

基于偏差平均值的乌梁素海湿地变化监测研究

韦 玮, 崔丽娟, 李胜男, 郭 嘉

(中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091)

摘要:采用乌梁素海地区 2003—2011 年的 TM/ETM + 遥感数据, 利用比值指数和波段组合的方法提取了乌梁素海水域、水草、芦苇和农田等信息, 并分析了 9 年间乌梁素海地区各类型面积的增减情况及其变化规律, 采用数据点绝对偏差的平均值方法, 概算出各类型面积的变化率, 根据变化率的值估算出各类型面积变化的趋势和大小, 预测乌梁素海未来各类型面积的转化情况。通过本文的对比分析研究及统计运算, 预测乌梁素海地区明水面积变化率为 26.56%, 水草面积变化率为 -20.66%, 芦苇面积变化率为 -1.94%, 即: 明水区域的面积将增加 33.57 km², 而水草和芦苇的面积将分别减少 21.02 km² 和 4.92 km²。

关键词: 遥感; 信息提取; 湿地; 分类; 变化监测; 乌梁素海

中图分类号: X87

文献标识码: A

Study on the Wetland Changes Monitoring of Wuliangsu Hai Lake Based on Average Deviation

WEI Wei, CUI Li-juan, LI Sheng-nan, GUO Jia

(Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Based on the TM/ETM + remote sensing data of Wuliangsu Hai wetland in 2003—2011, the methods of ratio vegetation index and bond combination was used to obtain the information about the areas of open water, water plants, reed and farmland in Wuliangsu Hai wetland and the change of area and their patterns were analyzed. By using the method of data point's average absolute deviations, the change rates of above-mentioned areas were calculated and the changing trend was estimated. Based on these comparison and analysis, the dynamics change of Wuliangsu Hai wetland was predicated and the results are as follows: the change rate of open water is 26.56%, and that of water plants and reed are -20.66% and -1.49% respectively, i. e. the area of open water will increase by 33.57 km², while the areas of water plants and reed will decrease by 21.02 km² and 4.92 km² respectively in 2012.

Key words: remote sensing; information extraction; wetland; monitoring; Wuliangsu Hai

湿地具有维持生态平衡、保持生物多样性和珍稀物种、蓄洪防旱、降解污染、调节气候等重要作用^[1]。目前,我国有 26% 的天然湿地面临环境污染的威胁^[2];富营养化程度加剧,造成水草的迅速生长和蔓延,因而加速了湖泊湿地向沼泽化转化的进程^[3]。为了准确及时的了解和分析湿地资源的现状和变化趋势、保护和恢复湿地资源和生态环境,国内外的研究人员应用遥感技术对湿地进行了大量的监

测和研究,如,利用基于形状的变化探测技术对湖泊变化进行探测^[4];通过开发基于知识的模型,对海岸带平原地区的湿地变化进行探测^[5];利用遥感影像对草地沙化及湿地萎缩进行动态遥感监测研究^[6];采用 TM 影像提取湿地面积和空间分布变化信息^[7];多遥感影像融合提取湿地变化信息定量反映湿地时空变化规律^[8]等。

但在湿地遥感监测中,通常是利用遥感影像产

生的湿地多点信息,捕捉湿地关键特征进行湿地类型的识别和区分,而对湿地退化及变化的趋势、动态过程及预测的监测和分析研究较少,加之多时相影像之间的匹配和融合算法较为复杂,会产生较大误差;因此,本文针对乌梁素海生态环境问题,利用乌梁素海地区9年同时期的TM/ETM+遥感数据,提取各年份乌梁素海地区湖面水域、芦苇、水草和农田的分布信息;利用统计学方法,通过计算各区域逐年的变化率值来分析其变化情况,采用绝对偏差的平均值算法计算变化率,估算各区域的面积变化,预测各区域的面积变化趋势及大小,以了解乌梁素海湿地因富营养化程度造成的各类型之间的演变规律和变化趋势。

