

青藏高原河谷地区历史时期耕地格局重建方法探讨 ——以河湟谷地为例

罗 静¹, 陈 琼¹, 刘峰贵^{1,2}, 张镜铨², 周 强¹

(1. 青海师范大学生命与地理科学学院, 西宁 810008; 2. 中国科学院地理与资源研究所, 北京 100101)

摘 要:青藏高原受其特殊自然地理环境条件的限制,耕地主要分布在自然环境条件相对优越的河谷地区,人为因素对耕地分布范围的作用和影响极其微弱,尤其是在历史时期生产力水平较低的前提下,耕地的空间分布主要取决于土地的宜垦程度。本文将影响青藏高原河谷地区耕地分布的因子按其性质分为限制性因子和非限制性因子,并以此为基础排除了高原河谷地区不适宜耕作的地区,在适宜耕作的地区根据土地的宜垦程度,按“先优后劣”的原则将历史时期的耕地数据分配到空间上。选取青藏高原农业发展历史悠久的河谷地区之一河湟谷地作为实例,重建该区1726年耕地空间格局。将重建结果与已有的M模型重建结果进行对比分析,两者重建的耕地在空间分布上呈现出一致性,但重建结果在垦殖范围与垦殖强度上存在一定的差异;M模型的重建主要是以现代耕地分布格局为基础重建,忽略了现代耕地空间分布受现代农业技术的影响;而本文模型则是从低生产力水平前提下影响历史时期耕地分布的因子出发,重建结果更具合理性。

关 键 词:青藏高原;河谷农业;耕地空间分布;网格化模型;河湟谷地

1 引言

人类活动引起的土地利用/覆盖变化(Land Use/Cover Change, LUCC)是导致地球自然生态系统发生变化的主要原因之一(Steffen et al, 2004),也是影响区域乃至全球气候变化的重要因素之一(Feddema et al, 2005; IPCC, 2007),并已成为全球生态环境变化研究的核心领域之一(Turner et al, 1995; 李秀彬, 1996; Foley et al, 2005)。历史时期尤其是过去300年间土地利用/覆盖变化的重建研究(Turner et al, 1995),不仅能很好的揭示历史时期人地关系的演变,同时也为模拟过去气候变化过程、诊断气候形成机制提供理论依据(Li et al, 2006; Voldoire et al, 2007),而高分辨率、高精度的土地覆被数据则是深入分析这种土地利用/覆被变化环境效应(特别是气候效应)的关键(林珊珊等, 2008)。

近年来,高分辨率、高精度的历史时期土地利用/覆被数据重建研究已取得了重大进展(LUCC

Scientific steering Committee, 2005),初步建立了不同时间和空间尺度的历史时期土地利用/覆被数据集(Klein Goldewijk et al, 2004)。重建方法因资料来源和处理方法的不同而呈现出多样化特点,其中基于网格化重建高分辨率历史时期土地利用格局的方法得到了广泛应用,如何将以行政区域为单元记录的土地利用数据按一定的算法分配到空间上成为较精确地恢复历史时期土地利用/覆盖的关键。已有的重建历史时期土地利用空间格局的研究,都是在历史时期土地利用空间格局与现代格局具有相似性的假设前提下,以现代空间格局为基础重建的,只是不同方法对这种相似程度的应用有所不同(朱枫等, 2012)。美国威斯康星大学可持续和全球环境中心的学者们以1992年全球土地利用分类数据(DIS Cover)中的全球耕地空间分布数据为基础,结合收集到的以国家和地区为单元的历史时期耕地统计数据,应用一个简单的算法模型重建了1700-1992年空间分辨率为0.5°经纬网格的全球土

收稿日期:2014-10;修订日期:2015-01。

基金项目:国家自然科学基金项目(41271123, 41261010)。

作者简介:罗静(1989-),女,青海湟中人,硕士研究生,主要从事自然地理综合方面研究,E-mail: luojing2297741@126.com。

通讯作者:刘峰贵(1966-),男,青海西宁人,教授,主要从事青藏高原区域地理研究,E-mail: lfg_918@163.com。

引用格式:罗静,陈琼,刘峰贵,等. 2015. 青藏高原河谷地区历史时期耕地格局重建方法探讨:以河湟谷地为例[J]. 地理科学进展, 34(2): 207-216. [Luo J, Chen Q, Liu F G, et al. 2015. Methods for reconstructing historical cropland spatial distribution of the Yellow River-Huangshui River valley in Tibetan Plateau[J]. Progress in Geography, 34(2): 207-216.]. DOI: 10.11820/dlkxjz.2015.02.009

