显<sup>[2]</sup>。景观格局决定了物种生境的可利用度, 而候鸟生存在很大程度上取决于生境质量, 景观破碎化和生

境面积锐减对越冬候鸟在此停留、繁衍等生理活动极其不利<sup>[3-4]</sup>。因此, 对越冬候鸟生境质量研究一直是探讨湿地保护的热点和核心项目<sup>[2-4]</sup>。

目前国内外众多学者展开不同水文时期下景观格局和生境研究, Richer 等通过研究水利设施改变河流原有自然连接状态, 导致水位发生改变, 进而分析不同水文时期下湖泊景观格局对生境时空格局的影响。Wang 等用景观斑块谱分析湿地景观变化对丹顶鹤栖息地影响, 结果表明斑块面积对景观破碎化程度低地区影响较大, 而形状和多样性对高度破碎化地区影响较大<sup>[5]</sup>。目前就升金湖等通江湖泊着手研究不同水文时期景观格局及其对生境影响相关研究较少<sup>[6-7]</sup>。而多

收稿日期: 2020-01-02, 修订日期: 2020-04-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571101, 41801332), 安徽省教育厅科研项目(KJ2020A0112), 安徽农业大学青年基金重点项目(2015ZD06), 安徽农业大学引进与稳定人才项目科研项目(yj2016-19)资助

作者简介: 高祥, 1987年生, 安徽农业大学理学院讲师 e-mail: 505915008@qq.com

\* 通讯作者 e-mail: dbhyl23@sina.com

光谱遥感可根据影像形态、结构差异和光谱特性解译地物,扩大了遥感的信量, Landsat-8(OLI)系列包含 ETM+ 的所有波段,且新增两个波段,具有海岸波段、蓝、绿、红、近红外、短波红外、全色、卷云等多波段,解译地物能力强,利于景观生态等方面的研究。本文选择升金湖湿地保护区作为研究区域,利用多光谱遥感影像提取景观斑块谱和越冬候鸟生境面积数据,结合升金湖地区在一个完整水文时期水位数据,对升金湖越冬候鸟生境质量随时间变化特征进行研究,为强化水资源合理时空分布,提升湿地生态环境和越冬候鸟生境质量提供依据。

## 1 研究区概况

安徽升金湖自然保护区地处安徽省南部池州市内,北纬  $30^{\circ}15' - 30^{\circ}30'$ , 东经  $116^{\circ}55' - 117^{\circ}15'$  之间(图 1), 水位波动极大且具有季节性变化特点<sup>[8]</sup>。该区域是国际重要湿地和越冬候鸟重要栖息地。

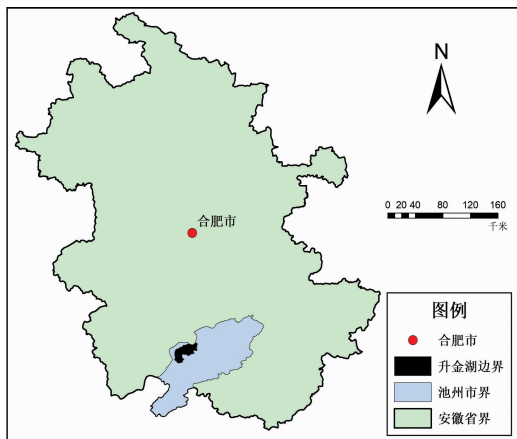


图 1 升金湖自然保护区位置图

Fig. 1 Location of Shengjin Lake nature reserve

## 2 实验部分

### 2.1 数据来源

为研究一个水文期内水位变化对升金湖湿地候鸟生境影响,选取最近一年内(2017 年 5 月—2018 年 5 月)升金湖水文数据[图 2(a)], 升金湖水(黄湓闸闸上水位站)处于波动状态,在 2017 年 5 月到 2018 年 5 月,月平均水位最大值为 14.33 m,最小值为 8.51 m,水位波动明显。受季风影响降雨主要集中在夏季。结合已有研究成果将水文时期划分为四个时期[图 2(b)]<sup>[8-10]</sup>。其中,升金湖水由黄湓闸水文站观测数据获取,数据来源为安徽省水文遥测信息网(yc.wswj.net/ahyc/)。Landsat-8(OLI)影像数据时相分别与四个水文期对应,选取能代表各水文期平均水位且质量较好的影像(表 1)。根据 Landsat-8(OLI)波段设置,选用 5, 4 和 3 波段合成,具有地物图像丰富鲜明、层次好等优点,可用于植被分类、水体识别;使用 ENVI5.2 进行几何校正、影像融合、影像裁剪和影像增强等影像预处理。

