

基于 GIS 的元阳梯田空间分布及其自然要素分异研究

刘 敬¹, 刘澄静¹, 角媛梅¹, 刘志林¹, 许汉华²,
张 华³, 赵冬梅¹, 吴常润¹, 冯志娟¹, 刘 欢¹

(1. 云南师范大学 旅游与地理科学学院, 昆明 650500;

2. 中国有色金属工业昆明勘察设计院有限公司, 昆明 650051; 3. 云南省地质环境监测院, 昆明 650216)

摘 要: 为保护哈尼梯田人工湿地、维护区域生态安全、传承梯田农耕文明, 以元阳县梯田为研究对象, 通过野外地质调查、查阅区域地质调查报告和区域岩石性质以及土壤性质, 利用 GIS 空间技术分析了梯田空间分布及自然影响因素, 旨在进一步明晰梯田空间分布与各自然影响要素对其影响机理, 为梯田的管理保护与研究提供参考。结果表明: (1) 地形决定了梯田的形态和面积规模。在海拔 800~1 500 m、坡度 0°~15°的亚热带平缓山区沿等高线分布了梯田总面积的 73.23%, 75.35%。(2) 岩性通过影响岩石保水蓄水的水理性质进而影响到梯田的完整性; 研究区中部的片麻岩类岩石基岩裂隙不甚发育储水性能良好, 片麻岩类占岩石面积的 51.49%, 分布了梯田的 58.99%; 其他区域主要为(石)灰岩及砂页岩类, 空隙大, 下渗严重。(3) 土壤的矿物成分、理化性状不尽相同, 制约着水稻的生长发育, 其粘性、保水性以及可塑性影响着梯田的景观格局; 中部梯田区的红壤(麻黄红土)和赤红壤(麻黄赤红土)多为黏壤土, 土体厚质地轻且养分含量较高, 在长期人为熟化下土质粘重易保水保肥; 其他地区的土壤大多土体厚薄不一、层次分异明显, 蓄水蓄肥能力较差、耕性不良。研究结果为梯田的开发利用和保护提供科学依据。

关键词: GIS; 元阳梯田; 自然因素; 地形; 岩石; 土壤

中图分类号: S157.3⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2020)02-0337-07

Study on the Spatial Distribution Rules and Variation of Natural Factors of Hani Rice Terrace in Yuanyang County Based on GIS Spatial Data

LIU Jing¹, LIU Chengjing¹, JIAO Yuanmei¹, LIU Zhilin¹, XU Hanhua², ZHANG Hua³,
ZHAO Dongmei¹, WU Changrun¹, FENG Zhijuan¹, LIU Huan¹

(1. College of Tourism and Geography, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China;

2. Kunming Prospecting Design Institute, China Nonferrous Metals Industry Institute of Architectural Engineerin,
Kunming 650051, China; 3. Yunnan Provincial Geological Environment Monitoring Institute, Kunming 650216, China)

Abstract: In order to protect artificial wetland of the Hani Rice Terrace, maintain regional ecological security, and inherit the terraced farming civilization, taking the Rice Terrace of Yuanyang County as the research site, we used a spatial analysis technology of GIS to analyze and study the spatial distribution and natural influence factors of terraces through field geological survey, consulting regional geological survey report and rock properties and soil properties, to further clarify the spatial distribution of terraces and mechanism of natural influencing factors on terrace, and to provide the reference for the management and research of terraces. The results show that: (1) the topography determines the shape and area scale of the terraces, 73.23% and 75.35% of the total area of terraces distribute along the contour lines at the subtropical gentle mountain area with the elevations of 800~1 500 m and slope gradient of 0°~15°, respectively; (2) the lithologic properties affect the integrity of terraced fields through affecting the water quality of rock retaining and storing water; the gneiss bedrock fracture is poorly developed, and has the good water storage performance in the middle part of the study area, the gneiss accounts for 51.49% of the rock area and 58.99% of the terrace, the rest of the study area is mainly dominated by limestone and sand shale with large void space and

收稿日期: 2019-04-28

修回日期: 2019-05-21

资助项目: 国家自然科学基金“哈尼梯田遗产区聚落景观快速变化机制与景区化过程及保护”(41761115)

第一作者: 刘敬(1995—), 男, 云南禄丰人, 硕士研究生, 研究方向为喀斯特环境与水资源。E-mail: 2245427725@qq.com

通信作者: 刘志林(1990—), 男, 宁夏吴忠人, 在读博士, 研究方向为土地整治。E-mail: zhilin2015@foxmail.com

serious infiltration; (3) the mineral composition and physical and chemical properties of the soil are different, which restricts the growth and development of rice, the viscosity, water retentiveness and plasticity of soil affect the landscape pattern of terraces; the red soil (red soil of ephedra) and lateritic red soil (lateritic red soil of ephedra) in the middle of terrace area are mostly clay loam with the thick pedon, loamy texture and rich nutrients; under the condition of long-term artificial ripening, the soil is sticky and soil moisture and fertility properties are well preserved; most of the soils in other areas have different thicknesses, stratify obviously, have the poor water storage and fertilizer capacity, and poor farming performance. These results can provide a scientific basis for the development, utilization and protection of terraces.