地利用/土地覆盖变化(SAGE数据集)(Ramankutty et al, 1999)。Pongratz等(2008)和Liu等(2010)在重建历史时期土地利用格局时也采用了在分配上完全依赖现代土地利用格局的方法,这种“以今类古”回溯历史时期土地利用格局的算法在全球尺度、短时间序列的重建上具有一定合理性,但在一些区域尺度上重建的精度还有很大偏差(李蓓蓓等, 2010)。Klein Goldewijk(2001)、李柯等(2011)、李士成等(2012)假设现代耕地已达到饱和状态,历史时期的耕地分布范围不会超过现代耕地范围,在此基础上适当结合影响耕地分布的人口因子、地形因子等进行空间分配,该分配方法考虑了影响耕地的限制性因子,而不仅是完全的模仿现代耕地分布格局,在分配方面取得了明显的进步。然而不同区域因其土地开发过程、自然环境条件等具有显著差异,在重建时都采用历史时期土地利用的空间格局和现代格局具有相似性的假设存在一定的片面性。林珊珊等(2008)认为历史悠久的传统农业垦殖区内宜垦土地已开垦殆尽,现代耕地分布可近似地看作为农业开发前的潜在垦殖区,通过量化影响耕地分布的主要自然因子和人为因子,计算了单位网格的垦殖倾向、耕地面积及垦殖率,该方法侧重于耕地空间格局的驱动机制,并从传统农业区农业发展的特点出发,重建的结果更加合理。当前最新版本HYDE 3.1中,Klein Goldewijk等(2011)采用了综合两个权重的权重图(Weighing Map)为依据,将历史时期的耕地面积分配到单位网格中。两个权重图分别是现代耕地分布权重和历史耕地分布权重,前者主要通过现代遥感影像获得,而后者则是作者通过假设、量化影响耕地分布的6个影响因子并将其权重相乘的结果,其假设的影响耕地分布因子包括社会因子(城区用地、人口密度)和自然因子(坡度、土壤适宜度、年平均温度与河流距离)。在重建过程中,随着时间推移,现代耕地权重会越来越大,而历史权重会逐渐减小,直到权重图完全由现代权重图所代替。该方法考虑到了现代先进科学技术对农业发展的影响,完全依赖现代耕地空间格局重建生产力水平低下的历史时期耕地格局,其结果在一定程度上会与实际情况相反,因此具有一定的合理性。

青藏高原幅员辽阔,平均海拔4383 m,气候寒冷,被视为“地球的第三极”(郑度等, 1985),中国境内的土地面积为 2.5724×10^6 km²,占全国总面积的26.8%(张懿铨等, 2002)。高原面上纵横交错的高大山脉,是高原基本的地貌骨架。由于高寒缺氧,干

燥多风,气候条件恶劣,导致高原面上热量不足,土层发育年轻,土壤贫瘠,抗侵蚀能力弱,植物生长缓慢,土壤类型以生产能力低下的高寒、干旱土为主。受严酷自然地理环境条件的限制,青藏高原虽然土地面积较大,但可利用的土地资源十分有限,耕地通常分布在受强烈下切侵蚀形成的河谷、盆地中,这些区域由于海拔相对较低,热量较充足,土壤较肥沃,为农业的发展提供了有利条件,因此羌人早在四五千年以前就在这里从事畜牧业、农业,并形成了象雄、雅隆、苏毗三大文明中心(陈新海, 2011)。青藏高原特殊的自然结构和严酷的地理环境,形成了极为脆弱的生态系统,是全球气候变化的脆弱区和敏感区(姚檀栋等, 2000),易受人类活动和全球气候变化的影响,分析探讨该区历史时期土地利用/土地覆盖变化对于了解区域乃至全球环境变化具有重要意义。但由于该区耕地面积狭小,历史资料缺乏,历史时期土地利用/土地覆盖变化方面的研究很少。已有重建平原、丘陵等地区土地利用/土地覆盖的方法并不适合高原耕地格局的重建,本文在借鉴已有研究方法的基础上,根据青藏高原特殊自然环境条件设计了历史时期青藏高原河谷农业耕地格局的重建方法。

2 网格化模型的构建

耕地开垦过程受自然因素和人为因素的双重影响。通常自然环境条件相对较好(如海拔较低、坡度较小、土壤较肥沃)的地区会优先被开垦。随着人口数量不断增加,对耕地的需求量也不断增大,会迫使人们逐渐向海拔相对较高、坡度相对较大、肥力相对较低的土地索取生活资料。因此,耕地的开垦过程一般遵循“先优后劣”的原则(吴存浩, 1996)。青藏高原受严酷自然环境条件的影响,耕地的空间分布受人为因素的影响远不如东部季风区域明显,甚至比西北干旱区小。耕地通常呈带状分布在自然环境条件相对较好的江河谷地、盆地中(张雪芹等, 2002; 范建容等, 2010)。尤其在历史时期农业科技水平较低条件下,河谷地区的耕地分布主要取决于自然环境条件的限制,即土地的宜垦程度。通过遴选合适的指标量化出单位网格的土地宜垦程度,并将历史时期的耕地面积分配到网格中是模型设计的关键。