1 研究区概况及数据获取

1.1 研究区概况

乌梁素海位于中国内蒙古自治区西部巴彦淖尔市乌拉特前旗境内,地处河套平原东端,湖区界于 $40^{\circ}36' \sim 41^{\circ}03'N$, $108^{\circ}43' \sim 108^{\circ}57'E$,是中国八大淡水湖之一。乌梁素海水域南北长 $35 \sim 40$ km,东西宽 $5 \sim 10$ km,湖岸线长 130 km;湖盆浅平,略由北向南倾斜,平均水深 0.9 m,最深处有 4 m,蓄水量约 2.6 亿 m^3 。乌梁素海主要由农田退水和城市生活用水进行补充,因而大量营养物质入湖,致使乌梁素海水面上植物生长面积不断扩大,水下生长成片水草,明显成为草型湖^[9],呈现湖泊快速老化趋势。

乌梁素海湖内主要区域为芦苇区、水草区和明水区;其中,芦苇(*Phragmites* sp.)生长迅速扩张,包括密集生长区和稀疏区,产量稳定在 10^5 t左右^[10];水草区也包括密集水草区、稀疏水草区,水草主要有眼子菜(*Potamogeton distinctus* A. Bennett)、狐尾藻(*Myriophyllum* sp.)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum* L.)等,水草成片生长扩张;湖周边为农田。乌梁素海总氮、总磷、氨氮和化学耗氧量常年处于超标状态,湖内生态环境质量发生很大变化:湖内植物种类明显减少,芦苇生长漫延,面积不断扩大^[11];沉水植物大量繁殖,几乎遍布全湖。

近年来,当地各级政府和有关单位采取多项措施加强乌梁素海湿地生态保护管理,并通过生态补水、保护、科研、监测、宣教和基础设施建设等工程的实施,使乌梁素海湿地生态系统局部得以恢复,通过综合治理,乌梁素海水域面积有所增加,水草蔓延和

芦苇长势迅速的情况有所改善,整个湖区开阔水域和水质都有明显好转。

1.2 遥感数据获取

本文采用乌梁素海地区TM/ETM+遥感影像。由于2003年5月Landsat-7 ETM+机载扫描行校正器(Scan Lines Corrector, SLC)发生故障,使获取的图像数据重叠,约25%的数据丢失,需要采用SLC-off模型校正处理。因此,本文采用的乌梁素海遥感影像中,2006年为TM影像数据,其余是经过SLC-off模型校正后的ETM+数据产品;全部遥感影像数据均由国际科学数据服务平台提供(<http://datamirror.csdb.cn/index.htm>)。影像经过处理及合成后,如图1所示(注:空白区域为农田区)。

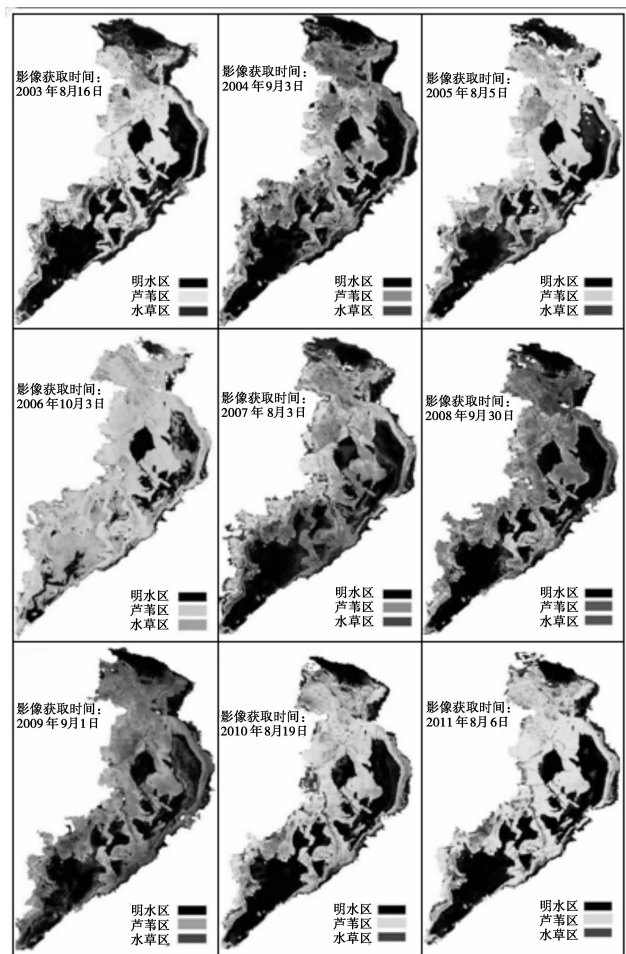


图1 乌梁素海TM/ETM+影像(R:4;G:SRI;B:1)