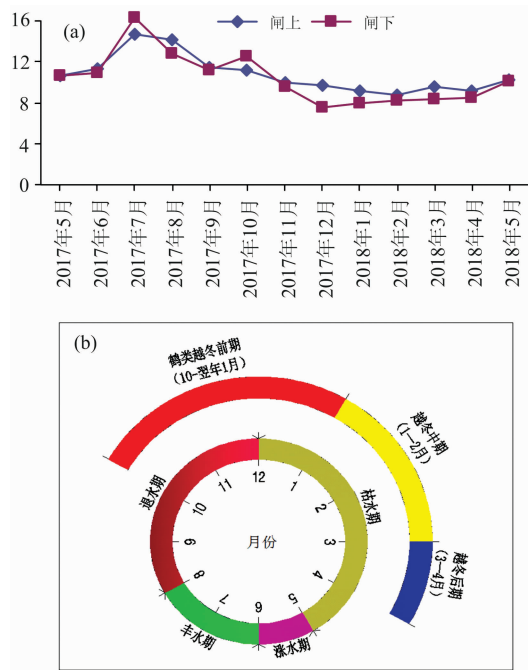


图 2 数据选取依据

(a): 升金湖水位变化特征;

(b): 候鸟活动期与水文期对应图

Fig. 2 Data selection basis

(a): Characteristics of water level changes; (b) Corresponding of migratory bird activities and hydrological periods

表 1 Landsat-8 卫星影像时相选取

Table 1 Phase selection of Landsat-8 satellite images

日期	水文时期
2017 年 5 月 09 日	涨水期
2017 年 7 月 28 日	丰水期
2017 年 11 月 1 日	退水期
2018 年 4 月 10 日	枯水期

### 2.2 遥感影像分类方法比较分析

目前监督分类常用的两种精度较高的方法为最大似然值法和支向量机法,最大似然值法比传统监督分类最小距离法精确度高,支向量机法采用维度进行分类,分类精度较高。采取最大似然值法和支向量机法进行分类,利用混淆矩阵判定其分类精度(表 2),最终结果表明,支向量机法分类总体精度与 Kappa 系数均高于最大似然值法,故选用支向量机法对影像进行分类。

### 2.3 升金湖土地利用分类

结合已有文献,将土地利用类型划分为水域、水田、旱地、林地、草滩地、泥滩地、芦苇滩地和建设用地八种<sup>[4, 10]</sup>。结合归一化水体指数(NDWI)对 4 幅影像进行支向量机分类并进行分类后处理(图 3)。

### 2.4 景观斑块谱特征指数选取与分级

选取四个景观斑块指数<sup>[10-11]</sup>,分别为斑块面积、斑块数量、斑块形状指数和景观香浓多样性指数(SHDI)。其中,斑块形状指数计算模型为:

表 2 两种监督分类方法对比分析  
Table 2 Comparative analysis of two supervised classification methods

地类	最大似然值法				支持向量机			
	总数 / 个	正确分类数 / 个	制图精度 / %	用户精度 / %	总数 / 个	正确分类数 / 个	制图精度 / %	用户精度 / %
林地	420	420	100.00	100.00	420	420	100.00	100.00
水域	1 129	1 129	100.00	97.33	1 129	1 129	100.00	95.27
草滩地	208	205	98.56	100.00	208	208	100.00	100.00
泥滩地	154	153	99.35	88.44	154	152	98.70	89.41
芦苇滩地	208	205	98.56	100.00	171	117	68.42	79.59
水田	189	188	99.47	100.00	189	188	99.47	100.00
旱地	166	166	100.00	98.22	166	166	100.00	94.32
其他用地	140	110	78.57	94.02	79	140	56.43	95.18
总体精度 / %	93.048 1				97.230 2			
Kappa 系数	0.899 5				0.960 2			

