

# 云南省元阳梯田遥感辅助识别特征研究

张超, 王妍, 宋维峰

(西南林业大学, 昆明 650224)

**摘要:**深入分析和研究元阳梯田的空间分布规律及其光谱特征, 能够为今后元阳梯田的遥感分类识别提供专家知识, 克服传统地面调查方法的弊端, 及时准确地掌握元阳梯田的空间分布及动态变化情况, 为有效保护、合理利用元阳梯田提供基础依据。在对元阳梯田进行基于 SPOT5 的目视解译分类的基础上, 提取了各梯田斑块中心点上的海拔、坡度、坡向、MODIS-NDVI 以及 Landsat TM 各波段上的像元亮度值, 分别从元阳梯田的空间分布特征、植被指数特征和像元亮度特征三个方面, 提取和归纳了元阳梯田的遥感辅助识别特征。结果表明, 影响元阳梯田空间分布的环境因子按影响程度由大到小依次为海拔>坡度>坡向, 主要分布于海拔 1 000~1 400 m、坡度 12°~33°、北坡和东北坡; 随着梯田斑块面积的逐渐增大, MODIS-NDVI 平均值则逐渐减小, 总体平均值为 0.754, 最小值为 0.378, 最大值为 0.849; 元阳梯田在可见光波段(B10, B20, B30)的 DN 值较低, 在近红外波段(B40)的 DN 值较高, 各面积的等级元阳梯田在 Landsat TM 数据各波段上的像元亮度曲线趋近一致。

**关键词:**空间分布; 植被指数; 像元亮度; 元阳梯田

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)05-0221-04

## Assistant Classification Feature of Terrace in Yuanyang County of Yunnan Province Based on Remote Sensing

ZHANG Chao, WANG Yan, SONG Wei-feng

(Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

**Abstract:** The analysis and study on the spatial distribution characteristics and spectral characteristics of terrace in Yuanyang County could provide expert knowledge for the classification and recognition based on remote sensing. The deficiency of traditional inventory method would be overcome, and the spatial distribution and the dynamic changes could be accurately monitored. Based on the visual interpretation of terrace in Yuanyang County using the data of SPOT5 image, the information on altitude, slope, aspect, MODIS-NDVI and DN of Landsat TM bands were extracted. The assistant classification feature of terrace including the aspects of spatial distribution characteristic, vegetation index characteristic, and pixel DN characteristic in Yuanyang County was studied. The results showed that: a) the sequence of the influence extent was altitude>slope>aspect, the terrace in Yuanyang County mainly distributed in the area with altitude of 1 000~1 400 m, slope of 12°~33° and aspect of north and northeast; b) the average of MODIS-NDVI decreased gradually with the increase of patch area, the population mean of MODIS-NDVI was 0.754, the minimum was 0.378 and the maximum was 0.849; c) the value of pixel DN was low in visible bands, and it would be high in near-infrared bands. The band curve of Landsat TM pixel DN on the different grades showed the same trend.

**Key words:** spatial distribution; vegetation index; Pixel DN; terrace in Yuanyang County

元阳梯田是哀牢山地区哈尼族千百年来独特的农耕文明景观, 其规模宏大, 气势磅礴, 绵延整个红河南岸的红河、元阳、绿春及金平等县<sup>[1-2]</sup>, 元阳县境内

的梯田是红河哈尼梯田的核心区。哈尼族人通过挖筑沟渠在山岭之间开垦梯田, 种植水稻, 依靠高山原始森林和次生林蓄集的山泉、溪水、河流及人工开沟

收稿日期: 2013-12-05

修回日期: 2014-01-07

资助项目: 国家自然科学基金项目“全球变化背景下干热河谷地区乡土树种生殖生长策略研究(31100520)”和“基于高光谱耦合建模的干旱遥感反演技术(31460195)”

作者简介: 张超(1980—), 男, 河北丰南人, 副教授, 博士, 主要从事森林经理学研究。E-mail: zhchgis@hotmail.com

通信作者: 王妍(1980—), 女, 河北隆化人, 副教授, 博士, 主要从事干旱区土地退化与植被恢复研究。E-mail: wycaf@126.com

引水灌溉<sup>[3]</sup>。目前关于元阳梯田的研究主要集中在梯田周边森林群落植物多样性<sup>[4]</sup>、梯田湿地生态系统的垂直特征<sup>[5]</sup>以及梯田水源区森林土壤各项涵养功能<sup>[6-9]</sup>等方面,针对梯田自身的空间分布特征及利用遥感手段进行元阳梯田的分类识别方面则未见报道。