2.1 影响因子的遴选

土地宜垦程度除受土地自身条件的影响外,还

受其他多种自然因子的共同影响,如海拔、坡度、温度、降水等。青藏高原是一个独特的区域,其高海拔、复杂的地貌类型、多变的气候环境,使得影响高原河谷地区土地宜垦程度的因子非常复杂。将影响该区土地宜垦程度的因子按影响性质分为限制性因子和非限制性因子。限制性因子对耕地分布范围起决定性作用,当其限制作用达到一定强度时,就会限制耕地的空间分布范围;非限制性因子则是通过影响耕地空间分布比重来影响耕地的分布。运用限制性因子排除不适宜耕种的区域,在适宜耕作的区域内将历史时期的耕地数据按土地宜垦程度的高低按“先优后劣”的原则分配到空间上,得出历史时期耕地的空间格局。

2.1.1 限制性因子

(1) 海拔(*E*)。青藏高原的水热条件处在植被作物生态极限的边缘,植被生长对水热条件的变化十分敏感,水热条件的较小变化都可能会引起植被作物分布范围的变迁及其生态系统结构和功能的变化(黄玫等, 2008; 李东明等, 2008)。而高原的耕地主要分布在高原内部强烈下切侵蚀形成的低山、丘陵和宽谷盆地中。这些下切的河谷盆地地区,具有非常明显的海拔高差,水热条件随海拔高程的变化在水平与垂直方向上变化剧烈。当海拔高度达到一定的界限时,水热条件达不到农作物生长的最低需求,就会限制农作物的分布;在水热条件相对优越的地方,越适宜农作物的种植。其中温度是影响种子萌发能力、萌发速率的重要影响因子之一(Kocabas et al, 1999; Nyachiro et al, 2002),作物完成其生命过程不仅要达到一定的温度满足种子萌发,还需要一定的温度总量(即积温)才能在发育的基础上有所收获(丘宝剑等, 1980)。研究表明,青藏高原海拔与积温呈高度的负相关,相关系数为-0.975,而积温主要受海拔递减率的控制(张文江等, 2006),因此海拔是限制高原耕地分布的主要限制性因子。

(2) 坡度(*S*)。高原河谷地区山地广布,峡谷深切,宽谷、湖盆相间,地貌类型复杂多样,大体可以划分为16种地貌形态,分别为:峡谷中低地丘陵、中海拔丘陵、亚高海拔丘陵、高海拔丘陵、小起伏中山、小起伏亚高山、小起伏高山、中起伏中山、中起伏亚高山、中起伏高山、中起伏极高山、大起伏中山、大起伏亚高山、大起伏高山、大起伏极高山和极大起伏山地(曹伟超等, 2011)。地势起伏幅度不仅决定着土地受侵蚀危害的可能性程度,也在一定程度上决定着土壤的质地、土层的厚度以及水利条件

等其他特性(李明森, 1978)。因此坡度对于耕地的开垦范围具有重要的影响。

(3) 土壤类型(*T*)。高原土壤母质复杂多样,加之水热条件相差悬殊,其风化程度均异,因而形成了多样的土壤类型,而且地区之间的差异也很显著,可用于耕作的土壤类型比较单一,而高山荒漠土、棕漠土等类型不适宜耕作。

因此,海拔、坡度、土壤类型对于青藏高原的耕地分布起着决定性作用,是影响该区域耕地分布的主要限制因子。

2.1.2 非限制性因子

(1) 坡向(*A*)。高原河谷地区干旱少雨、多风、蒸发强烈、易旱,雨热同期,除了热量条件外,水分条件对于农作物的生长起着十分重要的作用,而不同的坡向其水分差异也较大,主要表现在两方面:一是由于所处的地理纬度不同而导致的太阳高度角不同,其南坡所受的影响大,降水丰富,相对湿润;二是由于中国大陆地区受季风气候影响较大,常年盛行风向导致迎风坡的降水较多,背风坡降水相对较少,导致水热状况存在较大差异。因此,坡向不同,耕地的分布比重也不同。

(2) 气候生产潜力(*C*)。青藏高原地处中纬度西风带,在海拔高度、纬度、山脉、冰川积雪等的影响下,形成了独特的高原气候,表现为:太阳辐射强,日照时数多,气温低;对于同一地区而言,年较差小,但日较差较大,降水空间分布极不均匀(中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1984; 侯光良等, 1993)。这些特点通过影响青藏高原农作物的形态结构、生产及产量(吴学明, 1997; 赵延治等, 2003),并影响作物的分布比重,因此本文选用气候生产潜力来描述气候条件对耕地分布比重的影响。

