

青海湖水位波动对水鸟的影响

Impact of water level fluctuation on aquatic birds in Qinghai Lake

2019 年 8 月

撰写人：清华大学赴鸟岛支队

合作单位：青海湖国家级自然保护区管理局



前言

本次调查报告获得了青海湖国家级自然保护区管理局的数据支持，包括自 2007 年至 2018 年 11 年间水鸟检测数据，濒危物种监测数据以及青海湖湖区水文监测数据。在数据的基础上，清华大学赴青海湖鸟岛支队分析了青海湖水鸟在上述年份中数量，种类以及栖息地的变化情况，以及它们和青海湖水位波动的相关性。

本文从属于青海湖国家自然保护区监测报告系列，调查报告涉及年份为 2007-2018。针对青海湖水鸟的生存现状和发展情况进行了初步的调查，在此感谢管理局的数据支持，另外，受限于调查和撰写人员的水平，本报告可能出现一定程度的纰漏和错误，望读者见谅，也希望读者能及时指出报告的问题，对此表示真挚的感谢。

青海湖国家级自然保护区管理局

清华大学赴青海湖鸟岛实践支队

2019 年 8 月

目 录

1. 前言	2
2. 摘要	4
3. 背景	6
4. 调查方法	
2.1 数据基础	9
2.2 研究方法	12
5. 水位变化对水鸟种类及数量的影响	12
6. 青海湖水位变化与多样性的关系	23
7. 青海湖水位变化对黑颈鹤的影响	27
8. 结论	40
9. 保护的建议和措施	40
10. 参考文献	40

[摘要] 青海湖是重要水鸟栖息地、越冬地及繁殖地。自 2005 年以来,青海湖水位的上升趋势十分明显,直接影响青海湖湖区面积及各种湿地类型面积的变化,并对水鸟巢区及食物等资源造成影响,使青海湖水鸟种群发生变化。为此,清华大学赴鸟岛支队结合青海湖国家级自然保护区管理局的监测报告及实践结果对青海湖水鸟的受影响程度进行了研究,以便更好的了解水鸟对环境变化的响应,更好地为鸟类保护和制定对策提供理论依据。研究结果显示:1) 从水鸟种类变化来看,游禽和涉禽的种类数量都总体呈现上升趋势,水鸟由以雁鸭类为主转变为以鸕鹚类为主,表现出生态向好的倾向;2) 从水鸟数量变化来看,随着青海湖水位的提高,春季迁徙期和秋季迁徙期水鸟种群数目呈现整体上升的趋势,但水鸟总体数量与青海湖水位并没有明显的相关性;3) 从多样性方面,在夏季,总体来讲水位变化对多样性无直接、明确的影响,但特定生境受水位变化影响较大,且影响趋势与生境特点有关;而秋季多样性受水位影响不显著;冬季因青海湖处在结冰期,导致水文数据难以获取,目前暂时无法分析;4) 对于黑颈鹤的研究结果显示,青海湖水位与黑颈鹤数量变化大致存在一种正相关性关系;青海湖水位与黑颈鹤繁殖对数的关系无法准确判断;青海湖水位与黑颈鹤幼鸟数基本不存在相关性;此外因水位上涨,使黑颈鹤的部分栖息地遭到破坏,但与之相伴的,黑颈鹤又在新的栖息地与繁殖地安家落户。

关键词: 候鸟;越冬;繁殖;青海湖;黑颈鹤;水文过程;生态水文学

[Abstract] Qinghai lake is an important habitat, wintering and breeding ground for waterbirds. Since 2005, the rising trend of Qinghai lake water level is very obvious, which directly affects the change of area of Qinghai lake and area of various wetland types, and also affects the water nest area and food resources, making the population of Qinghai lake water birds change. In order to better understand the response of water birds to environmental changes and provide theoretical basis for bird protection and countermeasures, the team of Tsinghua university to bird island studied the affected degree of water birds in Qinghai lake based on the monitoring report and practice results of Qinghai lake national nature reserve administration. The research results showed that: 1) from the change of waterbird species, the number of species of both swimming birds and wading birds showed an overall upward trend, and the waterbirds were mainly geese and ducks to waders, showing a tendency of ecological improvement. 2) from the perspective of changes in the number of waterbirds, as the water level of Qinghai lake increases, the number of waterbirds during the spring migration and autumn migration shows an overall upward trend, but there is no obvious correlation between the total

number of waterbirds and the water level of Qinghai lake; 3) in terms of diversity, in summer, the variation of water level has no direct and definite influence on the diversity, but specific habitats are greatly affected by the variation of water level, and the trend of influence is related to habitat characteristics; The diversity in autumn was not significantly affected by water level. In winter, because Qinghai lake is in the ice age, it is difficult to obtain hydrological data, which cannot be analyzed at present.4) the research results of black-necked cranes show that there is a positive correlation between the water level in Qinghai lake and the changes in the number of black-necked cranes. The relationship between Qinghai lake water level and reproduction logarithm of black-necked crane cannot be accurately judged. There is no correlation between the water level of Qinghai lake and the number of young birds of black-necked crane. As water levels rise, some of the cranes' habitat is destroyed, but they are also resettling in new habitats and breeding grounds.

[Keywords]: migrant birds, overwintering; breed; Qinghai Lake; *Grus nigricollis*; hydrologic process; ecological hydrology.

2. 背景

青海湖，藏语名为“措温布”（即青色的海），大致位于青藏高原东北隅，

湖区面积为 4515.62km² (2019 年 4 月测得)，为我国最大、世界第二大的内陆咸水湖。以青海湖水体为主体，周围还分布着湿地、草地、农田、沙漠及盐碱地等多种土地类型，为各种动植物提供了多样的生存空间，也使青海湖成为鸟类的天堂，2018 年青海湖水鸟的全年累加数量为 25.1 万只，观测记录鸟种 57 种 6 目 12 科其中国家重点保护 I 级 1 种，II 级 3 种。此外，青海湖的地理位置十分优越，其位于中亚、东亚两条水鸟迁徙路径的交汇点，每年春秋两季水鸟迁徙期停留在青海湖的水鸟多达数十万只，青海湖是重要水鸟繁殖地，繁殖种群数量大，有些种类占到全球的 10%，青海湖还是水鸟重要的越冬地，每年来此越冬的大天鹅有千余只。

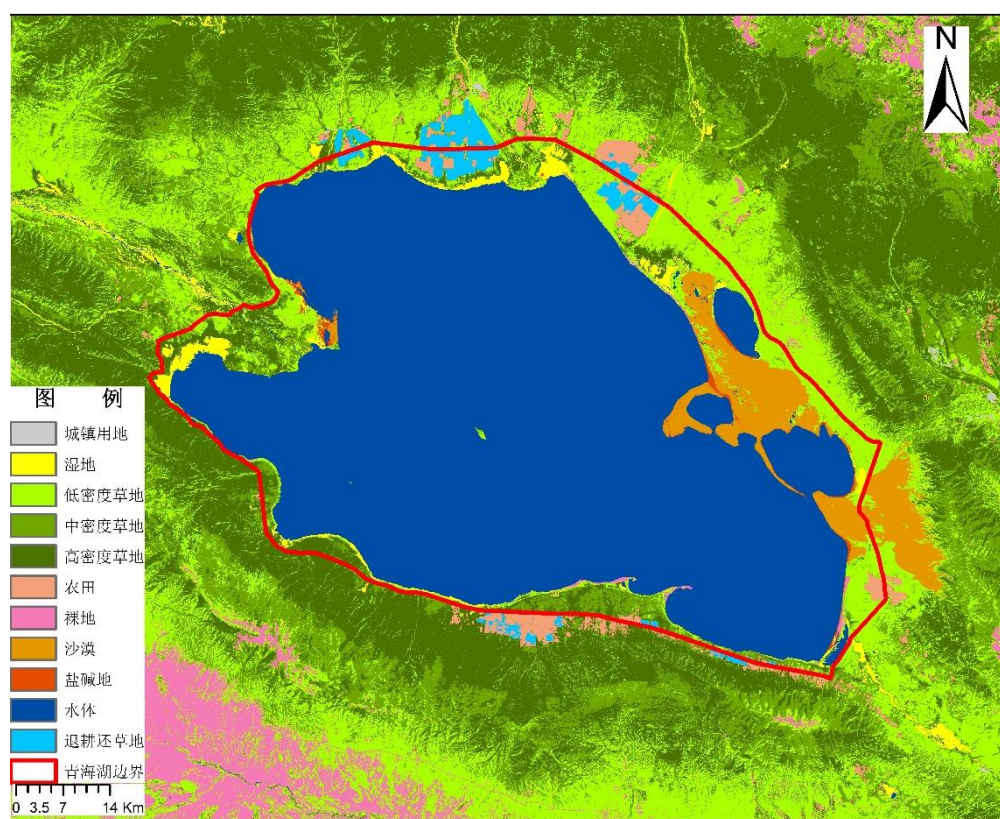


图 1. 2017 年青海湖土地利用类型图

青海湖国家级自然保护区介于东经 99° 36' ~100° 46'，北纬 36° 32' ~37° 25' 之间，包括整个青海湖水体、湖中岛屿以及湖周沼泽滩涂湿地、草原，属湿地生态系统和野生动物类型的自然保护区。保护区除水域外，由五个小岛和大小泉湾及沿湖沼泽湿地组成，湖中有海心山、三块石、海西皮、鸟岛和沙岛。沼泽湿地环湖分布，主要有倒淌河口芦苇、小北湖湿地草甸、大小泉湾沼泽草甸和干子河口滩地湿草甸等。青海湖自然保护区于 1975 年 8 月成立，1984 年 8 月

成立青海湖自然保护区鸟岛管理处；1992 年由我国政府申请，经联合国教科文组织批准，青海湖自然保护加入《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》，1997 年 12 月经国务院批准，晋升为国家级自然保护区。

湿地被称为“地球之肾”，具有水分调节、控制污染、调节气候、物质生产以及提供生物栖息地等功能，具有巨大的经济、生态以及社会效益，是极为重要的一类自然生态系统。青海湖湿地，是世界七大湿地之一，根据《拉姆萨湿地公约》，青海湖湿地于 1992 年被列入国际重要湿地。依照国际湿地公约对湿地类型的分类系统，青海湖湿地总体上属于天然湿地类-内陆湿地。青海湖湿地类型丰富多样，通过实地监测对照国际湿地公约湿地类型的分类将青海湖湿地分为，永久性河流、永久性淡水湖泊、盐湖、泛滥地、时令碱、咸水盐沼这 5 种类型，并依据此划分进行后续的湿地监测。