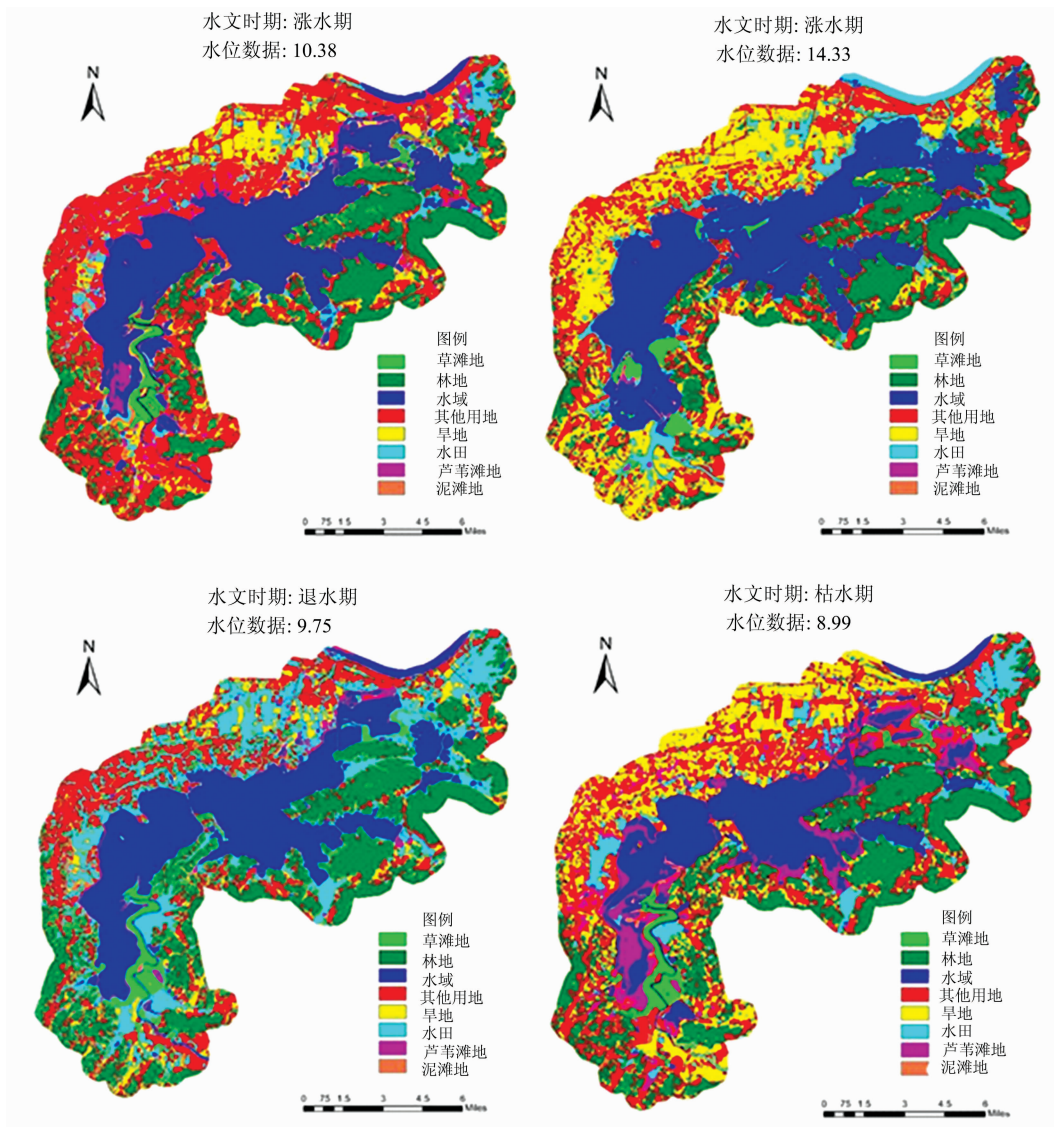


图 3 升金湖湿地土地利用类型分类图  
Fig. 3 Classification of land use types in Shengjin Lake wetland

$$S = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (1)$$

式(1)中,  $S$  为斑块形状指数,  $P$  为斑块周长,  $A$  为斑块面积(以圆为参照几何形状)。景观香浓多样性指数(SHDI)计算模型为

$$SHDI = - \sum_{i=1}^Z c_i (\ln c_i) \quad (2)$$

式(2)中, SHDI 为香浓多样性指数,  $i$  为面积占斑块总面积比例,  $Z$  为斑块内生态类型数,  $c_i$  为斑块内生态系统类型数。以候鸟生境最小图斑面积( $3 \text{ km}^2$ )<sup>[6]</sup>为基础, 根据等级划分

