

1700—1978年云南山地掌鸠河流域耕地 时空演变的网格化重建

霍仁龙¹, 杨煜达², 满志敏²

(1. 四川大学中国西部边疆安全与发展协同创新中心, 成都 610065;

2. 复旦大学历史地理研究中心, 上海 200433)

摘要: 基于多源数据资料重建小尺度区域历史时期土地利用/覆盖变化, 对深入理解土地利用变化的驱动力机制及其环境和气候效应具有重要意义。本文利用从流域尺度聚落格局演变重建到聚落尺度耕地数量和空间分布重建, 再到流域尺度耕地格局重建的思路, 以云南山地典型的中小流域为研究区, 以历史文献资料、田野考察资料、历史地理学研究成果、档案资料、现代统计资料、地理基础数据为支撑, 综合考虑区域自然因素(坡度、海拔高度)、人文因素(人口、政策、农业技术、耕地与居民点距离), 设计了历史时期山地小尺度区域耕地网格化重建模型, 重建了1700—1978年具有明确时间和空间属性的网格化耕地格局。结果表明: ① 掌鸠河流域的耕地面积近300 a增长6.3倍, 垦殖率从1700年的2.1%上升到1978年的15.6%。② 不同地形区的耕地面积差异较为显著, 其中山区和半山区的耕地面积最大, 且增长速度最快; 平坝区和中下游河谷区的耕地面积增长相对平缓, 是自然环境、人口、政策和农业技术等因素综合作用的结果。③ 通过总耕地面积和人均耕地面积等对结果进行验证, 证明了重建结果的合理性。本文设计的网格化重建模型可以为模拟具有明确时间和空间属性的小尺度区域历史耕地网格化数据集提供参考。

关键词: 历史耕地; 网格化重建; 小尺度区域; 近300 a; 山地

DOI: 10.11821/dlxb202009011

1 引言

由农业垦殖所导致的土地利用和土地覆盖变化已被广泛认为是全球变化的主要驱动力之一^[1]。土地利用变化数据的重建是构建全球环境变化模型的基础, 由于气候系统变化的滞后效应, 只有建立长期的土地利用驱动力模型才能加强综合的环境评估和预测^[2-4]。所以, 为了更好地模拟历史时期土地利用变化的气候和生态效应, 必须建立高分辨率的空间化历史土地利用数据集^[5]。

由于自然环境的多样性与区域发展的不平衡性, 对局部和小尺度区域的实例研究可以确定与覆盖变化相关的主要驱动因素, 分析其所需的空间和时间分辨率^[1], 成为全球变化研究的重要途径^[6]。小尺度区域案例的深入研究还可以增加我们对土地利用变化驱动力

收稿日期: 2019-09-09; 修订日期: 2020-07-05

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFA0605602); 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(16JJD770010)

[Foundation: National Key R&D Program of China, No.2018YFA0605602; Major Project of Key Research Base of Humanities and Social Sciences of Ministry of Education, No.16JJD770010]

作者简介: 霍仁龙(1987-), 男, 山东嘉祥人, 博士, 副研究员, 主要从事土地利用与环境变化、边疆历史地理研究。

E-mail: huorenlong@hotmail.com

通讯作者: 杨煜达(1968-), 男, 云南腾冲人, 博士, 教授, 主要从事历史气候与环境变化、边疆历史地理研究。

E-mail: ydyang@fudan.edu.cn

作用机理的认识,有利于对不同空间尺度土地利用变化驱动力机制的比较研究^[7],而典型地区,如环境敏感区、生态脆弱区、生态过渡带及经济发达区等在人类活动的影响下,土地利用发生了较为重大的变化,成为当前案例研究的热点区域^[8]。

山地由于其高度梯度差异等原因,受到全球环境变化的影响比其他地方都要强烈,而且常常会加剧和改变全球环境变化对洼地的影响,属于典型的环境敏感区和生态脆弱区,山地的土地利用和土地覆盖研究成为全球变化研究中的一个重要内容^[9]。在中国云南山地,自18世纪以来,由于大规模的移民开发等原因,彻底改变了云南山地的土地利用和地表覆盖,是中国土地利用变化最为剧烈的地区之一。对公元1700年以来云南山地典型中小流域土地利用和地表覆盖变化的研究,可以为我们利用多学科方法深入探讨历史时期土地利用变化的驱动力机制,进而重建具有明确时间和空间属性的土地利用变化数据集提供典型的案例。

国内外学者对历史时期中国耕地空间重建的研究取得了丰富的成果。在国外,全球尺度上较具代表性的是美国威斯康星大学全球环境和可持续发展中心的Ramankutty等^[10]建立的“全球土地利用数据集(SAGE)”、荷兰公共健康与环境研究所的Goldewijk等^[11]建立的“全球历史环境数据集(HYDE)”、德国普朗克气象研究所Pongratz等^[12]建立的PJ数据集和瑞士洛桑联邦理工学院Kaplan等^[13]建立的KK10数据集等,在全球环境变化模拟研究中得到广泛应用。但正如SAGE^[10]所声明的,全球数据集适用于全球尺度,不能作为区域性研究的依据,国内学者的相关研究^[14-19]也表明这些数据集不能客观反映中国历史耕地、林地和草地变化的趋势及特征。所以重建中国全国和区域尺度高分辨率的空间化土地利用变化数据集仍然具有必要性和紧迫性^[20]。

在国内,许多学者利用历史文献资料、统计资料和地图资料等多源数据重建了中国不同空间尺度的耕地网格化数据集,林珊珊等^[21]选取海拔高度、坡度与人口作为量化自然与人文因素的主导因子,设计了一套将中国传统农区历史耕地数据网格化的方法与算法模型,建立了1820年中国传统农区的垦殖率数据集,空间分辨率为60 km×60 km。Liu等^[22]、何凡能等^[23]、魏希文等^[24]、姜蓝齐等^[25]和李美娇等^[26]利用网格化方法,在校正历史耕地数量的基础上,分别重建了不同时间尺度全国范围的耕地网格化数据集。李柯等^[27]、李士成等^[28]、潘倩等^[29]通过量化地形、气候生产潜力、人口密度等因子与耕地空间分布的关系,重建了清代云南、西南地区和江苏省的网格化耕地数据集。上述研究在进行耕地空间网格化重建时,较少考虑到土地发展进程和变化情况,重建形成的结果不一定是真实的土地覆被,而是一种潜在覆被类型^[25]。白淑英等^[4]利用历史文献资料、地图资料和遥感影像等,构建了土地利用和土地覆盖数字重建模型,重建了20世纪30年代以来的大庆市杜尔伯特蒙古族自治县土地覆盖分布格局。Yang等^[30]将海拔、坡度、水资源可用性、年降水量、与最近村落距离等因素考虑在内,建立了基于约束性元胞自动机的“自下而上”的历史耕地重建模型,模拟了中国传统农区1 km分辨率的耕地空间分布。现有的耕地重建模型在筛选社会驱动因子时多选取人口数量这一较易量化的因子为主,未考虑政策、战乱、农业技术等对历史耕地变化的驱动作用,一定程度上影响了模型模拟的准确性。

在新开发的区域,聚落建立与土地开垦几乎同步进行,聚落格局的发展演变可以反映出土地利用变化的空间过程。吕妍等^[31]、曾早早等^[32]和霍仁龙等^[33]在地名志资料、历史文献资料、田野调查资料的基础上,重建了东北地区、西南山地17世纪以来的聚落演变格局,一定程度上反映了耕地开垦的空间演变格局。但由于这类研究的数据源多为地名志等文献资料,缺少聚落内部土地利用变化的微观信息,只能在整体上考察区域范围内土地利用的演变趋势。

田野调查方法可以解决小尺度区域土地利用变化研究数据获得困难的问题,赵杰等^[34]和郝仕龙等^[35]利用参与性农村评估方法(Participatory Rural Appraisal, PRA)分别重建了1950—1999年和1980—2004年间聚落尺度的土地利用变化过程。霍仁龙等^[36]综合利用历史地理学的实地考察和人类学的田野调查方法获得了长时序的土地利用变化数据,复原了聚落尺度1700—2000年多地类的土地利用演变过程。

本文在借鉴现有研究的基础上,以云南山地较为典型的中小流域——掌鸠河流域为研究区,利用历史文献资料、田野考察资料、历史地理学研究成果、档案资料、现代统计资料等多源数据资料,在复原流域尺度聚落空间格局演变的基础上,详细分析聚落尺度耕地开垦的时空特征,充分考虑自然(海拔、坡度)和人文(人口、政策、农业技术、耕地与居民点的距离)影响因子,设计“历史时期山地小尺度区域耕地网格化重建模型”,网格化重建了1700—1978年每50 a时间断面的耕地覆盖数据集(30 m×30 m),以期利用多学科方法重建历史时期小尺度区域耕地网格化数据集提供参考,加深人们对山地土地利用变化驱动力机制和时空演变规律的认识。

