

# 空间分辨率对水体遥感信息提取的影响

周 蕾, 崔云霞, 韦玉春

(南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023)

**[摘要]** 以庐山及其周边作为研究区域,以MODIS、Landsat ETM+、SPOT以及GeoEye为数据源,对比分析了不同空间分辨率影像上水体的表现特征和影像所提取的水体结果的差异。结果表明:在地形较为平坦、边界较为规整、水体面积较大的区域,空间分辨率对提取效果的影响较小;反之,提取面积误差会随着空间分辨率的降低而增大。在地形平坦、边界规整、水体面积较大的区域,ETM+影像能很好地满足精度要求;而在地形崎岖、边界粗糙、水体面积较小的区域,综合考虑精度要求、经济成本和时间成本,适合采用分辨率为10 m的SPOT影像提取水体。

**[关键词]** 空间分辨率, 水体提取, 遥感影像, 遥感信息提取

**[中图分类号]** TP753 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2015)04-0066-09

## Influence of the Spatial Resolution of Remote Sensing Images on Water Information Extraction

Zhou Lei, Cui Yunxia, Wei Yuchun

(School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** With the development of remote sensing technology, the spatial resolution of satellite remote sensing image has increased greatly, which enriches the research of water body in land cover. In this paper, based on the MODIS, Landsat ETM+, SPOT and GeoEye image, water body of the Lushan area is extracted and compared. The paper discusses the image characteristics of water body and analyzes the accuracy of water information extraction from the remote sensing images with different spatial resolution. The results show that the effect of the spatial resolution on extraction of water body in the plain area is small, but the extraction errors will increase with the lower spatial resolution. The ETM+ image in the plains area and the SPOT image in the mountains can meet the accuracy requirements considering the economic costs and time costs.

**Key words:** spatial resolution, water body extraction, remote sensing image, remote sensing information extraction

我国水资源丰富,纵横交错的河流和大大小小的湖泊等水体为改造自然和促进社会发展奠定了基础,同时也为经济建设提供了有利条件。但由于人口众多、环境保护不得当,加之生产生活用水浪费严重,水资源利用效率较低,因此,我国仍是一个缺水严重的国家。水资源问题已成为我国实施可持续发展战略过程中必须认真解决的重大问题。

为了更好地解决这一问题,必须加强对水体的监测力度,提高对水体的监测能力。遥感技术是目前能够迅速获取地面信息以进行环境监测的重要手段之一<sup>[1]</sup>,随着信息技术、传感器技术的飞速发展,卫星遥感影像的空间分辨率得到了不断地提高,从而极大地丰富了有关水体的研究内容。遥感数据具有实效性强、信息量丰富、经济效益高以及不会破坏调查对象等特点。通过卫星影像准确、迅速地提取大范围的水体信息,可以有效地进行水体变化监测。但由于水体自身因素、周围气候地形和混合像元等相关因素的干扰,在不同空间分辨率的遥感影像上水体的表现特征存在一定的差异,空间分辨率过低会损失相关信息量,使得所观测的对象失真;空间分辨率过高会产生额外的信息,浪费计算机资源,而全部采用高空间分辨率图像在现阶段也是不现实、不经济的。因此,研究空间分辨率对水体信息提取的影响便成为一个值得重视的问题。

收稿日期:2015-05-25.

通讯联系人:崔云霞,教授,研究方向:环境地理学、环境规划与管理. E-mail:445112237@qq.com

一些学者就空间分辨率对水体遥感提取的影响做了相关的研究. 于欢、张树清等<sup>[2]</sup>因为空间分辨率的大小会影响提取水体的精度,主张采用像元分解及多源遥感数据融合技术来达到提高水体信息提取精度的目的. 杨旭艳、赵婷等<sup>[3]</sup>发现,在其所研究的区域,10 m~45 m分辨率之间进行提取的水系比较完整且边界较为清晰,但随着分辨率的不断提高,达到120 m分辨率时提取水体就显得较为困难,从而推理出空间分辨率对水体提取的效果有较大影响. 郝振纯、池宸星等<sup>[4]</sup>则发现空间分辨率的不同会对空间参数的特性产生相关影响;且随着分辨率的变化,包含的信息量也相应地发生变化;此外,随着分辨率的变粗,会导致流域最高、最低高程的变化,从而流域地形也会随之逐渐变得平坦,流域的平均坡度、河网密度以及河网长度等也在逐渐减小. 熊金国、王世新等<sup>[5]</sup>发现,在低分辨率图像中,水域提取精度取决于观测区域的水体景观格局分布,此外在分析高分辨率下水体的面积比例、周长以及高分辨率和低分辨率水体面积误差之间的关系时,斑块面积很小且很破碎的区域产生的误差较大,但当斑块面积比例高且周长相对较低时,误差就很小.

## 1 研究区域概况和数据预处理

### 1.1 研究区域概况

本文选取庐山及其周边作为研究区域. 庐山地处东经115°52'~116°08',北纬29°26'~29°41',面积302 km<sup>2</sup>,外围保护地带面积500 km<sup>2</sup>. 气候上属亚热带东南季风区,地势上属我国第一阶梯,地貌上属长江中下游平原,地势平缓,江河密布,湖泊众多,水资源丰富,植物葱郁,土壤肥沃,是富饶的鱼米之乡.

