

MODIS 数据水体识别指数的识别效果比较分析

廖程浩, 刘雪华

(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 在光谱特征分析的基础上, 应用 MODIS 数据不同水体指数对水体信息进行识别, 并对其应用性能进行比较分析。结果表明, 混合水体指数(CIWI)是较理想的水体识别指数。若以反射率计算, 并以0为判别阈值, 则该指数的提取常数C的最佳取值为-0.85。就目前的研究成果来看, MODIS 数据还不太适用于小型水体的识别。

关键词: MODIS 数据; 水体识别; 水体指数

中图分类号: TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2008)04-0022-05

0 引言

在自然的气候和地理背景下, 一个区域的地表水主要来自降水和径流, 并在此基础上形成区域的水量平衡及与其相适应的生态环境。当区域水量发生变化时, 地表水分平衡和热量平衡都将发生改变, 进而导致区域气候和生态环境的变化。因此对区域水资源的调查分析是区域水资源管理和生态环境研究的重要内容。由于遥感技术可以回避人工调查方式中工作量大、精度低及耗时长等问题, 目前已经广泛应用到区域调查分析当中^[1~3]。

水体具有独特的光谱特征, 对 $0.4 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 波段的电磁波吸收明显高于绝大多数其它地物, 所以反射率很低, 即总辐射水平低。随着波长的增加, 水体的反射从可见光到中红外波段逐渐减弱, 在近红外和中红外波长范围内吸收最强, 几乎无反射^[4]。因此可以利用波段间反射率的差异以及水体与其它地物光谱反射率的不同特征来构建提取水体信息的指标。研究人员据此提出了多种水体识别方法用于水资源的遥感分析^[5~10]。基于遥感数据的水体识别指数是一种快速有效的水体识别分析手段, 对区域水资源的调查分析工作有很大帮助。

MODIS 数据具有空间分辨率中等、光谱分辨率良好、时间分辨率较高以及单幅影像覆盖范围广阔等优点, 在生态环境评价和监测等方面体现出良好的适用性和强大的应用前景。目前 MODIS 数据在陆地遥感中的应用主要表现在植被指数、冰雪覆盖、水体、火灾和热量异常、土地覆被研究等几个方面, 所应用的波段主要是覆盖了可见光到中红外波长范

围的 250 m 和 500 m 空间分辨率的 1 ~ 7 波段^[11~14]。在水体提取方面, MODIS 数据可以有效实现区域大中尺度的水资源状况快速调查和水资源总量及分布的连续监测, 是一种不可多得的水资源调查分析数据, 其应用技术和性能受到了广泛关注, 在区域水资源分析和雨洪灾害监测方面都有不少研究和应用^[15~21]。

目前, 水体信息遥感识别方法有单波段、多波段和水体指数法 3 种^[22~25]。单波段法是通过选择水体特征最明显的某单一波段(如近红外波段)数值为判别参数, 由阈值法或密度分割法确定水体信息, 该方法简单易行, 但存在较多混淆信息, 识别精度低; 多波段法综合了多个波段的水体光谱特征, 用决策树法和阈值法提取水体信息, 该方法水体识别精度比单波段法有所提高, 但波段选取和阈值确定的过程比较繁琐, 而且无法排除裸地等混合信息; 水体指数法是多波段法的改进, 它基于水体光谱特征分析, 选取与水体识别密切相关的多个波段, 分析水体与遥感光谱值之间的映射关系, 构建水体指数的数学模型, 由阈值法直接实现水体信息的提取, 是最受关注的水体识别方法^[26~28]。本文将通过对近年来学者提出的多种水体指数进行比较, 对各类指数在 MODIS 数据水体识别方面的效果进行分析。

1 研究区域与方法

1.1 研究区概况及数据源

本研究以北京市最大的山谷型水库——密云水库为对象, 分析应用 MODIS 数据各种水体指数进行水体提取的效果。同时, 为了探讨 MODIS 数据的水体指数在区域水资源宏观分析中的应用, 对南水北

