

藏—羌聚落交错区耕地坡谱与信息熵变化特征

张淑杰,郭亚琳,樊敏,王青

(西南科技大学环境与资源学院,四川 绵阳 621010)

摘要:以藏—羌聚落交错区为研究单元,提取该地区1999、2009年和2014年耕地空间信息,通过信息图谱与信息熵定量刻画交错区耕地的坡度分异特征,阐明坡耕地利用的合理程度。结果表明:1999–2014年间,藏—羌聚落交错区耕地总量下降显著, $\geq 24^\circ$ 的耕地坡谱段递减明显,陡坡耕地耕作率由1999年的83.67%到2009年的71.97%再到2014年的55.03%,发生明显下降;坡度 $\leq 14^\circ$ 的耕地坡谱段呈现上升趋势,缓坡耕作率三年分别为16.33%,28.03%和44.97%,说明交错区耕地利用逐渐向坡度缓和的方向移动,缓坡耕地将逐步成为当地的农作物集中分布区。在退耕还林和5·12地震及其次生地质灾害的双重影响下,藏—羌聚落交错区耕地信息熵由1999年的1.253增加为2009年的1.515,进一步增至1.707,呈逐渐增加的态势,这表明缓坡耕地与陡坡耕地的占比差距缩小,耕地在不同分级坡段间的分布趋于均匀,利于当地水土保持。

关键词:坡谱;信息熵;耕地;藏—羌聚落交错区

中图分类号:P951 **文献标志码:**A

The variation characteristics on slope spectrum and information entropy of cultivated land in the crossing zone of Tibetan-Qiang settlement

ZHANG Shu-jie, GUO Ya-lin, FAN Min, WANG Qing

(School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China)

Abstract: The study takes the Tibetan-Qiang settlement as the research unit and extracts the local spatial information of the cultivated land of the zone in 1999, 2009 and 2014, and quantifies the slope differentiation characteristics of the cultivated lands through geo-info spectrum and information entropy technologies to clarify the reasonability of cultivated land utilization system in the Tibetan-Qiang crossing zone across the upper reaches of Min River. The results reveal that: (1) during the three study periods (1999~2014), the total amount of cultivated land decreased significantly and the slope spectrum curves of cultivated land descended significantly when the slope is over than or equal to 24° , meanwhile the cultivation rate of steep cultivated slope land also has dropped dramatically from 83.67% in 1999 to 71.97% in 2009 and to 55.03% in 2014. However, the spectrum curves in the range of the slope less than or equal to 14° showed an ascending variation trend and the rate of gentle slope cultivation is 16.33%, 28.03% and 44.97% for 1999, 2009 and 2014, respectively, indicating that the distribution of cultivated land moved gradually toward the regions with gentle cultivated slope land and it will gradually become the local concentrated distribution area of crops. (2) Under the influences of the implementation of the Grain for Green Project, the occurrence of 5·12 earthquake and the secondary geological hazards derived from the earthquake, the information entropy of slope spectrum for cultivated land increased from 1.253 in 1999 to 1.515 in 2009, and further reached 1.707 in 2014, showing an increasing trend in the Tibetan-Qiang settlement crossing zone. Therefore, the gap between area percentage of gentle cultivated slope land and area percentage of steep cultivated slope land has narrowed. It suggests that the allocation of cultivated lands in different hierarchical slope sections tends to be uniform, which is conducive to local conservation of water and soil. The research results can provide the basis for the

收稿日期:2017-01-10

修回日期:2017-04-20

基金项目:国家科技支撑计划(2015BAC05B04);四川省重点研发项目“岷江上游藏区耕地非农化过程与风险阈值”(2017SZ0086)。

作者简介:张淑杰(1990-),女,山西阳高人,硕士研究生,主要从事环境规划与管理方面的研究。E-mail:zhshujie00@126.com

通信作者:王青(1967-),男,山西阳高人,博士,教授,博士生导师,主要从事山区环境与发展研究。E-mail:qingw@imde.an.cn

reasonable planning, utilization and scientific management of cultivated lands in the crossing zone of Tibetan-Qiang settlement across the Upper Reaches of Min River.

