

# 基于面向对象的 SPOT 卫星影像梯田信息提取研究

张雨果<sup>1</sup>, 王飞<sup>1,2,3</sup>, 孙文义<sup>2</sup>, 安淳淳<sup>2,3</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘 要:** 梯田信息准确和快速提取是区域水土保持动态监测和评价的核心技术之一, 运用遥感技术进行地物信息提取是一种有效手段。该研究以燕沟流域为研究区, 采用高分辨率的 SPOT5 遥感影像数据, 基于面向对象分类技术, 通过影像分割构建影像对象, 在分析影像对象的光谱特征、纹理特征和空间特征的基础上, 建立了梯田信息的遥感提取规则, 实现了梯田的自动提取。最后用手工勾绘结果对梯田的遥感提取结果进行精度评价, 从田块边界的吻合度评价位置精度, 并通过比较该结果与人工目视解译结果进行面积精度评价。结果表明, 基于面向对象分类的遥感方法可以较好地提取复杂地貌区梯田的位置信息, 面积提取正确率达到 78.38%, 该方法可为黄土高原地区梯田信息遥感提取提供借鉴。

**关键词:** 梯田; 面向对象分类; 信息提取; 遥感影像; 黄土高原

**中图分类号:** TP79; S343.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2016)06-0345-07

## Terrace Information Extraction From SPOT Remote Sensing Image Based on Object-oriented Classification Method

ZHANG Yuguo<sup>1</sup>, WANG Fei<sup>1,2,3</sup>, SUN Wenyi<sup>2</sup>, AN Chunchun<sup>2,3</sup>

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100,

China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water

Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Accurate and rapid extraction of terrace is one of the core technologies for the dynamic monitoring and evaluation of soil and water conservation at a regional scale, and remote sensing technology provides an effective and efficient means to extract land cover information. In this paper, image segmentation and rule based feature extraction were conducted to interpret the terrace information from the high spatial-resolution SPOT5 imageries in Yan'gou watershed on the Loess Plateau based on object-oriented classification method. Firstly, the image objects were set through the image segmentation. Secondly, the rules for terrace information extraction from remote sensing datasets were established via the analysis of spectral, texture and spatial feature of image objects. In this case, the automatic extraction of terrace was achieved. Finally, the accuracy of extraction results was evaluated through its comparison with visual interpretation results. The results showed that the position of terrace in complex geomorphic regions could be successfully identified through the object-oriented classification method, and the overall accuracy reached to 78.38%. The method developed in this paper is expected to provide a reference for the interpretation of terrace information from remote sensing imageries across the Loess Plateau.

**Keywords:** terrace; object-oriented classification; information extraction; remote sensing image; Loess Plateau

梯田作为一项重要的水土保持工程措施, 具有明显的保水、保土、保肥作用<sup>[1]</sup>, 在我国黄土高原地区的水土流失防治工作中发挥着不可替代的作用。然而,

由于黄土高原地区梯田的数量、面积及分布等信息的调查资料不完善, 导致梯田在黄土高原的水土保持中的贡献缺乏定量研究。准确、快速的对梯田信息进行

收稿日期: 2016-03-16

修回日期: 2016-04-13

资助项目: 科技部科技基础性工作专项(2014FY210120); 基于中欧农业生产与环境恢复的交互式土壤质量评价(635750, 欧盟, 16146KYSB20150001, 中国科学院); 中国科学院“西部之光”人才培养计划“黄土高原侵蚀坡地退耕还林草综合评价与可持续对策研究”

第一作者: 张雨果(1989—), 女, 河南鲁山县人, 硕士研究生, 研究方向为黄土高原地区水土保持措施的遥感影像提取。E-mail: 1246503839@qq.com

通信作者: 王飞(1971—), 男, 陕西省户县人, 博士, 研究员, 主要从事水土保持环境效应研究。E-mail: wafe@ms.iswc.ac.cn

提取,可以为区域水土流失防治提供基础数据,进而指导水土保持工作合理有效地进行。传统的依靠人工统计的方法,由于主客观因素的影响,存在效率低、可重复性较差等问题,不能得到推广,而高分遥感技术的快速发展为其提供了可能。

