

1976—2011 年博斯腾湖小湖区湿地 生态系统服务价值变化分析

祖皮艳木·买买提^{1,2,3,4}, 赛迪古丽·哈西木⁷, 玉米提·哈力克^{3,5}, 肉孜·阿吉⁶

(1. 新疆师范大学 新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室, 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆维吾尔自治区地震局

乌鲁木齐 830011; 3. 新疆大学 资源与环境科学学院 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046;

4. 新疆大学 生态学博士后科研流动站, 乌鲁木齐 830046; 5. 埃希施塔特—因戈尔施塔特大学 数学与地理系, 德国 埃希施塔特 85071; 6. 新疆维吾尔自治区气象台, 乌鲁木齐 830002; 7. 新疆师范大学 学报编辑部, 乌鲁木齐 830054)

摘要:以 1976 年、1990 年、2002 年和 2011 年 4 期的遥感影像资料为基础, 结合野外实地调查及其他相关资料, 研究了 1976—2011 年博斯腾湖小湖区湿地面积和生态系统服务价值变化及其影响因素。结果表明: (1) 近 40 年间小湖区湿地面积变化呈波动性趋势。其中 1976 年湿地面积最大为 3 813.12 hm²; 2002 年和 2011 年湿地面积分别减少为 3 138.12、2 285.53 hm²。(2) 在整个研究时段博斯腾湖小湖区湿地生态系统服务价值的变化整体上呈减少趋势; 其中在 1976—1990 年, 年平均减少 2.67%; 而在 1990—2002 年, 年平均增长 2.63%; 2002 年以后不断减少, 减少速度比前 15 年明显加快。从研究区各生态功能服务价值对总的生态系统服务功能价值的贡献来看, 废弃物处理、水涵养和气候调节功能服务价值的贡献率较大, 且在整个研究时段呈增加的趋势。在研究期间, 博斯腾湖小湖区湿地面积和生态系统服务价值的变化与流域自然和人为因素密切相关, 应重视近年来人类活动的负面影响, 对绿洲经济活动进行合理规划和控制。

关键词:湿地面积; 生态服务价值变化; 小湖区湿地; 博斯腾湖流域

中图分类号: X171

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)03-0328-05

Changes of the Ecosystem Service Values of the Wetlands of Small Lake in Bosten Lake Basin During the Period from 1976 to 2011

Zulpiya · Mamat^{1,2,3,4}, Saidiguli · Haximu⁷, Umut · Halik^{3,5}, Rouzi · Aji⁶

(1. Xinjiang Key Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Xinjiang Normal University,

Urumqi 830054, China; 2. Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China;

3. Xinjiang Key laboratory of Oasis Ecology, College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 4. Ecological Postdoctoral Research Station, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 5. Faculty of Mathematics and Geography, Catholic University of Eichstaett-Ingolstadt, Eichstaett 85071, Germany; 6. Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, China; 7. Editorial Office of Journal, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: Based on the remote sensing images of 1976, 1990, 2002, and 2011 of Bosten Lake Basin, the field investigation and other related information, the changes and the influential factors of the ecosystem service values of the wetlands of small lakes of the Bosten Lake Basin during the period from 1976 to 2011 were examined. The results showed that: (1) the fluctuating change trend of the wetlands area of the small lakes of the Bosten Lake Basin was observed during these nearly forty years, among which, in 1976, the wetland area was the maximum, and reached up to 3 813.12 hm²; while in 2002 and 2011, these reduced to 3 138.12 hm² and 2 285.53 hm², respectively; (2) in the whole research period, as the whole, we could see that the changes of the ecosystem service values of the wetlands of the small lakes showed decreasing trends; and from 1976 to 1990, there was a mean reduction of them as 2.67% per year; but from 1990 to 2002, these increased by 2.63% per year. This research showed in the whole research period, the wetland areas and the

收稿日期: 2015-05-11

修回日期: 2015-06-03

资助项目: 新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室开放课题“博斯腾湖湿地系统的生态安全调控机理研究”(2014KL016); 国家自然科学基金(31360200); 德国大众基金会 EcoCAR 项目(Az: 88497)