Key word: slope spectrum; information entropy; cultivated land; Tibetan-Qiang settlement crossing zone

伴随着我国工业化和城镇化的快速发展,多民族地区居民生计与生活方式逐渐发生转变,岷江上游农村聚落人口空心化背景下耕地撂荒已成为普遍现象。山区耕地的撂荒是在中国乡村转型发展和土地利用转型大背景下出现的人地关系新变化,随着乡村劳动力资源的进一步析出和留守劳动力老龄化程度的进一步加重^[1-2],山区耕地的撂荒可能继续加剧。因此,了解耕地质量与耕地的合理利用情况和科学流转是事关农业与农村可持续发展的关键环节^[3-4]。保持一定规模粮食作物种植,对应对特定自然灾害影响胁迫下的粮食危机具有重要的现实意义。

坡谱和信息熵是揭示耕地在不同坡度上利用变化特征的有效手段。目前,坡谱方法已经涉及应用条件^[5-6]、坡度分级^[7]、水土流失^[8]等内容;信息熵技术作为测度系统复杂性和均衡性的手段^[9-10],在地貌演化特征分析^[11]、土地利用结构变化^[12-16]等领域得到较广泛应用。本文选取位于岷江上游藏-羌聚落交错区为研究单元,基于遥感资料和野外实地考察,运用 GIS 技术提取 1999、2009 年和 2014 年研究区耕地的空间信息,利用坡谱和信息熵技术定量刻画区域耕地分布的坡度特征与变化趋势,揭示区域耕地利用状态及其变化动因。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

岷江上游多民族地区地处干旱河谷区,在干旱河谷上线高半山半干旱缓坡区域分布有常绿、落叶阔叶林与针阔叶混交林。受地理环境所限,耕地分布与聚落分布具有趋同性。其中藏族聚落多分布于高山及河流干支流流域上部(海拔 1 100~3 200 m),羌族聚落则多见于河谷地和半山,主要分布在海拔 1 180~3 200 m 之间的干旱河谷和 V 型河谷上部低半山缓坡地带^[17]。藏族聚落共计 835 个,居民生计方式以农业为主,亦有少量半农半牧家庭;羌族聚落有 666 个,居民生计以农业为主。藏-羌聚落交错区位于 31°19'N~32°24'N,103°11'E~103°52'E 之间,共 3 个区域,行政区划上包括理县的薛城镇和蒲溪乡、黑水县的色尔古乡和瓦钵梁子乡、松潘县的镇坪乡 5 个乡镇(图 1),这 5 个乡镇均位于山原高原地带,属于高原季风气候区,气温随海拔上升而

明显下降,农村居民居住半山和高半山,村寨分散且相距较远,耕地多为坡耕地^[18]。

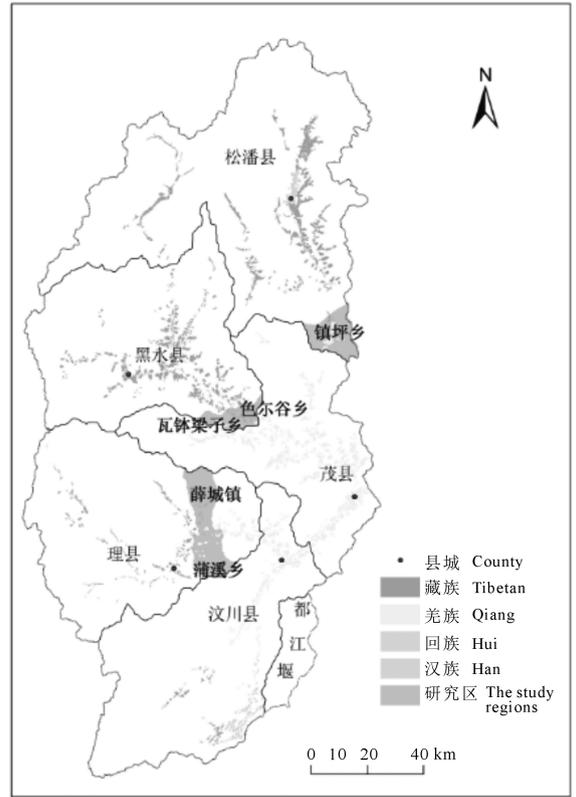


图 1 研究区在岷江上游的分布

Fig. 1 The spatial distributions of the investigated regions in the upper reaches of Min River

1.2 数据来源与分析

采用的数据主要包括:1999 年 SPOT-2,4 的 10 m 全色波段影像和 20 m 多光谱影像,2009 年 SPOT-5 的 5 m 全色波段影像和 10 m 多光谱影像以及 2014 年 SPOT-6 的 1.5 m 全色波段影像和 6 m 多光谱影像;空间分辨率 30 m 的 ASTER GDEM V002 数据。

利用 ENVI 5.1 软件对遥感影像进行正射校正、配准、融合、镶嵌,完成遥感数据预处理;结合耕地光谱特征和野外 GPS 定位调查,建立解译标志,利用 ArcGIS 9.3 软件目视解译研究区耕地信息(图 2);基于数字高程模型提取耕地坡度,对耕地以 3° 等差分级进行坡度重分类。由于研究区耕地斑块破碎,耕地的投影面积与坡面表面积相差不大,统计各坡度段耕地的投影面积及其占比,计算并绘制耕地 3° 等差分级坡谱,计算相应的信息熵。