遥感影像凭借其能够迅速地获取地表信息,尤其是随着高分辨率遥感影像的广泛应用,而成为地理信息数据库及地图更新的重要信息源<sup>[2]</sup>。与传统的遥感影像相比,高分辨率遥感影像可以提供更为丰富的空间信息,更加便于地物目标属性特征的识别。然而,高分辨率影像通常仅有 4 个波段,其光谱信息相对比较弱。基于像元的常规遥感影像信息提取方法,主要是根据地物的光谱特征对影像进行分类,仅着眼于局部而忽视地物之间的关联关系,严重制约着高分辨率影像地物信息提取的精度以及影像数据的利用率。能否有效利用高分辨率遥感影像的特点,充分发掘其所包含的地物信息,关系着高分辨率遥感影像信息提取的成败。针对高分辨率影像的特点,基于面向对象的遥感影像分析方法应运而生<sup>[3]</sup>。面向对象的分类方法提出影像对象的概念,将遥感影像进行分割得到一系列同质的对象,以这些对象作为分类的最小单元,通过分析整合地物的光谱信息、空间数据信息以及相互关联信息,对遥感影像进行分类,以减少传统的基于像素级分类方法语义信息的损失,使分类结果含有更为丰富的语义信息<sup>[4-5]</sup>。面向对象分类技术在国内外研究中得到了广泛的应用,有用于道路<sup>[2,6]</sup>、森林/植被<sup>[7-9]</sup>、滑坡<sup>[10-13]</sup>、湿地<sup>[14-15]</sup>等单一信息提取的,也有用于进行土地利用分类<sup>[16-19]</sup>的。

然而,目前面向对象方法在黄土高原地区的梯田信息提取应用方面尚待探索。据此,本研究试图利用高分辨率的 SPOT5 影像,基于面向对象分类方法,采用 ENVI 软件,探索黄土高原丘陵沟壑区典型小流域燕沟的梯田信息提取的有效技术方法,以期为整个黄土高原地区梯田信息的遥感提取提供借鉴。

# 1 研究区及数据准备

## 1.1 研究区概况

燕沟流域沟口距离延安市 3 km(36°28′—36°32′N, 109°20′—109°35′E),属延河二级支流,主沟长约为 8.6 km,呈东南—西北流向。流域面积约为 48 km<sup>2</sup>,海拔 986~1 425 m<sup>[20]</sup>。流域年平均气温约 9.8℃,多年平均降雨量 558.4 mm,其中全年降雨量的 70%以上都集中在 6—9 月,并且大都以暴雨的形式出现,年际变化也很大。地形坡度主要以陡坡地为主,坡度大于 25°的占 51.91%,15°~25°的占 28.75%,15°以下的为 19.34%,属于典型的黄土高原丘陵沟壑区,沟壑密度

为 4.8 km/km<sup>2</sup>。流域共辖 14 个行政村和 1 个沟口区(隶属于柳林街道)。农村经济的主体是种植业,农果并举,种植业主要是以马铃薯和玉米为主,还有少量的大豆、高粱、豌豆和谷子。

## 1.2 土地利用类型划分

根据我国《土地利用分类》国家标准(2007 年 8 月 5 日开始颁布执行),并结合研究区生产生活实际,将该流域的土地利用类型划分为梯田、果园、林地、草地、居住用地和道路等六大类型进行梯田信息提取。

## 1.3 数据源及预处理

SPOT5 卫星影像是法国空间研究中心第五号地球观测卫星系统数据,由中国遥感卫星地面站接收。本研究应用覆盖燕沟流域的 SPOT5 卫星遥感影像数据,来源于第二次全国土地调查审核,包括空间分辨率为 10.0 m 的多光谱影像和空间分辨率为 2.5 m 的全色影像各一景,成像时间为 2003 年 9 月 9 日。SPOT5 卫星影像的参数见表 1。其他辅助数据主要是 Google Earth 高清影像数据,用于目视解译和结果验证。Google Earth 影像数据是由航拍数据和卫星影像集成与整合而形成的,其形象直观、信息丰富,分辨率一般比较高。本研究使用的 Google Earth 影像的空间分辨率为 0.6 m。

表 1 SPOT5 卫星影像参数

| 影像类型  | 波段         | 光谱范围/ $\mu\text{m}$ | 分辨率/m |
|-------|------------|---------------------|-------|
| 全色影像  | PAN(全色波段)  | 0.49~0.69           | 2.5   |
|       | B1(绿波段)    | 0.49~0.61           | 10.0  |
| 多光谱影像 | B2(红波段)    | 0.61~0.68           | 10.0  |
|       | B3(近红外波段)  | 0.78~0.89           | 10.0  |
|       | B4(短波红外波段) | 1.58~1.78           | 20.0  |

