

# 缨帽变换在抚仙湖水面变化分析中的应用

石振杰<sup>1,2</sup>, 温兴平<sup>1,2\*</sup>, 马威<sup>1,2</sup>, 沈攀<sup>1,2</sup>

(昆明理工大学国土资源工程学院, 云南昆明 650093; 2. 云南省矿产资源预测评价工程实验室, 云南昆明 650093)

**摘要** 为了获得近 15 年抚仙湖水面面积变化情况及其影响因素, 基于 2000~2015 年长时间序列 Landsat ETM+ 和 OLI 共 5 景遥感影像, 利用缨帽变换及密度分割技术快速准确地提取了云南省抚仙湖水体信息, 自动绘制矢量边界, 并结合研究区年平均气温及降水量资料, 分析了抚仙湖水面变化的影响因素。通过 ETM+ 和 OLI 传感器参数、各波段灰度直方图对比研究以及实际运用发现, 缨帽变换图像处理技术应用于 OLI 影像具有可行性, 提取水体信息效果良好; 2000 年以来抚仙湖水面面积总体缩小明显, 且与该区年平均气温、年降水量变化趋势一致。总体说明气候因子对抚仙湖水面变化影响较大, 两者之间关系显著; 2015 年抚仙湖面积有所增加, 反映了云南旱情状况有所减轻。

**关键词** 抚仙湖; 遥感影像; 缨帽变换; 密度分割; 面积变化

**中图分类号** S127; TP79; P343.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)25-352-04

## Application of Tasseled Cap Transformation in Fuxian Lake Area Changes Analysis

SHI Zhen-jie<sup>1,2</sup>, WEN Xing-ping<sup>1,2\*</sup>, MA Wei<sup>1,2</sup> et al (1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093; 2. Mineral Resources Prediction and Evaluation Engineering Laboratory of Yunnan Province, Kunming, Yunnan 650093)

**Abstract** To analyze the Fuxian Lake area variations and the factors of these changes during recent 15 years period, Landsat ETM+ and OLI imageries from 2000 to 2015 were used to extract water body and boundary information and the factors were discussed with climate data in the area. Through the sensor parameter and each bands gray histogram comparison of OLI and ETM+ and practical application found that tasselled cap transformation image processing used in OLI image is feasible and extracted water body information works well; The Fuxian Lake area had decreased distinctly since 2000, and was consistent with the annual mean temperature and annual precipitation trends. As a whole, climate had great influence on the changes of lake area; Increased of Fuxian Lake area in 2015 reflected that the drought situation in Yunnan was relieved.

**Key words** Fuxian Lake; Remote sensing image; Tasselled cap transformation; Density slice; Lake area changes

湖泊萎缩, 是人类面临的重要湖泊环境问题之一。遥感技术因其覆盖面广、实时性和动态性等特点被广泛用于湖泊的动态变化监测及影响因素研究, 对于水资源合理配置与开发、湖泊水域生态保护、灾害监测与评估等具有重要的指导意义。光学遥感水体自动提取技术主要依据在可见光和近红外波段内水体与其他地物的光谱反射差异, 常用的方法有单波段阈值法、谱间关系法、波段运算等, 其中比值法、差值法、水体指数法等应用较多, 且在不断改进。如 McFeeters S K<sup>[1]</sup> 和 Gao B C<sup>[2]</sup> 提出的归一化差异水体指数 (NDWI), 徐涵秋<sup>[3]</sup>、曹荣龙等<sup>[4]</sup> 分别进行改进的水体指数 (MNDWI、RNDWI)。K-T 变换 (缨帽变换), 是 Kauth 等于 1976 年提出的一种线性变换, 它使坐标空间发生旋转, 旋转后的坐标轴指向与植物生长过程及土壤有密切关系的方向; 该方法主要集中在 MSS、TM 和 ETM+ 等遥感数据在农业方面的应用, 变换后第三分量湿度 (Wetness) 也能很好地提取水体信息<sup>[5]</sup>。

