

升金湖湿地时空演变对越冬鹤类种群动态的影响^{*1}

叶小康 董斌* 王成 黄慧 陈凌娜 朱鸣 彭文娟 周强

(安徽农业大学理学院, 安徽合肥 230036)

【摘要】:升金湖湿地是我国主要的鹤类越冬栖息地之一。研究升金湖湿地时空变化对越冬鹤类种群动态的影响在湿地生态环境改善、鹤类种群恢复等方面具有重要参考价值。对1986~2015年升金湖湿地白头鹤(*Grus monacha*)、白鹤(*Grus leucogeranus*)、灰鹤(*Grus grus*)及白枕鹤(*Grus vipio*)种群数量的变化趋势分别进行了曲线拟合;结合升金湖湿地1986~2015年间8期遥感影像分析了研究区土地利用/覆盖的时空变化;并探讨了湿地时空变化与越冬鹤类种群数量变化之间的相关性。结果表明:1986~2015年间,研究区的景观格局发生了较大变化,草地、水田、滩涂及其他用地的面积总体呈增加态势,而林地、旱地、水域及芦苇沼泽地面积总体呈减少的态势;4种鹤类的数量总体呈下降趋势,曲线拟合中白鹤和白枕鹤种群数量变化的趋势方程拟合度较高;芦苇沼泽地及水域面积变化与越冬鹤类种群数量呈显著的正相关关系,而草地、滩涂及水田的面积与鹤类种群数量呈较强的负相关关系;其他景观面积变化间接对鹤类种群数量产生影响。

【关键词】:时空变化;鹤类;遥感影像;土地利用/覆盖;升金湖

【中图分类号】:X176 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1004-8227(2018)01-0063-07

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201801008\

湿地水禽是湿地生态系统中的重要组成部分,湿地水禽的数量变化在一定程度上能够映射出湿地的生态环境变化。当湿地生态环境适宜水禽生存,并且食物等资源允许的范围内,水禽种群的数量趋于增长^[1];而当生态环境恶化时,水禽将选择其他更适宜迁徙栖息的区域。近年来,对湿地水禽的研究主要集中于3个方面:(1)是从水文节律的角度研究水位波动与水禽种群数量之间的关系,并得到水禽生存的最优水位或极限水位^[2~5]; (2)是从湿地时空变化的角度研究区域土地利用变化对水禽生境的影响^[6,7]; (3)是对湿地水禽的生境适宜性进行研究^[8~10]。

升金湖湿地是以保护淡水湖泊生态系统以及和濒危鸟类为主体的湿地类型保护区^[11],近年来升金湖的生态系统由于人口数量的增加、经济的发展以及人类的生产生活活动而承受着巨大的压力,生态环境逐渐发生改变,进而影响到在此迁徙栖息的越冬水禽。鉴于此,本文以白头鹤(*Grus monacha*)、白鹤(*Grus leucogeranus*)、灰鹤(*Grus grus*)及白枕鹤(*Grus vipio*)为例,利用皮尔逊相关分析^[12~14]来研究升金湖湿地景观格局的时空演变与越冬鹤类种群数量变化之间的相关性,以期对湿地景观格局优化、生态环境的恢复与保护及鹤类种群数量的增加提供参考。

¹ 收稿日期:2017-03-29; 修回日期:2017-06-15

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41571101);安徽省智慧城市与地理国情监测重点实验室(2016-K-04Z);北京林业大学精准林业北京市重点实验室及精准林业关键技术与装备研究(2015ZCQ-LX-01)

作者简介:叶小康(1993~),男,硕士研究生,主要研究方向为土地信息技术及土地生态. E-mail:xkll1027@sina.com

***通讯作者** E-mail:dbhyl23@sina.com

1 研究区概况

升金湖湿地位于安徽省池州市境内，濒临长江，位于 $116^{\circ} 55' \sim 117^{\circ} 15' E$ ， $30^{\circ} 15' \sim 30^{\circ} 30' N$ ，横跨池州市贵池区和东至县，总面积为 33340 km^2 。1986 年经安徽省人民政府批准建立升金湖水禽自然保护区，1988 年被列入亚洲重要湿地名录，1997 年升格为国家自然保护区，2015 年 12 月指定为国际重要湿地。保护区以升金湖为主体，由升金湖及周围的滩地组成，即保护区境内沿湖四周 2.5km 以内的陆地部分。全区分为核心区、缓冲区和实验区，核心区即升金湖，位于保护区的中心区域，由湖面和湖滩组成(图 1)。其中湖面分为 3 部分，分别为上湖、中湖和下湖。升金湖保护区西部有约 13km 的安东高速穿越实验区，同区段的 206 国道也沿西部边界南北贯通约 25km，中部和南部有乡村公路穿越保护区。