传统的农业调查以地面调查方法为主,具有工作量大、调查成本高等弊端;采用遥感技术手段识别元阳梯田,能够较为准确和高效地识别梯田边界,能为进一步了解元阳梯田的空间分布规律、进行实时有效的动态监测、有效保护和科学利用元阳梯田提供基础依据。本文分别从元阳梯田的空间分布特征、植被指数特征和像元亮度特征三个方面,提取和归纳元阳梯田的遥感辅助识别特征,旨在为进一步明晰元阳梯田的分布和形成格局,为今后的元阳梯田遥感分类识别提供方法借鉴。

## 1 研究区概况

元阳县位于红河哈尼族彝族自治州西南部,地处哀牢山南段,总面积 2 189.88 km<sup>2</sup>。气候属热带山地季风气候类型,冬无严寒、夏无酷暑、干湿季分明。年均气温 20.5℃,最低气温 -3.5℃,≥10℃年活动积温 4 587℃,年均降水量 1 500 mm,年均相对湿度 68%。境内植物资源丰富,形成不同的植被类型,各类型相互交错,具有明显的镶嵌性<sup>[10]</sup>。据 2006 年森林资源规划设计调查结果,全县有林地面积 82 701.8 hm<sup>2</sup>,活立木蓄积量 8 441 610 m<sup>3</sup>,森林覆盖率 41.0%,其中,水源涵养林面积 12 882.5 hm<sup>2</sup>,水土保持林面积 36 604.4 hm<sup>2</sup>;土地利用类型方面,林业用地面积 117 745.4 hm<sup>2</sup>(占全县土地总面积的 53.8%),耕地面积 96 458 hm<sup>2</sup>(占 44.0%),建设用地面积 3 547.6 hm<sup>2</sup>(占 1.6%),水域面积 1 177.1 hm<sup>2</sup>(占 0.6%)。

2010 年末,全县总人口 42.4 万人,其中农业人口占 95.1%,非农业人口占 4.9%。总人口中,哈尼族占 53.9%,彝族占 23.5%,汉族占 11.4%,傣族占 4.5%,苗族占 3.5%。共辖 2 个镇、12 个乡、133 个村委会、4 个社区、992 个村民小组,1 218 个村居民小组。2010 年全县工农业总产值 68 554 万元,其中,工业占 36.8%;农林牧占 63.2%。在农林牧总产值中,农业占农林牧总产值的 90.4%,农民人均纯收入 892 元。

## 2 研究方法

### 2.1 数据收集及处理

本文以云南省元阳县 2006 年森林资源规划设计

调查数据(来源于元阳县林业局)和全县 2009 年 9 月 27 日 SPOT5 数据(空间分辨率 2.5 m)为基础,同时收集 2009 年全县 ASTER—DEM 数字高程模型(空间分辨率 30 m,来源于美国马里兰大学数据共享平台)、2000—2010 年每年 9 月 EOS MODIS 16 d 植被指数产品(空间分辨率 500 m,来源于 USGS 数据共享平台)、覆盖全县的 2009 年 11 月 3 日 Landsat TM 数据(来源于 USGS 数据共享平台)。

结合 2006 年森林资源规划设计调查数据,对 SPOT-5 数据进行目视解译,共得到梯田图斑 7 458 个;其他数据源因原始数据的空间分辨率不同,统一将 ASTER-DEM、EOS MODIS 16 d 植被指数产品、Landsat TM 数据重采样为空间分辨率为 30 m 的数据进行后续计算。

### 2.2 空间分布特征分析

根据元阳县梯田斑块面积大小的实际分布情况,分成 4 个斑块面积等级(0~1 hm<sup>2</sup>, 1~5 hm<sup>2</sup>, 5~10 hm<sup>2</sup>, >10 hm<sup>2</sup>),从海拔、坡度、坡向 3 个方面,应用多重对应分析方法<sup>[11]</sup>,研究环境因子对元阳梯田空间分布的影响程度,并进行影响因子排序。多重对应分析是一种能够对多个定性变量进行主成分分析的技术<sup>[12]</sup>,属于同质性分析的范畴,是主成分分析的拓展<sup>[13]</sup>,基于主成分分析中的降维思想,能更直观明了地分析定性变量多种状态间的相互关系<sup>[14]</sup>。在某种程度上,多重对应分析是数量化方法Ⅲ的延伸,能够解决因变量和自变量均包含定性因子的数量化分析问题<sup>[15]</sup>。