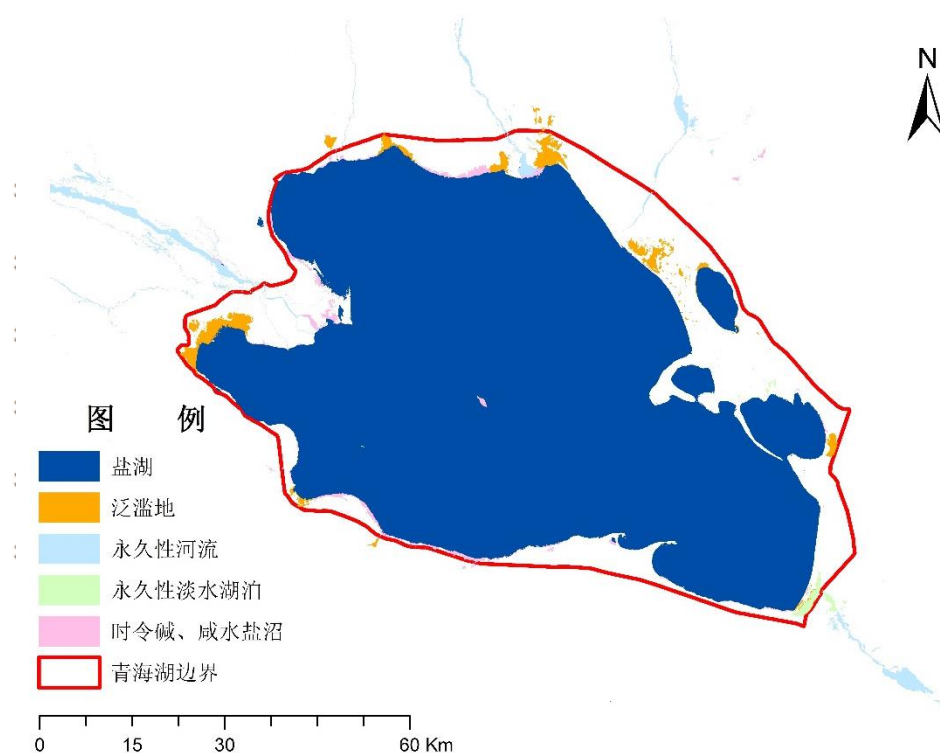


图 2. 2017 年青海湖湿地分布类型

由于青海湖属内陆湖，其湖水的补给水源主要来自湖周大小不等的 70 余条河流，其次为地下泉水和大气降水。因此，青海湖湖水极易受气候变化等诸多方面的影响。有研究表明，1961~2002 年这 42 年时间里，青海湖湖面水位长期呈现出下降趋势（李林，近 42 年来青海湖水位变化的影响因子及其趋势预测）。而根据青海湖水文观测站的数据整理结果来看，自 2005 年以来，青海湖水位的上升趋势十分明显（正相关性 $R^2 > 0.872$ ）。并且根据清华大学赴鸟岛支队在青海湖国家级自然保护区内的考察发现，许多曾经的草场、道路、码头甚至建筑物都已经被上涨的湖水所淹没，并且被淹没地区土壤表面的养分在短期内大量进入湖水，使得青海湖表面爆发了大量的水华，严重影响了青海湖的生态环境；此外，青海湖还是许多水鸟重要的栖息地和繁殖地。青海湖水位上涨，将直接影响青海湖湖区面积及各种湿地类型面积的变化，因此会对水鸟的巢区及食物等资源造成影响，使青海湖水鸟种群发生变化。



图 3 2007-2018 年青海湖水位变化情况

黑颈鹤（学名：Grus nigricollis）：大型涉禽，体长 110-120 厘米，体重 4-6 千克。体羽为灰白色，头顶皮肤血红色，并布有稀疏发状羽。除眼后和眼下方具一小白色或灰白色斑外，头和颈的上部约 2/3 为黑色。主要栖息于海拔 2500-5000 米的高原淡水湿地，是世界上唯一生长、繁殖在高原的鹤。因人为猎杀、环境破坏等原因，黑颈鹤的数量一再下滑，1989 年被列为国家一级保护动物，1996 被中国濒危动物红皮书等级评为濒危。

青海湖作为黑颈鹤重要的栖息地与繁殖地之一，对黑颈鹤保护起到了举足轻重的作用。因此，对黑颈鹤的检测与保护也一直都为青海湖国家级自然保护区的重点工作之一。然而黑颈鹤喜在四面环水的草墩、芦苇丛或在地面营巢，因此近年来青海湖水位波动可能会严重影响黑颈鹤的生存和繁殖。为此，对于青海湖水

位波动对黑颈鹤影响的研究迫在眉睫。

为了研究青海湖近年来水位变化对水鸟的影响，清华大学赴鸟岛支队在青海湖国家级自然保护区管理局提供的数据基础之上结合实地考察及所学知识进行了研究。希望通过本研究了解水位变动对青海湖水鸟及其栖息地的影响，更好的了解水鸟对环境变化的响应，更好地为鸟类保护和制定对策提供理论依据。

3. 调查方法

3.1 数据基础

从 2007 年开始，青海湖国家级自然保护区管理局（以下简称管理局）开展了对青海湖自然保护区的定期监测，每年监测工作一般 8 月开始；检测内容包括水鸟监测、濒危物种监测、鸣禽监测、植被监测等。

本次研究数据经过监测范围包括青海湖主湖区水域和周围蛋岛、鸬鹚岛、海心山岛、布哈河口、向公村、泉湾、黑马河、正去乎、哈达滩、泉吉河口、那仁湿地、甘子河、沙岛、克土、小泊湖、倒淌河湿地、江西沟乡下社夏季牧场、布哈河、沙柳河上游河滩、湖东种羊场、倒淌河镇元者、青海湖农场、哈尔盖、快尔玛、生格等环境监测点（见表 1），刚察站、沙柳河，布哈河等水文数据监测站。

表 1 2018 年水鸟观测样点一览表

样地名	样点小地名	样点编号	地理信息
帕尔琼湿地（生河口）	帕尔琼湿地	6301010101	99.780836105347,36.945562362671, 3202
切吉河口（铁卜加河口）	切吉河口	6301010201	99.717535972595,36.986074447632, 3200
泉湾湿地	泉湾湿地	6301010301	99.615848064423,36.944403648376, 3207

尕日拉湿地	尕日拉湿地	6301010302	99.636554718018,36.898012161255, 3205
黑马河湿地	黑马河湿地	6301010401	99.792916774750,36.742358207703, 3200
江西沟	江西沟	6301010501	100.114953517914,36.63043498992, 3209
乃什吉湿地（原红湖）	乃什吉湿地	6301010601	100.376758575439,36.659832000732, 3205
洱海	洱海	6301010801	100.744500160217,36.572220325470, 3208
倒淌河湿地	倒淌河湿地	6301010901	100.760453939438,36.562242507935, 3205
小泊湖	小泊湖	6301011001	100.785527229309,36.704056262970, 3217
	月芽湖	6301011101	100.661845207214,36.876039505005, 3209
沙岛	芦苇湖	6301011102	100.669355392456,36.879472732544, 3207
	太阳湖	6301011103	100.656652450562,36.868271827698, 3204
	草裕漈	6301011201	100.467567443848,37.067570686340, 3207
	兰花湖	6301011202	100.475120544434,37.060961723328, 3217
甘子河湿地	小裕漈	6301011203	100.463941097260,37.061927318573, 3210
	甘子河口	6301011204	100.449242591858,37.055125236511, 3205
哈尔盖河口	哈尔盖河口	6301011301	100.392090082169,37.091195583344, 3202
那仁湿地	防护林	6301011401	100.282012224197,37.210020124912, 3204
沙柳河口	沙柳河口	6301011501	100.209882259369,37.189664840698, 3202
仙女湾湿地	仙女湾湿地	6301011601	100.114974975586,37.189106941223, 3201
乌哈阿兰河口（原泉吉河）	乌哈阿兰河口	6301011801	99.877846240997,37.214169502258, 3199

达赖泉	达赖泉	6301011901	99.831900000572,37.197808027267, 3206
哈达滩	哈达滩	6301012001	99.733972549438,37.120656967163, 3207
蛋岛	蛋岛	6301012201	99.873401820660,36.978226304054, 3202
鸬鹚岛	鸬鹚岛	6301012301	99.900548458099,36.978768110275, 3204
布哈河口	布哈河湾	6301012501	99.741353988647,37.017080783844, 3204
	布哈河口	6301012601	99.823021888733,36.960142850876, 3199
三块石	三块石	6301012701	99.918251037598,36.797332763672, 3197
海心山	海心山	6301012801	100.126690864563,36.869248151779, 3199

全年水鸟监测频率为：3 月至 10 月每月开展一次监测，7 月底至 8 月初跨月整合监测一次；10 月至次年 2 月每两个月开展一次；全年共开展监测 9 次。监测包括水路和陆路两条监测路线的所有 24 个监测样点（表 2）。

表 2 水鸟观测时间节点表

观测次数	春季迁徙期	夏季繁殖期	秋季迁徙期	冬季越冬期
第一次	3 月 20 日-26 日	5 月 20 日-25 日	9 月 20 日-9 月 24 日	12 月 20 日-25 日
第二次	4 月 20 日-24 日	6 月 20 日-26 日	10 月 20 日-25 日	2 月 20 日-22 日
第三次		8 月 4 日-12 日		

3.2 研究方法

水位变化对水鸟的影响主要体现在对湖区周围栖息地种类及面积的影响。因此,本次调查选择从水鸟数量,水鸟种类结构的变化和多样性波动,分春季迁徙期、夏季繁殖期、秋季迁徙期分别进行分析。其中,在水鸟多样性分析上,采用的多样性计算公式为 $H = -\sum P_i \ln P_i$, H 为群落多样性指数, P_i 为第 i 种鸟类数量占群落所有鸟类数量的比例。鸟类群落均匀度用公式 $E = H/H_{\max}$ 计算,其中 E 为均匀性指数, $H_{\max} = \ln S$, S 为群落物种总数,再将不同栖息地的多样性指数与水位变化(水位取九月份与四月份平均水位)进行 Pearson 相关性分析,并进行显著性(双侧)检验。

4. 水位变化对水鸟种类及数量的影响-

4.1 种类

	总物种数	新增物种	具体新增水鸟
2007	6 目 11 科 52 种	无	无
2008	6 目 12 科 63 种	新增 11 种	池鹭, 牛背鹭, 白琵鹭, 白眉鸭, 黑水鸡, 姬鹇, 翘嘴鹇, 小青脚鹇, 青脚滨鹇, 红颈瓣蹼鹇, 白翅浮鸥
2009	6 目 12 科 51 种	新增 2 种	白秋沙鸭, 红胸秋沙鸭
2010	6 目 12 科 46 种	新增 4 种	林鹇, 矶鹇, 弯嘴滨鹇, 黄腿银鸥
2011	6 目 12 科 52 种	新增 2 种	金鸻, 须浮鸥
2012	6 目 12 科 43 种	新增 1 种	孤沙锥
2013	6 目 13 科 48 种	新增 2 种	普通燕鸻, 小白鹭

2014	6 目 13 科 56 种	新增 3 种	角鸬鹚, 中白鹭, 红腹滨鹚
2015	6 目 13 科 51 种	无	无
2016	6 目 13 科 53 种	新增 2 种	白鹭, 普通燕鸥
2017	6 目 12 科 60 种	新增 4 种	白额雁, 普通秧鸡, 灰鸽, 灰翅浮鸥
2018	6 目 12 科 57 种	新增 4 种	草鹭, 斑头秋沙鸭, 流苏鹬, 小滨鹬

表 3 2007-2017 新记录鸟种与水位变化对关系

上表汇总了 2007-2018 年间每一年新增的水鸟。由于水鸟种类的变化难以进行量化分析, 仅对水位变化对水鸟种类的影响进行定性分析。

2007-2017 年间雁形目中仅新增 2 种(白额雁, 斑头秋沙鸭), 而涉禽(包括鹤形目、鸬鹚形目、红鹳目和鸱形目等目)中新增 8 种(白鹭, 普通燕鸥, 普通秧鸡, 灰鸽, 灰翅浮鸥, 草鹭, 流苏鹬, 小滨鹬)。由此可以初步推测, 随着近年来青海湖水位持续上涨, 浅水湿地这种适宜涉禽栖息的生境在不断增加, 随之涉禽的种类也在不断增加。

4. 青海湖水鸟达到世界分布 1% 的鸟种的稳定性

种数为 11 种占到本地区水鸟种数的 11%, 涵盖 5 目、5 科; 春季迁徙期有 5 种分别为普通鸬鹚、大天鹅、赤麻鸭、凤头潜鸭、斑头雁; 夏季繁殖期有 8 种分别为凤头鸬鹚、普通鸬鹚、斑头雁、赤麻鸭、红头潜鸭、赤嘴潜鸭、渔鸥、棕头鸥, 秋季迁徙期有 8 种分别是凤头鸬鹚、普通鸬鹚、斑头雁、赤麻鸭、红头潜鸭、赤嘴潜鸭、渔鸥、棕头鸥; 冬季越冬期仅 1 种赤麻鸭。

			国家保护鸟类
目	科	种	
			一级
雁形目	鸭科	6	

鸬鹚			
鸬鹚目		1	
科			
鸬鹚目 鸬鹚科		2	
鸬鹚目 鸬鹚科		1	1
鸬鹚			
鸬鹚目		1	
科			
总计	5	11	1

虽然在 2007-2018 年间水位有所波动,但这 11 种鸟类均可以大量观测到,这说明了即便水位变化青海湖作为这些水禽的栖息地的生态条件是稳定的、适宜的。青海湖做为国际水禽重要栖息地,它的作用和为水鸟所提供的栖息生境是多样的