图 1 升金湖湿地区位图

Fig. 1 Map of Shengjin lake wetland

2 数据处理与研究方法

2.1 影像数据选取与处理

本文综合选取升金湖湿地 1986~2015 年 8 个年份(1986 年 2 月 13 日、1990 年 2 月 8 日、1995 年 12 月 7 日、2000 年 1 月 8 日、2004 年 1 月 15 日、2008 年 12 月 10 日、2011 年 1 月 1 日、2015 年 1 月 13 日)Landsat TM 影像(影像均来源于地理空间数据云平台)，运用 ERDAS9.3 软件对影像进行波段融合、几何校正、图像裁剪、图像增强及监督分类等数据预处理，结合升金湖湿地实际情况及相关土地利用分类文献，将升金湖湿地土地利用分为 8 类:草地、旱地、林地、水域、水田、芦苇沼泽、滩涂及其他用地(考虑影像限制，将建设用地、空闲地等统一并入其他用地)，并利用 ArcGIS10.3 对各地类面积进行计算，统计各地类面积。分类后结合外业调绘对 8 期影像分类结果进行检验，kappa 系数均大于 0.85，分类结果精度较高。

2.2 水鸟调查方法

鹤类在升金湖的越冬时间大致为每年的10月下旬~次年的4月初,在这段时间内,使用单筒或双筒望远镜,以样点调查的方式直接记录4种鹤类的数量^[15, 16]。1986~2015年鹤类数据由升金湖保护区提供。另外,根据不同植被类型及土地利用现状来反映人类活动对鹤类栖息地干扰程度的大小,并结合鹤类的生活习性进行栖息地等级划分^[17]:芦苇沼泽及湖泊、湖内裸露滩地等远离人类活动区域,干扰程度低,划为无干扰区;河流、近湖滩涂及近滩草地受一定程度人类活动的影响,但影响较低,划为次级干扰区;林地、远滩草地等易被开发利用,受人类活动影响较大,划为中级干扰区;而其他用地、水田等是人类在有目的的行为指导下对自然进行的改造,人类活动强烈,划为重干扰区。

3 湿地时空演变对越冬鹤类种群动态的影响

3.1 湿地景观格局动态变化

湿地是越冬鹤类重要的迁徙地,它不仅为鹤类提供了重要的栖息场所,也为鹤类提供了重要的食物资源。湿地景观格局的变化直接导致湿地的生态环境发生改变,进而影响鹤类生存。生态环境变化对鹤类的影响是多方面的,主要包括栖息地面积变化、取食地面积变化、气候变化等。基于此,本文以升金湖湿地1986~2015年间8期遥感影像数据(图2、图3)来研究湿地时空演变对越冬鹤类种群数量的影响。