湖泊水域面积的长时间序列变化能够反映气候变化状况, 特别是内陆湖或较封闭的湖泊, 对于区域气候变化尤为敏感<sup>[6-9]</sup>。抚仙湖是我国少有的 I 类水质大型湖泊, 社会经济的快速发展、人类活动不合理开发给抚仙湖水域生态环境带来巨大压力, 水质也面临恶化的局面。关于抚仙湖的研究主要集中于生物多样性<sup>[10]</sup> 和水质变化<sup>[11-12]</sup> 等问题, 对抚仙湖

面积、水量变化等研究相对较少。自 2010 年云南大旱以来, 全省降水量减少, 地表径流、库存等水资源量较往年下降很多, 各湖泊也有不同程度萎缩, 受到广泛关注。抚仙湖面积广、储量大、水质优良, 在云南省水资源利用中占有重要地位, 尤其在近几年旱情持续背景下, 利用遥感技术对抚仙湖的面积变化, 以及与气候相关关系研究, 对于了解区域气候变化及云南旱情发展状况具有重要意义。

笔者利用 Landsat ETM+ 和 OLI 影像数据, 基于缨帽变换后第三波段图像进行密度分割提取抚仙湖水面边界, 总结了 2000~2015 年抚仙湖水面面积变化特征, 并结合研究区气候资料分析水面面积变化与气候变化的相关性, 反映湖泊与气候的响应关系, 以期探讨抚仙湖水面变化的原因。

## 1 研究区概况及数据获取

抚仙湖位于云南省澄江、江川和华宁县之间 (图 1), 属珠江流域南盘江水系, 湖面面积约为 212 km<sup>2</sup>, 平均水深 87 m, 总容积为 185 亿 m<sup>3</sup>, 占云南 9 省大高原湖泊总蓄水量的 72.8%。2007 年底星云湖—抚仙湖出流改道工程建成, 抚仙湖东面唯一的出水口——海口河也被封住, 湖水开始倒流入星云湖。因此抚仙湖水源主要靠降水补给, 与当地气候关系密切, 其水资源的合理开发利用和环境保护更成为社会关注的热点和焦点。

该研究以 2000~2015 年抚仙湖水面面积变化为对象, 利用的影像数据有: 2000、2005、2011 年的 ETM+ 影像和 2014、2015 年的 OLI 影像。考虑到夏季是主汛期, 流域内农业取水量和湖面蒸发量大, 入湖水量和湖面变化波动较大, 年际间的可比性不高; 而春秋属于湖泊平水期, 人类活动

**基金项目** 国家自然科学基金项目 (41101343); 云南省高新技术产业发展项目。

**作者简介** 石振杰 (1991-), 男, 河南安阳人, 硕士研究生, 研究方向: 遥感地质。\* 通讯作者, 教授, 博士, 博士生导师, 从事遥感地质研究。

**收稿日期** 2015-07-08

干扰较少,可以减少由于气候或人类活动造成的径流突变误差<sup>[8]</sup>。因此所选数据时相都集中在3、4月份,研究区云量为0,便于湖泊信息的提取和年际面积变化特征对比。经过裁剪和几何校正等预处理最终获取5景遥感影像。澄江、江川、华宁3县的历年气候资料(年平均气温、年降水量)来自2001~2014年《云南统计年鉴》<sup>[13]</sup>及玉溪气象网站<sup>[14]</sup>。