4.3 数量

水鸟种群数量的变化直接反应水鸟对栖息地的利用情况,间接反应水鸟栖息地(湿地)的生态环境质量。因此探究青海湖水位变化对水鸟种群数量的影响是十分必要并且有意义的。

4.3.1 2007-2018 青海湖水位变化与青海湖水鸟种群数量变化的相关性

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
春季 迁徙期	41755	23889	29610	39327	34433	32303	21071	53268	65375	41673	38157	20203
夏季 繁殖期	49227	60053	52496	43069	37494	30786	28384	43010	50019	35751	51781	46332
秋期 迁徙期	107244	170404	138365	59011	61414	94003	59041	114342	110496	55176	100969	57792
冬季 越冬期	9341	6502	4772	4030	5282	2778	3321	3434	2945	21177	6731	8582
全年 累加	268794	399680	430213	242580	236635	264062	209809	356859	364594	271507	336459	251258

表 4 2007-2018 青海湖水鸟种群数量

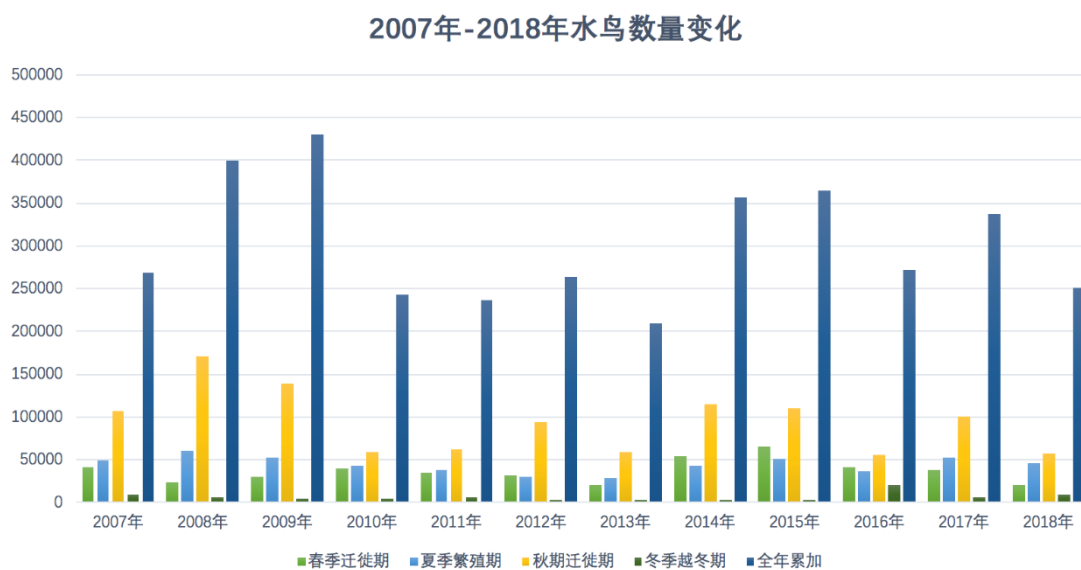


图 4 2007 年-2018 年水鸟数量变化

	4 月春水位	9 月秋水位	全年平均水位
2001	3193.06	3193.09	3193.075
2002	3192.86	3193.14	3193
2003	3192.89	3193.02	3192.955
2004	3192.8	3192.97	3192.885
2005	3192.8	3193.4	3193.1
2006	3193.21	3193.43	3193.32
2007	3193.21	3193.41	3193.31
2008	3193.36	3193.51	3193.435
2009	3193.33	3193.6	3193.465
2010	3193.42	3193.8	3193.61
2011	3193.42	3194	3193.71

2012	3193.82	3194.51	3194.165
2013	3194.22	3194.5	3194.36
2014	3194.21	3194.53	3194.37
2015	3194.35	3194.51	3194.43
2016	3194.36	3195.82	3195.09
2017	3194.71	3195.26	3194.985
2018	-	3195.82	3195.82

表 5 2007-2018 青海湖水位变化

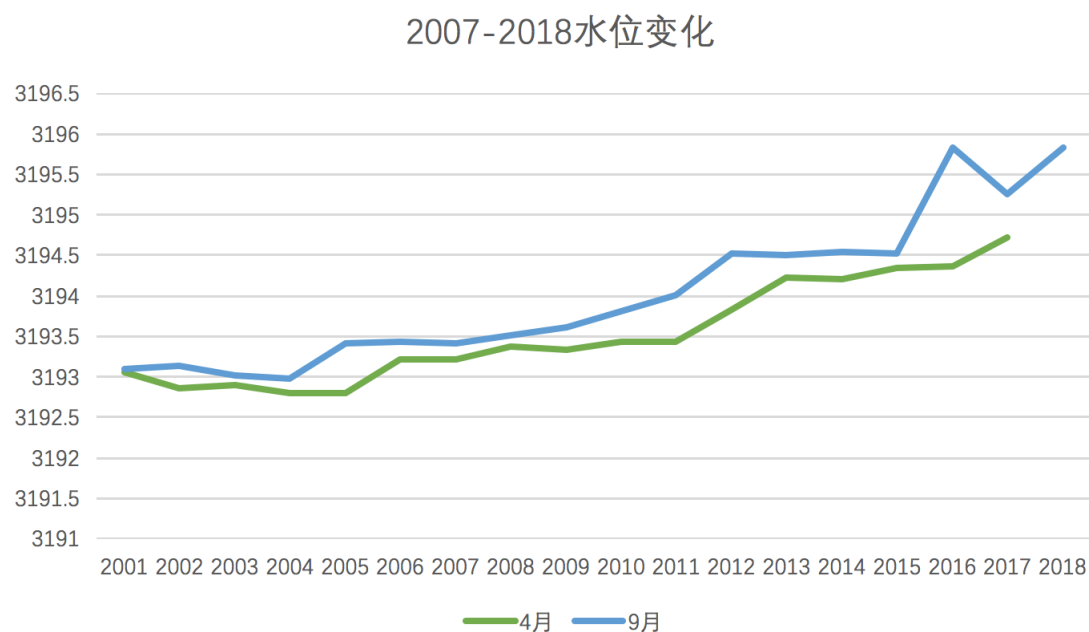


图 5 2007-2018 青海湖水位变化

由上图可知，青海湖水位在 2001-2003 年间略有下降，2006-2011，2013-2014 期间呈现大致平稳、略微上升的变化趋势，在 2004-2005，2011-2012，2014-2018 年间呈现较其他区间快的上升趋势。

分别绘制青海湖春、夏季水鸟数量与青海湖 4 月水位关系图，青海湖秋冬两季水鸟数量与 9 月水位关系图，青海湖全年水鸟数量总和与青海湖水位平均值关系图。发现水鸟数量与青海湖水位并没有明显的相关性。这可能是由于水鸟数量

受很多因素的影响，比如保护措施、温度等等，无法控制单一变量；并且水位的变化并不十分显著，因此从统计数据来看水鸟数量与青海湖水位并没有明显的相关性。如下图所示：

冬季越冬期鸟类数量与青海湖9月秋水位关系图

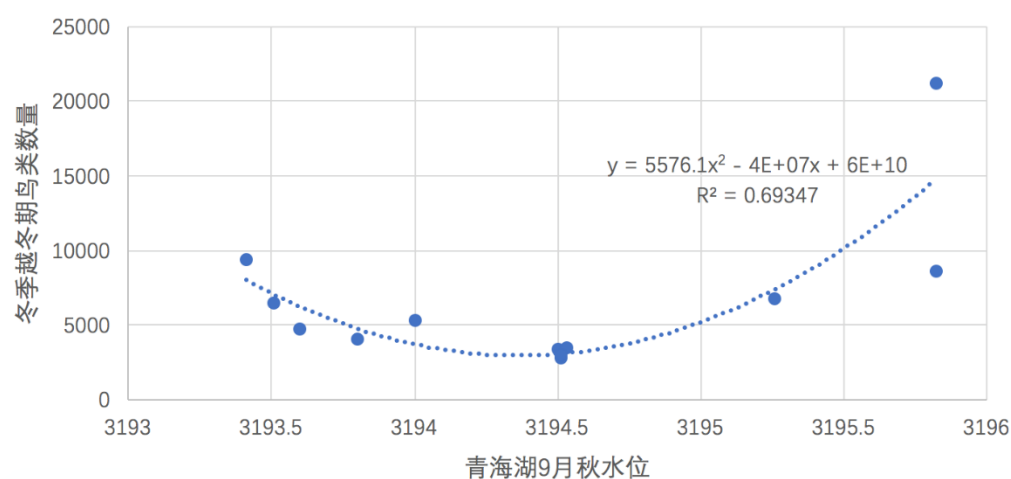


图 6 冬季越冬期鸟类数量与青海湖 9 月秋水位关系图

为了减少其他因素对水鸟种群数量的影响，选取水位上升的时间段中青海湖水位上升速度最快的时间段研究海湖水位对水鸟种群数量的影响。如此研究相对简单有效、影响因素单一、干扰因素小。

4.3.2 2014-2018 青海湖水位对水鸟种群数量的影响

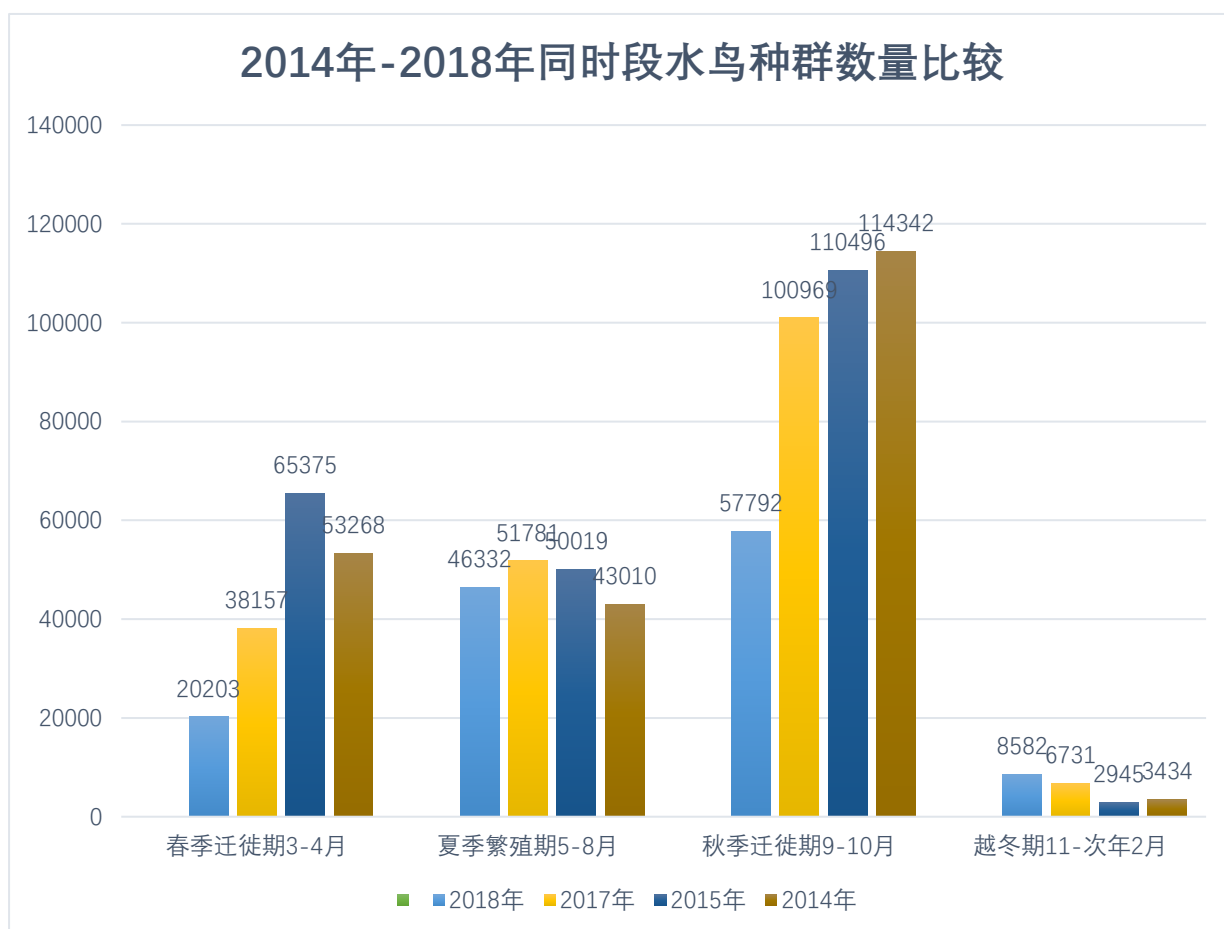


图 7 2014 年-2018 年同时段水鸟种群数量比较

4.3.2.1 水鸟数量动态变化中的峰值

全年的水鸟数量动态变化中有 3 个明显的高峰值，分别出现在春季迁徙期、夏季繁殖期、秋季迁徙期，这 3 个峰值也反映了青海湖全年水鸟动态的整体趋势、重要节点和青海湖水鸟在时间分布上的规律。