1.3 地面调查

地面调查分别于2011年8月8—12日、23—31日对乌梁素海地区进行了两次外业调查。根据该湖明水区、芦苇区、水草区的分布情况进行了定点调查。外业对乌梁素海沿岸地区的土壤性质、植被类

型和灌渠排干情况进行了调查。乌梁素海的水源主要来自于农田退水和城市污水,在湖的西边修有一座总排干渠,定时向乌梁素海湖内补水,是主要的补水渠;湖体周围芦苇生长茂盛,土壤多盐碱。

沿外业踏查路线,采用 GPS 定点,共选取 45 个点,沿岸分布 25 个点(L),湖面 20 个点(Y),样点情况如图 2 所示。

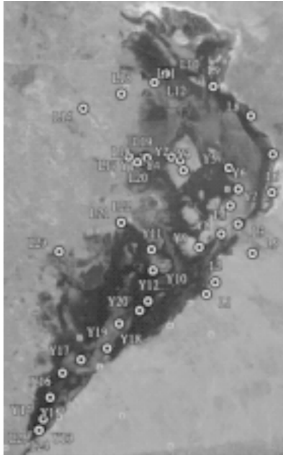


图 2 外业调查样点分布

在图 2 中的 45 个样点中,选择了 32 个点分别用于遥感影像分类和精度验证,其中,沿岸分布的样点为 14 个,湖区内的样点为 18 个,如表 1 所示。

表 1 遥感图像分类及精度验证的样点选择

样点选择	遥感影像分类		精度验证	
	沿岸样点	湖区样点	沿岸样点	湖区样点
1	L1	Y1	L3	Y2
2	L2	Y3	L6	Y4
3	L8	Y5	L9	Y6
4	L10	Y7	L12	Y8
5	L11	Y9	L20	Y12
6	L22	Y10	L21	Y15
7	L25	Y11	L24	Y18
8		Y16		Y19
9		Y17		Y20

表 1 中,将样点分为 2 类,一类用于影像分类,一类用于精度验证。对每个样点主要进行地物类别、植被类型及其分布的调查和确认;其中,2003—2007 年的地面类别划分参照了有关文献^[11-13],2008—2010 年地面类别划分参照乌梁素海湿地保护生态站提供的有关资料。

2 信息提取及精度分析

根据乌梁素海遥感影像的图像特征,从影像色

调、颜色、大小、形状等要素对影像进行识别和解译,建立乌梁素海遥感影像解译标志,结合影像时间、植被、水体特征等,进行信息提取。为此,本文采用具有明确针对性的标志,主要通过对乌梁素海水域面积、水草面积和芦苇面积的变化监测,分析说明变化的原因并进行预测。在 TM/ETM + 遥感影像上建立乌梁素海解译标志如表 2 所示。

表 2 遥感图像解译标志

判断标志	乌梁素海地区覆盖类型				
	水体	水草	芦苇	农田	其它
形状	边界清晰	线状、块状	边界清晰、块状	边界明显	不规则形状
色调	黑色	深绿、墨绿	浅绿、黄绿、棕红色	品红色、深红	白色、浅灰色
纹理	均匀、一致	粗糙	较粗	光滑	粗糙

2.1 提取模型

采用乌梁素海 9 年间的 TM/ETM + 影像,在已有的多光谱影像处理及分类方法的基础上^[14-20],研究并采用植被指数和波段组合的分类方法,对乌梁素海的明水区、芦苇区、水草区进行了信息提取。其中,2006 年 10 月,全国 24 个省(市、区)的平均气温为 1951 年以来历史同期最高,比常年同期偏高 2.1℃;2008 年入夏以来,气温持续升高,还曾导致在乌梁素海湖区内爆发了“黄苔”;由于气候变化,这两个时相的植被夏季生长期较长,物候稍有延迟,因此,本文采用的 2006 年 10 月 3 日和 2008 年 9 月 30 日的遥感影像,其植被还处于生长期,可以与其它夏季影像采用相同的植被信息增强方式。