面积级别并统计相关参数, 景观斑块谱等级划分结果见表 3。

表 3 景观斑块面积分级

Table 3 Classification of landscape patch area

类别	面积范围/ $\text{km}^2$
A	$\leq 15$
B	15~100
C	100~500
D	500~2 000
E	$> 2 000$

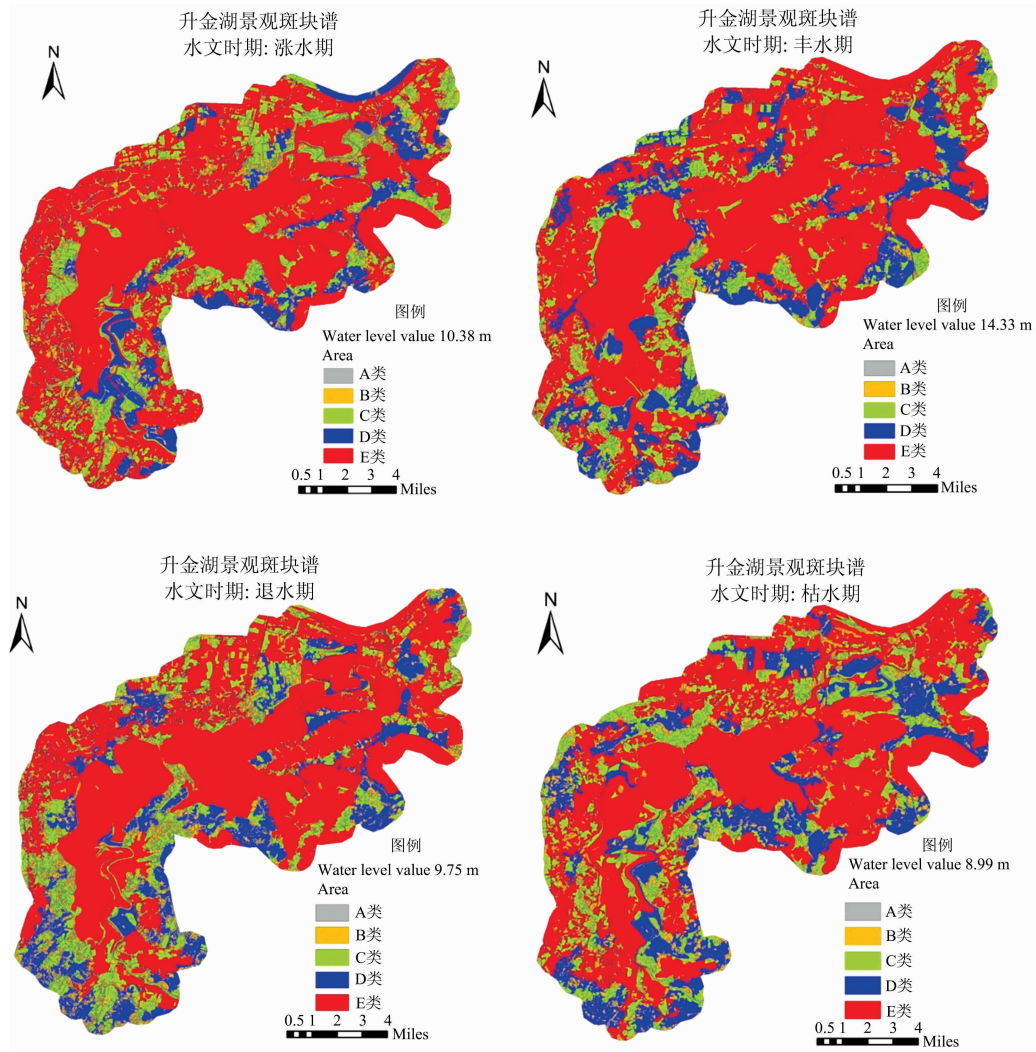


图 4 不同水文时期升金湖景观斑块谱

Fig. 4 Landscape patch spectrum of Shengjin Lake in different hydrological periods

### 3 结果与讨论

#### 3.1 湿地景观斑块谱特征时空变化分析

##### 3.1.1 斑块面积特征分析

空间上升金湖湿地景观中 E 类斑块面积最大, 全年平均面积高达  $12 525 \text{ km}^2$ , 占  $28.36\%$ , 大斑块在湿地景观中为