(3) 人为因素(*H*)。受自然环境条件的限制,青藏高原人口较少。在历史时期,青藏高原河谷地区的耕地分布范围主要取决于自然环境条件的限制,人为因素对耕地分布的影响较弱,战争、政策等人为因素通过影响人口数量的变化影响耕地的分布比重,而乡村聚落是乡村人口空间分布的载体(郭晓东等, 2013),因此在自然环境条件允许的前提下,人为因素对耕地分布的影响可以通过聚落的空间分布来表示。

(4) 土壤有机质含量(*O*)。土壤有机质含量是土壤肥力的基础,直接影响作物的产量和品质,从而影响着耕地的不同分布比重。

选取坡向、气候生产潜力、土壤有机质含量和

人为因素作为非限制性因子,采用专家打分法并结合层次分析法赋权。专家打分共邀请了8位从事地理学研究的学者,分别从不同角度、不同层次、不同背景对各因子的重要性进行评价。采用层次分析法求出权重并取平均权重值作为最终权重值。具体的专家打分法问卷如表1所示(随机选取部分专家问卷),最终各因子权重值如表2所示。

2.2 影响因子的量化

历史时期耕地的记载通常是以县域为单位进行记载的,因此根据影响因子与耕地分布关系分县区对影响因子进行标准化处理。其公式如下:

$$NE(j) = \frac{\text{Max}(E(j)) - E(j)}{\text{Max}(E(j))} \quad (1)$$

$$NS(j) = \frac{\text{Max}(S(j)) - S(j)}{\text{Max}(S(j))} \quad (2)$$

$$NC(j) = \frac{C(j)}{\text{Max}(C(j))} \quad (3)$$

$$NO(j) = \frac{O(j)}{\text{Max}(O(j))} \quad (4)$$

式中:NE(j)、NS(j)、NC(j)、NO(j)分别表示M_n县区网

格j标准化的海拔、坡度、气候生产潜力、土壤有机质含量,取值范围为[0, 1];E(j)、S(j)、C(j)、O(j)分别表示M_n县区网格j的平均海拔、坡度、气候生产潜力及土壤有机质含量;Max(E(j))、Max(S(j))、Max(C(j))、Max(O(j))分别表示M_n县区网格j平均海拔、坡度、气候生产潜力和土壤有机质含量的最大值。

人为因素如战争、政策等对耕地分布的影响直接或间接地通过影响人口分布来影响耕地的分布比重,因此聚落的分布格局对耕地的分布具有重要的指示意义。在生产力水平低下的农业社会,人类选择住址之前会综合考虑水源、气候、交通通达性等自然环境条件,在自然环境条件相对优越的地区形成聚落(曾早早等, 2011),耕地是以聚落为中心逐次往外扩张的。本文利用ArcGIS软件中的缓冲区分析工具,以聚落为中心分别作了距离聚落500、1000 m以及1000 m外的缓冲区,然后依据距离聚落越近,耕地分布比重越大,距离聚落越远,耕地分布比重较小并且赋以相应的值。

2.3 模型的建立

本文主要运用几何平均模型和加权求和模型的复合模型来计算单位网格的宜垦性程度,其中对非限制性因子通过专家打分赋予权重,模型公式如下:

$$G(i, v_n) = \prod_{j=1}^H R_j \sum_{x=1}^L S_x A_x \quad (5)$$

式中:G(i, v_n)表示v_n年网格i的宜垦性程度,H为限制因子的个数,R_j为第j个限制因子的作用值;L为非限制因子的个数,S_x为第x个非限制因子的作用分值,A_x为第x个非限制因子的权重。应用几何平均值模型时,当网格中限制因子的限制作用达到最大或超过上限值时,网格的宜垦程度越低或为0,因此此模型能够过滤掉一些不能耕作的土地。

相对于高分辨率的耕地格局重建,河流在网格中所占的比重不容忽视。因此将计算宜垦性程度的公式修正为:

$$Q(i, v_n) = G(i, v_n) \partial(i) \quad (6)$$

式中:Q(i, v_n)为修正后的v_n年网格i的宜垦性程度,

表1 非限制性因子判断矩阵及一致性检验

Tab.1 Non-limiting factors' weight judging matrix and consistency test

X _j	X _i				权系数	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄		
X ₁	1	5	1/7	1/3	0.483	λ _{Max} =4.25 CI=0.09
X ₂	1/5	1	1/7	1/3	0.323	
X ₃	7	7	1	7	0.123	
X ₄	3	3	1/7	1	0.071	
X _j	X _i				权系数	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄		
X ₁	1	3	1/7	1/5	0.529	λ _{Max} =4.27 CI=0.09
X ₂	1/3	1	1/5	1/7	0.314	
X ₃	7	5	1	3	0.098	
X ₄	5	7	1/3	1	0.060	
X _j	X _i				权系数	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄		
X ₁	1	5	2	1/5	0.589	λ _{Max} =4.25 CI=0.09
X ₂	1/5	1	1/7	1/7	0.187	
X ₃	1/2	7	1	1/5	0.177	
X ₄	5	7	5	1	0.048	