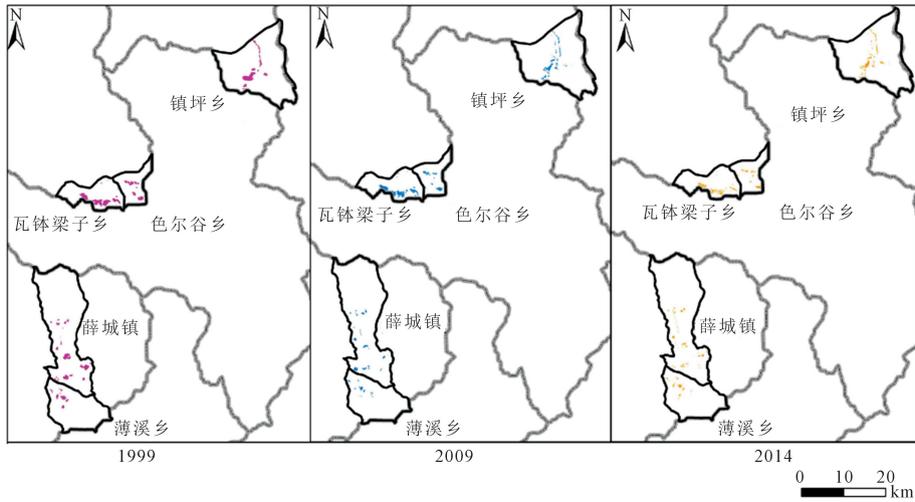


图2 研究区的耕地信息

Fig. 2 The cultivated land information on the investigated regions in three different periods

1.3 研究方法

1.3.1 坡谱 坡谱是以微地形因子的定量刻画为基础来揭示区域地形特征的有效途径之一。通常坡谱可以用特定区域内各个坡度段的面积频率构成的图表来表示^[7], 计算公式如下:

$$P_i = \frac{n_i}{n} \times 100\% \quad (1)$$

式中, P_i 为以特定坡度分级标准得到的第 i 级坡度段耕地的面积频率, n_i 为某一坡度段的耕地面积, n 为研究区耕地总面积。

3°等差分级可以得到较为光滑、特征也较明显的坡谱曲线, 分级结果令人满意^[19], 故本文采取了3°等差分级绘制藏-羌聚落交错区耕地坡谱曲线。

1.3.2 信息熵 在区域土地利用结构中, 信息熵用来反映土地利用的动态变化以及转化的程度, 熵值由小变大, 表明土地利用系统由低级有序向高级无序转变^[20]。耕地系统作为一个耗散结构体系, 可以

用信息熵来度量其内部结构的有序程度。耕地信息熵反映按照一定的坡度分级的耕地在各个坡度段的面积频率的差异程度, 频率越接近, 其信息熵越大^[21], 即耕地在不同分级坡段间的分布越均匀。信息熵计算公式如下:

$$H = - \sum_{i=1}^m P_i \ln P_i \quad (2)$$

式中, H 为研究区耕地的信息熵, P_i 为以特定坡度分级标准得到的第 i 级坡度段的耕地的面积频率, m 为分级总数。

2 结果与分析

2.1 耕地面积变化

基于耕地的光谱特征, 并经实地调查验证, 通过对3期遥感数据进行目视解译, 得到各个研究区在研究期内的耕地变化情况(表1)。

表1 研究区1999、2009年与2014年耕地面积及其变化量与变化率

Tab. 1 The amount and variations of cultivated land areas and their change rates in 1999, 2009 and 2014 in the investigated regions

项目 Item	年份 Year	理县	黑水县	松潘县	区域总耕地面积 Total area of cultivated land
		薛城镇-薄溪乡 Xuecheng Town and Puxi Country in Li County	色尔谷乡-瓦钵梁子乡 Seergu Country and Waboliangzi Country in Heishui County	镇坪乡 Zhenping Country in Songpan County	
耕地面积/km ² Cultivated land areas	1999	847.14	1074.96	634.50	2556.60
	2009	423.63	884.79	452.07	1760.49
	2014	426.96	489.69	403.56	1320.21
变化量/km ² Change	1999-2009	-423.51	-190.17	-182.43	-796.11
	2009-2014	3.33	-395.10	-48.51	-440.28
	1999-2014	-420.18	-585.27	-230.94	-1236.39
变化率/% Change rate	1999-2009	-49.99	-17.69	-28.75	-31.14
	2009-2014	0.79	-44.65	-10.73	-25.01
	1999-2014	-49.60	-54.45	-36.40	-48.36