解译前利用 ArcGIS 10.2,ENVI 5.1 等软件对影像进行投影转换,辐射校正,大气校正,正射校正,几何校正,影像融合及影像裁剪等一系列预处理。为了有效的提取梯田,应用 Gram-Schmidt Pan sharpening 影像融合方法,将具有丰富光谱信息的多光谱影像与具有高分辨率的全色影像进行融合,这样得到的融合影像同时具有较高的光谱分辨率与空间分辨率。最后利用燕沟流域的行政边界矢量图对融合影像进行裁剪,得到研究区的影像。

# 2 基于面向对象分类的梯田提取过程

经过影像预处理之后,运用 ENVI 5.1 对融合影像进行基于面向对象分类方法的梯田提取,首先对影像进行分割与合并构建影像对象,其次,选择影像对象的属性特征,构建梯田信息的分类规则,对梯田进行提取,对提取结果从田块边界的吻合度评价位置精度,并

比较该结果与人工目视解译结果进行面积精度评价。

## 2.1 影像对象构建

影像对象的构建主要是通过影像分割与合并实现的。影像分割通过相邻像元的亮度、颜色及纹理等特征完成,生成具有相似特征的多边形对象。由于空间地物具有其特定的空间尺度,要选择合理的分割尺度,才能使分割生成的影像对象合理、准确的代表真实空间地物参与分类。本研究通过多次尝试,将梯田的边缘特征分割合理阈值设为 38%。

影像经初步分割得到的多边形对象比较破碎,可通过合并分块将一些较小的多边形对象合并为较大的影像对象,解决一定程度的影像过度分割问题,改善对地物边界的描绘。经反复试验,最后将合并阈值设为 88%。

## 2.2 基于规则的影像分类

基于规则的影像分类是在影像多尺度分割的基础上,充分利用分割生成的影像对象提供的各种信息,构建地物要素分类规则对影像进行分类。

特定的地物目标总是与相应的属性特征或特征组合相联系,只要选取合适的地物特征或特征组合,就能把目标地物与其他地物区分开<sup>[5,21]</sup>。通过分析分割对象和地物的关系,可以筛选合适的影像对象特征来描述地物<sup>[13]</sup>。本研究通过对影像对象的光谱特征、纹理特征、空间特征进行统计分析,本着选择的特征或特征组合具有最大的信息量、能够很容易地区分地物、保证精度的前提下选取尽可能少的特征的原则,选择了光谱特征的最小值、最大值、归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)均值,纹理特征的范围和方差,以及空间特征的面积来识别梯田,并构建梯田提取的分类规则。

其中,纹理特征是图像中出现的局部模式(纹理单元)及其排列规则<sup>[22]</sup>,能够在一定程度上区分同物异谱和同谱异物的现象,并克服由光谱混淆引起的分类结果比较破碎的问题。ENVI 5.1 的面向对象分类模块采用的是灰度共生矩阵(Gray Level Co-occurrence Matrix)的纹理分析方法,它可以从影像对象中抽取纹理范围、纹理方差、纹理熵等定量描述纹理特征的指标。纹理范围为卷积核范围内的平均灰度值范围,纹理熵为卷积核范围内的平均灰度信息熵,纹理方差为卷积核范围内的平均灰度变化值。

## 2.3 精度评价

为了客观的评价基于面向对象分类技术梯田提取的精度,本研究对比了该结果和基于地面调查与相近时段 Google Earth 影像结合的手工勾绘的梯田位置和面积。由于以高精度的 Google Earth 遥感影像