注: X₁=土壤有机质含量, X₂=坡向, X₃=气候生产潜力, X₄=人为因素(聚落分布)。[1表示指标X_i与X_j相比,具有同样重要性;3表示指标X_i与X_j相比,指标X_i比X_j指标稍微重要;5表示指标X_i与X_j相比,指标X_i比X_j指标明显重要;7表示指标X_i与X_j相比,指标X_i比X_j指标特别重要]。

表2 非限制性因子及其权重

Tab.2 Non-limiting factors and weights for cultivated land suitability evaluation

因子层	指标层	权重
非限制因子	坡向	0.07
	气候生产潜力	0.50
	土壤有机质含量	0.11
	人为因素的影响	0.32

$\partial(i)$ 为网格 i 的陆地面积比重。

对于 W_k 县区内 v_n 年网格 i 的耕地面积比重 $Z(I, v_n)$ 、耕地面积 $SA(I, v_n)$ 以及垦殖率 $FR(I, v_n)$ 算法如下:

$$Z(i, v_n) = \frac{Q(i, v_n)}{\sum_{i=1}^n Q(i, v_n)} \quad (7)$$

$$SA(i, v_n) = Z(i, v_n) \times A(W_k, v_n) \quad (8)$$

$$FR(i, v_n) = \frac{SA(i, v_n)}{area(i)} \quad (9)$$

式中: $A(W_k, v_n)$ 为 W_k 县区内 v_n 年的耕地面积总数; $area(i)$ 为网格 i 的面积。

当耕地面积较多时, 网格垦殖率 $FR(i, v_n)$ 有可能会超过 1, 这时需要对数据进行进一步处理。当网格垦殖率 $FR(i, v_n) > 1$ 时, 将所有 $FR(i, v_n) > 1$ 的网格垦殖率赋值为 1, 然后把多出的耕地再按式(7)-(9)重新分配到垦殖率小于 1 的网格中, 依次循环, 直到所有网格的垦殖率小于 1 为止。

3 河湟谷地的实例研究

本文选取青藏高原农业发展历史悠久的河谷地区之一的河湟谷地进行实例研究。河湟谷地位于青藏高原东北边缘, 地处祁连山、大坂山与积石山之间, 由黄河干流龙羊峡至寺沟峡段及其支流水系构成, 是黄河干流及其支流湟水河冲积形成的三角地带。运用上述网格化模型重建该区 1726 年的耕地分布格局, 并将所得结果与罗静等(2014)重建青藏高原东北部河湟谷地 1726 年耕地格局的重建结果加以对比分析, 以评估和验证本文模型的合理性。1726 年的耕地数据主要来源于青藏高原东北部河湟谷地 1726 年耕地格局重建中校正的耕地数据(罗静等, 2014)。考虑到河湟谷地的耕地主要分布在宽 1.5~4 km, 长 10~30 km 的宽谷盆地中, 故本文将网格大小设定为 1 km×1 km。根据本文设计的模型需要, 对相关数据进行如下处理:

(1) 限制性因子上限阈值的确定。从自然地理宏观结构来看, 河湟谷地地处黄土高原和内蒙古高原向青藏高原的过渡地带, 区内海拔高低悬殊较大, 最高海拔达到 5218 m, 最低海拔为 1689 m。首先, 根据海拔高程和水热分布的差异性, 河湟谷地农业区划可分为川水区(海拔 < 2600 m)、浅脑山区(海拔 2600~3200 m)、脑山区(海拔 > 3200 m) 3 个大区, 海拔在 3200 m 以上的脑山地区由于海拔较高,