Keywords: GIS; Yuanyang rice terraces; natural factors; topography; rock; soil

梯田是广泛存在于世界山地地区的农业耕种模式之一,不同地区的梯田形成历史和影响因素不同。举世闻名的元阳梯田,是我国西南山区少数民族农耕文明的典型代表。作为耕地资源的一种,梯田为哈尼先民繁衍、生存提供了坚实保障;但在工业化、城镇化过程中,这种耕地资源不可避免被占用^[1-2],其完整性不断受到破坏。因此弄清楚梯田空间分布、明晰其自然影响因素而有针对性进行保护,对更好传承梯田农耕文明、有效维系稻作梯田的完整性、以及保持稻作梯田灵动多变的景观格局具有重要意义。在耕地空间分布方面,陈丹等^[3]从居民点、公路、农村道路和水域 4 个要素进行了研究;何昌华等^[4]则从距离和地形两个因素进行了探讨;目前对于梯田这一特殊耕地的空间分布,刘宗滨等^[5]以红河(南部四县)哈尼梯田为对象从地形因子进行了研究;以元阳梯田为对象目前较少,在元阳梯田形成的自然因素方面,陈燕^[6]、刘卫红^[7]、角媛梅等^[8-9]学者从地形地貌、气候植被以及土壤水文方面进行了定性研究;在自然因素对元阳梯田空间分布的影响研究方面,只有王妍^[10]、张超^[11]等从地形因子出发进行了遥感识别分析,其他影响因子的研究未见报道。本文还选取除地形外岩性、土壤为研究因子,综合运用 ArcGIS 空间分析技术,对梯田、地形、岩性以及土壤进行叠加,统计并分析各自然要素分区的梯田面积,定性和定量分析典型山地农业耕种区域元阳梯田的空间分布、以及各自然要素对梯田空间分布的影响机理。旨在为我国区域农耕文化的传承提供一个新的参考,为元阳梯田开发利用与保护的研究者和相关管理人员提供依据,同时也为其他地区梯田的保护提供新的研究思路和方法。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

元阳梯田研究区位于云南省红河哈尼族彝族自治州南部、红河南岸的元阳县,地理坐标为 102°27'—

103°13'E, 22°49'—23°19'N, 总面积 2 189.88 km²。元阳县地处哀牢山脉中段,基岩全系元古界深变质的哀牢山群。自中生代特别是新构造运动以来,境内发生较大幅度的间歇性抬升和夷平,形成复杂的地形地貌,最高海拔 2 936.6 m,最低海拔 144 m,海拔差异明显;地貌总体西北高、东南低。境内主要为亚热带山地季风气候,具有“一山分四季,隔里不同天”的独特高原立体气候特征^[12],从河谷到中山山区气候差异明显。研究区内岩石组成较为复杂,可划分为片麻岩类、(石)灰岩类、砂岩类、页岩类 4 种主要类型;土壤为红壤(麻黄红土)、赤红壤(麻黄赤红土)、黄壤(麻黄土)以及燥红土等。元阳梯田在空间分布上具有明显区域特征,中部规模大而集中,其他区域面积广大却分布较少。

1.2 数据来源与研究方法

研究数据来源主要包括:(1) 梯田数据。来源于国家地理信息中心提供的 0.6 m 高分辨率的 Landsat 8 影像遥感数据,采用监督分类法将元阳县土地利用类型进行划分,从中提取梯田分布信息;(2) 地形数据。来源于地理空间数据云的数字高程模型(Digital elevation Model, DEM),分辨率为 30 m×30 m;(3) 地质岩类信息数据。由云南省地质环境监测院提供的 1:5 万《云南地质图》在 ArcGIS 10.4 平台数字化得到;(4) 土壤数据。来于云南省测绘局 1:75 万幅《云南土壤图》,经 ArcGIS 10.4 数字化而来。

研究方法:利用软件制图、文献和已有资料进行综合分析;将梯田、地形、岩石、土壤 4 个因子经 GIS 处理分别叠加绘制梯田和地形、岩石、土壤的空间分布图。地形因子由 DEM 数据经 3D 分析后提取;岩性和土壤因子分别由纸质图件《云南地质图》、《云南土壤图》数字化处理、然后在 GIS 软件进行地理配准、栅格化得到;以上诸自然因子,均经重分类、栅格转面、裁剪梯田空间分布,最后得到梯田和各因子的空间分布图;由双精度计算、统计后得到梯田在各因