2 研究区概况

本文研究区为云南省禄劝县境内的掌鸠河流域(图1),地理位置 $25^{\circ}24'N\sim 26^{\circ}08'N$, $102^{\circ}19'E\sim 102^{\circ}35'E$,属长江流域金沙江水系,总面积1376 km²,是云南山地较为典型的中小流域。掌鸠河流域处于低纬度地带,属于亚热带季风气候,海拔高度1564~3136 m,以山地为主,北高南低,中部为掌鸠河流经所形成的河谷低地。掌鸠河流域主体位于禄劝县境内,占总流域面积1915 km²的72%,为保持数据完整性,本文以禄劝县境内的掌鸠河流域主体为研究范围。

清代初期以前,掌鸠河流域的民族以彝族与汉族为主,彝族居住在中上游平坝区和广大山区,汉族集中居住在中下游河谷区。18世纪以来,云南省内外的农业、商业移民陆续迁入,人口大量增加,掌鸠河流域的土地垦殖进入了一个大规模开发的阶段,流域内的土地覆盖发生了显著变化^[37]。

3 数据来源与研究思路

3.1 数据来源

本文所采用的数据主要有3类:①流域尺度的聚落格局演变数据,用于重建流域尺度耕地开垦的时间和空间范围;②聚落尺度的耕地数据,用于重建聚落尺度耕地数量和空间分布;③基础地理信息数据,用于在地形上控制耕地数量和空间重建的范围。

(1)流域尺度的聚落格局演变数据来源于霍仁龙等^[33]的研究。该数据利用历史文献、地名志、田野调查和地图资料等,复原了1700—2000年掌鸠河流域784个聚落每50 a时间断面的空间演变格局,具有较高的可信度。



图1 掌鸠河流域示意图

Fig. 1 The study area

(2) 聚落尺度的耕地数据。包括聚落尺度耕地开垦的时间、数量和空间分布, 聚落人口数量、农业技术发展、农业政策演变等与聚落耕地开垦的关系, 主要来源于: ① 文献、档案和统计资料。全国性制度和农业政策的演变资料来自清代、民国和中华人民共和国成立以来的实录、省志、中央政府档案等文献记载; 掌鸠河流域的耕地格局、政策演变、农业技术发展等资料来源于康熙《禄劝州志》^①、乾隆《农部琐录》^②、民国《禄劝县志》^③、《云南省禄劝彝族苗族自治县地名志》^[38]、禄劝县档案馆中所藏的档案资料和相关统计资料等; 1700—1978年掌鸠河流域各聚落不同时间节点的人口数据来源于霍仁龙^[37]研究成果。② 田野调查资料。本文作者在掌鸠河流域共进行了273个工作日的田野调查后所获取的数据资料, 包括流域尺度的普遍调查和聚落尺度的详细调查。聚落尺度的详细调查分别选取中下游河谷区、半山区和山区3个典型聚落进行长期调查, 每个聚落的调查时间为60~80个工作日。调查内容包括聚落耕地的开发过程、聚落不同发展阶段内耕地开垦的数量和空间特征、耕地开垦与人口、政策、农业技术等因素的关系等, 并对聚落内每块耕地的海拔高度、坡度等进行了实地测量。流域尺度的普遍调查对聚落尺度调查的内容进行检验, 并对部分结论进行了修正, 结合相关研究^[37], 得出1950年以前聚落不同发展阶段耕地开垦与人口、农业技术(主要是农田水利建设)等因素的关系(表1)。1950—1978年是聚落发展的特殊时期, 表现为人口以自然增长为主, 耕地大规模开发, 水利大量兴修。

(3) 地形数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站(<http://www.gscloud.cn>) GDEM V2数据, 空间分辨率为30 m。利用ArcGIS软件提取出掌鸠河流域的地形图, 并生成流域坡度栅格图。

表1 云南山地聚落耕地开垦与人口、农业技术的关系

Tab. 1 Relationship between cropland reclamation area, population, and agricultural technology in mountainous settlements in Yunnan Province

创建时间(a)	发展阶段	人口来源	田地开垦情况	水利情况
0~100	初建时期	自然增长和机械增长	大量开垦	少量兴修
100~200	发展时期	自然增长和机械增长	少量开垦	大量兴修
≥ 200	成熟时期	自然增长为主	少量开垦	少量兴修

3.2 研究思路

本文重建1700—1978年云南山地小尺度区域耕地数据的总体思路是(图2): 在流域尺度重建聚落空间格局演变的基础上, 在聚落尺度, 基于ArcGIS平台构建历史耕地重建模型, 重建连续时间断面的聚落耕地数量, 按一定的规则分配至格网中, 进而形成流域尺度具有明确时间和空间属性的耕地网格化数据。因流域尺度聚落格局的重建工作已经完成, 故本文将重点放在聚落尺度耕地的重建上面。

本文对山地流域耕地格局的重建从1700年开始, 1978年改革开放以后由于政策、社会经济、劳动力流动强度和农村人口口粮对当地耕地的依赖程度等都与传统农业社会发生了根本性的变化, 尤其是平坝区与中下游河谷区人口与耕地的关系变得松散, 所以本文的重建时间至1978年止。

① 康熙《禄劝州志》, 云南省图书馆传抄本。

② 乾隆《农部琐录》, 云南省图书馆传抄本。

③ 民国《禄劝县志》, 民国十七年铅印本。

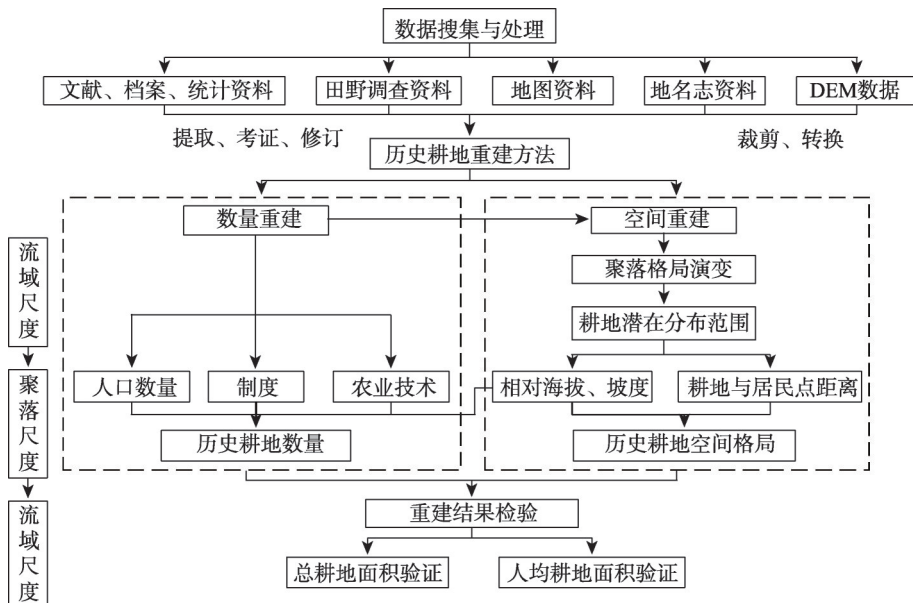


图2 技术路线

Fig. 2 The technical route

4 重建方法

4.1 数量重建

耕地数量重建主要用来重建某一时间点山地流域内所有聚落的耕地数量，聚落在不同时间点上的耕地数量受自然和人文因素的综合影响。

4.1.1 自然因素 地形、土壤、水热等各自然因素之间相互作用，共同决定了可开垦耕地的潜在数量。由于本文的研究区为中小流域，热量、水分和坡向等因素对耕地开垦的影响较小^[39]，坡度与海拔高度是支配耕地开垦的主要因素^[21]。在聚落尺度，历史时期云南山地农田水利灌溉主要以沟渠自流灌溉为主，引水沟渠的地理位置决定了相对海拔越低的耕地越容易被灌溉，坡度则决定了耕地开垦的难易程度。所以，相对海拔高度和坡度是影响聚落尺度耕地开垦的主要自然因素^[36]，不仅决定了聚落耕地开垦的空间格局，同时也决定了每个聚落范围内宜垦耕地的总数量和聚落不同发展阶段中可能开垦的耕地数量。