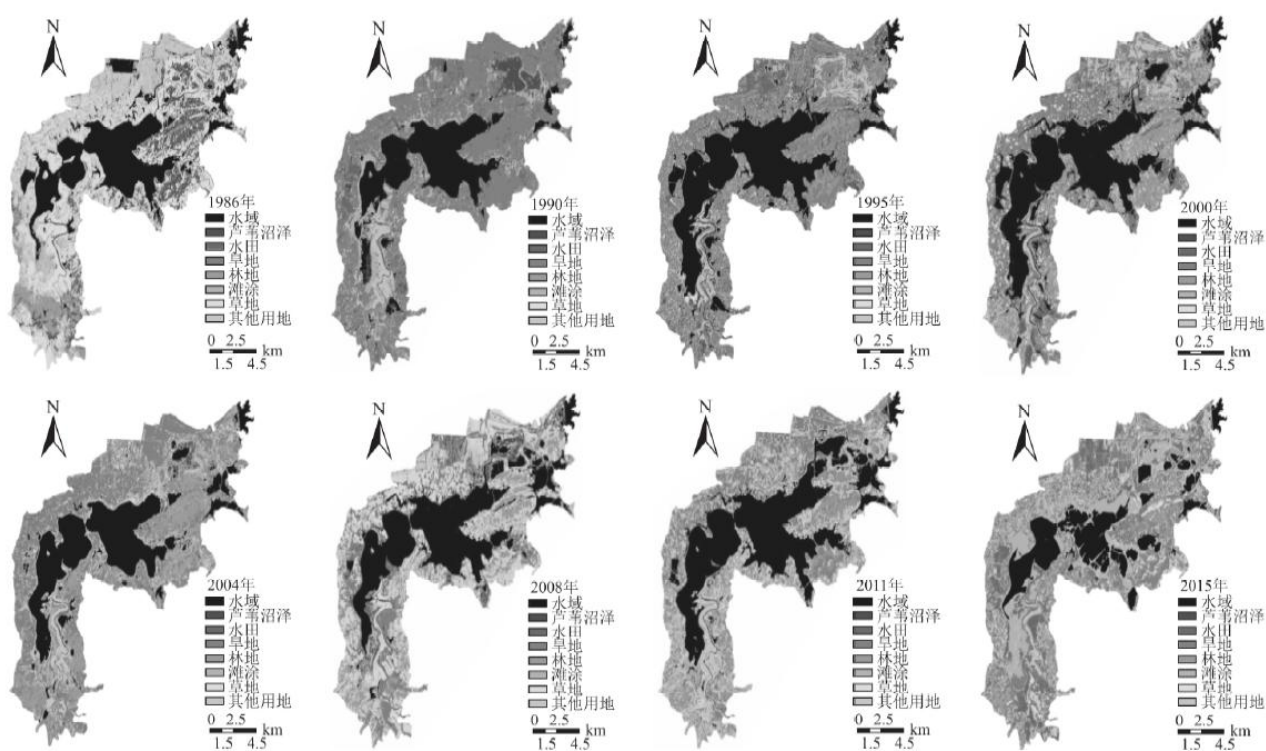


图2 升金湖湿地8期遥感影像分类结果

Fig. 2 Eight remote sensing image classification results of Shengjin Lake wetland

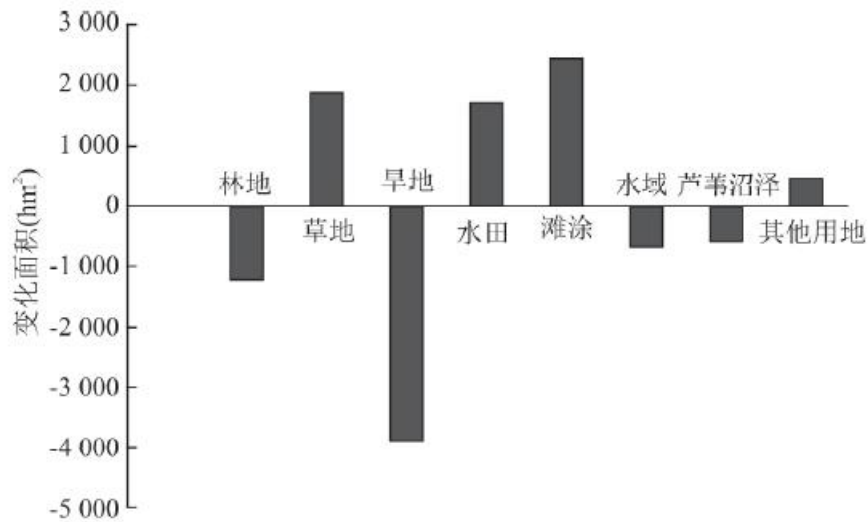


图3 升金湖湿地 1986~2015 年各类型土地面积变化量

Fig. 3 Total amount of land area change in various types of land area from 1986 to 2015

从图2及图3可以看出, 1986~2015年间, 升金湖湿地景观格局发生了较为明显的变化。1986年时升金湖湿地景观格局以林地、旱地及水域为主, 而至2015年时湿地景观格局则以林地、旱地、滩涂及水域为主。草地、水田、滩涂及其他用地的面积总体呈增加态势, 分别增加了1841.29、1666.98、2416.53、467.46 hm^2 ; 而林地、旱地、水域及芦苇沼泽地面积总体呈减少态势, 分别减少了1230.5、3912.84、661.72、587.2 hm^2 。林地、水田、旱地、草地及水域的景观破碎度加剧, 原分布于升金湖南部的大片林地转变为草地、旱地及其他用地, 致使研究区南部呈林地、草地、其他用地及旱地相间交错的小斑块状分布格局; 西北部大片旱地转变为水田及其他用地, 使得研究区西北部呈旱地、水田、其他用地及草地交错分布的格局; 水域面积逐渐变小, 裸露出来的地表主要转变为滩涂。滩涂在水域中间相间分布, 致使水域景观的破碎度进一步加剧。