为辅助数据,对研究区梯田信息进行目视解译得到的梯田面积与实际比较接近,因此可以作为精度评价的参考。

# 3 结果与分析

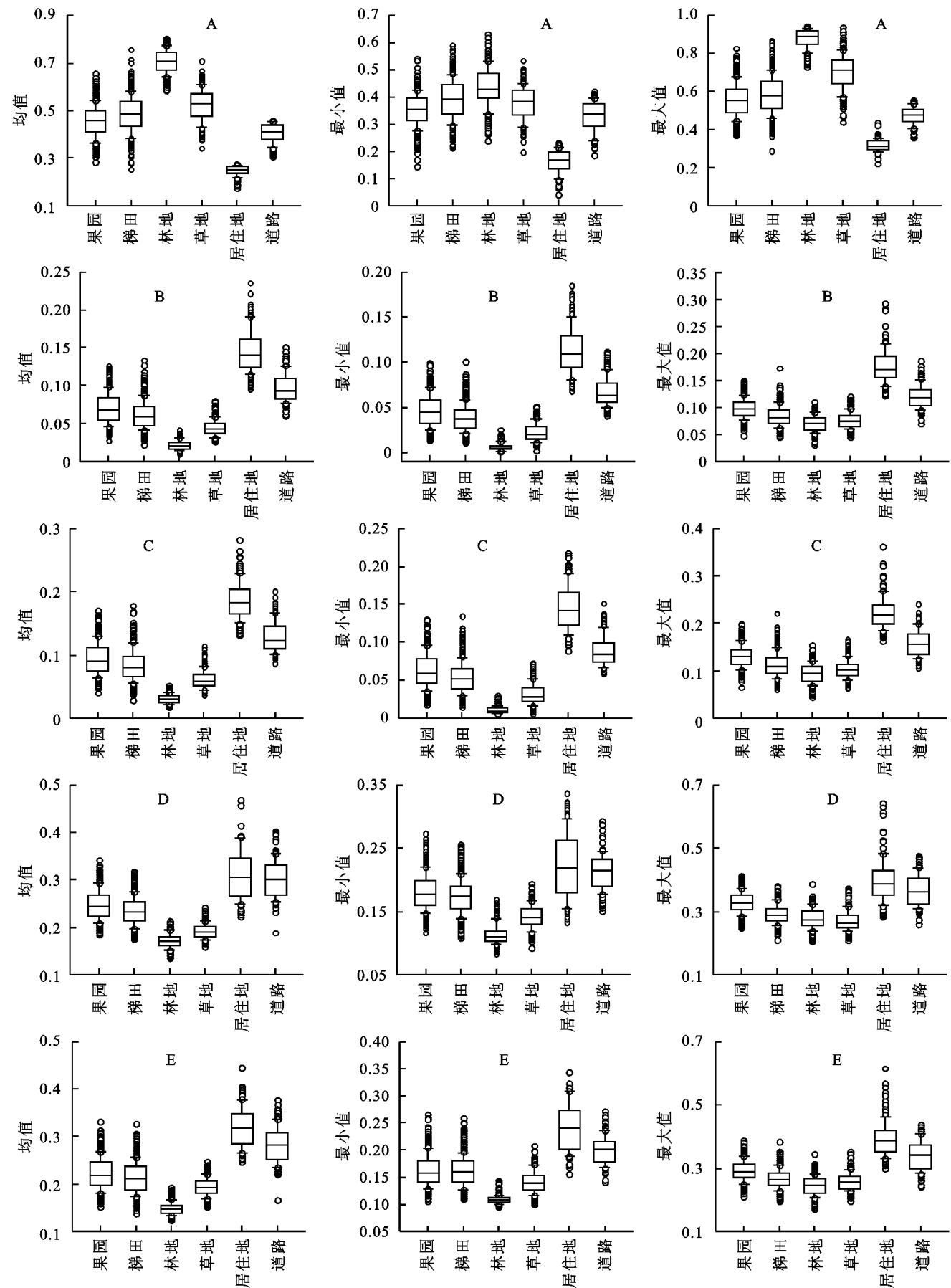
## 3.1 建立梯田提取的分类规则

3.1.1 光谱特征分析 不同地物类型在各个波段上的光谱特征详见图 1。本研究选取 NDVI 的平均值,绿波段的最小值,红波段、近红外波段的最大值 4 个光谱特征参数来区分梯田与其他地物。

图 1 的分析结果显示:梯田的 NDVI 均值集中在 0.38~0.58,很容易与林地(0.64~0.77)和居住用地(0.18~0.26)的 NDVI 均值区分,因此通过设定 NDVI 规则( $0.32 < \text{NDVI} < 0.68$ ),可以剔除一部分居住用地和林地(图 1A 均值);在绿波段,梯田的最小值分布在 0.02~0.06,远大于林地的 0.002~0.012,可以将绿波段的最小值阈值设为 0.01 以辅助 NDVI 规则剔除绝大部分的林地信息(图 1B 最小值);在红波段、近红外波段,梯田的最大值分别集中于 0.08~0.147,0.25~0.33,比果园(0.1~0.164,0.28~0.37)和居住用地(0.18~0.27,0.32~0.48)以及道路在近红外波段的最大值(0.31~0.44)略低,因此可以通过设定红波段的最大值小于 0.16,近红外波段的最大值小于 0.35 剔除一部分果园、居住用地以及道路信息(图 1C 最大值、图 1D 最大值)。