子分区中面积占比,最后分析梯田空间分布的自然要素特征;此外,所有栅格图层坐标统一为 WGS_1984_UTM_Zone_48N。

在各自然因素分级体系上,地形方面海拔因子依据《云南省农业地理》划分气候带的标准将梯田分成 6 类;坡度因子根据 2017 年修订《土地变更调查技术规程(使用)》中耕地坡度分级表,将元阳梯田坡度划分为 5 类;坡向经 GIS 地形分析共分为 10 类;岩性因子因研究区范围较小故在老师指导下依据主要性质划分为 4 类;土壤因子依据云南省第二次土壤普查《云南省土壤分类系统》共分为 32 个土属共 11 类。此外,因研究区范围较小,下载的气象数据精度不高,且当地自然环境变异大而气象观测点很难覆盖全境;同时山区海拔一定程度上可以表征气温和降水,而且地形综合表征可用海拔获取,因此在自然要素选择上也就不考虑气候因子。

2 结果与分析

2.1 梯田空间分布

元阳中部是梯田的集中区,也是本研究的重点区域,包括全福庄、坝达、多依树等在内几个大的核心片区(图 1);面积规模大、空间集中连续,边界分明;东南部、南部、西南部和西北部的其他区域的梯田,面积、规模均不如中部。

在地形上,海拔 800~1 500 m 的中部亚热带山地季风气候区因地形平缓、水热条件组合好,发育了梯田的 72.23%;中部梯田集中区海拔就位于这一范围内(附图 5);中部区域在片麻岩类母质基础上沿高线修筑了长度不一、拾级而上的层层梯田,面积达 246.59 km²,占梯田的 58.99%(附图 6);如同细长的银带悬挂

在连绵起伏的山体上,受海拔分区影响该区土壤带谱为红壤与黄壤,共分布 221.25 km² 梯田,占 52.93%(附图 7),其中中部麻黄红土(红壤)、麻黄赤红土(赤红壤)两个土属,分布了梯田总面积的 32.04%。

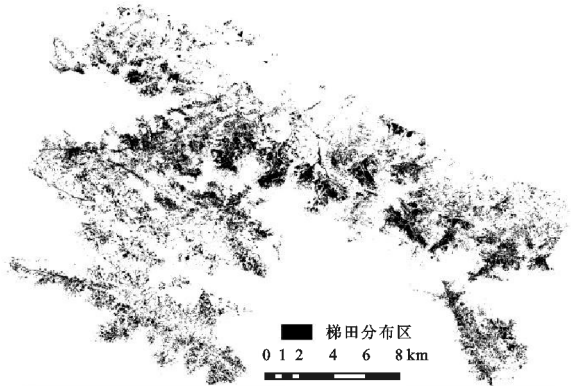


图 1 元阳梯田空间分布

2.2 梯田的地形分异

作为人工生态系统的一种,水稻的生长发育受自然条件影响显著。高程适中、坡度平缓、坡向适宜的地形最适宜水稻种植,不仅表现在生长上,同时对生产管理、空间布局具有重要意义。

不同海拔接收的太阳辐射、大气降水具有明显差异,进而影响水稻的生长发育和空间分布。适宜的海拔利于梯田的修筑,同时方便生产管理。元阳梯田在空间上呈现出明显的分带性(附图 5),海拔 800~1 200 m 南亚热带中山梯田区(分布 34.98%),1 200~1 500 m 的中亚热带中山梯田区(占 37.25%)以及 1 500~1 800 m 的北亚热带中山梯田区(16.98%),3 个亚热带气候带分布了梯田的 89.21%(表 1),800 m 以下的热带河谷区蒸发大而降水少、高于 1 800 m 的温带山区热量不足,尽管面积广大却只分布梯田的 10.79%。

表 1 各地形要素分区梯田面积统计

海拔分区/ m	梯田面积/ km ²	占比/ %	坡度/ (°)	梯田面积/ km ²	占比/ %	坡向/ (°)	梯田面积/ km ²	占比/ %
<800	30.72	7.35	<2	36.48	8.73	平面(-1)	8.70	2.08
						北(0~22.5)	33.04	7.91
800~1200	146.11	34.98	2~6	142.41	34.10	东北(22.5~67.5)	60.17	14.41
						东(67.5~112.5)	47.58	11.39
1200~1500	155.59	37.25	6~15	135.82	32.52	东南(112.5~157.5)	47.71	11.42
						南(157.5~202.5)	38.20	9.15
1500~1800	70.93	16.98	15~25	78.29	18.75	西南(202.5~247.5)	38.26	9.16
						西(247.5~292.5)	47.05	11.27
1800~2000	12.21	2.92	>25	24.66	5.90	西北(292.5~337.5)	62.87	15.05
						北(337.5~360)	34.43	8.15
>2000	2.12	0.52						