在聚落发展的不同阶段，自然环境对耕地数量的影响具有不同的效果。据已有的研究^[36]和田野调查资料，在聚落潜在耕地分布范围内，聚落创建初期（聚落创建后的100 a内）因人口数量较少，农业技术不发达，加上鼓励开荒政策的实施，农业生产以粗放经营为主，大量开垦耕地成为保证粮食生产的主要手段，农民会选择海拔低于居民点、坡度值在 12° 以下的区域进行开垦，并在短时间内开垦完毕，一定程度上决定了这一时期耕地的开垦数量。在聚落创建的100 a以后，自然因素主要决定耕地开垦的空间分布，耕地数量的多少主要取决于人文因素。

4.1.2 人文因素 在人文因素中，人口、政策、农业技术等也直接或间接影响历史时期云南山地的耕地开垦数量。人口因素对耕地数量增加的驱动作用是始终存在的，尤其是在聚落初建时期和20世纪50年代以来，对耕地开垦的促进作用较为明显（表1）。政策因素在全球环境变化问题的产生和影响方面扮演着重要的角色^[40]。清代以来，中央和各级

政府多采取移民山区、鼓励垦荒等政策,直接或间接的促进了云南山地耕地的开垦,对耕地数量的增长具有持续与长期的促进作用^[41]。农业技术(在1978年以前主要以农田水利为主^[42])的进步推动了历史时期云南山地农业生产由粗放向精耕细作的演变,一定程度上缓解了人口增长对耕地粮食生产的压力,对耕地数量的增长具有一定的限制性作用。

在聚落发展的第2个阶段(聚落创建后的100~200 a内),随着人口数量的增加,主要以发展农田水利等来提高粮食产量,进行精耕细作,耕地开垦速度放缓。这一时期,在自然因素仍然起着较为基础作用的同时,人口数量、政策和农业技术等人文因素成为决定聚落耕地数量发展的主导因素。

(1) 人口。假设在聚落正常的发展时期,人口因素对聚落耕地数量发展的驱动系数为一不变值,当遇有人口自然增长或机械增长突然增加时,驱动系数就会增加,当遇有自然灾害或战乱而导致人口大量死亡或逃亡时,驱动系数就会降低。将人口因素对聚落耕地数量发展的驱动系数限定在1~2之间,当驱动系数为1时表示无影响,驱动系数越大表示人口因素对耕地数量发展的促进性作用越大。

人口自然增长对流域内各地形区聚落耕地的压力较为相似,而流域外的移民迁入对聚落耕地的压力可以部分地体现在新创建聚落的数量上面,因为外来移民在迁移到未开发地区创建新的聚落并开垦耕地的同时,也同样会有部分移民迁移到原有的聚落中,对聚落的粮食需求量产生压力。所以,可以综合以上两个指标来确定人口因素对不同地形区聚落耕地数量发展的驱动系数。

公元1700年以来,掌鸠河流域聚落的人口自然增长率在1950年以前除个别战乱时期外相对稳定,在清朝后期的咸同回民战争期间(1856—1872年),掌鸠河流域人口损失20%左右,主要集中在流域的中下游河谷地区,中上游地区则受影响较少,且成为人口逃亡的方向。中下游河谷地区的人口虽然损失较多,但这一区域的耕地开垦时间较早,多为成熟田地,会在短时期内被战乱过后的回流人口重新耕种或耕作方式由精耕细作转为相对粗放地经营,所以可以认为这一时期因为战乱导致的中下游河谷区人口的逃亡对耕地的数量变化影响较弱,其他地形区则相对较为稳定。1950年以来的人口自然增长率则猛增至18.8%^[43],如将1950年以前人口自然增长对流域聚落耕地的驱动系数赋值为1.1,中下游河谷区因战乱在1851—1900年的驱动系数为1,则1951—1978年全流域的驱动系数赋值为1.4。

公元1700年以来,来自掌鸠河流域外和流域内中下游河谷区和海拔较低的平坝区的人口多向半山区和山区扩展,随之而来的是聚落和耕地在流域内的空间扩散。人口的机械增长对于聚落耕地的驱动力,各时间断面内不同地形区中新创建聚落数量占总聚落数量的比例代表了外来人口的迁移方向^[43],以此比例除以10作为不同地形区中的人口机械增长对聚落耕地数量增长的驱动系数。

综合人口的自然增长和机械增长对流域内不同地形区聚落耕地数量增长的驱动系数,得出总驱动系数(表2)。总体来看,人口因素对1700年以来流域内不同地形区聚落耕地数量的驱动系数最高的是半山区和山区,其次是平坝区,最低的是中下游河谷区。在人口自然增

表2 1700—1978年人口对流域内不同地形区聚落耕地数量变化的驱动系数

时间	中下游河谷区	平坝区	半山区	山区
1700—1750年	1.11	1.12	1.13	1.14
1751—1800年	1.11	1.11	1.13	1.15
1801—1850年	1.11	1.11	1.12	1.16
1851—1900年	1.01	1.11	1.12	1.16
1901—1950年	1.11	1.11	1.12	1.17
1951—1978年	1.41	1.41	1.43	1.46

长率相似的情况下，外来人口迁入所导致的人口机械增长是影响驱动系数差异的主要原因。

(2) 政策。政策对耕地开垦的影响可分为直接影响和间接影响两种方式。首先，直接影响是政策因素直接作用于个体家庭或集体，驱动或限制其开垦耕地。其次，间接影响主要通过影响人口迁移和数量发展、农田水利建设等来间接影响耕地的开垦。因间接影响已经通过其他因素表现出来，本文只考虑政策因素的直接影响。将政策因素对耕地数量发展的驱动系数限定在1~2之间，当系数为1时表示无影响，驱动系数越大表示政策因素对耕地数量发展的促进性作用越大。

在清代，政策的直接影响主要体现在山地垦殖的赋税政策上面，尤其是乾隆三十一年规定“嗣后滇省山头地角、水滨河尾，俱著听民耕种，概免升科”^④的政策对流域内的耕地开垦具有重要的促进作用，这一长期持续的赋税政策的驱动系数按1.1计算，咸同回民战争所在的时段内，中下游河谷地带的影响系数为1，其他地形区的驱动系数为1.1。民国时期，经过耕地清丈，耕地的赋税不断增长，加上1941年开始的田赋三征政策，更加重了农民的赋税负担，为增加粮食生产，在征收赋税的耕地之外再开垦更多的耕地成为当时解决粮食生产困难的途径之一，一定程度上促进了耕地数量的发展。另外，国民政府积极推行鼓励垦荒政策，并在起科年限上给予一定的优惠，故在1901—1950年间，山区和半山区的政策驱动系数赋值为1.2，平坝区和中下游河谷地带的驱动系数为1.1。

1949年中华人民共和国成立以后，为增加粮食生产而实行鼓励垦荒的政策，加之由于统购统销政策的实行，农民为了增加口粮和可支配粮食，刺激了半山区和山区大量开垦荒地，耕地面积大量增加。但在中下游河谷区和平坝区，由于聚落创建时间较早，适宜开垦的耕地基本开垦完毕，且聚落密度较大，耕地潜在分布范围有限，在1950年以后可开垦耕地的区域较山区少，所以政策因素对山区聚落耕地增加的驱动系数为1.6，半山区为1.3，中下游河谷和平坝区为1.15（表3）。

(3) 农业技术。农业技术的发展对耕地开垦起到限制性作用。在聚落发展的第二个阶段，增加粮食产量的主要手段从第一个阶段以增加耕地面积为主转为发展农田水利技术为主，所以，随着聚落人口的继续增加，耕地面积并未有大面积开垦，是农业技术发展对耕地开垦的限制性作用。在聚落发展的第三个阶段，农田水利的发展达到当时生产力水平下的高峰，农业技术的限制性作用保持在一定的水平上，则人口增长带来的粮食压力会通过向外移民或发展工商业等其他产业形态来解决。将农业技术因素对耕地数量发展的驱动系数限定在0~1之间，农业技术越发展，对耕地数量的要求越少，即系数越小，对耕地数量发展所起的限制性作用越大。

在清代和民国时期，流域聚落的水利发展以民间自发的小型水利建设为主，是聚落自身发展的阶段性规律，跨越聚落的中小型水利设施主要集中在流域的中下游河谷区和平坝区，山区与半山区相对较少。对清代和民国时期中下游河谷区、平坝区的水利技术驱动系数赋值为0.9，半山区和山区赋值为0.95。20世纪50年代以来，水利建设发展迅

表3 1700—1978年制度和政策因素对流域内不同地形区耕地数量变化的驱动系数

Tab. 3 Coefficients of institutional and policy factors driving changes in cropland areas on different terrain types in the Zhangjiu River Basin from 1700 to 1978