第一作者: 祖皮艳木·买买提(1983—), 女, 新疆拜城人, 博士后, 主要从事干旱区资源与环境研究。E-mail: zulpiya1219@sina.com

通信作者: 玉米提·哈力克(1966—), 男, 新疆乌鲁木齐人, 教授, 主要从事干旱区恢复生态研究。E-mail: halik@xju.edu.cn

ecosystem service values of the research area showed decreasing trends since 2002, and the decreasing trends were much faster than the former 15 years. From the contribution of each ecological function service value of the total ecological system function service values, we could get that the contribution rates of the waste disposal, the water conservation and the climate regulation to the whole ecological service values were the maximum, and they increased from 1976 to 2011. This research showed the changes of the wetland areas and the ecosystem service values of the small lakes of the Bosten Lake Basin were closely related with the natural and anthropogenic factors in nearly 40 years, and we should pay much attention to the negative influent that was caused by the unreasonable human activities, and should make reasonable plans for the development of the economy activities in the basin.

Keywords: the areas of wetlands; changes of the ecosystem service values; wetlands of small lake; Bosten Lake Basin

干旱区内陆湖泊作为一种独特的生态系统单元,是维系干旱地区人类生存和发展的基本场所之一^[1-2]。近年来,随着干旱区绿洲盆地社会经济的快速发展,在人类大规模的水土资源开发活动的影响下,干旱区内陆尾间湖泊流域生态环境受到了诸如气候变化、工业发展、农业水利工程建设等自然和人为因素的共同影响,这极大地影响到尾间湖泊生态环境的健康状况^[3-4]。近年来对干旱区绿洲尾间湖流域水域变化研究已成为尾间湖泊自然水文过程及生态系统服务价值变化研究的重要方向^[5-7]。

随着近年来博斯腾湖流域绿洲经济的快速发展,博斯腾湖区湿地生态环境退化问题日益严重,突出表现为湖区湿地面积急剧萎缩、沼泽景观持续退化、生物多样性剧烈减少和水体矿化度的明显增高,这些显著地影响到了博斯腾湖湖区生态系统的结构、功能、稳定性和生态安全。因此了解和掌握博斯腾湖湿地格局变化及其引起的生态系统服务价值变化是焉耆盆地生态环境健康和绿洲经济健康、协调发展的重要保障^[8]。本研究以博斯腾湖小湖区湿地为研究区,通过采用3S技术,分析近40年来博斯腾湖湿地小湖区水域面积及其生态系统服务价值的变化,在此基础上,结合流域气候变化和人类活动等因素,定量阐明其变化的原因及主要的影响因素。研究成果可以为博斯腾湖湖区湿地生态环境保护 and 生态安全提供科学依据,同时也可以为博斯腾湖流域绿洲经济的稳定、健康与可持续发展提供参考。

1 研究区概况

博斯腾湖位于新疆维吾尔自治区焉耆盆地,由大湖、小湖群和湖滨湿地(黄水区)3部分组成。其中大湖水域辽阔,东西长55 km,南北平均宽20 km,历史最高水位1 049.39 m,最低水位为1 044.63 m。博斯腾湖小湖区位于大湖区西南(86.53°—86.90°E, 41.67°—41.89°N),处于开都河三角洲、孔雀河河漫