调中线区域图 1 的较大水体进行了识别。

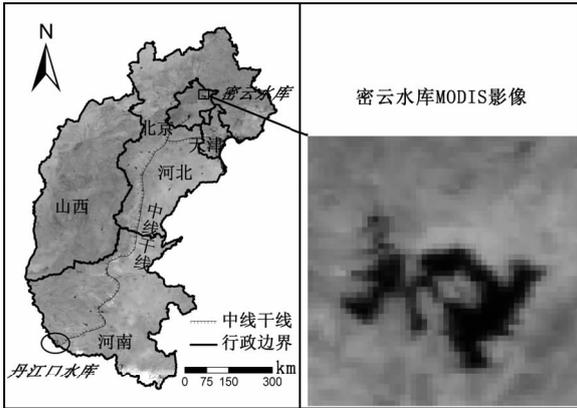


图 1 研究区示意图

(左图为南水北调中线区域,右图为密云水库)

所用遥感数据为 MODIS L1B 数据中的 250 m 和 500 m 分辨率的 1~7 波段反射率数据,获取时间为 2002 年 9 月 22 日和 2006 年 9 月 6 日。数据获取后用 ENVI 4.2 进行了必要的预处理工作,预处理后的影像彩色合成目视效果较好。

1.2 光谱分析

通过提取一定数量的典型地物样点,人机交互绘制像元的波谱图,统计出水体、城镇建设用地、植被和裸地(将除去水体和城镇建设用地的植被覆盖度小的多种地物统一为裸地)这 4 种典型地物在 MODIS 数据常用的 1~7 波段上的光谱特征。

1.3 水体指数分析、比选与应用

目前对水体指数构建和应用的研究很多,学者们提出的典型水体指数有如下几种:①Mcfeeters 提出的归一化差异水体指数($NDWI$)^[29],应用绿光波段 CH_{Green} (即 MODIS 数据第 4 波段)和近红外波段 CH_{NIR} (即 MODIS 数据第 2 波段),计算后用于识别水体;②徐涵秋等提出用中红外波段(对应 MODIS 第 6 波段)代替 $NDWI$ 近红外波段,提出改进的归一化差异水体指数($MNDWI$),其水体识别效果要好于 $NDWI$ ^[30];③莫伟华等从 MODIS 波段特点出发,通过分析水体的光谱和影像特征及各类水体指数的物理特征,提出了结合归一化植被指数和 MODIS 中红外波段(这里对应 MODIS 第 7 波段)信息的混合水体指数($CIWI$)^[23,24];④丁莉东等基于谱间关系法,提出了用 MODIS 数据的第 1、2、4 和 6 波段构建的水体光谱特征模型^[26,27],实际上这也可以看作是一种水体指数($SPWI$)。

本研究通过分析水体、植被及建筑用地等典型地物的光谱特征,依据水体与各类地物在第 2 波段上的差别和前人的研究,新构建了两个水体指数 WI_1 和 WI_2 ,所有水体指数计算公式列于表 1。按各类指数的计算方法,通过遥感图像处理软件 ENVI 的 Quick stat 和 Band math 功能获取相应波段的均值参数,计算相应结果,进行阈值划分。最终可以直接在 ENVI 中实现对水体的识别和提取。