庐山水系的发育由于受到岩性和地质构造的影响,大致沿北东—南西、南东—北西构造线延伸. 庐山地区多年平均降水量总的趋势<sup>[6]</sup>是山区大于丘陵,丘陵地区北部大于南部,且受地形因素的影响,在不同的高程其降水量不同,一般而言降水量会随着高程的增加而逐渐增大,但当高程达到1 000 m~1 100 m时,再往上升降水量会随高程的增加而逐渐减小. 4月~9月为庐山的汛期,10月至次年3月为枯水期,年最高水位多出现于5月~6月,而年最低水位多出现于12月至次年1月.

庐山及其周边地区水体众多,主要有芦林湖、黄龙潭、三叠泉、八里湖、鄱阳湖等. 水体透明度高,很少受到污染,水质可达饮用水标准,水环境生态平衡未受到很大的破坏. 其中,鄱阳湖为我国第一大淡水湖<sup>[7]</sup>,集水面积为16.2万 km<sup>2</sup>,丰水期湖区面积达4 078 km<sup>2</sup>,相应的湖容积为301亿 m<sup>3</sup>,而最枯时的湖水面积只有146 km<sup>2</sup>,对应的湖容积为4.5亿 m<sup>3</sup>.

### 1.2 数据预处理

由于庐山水域具有季节性和周期性的特点,为使水体提取所呈现的效果较好,尽可能选择丰水期的遥感影像进行提取. 此外,为更好地进行空间分辨率的比较,所选择影像的时间要尽可能接近. 综合考虑各种因素,最终选择了2009年5月11日的Landsat ETM+影像(空间分辨率为30 m)、2009年5月9日的MODIS\_L1B影像(空间分辨率为500 m)、2009年5月6日的SPOT影像(空间分辨率为10 m)以及2010年12月18日的GeoEye影像(空间分辨率为2 m).

本次研究主要进行影像几何校正、配准及公共区域剪裁等预处理工作.

## 2 空间分辨率不同对水体表现特征的影响分析

### 2.1 空间分辨率与水体边界

空间分辨率是遥感影像上能够识别的两个相邻地物的最小距离,即每个像元所代表的地面实际范围的大小. 例如,TM图像中一个像元所代表的地面面积为28.5 m×28.5 m,则该图像的空间分辨率为30 m. 因此,在空间分辨率逐渐提高的同时,单个像元所对应的地面面积就会随之变小,从而使得像元的纯净度提高,水体的轮廓特征也就会更加清晰. 反之,单个像元所对应的地面面积变大,从而影像中混合像元的个数增多,水体的轮廓特征也会随之模糊,这样会导致对水体的识别难度增大. 如图1所示,对于同一地物的水体像元个数按照GeoEye(2 m)、SPOT(10 m)、ETM+(30 m)、MODIS(500 m)影像的顺序逐渐减少,而边界的混合像元个数则随之增加.

对同一区域进行目视解译的过程中,由于空间分辨率的不同,高空间分辨率影像上显示为水体的区域在低空间分辨率影像上可能会以混合像元的形式呈现而被解译为其他地物类,因此需要对本文的水体

做一个定义:以 MODIS 影像为基准,凡是在 MODIS 影像上显示为水体的区域都在本文的讨论范围之内,而在其他影像上显示为水体但 MODIS 影像上被划分为其他地物类的本文则不予考虑.为能够更好地进行比较分析,将本文所研究的水体类型定为湖泊.