滩和博斯腾湖湖滨的交汇地带,有地面支沟、河叉、小湖群相串通,洪水期大水漫溢,而枯水期地表变干。小湖区总面积约为370 km²,湖区西浅东深,最深处16 m,最浅2~8 m,平均深度约10 m,湖水平均矿化度2.57 g/L,是我国最大的芦苇产区之一,习惯上称为小湖苇区^[9]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究以博斯腾湖流域1976年、1996年、2002年和2011年4期的MSS, TM和ETM遥感影像为基础,结合野外实地调查及地形图、土壤图、地质地貌图等相关资料作为主要信息源。利用ENVI 4.5软件,参考《中国资源环境遥感宏观调查与动态研究》^[10-11]土地分类系统,根据研究区的具体特点,将博斯腾湖小湖区湿地面积进行分类解译,并结合实地勘察验证(Kappa指数>0.83)及资料查证^[12],获取博斯腾湖小湖区4个时期的湿地面积数据,然后利用ArcGIS 9.2和Excel软件对解译的数据进行统计分析。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用/覆被类型动态度 土地利用动态度可定量描述区域土地利用变化的速度,它对对比土地利用变化的区域差异和预测未来土地利用变化趋势都具有积极的作用^[13]。单一土地利用类型动态度能表示某一研究区在一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况。其表达式为:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中:K——研究时段内某一土地利用/覆被类型动态度;U_a, U_b——研究初期和末期同一种土地利用/覆被类型的面积;T——研究时段。

2.2.2 生态系统服务价值的计算 Costanza等^[14-15]将全球生物圈划分成16种生态系统和17种生态系统功能,并估算了它们的生态系统服务价值。近年来国

内学者应用 Costanza 等^[14-15]的方法分别对全国^[16]、省份^[17]、典型流域^[18]以及经济较发展的东部沿海^[19]地区的生态系统服务价值进行了估算,积累了大量的研究成果。但 Costanza 等^[14-15]的方法是基于全球尺度,同时对某些生态系统单位面积的价值量估计过高或过低,如可能对耕地过低、对湿地偏高^[20]。为了减少这种误差,谢高地等^[20]通过对我国 200 多位生态学专家进行问卷调查,制定出我国生态系统生态服务价值的当量因子表(表 1)。在表 1 中生态系统服务价值的当量因子指 1 hm² 农田每年自然粮食产量的经济价值,在研究中通过将平均自然粮食产量的经济价值继续归一化处理,然后就可以得到各生态系统服务价值的价值量。

表 1 中国陆地生态系统单位面积服务价值当量(2002 年)

生态服务功能	林地	草地	农田	湿地	河流/湖泊	荒漠
气体调节	0.68	0.29	0.13	1.8	0.06	0.17
气候调节	3.1	1.14	1.00	17.1	0.68	0.12
水源涵养	2.36	0.19	0.13	15.5	122.98	0.00
土壤形成	8.86	2.41	1.70	1.71	0.22	0.00
废物处理	1.78	1.60	0.17	18.18	0.10	0.01
生物多样性保护	3.80	3.60	1.00	2.50	0.87	0.07
食物生产	0.93	1.23	1.00	0.30	0.77	0.00
原材料	2.73	0.19	0.10	0.07	0.11	0.01
娱乐休闲	1.80	0.36	0.06	5.55	3.97	0.02

本研究采用焉耆盆地的平均自然粮食产量的经济价值为参考价值量来评估研究区各生态系统服务价值量。为了反映土地利用/覆被变化对生态系统服务价值计算的影响,研究中采用 1970—2011 年焉耆盆地年均粮食产量(2 418.32 kg/hm²)来代替整个研究时段粮食的单产量,然后根据 2011 年全国粮食的平均收购价格 3.27 元/kg,计算出研究区 1 个当量因子的生态系统服务价值为 1 129.70 元。再利用单位面积生态系统服务价值当量表计算出研究区单位面积不同土地类型对应于 Costanza 等^[14-15]所划分的不同生态系统服务类型的价值,分别为:气体调节为 2 033.46 元/hm²,气候调节为 19 317.87 元/hm²,水源涵养为 17 510.35 元/hm²,土壤形成为 1 931.78 元/hm²,废物处理为 20 537.95 元/hm²,生物多样性保护为 2 824.25 元/hm²,食物生产为 338.91 元/hm²,原材料为 79.08 元/hm²,娱乐休闲为 6 269.84 元/hm²。