4.3.2.2 不同区段的横向对比：

综合 2014 年至 2018 年连续 5 年的同期水鸟种群数量来看，相同时间段内不同年份间的水鸟数量发生这剧烈的变化，春季迁徙期从 2013 年 2 万余只到 2015 年 6.5 万余只相差近 3 倍，秋季迁徙期从 2014 年的 11.4 万到 2016 年的 5.5 万只相差近 2 倍，夏季繁殖期从 2013 年的 2.8 万只到 2017 年的 5.1 万只相差近 2 倍，冬季越冬期 2013 年至 2015 年间数量呈逐年下降的趋势并出现有记录以来的最低值 2 千余只，而 2016 年又出现猛增达到近 2 万余只相差近 10 倍。水鸟种群数量的剧烈变化至少说明青海湖的湿地生态系统发生了变化和改变。

4.3.2.3 水位对青海湖水鸟数目的影响分析

对于本研究,青海湖水位为自变量,其他自然条件和人为因素为无关变量。由于候鸟的迁徙和繁殖在不同年份受自然条件的影响会有所波动,近 5 年来在某些年份出现了这 3 个峰值提前或错后的情况。

更关键的是,青海湖湿地近年发生的变化湿地面积不断扩大对水鸟种群的数量有这一定影响,并在种群数量上表现出这种剧烈的波动。

由图可知,在这三个峰值中,随着青海湖水位的提高,春季迁徙期和秋季迁徙期水鸟种群数目呈现整体上升的趋势,这可能是由于水位的上升、湿地面积的扩大导致青海湖水域面积扩大、鸟类赖以生存的食物和其他自然资源增多,导致春季迁徙期和秋季迁徙期水鸟种群数目呈现整体上升的趋势。除此之外,保护措施加强也有利于更多的鸟类抵达青海湖进行繁殖。

夏季繁殖期期间水鸟种群数目也随着水位的上涨而上升,但除了种群数目之外,分布较春秋可能受到更多的影响。青海湖水位的上涨导致周围遍布牛羊粪便等有机物质的草地转化成为湿地,靠近岸边的地方较之前的年份来讲有机物质更多,因此藻类也更多。水鸟,尤其是幼鸟的食物资源更加充足,更多的聚集在靠近岸边的地方。所以夏季繁殖期期间水鸟种群数目变化不大,但是水鸟的分布可能会由于水位的上涨有所改变。

综上所述,虽然青海湖水位的上涨对水鸟种群的数量有影响,但青海湖湿地作为水鸟提供迁徙停歇地、集群繁殖地、越冬地的主体功能并没有减弱和降低。

4.4 水鸟种群动态变化

4.4.1 水鸟的生态类群构成变化:

在生态类群上来说水鸟主要分为游禽和涉禽,其中游禽涵盖了雁形目、鸕鹚目、鵜形目、鸥形目的大多数鸟类,涉禽包括了鹤、鸛、鸕、鵲、鸕等。因为两类水鸟生活习性的不同,对栖息地、觅食地、繁殖地的选择和利用也有所不同。游禽多习惯活动于水面或近岸水域及河流等生境,而涉禽多活动于沼泽、湖岸、河滩等生境,所以在此有必要对水鸟生态类群构成进行分析。

如下所示,分析对比:

年份	总水鸟种数	涉禽种数	游禽种数
2007	52	25	27
2008	63	36	27

2009	51	23	28
2010	46	19	27
2011	52	24	28
2012	43	17	26
2013	48	21	27
2014	56	27	29
2015	51	22	29
2016	53	23	30
2017	60	27	33
2018	57	25	32

表 6 2007-2018 涉禽及游禽种数的比较

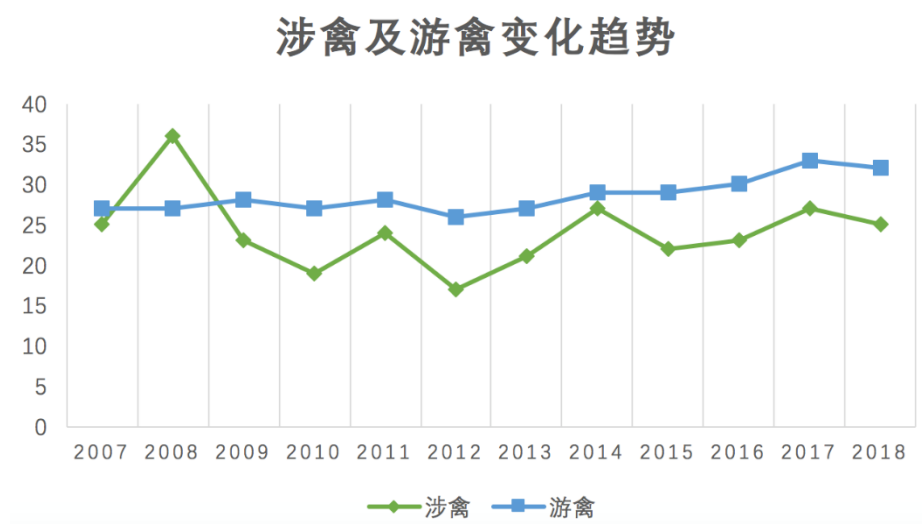


图 8 涉禽及游禽变化趋势

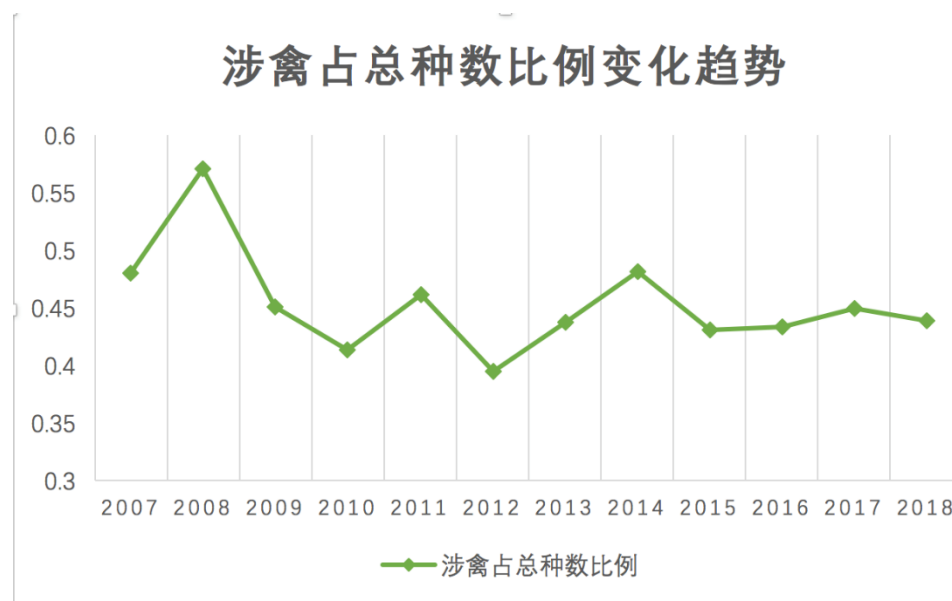


图 9 涉禽占总水鸟种数的比例的变化趋势

2018 年共监测记录到水鸟 57 种其中，游禽 32 种占比 56%；涉禽 25 种占比 44%，由此可见在青海湖水鸟生态类群构成中游禽所占比重较大，同时其种群数量也占有绝对优势，涉禽种群数量没有明显优势但种类较多，这也是青海湖水鸟生态类群构成的显著特征。

2018 年在水鸟生态类群的构成上相较于 2017 年有所变化，其中涉禽的比例上升了 2%。从数据上来看，对照近年来青海湖湖面不断上涨，游禽和涉禽的种类数量都总体呈现上升趋势，值得注意的是，浅水湿地面积增加相应的涉禽的种类也在增加。这可能是由于水位的变化在一定程度上影响了水鸟的生活环境，如食物的种类与数量，因此浅水湿地中的鸟类数量受到水位变化的影响相对来讲稍微大一些。