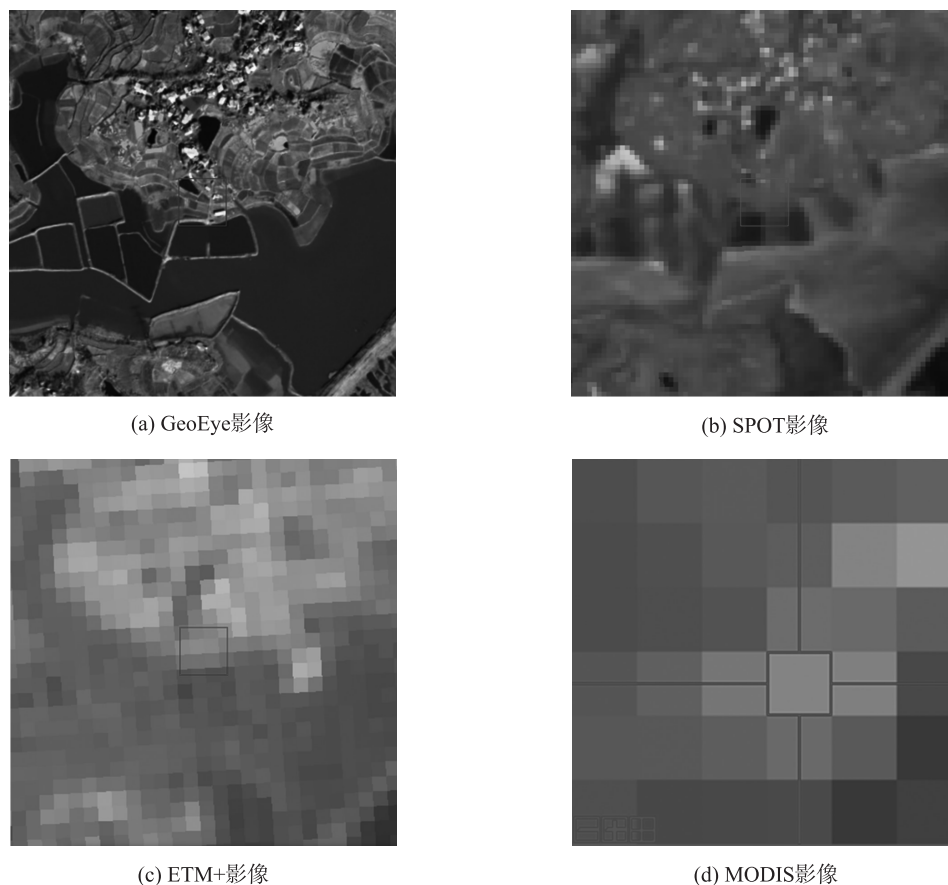


图1 不同空间分辨率影像上的水体分布和边界

Fig.1 Water distribution on the different spatial resolution imagery and border

在 GeoEye 影像上可以非常清楚地看到水体的轮廓,且水体边界比较清晰,甚至可以看到水中的轮船、水的波纹以及建在水上的大坝等.

在 SPOT 影像上可大致清晰地看出水体的轮廓,但相较于 GeoEye 影像,边界阶梯化现象出现,且忽略了很多地物细节,例如河上的小桥、细小的支流等.

在 ETM+影像上水体的轮廓不甚清晰,边界阶梯化现象更加显著.此外,由于空间分辨率的限制,水体与林地、河滩、耕地等地物构成的混合像元大量存在,很多面积较小的水体尤其是庐山上的水体无法清晰显示.

在 MODIS 影像上,由于该图像的空间分辨率较低,空间异质性较小,水体大多与周围的地物以混合像元的形式出现,小型水体在遥感影像上几乎显现不出来,但水系的整体分布状况一目了然.

图2所示为相同像元个数下不同空间分辨影像上的水体.从图2可以看出,相同的像元个数下不同空间分辨率影像上水体的表现是不同的. MODIS 影像可以通过较小的影像面积来展现整个庐山及其周边水域的水系分布情况,但忽略了很多细小的水体;而相同情况下的 ETM+影像只能显现庐山水体的局部影像,但细小水体能大致清晰显示.因此,空间分辨率低的影像可用以从宏观的角度来观察庐山及其周边区域的水体特性,而空间分辨率高的影像则可用以从微观的角度来进行分析研究,二者相互结合可达到很好的目视解译的效果.

同时,并非影像的空间分辨率越高,所呈现水体信息的效果就越好.因为相较于低空间分辨率影像而言,高空间分辨率影像的噪声更多,背景地物的细节会被放大,且影像上的阴影遮挡效应表现更明显,会对水体信息的识别与提取工作造成一定的干扰.

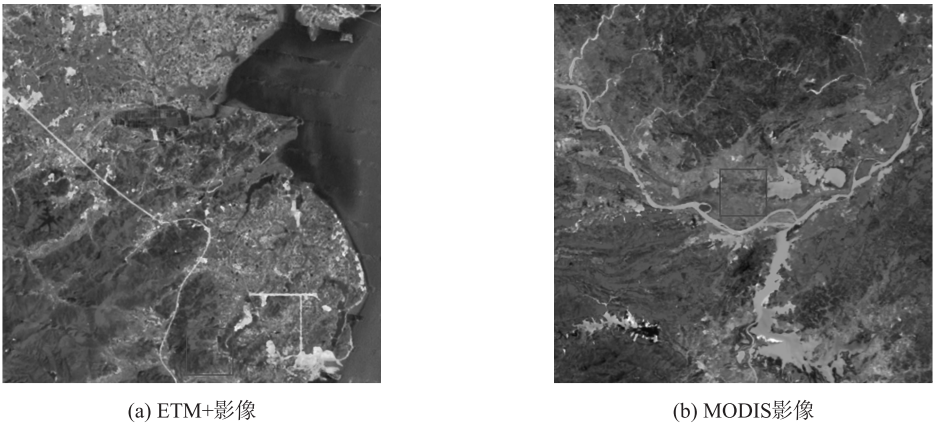


图2 相同像元个数下不同空间分辨率影像上的水体

Fig.2 The water information from the remote sensing images with different spatial resolution on the same number of neurons

2.2 空间分辨率与水体信息的提取结果

2.2.1 不同空间分辨率影像的水体信息提取结果和精度评价

本文随机选取了370个验证点来进行各个影像水体信息提取的精度评价,统计结果如表1所示,GeoEye影像的信息提取精度最高,SPOT其次,ETM+再次,空间分辨率最低的为MODIS影像.这也印证了在一般情况下遥感影像的分辨率越高,影像的纹理和结构特征越明显,因此水体影像轮廓特征也就会越清晰、独立、简单,这也在一定程度上影响了水体提取的精度.