根据研究区各土地类型单位面积生态服务价值系数,利用 Costanza 的生态系统服务的价值计算公式,计算出研究区各土地利用/覆被类型的生态系统服务的价值,具体的生态系统服务功能计算模型如下:

$$ESV_f = \sum_k A_k \cdot VC_k \quad (2)$$

$$ESV = \sum_k A_k \cdot VC_{kf} \quad (3)$$

式中:ESV_f——生态系统第 *f* 项服务功能价值;ESV——研究区生态服务价值;*A_k*——*k* 种土地利用/覆被类型的面积(hm²);VC_{kf}——*k* 种土地利用/覆被类型所对应的生态系统第 *f* 项功能的服务价值指数[元/(hm²·a)]。

2.2.3 敏感性指数计算 为了确定生态服务价值随时间变化对价值指数变化的依赖程度,本研究通过选取经济学中常用的弹性系数来计算博斯腾湖小湖区湿地生态系统价值系数的敏感性指数^[19-22],以此来检验已计算得到的博斯腾湖小湖区湿地生态系统价值系数是否适合本研究区,分析步骤如下:首先将研究区各土地利用类型的价值指数分别调整 50% 来衡量生态系统服务价值的变化,当 CS>1,表明 ESV 相对于 CS 是富有弹性的;当 CS<1,表明 ESV 则缺乏弹性,其比值越大,表明生态系统服务功能价值指数的准确性越高。其计算公式如下:

$$CS = \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}} \quad (4)$$

式中:CS——敏感度;ESV——研究区生态系统服务价值的总量;VC——价值系数;*i, j*——初始的生态系统服务价值和生态服务功能价值指数调整后的价值;*k*——土地利用类型。

3 结果与分析

3.1 小湖区水域面积变化

通过对博斯腾湖小湖区 1976 年、1990 年、2002 年、2011 年 4 期的遥感影像进行解译,得出各时期博斯腾湖小湖区湿地面积(表 2)。研究表明,近 40 年来博斯腾湖小湖区湿地面积呈波动性变化趋势。其中在 1976 年小湖区湿地面积最大为 3 813.12 hm²;1990 年减小到 2 385.58 hm²;2002 年小湖区湿地面积最大为 3 138.12 hm²,此后呈不断减少趋势,2011 年为 2 285.53 hm²。

分析表明博斯腾湖湿地小湖区湿地面积动态度在 1990—2002 年为负值,在 1990—2002 年为正值,表明前期湿地面积逐年减少,而 1990—2002 年湿地面积逐年增加。到了 2000—2011 年,湿地面积又呈逐年下降的趋势,而且下降速度比前期增长明显快。

3.2 小湖区生态系统服务价值变化

为了揭示博斯腾湖小湖区湿地面积变化对生态系统服务价值的影响,根据博斯腾湖湿地生态系统单位面积服务价值表,利用生态经济学理论和生态系统服务功能价值评价方法(公式 2—3),对 1976 年、1990 年、2002 年和 2011 年 4 个不同时期博斯腾湖湿地生态服务价值进行评估,得出其生态服务价值(表 3)。

表 2 1976—2011 年博斯腾湖小湖区湿地面积变化

面积/hm ²				动态度/%			
1976 年	1990 年	2002 年	2011 年	1976—1990 年	1990—2002 年	2002—2011 年	1976—2011 年
3813.12	2385.58	3138.12	2285.53	-2.67	2.63	-3.02	-1.14

表 3 1976—2011 年博斯腾湖小湖区生态系统服务价值的变化

总生态服务价值/10 ⁶ hm ²				年净变化率/%			
1976 年	1990 年	2002 年	2011 年	1976—1990 年	1990—2002 年	2002—2011 年	1976—2011 年
270.13	169.00	222.32	161.92	-2.67	2.63	-3.02	-4.51

分析表明,在整个研究时段博斯腾湖湿地生态系统服务价值的变化表现为波动减少的趋势。其中在 1976—1990 年,斯腾湖湿地的生态系统服务价值平均减少约 2.67%;而在 1990—2002 年,博斯腾湖小湖区生态系统服务价值平均增长 2.63%;而在研究时段后半期博斯腾湖小湖区湿地生态服务价值呈不断减少的趋势,到 2011 年仅为 16.192 万元。