气温低, 降水多, 相对湿度大, 霜冻灾害严重, 土地利用类型比较单一, 植被覆盖度低, 主要为草地、灌木及未利用地(曾永年等, 2012), 因此本文将海拔 3200 m 作为河湟谷地耕地分布的上限阈值。其次, 河湟谷地地貌类型复杂多样, 主要以侵蚀性构造高山、黄土梁状丘陵、侵蚀剥蚀残余山地为主, 地势起伏较大, 耕地又按坡度大小分为平耕地($\leq 3^\circ$)、缓坡耕地($3^\circ \sim 6^\circ$)、坡耕地($6^\circ \sim 15^\circ$)、陡坡耕地($15^\circ \sim 25^\circ$)与锐陡坡耕地($> 25^\circ$), 地面坡度在 25° 以上的地区由于水土流失严重, 为土地开垦的上限(孙颖等, 2003), 因此本文将坡度 25° 作为河湟谷地的耕地上限阈值。此外, 对土壤类型数据进行二值化处理, 考虑到数据的可获取性, 文中用土地资源分类数据来替代土壤类型数据, 将不能利用的戈壁、盐碱地、高寒荒漠等设为 0, 其他的土地类型设为 1。

(2) 非限制性因子数据的获取。从全球 1 km DEM 数据库中提取河湟谷地的海拔高度并在 DEM 的基础上派生出坡度数据, 进而获得 1 km 的坡向数据, 并进行分级, 根据该区实际情况进行相应的量化处理(表 3)。同时从全国 1 km 网格气候生产潜力数据库、1:100 万中国土壤数据库中提取出河湟谷地的数据。1726 年的河湟谷地聚落数据用《西宁府新志》1747 年的聚落数据替代。

本文所用的限制性因子海拔、坡度数据均来源于地理空间云数据(www.gscloud.cn)中 90 m DEM 数据、30 m 的坡度。此外土地资源分类数据、全球 1 km DEM 数据、全国 1 km 网格气候生产潜力数据以及 1:100 万中国土壤数据均来源于地球系统科学数据共享平台(www.geodata.cn)。最后对河湟谷地 1 km×1 km 网格的海拔、坡度、气候生产潜力数据、土壤有机质含量数据分县区按式(1)-(4)进行标准化处理, 其中 1726 年河湟谷地行政界限的数据来源于罗静等(2014)矫正的矢量图。

4 模型的对比分析

应用上述模型重建得出 1726 年河湟谷地耕地格局(图 1a)。为了评估所建模型用于重建青藏高原东北边缘河湟谷地历史时期耕地格局的合理性, 本文同罗静等(2014)重建的青藏高原东北部河湟谷地

表 3 坡向量化处理结果

Tab.3 Quantification of aspect

坡向/ $^\circ$	90~180	0~90	180~270	270~360
量化	4	3	2	1

1726年耕地格局的模型(M模型)1 km×1 km的耕地空间分布格局加以对比分析(图1b),后者参考了李士成等(2012)重建清代西南地区5 km×5 km耕地分布格局的方法,在现代耕地分布规模的基础上,通过量化影响耕地分布的自然因子和人为因子,计算出单位网格的宜垦性,并将历史时期的耕地数据分配到空间上而得出。

从耕地的整体分布格局分析,本文所用网格化模型与M模型重建的1726年河湟谷地的耕地空间分布总体呈现出一致性,均以黄河、湟水河、大通河为中心向两侧扩散,与河湟谷地以山地为主、山-盆相间的地貌格局具有较好的一致性,但两者之间的垦殖范围与垦殖强度却存在一定的差异(表4)。本文模型主要考虑了青藏高原河谷农业的特殊性,即自然环境条件对农业的发展具有很强的限制性,尤其是在生产力水平较低的历史时期,耕地的空间分布主要决定于土地的宜垦程度。因此重建的1726年河湟谷地的耕地格局中,仅有36%的网格有耕地分布,64%的网格没有耕地分布。而M模型是在现代耕地分布规模的基础上重建历史时期耕地空间格局,其重建的耕地分布格局与现代的耕地分布格局是一致的,因此用该模型重建的1726年河湟谷地的耕地分布范围较广,有39%的网格具有耕地分布,61%的网格没有耕地。

分县对比结果同样显示出M模型重建的耕地分布范围较广(表1)。其中西宁县、碾伯县、大通卫、贵德厅、循化厅应用M模型重建的耕地分布网格,

较本文模型重建的结果分别多4.3%、2.9%、2.7%、1.0%以及2.7%。西宁县是河湟谷地政治、经济、文化中心,人口密集,生产力相对先进,受人为因素影响相对较大。因此,应用M模型重建的有耕地分布的网格耕地开发强度偏小,分布范围偏大。

