

引用格式: 饶萍, 王建力. 最优分区与最优指数联合的水体信息提取[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(5): 702-712. [Rao P, Wang J L. 2017. Water extraction based on the optimal subregion and the optimal indexes combined. Journal of Geo-information Science, 19(5): 702-712.] DOI: 10.3724/SP.J.1047.2017.00702

最优分区与最优指数联合的水体信息提取

饶萍^{1,2}, 王建力^{1*}

1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 贵州工程应用技术学院, 毕节 5517001

Water Extraction Based on the Optimal Subregion and the Optimal Indexes Combined

RAO Ping^{1,2} and WANG Jianli^{1*}

1. School of Geography Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China
2. Guizhou University of Engineering Science, Bijie University, Bijie 551700, China

Abstract: It is very important to search a methodology to extract surface water quickly, accurately and efficiently. Single band thresholding and water indices are commonly used water extraction methods because of ease of use and the fact that these methods are computationally less time-consuming than alternative approaches. However, in environments where the area is larger, the type of water is various and the influencing factors are complicated, simple classification methods such as two-band water indices and single-band thresholding may not sufficiently and accurately distinguish between water and non-water pixels. In this paper, in order to extract water accurately in the complex mountain area where all the types of water and interference factor exist, the threshold value of three indices is analyzed respectively, that are Moderate Normal Different Water Index (MNDWI), Automate Water Extraction Index (AWEI) and Normal Difference Three Band Index (NDTBI). Then, the zoning scheme based on the optimal threshold value is used to build three decision classifier based on MNDWI, AWEI and NDTBI respectively. After that, comparative analysis is executed among the effect of the three classifiers for different types of surface water. Lastly, according to the optimal principal, a decision tree classifier of three indices (MNDWI, AWEI and NDTBI) united is reconstructed to extracted water. The results show: the Kappa coefficients means of three methods on single index MNDWI, AWEI and NDTBI in three test sites are 0.863, 0.854 and 0.862 respectively. The Kappa coefficients means of the combined indices method is 0.881. Thus, the water extraction method based on the optimal partition and three indices combined possess have the highest accuracy and the best effects. According to the research, we find that the key factor of the precision improved is the optimal zoning method based on the index to achieve hierarchical extraction. No matter which method among the single index or the united indices, the accuracy is all within the permitted range. In comparison of three single indices methods, extraction of region water such as lake and reservoir is suited for the MNDWI, the line water such as river and stream works best with AWEI, the small, narrow river affected by the channel sandstone has good success with NDTBI. However, the combination decision tree classification of the optimal zoning and the optimal method of indices united will be satisfied for water extraction.

收稿日期 2016-11-23; 修回日期: 2017-01-23.

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(XDJK2011C089); 国家自然科学基金项目(40971122)。

作者简介: 饶萍(1979-), 女, 贵州毕节人, 博士生, 研究方向为遥感图像处理及应用。E-mail: 185483600@qq.com

*通讯作者: 王建力(1969-), 男, 山东威海人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为自然地理学。E-mail: wangjl@swu.edu.cn

Key words: water; decision tree; water index; information extract; remote sensing

***Corresponding author:** WANG Jianli, Email: wangjl@swu.edu.cn

摘要 单波段阈值法和水体指数法具有方法简单、耗时少的优点,成为水体信息提取常用的方法,但对于面积较大、类型多样、影响因素复杂的区域,在全局使用任何一种方法均无法满足精度要求。为精确提取地表覆盖类型复杂、水体类型多样的山区水体信息,本文分别对归一化水体指数(MNDWI)、自动水体提取指数(AWEI)和归一化三波段指数(NDTBI)3种指数的阈值进行分析,以最优阈值分区方案进行分区并构建3个单指数决策树,寻找不同水体类型的最优指数,按照最优原则重构联合指数决策树来提取水体信息,其中,3种单指数提取法的Kappa系数分别为:0.863, 0.854, 0.862,最优指数联合决策树法的Kappa系数为0.881。结果表明,基于3个指数构成的最优指数联合决策树的提取方法可以达到最高精度,由此说明,采用该法用于水体信息提取可得到最佳效果。

关键词 水体;决策树;水体指数;信息提取;遥感

1 引言

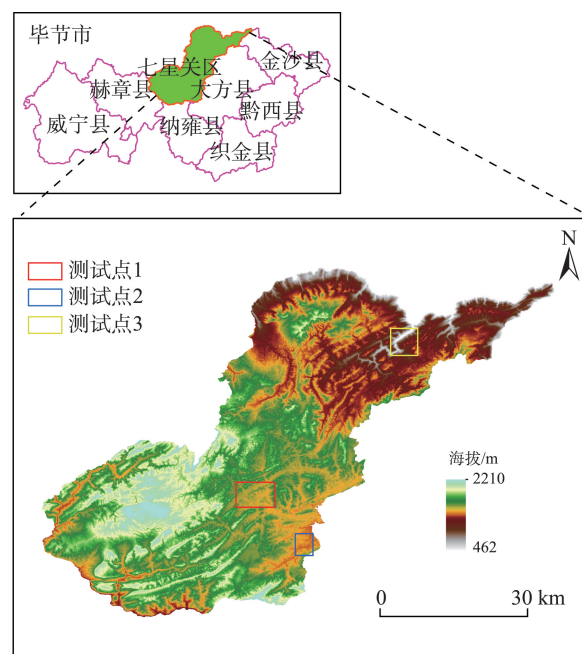
地表水是至关重要的地球资源之一,随着土地利用/土地覆盖变化、气候变化以及其它环境因素的变化,地表水也随时间和空间发生变化。多年来,地表水的变化对于生态、社会、健康以及经济效应的影响一直是学术界关注的问题^[1-7]。快速、准确和高效地提取地表水体具有重要意义。