从整个研究时段内博斯腾湖湿地单位面积生态功能服务价值量来看,研究区各生态功能服务价值对总的生态系统服务价值的贡献率大小并不相同。根据博斯腾湖湿地小湖区各生态功能服务价值对总的生态系统服务价值贡献的大小进行等级划分,从高到低顺序依次为废物处理、气候调节、水源涵养、娱乐文化、生物多样性保护、气体调节、土壤形成与保护、食物生产和原材料;研究表明在整个研究时段(1976—2011 年)研究区各生态系统服务价值中废弃物处理、水涵养和气候调节功能对博斯腾湖小湖区湿地生态系统服务价值的贡献率最大,表明湿地对博斯腾湖生态环境的净化作用最显著。

3.3 生态系统服务价值敏感度分析

根据研究区实际情况并参考相关文献分析,在本研究中将博斯腾湖小湖区湿地生态价值系数分别上下调整 50%,然后利用公式(4)计算出不同时期小湖区湿地生态系统服务价值的敏感度指数,计算结果表明在 4 个时期敏感指数值各不相同,其中在 1976 年为 0.34,在 1990 年为 0.33,在 2002 年为 0.35,在 2011 年为 0.33,均小于 1(图 1),从而表明,在整个研究时段,博斯腾湖小湖区湿地生态系统服务价值对其价值系数缺乏弹性,本研究结果可信。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本文利用不同时期的遥感数据源,采用谢高地等^[16]的研究成果,结合研究区粮食产量和粮食平均价格估算了博斯腾湖小湖区湿地不同生态系统功能的服务价值,结果表明:该方法在评估生态系统服务价值对 LUCC 的响应,对生态系统服务价值随时间变化的研究方面具有重要意义。

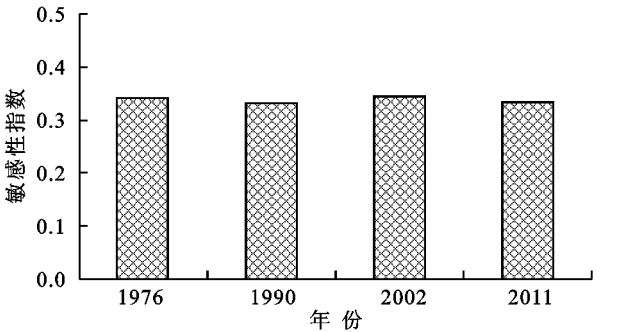


图 1 1976—2011 年博斯腾湖小湖区生态系统服务价值敏感度指数变化

从整个研究时段看,博斯腾湖水位出现历史性的两次变化^[23](1987 年的枯水期和 2002 年的丰水期)引起的小湖区湿地面积的变化是造成该时期小湖区湿地生态系统服务价值变化的主要原因。封闭的内陆湖泊水面变化与入湖水量关系密切,入湖水量取决于入湖河流的径流量,它与大气降水、蒸发和冰雪融水等因素有关。因此,影响内陆湖泊水面变化的主要自然因素是降水和温度等气象因素^[24]。根据 1960—2011 年焉耆气象站年平均气温、蒸发量和降水量和开都河焉耆水文站平均径流量变化可知(图 2A),近 40 年来焉耆气象站年平均气温和总体呈较平稳的变化趋势;在 1960—2000 年降水量总体呈增加趋势,2000 年以后逐渐减少;蒸发量不断增加;开都河径流量变化保持平稳状态。

随着社会生产力的不断提高,经济规模的进一步扩大,博斯腾湖湿地的经济发展和环境保护之间的矛盾变得越来越尖锐。人为因素的变化比较频繁直接引起土地利用模式与格局的变化(图 2B)。从 20 世纪 60 年代末期到 80 年代中期为新疆大规模水土开发的第二个高峰期^[24-25],在此时段,由于绿洲盆地内盲目扩大耕地面积以及湖滨开荒等掠夺式的资源开发不断扩大,直接导致博斯腾湖湿地的来水量急剧减少导致资源遭受严重破坏,从而造成博斯腾湖滨湿地生态系统的损失^[25];在 1990 年后随着当地政府采取一系列控制措施,控制农田垦殖规模,水土资源开发趋向合理,再加上绿洲盆地对地下水资源的开采力度加大,部分替代了对地表水的引用,使得开都河等主要补给河流的入湖水量增加,博斯腾湖的湖泊水位明显上升,