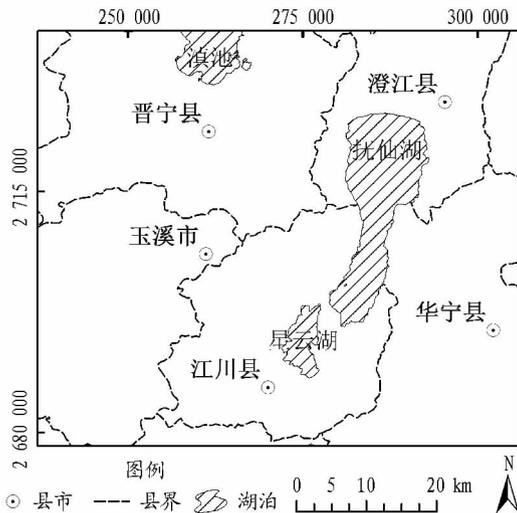


图1 抚仙湖地理位置

## 2 研究方法

缨帽变换(K-T变换)是一种经验性的线性变换图像处理方法,可以将光谱空间变换到几个有物理意义的方向上去,组成新的特征空间。变换公式如下<sup>[5]</sup>:

$$Y = BX \quad (1)$$

式中, $X$ 为变换前多光谱空间的像元矢量; $Y$ 为变换后的新坐标空间的像元矢量; $B$ 为变换矩阵。缨帽变换主要针对广泛使用的MSS、TM和ETM+数据,变换后输出的亮度(Brightness)、绿色(Greenness)和湿度(Wetness)分量包含了地表大多数的土壤、植被和湿度信息,且相互独立,地物特征明显,能够很好地分离植被、土壤和水分信息。此次主要利用ETM+数据变换输出的第三组分湿度将水体与其他地物区分的特点,通过假彩色密度分割,人工调整阈值以完整精确地提取水体信息。密度分割彩图可直观地显示出抚仙湖水域分布范围,湖面边界特别清晰,利于计算机自动提取,也便于后续各年份湖泊面积计算和边界叠加对比研究。

因较新的Landsat8 OLI传感器目前还没有广泛认可的缨帽变换系数进行计算处理,发现OLI b2~b7和ETM+b1

$$\begin{cases} \text{亮度} = 0.356 1OLI_2 + 0.397 2OLI_3 + 0.390 4OLI_4 + 0.696 6OLI_5 + 0.228 6OLI_6 + 0.159 6OLI_7 \\ \text{绿色} = -0.334 4OLI_2 - 0.354 4OLI_3 - 0.455 6OLI_4 + 0.696 6OLI_5 - 0.024 2OLI_6 - 0.263 0OLI_7 \\ \text{湿度} = 0.262 6OLI_2 + 0.214 1OLI_3 + 0.092 6OLI_4 + 0.065 6OLI_5 - 0.762 9OLI_6 - 0.538 8OLI_7 \end{cases} \quad (2)$$

## 3 湖泊水面变化及影响因子分析

**3.1 面积及边界变化** 此次研究仅限于抚仙湖湖面面积动态变化,经计算,去除湖泊周围小范围水体,保留最大面积的湖面边界,统计各年份湖面面积。图3显示,2000~2015年抚仙湖湖面面积总体呈缩小趋势,2000~2005年面积减小程度较大,之后趋于稳定;2011~2014年又出现较大幅度下降

-b7(b6除外)波段范围相似(表1),空间分辨率都为30m;ETM+的辐射分辨率为8bit,灰度区间为0~255,而OLI为12bit,灰度区间为0~65535,将抚仙湖OLI(2014年)影像b2~b7进行波段运算,分别比上256进行灰度降级,然后合成新的影像与ETM+(2000年)影像置于同一辐射分辨率(8bit)下对灰度值的像元分布进行对比研究。

表1 OLI与ETM+传感器参数对比

	序号	波段// $\mu\text{m}$	空间分辨率//m
OLI	b2 Blue	0.450~0.515	30
	b3 Green	0.525~0.600	30
	b4 Red	0.630~0.680	30
	b5 NIR	0.845~0.885	30
	b6 SWIR1	1.560~1.660	30
	b7 SWIR2	2.100~2.300	30
	ETM+	b1 Blue	0.45~0.52
b2 Green		0.52~0.60	30
b3 Red		0.63~0.69	30
b4 NIR		0.76~0.90	30
b5 SWIR1		1.55~1.75	30
b7 SWIR2		2.09~2.35	30