其次,从耕地垦殖强度分析,应用本文模型重建所得的1726年河湟谷地耕地分布较为集中。其中高垦殖区($\geq 50\%$)耕地范围占有所有耕地的2.0%,中低垦殖区($\geq 10\%$ 且 $< 50\%$)范围占有所有耕地的40.7%,低垦殖区($< 10\%$)范围占有所有耕地的57.3%。而应用M模型重建的高垦殖率区($\geq 50\%$)耕地范围明显大于本文模型所建范围,中低垦殖区($\geq 10\%$ 且 $< 50\%$)范围较少,并且其低垦殖区($\leq 10\%$)范围较广,占有所有耕地的68.3%,重建的耕地分布呈现明显的两极化现象。可能是由于现代耕地分布格局由于受城市化、基础设施建设、退耕还林还牧等影响,呈现破碎化严重。河湟谷地是北方农牧交错带的重要组成部分,影响农牧交错带耕地空间分布的影响因子中,政策因素、农业生产技术水平等的影响较大(石瑞香等, 2000; 马礼等, 2008),因此应用M模型重建的结果耕地垦殖率呈现极端化发展。而本文模型则主要侧重于生产力水平低下的历史时期,耕地的分布主要取决于自然环境条件的限制,因此重建的耕地主要分布在自然环境条件相对较好的河谷地区,耕地分布比较集中,更符合历史时期耕地的分布格局。

为了更加详细地揭示两个模型重建结果的差

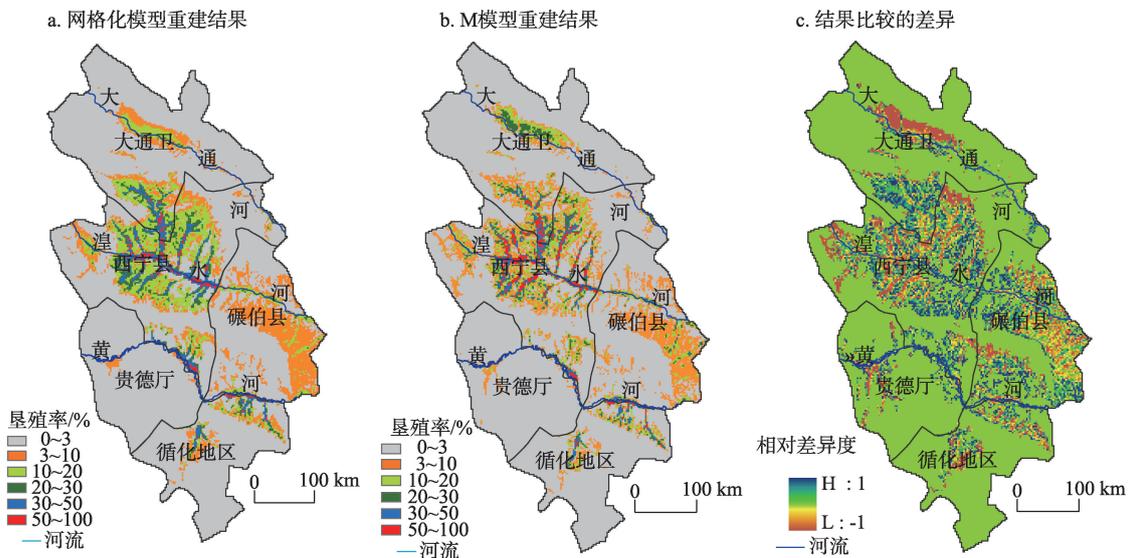


图1 重建结果及其相对差异率

Fig.1 Results of reconstruction and relative difference rate

表4 耕地格局重建结果对比分析
Tab.4 Results of cropland distribution reconstruction

县厅	模型	垦殖率				
		50%以上	50%~40%	40%~20%	20%~10%	10%以下
河湟谷地	M模型	0.037	0.018	0.094	0.169	0.683
	网格化模型	0.02	0.024	0.118	0.265	0.573
西宁县	M模型	0.071	0.032	0.13	0.222	0.546
	网格化模型	0.038	0.042	0.201	0.4	0.321
碾伯县	M模型	0.001	0.002	0.029	0.089	0.879
	网格化模型	0	0	0.01	0.108	0.882
大通卫	M模型	0.029	0.016	0.131	0.219	0.605
	网格化模型	0.014	0.03	0.121	0.343	0.492
贵德厅	M模型	0	0	0	0.014	0.986
	网格化模型	0	0	0	0	1
循化厅	M模型	0.039	0.027	0.131	0.198	0.604
	网格化模型	0.034	0.032	0.197	0.21	0.527

异性,本文作了网格尺度的空间对比分析。分析网格相对差异率图得出(图1c),相对差异率较大的地区主要分布在河湟谷地距河流较近的河谷地区以及耕地的边缘地带。其中应用本文模型重建的垦殖率在离河流较近、自然环境条件相对较好的河谷地带高于M模型重建结果,充分表明在生产力水平较低的历史时期,农业的发展主要依赖于自然环境条件,而在一些海拔相对较高、坡度相对较大的耕地边缘地带,M模型重建的结果明显高于本文模型所建的结果,其原因是由于M模型是在现代耕地分布的基础上重建的,现代耕地在先进的科学技术水平、农药、化肥等的影响下,克服了一些自然因素的限制,使得自然环境条件相对较差的地方也具有较高农业垦殖率。因此,相对于M模型,本文模型则更多的考虑了青藏高原河谷地区特殊的自然环境条件对农业发展的限制性,而人为因素对耕地分布的影响较弱,其重建的结果更加符合青藏高原历史时期低生产力水平下的耕地分布。