表 1 所示,1999—2014 年 15 年间,研究区耕地面积整体呈下降趋势,降幅为 48.36%,耕地减少总量达 1 236.39 km²。1999—2009 年间耕地总面积下降 796.11 km²,降幅达 31.14%;其中,薛城镇—蒲溪乡耕地数量下降达 49.99%,居 3 个区域之首,同时其耕地数量的变化也是造成该时段区域总体耕地数量减少最主要的原因,色尔谷乡—瓦钵梁子乡和镇坪乡降幅依次为 17.69%和 28.75%。2009—2014 年耕地总面积下降 440.28 km²,降幅为 25.01%。色尔谷乡—瓦钵梁子乡的耕地面积降幅为 44.65%,镇坪乡耕地面积降幅 10.73%,理县薛城镇—蒲溪乡则基

本保持不变,对该时期区域总体耕地面积变化影响最大是色尔谷乡—瓦钵梁子乡的耕地数量变化情况。综合 1999—2014 年,对区域耕地面积变化的贡献由大到小依次为色尔谷乡—瓦钵梁子乡、薛城镇—蒲溪乡和镇坪乡。

2.2 耕地坡谱

基于 1999—2009—2014 年 3 期遥感影像的目视解译结果,利用 DEM 提取区域耕地坡度信息,采用 3°等差分级绘制藏—羌聚落交错区:理县薛城镇—蒲溪乡、黑水县色尔古乡—瓦钵梁子乡和松潘县镇坪乡的耕地坡谱曲线(图 3)。

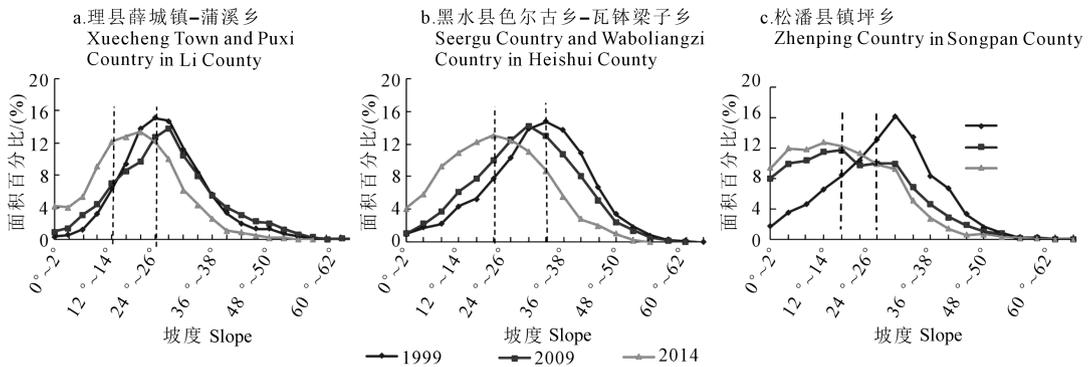


图 3 研究区耕地坡谱

Fig. 3 The information on slope spectrum curves of cultivated land in investigated regions

2.2.1 坡谱曲线特征 三个区域不同年份坡谱移动方向一致,均整体左移,即向缓坡方向移动,这表明藏—羌聚落交错区各研究区坡耕地利用变化趋势大致相同,陡坡耕地耕作率下降。

2.2.2 坡谱峰值特征 耕地主要分布于坡谱峰值附近,因此,坡谱峰值的移动可以在一定程度上反映坡谱的整体变动情况,反映出相应区域耕地系统的不同坡度土地利用现状及变化。1999 年,黑水县色尔古乡—瓦钵梁子乡耕地坡谱峰值的坡度区间为 24°~26°,较理县薛城镇—蒲溪乡和松潘县镇坪乡略高,后两者的坡谱峰值所在坡度区间均为 21°~23°;2014 年,理县薛城镇—蒲溪乡、黑水县色尔古乡—瓦钵梁子乡和松潘县镇坪乡耕地分布最大坡度段均有所下降,依次分别降至 18°~20°、15°~17°和 9°~11°。这说明在退耕还林的 15 年内,松潘县镇坪乡耕地坡谱峰值所在的坡度由陡变缓的程度最大,其耕地系统利用的合理化程度改善最大,黑水县色尔古乡—瓦钵梁子乡次之。

2.2.3 坡谱分段特征 结合表 1 与图 3 能够得到①理县薛城镇—蒲溪乡:超过 70%的耕地分布于 12°~29°坡度范围(每一坡度段占比≥5%),15 年间,坡度≤14°范围的耕地占比由 11.89%增至 16.97%,再