时间	中下游河谷区	平坝区	半山区	山区
1700—1750年	1.1	1.1	1.1	1.1
1751—1800年	1.1	1.1	1.1	1.1
1801—1850年	1.1	1.1	1.1	1.1
1851—1900年	1.0	1.1	1.1	1.1
1901—1950年	1.1	1.1	1.2	1.2
1951—1978年	1.15	1.15	1.3	1.6

④《清高宗实录》卷七六四，乾隆三十一年七月癸酉。

速, 单位耕地面积产量大幅提高, 一定程度上减轻了人口快速增长对耕地的压力, 但从不同地形区来看, 较大型的水利设施依然主要分布在中下游河谷和平坝区^[44], 所以这一时期水利技术的驱动系数将中下游河谷和平坝区赋值为0.7, 半山区赋值为0.75, 山区为0.8(表4)。

(4) 人文因素综合驱动系数。综合人口、政策、农业技术3个主要人文因子, 得到1700—1978年掌鸠河流域不同地形区内聚落耕地数量的综合人文驱动系数(表5)。从表5中可以看出, 综合人文驱动系数最大的为山区, 其次是半山区, 最低的是平坝区和中下游河谷区。在山区和半山区, 聚落分布的密度相对较小, 耕地潜在分布范围较大, 在各人文因素的综合影响下, 耕地面积增加迅速。中下游河谷和平坝区因聚落创建时间相对较早, 聚落密度较高, 可开垦耕地的潜力有限, 人文驱动系数较小, 所增加的耕地面积也较少。

综合以上, 在聚落发展的第一阶段, 坡度位于 12° 以下、相对海拔小于居民点的区域将被开垦成为耕地; 在聚落发展的第二阶段及以后, 按照表5所示的人文驱动系数逐年增加, 即得到掌鸠河流域内所有聚落每50 a时间断面的耕地数量。在每个聚落中, 除耕地外, 还有林地、聚落用地、道路用地或水域用地等, 所以将每个聚落的最大耕地面积限定为不超过聚落潜在耕地范围的90%^[21]。

4.2 空间重建

4.2.1 聚落耕地潜在分布范围

(1) 聚落耕地潜在分布范围。聚落耕地潜在分布范围是指聚落耕地可能的理论分布区域, 主要由区域内聚落密度所决定。因山地流域内不同地形区聚落密度差异较大, 本文利用ArcGIS软件将掌鸠河流域划分为中下游河谷区、平坝区、半山区和山区4个地形区^[39], 其中平坝区又以海拔2200 m为界^⑤划分为2个亚区。根据每个地形区聚落的密度计算出聚落的平均面积, 进而得出以聚落点为中心生成平均聚落面积缓冲区的半径 r , 在这里取相对较高于 r 的整数作为每个地形区中聚落的理论耕地分布半径 R (表6)。从表6中看出, 中下游河谷区的理论耕地分布半径最小, 为550 m, 其次是半山区和海拔2200 m以下的平坝区, 海拔2200 m以上的平坝区最高, 半径达到1000 m。以聚落点为中心, R 为半径, 对不同地形区的聚落作圆缓冲区, 利用泰森多边形对生成的聚落缓冲区进行分割, 得到每个聚落的耕地潜在分布范围。

(2) 聚落耕地潜在分布范围网格化。利用ArcGIS软件在研究区内生成 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 的规则网格(Fishnet)及网格中心(Fishnet Label), 自动提取网格中心点的海拔高度和坡

表4 1700—1978年水利技术因素对流域内不同地形区耕地数量变化的驱动系数

Tab. 4 Coefficients of water conservation technology driving changes in cropland areas on different terrain types in the Zhangjiu River Basin from 1700 to 1978

时间	中下游河谷	平坝	半山区	山区
1700—1750年	0.9	0.9	0.95	0.95
1751—1800年	0.9	0.9	0.95	0.95
1801—1850年	0.9	0.9	0.95	0.95
1851—1900年	1.0	0.9	0.95	0.95
1901—1950年	0.9	0.9	0.95	0.95
1951—1978年	0.7	0.7	0.75	0.8

表5 1700—1978年掌鸠河流域不同地形区内耕地数量变化的人文综合驱动系数

Tab. 5 Coefficients of anthropogenic factors driving changes in cropland areas on different terrain types in the Zhangjiu River Basin from 1700 to 1978

时间	中下游河谷区	平坝区	半山区	山区
1701—1750年	1.10	1.11	1.18	1.19
1751—1800年	1.10	1.10	1.18	1.20
1801—1850年	1.10	1.10	1.17	1.21
1851—1900年	1.01	1.10	1.17	1.21
1901—1950年	1.10	1.10	1.28	1.33
1951—1978年	1.14	1.14	1.39	1.87

⑤ 在掌鸠河流域, 2200 m是流域内水稻种植的上限, 对聚落密度的分布具有重要影响。

表6 掌鸠河流域不同地形区内的聚落密度和潜在耕作半径

Tab. 6 Settlement density and potential cropland radii for different terrain types in the Zhangjiu River Basin

地形	面积 (km ²)	占总面积的 (%)	聚落数量 (个)	聚落密度 (个/km ²)	理论耕地 分布半径R(m)
中下游河谷区	83.2	6	92	1.1	550
平坝区	152.4	11	83	0.5	-
海拔2200 m以下平坝区	74.8	-	59	0.8	650
海拔2200 m以上平坝区	77.6	-	24	0.3	1000
半山区	195.3	14	191	1.0	600
山区	945.3	69	414	0.4	850

度值, 并赋予其所在网格像元的 $H(i, k_n)$ 和 $S(i, k_n)$ 两个字段内, 形成掌鸠河流域内每个聚落 30m 空间分辨率的耕地潜在分布范围矢量图层。

4.2.2 相对海拔高度 相对海拔高度对聚落范围内耕地开垦的空间选择具有显著影响。因聚落内的相对海拔而非绝对海拔是决定耕地开垦空间分布的主要因素, 故在每个聚落的潜在耕地分布范围内, 对每个像元的绝对海拔与居民点的绝对海拔进行差值运算。聚落 k_n 内像元 i 的相对海拔 α 为:

$$\alpha(i, k_n) = H(s, k_n) - H(i, k_n) \quad (1)$$

式中: $H(s, k_n)$ 为居民点的海拔; $H(i, k_n)$ 为像元的海拔; $\alpha(i, k_n)$ 值可能为正, 也可能为负, 为正时说明该像元位于聚落点以下, 为负时说明像元位置位于聚落点以上, $\alpha(i, k_n)$ 值越大说明相对海拔越低, 宜垦性越好。

按公式 (2) 对每个像元的相对海拔进行无量纲化处理, 形成像元的土地宜垦性相对海拔高度权重 β 值。

$$\beta(i, k_n) = \frac{\text{Max}(H(i, k_n)) - H(i, k_n)}{\text{Max}(H(i, k_n))} \quad (2)$$

式中: $\beta(i, k_n)$ 表示 k_n 聚落中像元 i 的土地宜垦性相对海拔权重; $\text{Max}(H(i, k_n))$ 表示 k_n 聚落中像元 i 的绝对海拔最大值; n 为聚落编号。像元的海拔高度值越大, β 值就越小。

4.2.3 坡度 坡度对聚落耕地开垦的空间选择起着重要的限制性作用, 坡度越大, 水土流失越严重, 开垦和耕作的难度也越大, 宜垦性越低。对像元坡度利用公式 (3) 进行无量纲化处理, 形成像元的土地宜垦性坡度权重 γ 值。

$$\gamma(i, k_n) = \frac{\text{Max}(S(i, k_n)) - S(i, k_n)}{\text{Max}(S(i, k_n))} \quad (3)$$

式中: $\gamma(i, k_n)$ 表示 k_n 聚落内像元 i 的土地宜垦性坡度权重; $\text{Max}(S(i, k_n))$ 表示 k_n 聚落内的坡度最大值, n 为聚落编号。像元的坡度值越大, γ 值就越小。

4.2.4 与居民点距离 农民居住地靠近农田可以缩短农业生产和家庭生活之间的距离, 利于减少农业生产过程中生产资料和农产品的运输成本^[45]。在西南山地, 由于地理环境的复杂性, 居民点距田地的距离显得更加重要, 与居民点越近的土地被早开垦的概率就越大。在聚落潜在耕地范围内, 与居民点距离越小的区域越容易被开发成为耕地。利用 ArcGIS 软件的距离分析功能, 为不同地形区的聚落以理论耕地分布半径为最大距离进行欧氏距离计算, 并划分为 10 个等级, 形成 10 个等级的距离栅格。因越靠近居民点的区域宜垦性就越大, 所以对距离栅格进行重分类, 将最大距离的栅格距离赋值为 0.1, 依次到