表 1 水体指数信息

水体指数	计算公式	水体判断条件	备注
$NDWI$	$NDWI = (CH_4 - CH_2) / (CH_4 + CH_2)$	> 0	McFeeters, 1996 ^[29]
$MNDWI$	$MNDWI = (CH_4 - CH_6) / (CH_4 + CH_6)$	> 0	徐涵秋, 2005 ^[30]
$CIWI$	$CIWI = NDVI + CH_7 / \overline{CH_5} + C$ $NDVI = (CH_2 - CH_1) / (CH_2 + CH_1)$	需要确定阈值, C 是提取参数, 上标横线表示均值。	莫伟华等, 2006 ^[23,24]
$SPWI$	$SPWI = CH_1 + CH_4 - CH_2 - CH_6$	> 0	丁莉东, 2006 ^[26,27]
WI_1	$WI_1 = (CH_2 - 0.09) / (CH_2 + 0.09)$	< 0	本研究新构建指数
WI_2	$WI_2 = \frac{CH_2 - CH_1}{CH_2 + CH_1} + \frac{CH_2 - 0.09}{CH_2 + 0.09}$	< 0	CH_i 表示 MODIS 的第 i 波段

最后,为了对水体指数的区域应用效果进行分析,将比选得到的判别水体效果最好的指数应用到大范围区域。本文以南水北调中线干线所涉及的北京、天津、山西、河南和河北为所选指数的应用区域,对水体进行了识别。

2 结果与讨论

2.1 典型地物光谱特征

图 2 是水体在 MODIS 数据陆地应用常用的 1~7 波段上的响应光谱,反映了水体反射率的最大值、

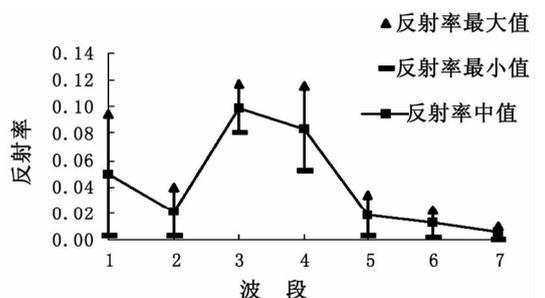


图 2 MODIS 数据 1~7 波段的水体特征谱线

最小值、中值和变化范围。可以看出水体在波段 1 的反射率大于波段 2 的反射率,在波段 2 处出现低

谷,在波段 3 处出现峰值,此后反射率逐渐降低,整体上呈现孤峰状曲线。总体的反射率水平都在 0.01~0.12 之间。由图 2 可见,水体在 MODIS 的 2、3、5、6、7 波段上信号比较集中,而 1 和 4 波段信号波动较大。

通过对各类典型地物进行光谱信息的提取并进行总结,用各典型地物在 MODIS 各光谱通道的反射率的中值来描绘其在 MODIS 数据中的光谱特性(图 3)。可以看出,不同地物的光谱特性有明显的区别,从而可以构建合适的水体指数,将水体与其它地物类型区分开来。在第 2、5、6、7 波段,不同地物的反射率区别较大。综合考虑水体波段信号的变化和与其他地物的光谱差别,第 2、5、6、7 波段或这几个波段与其它波段信息的组合较适合用于水体的识别。

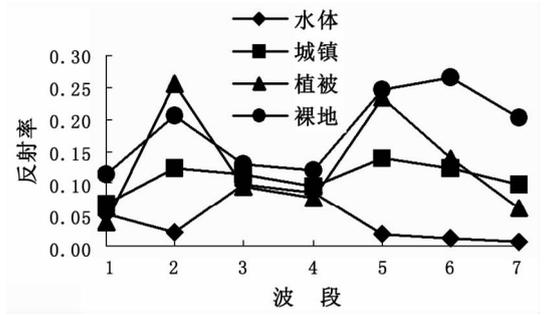


图 3 MODIS 数据 1~7 波段的典型地物光谱特性

2.2 水体指数比较

利用 *MNDWI*、*NDWI*、*CIWI*、*SPWI*、*WI₁* 和 *WI₂* 指数分别对研究区水体进行识别,得到研究区 2002 年不同水体指数提取效果图,见图 4。