可见光红波段(R)与近红外波段(NIR)对绿色植物的光谱响应明显不同,两者之间将其进行简单的数值比值(RVI)能充分表达两种反射率之间的差异^[21],是绿色植物的一个灵敏指示参数,因而有利于本文对芦苇和藻类水草的信息提取。本文首先计算 TM/ETM + 影像的比值指数,其中,NIR 选取第 4 波段的影像(0.76 ~ 0.90 μm),R 选取第 3 波段的影像(0.63 ~ 0.69 μm);计算的简单比值指数用 SRI 表示,其公式为:

$$SRI = \frac{DN(TM/ETM +)_{band4}}{DN(TM/ETM +)_{band3}} \quad (1)$$

式中:SRI:简单比值植被指数;

DN(TM/ETM +):TM、ETM + 影像的灰度值;

band3/4:TM、ETM + 影像的第 3、4 波段。

TM/ETM + 数据的第1波段为蓝光波段,波长为 $0.45 \sim 0.52 \mu\text{m}$,可穿透水体,有利于分辨土壤、植被等信息,因此,将第4波段影像、SRI影像和第1波段影像进行RGB组合,即:

$$RGB = (TM/ETM +)_{\text{band4}} + SRI + (TM/ETM +)_{\text{band1}} \quad (2)$$

组合后的影像突出了植被区和明水区的信息,本文采用马氏距离法对所有影像进行信息提取。马氏距离是计算输入图像到各训练样本的协方差距离^[22],它是计算两个未知样本集相似度的一种有效方法,当协方差距离最小的,即为一类。两个样品之间的马氏距离为:

$$d_{ij}^2(M) = (X_i - X_j)' \sum^{-1} (X_i - X_j) \quad (3)$$

其中: X_i 为样品的 p 个指标组成的向量,即原始资料阵的第 i 行向量;样品 X_j 也类似;样品(X)到总体(G)的马氏距离定义为:

$$d^2(X, G) = (X - \mu)' \sum^{-1} (X - \mu) \quad (4)$$

式中: μ :为总体的均值向量; \sum :为协方差阵。

马氏距离法既排除了各指标之间相关性的干扰,又不受各指标量纲的影响;如果将原数据作一个线性交换后,其马氏距离仍保持不变,即,由标准化数据和中心化数据(原始数据与均值之差)计算出的二点之间的马氏距离相等。

2.2 提取结果

根据建立的解译标志,采用马氏距离法对乌梁素海的RGB组合影像进行分类。本文截取了遥感影像上乌梁素海区域(包括周边农田)的面积约为 913 km^2 ,其中乌梁素海湖区的面积约为 293 km^2 ,影像分类后水体区域和水草区域全部分布在乌梁素海湖区内,而芦苇区则包含湖区内的芦苇面积和周边农田空地、干地、岸边的芦苇面积。

分类后的影像处理主要进行相似或相同类别的合并:

(1)将乌梁素海湖区内生长密集的芦苇区域、生长稀疏的芦苇区域、人工栽种的芦苇区域都归并为芦苇的区域;

(2)将密集生长和稀疏生长的水草归为水草区域,其中,不同种类的水草也归为水草类;

(3)乌梁素海湖区周边的地区主要是农田,还有沟渠、干地,在分类后的影像上都归为农田;在周边农田中生长的芦苇,通过分类后面积的统计和计算,农田区域的芦苇面积约占影像区芦苇总面积的