3.2 越冬鹤类种群数量的变化趋势

升金湖的越冬水禽种类较多, 以白头鹤、白鹤、灰鹤及白枕鹤为研究对象, 结合升金湖湿地1986~2015年鸟类数据, 在Excel中对4种鹤类的数量变化趋势进行曲线拟合(图4)并对拟合结果(表1)进行分析。

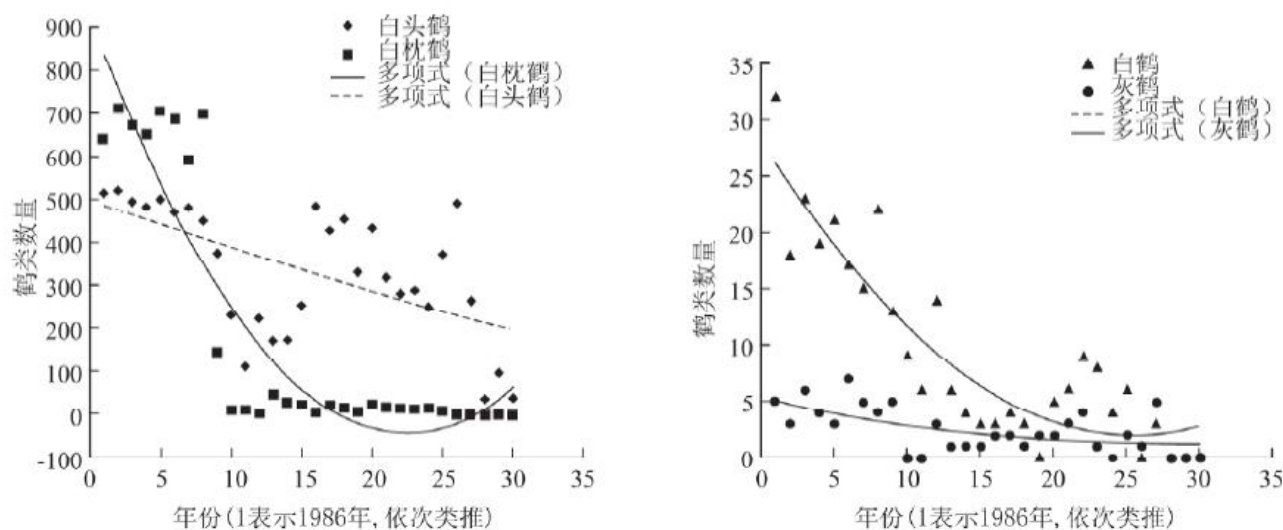


图 4 4 种鹤类种群数量变化趋势

Fig. 4 Trend of the number of four crane species

表 1 4 种鹤类种群数量变化趋势方程

	R^2	趋势方程	取值范围
白头鹤	0.331	$y=0.051x^2-11.46x+498.2$	$Y \geq 0$;
白鹤	0.817	$y=0.04x^2-2.041x+28.15$	$x \geq 1$ 且 $x \in Z$
灰鹤	0.359	$y=0.005x^2-0.302x+5.368$	(1 表示 1986
白枕鹤	0.821	$y=1.915x^2-85.93x+921.6$	年, 依次类推)

1986~2015 年间, 白头鹤、白鹤、灰鹤及白枕鹤的种群数量均呈下降的趋势, 其中白头鹤及灰鹤的种群数量近似于直线变化的趋势, 白鹤及白枕鹤种群数量近似于“U”形变化的趋势。变化趋势方程中, 白鹤和白枕鹤的种群数量变化趋势拟合程度较高, R^2 分别为 0.817 和 0.821, 其变化趋势方程对未来白鹤及白枕鹤数量的预测具有一定参考价值; 拟合程度较低的是白头鹤及灰鹤种群数量的变化趋势, R^2 仅为 0.331 和 0.359。白头鹤由于其种群数量年际变化较大, 因而拟合程度不理想; 而灰鹤由于 1986~2015 年以来, 观测到的数量均呈个位数, 由于其基数较小, 并且有年份并未观测到的灰鹤的踪迹, 个位数变化也将造成较大波动, 因而曲线拟合程度不高。