最小距离赋值为1, 形成0.1~1的级别, 利用网格中心点提取每个像元所在的值, 并赋予像元, 形成聚落 k_n 中像元 i 的土地宜垦性距离权重 $D(i, k_n)$ 。

4.2.5 土地宜垦性评估模型 土地宜垦性主要的自然影响因素为相对海拔高度和坡度2个因子, 人文因素主要是耕地与居民点的距离, 综合考虑以上3个因子, 将其量化并进行标准化处理, 得到3个因子的影响权重, 构建土地宜垦性评估模型。

$$\delta(i, k_n) = \beta(i, k_n) \times \gamma(i, k_n) \times D(i, k_n) \quad (4)$$

式中: $\delta(i, k_n)$ 表示 k_n 聚落内 i 像元的宜垦性; $\beta(i, k_n)$ 表示土地宜垦性的相对海拔权重; $\gamma(i, k_n)$ 表示土地宜垦性的坡度权重; $D(i, k_n)$ 表示土地宜垦性的距离权重。

从公式(1)~(4)中可以看出, 山地聚落内的土地宜垦性随着相对海拔、坡度和与居民点距离的增加而减小, 即相对海拔越高、坡度越陡、与居民点距离越远的土地宜垦性越小。历史时期以来, 山地微地貌虽然在一些区域会随着人类的活动而有所改变, 但总体来说并没有大的变化, 且在山地聚落交通未有实质性的改变之前, 距离权重也会继续发挥作用, 所以 $\delta(i, k_n)$ 所表示的土地宜垦性在研究时段内保持不变。另外, 在微地貌基本不变的情况下, 聚落尺度相对海拔高度、坡度和与居民点的距离3个因子的结合, 一定程度上可以保证耕地开垦的连片性特点。

利用上述耕地面积重建方法, 按宜垦性 $\delta(i, k_n)$ 值的大小将网格像元进行排序, 并依次赋值成为耕地, 直到所赋值面积与相对时间节点中聚落耕地面积相等为止, 形成1700—1978年掌鸠河流域每50 a时间断面的耕地网格化数据集。

5 结果与分析

5.1 1700年耕地分布重建

1700年以前创建的聚落所开垦的耕地主要分布在中下游河谷区和平坝区, 假设1700年以前所创建的聚落至1700年相对海拔低于居民点且坡度在 12° 以下的区域都已经被开垦成为耕地。选取符合以上规则的像元并赋值为耕地, 形成1700年掌鸠河流域的耕地分布图(30 m \times 30 m, 图3)。

利用这一时期的人均耕地数量对重建的1700年总耕地数量进行检验。各地形区因自然环境和社会经济因素的不同, 单位面积耕地产量各异, 导致人均耕地面积需求量呈现出由中下游河谷区和平坝区向半山区和山区逐渐增加的趋势。1700年掌鸠河流域共有耕地2928.87 hm², 人均耕地面积0.25 hm², 将不同地形区的人均耕地面积与20世纪50年代初期的最低人均耕地保障量^[37]相比较(表7), 中下游河谷区的人均耕地数量最少, 仅为0.14 hm², 山区人均耕地面积为0.57 hm², 半山区略大于山区, 符合各地形区的最低人均耕地需求量标准。说明本文复原的1700年掌鸠河流域的耕地数量和空间格局具有较好的可靠性。

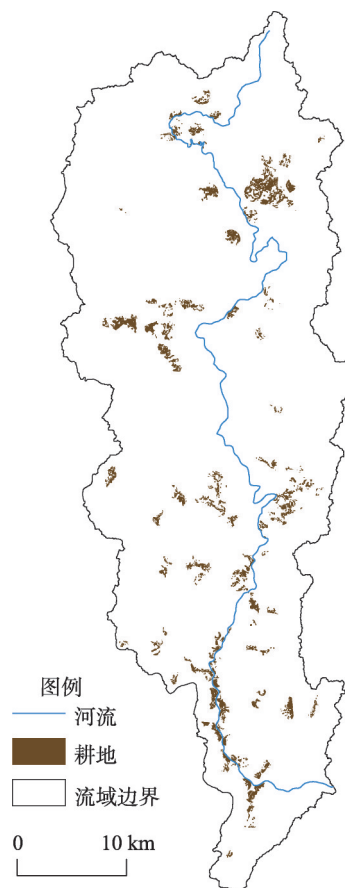


图3 1700年掌鸠河流域耕地空间格局

Fig. 3 Spatial pattern of cropland in the Zhangjiu River Basin in 1700

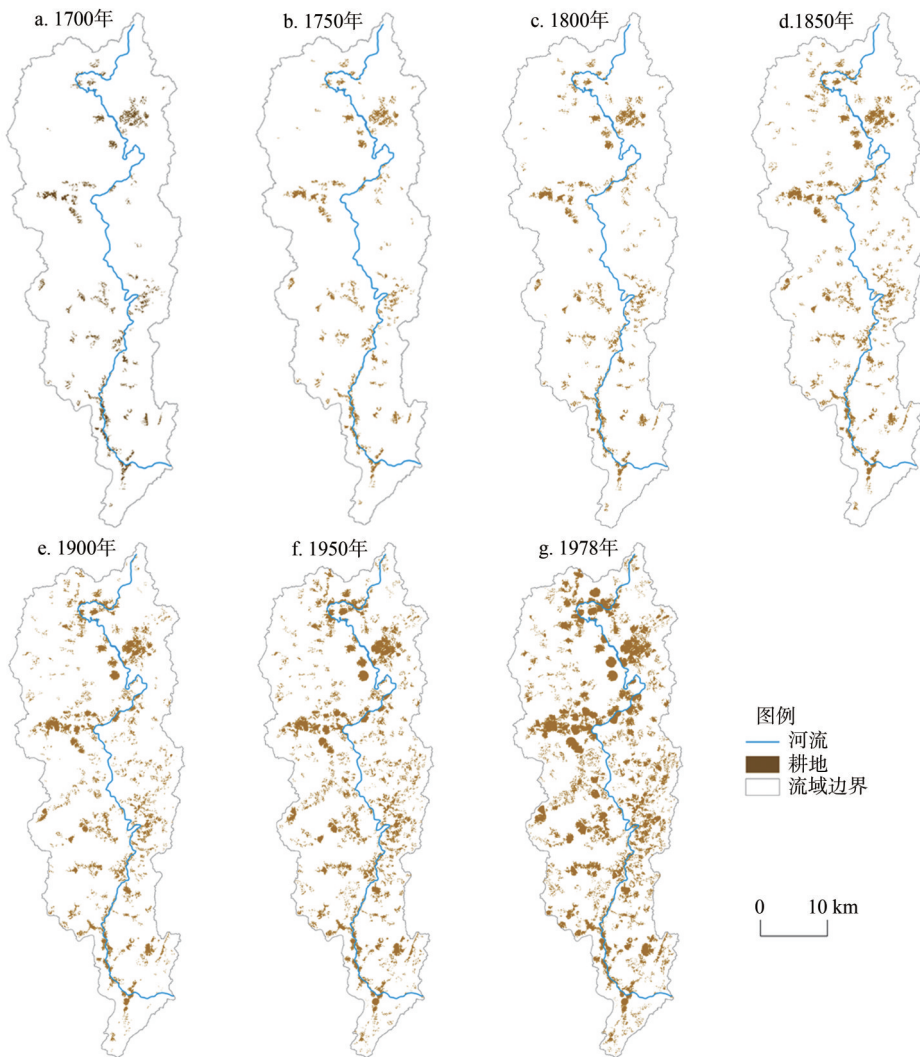
表 7 1700 年掌鸠河流域各地形区耕地面积和人均耕地面积统计

Tab. 7 Total cropland area and per capita cropland area for different terrain types in the Zhangjiu River Basin in 1700

区域	耕地面积 (hm^2)	人口数量 (人)	人均耕地面积 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	20 世纪 50 年代初最低 耕地保障量($\text{hm}^2/\text{人}$)
中下游河谷区	657.20	4619	0.14	0.07
平坝区	416.67	2068	0.20	0.09
半山区	563.67	2578	0.22	0.12
山区	1291.33	2265	0.57	0.29

5.2 耕地分布重建

依据上述构建的历史耕地网格化重建模型对 1700—1978 年掌鸠河流域每个聚落的耕地数量进行估算, 并提取相应的网格作为耕地, 得到 7 个连续时间断面 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 的耕地空间格局图 (图 4)。

图 4 1700—1978 年掌鸠河流域 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 耕地空间格局Fig. 4 Spatial pattern of cropland in the Zhangjiu River Basin at a $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ resolution from 1700 to 1978