从附图 5 与表 1 可以看出,海拔区间 800~1 500 m 的中部分布了梯田的 72.23%。从地貌等级上看,这一海拔区间属于亚热带中山地貌,水汽爬升冷凝极易

产生“地形雨”,降水总量、频率明显丰于其他区间,这对需水量大的水稻是一个重要保障。此外,中间海拔区气候适宜,利于农业生产。从海拔 140 m 的红河

谷至 2 000 m 的观音山上,上千级梯田依山等高线分布,形成了全世界规模最大、分布最为集中壮观的稻作梯田地理景观。沿等高线修筑梯田是哈尼先民繁衍发展与生存的一个重要保障,逐级抬升不仅提高了太阳辐射面积、充分利用光热资源,而且避免了大面积土方搬运所需的极大投入,同时也降低了因梯田面积过大、田埂过高诱发的垮塌、滑坡几率,以及由此带来维修时的人力、物力以及时间等成本。

坡度的大小直接影响着梯田的形态和面积规模;同时适宜的坡度亦使含水岩土有着良好的给水性,形成了梯田区广泛出露的地下水,为梯田提供了稳定补给水源。15°内为平耕地、缓坡耕地,分布了梯田的 75.35% (表 1),中部梯田区在坡度上就处于这一区间,地势起伏平缓、开发条件优越,梯田面积大且集中连续(附图 5);中部以外广大地区因地形起伏跨度大,只是斑块状分布了 24.65% 的梯田。梯田随山势地形变化,因地制宜,坡缓地大则开垦大田,坡陡地小则开垦小田,甚至在沟边坎下石隙也开田,梯田大者有数亩,小者仅有簸箕大,一坡就有成千上万亩^[13];依据坡度的大小,设计梯田的宽窄和长度,把高处的土方往低处搬运,台地不人为拉直,而是沿山势自然弯曲伸长^[14],最终形成自山脚河谷到山腰宽窄不同、层层叠叠的梯田。这种在原有自然基础上依坡度小幅度改造的稻作方式,对于生产技术落后、劳动力短缺的哈尼先民而言是因地制宜的选择,是人与自然高度和谐的典范。

坡向对梯田的影响主要表现于日照时长、接受太阳辐射的多少,以及对地下水和地表水的控制;偏南或朝南坡向阳光辐射充足,蒸发量大,表层滞水和浅层地下水量相对较少。受南北走向山脉和地形坡度的影响,元阳梯田在分布上并不是光热较好的南坡,而是东北、东、东南、西、西北方向(附图 5),分布了梯田总面积的 63.54% (表 1)。受平缓地势影响,一方面开发利用难度小,工程量不大;另一方面,发生滑坡等自然灾害的概率要小得多,这是哈尼先民的现实考量。坡向偏北同时意味着太阳辐射相对不足,为弥补对水稻生长的不利影响,当地采取降低种植密度、早种晚收延长生长周期、勤施肥等措施以保障水稻产量。坡向的影响还表现在对地表水和地下水的调蓄上,偏北坡向表层滞水和浅层地下水较为丰富,为梯田提供了稳定水源;尤其是冬季,在上部森林的调蓄下,源源不断的水流保障了泡田所需,为来年耕作做好了准备。

2.3 梯田的岩性分异

不同基岩水理性质不尽相同,所发育的土壤也不一样。片麻岩是中部主要岩类,面积达 1 132.998 km²,占岩石面积的 51.49%;以片麻岩类为母质,发

育土壤为单一的红壤(麻黄红土)、赤红壤(麻黄赤红土)。其他地区主要以灰岩类(474.95 km²,占总面积 21.58%)、砂(砾)岩类(196.78 km²,占 8.94%)以及页岩类(350.34 km²,占 15.92%)等为主,土壤多为水稻土、沼泽土以及棕壤土等。从附图 6 可以看出,大面积的片麻岩类是中部梯田区特殊的岩石背景。其他岩石分布地区梯田面积较小,零星分布规模不大。

