

利用组合水体指数(NCIWI)提取水体信息研究

陆吉贵^{1,2}

(1. 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 安徽芜湖 241003; 2. 安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室, 安徽芜湖 241003)

摘要 在分析 MODIS 数据与水体识别相关的 1~7 波段典型地物光谱图像特征及相关水体指数模型的基础上, 利用改进的归一化植被指数(MNDVI)和近红外波段 6 组合, 构建了新型组合水体指数 NCIWI(new combined index for water body identification), 明显增强了水体与植被、土壤、城镇等其他信息的区分度, 能够有效提取水体信息。应用 2015 年的 MODIS 数据在巢湖地区的水体信息遥感监测实验表明, NCIWI 水体识别效果优于其他水体指数模型。

关键词 MODIS; 卫星遥感; 水体指数; 新型组合水体指数; 洪涝监测

中图分类号 S127 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)03-0049-04

Information Extraction of Water Body with the New Combined Index Using MODIS Data

LU Ji-gui^{1,2} (1. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241003; 2. Anhui Key Laboratory of Nature Disaster Process and Prevention, Wuhu, Anhui 241003)

Abstract Combined of modified version of Normalized Difference Vegetation Index and near infrared MODIS band 6, a new water body index model NCIWI (New Combined Index of MNDVI and MIR for Water Body Identification) was put forward, which based on the analyses of the spectral characteristics of surface objects in MODIS 1 to 7 wave bands related to water body identification and the study of NDWI, MNDWI, MCIWI and CIWI. The new index model can pick up the water body information perfectly, because it increases the discrimination of water body information from the vegetation and the town information obviously. Based on the MODIS data from 2015, satisfied results of the monitoring of water body information in the area of Chaohu Lake in Hefei City, Anhui Province, proved that the NCIWI model showed better behavior than other water body index models.

Key words MODIS; Satellite remote sensing; Water body index; NCIWI; Flood monitor

随着全球气候的变暖, 洪涝灾害愈加频繁, 运用遥感与地理信息技术, 能够克服地面观测站网在空间范围和时间方面的限制, 提高洪涝灾情数据的时效性和准确性, 极大增强防灾减灾能力, 因此得到广泛的应用^[1]。

洪涝遥感监测的关键在于准确地从混合型电磁波信息中提取洪水灾情信息^[2]。提取水体信息的方法一般可分为单波段法和多波段法。单波段法的原理是基于水体在近红外通道吸收率很高, 而植被和城市具有强反射性, 通过反复试验确定某一波段值作为水体与非水体的阈值, 从而提取水体信息。该方法简单易行, 但是很难去除阴影。多波段法则同时利用多波段的优势提取水体, 分为谱间分析法和比值法。谱间分析法通过分析水体与背景地物的波谱曲线特征, 找出它们之间的变化规律, 进而用逻辑判别式将水体提取出来^[3-6], 可较好地区分水体与阴影, 但比较复杂, 难以去除云的干扰。比值法又称水体指数法, 它基于多波段的地物光谱特征分析, 选取水体与地物波谱差异的多个波段, 分析水体与光谱值之间的映射关系, 构建数学模型, 抑制非水体信息, 增强水体信息, 在一定程度上去除云和阴影的干扰, 精度较高。范伟等^[7]利用 MODIS 数据波段 1, 2 比值进行水体识别, 但是难以彻底抑制与非水体信息; 归一化差异植被指数(NDVI)^[8]在植被的提取应用最为广泛, 受其启发, Mcfeeters^[9]提出了归一化差异水体指数(NDWI), 在一定程度上突出了水体信息, 但在提取城市范围内的水体时混入一定量的城市信息。基于此, 徐涵秋^[10]通过谱间特征分析, 发现城市在 TM 影像的波段 4~5 突然转强, 于是将 NDWI 指数作了修改, 用中红外波段替换 NDWI 近红外波段, 提出了