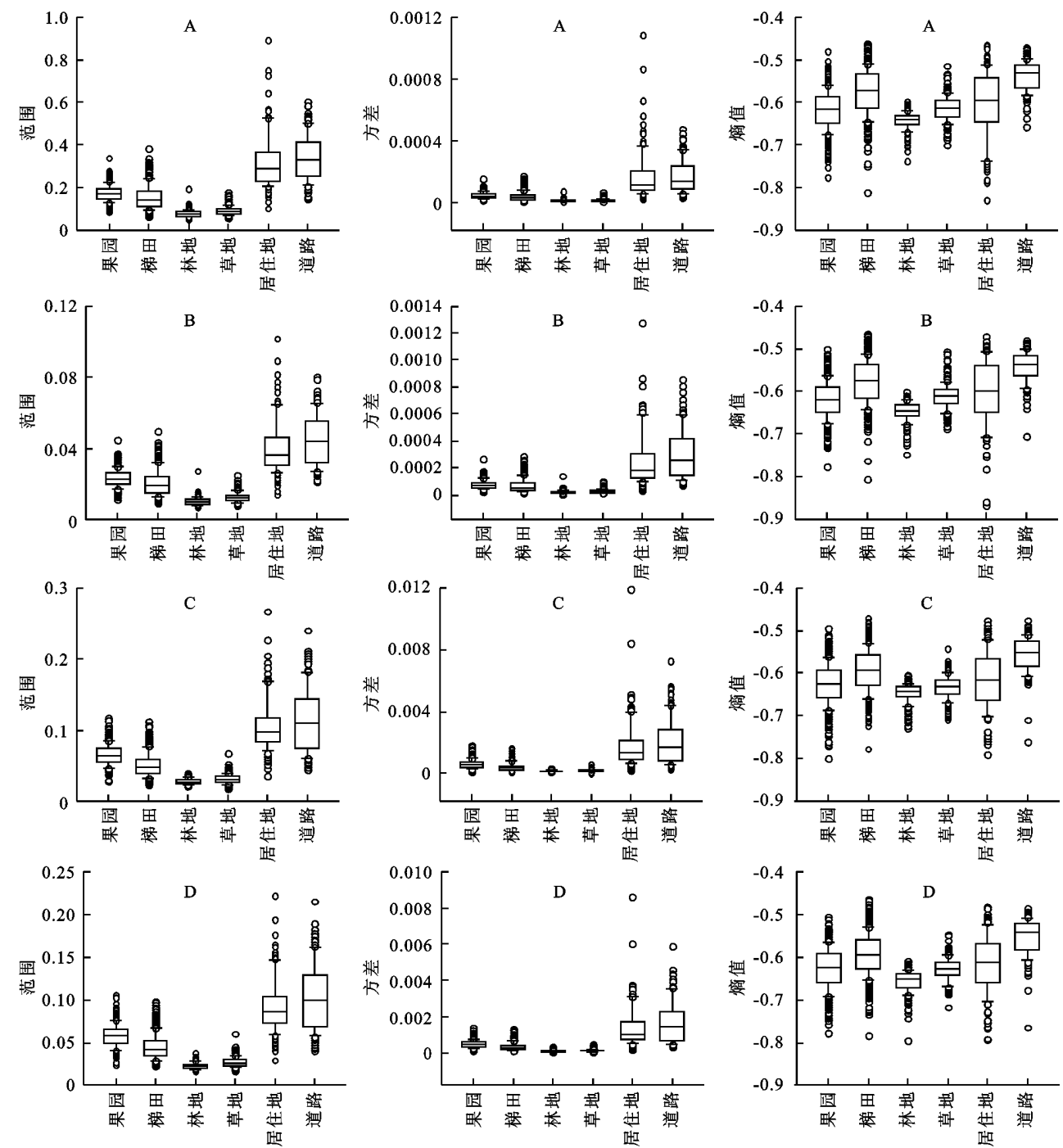
3.1.2 纹理特征分析 由于通过设定光谱规则能够区分大部分的林地和居住用地信息,进而通过不同地物类型各波段的纹理特征(图 2)辨析草地、果园和道路等地物信息,并选取绿波段的纹理范围、近红外和短波红外波段的纹理方差作为特征参数,在光谱规则分析基础上进一步区分不同地物类型。