湖水矿化度下降,到 2002 年博斯腾湖水位已达到 1 048.9 m,超过了历史最高水位,其湖水矿化度也降至 1.27 g/L^[24-27],使得博斯腾湖湿地水环境恶化的状况得到了较程度的缓解,湿地小湖区的生态系统服务价值也得到明显提高。湖区土地利用/覆被类型由盐碱地向多汁木本盐柴类荒漠、草地和湖泊水体,农田向湖泊、湿地转化,盆地生态环境逐渐变好,湖区湿地

生态系统服务价值功能得到恢复^[28]。但同时也应看到,随着近年来流域人口的不断增加、工农业生产的不断发展、污染物排放和 2000 年开始的从博斯腾湖向塔里木河下游应急引水工程等以及博斯腾湖流域资源开发力度的增加和小湖区调运出流量的不断增加又导致博斯腾湖湖区湿地面积的减少^[29],造成湿地生态系统服务价值在一定程度上降低,应对此重视。

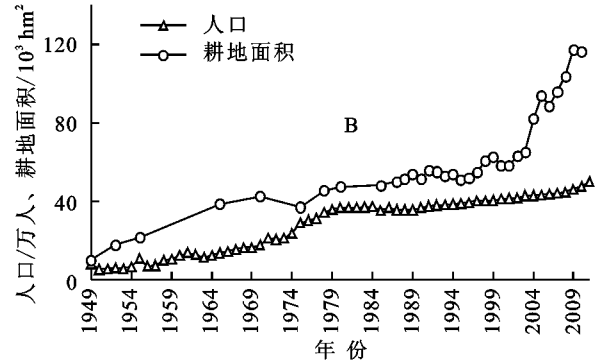
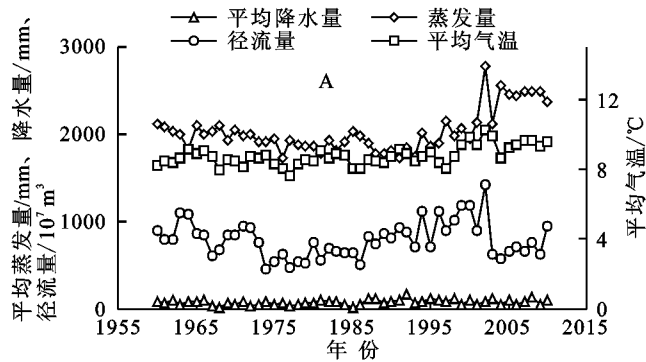


图 2 焉耆盆地气候变化和人口、播种面积变化

从博斯腾湖湿地生态环境保护措施来看,在整个流域控制农田垦殖的合理规模,提高农业生产效率,加强对工、农业用水的管理,加强对博斯腾湖周围地区淡水资源的管理,提高调水投入,加大向湿地的调水力度,从而保证湿地的水资源供给;并尽量减少农田排水的负面影响,适当提高工、农业生产超额用水的收费标准;发展趋于特色农、牧业,控制污染源排放是博斯腾湖流域经济良性发展与生态环境保护的良性之路。

4.2 结论

(1) 研究表明在 1976—2011 年博斯腾湖小湖区湿地面积变化呈波动性减少趋势。其中 1976 年湿地小湖水域面积最大,为 3 813.12 hm^2 ;2002 年小湖区湿地面积略微增加,到 2011 年又减少为 2 285.53 hm^2 ;从整个研究时段看博斯腾湖湿地的水域面积呈不断减少的趋势。