4.4.2 一年当中水鸟种群动态变化的横向比较

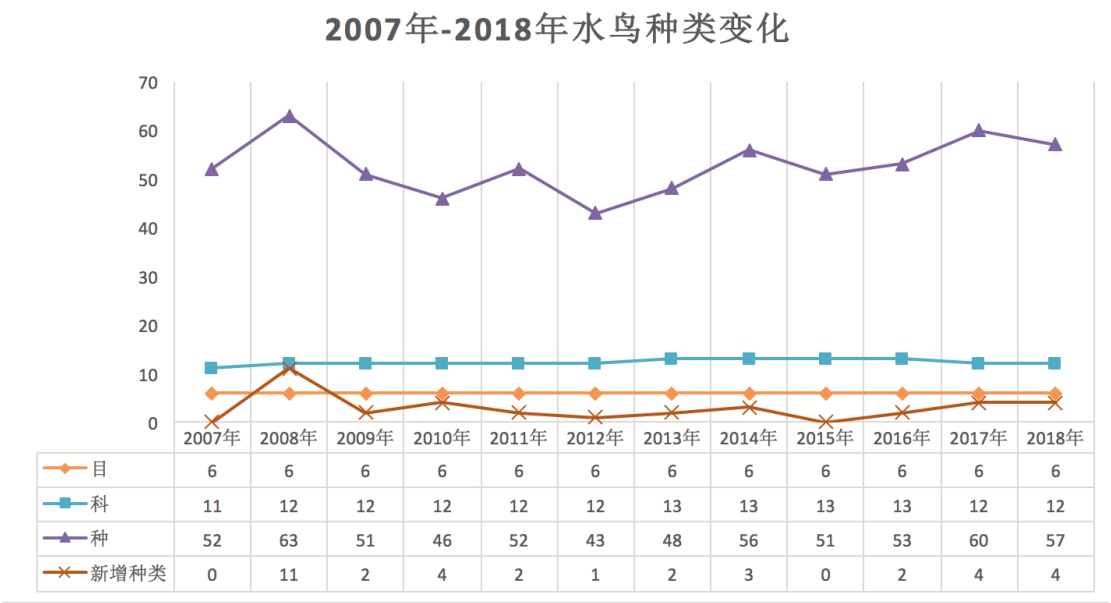


图 10 2007-2018 水鸟种类变化

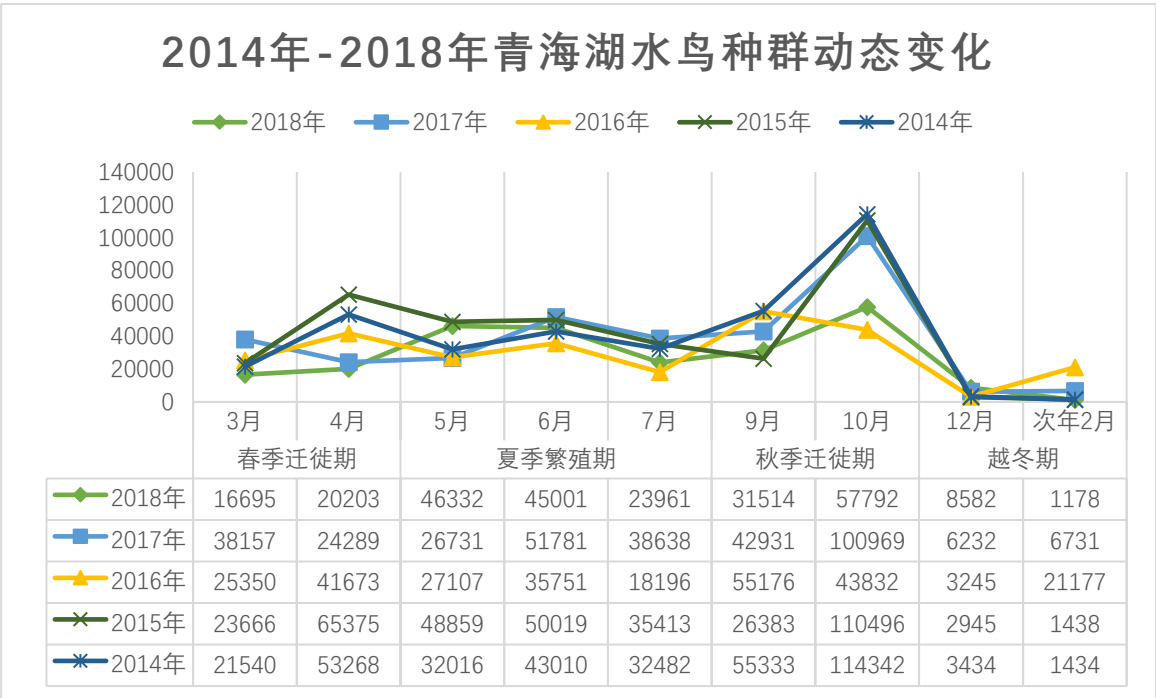


图 11 2014-2018 水鸟种群数目的动态变化

由 2007-2018 水鸟种类变化以及 2014-2018 水鸟种群数目的动态变化可分析：水鸟数目一年之中的变化趋势相似，但是峰值可能有所不同。这可能是多种自然因素综合影响的结果。主要自然影响因素有物候变化、节气变化、气象变化、生境变化、水文变化以及生物习性的变化等。

5. 青海湖水位变化与多样性的关系

5.1 青海湖水鸟种群多样性分布

物种的多样性分布是指,一定面积不同物种相对丰富度的测度或是物种丰富度和物种均匀度。一般多用来表现一个地方或区域内生物多样性分布的情况,因而我们根据青海湖水鸟不同的分布时间,对青海湖水鸟在春季迁徙期待(3-4月)、秋季迁徙期(9-10月)、夏季繁殖期(5-8月)和冬季越冬期(11-次年2月)的多样性分布进行了测定。鸟类群落的多样性计算公式为 $H = -\sum P_i \ln P_i$, H 为群落多样性指数, P_i 为第 i 种鸟类数量占群落所有鸟类数量的比例。鸟类群落均匀度用公式 $E = H/H_{\max}$ 计算,其中 E 为均匀性指数, $H_{\max} = \ln S$, S 为群落物种总数。

5.2 夏季多样性分析

	类型	相关系数	P 值	多样性均值	多样性 SD
鸬鹚岛	湖岸半岛	-0.1132	0.98078	0.53286	0.49497
蛋岛	湖岸半岛	0.50209	0.20483	0.62875	0.6766
三块石	湖中岛屿	-0.3448	0.40337	0.84875	0.14612
布哈河口	河口湿地	-0.58576	0.167	1.27571	0.20214
生河口	河口湿地	0.77196	0.02481*	1.412	0.41816
泉湾湿地	草本沼泽	-0.82357	0.01198*	1.8075	0.30584
那仁湿地	草本沼泽	0.16572	0.72252	1.88814	0.27249

表 7 夏季不同栖息地多样性分析

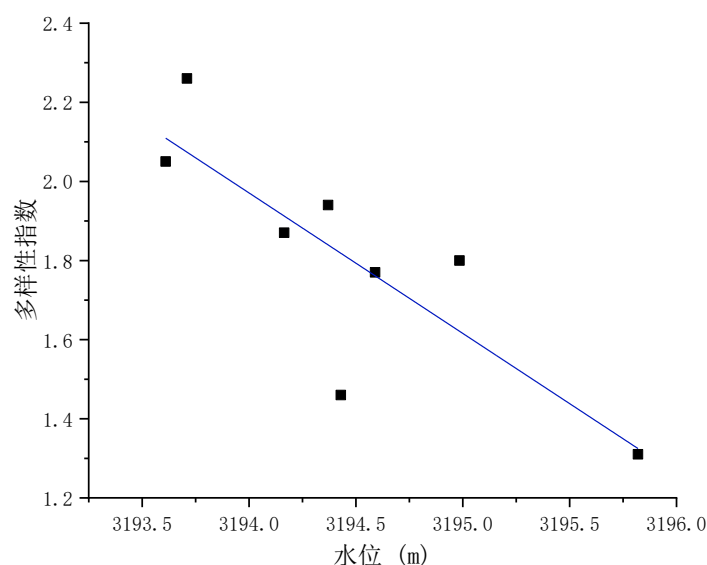


图 12 水位与多样性指数之间的关系（以泉湾湿地为例）

将不同栖息地的多样性指数与水位变化（水位取九月份与四月份平均水位）进行 Pearson 相关性分析，并进行显著性（双侧）检验，总体来看，水位变化与多样性呈不显著的负相关或正相关，即使在同一类型栖息地中相关性正负也有所不同，可认为水位变化对多样性无直接、明确的影响。但对于生河口（河口湿地）和泉湾湿地（草本沼泽）而言， P 值 < 0.05 （0.02481 和 0.01198），呈极显著正相关或负相关，且相关系数均较大。这说明特定生境受水位变化影响较大，且影响趋势与生境特点有关。

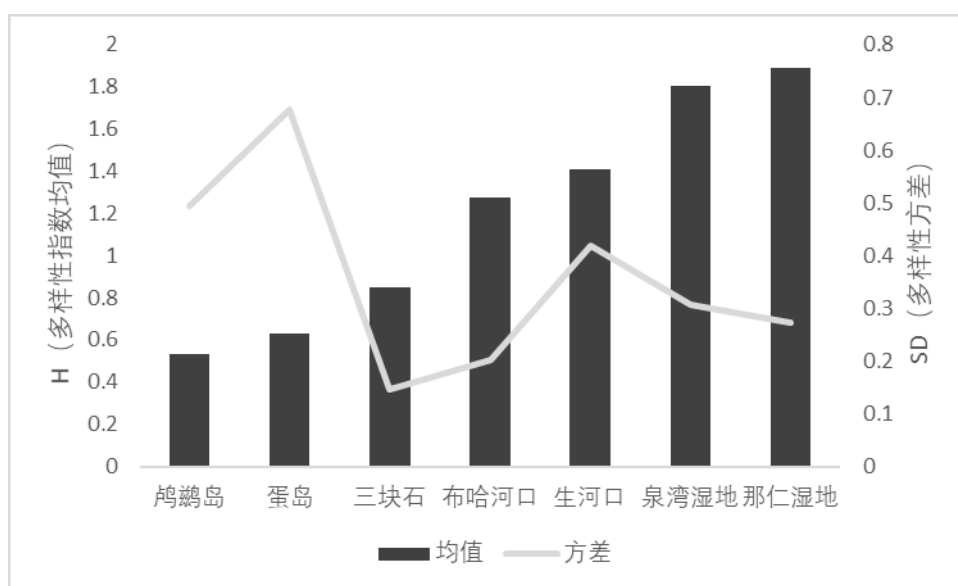


图 13 多样性指数的均值与方差

另外,就不同栖息地类型多样性指数的均值和方差进行分析,可看出就多样性而言,草本沼泽>河口湿地>湖中岛屿>湖岸半岛,且不同类型之间差异显著。就方差而言,鸬鹚岛和蛋岛(均属湖岸半岛)不同年份多样性指数间的方差显著大于其他类型栖息地方差,这与湖岸半岛本身鸟的物种数,个体数少,多样性指数较小有关,说明多样性指数较差的生境更容易受各种因素影响而产生波动。另外,鸬鹚岛和蛋岛作为湖岸半岛,其面积等受水位影响大,鸟类繁殖活动受影响复杂,可能因此造成不同年份间物种数等波动剧烈。

5.3 秋季多样性分析

秋天	类型	相关系数	P 值	多样性均值	多样性SD
蛋岛	湖岸半岛	-0.19446	0.64446	1.34625	0.5366
洱海		-0.22331	0.56357	1.48333	0.24005
黑马河湿地		-0.35228	0.39208	0.1475	0.36784
那仁湿地		-0.16199	0.72859	1.57571	0.41504
泉湾湿地	草本沼泽	0.54163	0.13202	1.62556	0.1178
哈达滩		0.07095	0.86741	1.68125	0.68325

表 8 夏季不同栖息地多样性分析

就 2010 年到 2018 年连续性较好的几个栖息地进行多样性指数与水位(取九月水位)的相关性分析,发现其关联性较差。说明在秋季多样性受水位影响不显著。

5.4 冬季多样性分析

冬季因青海湖处在结冰期，导致水文数据难以获取，目前暂时无法分析。

6. 青海湖水位变化对黑颈鹤的影响

6.1 黑颈鹤检测结果

6.1.1 数量

通过对 2007 年至 2018 年黑颈鹤数量变化的监测数据(表 1-1)进行分析,黑颈鹤在青海湖全年(3 月-10 月)种群分布的峰值进行比较如图 1-1 所显示,发现黑颈鹤数量总体呈一个上升趋势,2014 年至 2017 年基本呈明显增长的趋势(2016 年异常波动),2018 年 112 只相较 2017 年减少 31 只。

年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
数量(只)	46	109	37	104	88	88	93	121	130	92	143	112

表 9. 2007 年-2018 年黑颈鹤数量变化



图 14 2007 年-2018 年黑颈鹤数量变化折线图与柱状图 (示趋势)

与 2007 年-2018 年青海湖年平均水位变化情况对照来分析，可得：

年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012
数量(只)	46	109	37	104	88	88
水位（米）	3193.31	3193.435	3193.465	3193.61	3193.71	3194.165
年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018
数量(只)	93	121	130	92	143	112
水位（米）	3194.36	3194.37	3194.43	3195.09	3194.985	3195.82

表 10 2007 年-2018 年黑颈鹤数量与青海湖水位变化

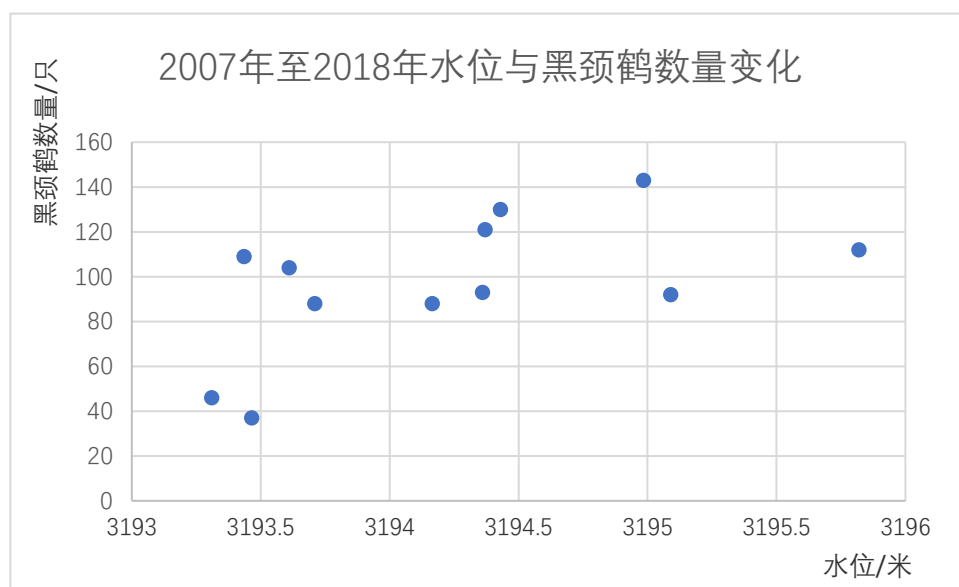


图 15 2007 年至 2018 年水位与黑颈鹤数量变化相关性

通过绘图发现，黑颈鹤数量大致存在随着青海湖水位上升而上升的趋势，即

青海湖水位与黑颈鹤数量变化大致存在一种正相关性关系。但由于青海湖中黑颈鹤 19 个栖息地均不同程度有干扰因素存在，例如人为因素会造成极大的干扰，像泉湾湿地、黑马河湿地、倒淌河湿地、洱海、仙女湾受旅游等人为干扰因素影响较大，所以相关关系不太明显，仅能看出一种趋势性。