近年来,各种不同分辨率遥感影像被广泛应用于水体信息提取,许多学者对水体信息遥感处理模型、定量提取方法等方面开展了广泛的研究,取得了影像分类法^[8]、线性分解法^[9]、单波段阈值法^[10]、水体指数法^[11-16]、谱间关系法^[17]及不同方法的综合集成^[18-21]等众多的研究成果。Billa等^[22]利用 AVHRR 数据来反演云层表面的亮度温度,同时对云进行分类和等级划分,通过设定经验阈值来确定雨量强度较大的区域,从而对以往的数值雨量预报进行补充,对洪水灾害进行提前预报。闫需等^[23]在分析半干旱地区水系与背景噪音反射特点的基础上,提出了增强型水体指数EWI(Enhanced Water Index),有效区分了半干旱河道与背景噪音。杨莹等^[24]以洪泽湖 Landsat TM 影像为研究对象,综合利用多波段谱间关系 $TM2 + TM3 > TM4 + TM5$ 和单波段 $TM5$ 建立了适合于平原湖泊水域的水体提取方法。汪金花等^[25]利用多波段谱间关系法对水体及其它几种物体光谱特性进行了实验分析。由于底面物质成分、深浅、水质成分及其周围环境的影响等因素,即便是同一地域内地表水的波谱特征也是有差异的,在遥感图像上呈现出的影像特征也并不能保持均衡,因此,在全局采用统一模型来提取地表水体信息,难以达到精确提取的要求。鉴于此,本文根据区域地表水体特征及其影响因素,在分类

分析的基础上对研究区进行最优分区,并通过不同方法的比较,研究得出各类地表水体信息的最佳指数提取方案,并在全局范围内对不同水体类型区应用最佳指数联合进行提取,从而达到快速、精确提取水体信息的目的。

2 研究区及数据源

本文选取毕节市七星关区(3421 km²)作为研究区(图1),该区境内山峦重叠,平均海拔1511 m,地貌破碎,土壤类型复杂,河流、湖泊、水库、坑塘等大



注:红色和蓝色标示的矩形区域分别对应图2、图4、图5和表2中的3个测试区域

图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

小水体纵横分布,高原、山地、盆地、谷地、峰丛、槽谷、洼地等交错其间,地表特征复杂,该研究的区域选取具有贵州高原典型性。

针对研究区的实际情况,选取3种不同环境下的区域作为精度评价的测试区域(图1中的3个测试点),在这3种区域图像上,地表水体受低反射地表、山体阴影及水体底面的沙石等干扰因素的影响。

本文使用的数据为美国 Landsat 8 OLI 影像数据(数据来源于“中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云”),景的行列号为128/41,产品类型为L1T,获取日期为2013年7月9日,云的覆盖率为4.76,但多集中分布于影像的左上角区域,研究区内仅有极少量的云朵及其阴影,能够满足水体信息提取研究的要求。

Landsat 8 卫星所携带的陆地成像仪(Operational Land Imager, OLI) 具有较高的影像质量,包含8个多光谱波段(30 m)和1个全色波段(15 m),本文主要使用波段其中的6个波段数据,分别为蓝光波段(0.450~0.515 μm),绿光波段(0.525~0.600 μm),红光波段(0.630~0.680 μm),近红外波段(0.845~0.885 μm)和2个短波红外波段(1.560~1.660 μm , 2.100~2.300 μm)。

选用2010年的日本ALOS高分辨率全色影像(2.5 m全色)作为参考数据。

3 研究方法

3.1 影像预处理

本文应用2种方式对以数字形式存储的 Landsat 8 OLI 影像进行辐射校正。①将原图像的DN值转换到大气顶层反射值,用以创建水体指数图像;②在辐射定标的基础上,应用ENVI 5.0中的FLAASH(Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes)大气校正模型进行大气校正,获取地表反射值,用做土地覆盖类型的精确解译。

将参考数据ALOS全色影像与OLI影像按图像对图像的方式进行配准,对于每一个测试点,手动选取25个控制点进行校正,均方根误差控制在0.5个像元之内。

3.2 影像解译

遥感影像信息提取中,所有模型的设计都是基于对遥感影像的正确解译基础之上,因此,影像的解译至关重要。在原始影像图及大气校正后的影

像图上(图2),面状水体(如水库、湖泊和坑塘等)呈现蓝色、深蓝色,线状水体(河流)主要呈现黑色、蓝色、蓝紫色或紫色。容易与水体造成混淆的因素主要有2种:山体阴影及暗色建筑地表。山体阴影在原始彩色影像上常表现为黑色,容易与水体相混淆,而在大气校正后的影像上山体阴影的影响很小,少部分比较深的阴影呈现墨绿色或者深绿色,通过比较也很容易分辨;而研究区的暗色建筑地表,无论是在大气校正前还是校正后的影像上,都易与水体相混淆,因此可借助高分辨率影像来进行判别。

基于上述分析和准确解译,将大气校正影像作为方法设计的初始数据,将ALOS高分辨率影像解译结果(图2)作为精度评价的验证数据。

3.3 水体指数

当前,在各种水体信息提取方法中,水体指数法因其具有使用简单和计算耗时少的特点,已成为常用的水体提取方法。

目前常用的水体指数主要有以下几种:McFeeters^[12]提出基于Landsat TM绿光波段(波段2)和近红外波段(波段4)的归一化水体指数(Normalized Difference Water Index, NDWI);Rogers和Kearns^[13]提出的基于TM红光波段(波段3)和短波红外波段(波段5)的NDWI;Xu^[14]于提出的基于TM波段2和波段5的改进的归一化水体指数(Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI);Feyisa^[1]等提出的自动水体提取指数(Automated Water Extraction Index, AWEI)。

Ji等^[26]的研究发现,MNDWI在勾画水体时比NDWI效果好,而且阈值也最稳定。对于Landsat 8 OLI数据,MNDWI公式表达如下:

$$\text{MNDWI} = (B_3 - B_6) / (B_3 + B_6) \quad (1)$$

式中: B_3 和 B_6 分别为第3和第6波段的反射光谱值^[25]。

2014年,Feyisa等^[1]提出了一种基于TM多波段的自动水体提取指数(Automated Water Extraction Index, AWEI),并证实AWEI在提取水体信息方面比MNDWI具有更高的精度。

AWEI是基于TM影像数据提出的,主要目标是通过波段间相减、相加以及给波段赋予不同的系数来达到将水体和非水体像元进行最大程度分离的目的,由两个独立的方程构成,移植到Landsat 8 OLI数据应用时,计算公式为:

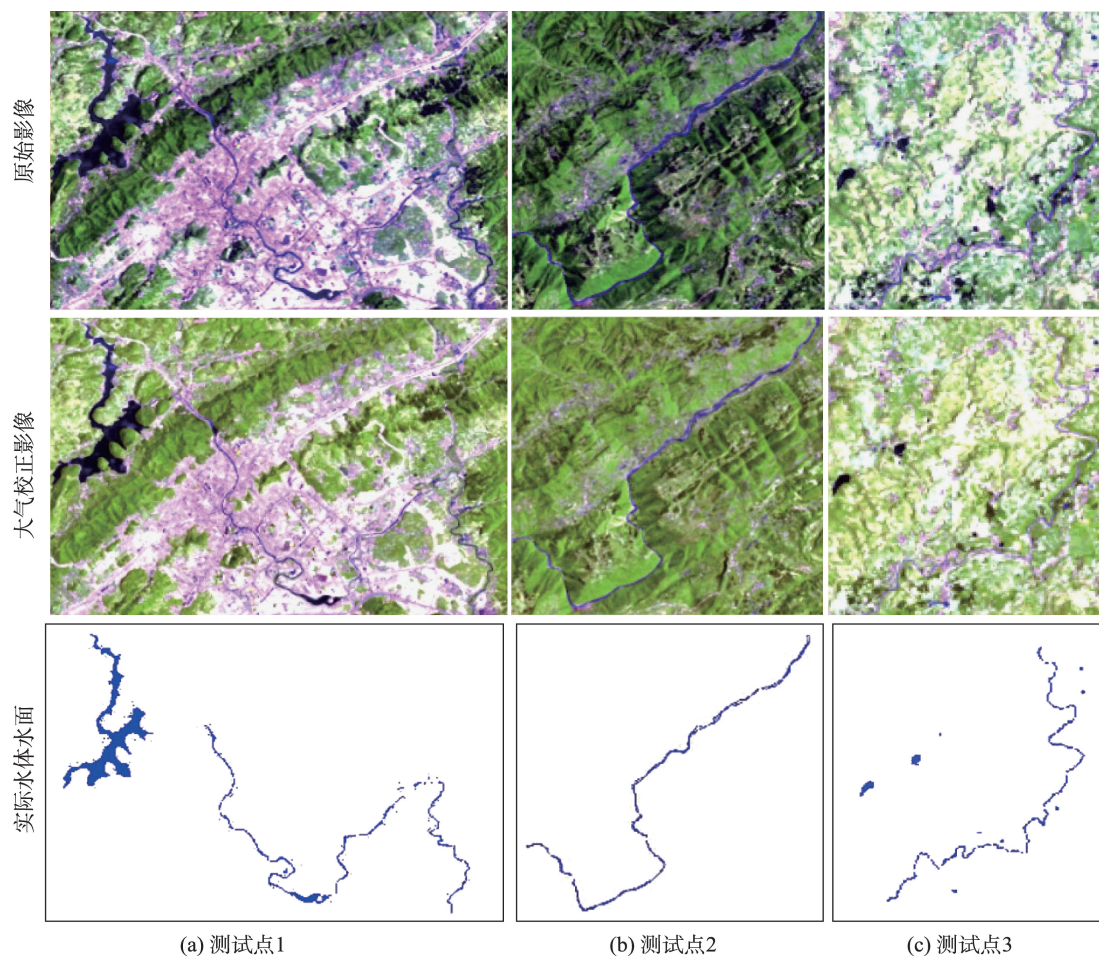


图2 3个测试点大气校正前后的彩色影像及水体解译结果

Fig. 2 The water and non-water noisy in the three test sites

$$AWEI_{nsh} = 4 \times (\rho_{band3} - \rho_{band6}) \quad (2)$$

$$(0.25 \times \rho_{band5} + 2.75 \times \rho_{band7})$$

$$AWEI_{sh} = \rho_{band2} + 2.5 \times \rho_{band3} - 1.5 \times \quad (3)$$

$$(\rho_{band5} + \rho_{band6}) - 0.25 \times \rho_{band7}$$

式中: ρ 是 Landsat 5 TM 光谱波段的反射值, band 2 (蓝色)、band 3 (绿色)、band 5 (NIR)、band 6 (短波红外)、band 7 (短波红外)。

$AWEI_{nsh}$ 主要用来去除容易与水体混淆的黑色建筑地表, 而 $AWEI_{sh}$ 主要是通过移除 $AWEI_{nsh}$ 中不能有效去除的阴影像元而进一步提升水体提取的精度。 $AWEI_{nsh}$ 的下标“ nsh ”表示该指数适合于阴影不是主要问题的地方; $AWEI_{sh}$ 的下标“ sh ”表示该指数主要用来移除阴影, 从而提升阴影区域或者其他黑色地表的水体提取精度。

饶萍等^[27]在研究建设用地信息提取时, 创建了一种三波段水体指数(TB)归一化三波段指数(Normalized Difference Three Bands Index, NDTBI)用于

建设用地信息的提取, 对于 Landsat 8 数据, 其公式为:

$$NDTBI = (B_7 + B_6 - B_4) / (B_7 + B_6 + B_4) \quad (4)$$

式中: B_7 、 B_6 、 B_4 分别为第 7、6 和 4 波段的反射光谱值。

本文研究发现, NDTBI 具有压制植被信息而突出水体和低亮度的建设用地信息的作用, 从而 NDTBI 能够弥补 MNDWI 和 AWEI 水体指数的不足, 而成为本文中的“水体提取辅助指数”。

4 结果对比分析

4.1 水体指数阈值分析

对研究区的 Landsat 8 OLI 图像应用 MNDWI, AWEI 和 NDTBI 3 种指数进行阈值分析, 发现在研究区全域范围内, 没有一种指数能够将水体信息与背景精确地分离开来, 如图 3-5 所示。

将图 3 与图 2 中真实水体相比较, 对于 AWEI,

$AWEI_{nsh}$ 的最佳阈值分割点为-0.375时,研究区内较大的线状河流的分离效果很好(如测试点1和2),但细小河流信息的分离效果较差(测试点3),并且混入大量阴影及少量的暗色建筑地物;当 $AWEI_{sh}$ 阈值分割点为-0.046时,面状水体以及山体阴影的分离效果均较好,但河流信息提取效果则较差;当 $AWEI_{sh}$ 的阈值分割点为-0.202时,虽然能提取到更多的线状河流(测试点1和2),但仍然未能提取到

细小河流,且此时低反射的暗色地表与部分河流之间连成一片,分离性较差;当 $AWEI_{sh}$ 的阈值分割点为-0.358时,细小的河流被提取出来,但大量阴影和建设用地也被提取出来。