30%;分类后影像将农田区域的芦苇归为农田区域。为了突出乌梁素海湖区的变化,在分类影像上将农田的区域用白色表示。

基于上述方法,提取乌梁素海地区的水体、芦苇、水草和农田的分布信息,结果如图3所示。

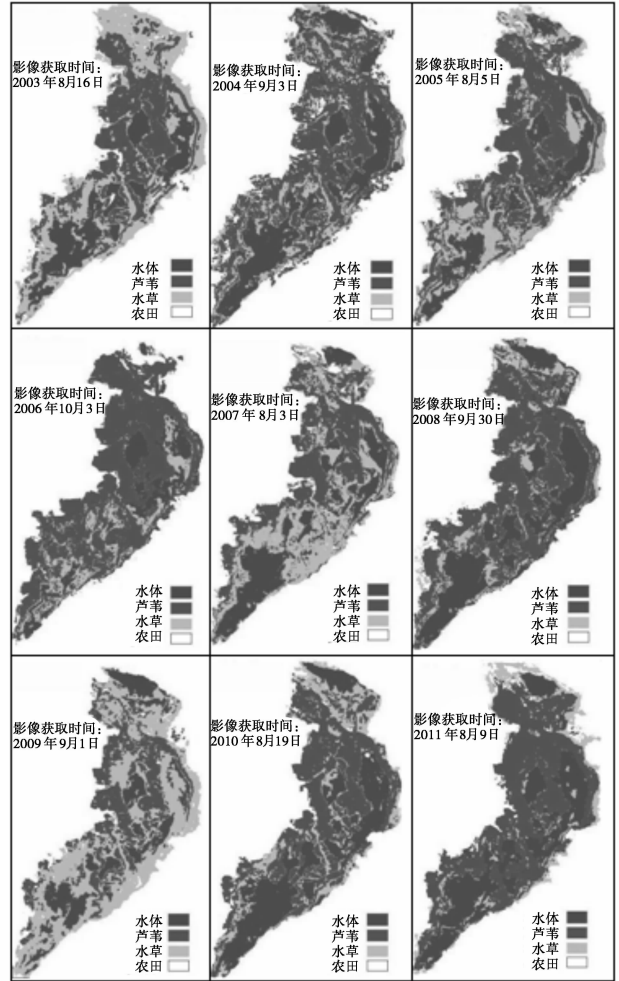


图3 2003—2011年间乌梁素海遥感影像分类

2.3 精度分析

针对上述不同年份乌梁素海影像的分类结果图,利用遥感软件的精度评价工具,采用“混淆矩阵”的评价方法进行分类精度的验证,即将地面用于精度验证的样点,定位到分类后影像中,在影像上选取4类典型训练样本,该训练样本为试验区主要分类类型,计算各样本间的可分离性,用 Jeffries-Matusita 参数表示;当参数值在 $0 \sim 2.0$ 之间,并大于 1.9 时,说明样本之间可分离性好,属于合格样本,小于 1.8 时,需重新选择样本,小于 1 时,则可将两类样本合并为一类;然后利用 ENVI 软件对分类代码自动匹配进行验证,得到分类影像的总体分类精

度,并计算 Kappa 系数:

$$\text{总体分类精度} = \frac{\text{被正确分类的像元}}{\text{总像元}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{Kappa 系数} = \frac{N \sum_k X_{kk} - \sum_k X_{k\Sigma} X_{\Sigma k}}{N^2 - \sum_k X_{k\Sigma} X_{\Sigma k}} \quad (6)$$

通过对 9 个年份的影像分类结果分别进行混淆矩阵的评价,得到总体分类精度,并计算出各分类影像的 Kappa 系数,再将结果进行汇总,见表 3。

表 3 各年份影像分类精度汇总

影像获取时间	总体分类精度/%	Kappa 系数
2003-08-16	85.93	0.811 4
2004-09-03	90.55	0.863 9
2005-08-05	91.21	0.882 0
2006-10-03	98.00	0.971 7
2007-08-03	92.32	0.896 3
2008-09-30	88.01	0.841 3
2009-09-01	93.80	0.915 9
2010-08-19	84.17	0.780 0
2011-08-03	95.06	0.915 8

由表 3 分类精度的统计结果可知,采用马氏距离法对 RGB 合成影像(R:4;G:比值指数 RSI;B:1)进行分类,其平均分类精度为 91%,能够较好的将乌梁素海的明水区、芦苇区和水草区信息提取出来,为进一步检测和分析这些区域的动态变化提供了遥感数据基础。