改进的归一化差异水体指数(MNDWI), 效果较 NDWI 好。莫伟华等^[11]基于 MODIS 数据采用植被指数与近红外波段 7 进一步组合, 提出了混合水体指数模型(CIWI), 提高了水体与云、植被、城镇等其他信息的分离。杨宝钢等^[12]基于 MODIS 数据用归一化植被指数与归一化建筑指数组合, 构建了改进型组合水体指数(MCIWI), 增强了水体与城镇、植被等其他信息的区分度。

不同地区水体的波谱特性可能有差异, 即使同一地区不同时期水体的波谱特性也可能有差异。不同传感器有不同的光谱分辨率, 因此很难有通用的水体模型。研究者努力完善各自模型, 使提取水体精度更高^[13-18]。笔者以巢湖地区为试验区, 分析了 MODIS 数据光谱特征, 提出了新型组合水体指数 NCIWI(new combined index for water body identification), 并进行了试验和比较验证。

1 MODIS 数据典型地物波谱特征分析

中分辨率成像光谱仪(MODIS)是 1999 年美国开始的第二阶段对地观测系统计划中最有特色的仪器之一。MODIS 数据具有 36 个波段和 250~1 000 m 空间分辨率, 时间分辨率为 0.5 d, 且免费, 因此 MODIS 数据成为我国地学研究和水体监测、生态环境监测应用最广的数据资源。利用 MODIS 数据提取水体信息, 多基于 MODIS 1~7 波段数据进行研究, 其波段分布特征见表 1。

一般而言, 植被在可见光波段的反射率较近红外低; 裸土的可见光反射率高于植被和水, 在近红外波段高于水体、低于植被; 云和雪在可见光波段具有强反射。水体对入射能量具有强吸收性, 因此在 MODIS 传感器的波长范围内, 总体反射率较低, 并具有随着波长的增加而进一步减弱的趋势。清澈水体的遥感信息模型根据其反射率可以近似表示为蓝光>绿光>红光>近红外>中红外^[10]。但是随着水体浑浊度(各种

作者简介 陆吉贵(1987—), 男, 安徽亳州人, 硕士研究生, 研究方向: 遥感与 GIS 应用。

收稿日期 2017-11-17

有机、无机物质浓度)的增加,水体的反射率会有所变化。

表1 MODIS 1~7波段分布特征

Table 1 Distribution characteristics of MODIS 1-7 band

波段序号 Band	波段宽度 Band width nm	光谱范围 Spectral range	信噪比 Signal-to- noise ratio	空间分辨率 Spatial resolution m
1	620~670	红光	128	250
2	841~670	近红外	201	250
3	459~479	蓝光	243	500
4	545~565	绿光	228	500
5	1 230~1 250	近红外	74	500
6	1 628~1 652	近红外	275	500
7	2 105~2 155	中红外	110	500

该研究选取2015年8月29日TERRA卫星资料,以巢湖为试验区,用ENVI 5.1遥感影像处理软件分析了水体与城镇、植被等其他典型地物MODIS 1~7波段中的光谱和影像特征,对水体、城镇、植被3种典型地物样本进行均值统计,结果见图1。综合分析归纳,基本特性如下4个方面:总辐射水平低,即水体的反射率很低,在可见光到中红外波段,水体对电磁波的吸收高于植被和城镇用地;在MODIS数据的可见光波段,即第1、3、4波段,水体反射率高于植被,与城镇用地相近;在近中红外波段,即第2、5、6、7波段,水体反射率明显低于植被和城镇用地;水体性质的不同对反射率有明显影响,如含藻类水体第2波段反射率可升高与第1波段相近甚至高于第1波段;城镇用地的反射率在第2、5波段低于植被,在第7波段高于植被,第6波段则高于或相当于植被。总体而言,在第2、4、6波段,水体反射率呈低、高、低水平,而植被和城镇均呈高、低、高水平,因此有利于区分水体信息与植被、城镇等信息。