不同基岩水理性质,对水体储蓄能力不尽相同。片麻岩类岩石分布了 246.59 km² 梯田,占总面积的 58.99%,是元阳县最主要岩类,也是中部梯田区特殊岩石背景。在湿热的山地立体气候环境下片麻母岩风化强烈,所含长石、云母等风化成细小颗粒物。同时,片麻岩山区是土层和风化层深厚,蓄水、保水性能好,土壤肥力高,土石方工程实施难度小,易于开发的区域^[15],经过长期的人为耕作影响,上部不断熟化最终变成深厚耕作土体,颗粒细腻、粘度高、可塑性强,储蓄水能力大大提高。同时,底部基岩因上覆深厚土层、缺乏植物根系足够干扰而保持良好完整性,基岩裂隙不甚发育,相对密度大、透水性差(表 2),基岩隔水性能良好。因此,中部梯田区得益于片麻岩底部隔水性和上部容水性为梯田水体起到良好的补给、调蓄作用,梯田景观的完整性从水源上得到保障。

南部、东南部、西南部的(石)灰岩类共 474.95 km²,占总面积的 21.58%;分布了 19.07% 共 79.71 km² 的梯田。(石)灰岩属碳酸盐类岩石,具有很强的可溶性和渗透性;加之区域气候湿润植被茂密,土壤和流水中有机酸的含量较高,水溶蚀作用明显,底部基岩不断受到侵蚀;山高谷深的地形又导致水具有很强的流动性,在气候、岩性等因素综合作用下该地区的喀斯特作用强烈,岩石渗透系数大(表 2),降水和地表径流以“喀斯特水”渗漏到地下深处无法有效利用,自然也就难以满足梯田所需的灌溉水源。

东南部和西南部的页岩类、砂岩类岩石,面积分别为 350.34,196.78 km²,占比 15.92%,8.94%,分布的梯田面积为 52.80,32.35 km²,占 12.63%,7.74%。与中部梯田区的片麻岩相比,砂页岩类孔隙度明显偏大,相对密度偏小(表 2),渗透系数高,透水性强(表 2),导致水体下渗严重不能很好保留,无法为梯田提供稳定、充足的灌溉水源。此外,砂岩和页岩的软化因数明显小于其他岩类(表 2),软化因数值愈小,表示岩石在水的作用下的强度和稳定性愈差^[16],这从岩性的角度说明砂岩和页岩所发育的土体缺乏足够稳定性,易于发生垮塌、滑坡等地质灾害;尤其是砂砾岩,土体粒径大、砂性强,团聚体缺乏粘性而下渗量巨大,在利用上被用作梯田外的其他方向。

页岩类、(砾)砂岩类岩石受较高海拔的影响而抗冻性较差,尤其在冬春交替之际温度变化剧烈,岩石反复冻融基岩裂隙不断加大,原本不多的水体进一步加大了下渗量;尤其是石灰岩类分布区,下渗更为明显。此外,这类岩石因含石英等较难风化颗粒物,风

化产物大多质地偏砂、土体孔隙直径过大、团聚体结构疏松透水性能良好;同时粘性结构弱,对水体的保持能力较差。尤其是砂岩分布区,土体良好通透性利于根系生长发育的同时,也会导致的严重透水,这对水稻生长是不利的。

表 2 元阳县主要岩类基本情况及所分布梯田统计

母岩类型		片麻岩类	(石)灰岩类	页岩类	砂岩类
面积/km ²		1132.99	474.95	350.34	196.78
占比/%		51.49	21.58	15.92	8.94
岩类背景	分布区域	中部	西北部、南部	东南部	南部、东南部
	所属岩类	变质岩	沉积岩	沉积岩	沉积岩
	主要矿物成分	长石、石英云母	方解石	高岭石、蒙脱、石长石、云母、伊利石等	石英等碎屑成分
	重度 γ/(kN·m ⁻³)	29~30	26.6	20~24	20~26
水理性质	孔隙率/%	0.5~1.5	5~20	10~30	5~25
	相对密度	2.6~3.1	2.4~2.8	2.57~2.77	2.6~2.75
	抗压/(Rc·MPa ⁻¹)	50~200	30~250	10~100	20~170
	吸水率/%	0.1~0.7	0.4~4.5	0.5~2.2	0.2~9.0
	软化因数/%	0.75~0.97	0.70~0.94	0.27~0.74	0.44~0.97
	透水性 K/(m·s ⁻¹)	2×10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ ~10 ⁻³	—	5×10 ⁻⁷ ~10 ⁻³
	致密	<10 ⁻¹³	3×10 ⁻¹² ~6×10 ⁻¹⁰	—	10 ⁻¹³ ~2.5×10 ⁻¹⁰
	微裂隙	9×10 ⁻⁸ ~4×10 ⁻⁷	2×10 ⁻⁹ ~3×10 ⁻⁶	—	5.5×10 ⁻⁶
渗透系数/(cm·s ⁻¹)	微裂隙发育	2×10 ⁻⁶ ~3×10 ⁻⁵	9×10 ⁻⁵ ~3×10 ⁻⁴	2×10 ⁻¹⁰ ~8×10 ⁻⁹	—
	面积/km ²	246.59	79.71	52.80	32.35
分布梯田	比例/%	58.99	19.07	12.63	7.74