通过计算机统计ETM+和OLI影像各波段的灰度级别及像元分布,得出灰度-像元直方图(图2)。其中横坐标为灰度值(0~255),纵坐标为各灰度值的像元个数,即出现的频度。如图2显示,ETM+图像的灰度级别覆盖范围为0~255,各波段之间的灰度值、像元个数差异较明显;OLI图像灰度级覆盖范围较小,主要分布范围为20~100,因此各波段的灰度值、像元分布相对集中,但仍可区分。经对比研究,OLI各波段的灰度分布曲线与ETM+对应的波段灰度分布曲线形态相似,如OLI b2与ETM+b1灰度分布曲线皆呈单峰式正态分布,OLI b3~b7灰度曲线近似双峰式正态分布,与ETM+相应各波段曲线形态一致,且偏度接近。可知OLI b2~b7与ETM+b1~b7(b6除外)波段范围接近,而且各波段的灰度值分布形式相似,分析表明可利用ETM+变换矩阵计算OLI图像缨帽变换像元矢量,即把ETM+缨帽变换模型应用于OLI图像变换处理。变换输出后,同样生成有亮度、绿色和湿度等分量,表示为公式(2),其系数为ETM+缨帽变换系数<sup>[15]</sup>。对2014、2015年抚仙湖影像缨帽变换处理后,其第三分量湿度图像通过密度分割及阈值调整,水体信息提取效果良好,可作为湖泊面积监测数据。

趋势,直至2015年才有所增加,但仍未达到2011年以前的面积大小。

为了直观地显示抚仙湖边缘空间变化情况,将各年份湖泊边界进行叠加分析,结果见图4。如图4所示,2005年湖泊面积较2000年缩小较多,主要集中在抚仙湖北部和东北部,以东北部减小尤为明显。经资料分析及调查发现,该区域分