6.1.2 分布情况

根据黑颈鹤在青海湖的活动规律，将黑颈鹤分为三个阶段进行统计：1、繁殖前期（3 月下旬至 5 月上旬，黑颈鹤迁徙到达青海湖）；2、繁殖期（5 月中旬至 7 月上旬，繁殖、育雏）；3、繁殖后期（8 月下旬至 10 月底，迁徙离开青海湖），通过对 2012 年至 2018 年的青海湖水位变化（表 2-1，图 2-1）与黑颈鹤分布图（图 2-2~2-8）、黑颈鹤分布集合（表 2-2）进行分析。

年份	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
4 月							
春	3193.82	3194.22	3194.21	3194.35	3194.36	3194.71	未知
9 月							
秋	3194.51	3194.5	3194.53	3194.51	3195.82	3195.26	3195.82
平均	3194.165	3194.36	3194.37	3194.43	3195.09	3194.985	3195.82

表 11 2012 年-2018 年青海湖水位变化

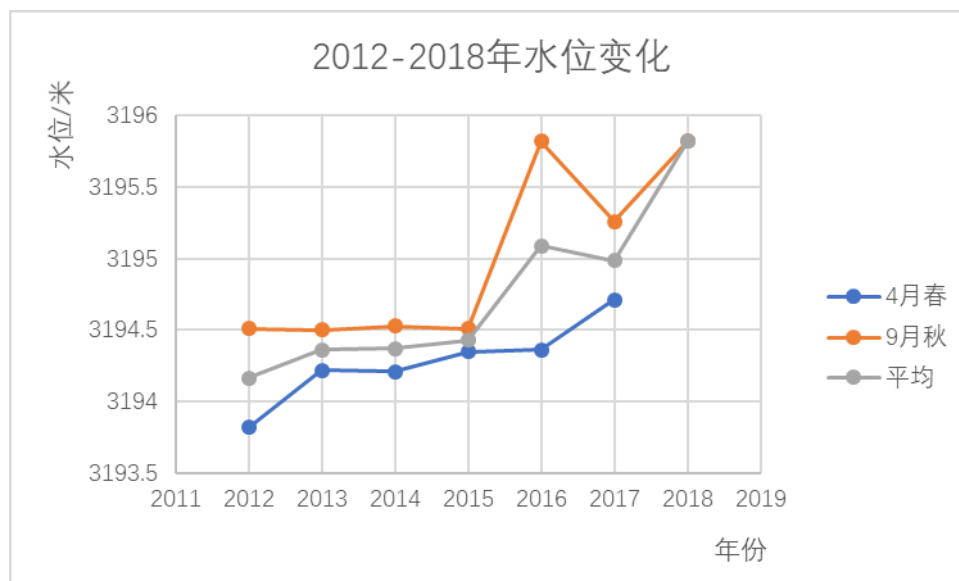


图 16 2012-2018 年青海湖水位变化



图 17 2012 年黑颈鹤栖息地分布图

2013年黑颈鹤栖息地分布图



图 18 2013 年黑颈鹤栖息地分布图

14年黑颈鹤栖息地分布

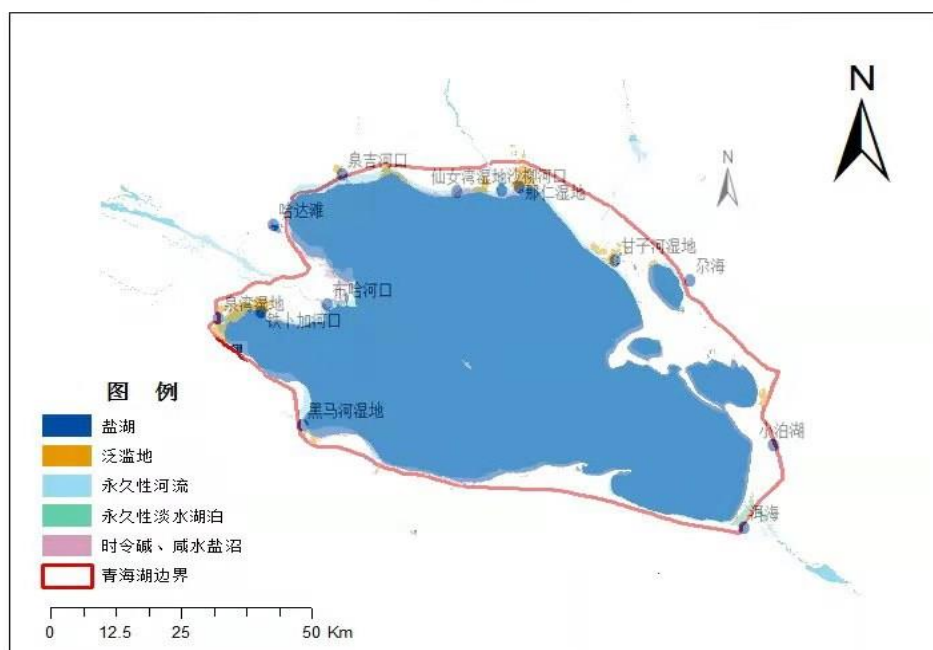


图 19 2014 年黑颈鹤栖息地分布图

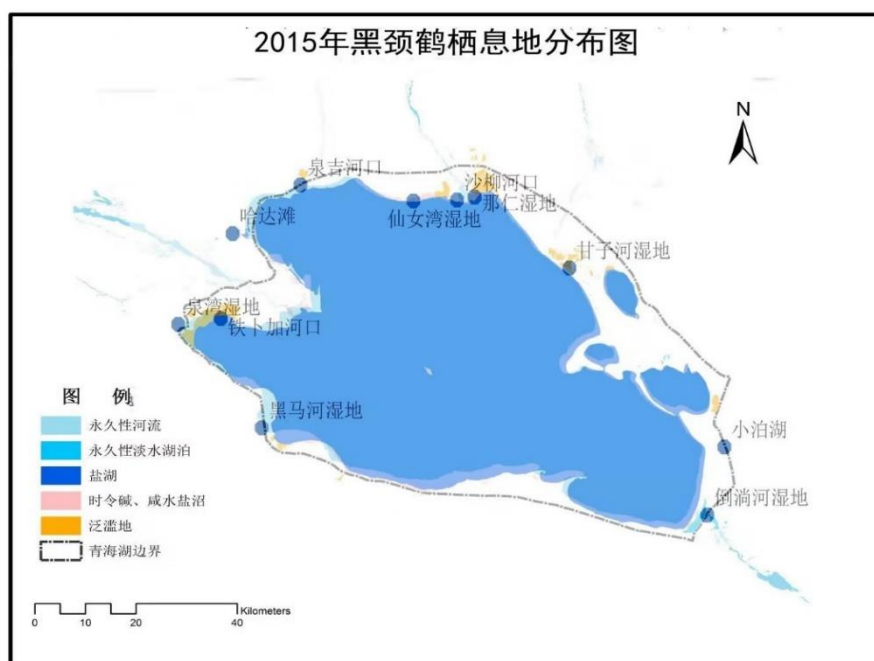


图 20 2015 年黑颈鹤栖息地分布图

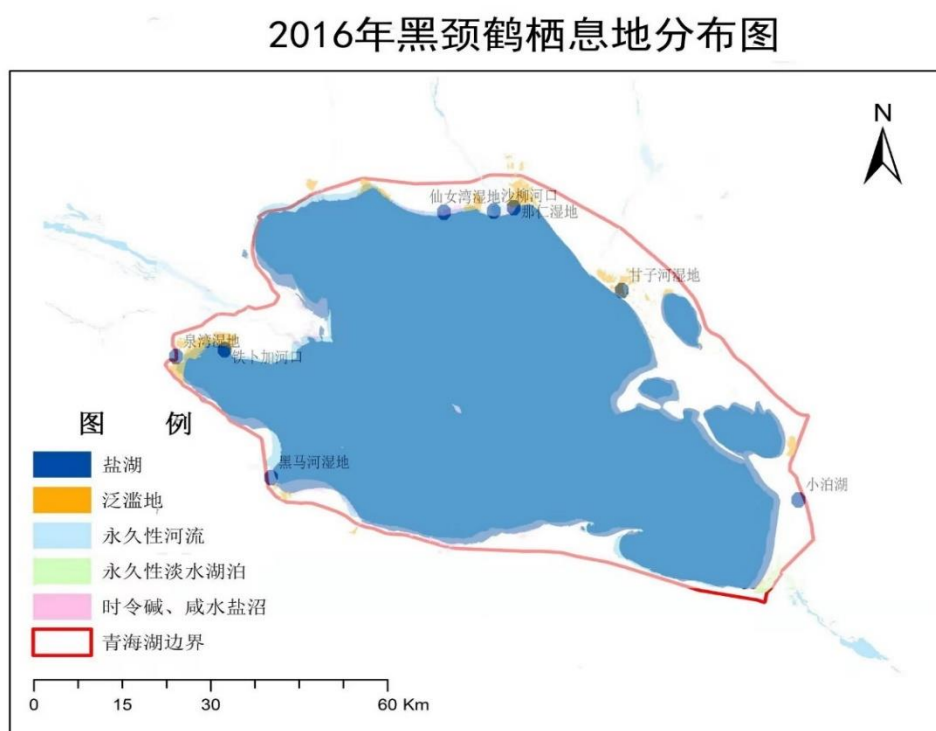


图 21 2016 年黑颈鹤栖息地分布图

黑颈鹤栖息地分布

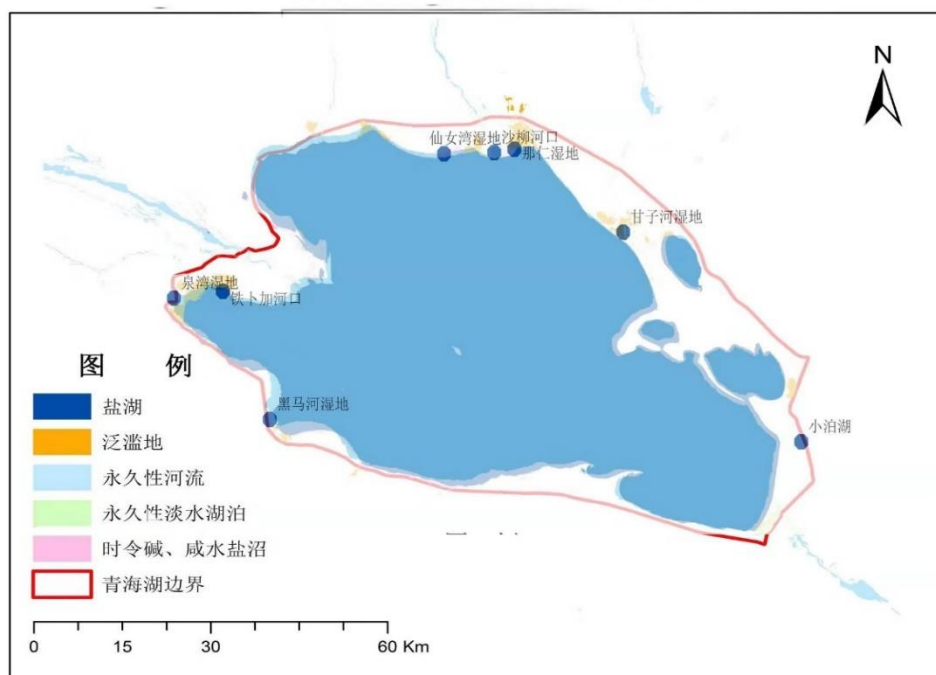


图 22 2017 年黑颈鹤栖息地分布图

2018年黑颈鹤栖息地分布图

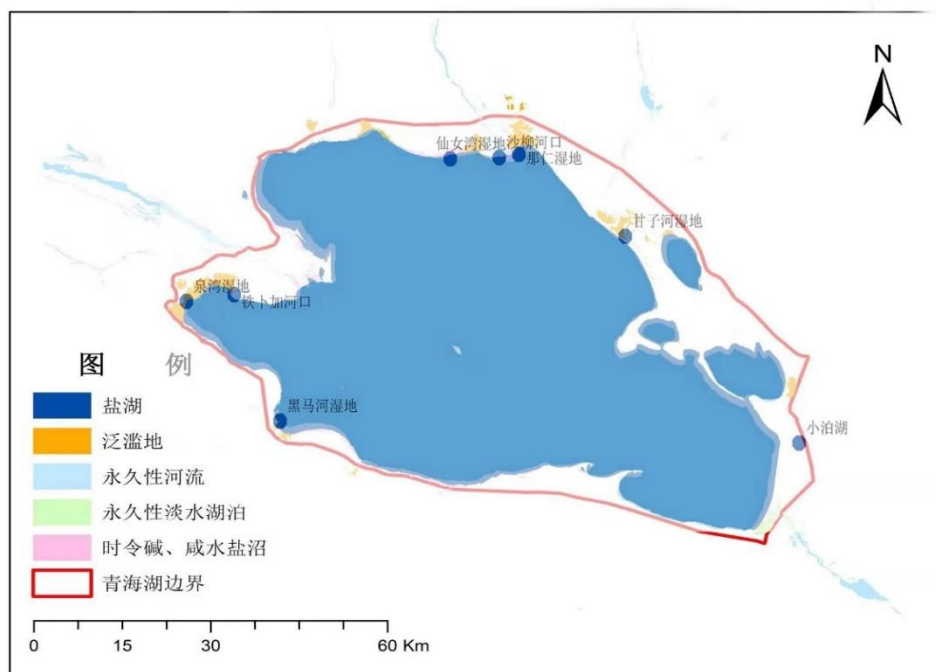


图 23 2018 年黑颈鹤栖息地分布图

2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
黑马河	黑马河	黑马河	黑马河	黑马河	黑马河	黑马河
尕日拉						
泉湾	泉湾	泉湾	泉湾	泉湾	泉湾	泉湾
铁卜加河	铁卜加河	铁卜加河	铁卜加河	铁卜加河	铁卜加河	铁卜加河
		布哈河口				
深河						
哈达滩		哈达滩	哈达滩			
五世达赖						
泉吉河口	泉吉河口	泉吉河口	泉吉河口			
仙女湾	仙女湾	仙女湾	仙女湾	仙女湾	仙女湾	仙女湾
沙柳	沙柳	沙柳	沙柳	沙柳	沙柳	沙柳
那仁	那仁	那仁	那仁	那仁	那仁	那仁
甘子河	甘子河	甘子河	甘子河	甘子河	甘子河	甘子河