注:表中“—”代表未发现。

2.4 梯田的土壤分异

土壤性状受母岩性质影响极大,同时不同海拔分区也存在分异明显的土壤垂直带谱。中部梯田区主要受片麻岩类母质和亚热带海拔区间影响,发育为单一的红壤(麻黄红土)、赤红壤(麻黄赤红土),空间上集中连续分布(附图 7)。

中部梯田集中区的麻黄红土、麻黄赤红土,土类上属红壤、赤红壤,两个土属面积为 316.93,421.18

km²,分别占元阳县土壤面积的 14.41%,19.16%;所分布梯田面积为 57.4,76.55 km²,占总面积的 18.31%,13.73%。麻黄红土属砂质黏壤土,颗粒细小、基盐物质含量高(表 3);黏粒对钾、钙等离子养分有较强的吸附能力,降雨或灌溉时营养元素不至受淋洗而流失。本区另一种麻黄赤红土,土层深结构好,除速效磷较低外其他各种养分含量属中上,质地细腻,多粉砂质黏壤土。

表 3 元阳县各类土壤梯田面积

区域	母岩	位置	土壤性质	土类	梯田面积/km ²	占比/%
梯田区	片麻岩类	中部	pH 值偏酸,黏粒含量较花岗岩要低,粒径小;钾元素含量丰富;粉粒、砂粒含量较高;容水性能相对其他岩石发育的土壤要较好;土壤粘性强,可塑性强	红壤	128.14	30.65
				赤红壤	93.11	22.28
其他区域	(石)灰岩类	南部、西北部	在湿润的土壤环境和良好植被条件下,腐殖质与钙结合有机质多,土壤多黑褐色;大部分物质参与化学溶解作用形成碳酸氢钙随水流失,少部分残积于地表形成较薄土层,稍粘,易漏水;碳酸钙含量丰富,土壤偏酸	黄壤	67.97	16.26
				黄棕壤	67.76	16.21
				水稻土	37.34	9.03
				燥红土	6.25	1.50
	砂岩类	南部、东南部	土壤砂粒多黏粒少,土层薄;粒间孔隙大,水体容易渗入、内部排水快,透气性能好,微生物活性高;蒸发量大而容易发生干旱;另一方面,砂质土热容量小,昼夜温差大而利于作物有机质的积累;同时,砂质土养分含量低且缺乏黏粒和有机质而保肥能弱力,尤以石英砂岩最为显著	砖红壤	5.07	1.21
				沼泽土	4.94	1.18
				紫色土	2.99	0.72
				亚高山草甸土	2.40	0.57
	页岩类	东南部	土质较粘,养分含量较高,页岩中可溶性盐类含量丰富,土壤多呈中性或偏酸性	棕壤	1.64	0.39

从研究区范围看,红壤和赤红壤分布了 221.25 km²的梯田,占 52.93%(表 3),两类土壤具有土层厚、黏土含量高的特性。黏土不仅阳离子养分多,而且腐殖质也较多,常常和黏粒紧密结合,增强了土壤的稳定性,进一步增强了养分的保持,是梯田可持续开发利用的重要保障。此外,黏粒粒间孔隙很小,互相联通成为曲折的毛细管而保水力强,水分进入土壤时渗漏很慢,但土壤中水分也不易蒸发,地下水能沿着毛管缓慢上升,在地下水位高时能增加土壤水分供应,抗旱力较强^[17]。在长时间的生产实践中,哈尼先民逐渐探索出“三季节(冷季、暖季、雨季,每季 4 个月)”的劳作节律,每年除收获时短暂排水外其余大部分时间梯田都处于浸泡状态,这利于土壤中钾元素充分水解生成可溶性钾盐为作物吸收利用,同时也使得土壤内有机物与无机物不断进行迁移转化与合成,原有理化性质不断发生分异,对持水性能产生深远影响。尤其是整个冷季的蓄水泡田,使得土粒越发细腻、粘度不断增强。此外,上部森林在带来补给径流水体的同时,由于梯田修成水平面,并有一高出水平面的田埂,地表径流及其携带的泥沙在梯田中被截留,并逐级沉淀,从而达成保持水土的效果^[18]。经过哈尼人民千百年的辛勤耕作,土壤自然属性发生极大变化,逐步演化成现在保水性能良好、养分含量高的黏土梯田区。