表1 不同空间分辨率的水体面积提取结果精度分析

Table 1 Accuracy analysis of different spatial resolution of water area extracting results

数据类型	验证点/个	漏提点/个	正确提取精度/%
MODIS	370	125	63
ETM+	370	37	90
SPOT	370	30	92
GeoEye	370	12	97

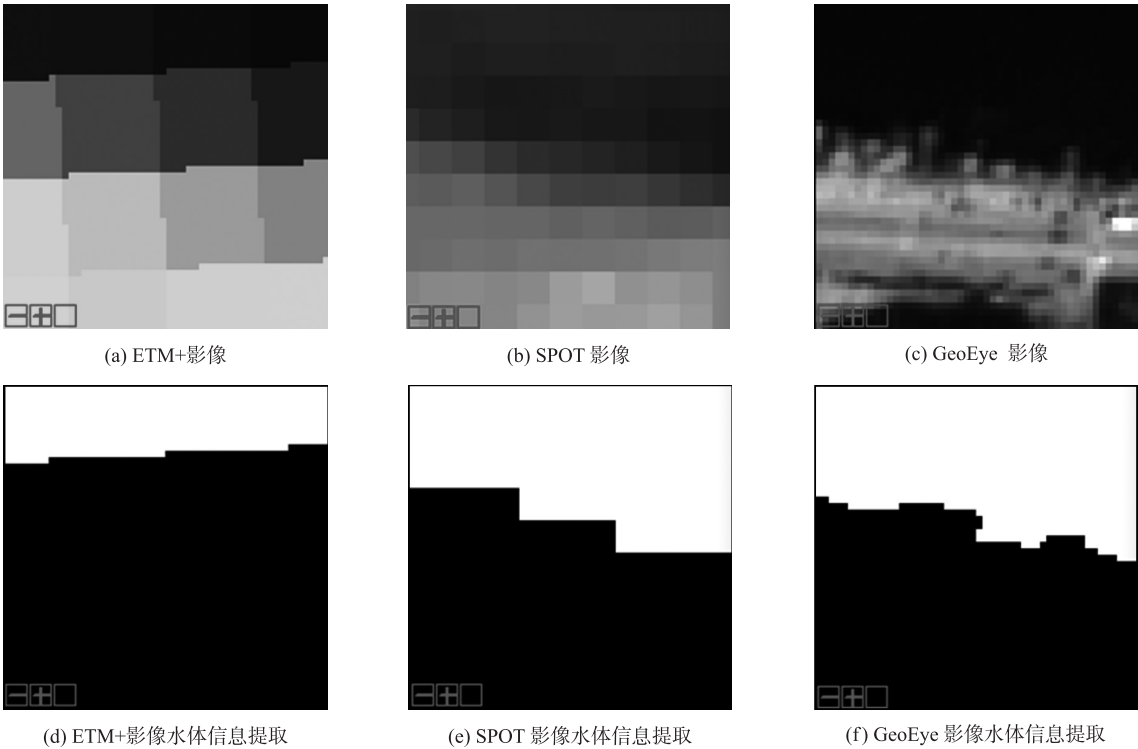


图3 不同分辨率图像上同一水体边界的对比

Fig.3 Comparison of images with different resolutions of the same border of water body



不同分辨率对同一水体边界信息提取准确度的影响如图3所示.从图3可以看出,对于水体的边界,随着空间分辨率的提高,所引入的混合像元个数减少,且在人工勾绘水体的时候,会减少边界处由人为因素造成的混合像元,因此,从整体上而言划分水体边界的准确度提高.

2.2.2 空间分辨率对山区和平原地区水体信息提取结果的影响

(1)山区水体信息提取结果与空间分辨率的关系

庐山地形变化较大,有些地区阴影和水体的波段值接近,在低分辨率影像上易被误认为是水体而提取出来,即会造成水体面积计算的不准确性.此外,随着空间分辨率的提高,遥感影像上的阴影遮挡效应会更明显,会对水体提取工作造成一定的干扰,如图4所示.因此在选择研究区进行面积比较时应尽可能避开这一因素的干扰.