对于MNDWI,在3个阈值分割点-0.002、-0.120和-0.234处分别与 $AWEI_{sh}$ 3个阈值点-0.046、-0.202和-0.358的分离效果相似。

而对于NDTBI,在3个阈值点0.282、0.396和

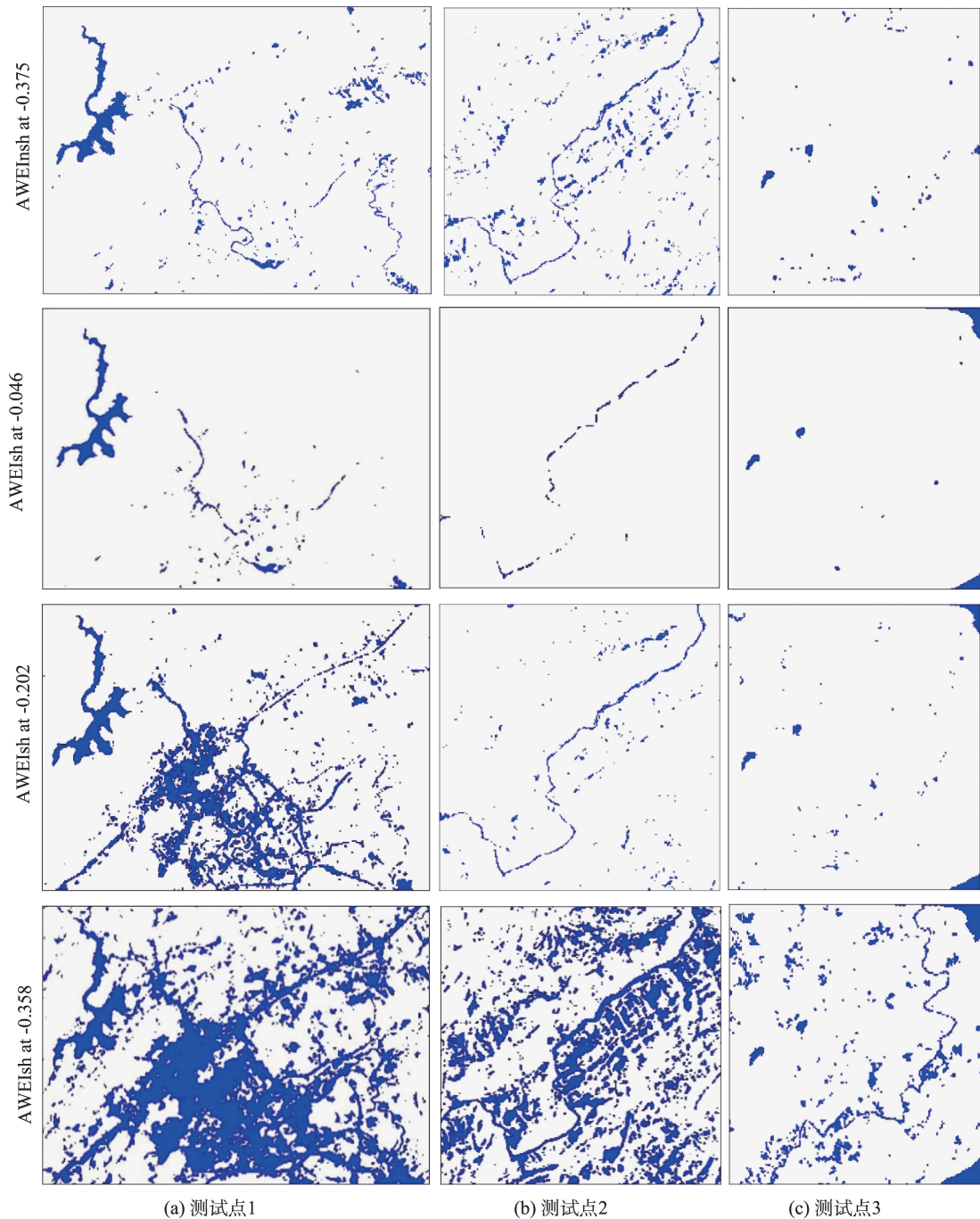


图3 AWEI指数阈值图像

Fig. 3 Threshold images of $AWEI_{nsh}$ and $AWEI_{sh}$

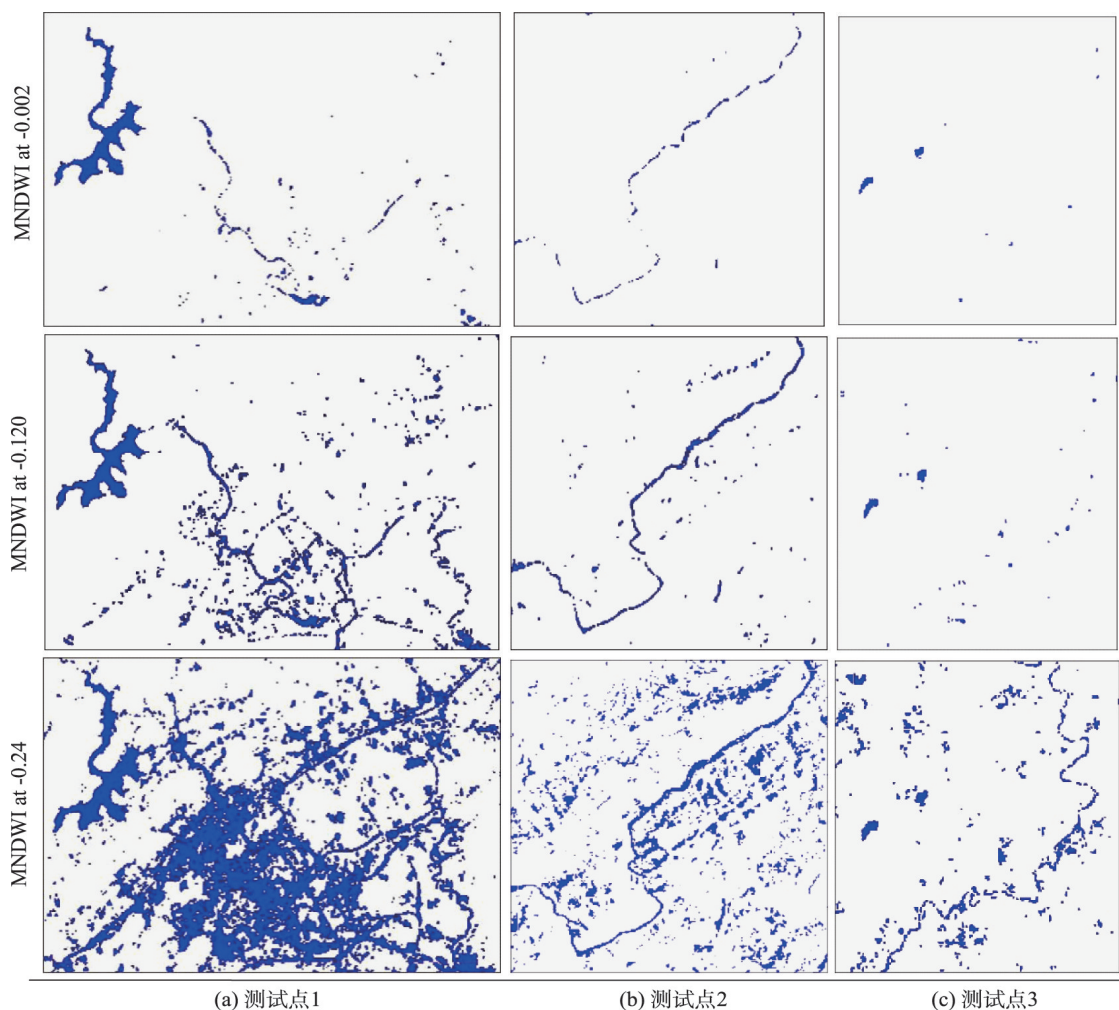


图4 MNDWI指数阈值图像

Fig. 4 Threshold images of MNDWI

0.508处具有和 $AWEI_{sh}$ 及MNDWI相近的分离效果,但在对应的阈值处,线状河流区域与多提出的非水体区域的分离性要好于前二者。

通过对3个指数的阈值图像进行比较分析,发现:面状水体信息与背景的分离在MNDWI阈值为-0.002处效果最好,大的线状河流与背景的分离在 $AWEI_{nsh}$ 为-0.375且 $AWEI_{sh}$ 为-0.202时效果最好,受底物影响较大的细小河流与背景的分离在NDTBI阈值为-0.508处效果最好。

4.2 基于指数阈值的分类分区

通过2.3中的水体指数阈值结果显示,无论使用任何一种指数,仅仅使用阈值法均不能完全剔除阴影、暗色地物等干扰因素的影响,但在特定的区域范围内,最佳指数、最佳阈值的选择与水体的类

型(如河流、水库、湖泊等)、大小以及干扰因素等具有很大的相关性。

鉴于此,本文利用指数阈值图像对水体进行分类分区,基本思路是:首先,根据某一指数最佳阈值点,对研究区的水体进行分类,分为面状水体与线状水体(溪流),线状水体又分为受暗色地物影响,受阴影影响和受底物影响3种类型。

在分类的基础上,按照不同类别用创建缓冲区的方式进行二值分区。首先将整个研究区按照水体形状进行分区,分为河流缓冲区域(River buffer)与非两个区域;在河流缓冲区内按照受底物影响的大小,分为受底物影响大的缓冲区域(Small river buffer)和非两个区域;在非河流缓冲区域内,按照受阴影、暗色地物的影像情况分为非水体的缓冲区域(Nonwater buffer)和水体所在区域。