达 35.14%,而耕地面积由 100.71 km²先下降为 71.19 km²后大幅上升至 150.03 km²;15°~20°坡度区间的耕地面积及其占比则先减少后增加,占比变化为从 23.27%先降至 18.31%,而后又增至 26.26%,面积则由 197.09 km²依次变化为 77.58 km²和 112.14 km²;坡度≥21°的耕地占比从 64.85%微降为 64.50%,后降至 38.60%,面积由 549.34 km²降至 273.24 km²,最后到 164.79 km²。②黑水县色尔古乡—瓦钵梁子乡:66%的耕地主要分布在坡度为 12°~29°地带。坡度≤17°范围的耕地占比由 22.51%先增至 31.21%后又增至 55.65%,但面积变幅不大,三年间依次为 241.92、276.12 km²和 272.52 km²;18°~23°的坡度区间,耕地面积从 261.18 km²略减为 237.33 km²,进而持续减少为 115.74 km²,但其占比在 24.30%的范围内先升至 26.82%后降到 23.64%;≥24°坡度范围的耕地面积及其占比均持续显著下降,占比由 52.20%降到 41.97%,继续降到 20.71%,面积则依次为 571.86、371.34 km²和 101.43 km²。③松潘县镇坪乡:约 68%耕地的主要坡度分布范围为 9°~26°。至 2014 年,在≤14°的坡度段上,区域耕地面积由 158.49 km²上升为 234.18 km²最后达到 235.08 km²,而占比由 24.98%依次迅速增至 51.80%和 58.25%,15°~

17°坡段的耕地占比和面积则先由 10.50% 和 66.60 km² 降到 9.72% 和 43.92 km² 后略升高至 11.33% 和 45.72 km², 而在 ≥18° 坡度段耕地占比与面积下降情况依次从 64.52% 和 409.41 km² 占比和面积迅速降到 38.48% 和 173.97 km², 进而降至 30.42% 和 122.76 km²。

2.3 坡耕地信息熵

耕地坡度影响耕地的利用情况。在坡耕地上, 为防止因顺坡耕作造成的水土流失, 需要采用不同的种植方式或采取综合治理措施, 因此了解当地耕地坡度分异特征及变化状况就显得尤为必要。用信息熵来度量藏-羌聚落交错区坡耕地结构的有序

程度, 需要对耕地坡度进行分级处理。3° 等差分级得到的信息熵虽然可以详尽描述研究区对不同坡度耕地利用均衡与否的情况, 但不能按照坡度对耕地利用的限制程度和影响情况而进行有针对性的说明, 为此对 3° 等差分级进行改动, 调整为 0°~2°~5°~8°~11°~15°~25° 以及 >25° 这 7 个坡度段。前五个坡度段依然采用 3° 等差分级, 15°~25° 和 >25° 两个坡度段是 1984 年中国农业区划委员会颁发《土地利用现状调查技术规程》^[22] 对陡坡耕地的划分, 25° 为《水土保持法》^[23] 中开荒限制坡度, >25° 则为不准种植农作物。本文按此分级方法并依据公式(2) 计算得到坡耕地的信息熵(表 2)。

表 2 研究区耕地信息熵/nat

Tab.2 The information entropy of cultivated lands in investigated regions

年份 Year	理县 薛城镇-蒲溪乡 Xuecheng Town and Puxi Country in Li County	黑水县 色尔谷乡-瓦钵梁子乡 Seergu Country and Waboliangzi Country in Heishui County	松潘县镇坪乡 Zhenping Country in Songpan County	区域整体 Whole region
1999	1.112	1.223	1.418	1.253
2009	1.269	1.354	1.809	1.515
2014	1.575	1.664	1.807	1.707

在耕地利用系统中, 信息熵越小则表示耕地越集中在某些坡度范围内, 耕地在不同坡度段分布就越不均匀。藏-羌聚落交错区坡耕地的信息熵在研究期总体上呈现逐渐增加趋势, 各研究区的坡耕地信息熵变化略有不同: 理县薛城镇-蒲溪乡与黑水县色尔谷乡-瓦钵梁子乡的坡耕地信息熵有相似的变化趋势, 均逐渐增大, 但程度不尽相同; 松潘县镇坪乡的坡耕地信息熵则表现为先增加然后基本保持稳定。

截止到 1999 年(结合表 1 与图 2), 藏-羌聚落交错区的陡坡耕地(≥15°) 占比和面积远多于缓坡耕地(<15°), 陡坡耕地和缓坡耕地的占比分别是 86.67% 和 16.33%; 随后, 退耕还林工程在陡坡实施使缓坡耕地与陡坡耕地的占比差距缩小, 陡坡耕地和缓坡耕地的占比为 71.97% 和 28.03%; 同时受地质灾害的影响, 坡度 ≥15° 的耕地面积及其占比出现较为显著的下降, 坡度 <15° 的耕地数量因灾后复垦、撂荒复耕而缓慢上升, 占比则上升较明显, 使得耕地在不同坡度段分布较退耕前均匀, 进而使区域耕地信息熵由 1.253 增加至 1.515。各个研究区的信息熵变化情况及原因与区域总体的情况相近。