2 主要的水体指数模型

基于MODIS数据的水体识别指数^[9-12]主要有表2中的几种。

表2 基于MODIS数据的水体指数模型

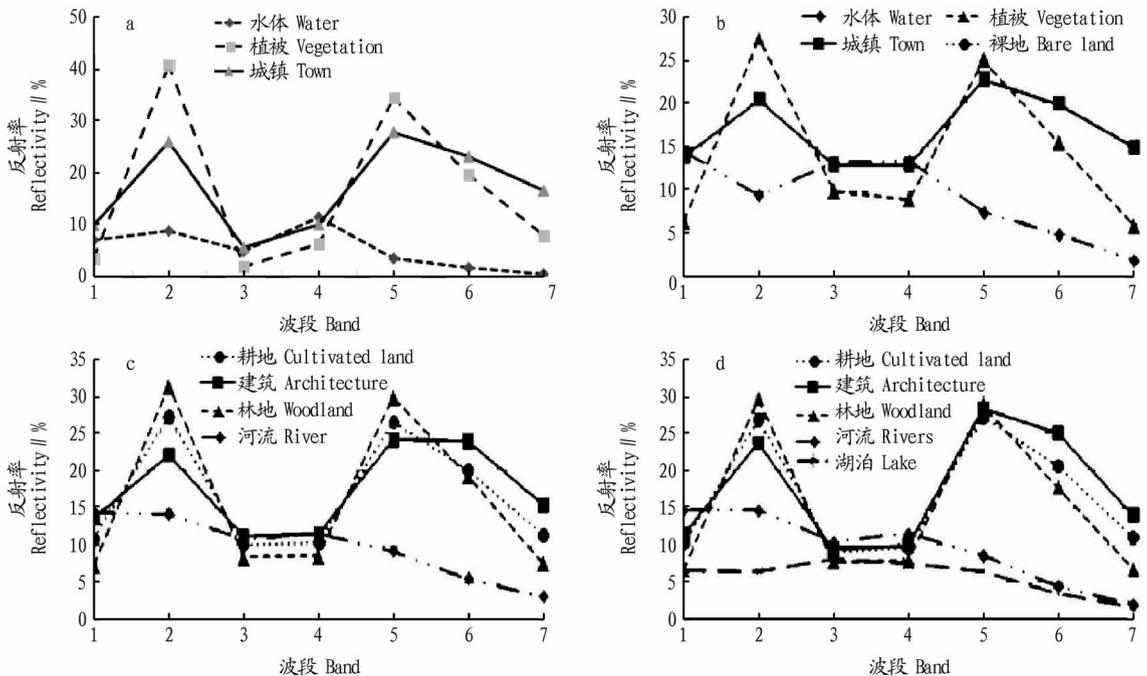
Table 2 Water index model based on MODIS data

水体指数模型 Water index model	空间分辨率 Spatial resolution	参考文献 Reference
$NDWI = (CH_4 - CH_2) / (CH_4 + CH_2)$	500	[9]
$NDWI = (CH_4 - CH_6) / (CH_4 + CH_6)$	500	[10]
$CIWI = NDVI + CH_7, \overline{CH_7}$	500	[11]
$MCIWI = NDVI + NDBI$		
$NDVI = (CH_2 - CH_4) / (CH_2 + CH_4)$	500	[12]
$NDBI = (CH_6 - CH_2) / (CH_6 + CH_2)$		

注:CH_i表示MODIS的第i波段

Note:CH_i expressed the i band of MODIS

Mcfeters^[9]构建的NDWI虽然突出了水体的信息,但仍夹杂着许多非水体信息,特别是水质浑浊时(图1a),水体第2波段反射率变大,易与裸土或城镇信息混淆。徐涵秋^[10]针对城市水体及其背景地物的反射特点,提出了改进的归一化差异水体指数(MNDWI),效果优于NDWI;莫伟华等^[11]提出的组合水体指数(CIWI),用植被指数结合近红外波段增大了水体与其他地物的差异,但后2种方法在水体种类多样、水质复杂状态下(图1b),水体第6、7波段反射率增加,同样存在不易区分水体与建筑、裸地甚至稀疏植被边界情况。杨宝钢等^[12]提出的改进的组合水体指数(MCIWI),将CIWI中的近红外波段用NDBI替换,用以增大水体与其他地物间的区分度,但当水质浑浊时,水体第2波段反射率变大,则可能会出现漏提水体的现象(图1c、图1d)。