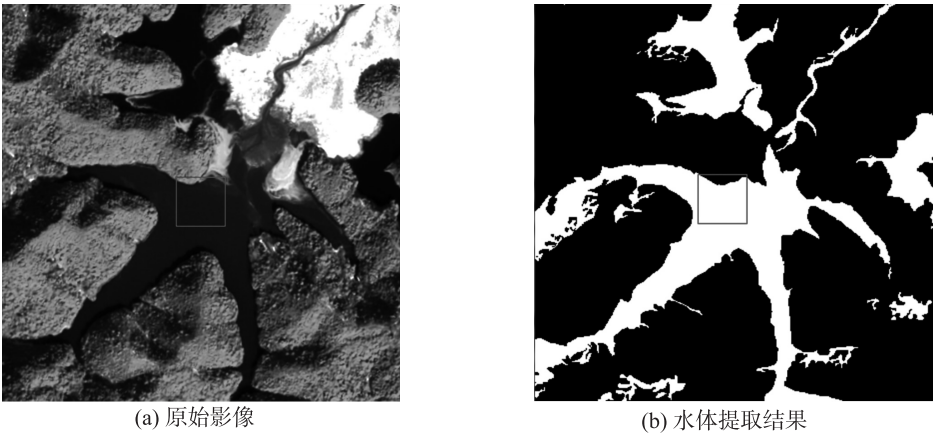


图4 山体阴影对水体信息提取的影响(GeoEye影像)

Fig.4 Mountain shadow influence on water information extraction (GeoEye image)

本文以图5作为山区水体研究区域.从图5可以看出,该区域的山体阴影对水体提取未造成干扰,因此计算出的水体面积较准确.本节所使用的理论水体面积值是以GeoEye遥感影像为参照标准而得到的.结合表2和图6可以看出,ETM+影像和SPOT影像虽然都是因为空间分辨率不高而引起水体提取精度的降低,但精度降低后的效果并不一样,ETM+影像提取出的水体面积缩小,而SPOT影像所提取的水体面积反而扩大.ETM+影像的获取日期为2009年5月11日,SPOT影像的获取日期为2009年5月6日,两类影像都是在庐山丰水期所获取的,因而水体面积的变化与汛期无关.从图7可以看出,在某一混合像元中,当其他地物的比例超过水体时,则会被解译为非水体,反之则被解译为水体.由于空间分辨率越低的影像越易受到周围地物的影响,导致混合像元数增多且像元中其他地物的比例高于水体,从而造成水体信息的漏提以致水体面积变小;而空间分辨率越高的影像,混合像元数减少,在边界处的混合像元中的其他地物比例低于水体,从而造成水体的误分,导致其面积增大.这也跟水体边界处像元面积随着空间分辨率的提高而减小有关.

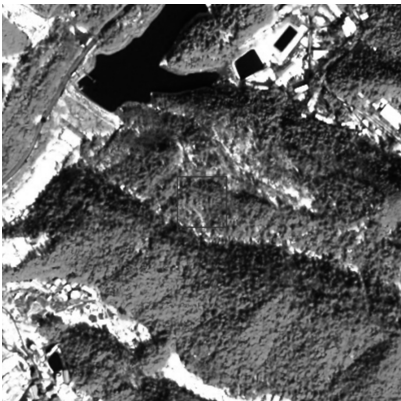


图5 山区水体对比区(GeoEye影像)

Fig.5 Mountain water contrast areas (GeoEye image)

表2 不同空间分辨率遥感影像水体提取面积的比较

Table 2 Comparing the results of water area extraction from the remote sensing images with different spatial resolution

传感器	空间分辨率/m	研究区面积/m <sup>2</sup>	提取的水体面积/m <sup>2</sup>	理论水体面积/m <sup>2</sup>
ETM+	30	620 800	2 483	31 040
SPOT	10	620 800	43 456	31 040
GeoEye	2	620 800	31 040	31 040

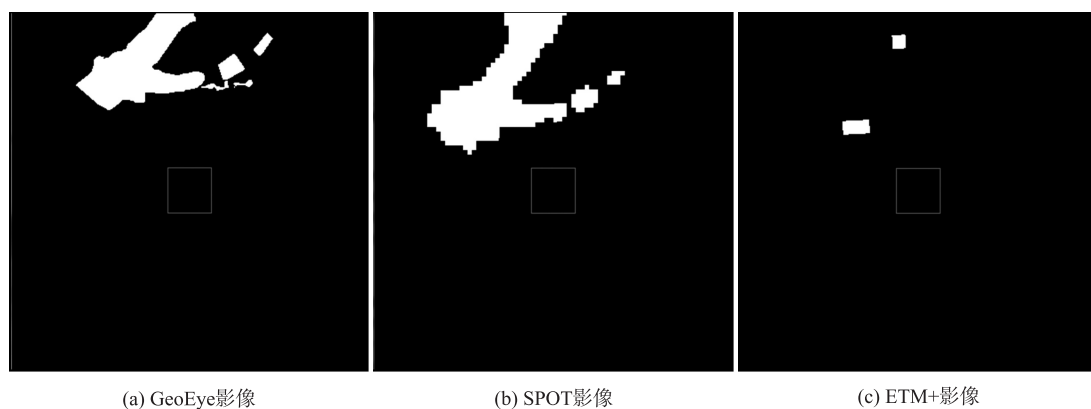


图6 不同空间分辨率遥感影像对同一区域内的水体信息提取

Fig.6 The water information extraction from the remote sensing images with different spatial resolution in the same area