2009-2014 年间, 区域总体的耕地信息熵继续呈增加态势, 陡坡耕地的耕作率持续下降, 由 2009 年的 71.97% 降至 55.03%。其中理县薛城镇-蒲溪乡与黑水县色尔谷乡-瓦钵梁子乡 <15° 坡段的耕地

占比与 ≥15° 坡段的耕地占比差距持续减小, 即两不同坡度范围耕地依然向着更加均匀的方向发展, 显示出与区域总体类似的变化趋势。松潘县镇坪乡研究区 ≥15° 坡段的耕地面积继续减少, 其占比与 <15° 坡段的耕地占比相比由 1999 年的大于(75.02% > 24.98%) 变为 2009 年的小于(48.20% < 51.80%), 在 2014 年, ≥15° 坡段的耕地占比小于 <15° 坡段的耕地占比的程度进一步增大(41.75% < 58.25%), 从而使得该区域坡耕地信息熵较 2009 年有所减少, 即 2014 年松潘县镇坪乡研究区耕地在不同坡度段分布较 2009 年更不均匀。但与 1999 年的不均匀不同, 1999 年松潘县镇坪乡的耕地是陡坡耕地远大于缓坡耕地占比, 而 2014 年则相反, 该时期其耕地是缓坡耕地大于陡坡耕地占比, 因此, 其坡耕地信息熵则表现为基本不变, 稳定在 1.8 左右。

3 讨论

1) 由于耕地面积的变化引起不同坡度耕地占比的变化, 进而造成了坡谱和信息熵的变化。通过文献调研并进行野外调查和农户走访, 将耕地坡谱与信息熵变化的原因归纳为以下几方面: ① 岷江上游山区 1999 年开始实施退耕还林工程, 陡坡耕地因此大量减少, 这与 2008 年四川省退耕还林调查报告^[24] 得出的山区实施退耕还林使大批陡坡耕地得到有效治理的结论相一致; 2009-2014 年间受到汶

川地震及其次生地质灾害,特别是 2013 年“7.10 特大泥石流”的影响,堵江溃决威胁的存在^[25]造成河谷区两侧耕地面积显著下降,这在蒲溪沟等地的走访调查中也得以证实。②“十二五”期间随着四川省的城镇化水平的逐步提高和农村空心化的进一步加剧^[26],当地农村聚落年轻劳动力不断外流与留守劳动力老龄化,加上震后村子陆续搬迁引起耕地可达性降低,导致研究区当地部分耕地被迫撂荒。③陡坡耕地退耕后,耕地生态系统供给生态服务价值降低^[27],生态补偿低于居民生计需求,因此在河坝等区域出现耕地复耕、复垦现象,同时也使耕地弃耕情况得到一定缓解^[28]。

2) 坡谱是地学图谱中用来反映现象或事物的空间结构的方法之一^[29],目前在黄土高原地貌和水土保持研究的成功运用^[30-32]已充分证明其可有效反映地貌形态的空间分异特征并可用来获取地形地貌信息。本文通过适当的坡度分级方法得到研究区耕地坡谱,获取了耕地在不同坡度上的空间分布信息,其中,三个研究区在 1999 年均呈现近似正态的分布态势,即随坡度的升高,不同坡度耕地面积呈两头小中间大的分布趋势,这反映了研究初期区域在不同坡度下耕地的利用情况。同时,基于图谱反演过去、预测未来的特点^[33],本文将研究区不同时段耕地坡谱进行了对比分析,得到研究区对耕地利用的发展变化趋势,即与 1999 年相比,研究区在 2009 年和 2014 年陡坡耕地耕作率均下降,缓坡耕地面积占比较小的情况逐步好转。这样的结果与李富程等^[34]得到的不同坡度的耕地面积整体呈减小趋势且耕地减少量随坡度增大而增加研究结论相一致。

信息熵是对系统有序与否的量度手段之一,在土地利用结构的应用中其演变情况可以反映区域土地的分布和不同土地利用类别的动态演变规律。在量化地面坡谱后,信息熵及其变化情况可进一步表征地貌形态的时空变化特征^[30,32]。本文基于研究区耕地坡谱信息,借助信息熵探究得出耕地在不同坡度区间上的分布均匀程度有所改善;并通过信息熵在时间尺度上由小到大的变化,分析得到区域坡耕经历由陡坡耕地多于缓坡耕地演变为两者数量接近再发展到缓坡耕地逐渐多于陡坡耕地的变化。在本文中坡谱信息熵的变化表明耕地在不同分级坡度区间的分布逐渐趋于均匀,而陈佳音等^[32]的研究得出坡谱信息熵由小变大能够反映地形起伏由缓和向剧烈的变化趋势的结论,两者均是通过坡谱信息熵的变化来反映相应研究对象的时空变