2013~2015 年间, 在升金湖地区未观测到白鹤、灰鹤及白枕鹤的踪迹, 但这并不能代表此 3 种鹤类已在升金湖地区绝迹, 往年也曾出现过未观测到某一种鹤类而下一年份又观测到该种鹤类的情形。未观测到白鹤、灰鹤及白枕鹤的原因可能包括观测误差、鹤类栖息地面积变化、取食难度增加等因素。

3.3 栖息地面积变化对越冬鹤类种群的影响

升金湖地区的越冬鹤类集中栖息于人类难以靠近的芦苇沼泽地、水域、滩涂及部分草地。研究发现 1986 以来, 芦苇沼泽地及水域面积呈下降趋势, 适宜越冬鹤类生存的栖息地面积逐渐减少; 滩涂及草地面积增加, 则鹤类可活动的范围也相应增加。

为研究芦苇沼泽地、水域、滩涂及草地面积变化与越冬鹤类种群数量变化之间的关系，将 8 期影像中 4 个地类的面积分别与 4 种鹤类对应年份的数量进行相关分析，得到结果如表 2~表 5 所示：

表 2 芦苇沼泽面积与 4 种鹤类种群数量的相关性

		白头鹤	白鹤	灰鹤	白枕鹤
芦苇沼泽	Pearson Correlation	0.912**	0.87*	0.905 **	0.779*
	Sig. (2-tailed)	0.004	0.011	0.005	0.039
	N	8	8	8	8

表 3 水域面积与 4 种鹤类种群数量的相关性

		白头鹤	白鹤	灰鹤	白枕鹤
水域	Pearson Correlation	0.822*	0.944 **	0.818*	0.806*
	Sig. (2-tailed)	0.023	0.001	0.024	0.029
	N	8	8	8	8

表 4 滩涂面积与 4 种鹤类种群数量的相关性

		白头鹤	白鹤	灰鹤	白枕鹤
滩涂	Pearson Correlation	-0.768*	-0.761 *	-0.751 *	-0.739*
	Sig. (2-tailed)	0.04	0.042	0.045	0.05
	N	8	8	8	8

表 5 草地面积与 4 种鹤类种群数量的相关性

		白头鹤	白鹤	灰鹤	白枕鹤
草地	Pearson Correlation	-0.82*	-0.766*	-0.795*	-0.787*
	Sig. (2-tailed)	0.024	0.043	0.031	0.035
	N	8	8	8	8

从表 2~表 5 可以看出 4 种鹤类种群数量与芦苇沼泽面积及水域面积显著相关，白头鹤与灰鹤种群数量和芦苇沼泽面积在 0.01 水平上显著正相关，白鹤与白枕鹤和芦苇沼泽面积在 0.05 水平上显著正相关。白鹤与水域面积在 0.01 水平上显著正相关，白头鹤、灰鹤、白枕鹤与水域面积在 0.05 水平上显著正相关。表明芦苇沼泽地面积与水域面积变化时，越冬鹤类种群数量也会出现相应变化。

滩涂及草地面积变化与越冬鹤类种群数量变化之间呈较强的负相关关系，这可能是因为草地及滩涂面积虽然在增加，但部分地区增加的面积并不适宜鹤类生存，尤其是由林地转化而来的草地，这些区域鹤类生境适宜性较低，食物资源匮乏，鹤类活动较少。因此虽然滩涂与草地面积在增加，但滩涂面积与草地面积变化却与越冬鹤类种群数量的变化呈较强的负相关性。

3.4 取食地面积变化对越冬鹤类种群的影响

食物资源对越冬鹤类种群数量具有重要影响，食物资源的丰富程度、食物资源的分布都将对鹤类种群产生影响。白头鹤在升金湖湿地主要以植物的根茎及水稻、小麦等残留谷物以及部分软体动物和昆虫为食；白鹤、白枕鹤、灰鹤主要以植物的根茎及部分软体动物为食。四种越冬鹤类的食物资源主要分布于草地、水田、芦苇沼泽及滩涂，其中草地的食物资源最为丰富。上文虽然得到草地及滩涂面积与越冬鹤类种群数量呈负相关关系，但鹤类的取食地主要为靠近水域且受人类活动影响较低的滩涂及草地部分，因此这种负相关关系并不能完全代表滩涂面积及草地面积与越冬鹤类种群数量呈相向的变化趋势，草地及滩涂仍为鹤类提供了丰富的食物资源。另将 8 期影像中水田面积与 4 种鹤类对应年份的数量进行相关分析，得到结果如表 6 所示：