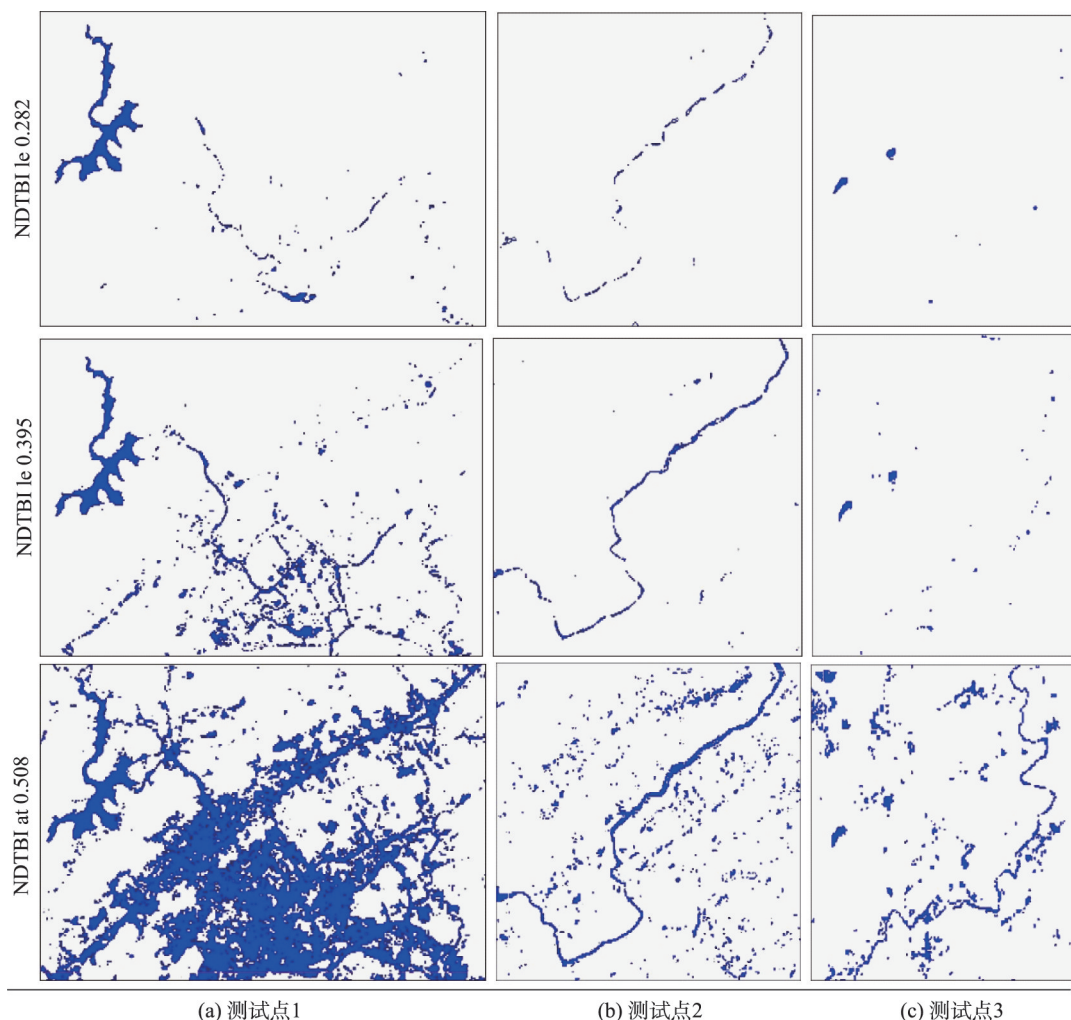


图5 NDTBI指数阈值图像

Fig. 5 Threshold images of NDTBI

缓冲区的创建方法:(1)河流缓冲区的创建,在最佳指数阈值点分割图像上,创建河流缓冲区(River buffer),由于影响水体提取精度的主要因素是暗色建筑地表和山体阴影,因此创建河流缓冲区时须遵循如下的原则:包含河流但不包含建设用地和阴影的情况下,缓冲区的大小和形状无需严格要求^[27]。受底物影响大的河流缓冲区(Small river buffer)是河流缓冲区一部分,其包含的是指数图像中的细小河流部分。(2)非实体缓冲区的创建,只要将最佳指数阈值点图像中的响应类的非水体信息包含即可。

缓冲区图像均为二值图像,为后续水体信息的提取提供分区分层的依据。

4.3 指数阈值分区分层提取法

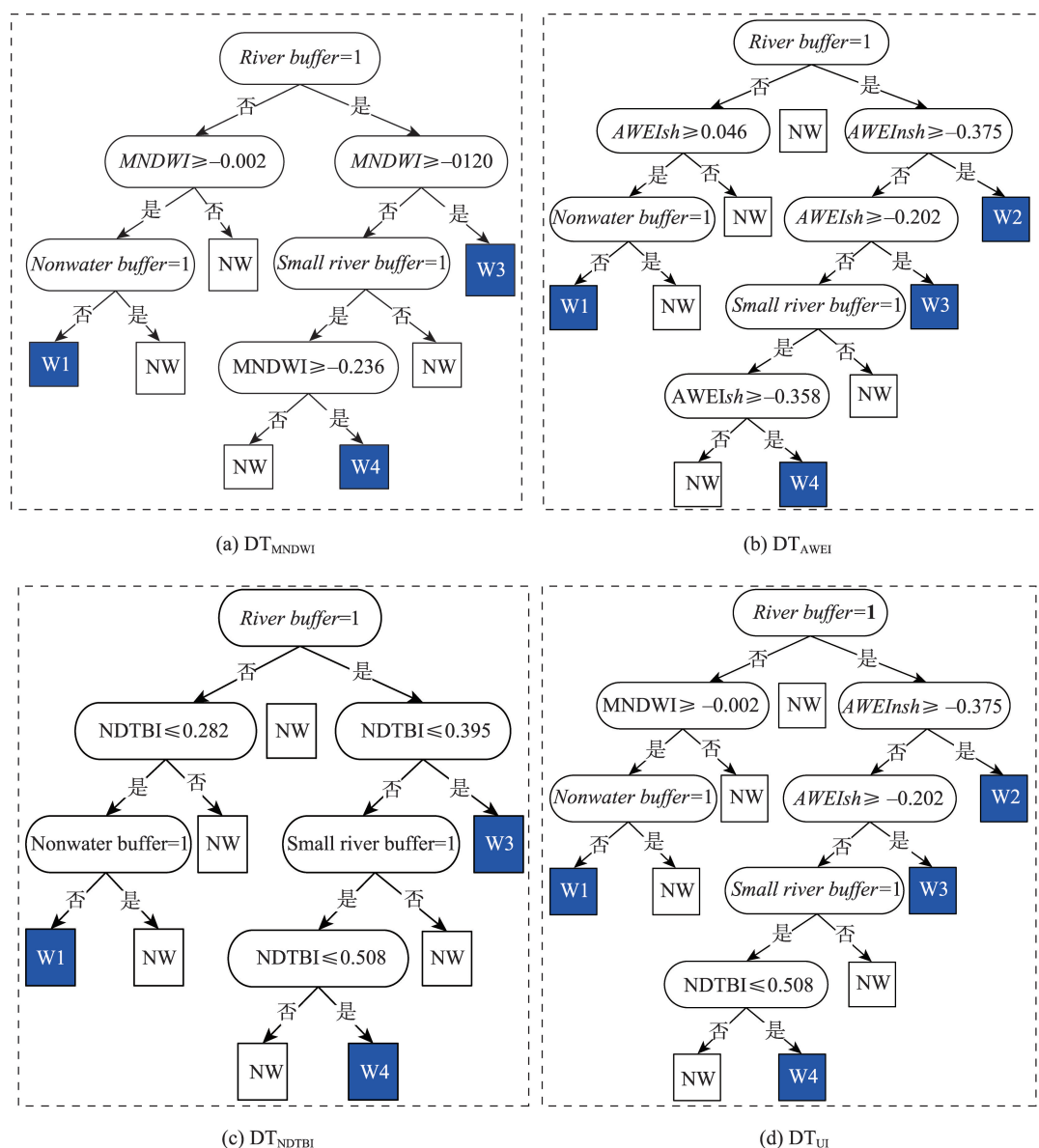
综合3.3节和3.4节,对3个指数的阈值分析、对水体与背景的分离效果分析及对不同水体类型进

行分区的基础上,分别应用MNDWI、 $AWEI_{nsh}$ 、NDTBI来构建基于单个指数和分类分区的决策树(如图6中的 DT_{MNDWI} 、 DT_{AWEI} 和 DT_{NDTBI}),同时,根据3种指数对不同类型水体的分离效果,按照分类别应用最佳指数最佳阈值进行分层分类的方法,构建综合决策树(如图6中的 DT_{UI})。

执行图6中的4个决策树 DT_{MNDWI} 、 DT_{AWEI} 、 DT_{NDTBI} 和 DT_{UI} ,并利用前期解译得到的真实水体地图(图2)进行精度评价,评价结果如表1所示。

因Kappa系数是所有精度指标中最全面利用混淆矩阵信息的一个综合分类精度指标,故本文采用Kappa系数来进行分析。

在测试点1、2和3处,方法 DT_{MNDWI} 的Kappa系数分别为0.8512、0.8818和0.8288,3个测试点的Kappa系数平均值为0.863;方法 DT_{AWEI} 的Kappa系