1700—1978年, 掌鸠河流域的垦殖率呈不断上升的趋势(图5), 由1700年的2.1%上升到1978年的15.6%, 尤其是1951—1978年间的垦殖率上升幅度最大, 是人口和政策等人文因素综合作用的结果。从流域不同地形区来看, 中下游河谷区是移民开发时间较早、人口密度大、垦殖率最高的区域, 且保持着不断上升的趋势。其次是半山区的垦殖率至1978年达到19.6%, 逐渐接近中下游河谷地带, 除人口自然增长外, 流域外和流域内其他地形区的人口迁移导致半山区和山区大量耕地的开垦。至1978年, 平坝区成为垦殖率最低的一个地形区, 主要是海拔高度限制了耕地向高海拔平坝区的扩展, 导致平坝区的垦殖率逐渐被其他地形区所超越。1950年以前, 山区的垦殖发展较缓慢, 垦殖率最低, 1950年以后成为增幅最快的区域。

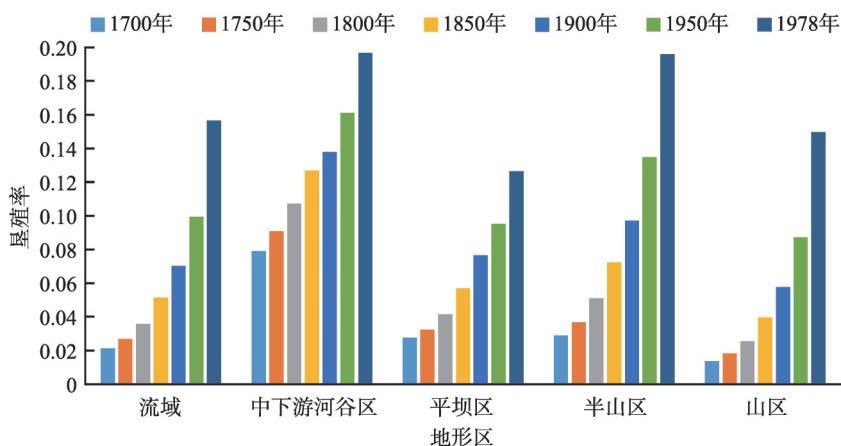


图5 1700—1978年掌鸠河流域不同地形区垦殖率变化图

Fig. 5 Reclamation rates on different terrain types in the Zhangjiu River Basin from 1700 to 1978

5.3 耕地数量重建

从1700—1978年掌鸠河流域耕地数量的发展来看(表8), 自1700年到1978年增长了6.3倍, 而同时期的人口数量增长了18.9倍^[37], 导致人均耕地面积逐渐下降。从时间上来看, 1951—1978年是流域内耕地数量增长最快的时期, 尤其是山区和半山区对整个流域耕地数量的增长贡献最大, 远远超过其他地形区。由于耕地潜在分布范围有限, 中下游河谷区和平坝区的耕地数量增长相对较为缓慢。

5.4 结果检验

5.4.1 总耕地面积检验 利用20世纪70年代末期中国土地利用现状遥感监测数据(30 m分辨率)^[46]进行检验。20世纪70年代末期土地利用/覆盖数据主要以1975—1979年的

表8 1700—1978年掌鸠河流域耕地数量(hm²)

Tab. 8 Cropland area in the Zhangjiu River Basin from 1700 to 1978 (hm²)

时间	中下游河谷区	平坝区	半山区	山区	流域
1700	657	417	564	1291	2929
1750	756	491	717	1706	3670
1800	891	630	992	2404	4917
1850	1055	866	1412	3725	7057
1900	1146	1164	1891	5450	9652
1950	1340	1451	2632	8232	13655
1978	1637	1925	3825	14139	21526

Landsat-MSS 遥感图象为信息源, 土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、居民点用地和未利用土地 6 种, 其中耕地包括水田、旱地两类, 代码分别为 11 和 12。

利用 ArcGIS 软件提取出掌鸠河流域的数据, 并对 20 世纪 70 年代末期的耕地数量进行计算, 得出总耕地面积为 235.8 km², 垦殖率为 17.1%。与本文所复原的 1978 年的总耕地面积 215.3 km², 垦殖率 15.6% 相比, 耕地面积相差 20.5 km², 垦殖率相差 1.5%, 说明本文对 1700—1978 年掌鸠河流域耕地数量的复原结果可以接受。

5.4.2 人均耕地面积检验 各地形区单位耕地面积产量有较大的差异, 人均耕地面积是保障区域内人口基本口粮的基础。由 1700—1978 年掌鸠河流域不同地形区人均耕地面积变化图中可以看出 (图 6), 掌鸠河流域总体的人均耕地呈现不断下降的趋势, 由 1700 年的 0.25 hm²/人, 下降到 1978 年的 0.15 hm²/人。其中, 中下游河谷区的人均耕地面积最少, 由 1700 年的 0.14 hm²/人下降到 1978 年的 0.07 hm²/人, 其次是平坝区和半山区, 最高的是山区, 但下降幅度也最为明显。对比 20 世纪 50 年代初期不同地形区的最低人均耕地保障量可知 (表 7), 1950 年以前, 在 4 个地形区中, 中下游河谷区、平坝区、半山区的人均耕地都在最低人均耕地保障量以上, 山区的人均耕地在 1950 年即开始略低于最低保障量, 1950 年平均人均耕地为 0.26 hm², 低于最低保障量的 0.29 hm²。历史时期山地少数民族, 如苗族等除从事农业生产外, 还从事采集、狩猎等活动, 对耕地的依赖程度相对较小, 历史时期的人均耕地面积可能略低于最低人均耕地保障量。

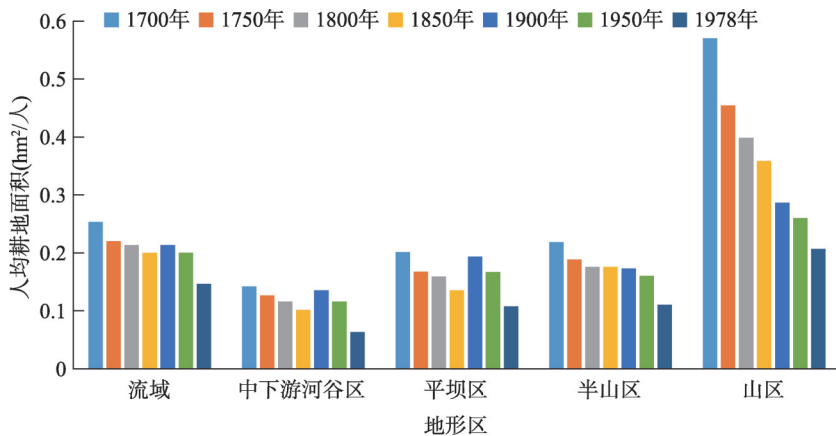


图 6 1700—1978 年掌鸠河流域人均耕地变化图

Fig. 6 Changes in per capita cropland area in the Zhangjiu River Basin from 1700 to 1978

至 1978 年, 中下游河谷区、山区和半山区的人均耕地数量都已经降到以 20 世纪 50 年代初期的标准进行计算的人均最低保障量以下, 说明在 1950 年以后, 由于大规模农田水利的兴修, 提高了单位耕地面积的产量, 一定程度上缓解了人口数量对耕地开垦的压力。所以, 从不同地形区的人均耕地面积来看, 本文重建的结果较符合实际情况。

6 结论

本文将耕地网格化重建方法与区域聚落空间格局重建方法相结合, 利用文献资料、田野调查资料、档案资料、统计资料和基础地理信息等多种数据来源, 重新设计了历史时期小尺度区域耕地宜垦性模型和人文驱动力综合模型, 模拟了 1700—1978 年具有明确时间和空间属性的耕地网格化数据集。得出结论如下:

(1) 在复原聚落空间格局的前提下, 利用田野调查方法获取 1700—1978 年聚落尺度耕地开垦的时空规律, 进而构建具有准确时间和空间信息的耕地网格化数据集, 一定程度上弥补了现有研究中重建的耕地网格化数据空间属性不明确的不足。

(2) 本文在构建小尺度区域耕地数量和空间重建模型时, 综合考虑坡度、相对海拔高度等自然因素, 人口、政策、农业技术、耕地与居民点的距离等人文因素对耕地开发的影响, 并量化了这些因子对聚落耕地变化的驱动系数, 可以更好地反映小尺度区域土地利用变化的驱动力机制及其动态特征, 使得重建的耕地数据更接近历史实际。