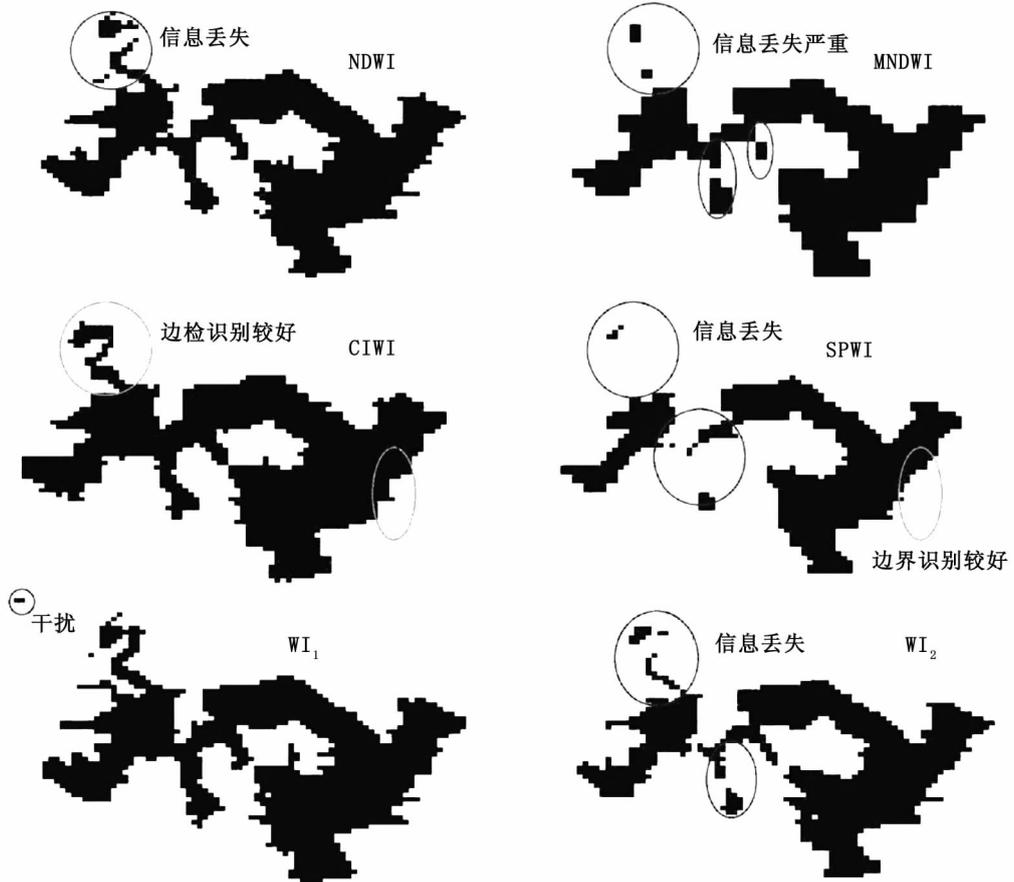


图 4 2002 年密云水库不同水体指数提取效果

进一步对这些指数进行检验分析,结果见表 2。

表 2 MODIS 数据提取的各种水体指数
检验结果分析对照

水体指数	空间分辨率/m	信息丢失	干扰 ^①	水体形状和边界误判	总体效果
MNDWI	500	严重	严重	严重	差
NDWI	250	一般	严重	一般	差
CIWI	250	少	少	好	好
SPWI	250	严重	严重	严重	差
WI ₁	250	少	严重	好	一般
WI ₂	250	严重	一般	一般	差

①: 干扰包括云的干扰和水陆混合像元的干扰。

从中可以得知: *CIWI* 能够较好地提取水体,其原因可能是充分利用了水体在 MODIS 第 1、2 通道反射率下降的特殊特征和在第 7 通道上的低反射率; *NDWI* 能够识别水体,是较早提出的水体指数,但是存在较多的干扰和信息丢失等问题; *MNDWI* 用水体吸收更加强烈的中红外波段代替 *NDWI* 的近红外波段,但是因为 MODIS 数据中红外波段分辨率为 500 m,低于近红外波段 250 m 的空间分辨率,反而使指数的空间分辨率降低,导致了更多的识别错