注: DT_{MNDWI} 、 DT_{AWEI} 、 DT_{NDTBI} 分别为 MNDWI、AWEI、NDTBI 单一指数与空间信息联合的分层分类树, DT_{UI} 为 3 个指数与空间信息联合的分层分类树; W 代表水体, NW 代表非水体

图 6 基于最优分区的指数决策树分类法

Fig. 6 Decision classifier trees based on the optimal partition and indexes

数分别为 0.899、0.8606 和 0.8286, 3 个测试点 Kappa 系数的平均值为 0.854; 方法 DT_{NDTBI} 的 Kappa 系数分别为 0.8869、0.8419 和 0.857, 3 个测试点 Kappa 系数的平均值为 0.862; 方法 DT_{UI} 的 Kappa 系数分别为 0.8968、0.8789、0.8685, 3 个测试点 Kappa 系数的平均值为 0.881。

根据上述分析, 本文采用基于 3 种指数阈值分区的水体信息分层方法提取研究区的水体信息, 结果如图 7 所示。

5 结论

本文以决策分类树作为框架模型, 通过对改进的归一化水体指数 (MNDWI)、自动水体提取指数 (AWEI) 和归一化三波段指数 (NDTBI) 3 种指数的阈值图像分析, 对水体进行分类分区, 构建以 MNDWI、AWEI、NDTBI 单一决策树和 3 个指数联合的决策树进行水体信息的提取, 并对 3 个测试点分别进行了精度评价, 其平均 Kappa 系数分别为 0.863、

表 1 基于单一指数阈值分区的分层提取法精度评价
Tab. 1 Summary of accuracy assessment at the two test sites

方法	测试点	生产者精度	用户精度	误分率	漏分率	总误差	Kappa 系数
DT _{MNDWI}	1	91.57	80.31	19.69	8.43	28.12	0.8512
	2	90.70	86.12	13.88	9.30	23.18	0.8818
	3	84.11	82.30	17.70	15.89	33.59	0.8288
DT _{AWI}	1	91.03	89.36	10.64	8.97	19.61	0.8990
	2	81.73	91.28	8.72	18.27	26.99	0.8606
	3	80.93	85.53	14.47	19.07	33.54	0.8286
DT _{NDTBI}	1	85.25	93.09	6.91	14.75	21.66	0.8869
	2	74.92	96.57	3.43	25.08	28.51	0.8419
	3	86.06	85.85	14.15	13.94	28.09	0.8570
DT _{UI}	1	92.30	87.79	12.21	7.70	19.91	0.8968
	2	90.70	85.58	14.42	9.30	23.72	0.8789
	3	88.26	85.95	14.05	11.74	25.79	0.8685

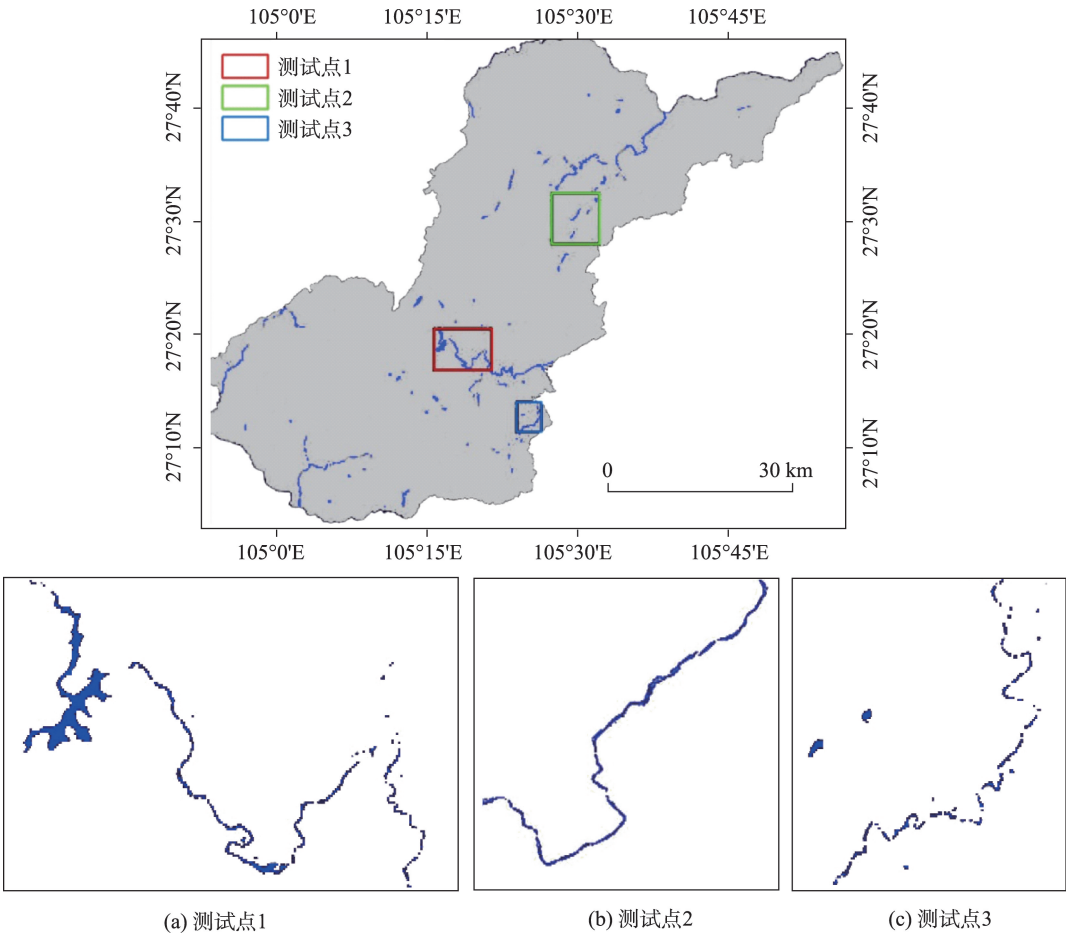


图 7 基于最优分区和最优指数联合的水体信息提取结果

Fig. 7 Water extraction results based on the united method of the optimal partition and the optimal indexes at the three test sites