### 2.3 植被指数特征分析

利用空间分析方法,提取各梯田图斑的中心点,进一步提取各中心点位置上的 2000—2010 年共 11 年间每年 9 月的 MODIS-NDVI 数值;分成 4 个斑块面积等级(0~1 hm<sup>2</sup>, 1~5 hm<sup>2</sup>, 5~10 hm<sup>2</sup>, >10 hm<sup>2</sup>),分析不同斑块面积等级的元阳梯田植被指数及其变化特征。

### 2.4 像元亮度特征提取与分析

利用空间分析方法,提取各中心点位置上的 Landsat TM 各波段上的像元亮度特征值(DN 值);分成 4 个斑块面积等级(0~1 hm<sup>2</sup>, 1~5 hm<sup>2</sup>, 5~10 hm<sup>2</sup>, >10 hm<sup>2</sup>),分析不同斑块面积等级的元阳梯田在 Landsat TM 数据上的像元亮度特征,提取元阳梯田在 TM 影像各波段上的像元亮度曲线。

## 3 结果与分析

### 3.1 元阳梯田空间分布特征分析

提取 4 个斑块面积等级的元阳梯田斑块环境因

子数据,利用 SPSS 平台中的 Optimal Scaling 模块,进行多重对应分析。在数据计算过程中,多次迭代的计算结果之差小于收敛上限 0.000 01 时停止迭代过程;其中,0~1 hm<sup>2</sup> 等级经过了 27 次迭代,1~5 hm<sup>2</sup> 等级经过了 43 次迭代,5~10 hm<sup>2</sup> 等级经过了 51 次迭代,>10 hm<sup>2</sup> 等级经过了 24 次迭代。从以上不同等级的迭代次数上分析,小斑块梯田(0~1 hm<sup>2</sup> 等级)和大斑块梯田(>10 hm<sup>2</sup> 等级)在空间分布上特征变异较小;1~5 hm<sup>2</sup> 等级和 5~10 hm<sup>2</sup> 等级在空间分布上特征变异较大。得到 4 个斑块面积等级的两个维度(公因子轴)上的特征值(Eigenvalue)、惯量(Inertia)和解释方差的百分率,如表 1 所示。

惯量表示每个维度对环境因子各个类别之间差异的解释量。从表 1 中可以看出,4 个斑块面积等级的元阳梯田斑块全部信息在两个维度上被解释的方差百分率依次为 87.2%,82.9%,92.4%和 94.5%,解释效果均较为理想;随着梯田斑块面积的逐渐增大,被解释的方差百分率亦逐渐提高;在 4 个斑块面积等级中,维度 1 平均解释了总方差的 47.1%,维度 2 平均解释了总方差的 42.2%,两个维度上的解释能力相当。

表 1 模型概要					
面积等级	维度	克隆巴赫系数	解释方差		
			特征值	惯量	方差%
0~1 hm <sup>2</sup>	1	0.424	1.394	0.465	46.460
	2	0.273	1.223	0.408	40.755
1~5 hm <sup>2</sup>	1	0.363	1.320	0.440	43.983
	2	0.217	1.169	0.390	38.962
5~10 hm <sup>2</sup>	1	0.471	1.457	0.486	48.575
	2	0.360	1.315	0.438	43.844
>10 hm <sup>2</sup>	1	0.485	1.478	0.493	49.260
	2	0.395	1.357	0.452	45.245

根据各变量在两个维度上的区分测度值(大小介于 0~1 之间),绘出 4 个斑块面积等级的区分测度二维平面,区分测度值越大,表明区分(影响)程度越高。据此可进行元阳梯田空间分布环境因子影响程度排序。在维度 1 和维度 2 上,海拔的测度值均最高,坡向的测度值均最低,判定元阳梯田空间分布环境因子按影响程度由大到小排序为:海拔>坡度>坡向。

3.2 元阳梯田植被指数特征分析

元阳梯田 MODIS-NDVI 总体平均值为 0.754,最小值为 0.378,最大值为 0.849,标准差为 0.011。其中,0~1 hm<sup>2</sup> 等级的 NDVI 平均值最大,为 0.757,>10 hm<sup>2</sup> 等级的 NDVI 平均值最小,为 0.734,随着梯田斑块面积的逐渐增大,NDVI 平均值逐渐减小。不同面积等级的元阳梯田 MODIS-NDVI 总体平均值变化及年度变化曲线如图 1—2 所示。