注:a. 巢湖地区;b. 莫伟华等^[11]的研究;c. 重庆主城区^[12];d. 重庆长寿湖^[12]

Note:a. Chaohu region;b. The study of Mo wei-hua et al^[11];c. Chongqing main city^[12];d. Chongqing Changshou Lake^[12]

图1 MODIS 1~7波段典型地物波谱曲线

Fig. 1 Spectral curves of typical ground objects of MODIS 1-7 band

3 构建混合水体指数模型

尽管,Mcfeeters 在构建 NDWI 指数时,只考虑到了植被因素,而忽略了地表的另一个重要地类——土壤/建筑物,但是,NDWI 能够很好地分离水体与植被信息。因此,利用 $MNDVI = (CH_2 - CH_4) / (CH_2 + CH_4)$ 代替 NDWI。近红外通道中城镇和植被光谱值均较高,水体(即使水质复杂)的光谱值最低,易于分离水体与城镇。据此,首先用 CH_6 与 CH_6 均值的比值构成无量纲数 NIR,再将其与 MNDVI 求和,使其水体仍保持在低值区,城镇、植被处于高值区,从而增强水体与植被和城镇之间的差异。据此提出新的混合水体指数模型 NCIWI(new combined index of MNDVI and NIR for water body identification):

$$NCIWI = MNDVI + NIR \quad (1)$$

式中, $MNDVI = (CH_2 - CH_4) / (CH_2 + CH_4)$, $NIR = CH_6 / \overline{CH_6}$,

CH_1 、 CH_2 为通道 1、2 的反照率值; CH_6 为通道 6 的反照率值, $\overline{CH_6}$ 为通道 6 所有像元反照率的均值。

4 试验和比较验证

4.1 资料和试验区 为构建适合 MODIS 数据水体识别模型,该研究将试验区划定在 $116^{\circ}25'11'' \sim 118^{\circ}30'5'' E$, $30^{\circ}56'11'' \sim 32^{\circ}16'6'' N$ 的一个矩形区域,选取 2015 年 8 月 29 日空间分辨率为 500 m 的 Terre/MODIS MOD09A1 数据。该数据是从 NASA 官网(<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/>)上下载的经过几何校正和大气校正的标准 2 级产品数据,数据包括 MODIS 数据的 1~7 波段,利用 MODIS Reprojection Tool - MRT 4.0 进行拼接和重投影,并裁剪出试验区。

4.2 水体提取结果分析 分别用 NDWI、MNDWI、CIWI、MCIWI 和 NCIWI 模型,对试验区进行水体提取,得到 NCIWI 和其他水体指数识别效果(图 2)。