(3) 1700—1978 年, 掌鸠河流域的耕地开垦呈现出山区和半山区耕地面积大量增加的趋势, 这是由人口和政策等因素共同作用的结果。但从人均耕地面积的发展情况来看, 每个地形区中的人均耕地面积均有大幅度下降的趋势, 这是由于农业技术在耕地开垦过程中对耕地数量发展所起到的限制性作用。也表明被现有研究所忽略的农业技术、政策等因素对区域耕地开垦具有直接且重要的作用。

(4) 选择总耕地面积和人均耕地面积对模拟结果进行检验, 表明本文的模拟结果可信度较高。本文设计的 1700—1978 年云南山地小尺度区域耕地网格化重建模型可以有效地模拟小尺度区域具有明确时间和空间属性的历史耕地网格化数据集, 可以为小尺度区域土地利用重建研究提供方法借鉴。

(5) 本文以云南山地典型的中小流域——掌鸠河流域为研究区, 得出的结论是否可以代表整个云南山地, 还需要更多的案例进行验证。

致谢: 本文在土地利用重建模型的构建和后期检验过程中得到复旦大学历史地理研究中心孙涛老师的帮助, 在此表示衷心的感谢。

参考文献(References)

- [1] Turner B L, Meyer W B, Skole D L. Global land-use/land-cover change: Towards an integrated study. *Ambio*, 1994, 23(1): 91-95.
- [2] Klein Goldewijk K. Estimating global land use change over the past 300 years: The HYDE Database. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, 15(2): 417-433.
- [3] Ge Quansheng, Dai Junhu, He Fanneng, et al. Research on land use and land cover change and carbon cycle of China during the past 300 years. *Science in China Series D: Earth Science*, 2008, 38(2): 197-210. [葛全胜, 戴君虎, 何凡能, 等. 过去 300 年中国土地利用、土地覆被变化与碳循环研究. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2008, 38(2): 197-210.]
- [4] Bai Shuying, Zhang Shuwen, Zhang Yangzhen. Digital rebuilding of LUCC spatial-temporal distribution of the last 100 years: Taking Dorbod Mongolian Autonomous County in Daqing City as an example. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(4): 427-436. [白淑英, 张树文, 张养贞. 土地利用/土地覆被时空分布 100 年数字重建: 以大庆市杜尔伯特蒙古族自治县为例. *地理学报*, 2007, 62(4): 427-436.]
- [5] Zhu Feng, Cui Xuefeng, Miao Lijuan. China's spatially-explicit historical land-use data and its reconstruction methodology. *Progress in Geography*, 2012, 31(12): 1563-1573. [朱枫, 崔雪峰, 缪丽娟. 中国历史时期土地利用数据集的重建方法述评. *地理科学进展*, 2012, 31(12): 1563-1573.]
- [6] Li Jiayang, Chen Panqin, Ma Zhuguo, et al. Regional research: A main approach to understanding the global environmental change. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(5): 441-450. [李家洋, 陈泮勤, 马柱国, 等. 区域研究: 全球变化研究的重要途径. *地球科学进展*, 2006, 21(5): 441-450.]
- [7] Cai Yunlong. A study on land use/cover change: The need for a new integrated approach. *Geographical Research*, 2001, 20(6): 645-652. [蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究: 寻求新的综合途径. *地理研究*, 2001, 20(6): 645-652.]
- [8] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and land cover change (LUCC): Implementation strategy. IGBP Report No.48 / IHDP Report No.10. Stockholm: IGBP, 1999.
- [9] Becker A, Bugmann H. Global change and mountain regions: The mountain research initiative. Stockholm: IGBP, 2001.
- [10] Ramankutty N, Foley J A. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochemical Cycles*, 1999, 13(4): 997-1027.

- [11] Klein Goldewijk K, Beusen A, Doelman J, et al. Anthropogenic land use estimates for the Holocene- HYDE 3.2. *Earth System Science Data*, 2017, 9(2): 927-953.
- [12] Pongratz J, Reick C, Raddatz T, et al. A reconstruction of global agricultural areas and land cover for the last millennium. *Global Biogeochemical Cycles*, 2008, 22(3): 1-16.
- [13] Kaplan J O, Krumhardt K M, Ellis E C, et al. Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land cover change. *The Holocene*, 2011, 21(5): 775-791.
- [14] Li Beibei, Fang Xiuqi, Ye Yu, et al. Accuracy assessment of global historical cropland datasets based on regional reconstructed historical data: A case study in Northeast China. *Science China Earth Sciences*, 2010, 40(8): 1048-1059. [李蓓蓓, 方修琦, 叶瑜, 等. 全球土地利用数据集精度的区域评估: 以中国东北地区为例. *中国科学: 地球科学*, 2010, 40(8): 1048-1059.]
- [15] He Fanneng, Li Shicheng, Zhang Xuezheng, et al. Comparisons of reconstructed cropland area from multiple datasets for the traditional cultivated region of China in the last 300 years. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(9): 1190-1200. [何凡能, 李士成, 张学珍, 等. 中国传统农区过去300年耕地重建结果的对比分析. *地理学报*, 2012, 67(9): 1190-1200.]
- [16] Zhang Xuezheng, He Fanneng, Li Shicheng. Reconstructed cropland in the mid-eleventh century in the traditional agricultural area of China: Implications of comparisons among datasets. *Regional Environmental Change*, 2013, 13(5): 969-977.
- [17] He Fanneng, Li Shicheng, Yang Fan, et al. Evaluating the accuracy of Chinese pasture data in global historical land use datasets. *Science China Earth Sciences*, 2019, 49(2): 421-433. [何凡能, 李士成, 杨帆, 等. 全球历史土地利用数据集中中国草地数据可靠性评估. *中国科学: 地球科学*, 2019, 49(2): 421-433.]
- [18] Yang Fan, He Fanneng, Li Meijiao, et al. Reliability assessment of global historical forest data in China. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(5): 923-934. [杨帆, 何凡能, 李美娇, 等. 全球历史森林数据中国区域的可靠性评估. *地理学报*, 2019, 74(5): 923-934.]
- [19] Yang Fan, He Fanneng, Li Shicheng, et al. Exploring spatiotemporal pattern of grassland cover in Western China from 1661 to 1996. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(17): 1-18.
- [20] He Fanneng, Li Meijiao, Yang Fan. Main progress in historical land use and land cover change in China during the past 70 years. *Journal of Chinese Historical Geography*, 2019, 34(4): 5-16. [何凡能, 李美娇, 杨帆. 近70年中国历史时期土地利用/覆被变化研究的主要进展. *中国历史地理论丛*, 2019, 34(4): 5-16.]
- [21] Lin Shanshan, Zheng Jingyun, He Fanneng. The approach for gridding data derived from historical cropland records of the traditional cultivated region in China. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(1): 83-92. [林珊珊, 郑景云, 何凡能. 中国传统农区历史耕地数据网格化方法. *地理学报*, 2008, 63(1): 83-92.]
- [22] Liu Mingliang, Tian Hanqin. China's land cover and land use change from 1700 to 2005: Estimations from high-resolution satellite data and historical archives. *Global Biogeochemical Cycles*, 2010, 24(3): 1-18.
- [23] He Fanneng, Li Shicheng, Zhang Xuezheng. The reconstruction of cropland area and its spatial distribution pattern in the mid-northern Song Dynasty. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(11): 1531-1539. [何凡能, 李士成, 张学珍. 北宋中期耕地面积及其空间分布格局重建. *地理学报*, 2011, 66(11): 1531-1539.]
- [24] Wei Xiwen, Miao Lijuan, Jiang Yuan, et al. Reconstruction of the historical crop land data in China using the partition and layering-based gridded method. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(7): 1144-1156. [魏希文, 缪丽娟, 江源, 等. 基于分层分区法的中国历史耕地数据的网格化重建. *地理学报*, 2016, 71(7): 1144-1156.]
- [25] Jiang Lanqi, Zhang Lijuan, Zang Shuying, et al. Comparison of approaches of spatially explicit reconstruction of cropland in the late Qing Dynasty. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(4): 625-635. [姜蓝齐, 张丽娟, 臧淑英, 等. 清末耕地空间分布格局重建方法比较. *地理学报*, 2015, 70(4): 625-635.]
- [26] Li Meijiao, He Fanneng, Yang Fan, et al. Reconstruction of cropland area at the provincial level in the early Yuan Dynasty. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5): 832-842. [李美娇, 何凡能, 杨帆, 等. 元代前期省域耕地面积重建. *地理学报*, 2018, 73(5): 832-842.]
- [27] Li Ke, He Fanneng, Zhang Xuezheng. An approach to reconstructing spatial distribution of historical cropland with grid-boxes by utilizing MODIS land cover dataset: A case study of Yunnan Province in the Qing Dynasty. *Geographical Research*, 2011, 30(12): 2281-2288. [李柯, 何凡能, 张学珍. 基于MODIS数据网格化重建历史耕地空间分布的方法: 以清代云南省为例. *地理研究*, 2011, 30(12): 2281-2288.]
- [28] Li Shicheng, He Fanneng, Chen Yisong. Gridding reconstruction of cropland spatial patterns in Southwest China in the Qing Dynasty. *Progress in Geography*, 2012, 31(9): 1196-1203. [李士成, 何凡能, 陈屹松. 清代西南地区耕地空间格局网格化重建. *地理科学进展*, 2012, 31(9): 1196-1203.]