主导地位; 时间上, 随水位升高大斑块面积波动幅度较大表现出较高的不稳定性, 斑块面积先升后降, 与 A 类斑块呈现彼消此长趋势, 其他四种斑块面积波动较小且分布均匀(图 5)。丰水期( $14.33 \text{ m}$ )小斑块面积较小, 大斑块面积较大约占  $37.37\%$ ; 枯水期( $8.99 \text{ m}$ )中等斑块面积达到峰值约占区域面积  $28.26\%$ , 大小斑块面积占比相似分布较为合理, 升金湖湿地景观斑块面积在一个水文期内水位升高而大面积逐

渐增加,小面积逐渐萎缩过程,在退水期和枯水期表现出良好景观格局分布。

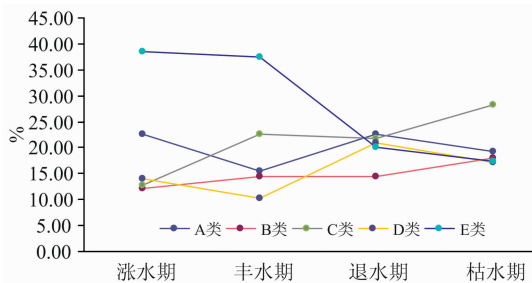


图 5 不同水文期景观斑块面积变化过程

Fig. 5 Variation process of landscape patch areas in different hydrological periods

3.1.2 斑块数量特征分析

将同一水文期斑块数量根据面积级别划分并统计汇总,空间上湿地景观总体上破碎化严重,湿地景观小斑块数量大约占总体斑块数的 90% 以上,大斑块数量极少仅占总体斑块数的 1.3%~4.1%,小斑块在湿地景观数量上具优势,大斑块占据劣势地位,前者对升金湖景观破碎化程度起主要作用(表 4)。时间上各时期斑块总数之间有较大差异,斑块总数随水位升高先增后降,其中小斑块数量变化最大,稳定性极差,易受水位波动或水草停滞影响。涨水期斑块总数最大且小斑块数目占优,表明升金湖湿地景观在此时期破碎化严重,物种生境可用度较低。枯水期斑块总数最少(仅 6 790 个),此时期水位约维持在 8.51~9.72 m,处于区域水位较低时期,此阶段升金湖湿地具有良好的生态格局和生境可用度。

表 4 斑块数量特征与分级

Table 4 Quantitative features and classification of patches

水文时期	水位 /m	斑块数量特征与分级/个					总数/个
		A	B	C	D	E	
涨水期	10.38	14 189	169	28	7	2	14 395
丰水期	14.33	9 035	192	52	3	3	9 286
退水期	9.75	14 088	184	43	9	1	14 325
枯水期	8.99	6 491	228	60	9	2	6 790

3.1.3 景观斑块指数特征分析

将同一水文时期斑块形状指数根据面积级别划分并统计均值,空间上斑块面积与其形状指数变化呈正相关(图 6),形状指数越大,斑块边缘效应越明显且内部异质性越低;时间上 E 类斑块平均形状指数波动较大,稳定性差且水位越高形状指数越大,表明水位对大斑块形状指数影响较大。其他斑块面积级别类型变化较小波动不明显。由于水位升高水面向外延伸,水域等大斑块形状偏规则形状,高水位时期(主要为涨水期和丰水期),E 类斑块形状指数最大,表明此时期大斑块沿河流趋向成狭长式分布。

3.1.4 景观香浓多样性指数分析

由统计知四个水文期 SHDI 指数分别为 1.754 2(涨水

期)、1.571 7(丰水期)、1.762 3(退水期)、1.790 1(枯水期)。升金湖整体上景观 SHDI 指数随水位升高略有降低,丰水期景观破碎化严重且生态系统多样性较低。由于越冬候鸟生境是由草滩地、泥滩地、芦苇滩地三种景观构成的复合体<sup>[6]</sup>,通过保护景观多样性可实现生物多样性保护,景观多样性较低对越冬候鸟生境质量有不利影响。