归一化植被指数是一种能够反映植被长势/生物量的有效光谱信号,在进行植被遥感分类中具有重要的参考意义。从图 1、图 2 中分析可知:(1) 梯田斑块面积越大,经营规模则越大。受当地农民种植技术、成本等多方面的影响,导致经营水平愈低,单位面积农作物产量/长势愈低;反之,对于较小面积的梯田斑块,农民能够投入更多的成本和经营时间,因此单位面积的农作物产量/长势愈高,NDVI 数值愈大。(2) 各年度 NDVI 数值呈现折线变化,反映当地农作物生长和产量的交替变化规律。(3) NDVI 变化曲线受气候的影响较大。受 2004—2005 年西南旱灾的严重影响,农作物大面积减产,长势较差;梯田农作物的灌溉主要来源于上游的水源涵养林,因旱灾导致的水源涵养林功能的大幅降低亦是梯田农作物 NDVI 数值急剧下降的主要影响因素之一。

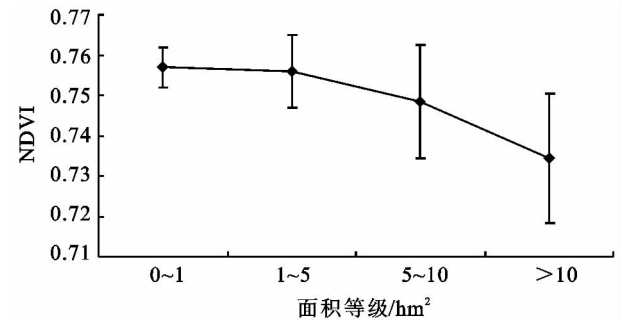


图 1 总体平均值变化

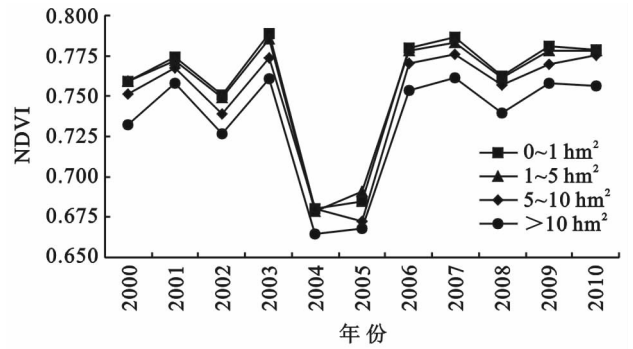


图 2 年度变化

3.3 元阳梯田像元亮度特征分析

近年来,Landsat TM 数据在土地利用分类中应用广泛,以其较高的空间分辨率、丰富的多光谱波段信息、多时相大范围的连续覆盖等特点,在植被遥感中发挥了重要作用<sup>[11]</sup>。深入研究和分析元阳梯田在 Landsat TM 数据中分布的像元亮度特征,提取元阳梯田在各波段上的像元亮度分布阈值,具有现实意义。

不同面积等级元阳梯田在 Landsat TM 数据各波段上的像元亮度分布范围如图 3 所示。从图 3 可以看出:(1) 各面积等级元阳梯田在 Landsat TM 数据各波段上的像元亮度数值趋近一致,差异较小。

(2) B10( $0.45\sim0.52\mu\text{m}$ )、B20( $0.52\sim0.60\mu\text{m}$ )、B30( $0.63\sim0.69\mu\text{m}$ )均为可见光波段,其中, $0.45\sim0.49\mu\text{m}$ 谱段为类胡萝卜素的强吸收带, $0.550\mu\text{m}$ 波长附近是叶绿素的强反射峰区, $0.61\mu\text{m}$ 和 $0.660\mu\text{m}$ 谱段是藻胆素中藻蓝蛋白的主要吸收带,受农作物在可见光谱段范围内平均反射率较低的影响,此3个波段的像元亮度特征曲线表现为平缓下降的趋势。

(3) B40( $0.76\sim0.90\mu\text{m}$ )为近红外波段,元阳梯田在此谱段具有强烈反射的特性,故具有高反射率数值,在此波段内的像元亮度特征值亦较高,表现出急剧升高的趋势。因此,在应用 Landsat TM 影像进行元阳梯田的分类识别时,使用 B40 波段可得到较为理想的分类结果。