其他地区主要发育黄壤(麻黄土、棕黄泥土)、(潞育)水稻土、红壤(棕黄红土、黄红泥)以及燥红土等土壤,梯田空间上呈斑状分布面积规模不大。南部和东南部分布较多的是为黄红泥、棕黄红土、棕黄泥土,所发育的梯田面积较小(表 3)。从性状上看,黄红泥土体含石英砂粒较多,多为砂质壤土或砂质黏壤土,土壤结持力较差^[19];棕黄红土土体厚薄不一,层次分异较明显,因地处坡地水土流失较重而熟化度低。另一类棕黄泥土质地层次“下重上轻”,因缺乏有效锌、硼、铝等微量元素而供肥能力弱;受区域地形影响灌溉条件困难,雨季未到易发生季节性干旱缺水,雨季则容易发生垮塌、滑坡等自然灾害。本区还存在一定量砂质土壤,一方面颗粒大而比表面积小,毛管水上升高度很低,水的作用难以得到充分发挥;另一方面砂质土热容量比较小,土温昼夜温差大利于有机质积累的同时也极易引发冻害,这对水稻是一个潜在的威胁。西部、西南部 and 西北部土壤以麻黄土、潞育水稻土以及棕燥红土为主。麻黄土多处于坡地,土体薄、养分含量低且保水保肥力较差;因受区域洼地地形影响,潞育水稻土亚氧化铁含量高,水面表层明显铁锈斑纹,阻挡水下气体交换,易产生硫化氢(H₂S)毒害植物根系,当地较少用于水稻种植。棕燥红土质地多为粉砂质黏土至

黏土,有“晴天一把刀,下雨一包糟”的特点,耕性不良,当地多以旱地利用为主。西北部干热河谷地区降水少而蒸发大,同时干热气候会使土壤团聚体稳定性变异系数扩大;不稳定的团聚体因形成可迁移的细小颗粒,阻断土壤水、肥、气的传输,同时加剧土壤侵蚀程度^[20],加之受地形坡度影响,因此尽管位于河谷沿岸,但却没有发育为梯田。

因此,除中部以外其他地区,也就没有发育大规模的梯田分布。

3 结论

元阳梯田在地形、岩性与土壤等诸自然要素的相互作用下,空间分布呈现出明显区域性。中部梯田区受片麻岩类母质和海拔影响,多垂直分布粘性较强、保水性能良好的麻黄红土(红壤)、麻黄赤红土(赤红壤),保障了梯田景观的水源完整性;同时,坡度与坡向通过影响梯田的修筑进而影响梯田的形状与面积。

(1) 地形影响并制约着梯田的形态和规模,在地形因素影响下梯田空间分布呈现明显集中性,在海拔 800~1 500 m 的中山地区沿高线分布了梯田的 72.23%、坡度 15°内的平耕地、缓坡耕地分布了 75.35%,同时受地形起伏影响,东北、西北等平缓方向梯田分布较多。

(2) 地质岩性通过影响保水蓄水的岩石水理性质进而影响到元阳梯田景观的完整性;中部地区的片麻岩类占岩石的 51.49%,分布了梯田的 58.99%;片麻岩底部基岩透水性极弱形成良好隔水层,基岩上部则储水性良好成为稳定含水层;隔水层与含水层的相互结合形成了良好的储水构造,能够较好保存梯田所需的水体。在梯田零星分布的其他地区主要分布砂岩类、灰岩类以及页岩类,或是粒径大孔隙发育保水性能差,或是以喀斯特水形式下渗而无法有效利用,或是缺乏粘性而容易垮塌、滑坡,始终没有发育为像中部一样连续的梯田区。

(3) 土壤矿物成分、理化性状制约着水稻的生长发育,其粘性、保水性以及可塑性制约着梯田景观的完整性。与岩石一样,土壤和梯田的空间分布具有明显对应性:① 中部梯田集中区的红壤(麻黄红土)、赤红壤(麻黄赤红土),二者占总面积的 33.57%、分布了梯田的 32.04%,土质地偏粘可塑性强,颗粒细小孔隙致密,具有较好的持水性;同时钾、钙、镁等元素和基盐物质含量高可以有效降低投入成本,利于梯田可持续发展;② 其他地区梯田土壤或是质地偏砂粘性结构弱、土体薄,对水体的保持能力较差,且因为难以凝聚成微团聚体而可塑性差,提高了垮塌、滑坡发生的几率;或是土粒粗大不易风化,多以单粒出现在水中,

迅速沉降极易板结,导致产量不高。

(4) 在地形、岩性以及土壤综合影响下,尤其是岩石(片麻岩类)以及岩石发育而来的土壤影响下,元阳梯田空间分布上呈现出明显区域性,集中连续分布于元阳中部,其他地区零星分布,规模不大;对元阳梯田形成的自然因素及空间分布研究,岩性是一个重要考量因素。

正是在多重自然因素综合影响作用下,元阳梯田呈现出中部集中连续、其他区域零星分布的空间景观格局。

参考文献:

[1] 曲福田,陈江龙,陈雯.农地非农化经济驱动机制的理论分析与实证研究[J].自然资源学报,2005,20(2):231-241.