化规律,但研究结果的差异性因受到研究对象及其在研究期内分布的始末状态和计算信息熵时所选取的坡度分级方法的影响而有所不同。

因此,通过分析坡谱和信息熵的变化原因来反映研究区耕地的时空变化状况,进而判定研究区对坡耕地的利用情况,对减少水土流失、确保山区粮食种植面积^[35],缓解山区人地矛盾和保障退耕还林的生态效益具有重要意义。

4 结 论

本研究结果表明:1) 1999~2014 年间,藏-羌聚落交错区 $\geq 24^\circ$ 的耕地坡谱段递减明显,陡坡耕地耕作率由 1999 年的 83.67%到 2009 年的 71.97%再到 2014 年的 55.03%,发生幅度较为明显地下降;坡度 $\leq 14^\circ$ 的耕地坡谱段呈现上升趋势,缓坡耕作率从 1999 年到 2009 年再到 2014 年分别为 16.33%, 28.03%和 44.97%,说明交错区耕地利用逐渐向坡度缓和的方向移动,缓坡耕地将会逐步成为当地的农作物集中分布区,耕地的利用更加合理。2) 在退耕还林和 5·12 地震及其次生地质灾害的双重影响下,藏-羌聚落交错区耕地信息熵由 1999 年的 1.253 增加为 2009 年的 1.515,进一步增至 1.707,呈逐渐增加的态势,这表明缓坡耕地与陡坡耕地的占比差距缩小,耕地在不同分级坡段间的分布趋于均匀,相较于当地高山深谷的地形与研究初期的主要集中于陡坡的耕作状态,这样的变化有利于当地的水土保持与生态环境的保护。利用坡谱对区域耕地系统微地貌进行刻画,结合坡谱信息熵的变化分析耕地的空间分异特征,有助于评价区域耕地的时空变化状况,为山区可持续发展和生态环境建设提供参考和依据。

参 考 文 献:

- [1] 阎建忠,吴莹莹,张懿铨,等.青藏高原东部样带农牧民生计的多样化[J].地理学报,2009,64(2):221-233.
- [2] 邵景安,张仕超,李秀彬.山区土地流转对缓解耕地撂荒的作用[J].地理学报,2015,70(4):636-649.
- [3] 王凤娇,杨延征,上官周平.西北五省(区)耕地质量等别差异性比较[J].干旱地区农业研究,2015,33(2):230-236.
- [4] 蔡运龙.中国农村转型与耕地保护机制[J].地理科学,2001,21(1):1-6.
- [5] 王春,汤国安,李发源,等.坡谱提取与应用的基本地域条件[J].地理科学,2007,27(4):587-592.
- [6] 王春,汤国安,李发源,等.基于 DEM 提取坡谱信息的不确定性[J].地球信息科学,2008,10(4):539-544.
- [7] 赵牡丹,汤国安,陈正江,等.黄土丘陵沟壑区不同坡度分级系统及地面坡谱对比[J].水土保持通报,2002,22(4):33-36.
- [8] 林婉晴,陈松林,廖善刚,等.不同地貌类型水土流失区的地面