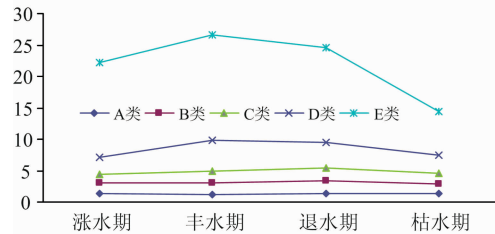


图 6 景观斑块形状指数随时间变化趋势图

Fig. 6 Trend chart of landscape patch shape index over time

3.2 不同水文期越冬候鸟生境面积动态分析

升金湖湿地保护区鹤类种群数量中白头鹤较多,属杂食性动物,但以植物性食物为主。芦苇滩地土壤养分含量较高,且植物种类较多,高大禾本植物提供良好的隐秘环境,是越冬候鸟三种栖息地中最佳栖息地种类。退水期和枯水期是越冬候鸟主要到访时期。退水期鹤类生境面积比较均匀,随水位下降,芦苇滩地面积逐渐上升,此时期候鸟生存条件较为理想。枯水期生境面积最大(越冬候鸟末期)(图 7)芦苇滩地面积占比急速减少,此时越冬候鸟栖息地主要为泥滩地与草滩地,可基本满足候鸟生活需求。草滩地生境面积占主导地位(51.21%),面积波动较大且与水位呈负相关关系,最低值 41.51%,低于区域平均水平。三种类型面积此消彼长并长期处于平衡状态。高水位条件下主要生境为草滩地占比为 68.01%,生境类型单一且生境面积出现萎缩(仅 1 335.95 km<sup>2</sup>),小于最大生境面积的三分之一。

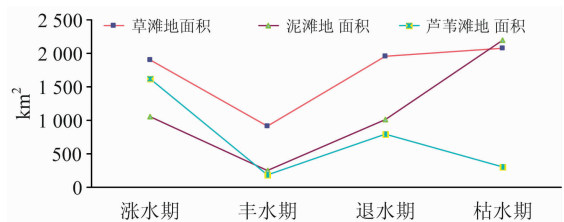


图 7 不同水文时期升金湖生境面积变化

Fig. 7 Changes of habitat areas in Shengjin Lake in different hydrological periods

4 结 论

(1)一个水文周期内,升金湖湿地景观格局在空间上小斑块数量巨大且结构分散,大斑块数量较少但面积占优,边缘效应明显,景观破碎化严重,斑块内部异质性较差;时间上,随水位升高大斑块面积增加,小斑块面积持续萎缩且数量持续升高,景观格局趋于单一化且破碎化严重;大斑块形状指数升高,景观边缘效应显著,内部结构异质性降低,景

观香浓多样性指数减小,生态多样性趋于简单化。越冬候鸟生境总面积波动较大且与水位呈负相关关系。越冬候鸟初期(退水期),升金湖湿地景观破碎化严重,内部异质性较低,候鸟生境面积总体较小;随水位降低生境面积逐渐增加,到越冬候鸟末期达到峰值。

(2)近年来,为增加渔业养殖利益最大化,周围鱼塘众

多,越冬候鸟期水位仍较高,水生植物生长受到抑制,从而影响鹤类栖息地环境,景观斑块内部异质性较高且生态系统多样性偏低,不能为越冬候鸟提供理想的栖息场所。通过控水闸对升金湖水位进行合理调控,能极大程度上改变湿地景观格局,进而提高生境可利用度。

## References

- [ 1 ] ZHAO Le-yang(赵劲洋). Bulletin of Surveying and Mapping(测绘通报), 2017, (10): 95.
- [ 2 ] YANG Yang, LI Wan-tong, ZHOU Zhong-ze, et al(杨 阳, 李皖彤, 周忠泽, 等). Journal of Biology(生物学杂志), 2019, 36(2): 61, 72.
- [ 3 ] Peng Yu, Wang Qinghui, Wang Huiting, et al. Ecological Indicators, 2019, 103: 173.
- [ 4 ] Cui Yanglin, Dong Bin, Chen Lingna, et al. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26(15): 14962.
- [ 5 ] Wang Cheng, Dong Bin, Zhu Ming, et al. Environmental Science and Pollution Research International, 2019, 26(8): 8266.
- [ 6 ] Ma Libang, Bo Jie, Li Xiaoyang, et al. Science of the Total Environment, 2019, 674: 424.
- [ 7 ] Wu Jianhong, Lu Jun. Science of the Total Environment, 2019, 669: 377.
- [ 8 ] CUI Yu-huan, WANG Jie(崔玉环, 王 杰). Journal of Water Resources and Water Engineering(水资源与水工程学报), 2018, 29(4): 47.
- [ 9 ] Zhu Yingxin, Chen Lei, Wei Guoyuan, et al. Journal of Hydrology, 2019, 574: 915.
- [10] LIU Xue-wen, LI Hong-qing, YANG Yin-qun, et al(刘学文, 李红清, 杨寅群, 等). Journal of Lake Sciences(湖泊科学), 2019, 31(6): 1662.
- [11] GUO Hui-cai, HU Bin-hua, WAN Song-xian, et al(郭恢财, 胡斌华, 万松贤, 等). Chinese Journal of Wildlife(野生动物学报), 2018, 39(3): 550.