误; *SPWI* 指数虽然符合水体在 MODIS 第 1 和第 4 波段反射率大于第 2 和第 6 波段的特殊特征, 但提取效果却不理想, 原因可能是仅用波段信号的线性组合, 干扰较多; 就在波谱特征分析基础上新构建的水体指数来说, WI_1 应用水体在第 2 波段上的反射率与其它地物区别明显、且空间分辨率较高的特征, 将单波段信息和阈值用归一化的方式构建指数, 识别效果也不错, 但因为仅仅利用单波段信息, 会出现一些干扰; WI_2 参考 *CIWI* 的构建方式, 采用第 2 波段反射率与阈值的归一化计算结果代替第 7 波段反射率与均值的比值, 但存在信息丢失, 识别效果不理想, 原因可能是指数的两个部分都与第 2 波段有关, 线性组合过程会引入部分干扰。

莫伟华等^[23,24] 提出 *CIWI* 时, 计算公式中的提取常数 *C* 是为了便于比较分析, 只对计算结果进行放大和平移, 并没有给出具体的参数取值和水体的判别阈值。经过应用该指数对整个南水北调中线区

域水体的提取效果进行分析, 结果表明纯净的水体像元在参数 $C = 0$ 时, $CIWI < 0$, 随着水体所受污染程度以及像元混合程度的增加, 水体像元的 *CIWI* 值增加。通过对识别结果的统计分析可知 $CIWI < 0$ 为提取界限时, 参数 *C* 的最佳值为 -0.85 左右, *C* 值减小将会引入城镇信息的干扰, 造成水体信息的误判。即以反射率为基础的 *CIWI* 计算公式为: $CIWI = NDVI + CH_7 / CH_7 - 0.85$ 。

2.3 水体指数 *CIWI* 的应用探讨

通过南水北调中线工程区域水体识别的应用, *CIWI* 水体指数表现出良好的水体识别能力, 使整个区域范围内的主要水体都得到了体现(图 5)。区域内主要水库水面在 2002 年和 2006 年没有太大变化。官厅水库等的水面有所减少, 其提取结果在区域图上有所变小, 但仍清晰可见。但河北西北部的安固里淖水面面积急剧缩小, 出现干涸。这与遥感彩色合成图上目视判别的结果也是一致的(插页彩片 8)。