0.854、0.862 和 0.881。结果表明:基于 3 个指数构成的最优分区和最优指数联合决策树的水体信息提取方法精度最高,说明采用该法用于水体信息提取

可得到最佳效果。
将研究区按照指数进行分类分区,在小区域内实现不同水体类型的分层提取,这是本文提高精度

的关键环节。在分类分区的基础上,无论使用单指数方法还是混合指数方法均能满足精度要求,但相比较而言,面状水体的提取选用MNDWI效果最好;线状水体的提取,选用AWEI效果较好;当水体河道很宽,河流水面小,受水体地面的砂石影响较大时,选用NDTBI效果较好;而利用3种指数在不同类型水体提取上的优势,将其结合起来构建最优分区和最优指数联合的决策树提取方法具有最佳的提取精度。

参考文献(References):

- [1] Feyisa G L, Meilby H, Fensholt R, et al. Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2014,140(1):23-35.
- [2] Alderman K, Turner L R, Tong S L. Floods and human health: A systematic review[J]. *Environment International*, 2012,47:37-47.
- [3] Bond N R, Lake P S, Arthington A H. The impacts of drought on freshwater ecosystems: An Australian perspective[J]. *Hydrobiologia*, 2008,600:3-16.
- [4] Charron D F, Thomas M K, Waltner-Toews D, Aramini J J, Edge T, Kent R A, et al. Vulnerability of waterborne diseases to climate change in Canada: A review[J]. *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part a-Current Issues*, 2004,67: 1667-1677.
- [5] Kondo H, Seo N, Yasuda T, Hasizume M, Koido Y, Ninomiya N, et al. Post-flood-infectious diseases in Mozambique[J]. *Prehospital and Disaster Medicine*, 2002,17: 126-133.
- [6] Lake P S. Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters[J]. *Freshwater Biology*, 2003,48:1161-1172.
- [7] Li K Z, Wu S H, Dai E F, Xu Z C. Flood loss analysis and quantitative risk assessment in China[J]. *Natural Hazards*, 2012,63:737-760.
- [8] Lira J. Segmentation and morphology of open water bodies from multispectral images[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006,27:4015-4038.
- [9] Sethre P R, Rundquist B C, Todhunter P E. Remote detection of prairie pothole ponds in the Devils Lake Basin, North Dakota[J]. *GIS science and Remote Sensing*, 2005, 42:277-296.
- [10] Jain S K, Singh R D, Jain M K, et al. Delineation of flood-prone areas using remote sensing technique[J]. *Water Resources Management*, 2005,19:337-347.
- [11] Jain S K, Saraf A K, Goswami A, et al. Flood inundation mapping using NOAA AVHRR data[J]. *Water Resources Management*, 2006,20:949-959.
- [12] McFeeters S K. The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996,17: 1425-1432.
- [13] Rogers A S, Kearney M S. Reducing signature variability in unmixing coastal marsh Thematic Mapper scenes using spectral indices[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004,25:2317-2335.
- [14] Xu H Q. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006,27:3025-3033.
- [15] 沈占锋,夏列钢,李均力,等.采用高斯归一化水体指数实现遥感影像河流的精确提取[J].*中国图象图形学报*, 2013,18(4):421-428. [Shen Z F, Xia L G, Li J L, et al. Automatic and high-precision extraction of rivers from remotely sensed images with Gaussian normalized water index[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2013,18(4):421-428.
- [16] 杨树文,薛重生,刘涛,等.一种利用TM影像自动提取细小水体的方法[J].*测绘学报*,2010,39(6):611-617. [Yang S W, Xue C S, Liu T, et al. A method of small water information automatic extraction from TM remote sensing images[J]. *Acta Geodaetica of Cartographica Sinica*, 2010,39 (6):611-617.]
- [17] 骆剑承,盛永伟,沈占锋,等.分步迭代的多光谱遥感水体信息高精度自动提取[J].*遥感学报*,2009,13(4):610-615. [Luo J C, Sheng Y W, Shen Z F, et al. Step Iterative multispectral remote sensing information on high-precision automatic extraction of water[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2009,13(4):610-615.]
- [18] Sun F, Sun W, Chen J, Gong P. Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2012,33:6854-6875.
- [19] Jiang Z, Qi J, Su S, Zhang Z, Wu J. Water body delineation using index composition and HIS transformation[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2012,33:3402-3421.
- [20] Sheng Y W, Shah C A, Smith L C. Automated image registration for hydrologic change detection in the lake-rich Arctic[J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2008,5:414-418.
- [21] Verpoorter C, Kutser T, Tranvik L. Automated mapping of water bodies using Landsat multispectral data[J]. *Limnology and Oceanography-Methods*, 2012,10:1037-1050.
- [22] Billa L. Modelling rainfall intensity from NOAA AVHRR data for operational flood forecasting in Malaysia[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006,27(23):5225-

- 5234.
- [23] 闫霏,张友静,张元.利用增强型水体指数(EWI)和GIS去噪音技术提取半干旱地区水系信息的研究[J].遥感信息,2007(6):62-67. [Yan P, Zhang Y J, Zhang Y. Study on extracting water system information in semi-arid area using Enhanced Water Index (EWI) and GIS denoising technology[J]. Remote Sensing Information, 2007,6:62-67.]
- [24] 杨莹,阮仁宗.基于TM影像的平原湖泊水体信息提取的研究[J].遥感信息,2010(3):60-64. [Yang Y, Ruan R Z. Study on extracting water information of plain lakes based on TM images[J]. Remote Sensing Information, 2010,3:60-64.]
- [25] 汪金花,张永彬,孔改红.谱间关系法在水体特征提取中的应用[J].矿山测量,2004,12(4):30-32. [Wang J H, Zhang Y B, Kong G H. The application of spectrum-photometric method in water extractions[J]. Mine Surveying, 2004,12(4):30-32.]
- [26] Ji L, Zhang L, Wylie B. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2009,75:1307-1317.
- [27] 饶萍,王建力,王勇.基于多特征决策树的建设用地信息提取[J].农业工程学报,2014,30(12):233-240. [Rao P, Wang J L, Wang Y. Extraction of construction land based on multi-features decision tree classification[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014,30(12):233-240.]

撤稿说明

应作者要求,将《地球信息科学学报》2016年第18卷第12期1660~1674页“权利贫困视角下的县级多维贫困度量及空间分布特征研究”(作者:王白雪,王艳慧*,王强,孙林)一文做撤稿处理,特此说明。

本刊编辑部