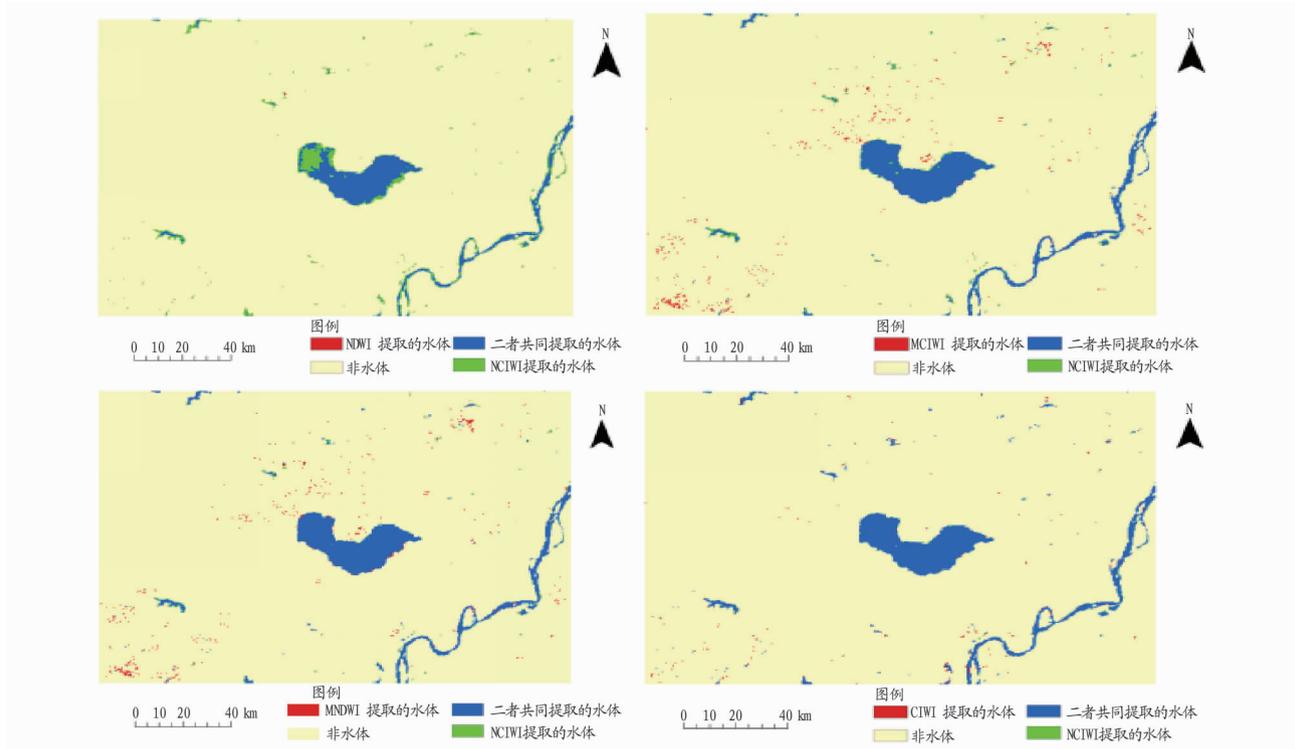


图 2 水体提取效果对比

Fig. 2 Comparison of the effect of water body extraction

根据图 2 对 5 种水体指数在巢湖试验区进行定性检验分析:NDWI 识别水体存在明显的信息丢失,特别是在巢湖藻类丰富区,同时在判别城市中的水体时,出现了较多的信息误判;利用 MCIWI 提取水体时,出现了部分明显的水体误判问题;MNDWI 水体信息提取效果优于 NDWI 和 MCIWI,但水体误判现象仍较明显,与其他水体指数相比,CIWI、NCIWI 提取的湖区藻类丰富区最连续,水体信息误判较少,总体效果最好。

4.3 NCIWI 和其他水体指数效果统计分析 笔者对 NDWI、MNDWI、CIWI、MCIWI、NCIWI 进行了 0~1 标准化处理,以消除不同指数取值范围不同带来的影响,更加便于对比分析,公式如下: $S_{WI} = (WI - WI_{MIN}) / (WI_{MAX} - WI_{MIN})$,式中, S_{WI}

为标准化后的水体指数标准值;WI 为水体指数; WI_{MAX} , WI_{MIN} 为试验区内水体指数最大、最小值。该研究引进区分度 DD (Division Degree)^[12],以便于比较各类标准化后的水体指数对水体信息的提取精度: $DD_{CW} = (|S_{Wtw} - \overline{S_{wic}}|) / (|S_{Wtw} + \overline{S_{wic}}|) \times 100\%$,式中, $\overline{S_{Wtw}}$ 和 $\overline{S_{wic}}$ 分别表示水体和城镇的标准化水体指数均值, DD_{CW} 反映了水体指数中城镇(City)与水体(Water)的差异程度, DD_{CW} 越大,表示两者可分离程度越高,越易于区分; DD_{CW} 越小,则表示两者区分度越低。同理可分别构建水体与植被的区分度 DD_{VW} 。NCIWI 和其他水体指数效果的统计分析见表 3。