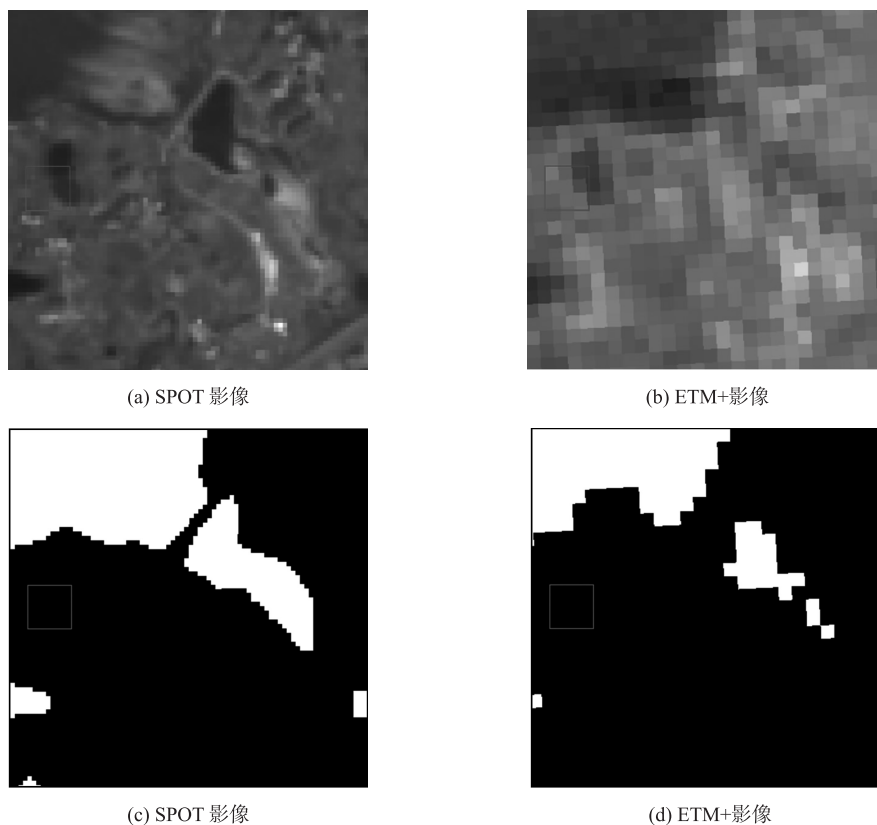


图7 不同空间分辨率影像对同一区域的水体信息提取的结果对比

Fig.7 Comparing the results of water information extraction from the remote sensing images with different spatial resolution in the same area

因此,在该研究区,空间分辨率最高的GeoEye影像的提取效果最好. GeoEye影像所提取出的水体不仅边界清晰,且将两个细小的支流也提取出来,使得所统计出的水体面积大小更接近真实的水体面积.

#### (2)空间分辨率不同对平原地区水体信息提取的影响

一般而言,城市大多建在地形较为平坦的地区,因此,本文选择九江市中的甘棠湖(局部)作为本节的研究区域,如图8所示.

本节所使用的理论水体面积值是以GeoEye遥感影像为参照标准而得到的. 结合图9和表3可以看出,由于混合像元面积在边界地区随空间分辨率的减小而增大,从而导致了水



图8 平原水体对比区(GeoEye影像)

Fig.8 Plain water contrast areas(GeoEye image)

体误分的加剧,因此SPOT影像所提取出的水体面积较理论面积大一些. MODIS影像的水体面积明显小于其他影像,究其原因是空间分辨率过低,导致水体中的混合像元个数增多,造成水体信息的漏提,使得水体面积过小.

在该研究区空间分辨率最高的GeoEye影像的提取精度最好. 在GeoEye影像中,不仅所提取出的水体边界较为清晰,且连水中的小岛、轮船的边界也能细致地勾绘出来,使得水体面积的准确度提高.