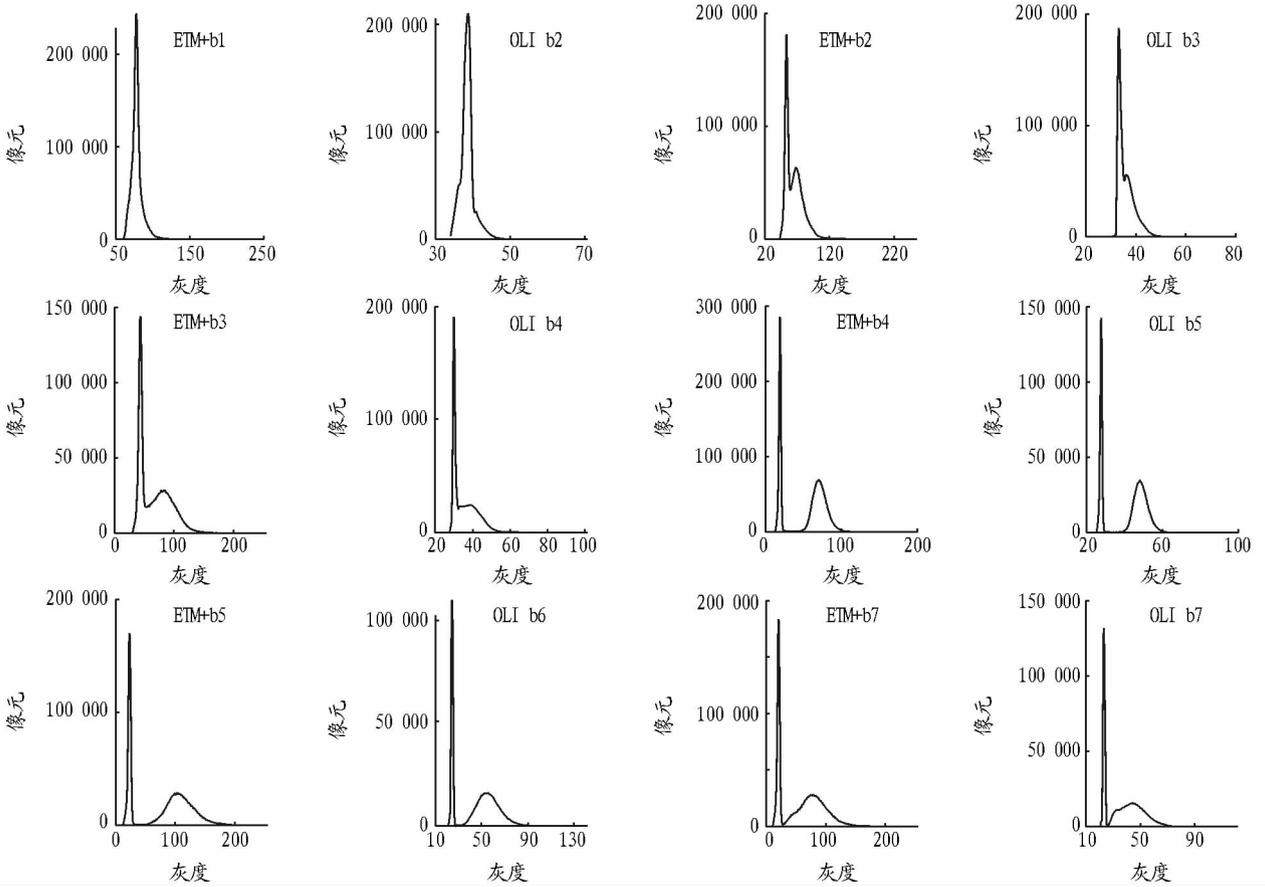


图2 ETM+与OLI影像各波段灰度直方图

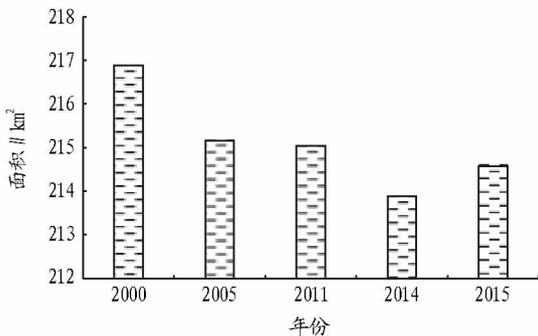


图3 抚仙湖面积变化

布的酒店、娱乐场所等人工设施较多,应是人为开发建设等因素导致湖泊局部萎缩。2014年湖泊边界总体比2011年缩小较均匀,表明因气候原因湖泊水量减少,水位下降,导致面积减小。2015较2014年有所增加,局部扩张明显,经2014年底至2015年气象资料研究,该段时间较同期降水增多,致使湖泊水量增大;而且近几年对于抚仙湖水域开发利用和保护尤为重视,人为活动影响较少,产生了一定的效用。

**3.2 气候影响因子** 湖泊水域对气候变化较为敏感,合理分析湖泊与气候变化的相关性,是探讨湖泊面积变化的良好途径。抚仙湖由于面积较大,蒸发作用强烈,多半入湖水量会被蒸发掉,因此研究抚仙湖面积变化气候影响因子具有重要意义。该研究中气候影响因子主要为气温和降水,统计2000~2014年澄江、江川、华宁3县的年平均气温和降水量