由 NDWI、MNDWI、CIWI、MCIWI、NCIWI 5 类水体指数比较可知(表 3),MNDWI、CIWI、NCIWI 3 种指数突出了水

体与建设用地的区别,在减少城市河流与建设用地混淆方面均优于 NDWI 和 MCIWI,其中 NCIWI 的水体与城镇区分度达 53.4%,仅次于 CIWI;由于 NDWI、MNDWI、CIWI、NCIWI 4 种指数均能够区分水体与植被的信息,其中 NCIWI 能更好地区分水体与植被,其水体与植被的区分度为 66.3%,效果最好。总体来说,表 3 与图 2 水体提取效果非常吻合。因此该研究的 5 种水体指数中,NCIWI 的水体与植被、城镇区分度最好,水体提取总体效果最好。

表 3 NCIWI 和其他水体指数统计分析

Table 3 Statistical analysis of NCIWI and other water index

水体指数 Water index	水体 Water	植被 Vegetation	城镇 Town	区分度 Discrimination//%	
S_{NDWI}	最大值	0.975	0.233	0.445	37.6 ^{△△}
	最小值	0.296	0.081	0.179	64.6 [△]
	均值	0.619	0.133	0.281	
S_{MNDWI}	最大值	0.990	0.365	0.431	49.4 ^{△△}
	最小值	0.634	0.126	0.226	57.1 [△]
	均值	0.879	0.240	0.298	
S_{CIWI}	最大值	0.263	0.482	0.664	54.3 ^{△△}
	最小值	0.003	0.333	0.371	46.8 [△]
	均值	0.147	0.406	0.497	
S_{MCIWI}	最大值	0.591	0.771	0.702	31.7 ^{△△}
	最小值	0.083	0.635	0.583	33.7 [△]
	均值	0.341	0.687	0.658	
S_{NCIWI}	最大值	0.401	0.786	0.769	53.4 ^{△△}
	最小值	0.004	0.577	0.486	66.3 [△]
	均值	0.196	0.671	0.645	

注:样本数为水体 200 个,城镇 200 个,植被 350 个;△△为 DD_{CW} ;△为 DD_{VW}

Note: The number of samples is 200 water bodies, 200 towns, 350 vegetation. △△ is DD_{CW} ; △ is DD_{VW}

5 结论

从试验结果的图像分析和统计分析来看,该研究提出的 NCIWI 水体指数模型既突出了水体与城镇的区别,又更好地区分了水体与植被。该指数模型可有效地解决应用 MODIS 数据进行水体遥感信息提取中分离植被和城市等混淆信息