3 动态变化监测与预测

3.1 动态变化监测

对各年份的乌梁素海分类后影像进行动态变化监测统计:先将 2003 年的分类影像作为初始影像,再将 2004 年的分类影像作为期末影像,相同类别进行互相关联,开始变化统计计算;通过比较两个时相影像的分类结果,获得变化类型、变化面积、变化的百分比(变化率)的值。

按照上述不同时相的动态变化统计计算方法,依次将本年度的影像与上一年度影像的分类结果进行变化检测,得到乌梁素海 9 年遥感影像分类结果的变化统计值,如表 4 所示。

表 4 中,芦苇的面积为湖体内的芦苇区域和遥感影像范围内湖体之外的芦苇区域,包括生长在农田间隙、其它干地、湖岸周边的芦苇群。

表 4 不同年份乌梁素海各区域变化监测统计结果

年份	明水区域		水草区域		芦苇区域	
	面积 /km ²	变化率 /%	面积 /km ²	变化率 /%	面积 /km ²	变化率 /%
2003	96.25	0	141.23	0	212.55	0
2004	148.96	54.79	92.93	-34.2	220.2	3.6
2005	79.79	-46.23	114.81	23.64	223.06	1.59
2006	94.12	18.11	55.13	-51.45	251.91	13.96
2007	92.68	-0.93	129.36	134.84	207.55	-17.65
2008	140.48	51.58	84.68	-34.33	89.05	-57.92
2009	100.45	-28.48	154.03	81.89	190.87	113.67
2010	119.22	18.67	75.32	-51.1	183.96	-3.71
2011	120.06	0.7	101.54	35.17	237.43	29.57

注:本年变化率(%)=(本年类型面积-上年类型面积)/上年类型面积 × 100%;

变化率为正:表明区域面积增加;变化率为“-”:表明区域面积减少

3.2 变化预测

本文采用一组数据点到其算术平均值的绝对偏差的平均值方法,进行变化率的统计概算。设 N1, N2, … 是用于计算绝对偏差平均值的一组参数,参数的个数可以有 1 到 255 个,也可以用单一数组(即对数组区域的引用)代替用逗号分隔的参数;平均偏差的公式为:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum |x - \bar{x}| \quad (5)$$

式中,n:数据的个数;x:算数平均值; \bar{x} :偏差。

将表 4 中的数据代入公式 5 进行计算,结果如表 5 所示。

表 5 乌梁素海各区域变化预测结果

2012 年	明水区	水草区	芦苇区
变化率/%	26.56	-20.66	-1.94
预测面积/km ²	153.63	80.52	232.51

利用该方法对 2011 年各类型的平均变化率进行预测值的验算,如表 6 所示。

表 6 乌梁素海 2011 年各类型变化预测结果验证

2011 年	明水区	水草区	芦苇区
平均变化率/%	9.685	43.135	16.64
模型预测变化率/%	9.412	48.238	22.464
误差率/%	2.82	11.83	35.01
平均误差率/%	16.55		