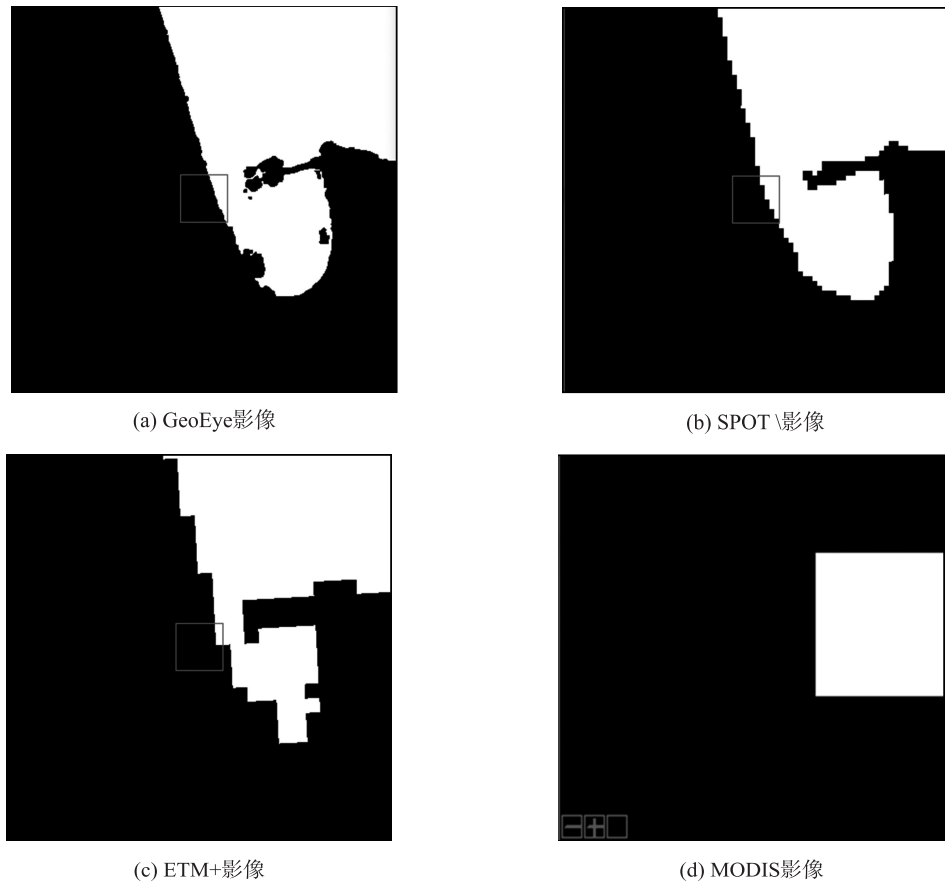


图9 不同空间分辨率遥感影像对同一区域内的水体信息提取

Fig.9 The water information extraction from the remote sensing images with different spatial resolution in the same area

表3 不同空间分辨率遥感影像水体提取面积的比较

Table 3 Comparing the results of water area extraction from the remote sensing images with different spatial resolution

传感器	空间分辨率/m	研究区面积/m <sup>2</sup>	提取的水体面积/m <sup>2</sup>	理论水体面积/m <sup>2</sup>
MODIS	500	640 000	51 200	185 600
ETM+	30	640 000	153 600	185 600
SPOT	10	640 000	192 000	185 600
GeoEye	2	640 000	185 600	185 600

(3)山区和平原地区水体信息提取结果的比较分析

山区和平原地区遥感影像的水体提取面积与理论面积的比较分别如表4和表5所示.

表4 山区影像的水体提取面积与理论面积比较

Table 4 Comparison of mountain image of the water extraction area and the theoretical area

传感器	空间分辨率/m	提取的水体面积/m <sup>2</sup>	理论水体面积/m <sup>2</sup>	水体提取面积与理论面积之比
MODIS	500	0	31 040	0
ETM+	30	2 483	31 040	0.08
SPOT	10	43 456	31 040	1.40
GeoEye	2	31 040	31 040	1.00

从表4和表5可知,无论是山区还是平原地区,遥感影像的空间分辨率越高,其水体提取精度越好.在4种影像中,GeoEye影像的提取精度效果是最佳的.然而空间分辨率越高,遥感影像的提取效率也并非就越高,随着空间分辨率的提高,同物异谱和异物同谱的现象大量存在,水体影像上的阴影遮挡效应表现得更为明显,会对水体的遥感判别与提取增加一些干扰性的噪声信息.

表5 平原地区影像的水体提取面积与理论面积比较

Table 5 Comparison of plains images of the water extraction area and the theoretical area

传感器	空间分辨率/m	提取的水体面积/m <sup>2</sup>	理论水体面积/m <sup>2</sup>	水体提取面积与理论面积之比
MODIS	500	51 200	185 600	0.28
ETM+	30	153 600	185 600	0.83
SPOT	10	192 000	185 600	1.03
GeoEye	2	185 600	185 600	1.00

从图10可以看出,无论是哪一种空间分辨率的遥感影像,平原地区水体的提取精度均高于山区.随着空间分辨率的减小,山区影像提取精度的降低速度要比平原地区快,这说明山区影像的水体提取精度更易受到空间分辨率的限制,空间分辨率越低,水体周围混合像元数量增加,赵易导致水体漏提,尤其是小型水体几乎不能被提取出来,且随着空间分辨率的降低,混合像元面积增大,使得水体漏提的现象更加严重,加快了精度降低的速度.而在平原地区,空间分辨率的增大使得水体提取精度也随之提高,但提升幅度整体而言没有山区大,因此可以推断其精度受遥感影像空间分辨率的影响较小.

综上所述,在平原地区,人工改造自然地理环境的程度较大,因此水体形状比较规则,水体类型主要是水库、人工湖泊、池塘等,大多呈面状分布,即便是自然水体,也会因为城镇化等因素使得水体轮廓较易辨认.平原地区范围广,水体尺寸也相对较大,且平原地区的水体提取精度随遥感影像空间分辨率增加的趋势有限,因此可适当降低影像的空间分辨率,结合考虑人工成本、经济成本和时间成本等相关因素,选择分辨率为30 m的ETM+影像即可满足一定的精度要求.面对一些特殊情况,例如进行污染源识别、水库建设等相关水资源监测与应用时,可适当提高影像的空间分辨率,选择SPOT(10 m)遥感影像.