图 2 的分析结果显示:在绿波段,梯田的纹理范围分布在 0.01~0.025,整体高于草地(0.007~0.012)和林地(0.006~0.01)的纹理范围,可设定绿波段的纹理范围大于 0.008 来剔除部分草地以及林地(图 2A 范围);在近红外波段,梯田的纹理方差分布区间为 0.000 2~0.000 9,而草地在该波段的纹理方差小于 0.000 3,可设定近红外波段的纹理方差阈值为 0.000 13 再剔除一部分草地(图 2C 方差);在短波红外波段,梯田的纹理方差小于 0.000 7,比道路(0.000 5~0.003 6)和居住用地(0.000 5~0.003 1)的纹理方差低,因此可设定短波红外波段的纹理方差小于 0.001 5 剔除一部分道路及居住用地(图 2D 方差)。而果园与梯田的纹理特征则比较相似,因此基于纹理特征很难剔除果园信息。



注: A 为不同地物类型的 NDVI; B, C, D, E 分别为不同地物类型在绿、红、近红外、短波红外波段上的光谱特征。

图 1 不同地物类型的光谱信息统计



注: A、B、C、D 分别为不同地物类型在绿、红、近红外、短波红外波段上的纹理特征。

图 2 不同地物类型的纹理信息统计

3.1.3 空间特征分析 空间特征可以辅助光谱特征与纹理特征,进行梯田信息的提取(图 3)。从图 3 可以看出,梯田面积小于 16 000 m<sup>2</sup>,很容易与林地的面积(大于 7 000 m<sup>2</sup>)区分,因此将面积阈值设置为 16 000 m<sup>2</sup>,可以剔除一部分通过光谱和纹理规则没有剔除掉的林地信息。

3.1.4 构建梯田提取分类规则 通过以上分析,构建了基于面向对象的梯田信息提取的分类规则参数表(表 2)。并根据梯田信息的分类规则参数表,构建了如表 3 所示的梯田提取的分类规则集,其中提取是分步实现的,因此规则应用存在先后次序,在实际应

用中按照规则顺序依次执行。

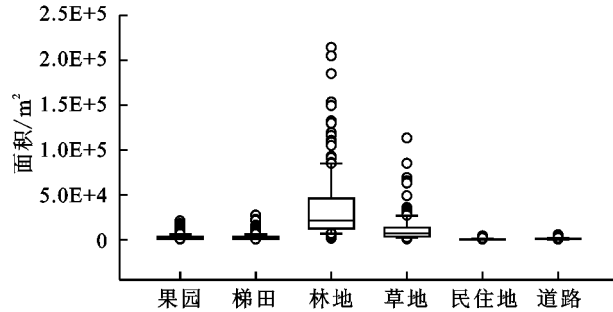


图 3 不同地物类型的面积

表 2 梯田信息分类规则参数

| 类型   | 特征      | 梯田            | 果园        | 林地          | 草地          | 居住地           | 道路            |
|------|---------|---------------|-----------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| 光谱属性 | NDVI 均值 | 0.38~0.58     |           | 0.64~0.77   |             | 0.18~0.26     |               |
|      | 绿波段最小值  | 0.02~0.06     |           | 0.002~0.012 |             |               |               |
|      | 红波段最大值  | 0.08~0.147    | 0.1~0.164 |             |             | 0.18~0.27     |               |
|      | 近红外最大值  | 0.25~0.33     | 0.28~0.37 |             |             | 0.32~0.48     | 0.31~0.44     |
|      | 绿波段范围   | 0.01~0.025    |           | 0.006~0.01  | 0.007~0.012 |               |               |
| 纹理属性 | 近红外方差   | 0.0002~0.0009 |           |             | <0.0003     |               |               |
|      | 短波红外方差  | <0.0007       |           |             |             | 0.0005~0.0031 | 0.0005~0.0036 |
| 空间属性 | 面积      | <16000        |           | >7000       |             |               |               |

表 3 梯田分类的规则集

| 类型   | 特征      | 规则                          | 规则顺序 |
|------|---------|-----------------------------|------|
| 光谱属性 | NDVI 均值 | $0.32 < NDVI < 0.68$        | 1    |
|      | 绿波段最小值  | $B_1 \min > 0.01$           | 2    |
|      | 红波段最大值  | $B_2 \max < 0.16$           | 3    |
|      | 近红外最大值  | $B_3 \max < 0.35$           | 4    |
|      | 绿波段范围   | $B_1 \text{ ran} > 0.008$   | 5    |
| 纹理属性 | 近红外方差   | $B_3 \text{ var} > 0.00013$ | 6    |
|      | 短波红外方差  | $B_4 \text{ var} < 0.0015$  | 7    |
| 空间属性 | 面积      | $\text{Area} < 16000$       | 8    |