(2) 在 1976—2011 年博斯腾湖湿地小湖区的生态系统服务价值变化表现为波动减少的趋势:其中在 1976—1990 年,平均减少约 2.67%;而在 1990—2002 年,平均增长约 2.63%;2002 年以后呈不断减少的趋势,到 2011 年仅为 161.92 万元;从博斯腾湖湿地各生态系统服务功能价值对总的生态系统服务功能价值的贡献来看,其贡献大小各不相同。总体看,在整个研究时段博斯腾湖湿地小湖区废弃物处理、水源涵养和气候调节功能的生态系统服务价值贡献最大并呈不断增加的趋势,敏感度指数分析表明分析结果可信。

(3) 研究表明近年来人为因素正成为博斯腾湖流域小湖区湿地面积及生态系统服务价值变化的重要影响因素,应重视,在研究区进行合理的水土资源

开发和水利工程建设等活动,合理地规划经济活动以减少人为因素导致的湿地生态系统服务功能的退化,从而保护博斯腾湖流域重要的湿地生态环境。

参考文献:

- [1] 巴桑赤烈,刘景时,牛竟飞,等. 西藏中部巴木错湖泊面积变化及其原因分析[J]. 自然资源学报,2012(2):302-310.
- [2] 陈强,陈正江. 基于系统动力学的艾比湖沿岸生态环境问题分析及对策[J]. 水土保持研究,2005,12(2):33-35.
- [3] 钱亦兵,樊自立,雷加强,等. 近 50 年新疆水土开发及引发的生态环境问题[J]. 干旱区资源与环境,2006,20(3):58-63.
- [4] 胡安焱. 流域气候变化和人类活动对内陆湖泊影响的分析[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(5):1-5.
- [5] 李克让,陈育峰,黄玫,等. 气候变化对土地覆被变化的影响及其反馈模型[J]. 地理学报,2000,55(S1):57-63.
- [6] 曾忠平,裴韬,彭兰霞. 武汉南湖湖区土地利用结构信息熵与湖泊形态变化分形分析[J]. 资源科学,2008,30(7):1061-1067.
- [7] 张宝林,贾瑞晨,张倩,等. 基于遥感的达来诺尔湖泊水域面积变化研究[J]. 水土保持研究,2011,18(6):196-199.
- [8] 张俊,周成虎,李建新. 新疆焉耆盆地近 40 年土地利用与土地覆被演化[J]. 资源科学,2004,26(6):30-37.
- [9] 李均力,方晖,包安明,等. 近期亚洲中部高山地区湖泊变化的时空分析[J]. 资源科学,2011,33(10):1839-1846.
- [10] 迪丽努尔·阿吉,艾克巴尔. 新疆主要湖泊水域面积动态变化研究[J]. 水文,2010,30(5):91-95.
- [11] 布仁仓,常禹,胡远满,等. 基于 Kappa 系数的景观变化测度:以辽宁省中部城市群为例[J]. 生态学报,2005,25(4):778-784.
- [12] 苏忠. 基于 GIS 的内蒙古耕地时空变化研究[J]. 干旱区地理,1999,22(2):71-76.

参考文献:

- [1] 茹淑华,苏德纯,王激清. 土壤镉污染特征及污染土壤的植物修复技术机理[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 29-33.
- [2] 符娟林,章明奎,厉仁安. 基于GIS的杭州市居民区土壤重金属污染现状及空间分异研究[J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 575-578.
- [3] 谢伟,曾钰茹. 城市表层土壤重金属污染风险等级评价[J]. 数学的实践与认识, 2013, 43(12): 51-57.
- [4] Burgos P, Madejón E, Pérez-de-Mora A, et al. Spatial variability of the chemical characteristics of a trace-element-contaminated soil before and after remediation[J]. Geoderma, 2006, 130(1): 157-175.
- [5] Li X, Lee S, Wong S, et al. The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach[J]. Environmental Pollution, 2004, 129(1): 113-124.
- [6] 中国环境监测总站. 土壤质量铅、镉的测定石墨炉原子吸收分光光度法 GB/T17141—1997[S]. 北京: 国家环境保护总局, 1997.
- [7] 国家环境保护局南京环境科学研究所. 土壤环境质量标准 GB15618—1995[S]. 北京: 国家环境保护总局, 1995.
- [8] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [9] 徐建华. 计量地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [10] 王艳妮,谢金梅,郭祥. ArcGIS中的地统计克里格插值法及其应用[J]. 软件导刊, 2008, 7(12): 36-38.
- [11] 池建. 精通ArcGIS地理信息系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [12] 张世熔,黄元仿,李保国. 冲积平原区土壤颗粒组成的趋势效应与异向性特征[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 56-60.
- [13] 马建华,张丽,李亚丽. 开封市城区土壤性质与污染的初步研究[J]. 土壤通报, 1999, 30(2): 93-96.
- [14] 吴新民,李恋卿,潘根兴,等. 南京市不同功能城区土壤中重金属Cu, Zn, Pb和Cd的污染特征[J]. 环境科学, 2003, 24(3): 105-111.
- [15] 崔晓阳,方怀龙. 绿地土壤类型及其特征[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [16] 李天杰,宫室国,潘根兴,等. 土壤环境学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995.
- [17] 刘玉燕,刘敏,刘浩峰. 城市土壤重金属污染特征分析[J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 184-188.
- [18] 孟昭虹,周嘉,郑元福. 哈尔滨市城市土壤重金属生态风险评价[J]. 水土保持研究, 2009, 16(2): 152-159.
- [19] 张琛,师学义,马桦薇,等. 煤炭基地复垦村庄土壤重金属污染生态风险评价[J]. 水土保持研究, 2014, 21(5): 277-284.
- [20] 时亚坤,李凯荣,闫宝环. 铜川三里洞煤矿煤矸石风化土壤重金属分布及污染状况分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 187-191.
- ~~~~~
- (上接第332页)
- [13] 王水献,董新光,寇文. 马尔柯夫过程预测焉耆盆地土地利用/覆被格局变化[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(10): 28-33.
- [14] Costanza R, D'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253-260. [15] Costanza R. An introduction to ecological economics[J]. Journal of Economic Issues, 1997, 33(8): 196-198.
- [16] 谢高地,张钰铨,鲁春霞,等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53.
- [17] 王宗明,张柏,张树清. 吉林省生态系统服务价值变化研究[J]. 自然资源学报, 2004, 19(1): 55-61.
- [18] 高清竹,何立环. 海河上游农牧交错地区生态系统服务价值的变化[J]. 自然资源学报, 2004, 17(6): 706-712.
- [19] Zhao B, Kreuter U, Li B, et al. An ecosystem service value assessment of land-use change on Chongming Island, China[J]. Land Use Policy, 2004, 21(2): 139-148.
- [20] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 重庆第二师范学院学报, 2003, 18(3): 189-196.
- [21] 岳书平,张树文,闫业超. 东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. 地理学报, 2007(8): 879-886.
- [22] Gascoigne W R, Hoag D, Koontz L, et al. Valuing ecosystem and economic services across land-use scenarios in the Prairie Pothole Region of the Dakotas, USA[J]. Ecological Economics, 2011, 70(10): 1715-1725.
- [23] 左其亭,夏军,邵民诚,等. 博斯腾湖水资源可持续利用[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [24] 刘晏良,焦广辉,戴键,等. 塔里木河流域生态环境系统演变与治理对策研究[M]. 北京: 中国统计出版社, 2000.
- [25] 成正才,李宇安. 博斯腾湖的水盐平衡与矿化度[J]. 干旱区地理, 1997(3): 43-49.
- [26] 刘文祥,李喜俊,郭海燕. 新疆博斯腾湖水环境容量研究[J]. 环境科学研究, 1999, 12(1): 35-38.
- [27] 李卫红,陈跃滨,徐海量,等. 博斯腾湖的水环境保护与可持续利用对策[J]. 地理研究, 2003, 22(2): 185-191.
- [28] 唐常春,樊杰,陈小良. 基于地域功能的土地利用协调研究: 以长株潭生态绿心暮云镇为例[J]. 自然资源学报, 2012, 27(10): 1645-1655.
- [29] 张建平. 博斯腾湖流域生态环境现状及治理对策浅析[J]. 环境科技, 2010, 23(S2): 76-79.