在山区,地形起伏较大,草木茂盛,自然环境未受到很大的人为改造,因而水体边界曲折蜿蜒,水体类型主要是湖泊、瀑布、溪水等,大多呈点状或线状分布,分布较为分散,加之山体阴影的影响,水体轮廓相对不易识别.山区范围相对狭窄,水体面积也相对较小,山区影像的水体提取精度易受空间分辨率的影响,因而需要较高的空间分辨率影像.综合考虑精度要求、经济成本、时间成本和人工成本等因素,适合采用空间分辨率为10 m的SPOT影像.在一些特殊情况下,例如对特定的某个水体进行环境监测时,可适当选择更高空间分辨率的影像,如GeoEye(2 m)遥感影像.

### 3 结语

本文以MODIS、Landsat ETM+、SPOT、GeoEye 4种不同空间分辨率的遥感影像为研究数据,对庐山及其周边水域进行了水体信息的提取.对于数据量较大的SPOT、GeoEye影像数据主要采用目视解译人工勾绘的方式提取水体,MODIS、Landsat ETM+则采用决策树模型提取水体信息.

通过对比分析可知,空间分辨率越低,混合像元的数量会随之增加,混合像元面积越大,漏分现象越严重,解译出来的水体越不精确.随着空间分辨率的提高,混合像元的数量会随之减少,混合像元面积也会逐渐减小,水体提取精度提高.过高的空间分辨率会造成细节信息过多,干扰对水体的分辨,也会导致数据量、工作量的增加,不利于水体信息的提取.此外,在地形较为平坦、边界较为规整、水体面积较大的区域,空间分辨率对提取效果的影响会小一些;而在地形较为崎岖、边界较为模糊、水体面积较小的地区,其水体提取结果的误差会随着空间分辨率的降低而增大.针对不同的应用,在对影像的空间分辨率进行选择时,要根据精度要求、经济成本、人工成本和时间成本等几个方面来进行综合考虑.

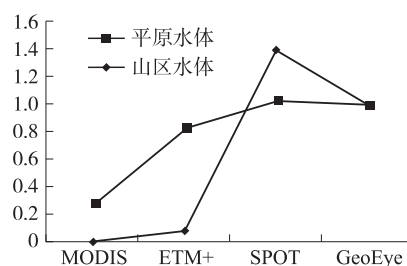


图10 两类地区影像的水体提取面积与理论面积比较

Fig.10 Comparison of two types of images of the water extraction area and the theoretical area



由于水体信息的提取方法还存在一定的局限性,尤其受到遥感影像的光谱分辨率及成像时间的限制,尚无法精确地提取水体信息,因而对分析结果会产生一定的误差。

### [参考文献](References)

- [1] 梅安新,彭望球,秦其明,等. 遥感导论[M]. 北京:高等教育出版社,2001.  
MEI A X, PENG W L, QIN Q M, et al. Introduction to remote sensing[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001. (in Chinese)
- [2] 于欢,张树清,李晓峰,等. 基于TM影像的典型内陆淡水湿地水体提取研究[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(3): 310-315.  
YU H, ZHANG S Q, LI X F, et al. Inland limnetic wetlands water body extraction using TM imagery[J]. Remote sensing technique and application, 2008, 23(3): 310-315. (in Chinese)
- [3] 杨旭艳,赵婷. 不同尺度遥感影像上水体提取效果分析[J]. 地下水, 2012, 34(2): 212-215.  
YANG X Y, ZHAO T. Analysis of remote sensing images at different scales of water extraction[J]. Groundwater, 2012, 34(2): 212-215. (in Chinese)
- [4] 郝振纯,池宸星. 空间分辨率与取样方式对DEM流域特征提取的影响[J]. 冰川冻土, 2004, 26(5): 610-616.  
HAO Z C, CHI C X. The effect of spatial resolution and sampling method on the watershed features derived from DEM[J]. Glaciology and geocryology, 2004, 26(5): 610-616. (in Chinese)
- [5] 熊金国,王世新,周艺,等. 利用景观格局指数的空间分辨率对水域面积提取影响的分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2011, 36(1): 99-103.  
XIONG J G, WANG S X, ZHOU Y, et al. Influence of landscape pattern index on the area extracted from ETM+ and MODIS[J]. Journal of Wuhan university(information science edition), 2011, 36(1): 99-103. (in Chinese)
- [6] 刘文英,王保生. 近50年庐山气温和降水变化趋势分析[J]. 气象与减灾研究, 2007, 30(4): 43-47.  
LIU W Y, WANG B S. Variations of temperature and precipitation of Lushan in recent 50 years[J]. The research of meteorological and disaster, 2007, 30(4): 43-47. (in Chinese)
- [7] 曹正池. 九江市城市周边湿地水资源调查[J]. 江西水利科技, 2008, 134(1): 36-39.  
CAO Z C. Investigation of water resources of wetland around Jiujiang city[J]. Jiangxi hydraulic science & technology, 2008, 134(1): 36-39. (in Chinese)

[责任编辑:严海琳]