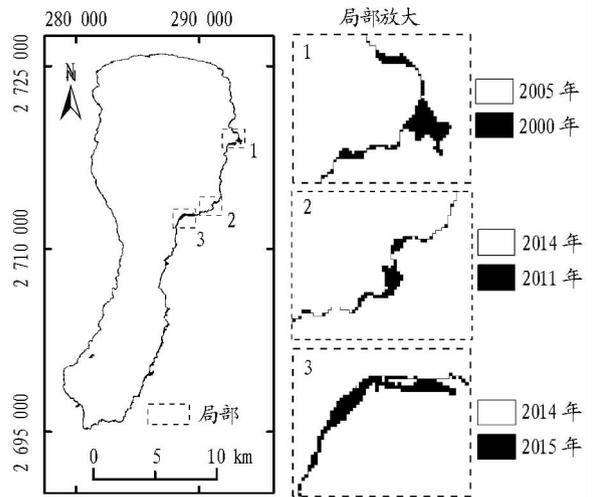


图4 抚仙湖年际边界对比

的平均值作为研究区气温和降水指标,并用距平曲线表示,分析抚仙湖面积变化与气温、降水的相关关系,结果见图5。

如图5a所示,抚仙湖地区年平均气温变化总体呈上升趋势,2002~2003年与2006~2009年气温变化波动较大,之后趋于稳定,2014年略有下降;趋势线方程斜率大于0,说明气温逐年上升,增暖比较明显。图5b显示,湖区年降水量变化呈下降趋势,2002~2003年与2006~2009年以及2014年变化波动较大,其他年份较平稳;趋势线方程斜率小于0,表明降水量近十几年来逐年减少,尤其是2009~2013年为历

年最低,2014 年增幅较大。

研究发现,抚仙湖面积与年平均气温及降水量相关性较显著,气温升高引起蒸发加速,降水量下降直接导致水量减少、水位降低;可见抚仙湖水面不断缩小,与逐年上升的气温呈负相关,与逐年减少的降水量呈正相关。尤其是自 2011 年以来面积缩小明显,这与 2010 年持续至今的云南大旱有

着直接的关系。云南大旱降水量减少,工农业用水紧张,抚仙湖入湖水量不能满足蒸发和人类活动的正常需要,甚至水位下降至近 10 年来最低。据气象资料,2014 ~ 2015 年 1 月降水偏多,这与抚仙湖 2015 年面积增大情况具有良好的一致性,可见云南旱情有所缓解,但仍须重视水资源合理利用及保护问题。

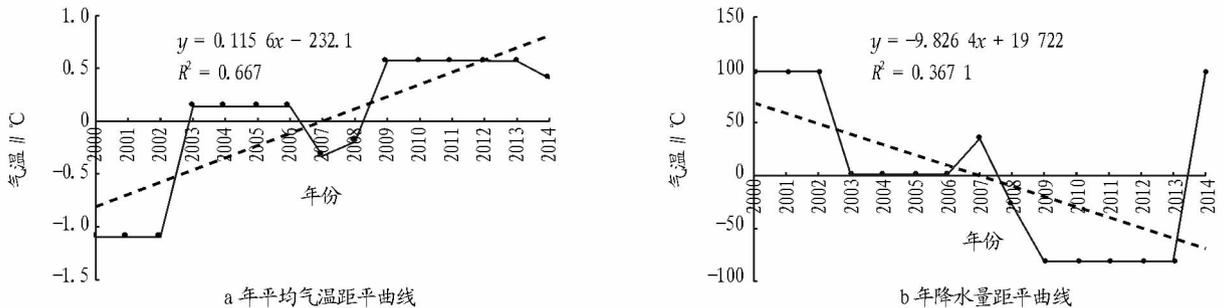


图 5 2000 ~ 2014 年抚仙湖地区年平均气温和年降水量距平曲线

#### 4 结语

通过对 ETM + 和 OLI 遥感影像进行缨帽变换及密度分割处理,可以完整准确地提取水体信息,效果良好。经统计,2000 ~ 2014 年抚仙湖水面面积总体在缩小,直至 2015 年才有所增大,并且与研究区年平均气温、年降水量变化趋势一致,说明抚仙湖水面逐年萎缩与气温、降水有着显著的关系,尤其是近几年云南省大旱对抚仙湖水域面积影响较大;2015 年抚仙湖面积增大反映了降水增多、旱情缓解的气候变化状况,也论证了湖泊对于气候变化的敏感性。综合表明,气候因子对抚仙湖水面面积变化影响较大,但人类活动影响也不容忽视;利用遥感技术进行水域面积监测对湖泊合理开发利用、环境保护等具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] MCFEETERS S K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features [J]. *International journal of remote sensing*, 1996, 17(7): 1425 - 1432.
- [2] GAO B C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space [J]. *Remote sensing of environment*, 1996, 58: 257 - 266.
- [3] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数 (MNDWI) 提取水体信息的