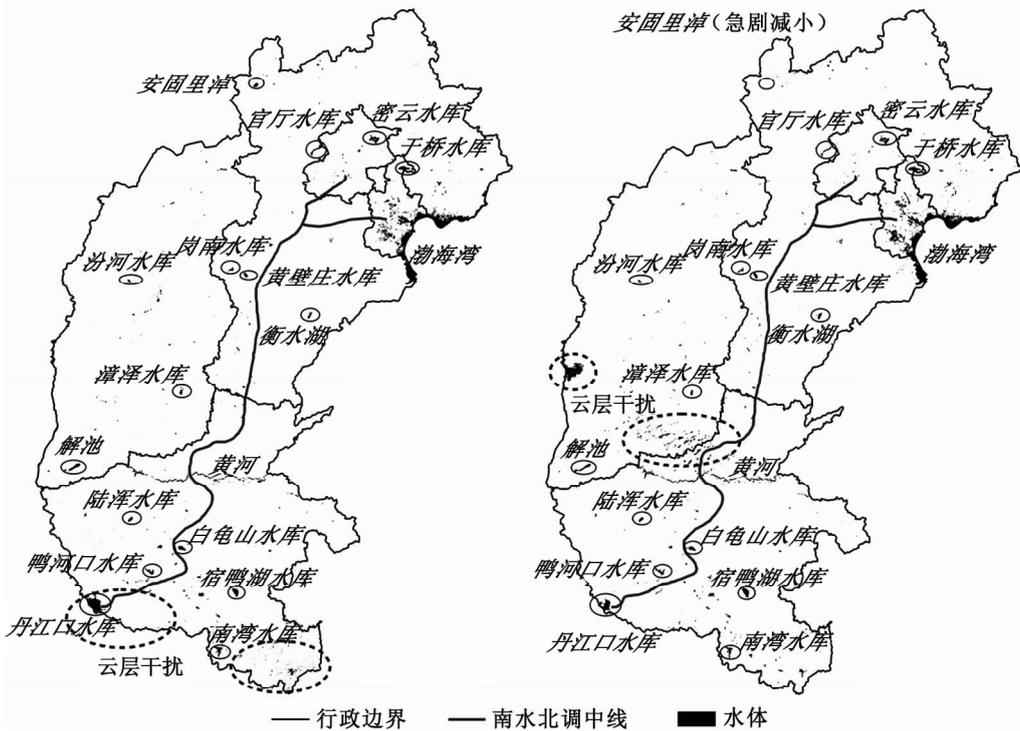


图 5 南水北调周边区域 *CIWI* 水体识别结果 (左图为 2002 年; 右图为 2006 年)

此外, 虽然 *CIWI* 是较好的水体提取指数, 但也存在信息误判及丢失的问题, 如云层下的阴影有可能会被误判为水体、河流识别结果为断续的线及较小的河流不可识别等, 主要原因在于 MODIS 数据的空间分辨率较低, 对小尺度的水体单元识别比较困难。

3 结论

通过光谱特征分析和不同水体指数在水体信息

识别时的应用性能对比, 结果表明, 对 MODIS 数据而言, 较好的水体指数是 *CIWI*。应用 MODIS 的波段反射率信息, 并以 0 为阈值判别水体时, 参数 *C* 的最佳取值在 -0.85 左右。该指数综合了植被指数和红外波段信息, 可以实现区域水资源分布的快速调查和监测, 较好地识别水体的分布和形状, 是进行大尺度的区域水资源调查分析和管理的**有效方法。

总的来说, MODIS 数据在水体提取方面, 适用于判断和识别区域内较大水体的面积及其变化。MO-

DIS 数据的空间分辨率最多仅达到 250 m, 加上混合像元的存在, 为该数据在小尺度的水体提取工作中带来很多不便。在没有解决混合像元问题的情况下, MODIS 数据不太适用于一般河流和较小库塘的识别和监测。如何更好地做到区分混合像元内的水体信息, 将水体边界更精确地确定, 有待进一步研究。

致谢: 感谢中国科学院地理与资源研究所的全球变化信息研究中心提供相关研究数据。

参考文献:

- [1] 包安明, 张小雷, 方晖, 等. MODIS 数据在新疆生态环境建设中的应用[J]. 干旱区地理, 2004, 27(2): 256-260.
- [2] 殷青军, 杨英联. 基于 EOS/MODIS 数据的青海湖遥感监测[J]. 湖泊科学, 2005, 17(4): 356-360.
- [3] 刘瑞霞, 刘玉洁, 郑照军, 等. 博斯腾湖面积定量遥感[J]. 应用气象学报, 2006, 17(1): 100-106.
- [4] 童庆禧. 中国典型地物波谱及其特性分析[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [5] 闵文彬. 长江上游 MODIS 影像的水体自动提取方法[J]. 高原气象, 2004, 23: 141-145.
- [6] 颜梅春. 基于 TM 数据的水域变化信息提取研究[J]. 水资源保护, 2005, 21(6): 31-33.
- [7] 余明, 李慧. 基于 SPOT 影像的水体信息提取以及在湿地分类中的应用研究[J]. 遥感信息, 2006, (3): 44-47.
- [8] 李科, 王毅勇. 改进 TM 图像水体自动提取模型的研究[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(6): 20-22.
- [9] 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): 154-160.
- [10] 李小曼, 王刚. 基于 ERDAS IMAGINE 的 TM 影像中较小水体识别方法[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(4): 215-216.
- [11] 刘闯, 葛成辉. 美国对地观测系统(EOS)中分辨率成像光谱仪(MODIS)遥感数据的特点与应用[J]. 遥感信息, 2000, (3): 45-48.
- [12] 李登科, 张树誉. EOS/MODIS 遥感数据与应用前景[J]. 陕西气象, 2003, (2): 37-40.
- [13] 黄家洁, 万幼川, 刘良明. MODIS 特性及其应用[J]. 地理空间信息, 2003, (4): 20-23, 28.
- [14] 杨兰芳. 应用 EOS/MODIS 资料监测河西内陆河下游水库湖泊水域的变化[J]. 干旱气象, 2005, 23(1): 49-53.
- [15] 彭定志, 熊立华, 郭生练, 等. MODIS 在水文水资源中的应用与展望[J]. 水科学进展, 2004, 15(5): 683-688.
- [16] 吴赛, 张秋文. 基于 MODIS 遥感数据的水体提取方法[J]. 计算机与数字工程, 2005, 33(7): 1-4.
- [17] Yulin Cai, Guoqing Sun, Baoqin Liu. Mapping of Water Body in Poyang Lake from Partial Spectral Unmixing of MODIS Data[J]. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005, (7): 4539-4540.
- [18] 蒯晓童, 陈德清, 陈子丹, 等. MODIS1B 数据在水利中的应用[J]. 地理空间信息, 2006, 14(2): 41-43.
- [19] 丁莉东, 余文华, 覃志豪, 等. 基于 MODIS 的鄱阳湖区水体水灾遥感影像图制作[J]. 国土资源遥感, 2007, (1): 82-85.
- [20] 王随霞, 张行南, 朱辰华, 等. 基于 MODIS 数据的黄河水体提取方法研究[J]. 人民黄河, 2007, 29(3): 27-28.
- [21] 梁益同, 刘可群, 周守华, 等. EOS-MODIS 数据监测暴雨洪涝灾害的技术方法[J]. 暴雨灾害, 2008, 27(1): 64-67.
- [22] 吴赛. 基于 EOS/MODIS 的水体提取模型及其在洪灾监测中的应用[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.
- [23] 莫伟华, 孙涵, 钟仕全, 等. MODIS 水体指数模型(CIWI)研究及其应用[A]. 中国气象学会 2006 年年会“卫星遥感技术进展及应用”分会场论文集[C]. 成都, 中国气象学会, 2006.
- [24] 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.
- [25] 王刚, 李小曼, 田杰. 几种 TM 影像的水体自动提取方法比较[J]. 测绘科学, 2005, 33(3): 129, 141-142.
- [26] 丁莉东, 吴昊, 王长健, 等. MODIS 图像湖泊水体信息的快速识别与制图[J]. 海洋测绘, 2006, 26(6): 31-34.
- [27] 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.
- [28] 王志辉, 易善桢. 不同指数模型法在水体遥感提取中的比较研究[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(4): 534-537.
- [29] S K McFeeters. 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.
- [30] 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.

AN EFFECTIVENESS COMPARISON BETWEEN WATER BODY INDICES BASED ON MODIS DATA

Liao Cheng-hao, Liu Xue-hua

(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This paper has compared the effectiveness of different water body indices which are applied to identify water bodies based on the MODIS data. The results show that the Combined Index of NDVI and MIR for Water Body Identification (CIWI) is the most effective index for water body identification when the MODIS data are used. In calculating CIWI by using the MODIS reflectance data with 0 as the distinguishing value, the constant in the expression of CIWI is -0.85. It is also shown that the MODIS data are unsuitable for small water body identification because their spatial resolution is not very high.

Key words: MODIS data; Water Identification; Water body index

第一作者简介: 廖程浩(1984-), 男, 研究生, 主要研究方向为生态修复和 3S 技术应用。

(责任编辑: 李瑜)