表 6 水田面积与 4 种鹤类种群数量的相关性

	白头鹤	白鹤	灰鹤	白枕鹤
Pearson Correlation	-0.82*	-0.828*	-0.761*	-0.757*
水田 Sig. (2-tailed)	0.024	0.021	0.047	0.049
N	8	8	8	8

从表 6 中可以看出水田面积变化与 4 种越冬鹤类种群数量变化呈较强的负相关关系。水田面积扩大，表明人类活动逐渐加剧，进而威胁到鹤类的生存。调查发现升金湖地区的鹤类很少在水稻田内取食，当食物资源受限时可能会迫于靠近水田取食。因此水田面积扩大并不能完全认为其为鹤类提供了丰富的食物来源，仅在一定程度上为越冬鹤类提供了一个可能的取食范围。

3.5 负相关性存在的合理性验证

以 2015 年研究区影像为例对越冬鹤类的栖息地及取食地进行适宜性等级划分，来具体分析滩涂、草地及水田面积与越冬鹤类种群数量呈负相关关系的原因。栖息地以人类干扰程度为原则进行适宜等级划分：无干扰区为第一等级，取值为 5；次级干扰区为第二等级，取值为 3；中级干扰区为第三等级，取值为 1；重干扰区为第四等级，取值为 0(图 4)。取食地以食物资源丰富程度为原则进行划分，食物丰富区为第一等级，取值为 5；食物较丰富区为第二等级，取值为 3；食物较匮乏区为第三等级，取值为 1；食物匮乏区为第四等级，取值为 0(图 5)。

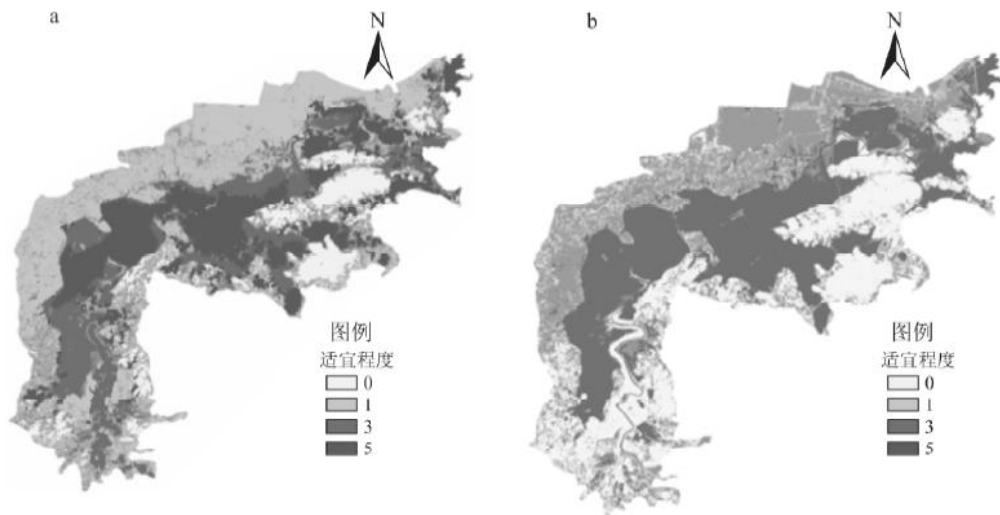


图 5 2015 年升金湖湿地鹤类栖息地 (a) 及取食地 (b) 适宜性等级划分

Fig. 5 Classification of habitat (a) and feeding grounds (b) suitability of Shengjin Lake wetland in 2015

从图 5 可以看出, 研究区中部湖面及湖中裸露滩涂是越冬鹤类最主要的栖息地, 并且该区域为鹤类最重要的取食地; 湖周滩涂及近滩草地是越冬鹤类的次级栖息地, 且该区域为鹤类提供了大量食物来源, 也为鹤类第一等级取食地; 西北部的水田及远滩草地虽然为鹤类提供了较多食物资源, 但由于人类活动频繁, 并不适宜鹤类觅食栖息, 仅为鹤类的第三等级栖息地及取食地; 东南部、南部林地及部分草地食物资源较为匮乏, 鹤类的栖息取食适宜程度均较低, 因此仅为越冬鹤类第四等级栖息地及取食地。