注:误差率(%)=(模型预测的变化率-平均变化率)/平均变化率 × 100%。

根据表 6 对 2011 年度各类型的预测结果,检验了该模型预测的平均误差率为 16.55%。根据表 5

计算结果,对乌梁素海各类型的面积变化率、变化面积及其预测结果如图4、图5所示。

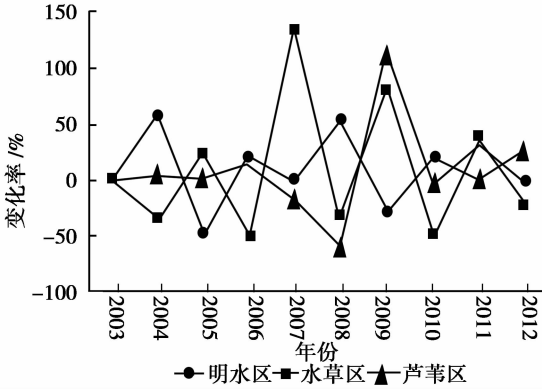


图4 乌梁素海各类型面积变化率及预测

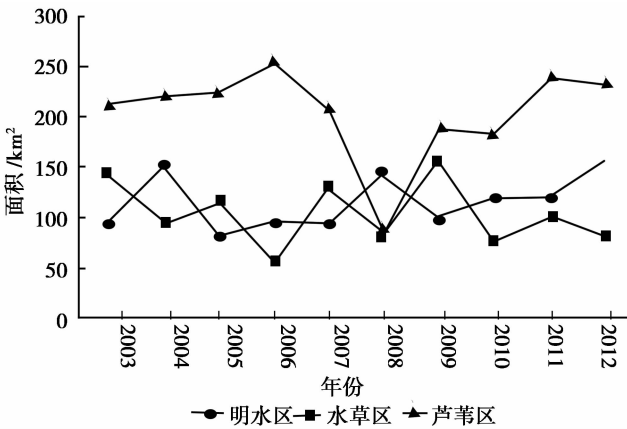


图5 乌梁素海各类型变化面积及预测

4 结论与讨论

通过对乌梁素海地区2003年到2011年间的TM/ETM+影像分类结果进行变化检测统计计算,可以了解这9年间乌梁素海地区水体面积、芦苇区域、水草分布面积的变化情况;根据对各年份不同类型面积变化及转化的计算与分析,预测了乌梁素海地区未来各类型区域变化的趋势和变化的程度。

将检测统计和变化率预测结果进行变化率绝对平均值的计算,再计算其对数值,可以得到变化率的趋势曲线,该曲线显示了乌梁素海在10年间湖水区域的面积、水草的分布范围及芦苇生长面积的变化及其变化趋势,以及各类型之间的变化关系,如图6所示。

由图6可见,乌梁素海各类型变化幅度由大到小排列为:水草面积、芦苇面积、水体面积。

其中,水草和明水的面积变化表现出互为增减,两者互为转化的特点:当水草长势减弱、蔓延速度降

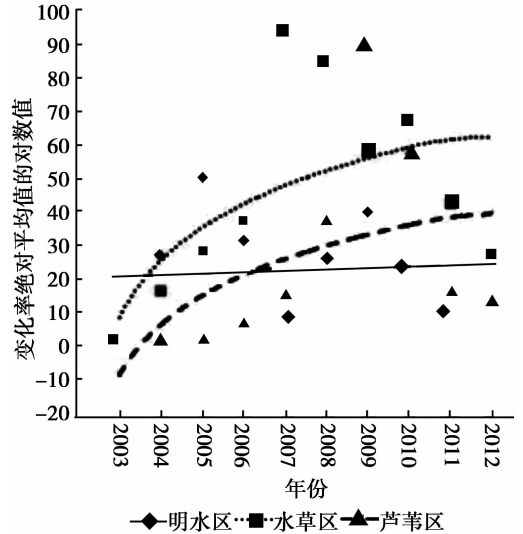


图6 乌梁素海各类型面积变化率的趋势

低时,水草区域明显减少,减少的区域呈现为明水区域,表现为明水的面积相应增加;然而,乌梁素海湖区水域的面积是稳定的,随着水草大量的生长蔓延,占据了明水区域,则表现为明水区域的面积缩减。

由此,乌梁素海湿地动态变化规律及变化趋势有以下几方面:

(1) 乌梁素海湖区内明水面的面积平均变化率最小,在10年间保持相对稳定的状态;湖区内明水面的面积预计在2012年达到153.63 km²,比2011年增加33.57 km²。

(2) 芦苇面积的平均变化率在整个研究期内呈现增长趋势;根据计算结果显示,2012年芦苇的面积约为232.51 km²(注:包括影像区域内周边农田和空地上生长的密集和稀疏的芦苇区,大约占总体芦苇区域的30%;),该面积比2011年减少了4.93 km²,变化率为-1.94%;其中,乌梁素海湖区内的芦苇面积将减少3.45 km²。

(3) 湖泊内富营养物质的不断富集,加速水草生长蔓延,使得水草区域的面积平均变化率在10年内呈现明显上升趋势,2008年开始对乌梁素海湿地实施了保护和管理措施,使得水草的生长和蔓延得到抑制,到2010年趋于平缓;预计2012年水草面积为80.52 km²,水草面积的变化率是-20.66%,面积将减少21.02 km²。

(4) 在整个研究期内,水草和芦苇区域的平均面积变化率均为上升趋势;2004年之前,水草面积的增长速率大于芦苇面积的增长;2005—2010年间,两者面积的增长速率大致相同,但水草面积的平均