3.2 精度评价

本研究从梯田位置和面积两方面进行精度评价。在位置方面,基于面向对象方法可以较好地 从原始影像中提取梯田的位置信息(图 4),但 由于部分梯田田面特征与果园和道路的特征 相似,导致部分果园与道路信息不能有效区 分和剔除。

在面积方面,基于面向对象分类得到的梯 田面积约为 3.197 km<sup>2</sup>,以实地调查资料以及 高精度的 Google Earth 影像作为辅助数据对 研究区的梯田信息进行目视解译,统计出研 究区梯田面积约为 4.079 km<sup>2</sup>,计算出梯田 提取的正确率为 78.38%。

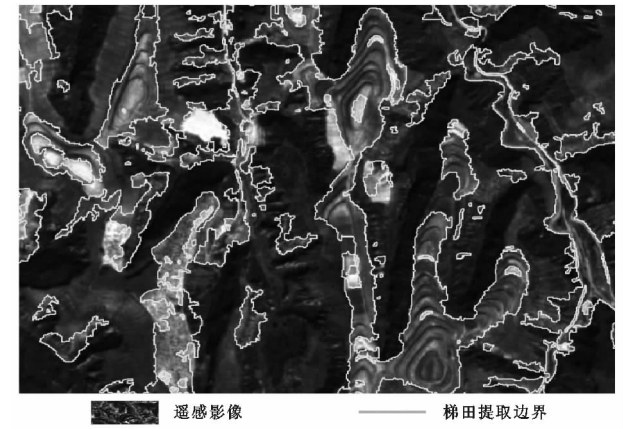


图 4 基于面向对象的梯田提取结果(局部)

4 结论

(1) 本研究基于高分辨率的 SPOT5 卫星影 像,应用面向对象分类方法,对影像分割构建 影像对象,通过分析影像对象的光谱特征、纹 理特征和空间特征

等,可以区分不同地物,对主要梯田信息进 行有效提取。由于经过影像分割后,梯田的 完整结构遭到一定程度的破坏,田面与田坎 部分被分割成不同的地物单元,连片梯田所 具备的特有纹理特征(田面—田坎的规则性 波动)不能充分发挥作用。

(2) 复杂地形区光谱特征非常复杂,信息 提取难度大,面向对象分类方法能够综合利 用分割对象的光谱、纹理、空间等多种特征 信息,充分挖掘影像提供的信息,为影像分 类提供更多的依据,并能达到一定的精度,与 买凯乐等以 ALOS 影像利用面向对象分类 研究结果(精度为 77.73%)<sup>[16]</sup>接近。但是, 因为遥感影像分类方法固有的特点,仍需要 与目视解译方法相结合使用。后续的研究 中,可以与其他高精度遥感影像、多季相遥 感影像等结合使用,更好提取梯田信息。

参考文献:

[1] 寇权,王愿昌,吴永红,等. 基于高分辨率卫星影像的梯田监测方法研究[J]. 中国水土保持,2005(12):24-25.

[2] 胡进刚,张晓东,沈欣,等. 一种面向对象的高分辨率影像道路提取方法[J]. 遥感技术与应用,2006,21(3):184-188.

[3] 王新辉. 面向对象的高分辨率影像香榧分布信息提取研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.

[4] 孙悦. 基于 eCognition 的卫星遥感影像分析技术[J]. 无线电工程,2014,44(3):35-39.

[5] 曹宝,秦其明,马海建,等. 面向对象方法在 SPOT5 遥感图像分类中的应用:以北京市海淀区为例[J]. 地理与地理信息科学,2006,22(2):46-49,54.

[6] 许高程,毕建涛,王星星,等. 面向对象的高分辨率遥感影像道路自动提取试验[J]. 遥感信息,2012,2(2):108-111.

[7] Mallinis G, Koutsias N, Tsakiri-Strati M, et al. Object-based classification using Quickbird imagery for delineating forest vegetation polygons in a Mediterranean test site [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2008,63(2):237-250.