综上所述, 滩涂、草地及水田面积与越冬鹤类种群数量之间的负相关关系是合理存在的, 湖面及湖中滩涂受人类活动影响低, 是鹤类最理想的栖息取食地, 而距离湖面较远的滩涂、草地及水田虽然也为鹤类提供了重要的食物资源, 但因为受人类活动干扰, 鹤类栖息地及取食地的适宜等级均有所下降。

3.6 其他景观面积变化对越冬鹤类种群的影响

其他景观面积变化并非直接对越冬鹤类种群数量产生影响, 而是通过作用于与鹤类生存、栖息相关的环境, 进而影响到越冬鹤类种群的数量。旱地面积在 1986~2015 年间逐渐减少, 减少部分主要转变为水田及其他用地, 水田面积增加鹤类可选择的取食范围也相应增加; 林地面积在调节局部小气候方面具有至关重要的作用, 而林地面积减少时, 调节局部小气候的能力也逐渐减弱, 进而影响到在此越冬栖息的鹤类; 其他用地面积对越冬鹤类的威胁极大, 其面积扩大的主要原因是升金湖地区人类活动日益频繁, 这不仅干扰了升金湖地区的生态环境, 也干扰了升金湖湿地越冬鹤类的迁徙栖息。

4 结论与讨论

本文首先 4 种越冬鹤类种群数量的变化趋势进行了研究, 其次结合升金湖 1986~2015 年间 8 期遥感影像, 对升金湖湿地的时空变化进行了分析, 并对与越冬鹤类生存相关的 8 个地类进行了研究, 得到如下结果:

(1) 1986~2015 年间, 白头鹤、白鹤、灰鹤及白枕鹤的种群数量均呈下降的趋势, 并在 excel 中对 4 种鹤类种群数量的变化趋势进行了曲线拟合, 得到 4 种鹤类种群数量变化的趋势方程, 其中白鹤和白枕鹤的种群数量变化趋势拟合程度较高, 其变化趋势方程对预测白鹤及白枕鹤未来的数量具有一定参考价值。

(2) 1986~2015 年间, 草地、水田、滩涂及其他用地的面积总体呈增加态势, 而林地、旱地、水域及芦苇沼泽地面积总体呈减少的态势, 并且林地、水田、旱地、草地及水域的景观破碎度逐渐加剧。

(3) 芦苇沼泽地与水域面积变化和越冬鹤类种群数量呈显著的正相关关系, 即当芦苇沼泽地面积与水域面积变化时, 越冬鹤类种群的数量也随之出现相应变化。草地、滩涂及水田面积变化与越冬鹤类种群数量呈较强的负相关关系, 出现这种现象的主要原因是部分变化的草地、滩涂及水田由于人类活动等影响并不适宜越冬鹤类的栖息及取食。

(4) 其他地类面积变化对越冬鹤类种群数量的影响是间接的, 通过作用于与越冬鹤类栖息生存相关的生态环境, 进而影响到越冬鹤类的种群数量。影响越冬鹤类种群数量的因子很多, 不仅与湿地的时空变化有关, 也与局部地区的气候息息相关。本文未讨论气候变化对越冬鹤类种群数量的影响, 需在将来进行深入研究。

参考文献:

- [1] 刘胜龙, 蔡勇军, 逢世良, 等. 扎龙自然保护区水资源状况对重要水禽的影响 [J]. 东北师大学报(自然科学版), 2006, 38(3): 105—108.
- LIU S L, CAI Y J, FENG S L, et al. The influence of water resource condition rare waterfowl in Zhalong National Nature Reserve [J]. Journal of Northeast Normal University(Natural Science Edition), 2006, 38(3): 105—108.
- [2] BANCROFT G T, GAWLIK D E, RUTCHEY K. Distribution of wading birds relative to vegetation and water depths in the northern Everglades of Florida, USA [J]. Waterbirds, 2002, 25(3): 265—277.
- [3] 陈冰, 崔鹏, 刘观华, 等. 鄱阳湖国家级自然保护区食块茎鸟类种群数量与水位的关系 [J]. 湖泊科学, 2014, 26(2): 243—252.
- CHEN B, CUI P, LIU G H, et al. Relationships between changing water levels and numbers of wintering tuber-eating birds in Poyang Lake National Nature Reserve [J]. Journal of Lake Science, 2014, 26(2): 243—252.
- [4] 贾亦飞. 水位波动对鄱阳湖越冬白鹤及其他水鸟的影响研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- JIA Y F. Impact of water level fluctuation on Siberian Crane and other wintering waterbirds in Poyang Lake [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013.
- [5] 刘盛龙. 扎龙湿地补水对鹤类生态及其生境影响研究 [D]. 长春: 东北师范大学, 2006.
- Liu S L. Study on the effects of water complementing for Zhalong wetland on crane ecology and its habitats [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2006.
- [6] 袁力. 土地格局时空变化对扎龙湿地鹤类生境影响的研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008.
- YUAN L. Land pattern temporal-spatial dynamics and effects on the Crane Suitable of Zhalong Wetland [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2008.

-
- [7] 王兵兵. 土地格局时空变化对黄河口湿地鹤类的生境影响研究 [D]. 华东: 中国石油大学, 2012.
- WANG B B. Land pattern temporal-spatial dynamics and effects on the Crane Suitability of Yellow River Delta Wetland [D]. East China: China University of Petroleum, 2012.
- [8] 吴昊. 洞庭湖湿地生态系统特征与水禽生境适宜性评价研究 [D]. 长沙: 湖南师范大学, 2010.
- WU H. Assessment of the wetland ecosystem characters and waterfowl habitat suitability in Dongting Lake [D]. Changsha: Hunan Normal University, 2010.
- [9] 杨李, 董斌, 汪庆, 等. 安徽升金湖国家级自然保护区水鸟生境适宜性变化 [J]. 湖泊科学, 2015, 27(6): 1027—1034.
- YANG L, DONG B, WANG Q, et al. Habitat suitability change of water birds in Shengjinhu National Nature Reserve, Anhui Province [J]. Journal of Lake Sciences, 2015, 27(6): 1027—1034.
- [10] 杨李. 升金湖国家级自然保护区水鸟生境适宜性变化研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2015.
- YANG L. Study on habitat suitability change of water birds in Shengjin Lake National Nature Reserve [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2015.
- [11] 李鑫, 董斌, 孙力, 等. 基于 TM 像元的湿地土地利用生态风险评价研究 [J]. 水土保持研究, 2014, 21(4): 114—118.
- LI X, DONG B, SUN L, et al. Study on Ecological Risk Assessment of Shengjing Lake Wetland Land Use Based On TM Image Pixels [J]. Research of soil and Water Conservation, 2014, 21(4): 114—118.
- [12] 贾俊平. 统计学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [13] RODGERS J L, NICEWANDER W A. Thirteen ways to look at the correlation coefficient [J]. The American Statistician, 1988, 42(1): 59—66.
- [14] 董永权, 王占民. 关于相关系数 ρ 的几点注释 [J]. 大学数学, 2008, 24(2): 182—186.
- DONG Y Q, WANG Z M. Some notes about correlation coefficient ρ [J]. College Mathematics, 2008, 24(2): 182—186.
- [15] 郑猛. 食物资源时空变化对越冬白头鹤 (*Grus monacha*) 觅食行为的影响 [D]. 合肥: 安徽大学, 2014.
- ZHEN M. The Effects of food dynamics on foraging behaviors of Wintering Hooded cranes (*Grus monacha*) over spatio-temporal Scales [D]. Hefei: Anhui University, 2014.
- [16] 周璐璐. 安徽沿江琥珀越冬白头鹤 (*Grus monacha*) 食性的季节变化 [D]. 合肥: 安徽大学, 2013.

ZHOU L L. Seasonal shifts of food habit of the Hooded Cranes(*Grus monacha*) wintering in the Lakes of Yangtze River Floodplain in Anhui Province [D] . Hefei: Anhui University, 2014.

[17] 李俊灵. 基于 GIS 技术的越冬鹤类对土地利用变化的响应研究 [D] . 合肥: 安徽农业大学, 2016.

LI J L. Study on response of winter cranes to land use change based on GIS Technology [D] . Hefei: Anhui Agricultural University, 2015.