- 研究[J]. *遥感学报*, 2005, 9(5): 589 - 595.
- [4] 曹荣龙, 李存军, 刘良云, 等. 基于水体指数的密云水库面积提取及变化监测[J]. *测绘科学*, 2008, 33(2): 158 - 160.
- [5] 张景奇, 关威, 孙萍, 等. 基于 K-T 变换的地表水体信息遥感自动提取模型[J]. *中国水土保持科学*, 2011, 9(3): 88 - 92.
- [6] 黄金龙, 陶辉, 王艳君, 等. 基于 MODIS 遥感影像的湖水面积与水位关系[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(23): 140 - 146.
- [7] 姜丽光, 姚治君, 刘兆飞, 等. 1976 - 2012 年可可西里乌兰乌拉湖面积和边界变化及其原因[J]. *湿地科学*, 2014, 12(2): 155 - 162.
- [8] 白洁, 陈曦, 李均力, 等. 1975 - 2007 年中亚干旱区内陆湖泊面积变化遥感分析[J]. *湖泊科学*, 2011, 23(1): 80 - 88.
- [9] 宋开山, 刘蕾, 吕冬梅, 等. 基于 Landsat - TM 和 MODIS 的非洲水体分布格局研究[J]. *热带地理*, 2014, 34(3): 302 - 307.
- [10] 陈小林, 陈光杰, 卢慧斌, 等. 抚仙湖和滇池硅藻生物多样性与生产力关系的时间格局[J]. *生物多样性*, 2015, 23(1): 89 - 100.
- [11] 高伟, 陈岩, 徐敏, 等. 抚仙湖水质变化 (1980 - 2011 年) 趋势与驱动力分析[J]. *湖泊科学*, 2013, 25(5): 635 - 642.
- [12] 于洋, 张民, 钱善勤, 等. 云贵高原湖泊水质现状及演变[J]. *湖泊科学*, 2010, 22(6): 820 - 828.
- [13] 云南省统计局. 云南统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版, 2001 - 2014.
- [14] 玉溪市气象局. 玉溪市 2014 年气候影响评价 [EB/OL]. (2015 - 01 - 16) [2015 - 04 - 22]. <http://qx1.yuxi.gov.cn:81/>.
- [15] HUANG C Q, WYLIE B, YANG L M, et al. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance [J]. *International journal of remote sensing*, 2002, 23(8): 17.

(上接第 351 页)

- [13] PENA J M. Quantifying efficacy and limits of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology for weed seedling detection as affected by sensor resolution [J]. *Sensors*, 2015, 15(3): 5609 - 5626.
- [14] RANGO A, LALIBERTE A, HERRICK J E, et al. Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management [J]. *Journal of applied remote sensing*, 2009, 3(1): 33542 - 33556.

- [15] 吴涛, 张彦彦, 吴立珍, 等. 无人机遥感技术在海域管理中的应用 [J]. *中国高新技术企业*, 2014(29): 17.
- [16] GAGO J, DOUTHE C, COOPMAN R E, et al. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture [J]. *Agricultural water management*, 2015, 153: 9 - 19.
- [17] STEFANIK K V, GASSAWAY J C, KOCHERSBERGER K, et al. UAV-based stereo vision for rapid aerial terrain mapping [J]. *GIScience & remote sensing*, 2011, 48(1): 24 - 49.