均变化率要大于芦苇面积的平均变化率;2010年之后,两者都相对趋于平稳状态。

乌梁素海是典型的中温带干旱和半干旱区草型湖泊,对各类型区面积的动态变化特征及其相互对应关系进行检测和分析,可以为湖泊水污染控制和富营养化治理提供技术支持,同时为保护湖泊湿地资源、合理开发、永续利用、科学治理和管理提供科学依据。

参考文献:

- [1] 陆健健,何文珊,童春富,等. 湿地生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2006:208-215
- [2] 白冰. 我国湿地保护面临六大威胁[J]. 环境经济,2005(3):59
- [3] 于瑞宏,李畅游,刘廷玺,等. 乌梁素海湿地环境的演变[J]. 地理学报,2004,59(6):948-955
- [4] Li J, Narayanan R M. A Shape-based approach to change detection of lakes using time series remote sensing image[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(11):2466-2477
- [5] Houhoulis P F, Michener W K. Detecting wetland change: A rule-based approach using NWI and SPOT-XS data [J]. Photogram Metric Engineering and Remote Sensing,2000,66(2):205-211
- [6] 雍国玮,石承苍,邱鹏飞. 川西北高原若尔盖草地沙化及湿地萎缩动态遥感监测[J]. 山地学报,2003,21(6):758-762
- [7] 刘凯,黎夏,王树功,等. 珠江口近20年红树林湿地的遥感动态监测[J]. 热带地理,2005,25(2):111-116
- [8] 韩芳,李兴华,高拉云. 内蒙古达里若尔湖泊湿地动态的遥感监测[J]. 内蒙古农业大学学报,2007,28(1):74-78
- [9] 孙鑫鑫,刘惠荣,冯福应,等. 乌梁素海富营养化湖区浮游细菌多样性及系统发育分析[J]. 生物多样性,2009,17(5):490-498
- [10] 段晓男,王效科,郭玉华,等. 乌梁素海芦苇资源演变及影响因素分析[J]. 干旱区资源与环境,2006,20(3):175-179
- [11] 吕昌伟,何江,王冰,等. 近30年来乌梁素海湿地各类型区演变趋势分析[C]. 2008年中国水环境污染控制与生态修复技术学术研讨会论文集,广州,2008
- [12] 曹杨,尚士友,吴利斌,等. 乌梁素海湿地类型信息提取及其时空演化研究[J]. 人民黄河,2010,32(4):12-14
- [13] 于瑞宏,许有鹏,刘廷玺,等. 应用多光谱遥感信息反演干旱区浅水湖泊水深[J]. 水科学进展,2009,20(1):111-117
- [14] 牛明香,赵庚星. 南四湖区湿地信息遥感提取技术研究[J]. 国土与自然资源研究,2004(1):51-53
- [15] 张翊涛,陈洋,王润生. 结合自动分区与分层分析的多光谱遥感图像地物分类方法[J]. 遥感技术与应用,2005,20(3):322-327
- [16] 张红,舒宁,刘刚. 多时相组合分类法在土地利用动态监测中的应用[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2005,30(2):131-134
- [17] Shalaby A, Tateishi R. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land-cover and land-use changes in the Northwestern Coastal Zone of Egypt[J]. Applied Geography,2007,27:28-41
- [18] Duca R, Del Frate F. Multitemporal and multiangular analysis using the corrected images over the area of Pantano (Rome), Tor Vergata and Frascati [C]. 4th ESA CHRIS PROBA Workshop ESA-ESRIN, Frascati, 2006
- [19] 李旭英,尚士友,倪志华,等. 内蒙古乌梁素海湿地演化遥感动态分析研究[J]. 内蒙古农业大学学报,2005,26(1):27-29
- [20] 任春涛,李畅游,全占军,等. 基于GIS的乌梁素海水体富营养化状况的模式识别模式[J]. 环境科学研究,2007,20(3):68-74
- [21] 赵英时. 遥感应应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003
- [22] 童庆禧,张兵,郑兰芬. 高光谱遥感原理、技术与应用[M]. 北京:高等教育出版社,2006