		尕海				
小泊湖	小泊湖	小泊湖	小泊湖	小泊湖	小泊湖	小泊湖
倒淌河	倒淌河	倒淌河	倒淌河			

表 12 2012-2018 年黑颈鹤栖息地变化

2012-2018 年青海湖水位呈基本上升趋势, 其中 2013 年-2015 年水位基本不变, 2016-2018 年水位呈上升趋势, 而 2012-2018 年黑颈鹤主要栖息地呈减少趋势, 尕日拉、深河、哈达滩、五世达赖、泉吉河口、倒淌河等多个地点不再为黑颈鹤栖息地, 其中 2013-2015 年栖息地基本不变, 而 2016-2018 年主要栖息地中减少了哈达滩、泉吉河口、倒淌河。因此得出结论, 西北方向的栖息地随着水位的的升

高而消失。

6.1.3 繁殖情况

通过对 2010 年至 2018 年黑颈鹤繁殖情况的监测数据（表 13-14、图 24）进行分析，发现繁殖对数近年一直在增加。2018 年繁殖对数较高但幼鸟的孵化率和成活率都很低。

年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
繁殖对数（对）	15	15	18	21	44	47	29	36	39
幼鸟（只）	16	14	13	22	13	27	18	34	17

表 13 2010 年-2018 年黑颈鹤繁殖对数及幼鸟数量变化

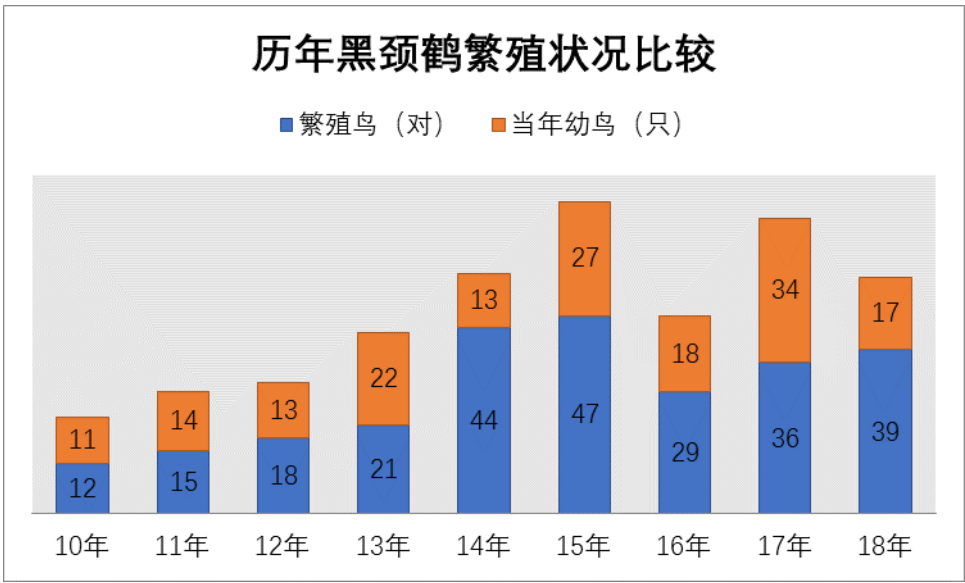


图 24 历年黑颈鹤繁殖状况比较

与 2010 年-2018 年青海湖年平均水位变化情况对照来分析，可得：

年份	2010	2011	2012	2013	2014
繁殖对数（对）	15	15	18	21	44

幼鸟（只）	16	14	13	22	13
水位（米）	3193.61	3193.71	3194.165	3194.36	3194.37
年份	2015	2016	2017	2018	
繁殖对数（对）	47	29	36	39	
幼鸟（只）	27	18	34	17	
水位（米）	3194.43	3195.09	3194.985	3195.82	

表 14 2010 年-2018 年黑颈鹤繁殖对数及幼鸟数量变化

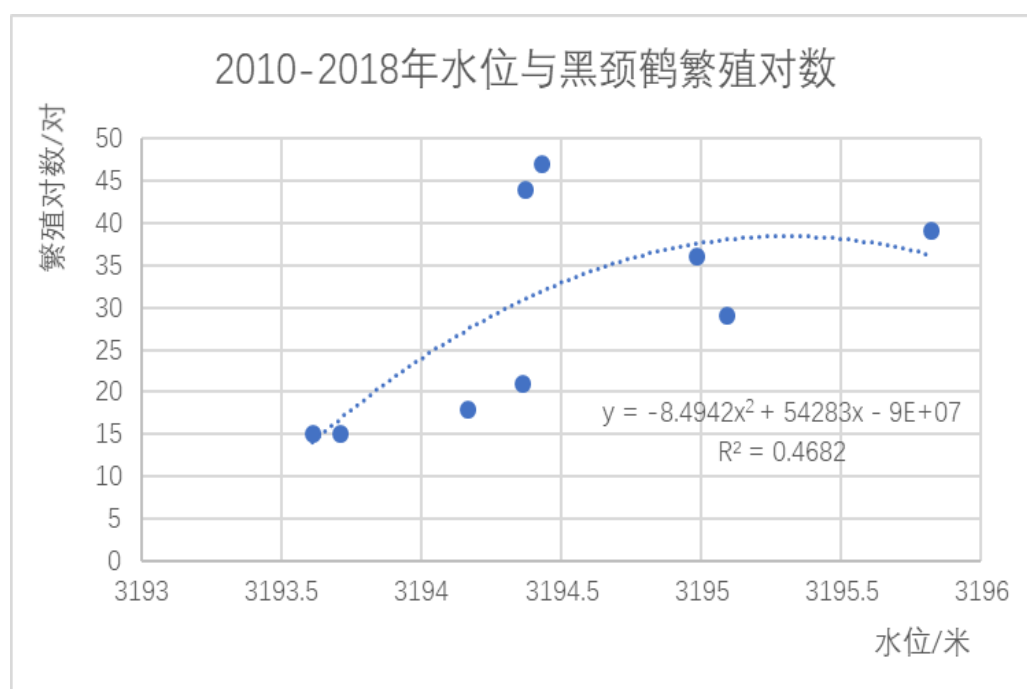


图 25. 2010-2018 年水位与黑颈鹤繁殖对数

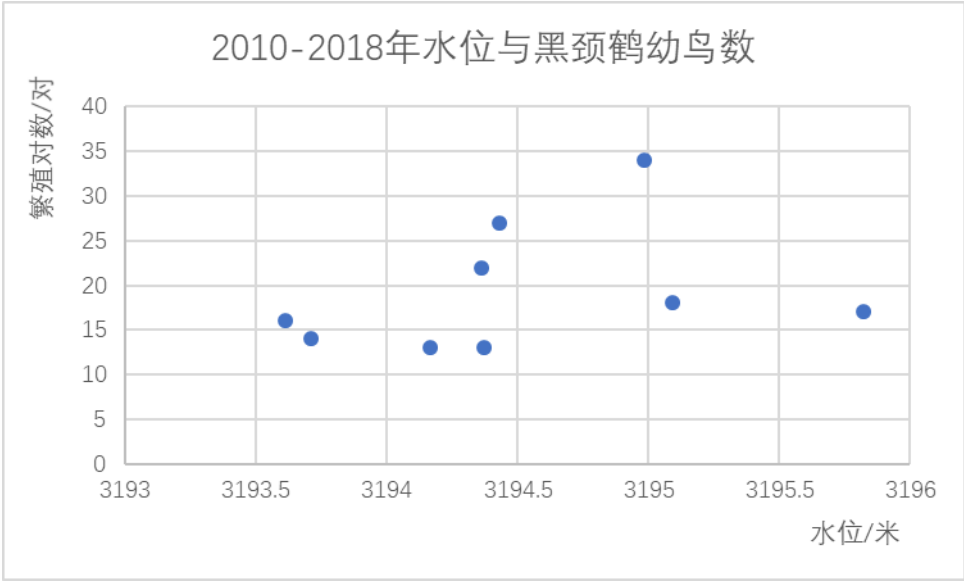


图 26 . 2010-2018 年水位与黑颈鹤幼鸟数

通过绘图发现，在现有数据下，青海湖水位与黑颈鹤繁殖对数大致存在一种正相关性关系，但也有随着后续水位上升、黑颈鹤繁殖对数下降的可能，所以无法准确判断青海湖水位与黑颈鹤繁殖对数的关系。

而青海湖水位与黑颈鹤幼鸟数基本不存在相关性，这种情况的出现我认为主要原因是黑颈鹤繁殖鸟能成功生殖的干扰因素存在过多，但既然青海湖水位与黑颈鹤繁殖对数大致存在一种正相关性关系，所以假如排除掉其他干扰因素，青海湖水位与黑颈鹤幼鸟数也应该与青海湖水位与黑颈鹤繁殖对数关系一致。