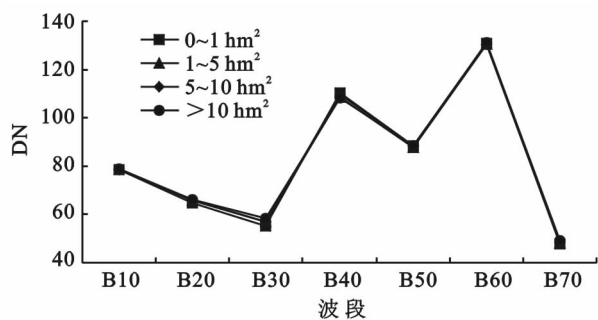


图3 元阳梯田在 Landsat TM 数据各波段上的像元亮度曲线

## 4 结论与讨论

(1) 空间分布特征方面,元阳梯田在空间分布上受环境因子影响较大。在海拔 $1\,000\sim1\,400\text{ m}$ 范围内的分布面积占全县梯田总面积的 $65.7\%$ ,在海拔 $700\text{ m}$ 以下及 $1\,800\text{ m}$ 以上分布较少,仅占全县梯田总面积的 $8.1\%$ 和 $4.7\%$ ;主要分布在坡度 $12^\circ\sim33^\circ$ ,此范围内的分布面积占全县梯田总面积的 $79.4\%$ ;受坡向影响相对较小,在北坡和东北坡分布比例较多。根据多重对应分析结果,元阳梯田空间分布环境因子按影响程度由大到小排序为:海拔>坡度>坡向。

(2) 植被指数特征方面,元阳梯田 MODIS-NDVI 总体平均值为 $0.754$ ,最小值为 $0.378$ ,最大值为 $0.849$ ,标准差为 $0.011$ 。其中, $0\sim1\text{ hm}^2$ 等级的 NDVI 平均值最大,为 $0.757$ , $>10\text{ hm}^2$ 等级的 NDVI 平均值最小,为 $0.734$ ,随着梯田斑块面积的逐渐增大,NDVI 平均值逐渐减小。受当地主要气候因子影响,2000—2010 年各年度 NDVI 数值呈现折线变化。

(3) 像元亮度特征方面,各面积等级元阳梯田在 Landsat TM 数据各波段上的像元亮度曲线趋近一致,可见光波段(B10, B20, B30)在 DN 值均较低,且呈现平缓下降的趋势;近红外波段(B40)具有高反射

率数值,因此 DN 值亦较高,曲线呈急剧升高。

由于科学认知水平和数据等条件的限制,本文选取海拔、坡度、坡向 3 个因子分析了元阳梯田的空间分布特征。元阳梯田的分布是受多种环境条件和社会条件共同影响的,环境影响因子应包括气候因子、土壤因子、地形因子和人为因子等诸多方面,因此,如何较为全面、系统地分析元阳梯田空间分布的主要影响因素,将成为今后探讨和研究的重点。

### 参考文献:

- [1] 文波龙,任国,张乃明. 云南元阳哈尼梯田土壤养分垂直变异特征研究[J]. 云南农业大学学报,2009,24(1):78-81.
- [2] 角媛梅,肖笃宁,程国栋. 亚热带山地民族文化与自然环境和谐发展的实证研究:以元阳梯田文化景观为例[J]. 山地学报,2002,20(3):266-271.
- [3] 角媛梅,杨丽萍. 基于遥感和 GIS 的元阳梯田分形美的多尺度研究[J]. 山地学报,2008,26(3):339-346.
- [4] 高国庆,祖艳群,郭凤根,等. 元阳梯田核心区周边森林群落植物多样性研究[J]. 中国农学通报,2012,28(4):62-68.
- [5] 姚敏,崔保山. 哈尼梯田湿地生态系统的垂直特征[J]. 生态学报,2006,26(7):2115-2124.
- [6] 李阳芳,宋维峰,和俊,等. 元阳梯田核心区不同土地利用类型土壤水文效应研究[J]. 水土保持研究,2012,19(6):54-57.
- [7] 王妍,张超,宋维峰,等. 元阳梯田空间分布特征研究[J]. 水土保持研究,2013,20(2):103-107.
- [8] 段兴凤,宋维峰,李英俊,等. 湖南紫鹊界、云南元阳及广西龙脊古梯田研究进展[J]. 亚热带水土保持,2011,23(1):31-35.
- [9] 饶碧玉,王静,杨建荣,等. 基于层次分析法的元阳梯田灌区生态环境需水评价研究[J]. 水资源与水工程学报,2009,20(1):35-39.
- [10] 段兴凤,宋维峰,李健,等. 云南省元阳梯田水源区森林土壤入渗特性研究[J]. 水土保持通报,2011,31(4):47-52.
- [11] 张超. 西藏灌木林评价与遥感分类技术研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2009.
- [12] 唐守正. 多元统计分析方法[M]. 北京:中国林业出版社,1986.
- [13] 任若思,王惠文. 多元统计数据分折:理论、方法、实例[M]. 北京:国防工业出版社,1997.
- [14] Anuradha K T, Gopalan T K. Trend and patterns in explicit organizational knowledge: A correspondence analysis and cluster analysis [J]. The International Information & Library Review,2007,39(3):247-259.
- [15] Eric J B. Correspondence analysis of aggregate data: The  $2\times 2$  table[J]. Journal of Statistical Planning and Inference,2008,13(10):2941-2952.