的问题。经试验验证,应用 NCIWI 模型进行 MODIS 数据水体信息提取图像效果和分类精度优于 NDWI、MNDWI、CIWI 和 MCIWI 模型。

参考文献

- [1] 李加林,曹罗丹,浦瑞良. 洪涝灾害遥感监测评估研究综述[J]. 水利学报,2014,45(3):253-260.
- [2] 杜云艳,周成虎. 水体的遥感信息自动提取方法[J]. 遥感学报,1998,2(4):264-269.
- [3] 周成虎. 遥感影像地学理解与分析[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [4] 丁莉东,吴昊,王长健,等. 基于谱间关系的 MODIS 遥感影像水体提取研究[J]. 测绘与空间地理信息,2006,29(6):25-27.
- [5] 徐萌,李亚春,曾燕,等. 苏北大型湖泊水体的 EOS/MODIS 遥感监测[J]. 气象科技,2007,35(4):579-582.
- [6] 都金康,黄永胜,冯学智,等. SPOT 卫星影像的水体提取方法及分类研究[J]. 遥感学报,2001,5(3):214-219.
- [7] 范伟,苟尚培,吴文玉. 应用气象卫星 MODIS 识别薄云覆盖下的水体[J]. 大气与环境光学学报,2007,2(1):73-77.
- [8] ROUSE J W J, HAAS R H, SCHELL J A, et al. Monitoring vegetation system s in the great plains with ERTS[C]//FREDEEN S C, MERCANTI E P, BECKER M A. Third Earth Resources Technology Satellite Symposium. Volume I: Technical Presentations. Washington, D. C.: Nasa Special Publication, 1973:309-317.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 莫伟华,孙涵,钟仕全,等. MODIS 水体指数模型 (CIWI) 研究及其应用[J]. 遥感信息,2007(5):16-21,104-105.
- [12] 杨宝钢,陈昉,罗攀攀. 基于 MODIS 的改进型组合水体指数 (MCIWI) 提取复杂水体信息的试验[J]. 西南大学学报(自然科学版),2011,33(1):112-119.
- [13] 余志飞. 基于 MODIS 遥感数据的水体提取算法研究[J]. 测绘与空间地理信息,2015,38(3):80-82.
- [14] 余志飞. 基于 MODIS 遥感数据的水体提取模型及算法改进[J]. 测绘与空间地理信息,2016,39(8):117-120,124.
- [15] 万建鹏,官玉兰,叶素倩,等. 基于综合权重水体指数的水体提取研究:以鄱阳湖为例[J]. 东华理工大学学报(自然科学版),2015,38(2):206-211.
- [16] 林楚彬,李少青. Landsat 数据水体自动提取研究进展[J]. 自动化技术与应用,2015,34(2):1-4,36.
- [17] 沈占锋,李均力,于新菊. 基于协同计算的白洋淀湿地时序水体信息提取[J]. 地球信息科学学报,2016,18(5):690-698.
- [18] 郑东博,凌峰,李晓冬,等. 基于 MODIS 数据的水体超分辨率制图:以丹江口水库为例[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2016,50(4):624-632.

(上接第 48 页)

- [15] 刘世梁,侯笑云,张月秋,等. 基于生态系统服务的土地整治生态风险评估与管控建议[J]. 生态与农村环境学报,2017,33(3):193-200.
- [16] 方斌斌,于洋,姜伟立,等. 太湖流域水体和沉积物重金属时空分布特征及潜在生态风险评估[J]. 生态与农村环境学报,2017,33(3):215-224.
- [17] 李杨帆,林静玉,孙翔. 城市区域生态风险预警方法及其在景观生态安全格局调控中的应用[J]. 地理研究,2017,36(3):485-494.
- [18] 任志远,孙艺杰,吴林筱. 1990—2012 年榆林市土地生态风险综合评价[J]. 中国生态农业学报,2017,25(5):656-664.
- [19] 乔蕤强,程文仕,乔伟栋,等. 基于相对风险模型的土地利用变化生态风险定量评价:以石羊河流域为例[J]. 中国沙漠,2017,37(1):198-204.

- [20] 曾建军,邹明亮,郭建军,等. 生态风险评估研究进展综述[J]. 环境监测管理与技术,2017,29(1):1-5,10.
- [21] 肖武,李素萃,王铮,等. 高潜水位煤矿区生态风险识别与评价[J]. 生态学报,2016,36(17):5611-5619.
- [22] 卿凤婷,彭羽. 基于景观结构的北京市顺义区生态风险时空特征[J]. 应用生态学报,2016,27(5):1585-1593.
- [23] 郭泌汐,刘勇勤,张凡,等. 西藏湖泊沉积物重金属元素特征及生态风险评估[J]. 环境科学,2016,37(2):490-498.
- [24] 许友泽,刘锦军,成应向,等. 湘江底泥重金属污染特征与生态风险评估[J]. 环境化学,2016,35(1):189-198.
- [25] 许开鹏,王晶晶,迟妍妍,等. 基于综合生态风险的云贵高原土地利用优化与持续利用对策[J]. 生态学报,2016,36(3):821-827.