时间	分布地点	泉湾湿地	仙女湾	沙柳河口	那仁湿地	甘子河湿地	哈达滩	蛋岛
2010 年	繁殖鸟对数	2	1	1	1			
	当年幼鸟数	2	2	1	1			
2011 年	繁殖鸟对数	3	1	2	2	3		
	当年幼鸟数		1	2	2	5		
2012 年	繁殖鸟对数	3	1	2	2	3		
	当年幼鸟数	1	2	1	1	3		
2013 年	繁殖鸟对数	3	1	1	4	3		
	当年幼鸟数	4	2	2	4	3		
2014 年	繁殖鸟对数	5	2	4	3	2	1	
	当年幼鸟数	1		2	2	2		
2015 年	繁殖鸟对数	6	3	15	6	6		1
	当年幼鸟数	6	3	2	6	7		
2016 年	繁殖鸟对数	3	2	2	7	6		

	当年幼鸟数	1	1	1	5	2		
2017 年	繁殖鸟对数	4	2	3	6	5	1	1
	当年幼鸟数	1	3	2	6	6	2	
2018 年	繁殖鸟对数	4	2	2	7	7	2	
	当年幼鸟数	3	3	2	2	2		
时间	分布地点	沙岛	小泊湖	倒淌河 湿地	黑马河 湿地	铁卜加 河口	尕斯库勒湖	鸬鹚岛
2010 年	繁殖鸟对数	1	1	1	1	1		
	当年幼鸟数	1	1	1	1	1		
2011 年	繁殖鸟对数	1	1	1	1			
	当年幼鸟数		1	1	2			
2012 年	繁殖鸟对数	1	1	1	1	1		
	当年幼鸟数		1	1	2			
2013 年	繁殖鸟对数	1	1	1	1	1		
	当年幼鸟数		1		2	1		
2014 年	繁殖鸟对数		1		1	1	1	
	当年幼鸟数				1	1		
2015 年	繁殖鸟对数	1	1	1	2			
	当年幼鸟数		1		1			
2016 年	繁殖鸟对数		1	1	2	1		
	当年幼鸟数		1	1	2			
2017 年	繁殖鸟对数	1	1	1	1	6		
	当年幼鸟数			1	1	8		
2018 年	繁殖鸟对数	2	2	2	2	2		2
	当年幼鸟数		2		1	2		
时间	分布地点	洱海	泉吉河 口	生河口	尕斯库勒湖 湿地	布哈河 口	沙柳河	
2010 年	繁殖鸟对数	1	1					
	当年幼鸟数							
2011 年	繁殖鸟对数							
	当年幼鸟数							
2012 年	繁殖鸟对数		1	1				
	当年幼鸟数	1						
2013 年	繁殖鸟对数	1	1	1	1			
	当年幼鸟数		1	2				
2014 年	繁殖鸟对数	1	2			1	19	
	当年幼鸟数		2			1	1	
2015 年	繁殖鸟对数	1	3	1				
	当年幼鸟数		1					
2016 年	繁殖鸟对数	1	1		1			
	当年幼鸟数		2					
2017 年	繁殖鸟对数	1				1		
	当年幼鸟数							

2018 年	繁殖鸟对数		3					
	当年幼鸟数							

表 15 2010 年-2018 年黑颈鹤繁殖地

根据对 2010 年-2018 年黑颈鹤繁殖地的分析得出,近年来泉湾湿地、仙女湾、沙柳河口、那仁湿地、小泊湖、倒淌河湿地、黑马河湿地、甘子河湿地黑颈鹤的繁殖较为固定,繁殖成功率也较高。而随着年份的增加即青海湖水位的上升,黑颈鹤的繁殖增加了生河口、尕日拉湿地、布哈河口、哈达滩、尕海、沙柳河、蛋岛、鸬鹚岛等多个繁殖地。

6.2 结论;

1. 近十年来黑颈鹤数量总体呈一个上升趋势,2014 年至 2017 年基本呈明显增长的趋势(2016 年异常波动),2018 年数量异常较 2017 年减少了 31 只。青海湖水位与黑颈鹤数量变化大致存在一种正相关性关系。但由于干扰因素存在,所以相关关系不太明显,仅能看出一种趋势性。
2. 2012-2018 年黑颈鹤主要栖息地呈减少趋势,尕日拉、深河、哈达滩、五世达赖、泉吉河口、倒淌河等多个地点不再为黑颈鹤栖息地,根据减少的栖息地得出,随着水位的升高,青海湖西北方向的黑颈鹤栖息地而逐渐消失。
3. 在现有数据下,青海湖水位与黑颈鹤繁殖对数大致存在一种正相关性关系,但不排除存在抛物线关系的可能,即随着后续水位上升、黑颈鹤繁殖对数下降的可能,所以无法准确判断青海湖水位与黑颈鹤繁殖对数的关系。
4. 青海湖水位与黑颈鹤幼鸟数基本不存在相关性,主要原因是干扰因素存在过多,假如排除掉其他干扰因素,青海湖水位与黑颈鹤幼鸟数也应该与青海湖水位与黑颈鹤繁殖对数关系一致。
5. 近年来泉湾湿地、仙女湾、沙柳河口、那仁湿地、小泊湖、倒淌河湿地、黑马河湿地、甘子河湿地黑颈鹤的繁殖较为固定,繁殖成功率也较高。而随着青海湖水位的上升,黑颈鹤的繁殖增加了生河口、尕日拉湿地、布哈河口、哈达滩、尕海、沙柳河、蛋岛、鸬鹚岛等多个繁殖地。

7. 结论

青海湖水位的上涨对水鸟种群的种类、数量和动态分布有一定影响,但由于干扰因素很多,并不能确定水位的影响的大小。虽然如此,青海湖湿地作为水鸟提供迁徙停歇地、集群繁殖地、越冬地的主体功能并没有减弱和降低。

青海湖水位与多样性关系在不同季节呈现出不同特点。夏季特定生境受水位变化影响较大,且影响趋势与生境特点有关;秋季多样性受水位影响不显著;冬季数据较少无法进行有效的分析,需要进一步研究。

除此之外,黑颈鹤的分布、繁殖情况也受到水位的影响。近十年来黑颈鹤数量总体呈一个上升趋势,青海湖水位与黑颈鹤数量变化大致存在一种正相关性关系。但由于干扰因素存在,所以相关关系不显著;随着水位的升高,青海湖西北方向的黑颈鹤栖息地而逐渐消失;随着青海湖水位的上升,黑颈鹤的繁殖增加了生河口、尕斯库勒湿地、布哈河口、哈达滩、尕斯库勒海、沙柳河、蛋岛、鸬鹚岛等多个繁殖地。

8. 保护的建议与措施

湿地水鸟的行为和栖息地选择的变化能够对生态系统产生变化快速响应。通过对水鸟的变化研究,可以帮助人们更为有效的管理生态系统。但青海湖生态系统各个组分和过程之间关系错综复杂,传统的生态学办法并不能很好的找到环境因素与保护对象,特别是与珍稀水鸟之间的关系。水文动态对于保护湖泊生态系统的生物多样性,应对江湖系统改变有着非常重要的作用。

总体来看,近年来青海湖生态环境整体呈现向好的趋势,说明青海湖国家级自然保护区管理局的保护工作成果显著。希望以后持续对青海湖生态进行监控,提高科研、宣传投入,加大保护力度,努力实现监测数据信息化、科学化。此外黑颈鹤种群数量和繁殖孵化率、幼鸟成活率都不高。建议在重点区域实施人工辅助筑巢,加强巡护监测。

未来,应该开展更为系统的研究评估水位情势-栖息地-湿地水鸟之间的时空耦合关系,进一步阐明水文节律在青海湖生态系统中的作用,为青海湖的综合管理和生物保护提供理论依据。

9. 参考文献

- [1] 陈军,汪永丰,郑佳佳,等. 中国阿牙克库木湖水量变化及其驱动机制[J]. 自然资源学报, 2019, 34(6): 1331-1344.

- [2] 李小玲. 浅析青海湖地区生态环境问题[J]. 青海科技, 2005, 12(2): 23-26.
- 伊万娟, 李小雁, 崔步礼, 等. 青海湖流域气候变化及其对湖水位的影响[J]. 干旱气象, 2010, 28(4): 375-383.
- [3] 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.
- [4] 贾春光, 王晓峰, 杨龙, 等. 艾比湖水位变化对湖区生态效益影响的初探[J]. 新疆师范大学学报: 自然科学版, 2005, 24(3): 141-144.
- [5] 李林, 朱西德, 王振宇, 等. 近 42a 来青海湖水位变化的影响因子及其趋势预测[D]. , 2005.
- [6] 刘成林, 谭胤静, 林联盛, 等. 鄱阳湖水位变化对候鸟栖息地的影响[J]. 湖泊科学, 2011, 23(1): 129-135.
- [7] 张慧慧, 赵景波. 厄尔尼诺/拉尼娜事件对青海湖周边地区气候的影响[J]. 水土保持通报, 2013, 33(1): 146.
- [8] 胡振鹏, 葛刚, 刘成林. 越冬候鸟对鄱阳湖水文过程的响应[J]. JOURNAL OF NATURAL RESOURCES, 2014, 29(10).
- [9] 胡玲玲, 朱仁果, 付建平. 鄱阳湖湿地植物群落分布对水位变化的响应[J]. 江西化工, 2014 (4): 39-42.
- [10] 李言阔, 单继红, 马建章, 等. 气候因子和水位变化对鄱阳湖东方白鹤越冬种群数量的影响[J]. 生态学杂志, 2014, 33(4): 1061-1067.
- [11] 郭恢财, 胡斌华, 万松贤, 等. 气候变化背景下鄱阳湖南矶湿地子湖泊水位变化对越冬候鸟多样性的影响[J]. 野生动物学报, 2018 (2018 年 03): 550-558.
- [12] 王晓媛, 江波, 田志福, 等. 冬季安徽菜子湖水位变化对主要湿地类型及冬候鸟生境的影响[J]. 湖泊科学, 2018, 30(6): 1636-1645.
- [13] 闵騫. 鄱阳湖水位变化规律的研究[J]. 湖泊科学, 1995, 7(3): 281-288.
- [14] 刘成林, 谭胤静, 林联盛, 等. 鄱阳湖水位变化对候鸟栖息地的影响[J]. 湖泊科学, 2011, 23(1): 129-135.
- [15] 姚鑫, 杨桂山, 万荣荣, 等. 水位变化对河流, 湖泊湿地植被的影响[J]. 湖泊科学, 2014, 26(6): 813-821.
- [16] 侯元生, 等. 青海湖国家级自然保护区监测报告 (2018 年度)[R]. 青海湖国家级自然保护区管理局, 2019.
- [17] 侯元生, 等. 青海湖国家级自然保护区监测报告 (2017 年度)[R]. 青海湖国家级自然保护区管理局, 2018.
- [18] 侯元生, 等. 青海湖国家级自然保护区监测报告 (2016 年度)[R]. 青海湖国家级自然保护区管理局, 2017.

- [19] 候元生, 等. 青海湖国家级自然保护区监测报告 (2015 年度)[R]. 青海湖国家级自然保护区管理局, 2016.
- [20] 候元生, 等. 青海湖国家级自然保护区监测报告 (2014 年度)[R]. 青海湖国家级自然保护区管理局, 2015.
- [21] 候元生, 等. 青海湖国家级自然保护区监测报告 (2013 年度)[R]. 青海湖国家级自然保护区管理局, 2014.
- [22] 候元生, 等. 青海湖国家级自然保护区监测报告 (2012 年度)[R]. 青海湖国家级自然保护区管理局, 2013.
- [23] 候元生, 等. 青海湖国家级自然保护区监测报告 (2011 年度)[R]. 青海湖国家级自然保护区管理局, 2012.
- [24] 候元生, 等. 青海湖国家级自然保护区监测报告 (2010 年度)[R]. 青海湖国家级自然保护区管理局, 2011.
- [25] 候元生, 等. 青海湖国家级自然保护区监测报告 (2009 年度)[R]. 青海湖国家级自然保护区管理局, 2010.
- [26] 候元生, 等. 青海湖国家级自然保护区监测报告 (2008 年度)[R]. 青海湖国家级自然保护区管理局, 2009.
- [27] 候元生, 等. 青海湖国家级自然保护区监测报告 (2007 年度)[R]. 青海湖国家级自然保护区管理局, 2008.