- 坡谱分析[J]. 亚热带资源与环境学报, 2014, 9(4): 51-55.
- [9] Shannon, C. E. A mathematical theory of communication [J]. Bell System Technical Journal, 1948, 27(2): 379-423.
- [10] Coulter, J.E., Shi L. and Jenkins, S. Environment as the Stage for Economic Actors [J]. Chinese Journal of Population, Resources and Environment, 2007, 5(1): 3-8.
- [11] 冯爱霞, 龚志强, 黄瑛, 等. 全球温度场信息熵的时空特征分析[J]. 物理学报, 2011, 60(9): 833-841.
- [12] 孙然好, 潘保田, 王义祥, 祁连山北麓地貌信息熵与山体演化阶段分析[J]. 干旱区地理, 2006, 29(1): 88-93.
- [13] 周子英, 段建南, 梁春风. 长沙市土地利用结构信息熵时空变化研究[J]. 经济地理, 2012, 32(4): 124-129.
- [14] 李江, 郭庆胜. 基于信息熵的城市用地结构动态演变分析[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 393-397.
- [15] 石培基, 董翰蓉, 潘竞虎. 甘州区土地利用结构信息熵时空变化分析[J]. 土壤通报, 2012, 43(2): 263-268.
- [16] 陈彦光, 刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述: 从信息熵到分数维[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 146-152.
- [17] 王青, 石敏球, 郭亚琳, 等. 岷江上游山区聚落生态位垂直分异研究[J]. 地理学报, 2013, 68(11): 1559-1567.
- [18] 阿坝藏族羌族自治州概况编写组. 阿坝藏族羌族自治州概况[M]. 北京: 民族出版社, 2009: 12-13.
- [19] 朱梅, 李发源. 坡度分级对地面坡谱的影响研究[J]. 测绘科学, 2009, 34(6): 165-167.
- [20] 谭永忠, 吴次芳. 区域土地利用结构的信息熵分异规律研究[J]. 自然资源学报, 2003, (01): 112-117.
- [21] 李发源, 汤国安, 贾旖旎, 等. 坡谱信息熵尺度效应及空间分异[J]. 地球信息科学, 2007, (04): 13-18.
- [22] 全国农业委员会. 土地利用现状调查技术规约[M]. 北京: 测绘出版社, 1984.
- [23] 国务院法制办公室. 中华人民共和国国土资源法典[M]. 北京: 中国法制出版社, 2016.
- [24] 杜万全, 张洪明. 四川省退耕还林调查报告[J]. 四川林勘设计, 2008, (01): 1-5.
- [25] 韩玫, 胡涛, 王严, 等. 汶川震区窄陡沟道型泥石流流动力学特性及堵江分析——以都汶高速沿线磨子沟为例[J]. 工程地质学报, 2016, 24(04): 559-568.
- [26] 傅超. 农村空心化与“十二五”空心村土地整治[J]. 中国经贸导刊, 2011, (13): 46.
- [27] 樊敏, 李富程, 郭亚琳, 等. 退耕还林对岷江上游高山聚落区生态服务价值变化的影响[J]. 山地学报, 2016, 34(3): 356-365.
- [28] 吴春生, 王文杰, 刘孝富, 等. 基于TM遥感数据的汶川地震极重灾区生态恢复研究[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(05): 666-672.
- [29] 张勇. 黄土高原地面坡谱研究[D]. 西安: 西北大学, 2003.
- [30] 李发源, 汤国安, 贾旖旎, 等. 坡谱信息熵尺度效应及空间分异[J]. 地球信息科学, 2007, (04): 13-18.
- [31] 汤国安. 黄土高原数字地形分析与地面坡谱研巧[D]. 西安: 西北大学, 2003.
- [32] 陈佳音, 邹艳红. 基于坡谱和信息熵的水土保持研究——以湖南省三个县为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2016, (11): 97-101.
- [33] 陈述彭, 岳天祥, 励惠国. 地学信息图谱研究及其应用[J]. 地理研究, 2000, 19(04): 337-343.
- [34] 李富程, 刘影, 樊敏, 等. 岷江上游干旱河谷区退耕还林还草的社会经济影响[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(06): 295-301.
- [35] 倪九派, 傅涛. 坡耕地开发利用和保护模式研究[J]. 水土保持科技情报, 2001, (05): 35-37.

(上接第238页)

- [22] Lu H, Huang G, He L. Inexact rough-interval two-stage stochastic programming for conjunctive water allocation problems[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 91(1): 261-269.
- [23] Li W, Li Y P, Li C H, et al. An inexact two-stage water management model for planning agricultural irrigation under uncertainty [J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(7): 1905-1914.
- [24] Lv Y, Huang G H, Li Y P, et al. A two-stage inexact joint-probabilistic programming method for air quality management under uncertainty. [J]. Journal of Environmental Management, 2011, 92(3): 813-826.
- [25] Zhang L, Li C Y. An inexact two-stage water resources allocation model for sustainable development and management [J]. Water Resources Management, 2014, 28(10): 3161-3178.
- [26] Li C Y, Zhang L. An inexact two-stage allocation model for water resources management under uncertainty [J]. Water Resources Management, 2015, 29(3): 1823-1841.
- [27] 桂东伟, 雷加强, 曾凡江, 等. 绿洲农田不同深度土壤粒径分布特性及其影响因素——以策勒绿洲为例[J]. 干旱区研究, 2011, 28(4): 622-629.
- [28] 桂东伟, 雷加强, 曾凡江, 等. 绿洲化进程中不同利用强度农田对土壤质量的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(7): 1780-1788.
- [29] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012-2016.
- [30] 蒙波, 桂东伟, 曾凡江, 等. 塔里木盆地南缘绿洲地下水时空变异与监测点位优化——以策勒绿洲为例[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 209-215.
- [31] Dai Z Y, Li Y P. A multistage irrigation water allocation model for agricultural land-use planning under uncertainty [J]. Agricultural Water Management, 2013, 129(6): 69-79.
- [32] 付银环. 基于不确定性的灌区多作物、多生长阶段的水资源优化配置研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2010.
- [33] 魏轩, 周立华, 陈勇, 等. 民勤绿洲水资源利用的综合效益评价[J]. 冰川冻土, 2015, 37(6): 1688-1696.
- [34] 桂东伟, 曾凡江, 雷加强, 等. 对塔里木盆地南缘绿洲可持续发展的思考与建议[J]. 中国沙漠, 2016, 36(1): 6-11.