# Impact of Water Level Fluctuations on Habitats of Wintering Migratory Birds Based on Multispectral Data

GAO Xiang<sup>1</sup>, QI Yu-ting<sup>1</sup>, DONG Bin<sup>1\*</sup>, CUI Yu-huan<sup>1</sup>, HAO Shuang<sup>1</sup>, ZHAO Fang<sup>2</sup>, WANG Hong-chang<sup>3</sup>

1. School of Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

2. Shandong Survey and Design Institute of Water Conservancy, Ji'nan 250013, China

3. Shandong Provincial Institute of Land Surveying and Mapping, Ji'nan 250102, China

**Abstract** Shengjin Lake wetland in Anhui Province is a typical lake wetland which located in the middle and lower reaches of the Yangtze River in China. It is an ideal wintering place for wintering migratory birds, especially rare cranes. The construction of water conservancy facilities has changed the natural connection of Shengjin Lake, and the lake water level has been affected by changes. Human-made control, which in turn causes changes in the landscape pattern, affects the habitat of overwintering migratory birds. In order to explore the influence of water level fluctuations on overwintering migratory birds, in this paper land use types in Shengjin Lake were classified based on Landsat-8 (OLI) multispectral remotesensing images, water level data were combined and migratory bird population characteristics data were selected, the landscape patch spectral feature index was ranked, the water level change law of the Shengjin Lake wetland in different hydrological periods was analyzed, the spatiotemporal change characteristics of wetland landscape patch spectral characteristics were explored, the natural wetland landscape pattern and the habitat change pattern of overwintering migratory birds were explored. The results showed that spatially the large patches areas were dominant in the wet season, and the medium patches areas have reached the peak in the dry season. The landscape patterns were well distributed in the ebb and dry season. The overall landscape showed that the large patches areas were dominant, small and complex; the small patches distribution were scattered, huge and regular; and the small and medium patches areas were uniform and different. In terms of time, the landscape patterns were changed with the water level, the total numbers of patches were increased firstly and then decreased with the rising of water level, while the numbers of small patches were changed mostly and their stability was poor, which were easily affected by the fluctuation of water level. The shape indexes of large patches were influenced greatly by the water level, which the shape index of large patches was tended to be

complicated when the water level raised. The shape indexes of large patches werethe largest in the flood period, and were tended to be long and narrow. The effects of landscape edge were tended to be obvious, and the heterogeneity of internal structure was decreased; the fragrance diversity index in the four hydrological periods were 1.754 2 (Flood Period), 1.571 7 (Wet Period), 1.762 3 (Ebb Period), and 1.790 1 (Dry Period) respectively. The indexes of fragrance diversity were decreased, and the diversity of landscape types were tended to be single. Winter migratory birds habitat areas were negative correlation with the water level, the areas of three types including grass land, mudflats and reed shoal were tradeoffs and long-term equilibrium. The grass land areas were accounted for the highest in the habitat area which played a leading role (68.01%), the overall habitat areas were peaked in the late migratory birds wintering (in the dry season), which were benefited by wintering birds for foraging behavior activities. Based on this conclusion, it is suggested that artificially regulating the water level of Shengjin lake by controlling sluice during the dry season of over wintering (August to January of the following year) could increase the area of each habitat type and provide excellent habitat for over wintering migratory birds.

**Keywords** Shengjin Lake; Multispectral data; Landsat-8 (OLI); Migratory bird habitat; Landscape patch spectrum

(Received Jan. 2, 2020; accepted Apr. 28, 2020)

\* Corresponding author

---

## 敬告读者——《光谱学与光谱分析》已全文上网

从 2008 年第 7 期开始在《光谱学与光谱分析》网站(www.gpxygpfx.com)“在线期刊”栏内发布《光谱学与光谱分析》期刊全文,读者可方便地免费下载摘要和 PDF 全文,欢迎浏览、检索本刊当期的全部内容;并陆续刊出自 2004 年以后出版的各期摘要和 PDF 全文内容。2009 年起《光谱学与光谱分析》每期出版日期改为每月 1 日。

《光谱学与光谱分析》期刊社