- [29] Pan Qian, Jin Xiaobin, Zhou Yinkang. Gridding reconstruction of land use pattern in Jiangsu Province in the mid-Qing Dynasty. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(9): 1449-1462. [潘倩, 金晓斌, 周寅康. 清代中期江苏省土地利用格局网格化重建. *地理学报*, 2015, 70(9): 1449-1462.]
- [30] Yang Xuhong, Jin Xiaobin, Guo Beibei, et al. Research on reconstructing spatial distribution of historical cropland over 300 years in traditional cultivated regions of China. *Global and Planetary Change*, 2015, 128: 90-102.
- [31] Lv Yan, Zhang Shuwen, Yang Jiuchun. Application of toponymy to the historical LUCC researches in Northeast China: Taking Zhenlai County of Jilin Province as an example. *Journal of Geo-information Science*, 2010, 12(2): 174-179. [吕妍, 张树文, 杨久春. 基于地名志的东北历史时期土地利用变化研究: 以吉林省镇赉县为例. *地球信息科学学报*, 2010, 12(2): 174-179.]
- [32] Zeng Zaozao, Fang Xiuqi, Ye Yu. The process of land cultivation based on settlement names in Jilin Province in the past 300 years. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(7): 985-993. [曾早早, 方修琦, 叶瑜. 基于聚落地名记录的过去300年吉林省土地开垦过程. *地理学报*, 2011, 66(7): 985-993.]
- [33] Huo Renlong, Yang Yuda, Man Zhimin. Pattern evolution of settlement space in the Zhangjiuhe Basin, Yunnan Province, during the past 300 years. *Geographical Research*, 2016, 35(9): 1647-1658. [霍仁龙, 杨煜达, 满志敏. 云南省掌鸠河流域近300年来聚落空间演变. *地理研究*, 2016, 35(9): 1647-1658.]
- [34] Zhao Jie, Zhao Shidong. Application of the participatory rural appraisal method in the research of land use change at local dimension: A case study of Yaoledianzi village in Korqin sand. *Resources Science*, 2003, 25(5): 52-57. [赵杰, 赵士洞. 参与性评估法在小尺度区域土地利用变化研究中的应用: 以科尔沁沙地尧勒甸子村为例. *资源科学*, 2003, 25(5): 52-57.]
- [35] Hao Shilong, Li Bicheng, Yu Qiang. Application of the participatory rural appraisal and GIS method to the research of small scale land use change. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(2): 309-315. [郝仕龙, 李璧成, 于强. PRA和GIS在小尺度土地利用变化研究中的应用. *自然资源学报*, 2005, 20(2): 309-315.]
- [36] Huo Renlong, Yang Yuda. Application of the fieldwork and GIS method in the research of land use change at local dimension in past 300 years. *Journal of Chinese Historical Geography*, 2018, 33(4): 62-69. [霍仁龙, 杨煜达. 田野调查和GIS方法在近300年来小尺度区域土地利用变化研究中的应用. *中国历史地理理论丛*, 2018, 33(4): 62-69.]
- [37] Huo Renlong. On the population and cropland development in the Zhangjiu River Basin, Yunnan Province since the Qing Dynasty. *Historical Geography*, 2018(36): 205-223. [霍仁龙. 清代以来掌鸠河流域的人口发展和土地开发研究. *历史地理*, 2018(36): 205-223.]
- [38] Luquan Yi and Miao Autonomous County Government. *Place Name Gazetteer of Luquan Yi and Miao Autonomous County, Yunnan Province*. Kunming: Yunnan People's Publishing House, 1995. [禄劝彝族苗族自治县人民政府. 云南省禄劝彝族苗族自治县地名志. 昆明: 云南人民出版社, 1995.]
- [39] Huo Renlong. A study of some natural factors of environmental changes in the mountainous areas of southwest China in the big data era: A topographical and aspect-oriented study in local mountainous areas. *Journal of Yunnan University (Social Sciences Edition)*, 2017, 16(4): 64-70. [霍仁龙. 大数据时代下西南山地环境变化的自然影响因素研究: 基于小区域尺度的地形与坡向分析. *云南大学学报(社会科学版)*, 2017, 16(4): 64-70.]
- [40] Young O R, King L A, Schroeder H. *Institutions and Environmental Change: Principal Findings, Applications, and Research Frontiers*. Cambridge: MIT Press, 2008.
- [41] Lee James Z. *The Political Economy of a Frontier: Southwest China 1250-1850*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2000.
- [42] Kueh Y Y. *Agricultural Instability in China (1931-1991): Weather, Technology, and Institution*. Hongkong: The Chinese University of Hong Kong, 2013. [郭益耀. 中国农业的不稳定性(1931-1991): 气候、技术、制度. 香港: 香港中文大学出版社, 2013.]
- [43] Chorography Compilation Committee of Luquan. *History of Luquan County*. Kunming: Yunnan People's Publishing House, 1995. [禄劝彝族苗族自治县地方志编纂委员会. 禄劝彝族苗族自治县志. 昆明: 云南人民出版社, 1995.]
- [44] Huo Renlong. Quantitative research on the evolution of farmland water conservancy in mountainous area, Yunnan province, 1950-1980. *Researches in Chinese Economic History*, 2019(4): 79-91. [霍仁龙. 云南山区农田水利建设演变的量化研究(1950—1980). *中国经济史研究*, 2019(4): 79-91.]
- [45] Lu Xiqi. Dispersed and clustered: Rural settlement patterns and its evolution in traditional China. *Journal of Huazhong Normal University (Humanities and Social Sciences)*, 2013, 52(4): 113-130. [鲁西奇. 散村与集村: 传统中国的乡村聚落形态及其演变. *华中师范大学学报(人文社会科学版)*, 2013, 52(4): 113-130.]
- [46] Data Center for Resources and Environmental Science, Chinese Academy of Sciences (RESDC). <http://www.resdc.cn>. [中国科学院资源环境科学数据中心. <http://www.resdc.cn>.]

Gridded reconstruction of spatiotemporal evolution of cropland in the Zhangjiu River Basin in Yunnan Province from 1700 to 1978

HUO Renlong¹, YANG Yuda², MAN Zhimin²

(1. Collaborative Innovation Center for Security and Development of Western Frontier China, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. Center for Historical Geographical Studies of Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: The reconstruction of land use/land cover change within small-scale areas during historical periods based on multi-source data is of great significance for obtaining an in-depth understanding of the mechanisms driving land use change and their effects on the environment and climate. Herein, we reconstructed the evolution of settlement patterns at the basin scale, the amount and spatial distribution of cropland at the settlement scale, as well as the cropland pattern at the basin scale. Typical small and medium-scale watersheds in the mountainous areas of Yunnan Province were used as the study area. Abided by historical documents, field investigation data, historical geographical research results, archival data, modern statistical data, and basic geographical data, we considered regional natural factors (slope and altitude) and anthropogenic factors (population, policies, agricultural technology, and distance between croplands and settlements) and built a gridded model for cropland reconstruction in historical periods in the small-scale mountainous areas. We then reconstructed gridded cropland patterns with clear temporal and spatial attributes for the past 300 years. The results showed that: (1) over the past 300 years, the area of cropland in the Zhangjiu River Basin has increased 6.3 times, and the reclamation rate increased from 2.1% in 1700 to 15.6% in 1978. (2) The cropland area differed considerably in various terrains. The cropland area in mountainous and semi-mountainous areas was the largest and increased rapidly, whereas the cropland area in the flatlands and the middle and lower reaches of the valley area increased slowly, which was caused by a combination of factors, such as the natural environment, population, policies, and agricultural technology. (3) The results were verified using the total cropland area and per capita cropland area. The gridded reconstruction model devised in this study can be used as a reference for simulating historical cropland in small-scale areas with distinct spatial and temporal attributes using gridded datasets.

Keywords: historical cropland; gridded reconstruction; small-scale areas; past 300 years; mountainous areas