[8] Newman M E, McLaren K P, Wilson B S. Use of object-oriented classification and fragmentation analysis (1985—2008) to identify important areas for conservation in Cockpit Country, Jamaica [J]. Environmental monitoring and assessment, 2011,172(1/4):391-406.

- [9] 乔婷,张怀清,陈永富,等. 基于 NDVI 分割与面向对象的东洞庭湖湿地植被信息提取技术[J]. 西北林学院学报,2013,28(4):170-175.
- [10] Martha T R, Kerle N, Jetten V, et al. Characterising spectral, spatial and morphometric properties of landslides for semi-automatic detection using object-oriented methods [J]. *Geomorphology*, 2010,116(1):24-36.
- [11] Lahousse T, Chang K T, Lin Y H. Landslide mapping with multi-scale object-based image analysis: A case study in the Baichi watershed, Taiwan [J]. *Natural Hazards and Earth System Science*, 2011, 11 (10): 2715-2726.
- [12] Martha T R, Kerle N, Van Westen C J, et al. Segment optimization and data-driven thresholding for knowledge-based landslide detection by object-based image analysis [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2011, 49(12): 4928-4943.
- [13] 张毅,谭龙,陈冠,等. 基于面向对象分类法的高分辨率遥感滑坡信息提取[J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2014,50(5):745-750.
- [14] 郑利娟,李小娟,胡德勇,等. 基于对象和 DEM 的湿地信息提取:以洪河沼泽湿地为例[J]. 遥感技术与应用, 2009,24(3):346-351.
- [15] Frohn R C, Reif M, Lane C, et al. Satellite remote sensing of isolated wetlands using object-oriented classification of Landsat-7 data [J]. *Wetlands*, 2009, 29 (3):931-941.
- [16] 买凯乐,张文辉. 黄土丘陵沟壑区遥感影像信息面向对象分类方法提取[J]. 农业机械学报,2011,42(4):153-158.
- [17] 祖琪,袁希平,莫源富,等. 基于面向对象分类方法在 SPOT 影像中的地物信息提取[J]. 中国岩溶,2011,30 (2):227-232.
- [18] 常春艳,赵庚星,王凌,等. 滨海光谱混淆区面向对象的土地利用遥感分类[J]. 农业工程学报,2012,28(5): 226-231.
- [19] 江华. 基于 eCognition 面向对象技术的高分辨率遥感影像土地利用分类:以福州琅岐岛为例[J]. 海峡科学, 2014(8):12-17.
- [20] 党丽娟,徐勇,高雅. 土地利用功能分类及空间结构评价方法:以燕沟流域为例[J]. 水土保持研究,2014,21 (5):193-197,203.
- [21] 陈秋晓,骆剑承,周成虎,等. 基于多特征的遥感影像分类方法[J]. 遥感学报,2004,8(3):239-245.
- [22] 胡玉福,邓良基,匡先辉,等. 基于纹理特征的高分辨率遥感图像土地利用分类研究[J]. 地理与地理信息科学,2011,27(5):42-45,68.

~~~~~  
(上接第 344 页)

- [12] 董雅文,周雯,周岚,等. 城市化地区生态防护研究:以江苏省,南京市为例[J]. 城市研究,1999,2(2):6-10.
- [13] 邓红兵,陈春娣,刘昕,等. 区域生态用地的概念及分类 [J]. 生态学报,2009,29(3):1519-1524.
- [14] 吴健生,张理卿,彭建,等. 深圳市景观生态安全格局源地综合识别[J]. 生态学报,2013,33(13):4125-4133.
- [15] 熊春泥,魏虹,兰明娟. 重庆市都市区绿地景观的连通性[J]. 生态学报,2008,28(5):2237-2244.
- [16] Heather Tallis, Taylor Ricketts, Anne Guerry, et al. InVEST 2.2.0 User's Guide[Z]. The Natural Capital Project, Stanford, 2011.
- [17] 吴季秋. 基于 CA-Markov 和 InVEST 模型的海南八门湾海湾生态综合评价[D]. 海口:海南大学,2002.
- [18] 刘志伟. 基于 InVEST 的湿地景观格局变化生态响应分析:以杭州湾南岸地区为例[D]. 杭州:浙江大学,2014.
- [19] 唐蜜. 县域生态系统非木材林木产品服务功能评估研究:以四川省宝兴县为例[D]. 四川雅安:四川农业大学,2010.
- [20] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报,2008,23(5): 911-919.