[2] 孟鹏,郝晋珉,周宁,等.黄淮海平原城镇化对耕地变化影响的差异性分析[J].农业工程学报,2013,29(22):1-10.

[3] 陈丹,周启刚,何昌华,等.基于 MPI 的典型西南山区耕地空间分布影响因素研究:以重庆石柱县为例[J].水土保持研究,2014,21(2):228-233.

[4] 何昌华,陈丹,李天国,等.基于空间统计和多元统计的耕地影响因素及回归模型研究:以重庆市石柱县为例[J].水土保持通报,2017,37(2):199-206.

[5] 刘宗滨,宋维峰,马菁.红河哈尼梯田空间分布特征值研究[J].西南林业大学学报,2016,36(3):153-157.

[6] 陈燕.哈尼族梯田文化的内涵、成因与特点[J].贵州民族研究,2007,27(4):105-109.

[7] 刘卫红.四度同构和谐共处:有感于云南哈尼梯田[J].科教文汇,2007(2):190-191.

[8] 角媛梅,肖笃宁,程国栋.亚热带山地民族文化与自然环

境和谐发展实证研究:以云南省元阳县哈尼族梯田文化景观为例[J].山地学报,2002,20(3):266-271.

[9] 角媛梅,张家元.云贵川大坡度梯田形成原因探析:以红河南岸哈尼梯田为例[J].经济地理,2000,20(4):94-96.

[10] 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.

[11] 张超,王妍,宋维峰.云南省元阳梯田遥感辅助识别特征研究[J].水土保持研究,2014,21(5):221-224.

[12] 元阳县地方志编纂委员会.元阳县志[M].昆明:云南民族出版社,2009.

[13] 朱静,柴兴国.“农业的可持续发展”案例设计:以云南元阳梯田种植业为例[J].地理教学,2018(7):16-18,62.

[14] 黄绍文.诺玛阿美到哀牢山:哈尼族文化地理研究[M].昆明:云南民族出版社,2007.

[15] 马平安,郭全邦,李荣华,等.太行山片麻岩山地植被水土保持效益研究[J].地理学与国土研究,1999,15(3):43-46.

[16] 胡厚田,白志勇.土木工程地质[M].北京:高等教育出版社,2016.

[17] 山西农学院土壤农化专业.土壤学[M].北京:人民教育出版社,1975.

[18] 闵庆文,邵建成.云南红河哈尼稻作梯田系统[M].北京:中国农业出版社,2015.

[19] 朱克贵,杜国华,章士炎,等.中国土种志[M].北京:中国农业出版社,1993.

[20] Kavdir Y, Smucker A J M. soil aggregate sequestration of cover crop root and shoot-derived nitrogen[J]. Plant and Soil, 2005,272(1):263-276.

(上接第 336 页)

[16] 何春燕,杨庆媛,邓永旺,等.镇域农用地集约利用评价及其影响因素分析:以重庆市王场镇为例[J].水土保持研究,2013,20(4):235-241.

[17] 赵丽,朱永明,张蓬涛,等.基于因子分析法的农用地集约利用评价研究:以河北保定市为例[J].农机化研究,2010,32(11):7-11.

[18] 陈水英,毕如田,曹毅.忻州市农用地集约利用时空变化分析[J].中国农业资源与区划,2013,34(1):103-108.

[19] 丁艳喜,宋文博,孟庆香,等.河南省农用地集约利用影响因素计量分析:基于遗传算法-BP 神经网络、广义脉冲响应函数的实证研究[J].干旱地区农业研究,2015,33(3):224-230.

[20] 黄丽娟,马晓冬.江苏省县域经济与乡村转型发展的空间协同性分析[J].经济地理,2018,38(6):151-159.

[21] 马力阳,罗其友.我国城镇化与农村发展耦合协调时空特征及机制[J].地域研究与开发,2017,36(6):45-49,92.

[22] 程铭,肖寒,荀文会.1999—2015 年沈阳市建设用地规模扩张影响因素研究[J].中国农业资源与区划,2017,38(7):146-152.

[23] 葛春叶,涂建军,李宽,等.重庆市建设用地变化及其驱动力分析[J].西南大学学报:自然科学版,2008,30(10):137-141.

[24] Liu Z J, Huang H Q, Werners S E, et al. Construction area expansion in relation to economic-demographic development and land resource in the Pearl River Delta of China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2016,26(2):188-202.

[25] 樊杰.中国主体功能区划方案[J].地理学报,2015,70(2):186-201.