5 结论与讨论

本文从青藏高原的特殊性、复杂性及河谷的自然环境条件出发,构建了适合于重建青藏高原河谷地区历史时期耕地空间分布的模型,选取青藏高原东北边缘的河湟谷地进行实例研究,并同罗静等(2014)重建的青藏高原东北部河湟谷地1726年耕地格局(M模型)加以对比分析,得出以下结论:

(1) 从耕地整体分布格局看,本文所构建的网

格化模型与M模型重建的1726年河湟谷地的耕地空间分布总体呈现出一致性,均以黄河、湟水河、大通河为中心向两侧扩散,与河湟谷地以山地为主、山—盆相间的地貌格局具有较好的一致性,但两者之间的垦殖范围与垦殖强度存在一定的差异。

(2) M模型是在现代耕地分布格局的基础上,结合影响耕地分布的自然因子和人为因子分配历史时期的耕地面积,由于现代耕地空间格局受现代先进科学技术等的影响,会克服一些自然因素的限制,使得自然环境条件相对较差的地方也具有较高的农业垦殖率,其重建的结果在一定程度上与生产力水平低下的历史时期耕地分布格局出入较大。青藏高原由于其特殊的地理位置及严酷的自然环境条件,人为因素对耕地分布的影响较小,耕地的空间分布主要取决于自然环境条件的限制,而且这种限制在农业科技水平落后的历史时期更为突出,因此本文从这一角度出发设计的重建青藏高原河谷地区历史时期耕地分布的网格化方法,相比于M模型重建的结果更加符合于历史时期青藏高原河谷地区的耕地实际分布格局。

(3) 青藏高原由于受地形因素制约,河谷地区面积较少,加之自然环境复杂多样,因此对重建数据精度提出了更高的要求。同时由于该方法更多地从影响青藏高原河谷地区农业发展的主要驱动因素出发,对影响因子的甄别要求也更高。本文虽选取了主要影响因子进行分析,但由于获取的数据精度不高,在一定程度上仍影响重建结果的精确性,在以后研究中需进一步加强定量分析。

参考文献(References)

- 曹伟超, 陶和平, 孔博, 等. 2011. 青藏高原地貌形态总体特征的GIS识别分析[J]. 水土保持通报, 31(4): 163-167. [Cao W C, Tao H P, Kong B, et al. 2011. Recognition of general topographic features in Qinghai-Tibet Plateau based on GIS[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 31(4): 163-167.]
- 陈新海. 2011. 青海地区历史经济地理研究[M]. 成都: 四川大学出版社: 1. [Chen X H. 2011. Historical economic geography research in Qinghai region[M]. Chengdu, China: Sichuan University Press: 1.]
- 范建容, 宫奎方, 唐家良, 等. 2010. 土地利用方式对西藏东部河谷山地土壤肥力性质的影响[J]. 地理研究, 29(8): 1528-1536. [Fan J R, Gong K F, Tang J L, et al. 2010. Effect of land use on soil properties in river valleys of eastern Qinghai-Tibet [J]. Geographical Research, 29(8): 1528-1536.]
- 郭晓冬, 马利邦, 张启媛. 2013. 陇中黄土丘陵区乡村聚落空间分布特征及其基本类型分析: 以甘肃省秦安县为例[J]. 地理科学, 33(1): 45-51. [Guo X D, Ma L B, Zhang Q Y. 2013. The spatial distribution characteristics and the basic types of rural settlement in loess hilly area: taking Qin County of Gansu Province as a case[J]. Scientia Geographica Sinica, 33(1): 45-51.]
- 侯光良, 李继由, 张谊光. 1993. 中国农业气候资源[M]. 北京: 中国人民大学出版社. [Hou G L, Li J Y, Zhang Y G. 1993. Chinese agro-climatic resources[M]. Beijing: China: Renmin University Press.]
- 黄玫, 季劲钧, 彭莉莉. 2008. 青藏高原1981-2000年植被净初级生产力对气候变化的响应[J]. 气候与环境研究, 13(5): 608-616. [Huang M, Ji J J, Peng L L. 2008. The response of vegetation net primary productivity to climate change during 1981-2000 in the Tibetan Plateau[J]. Climate and Environment Research, 13(5): 608-616.]
- 李蓓蓓, 方修琦, 叶瑜, 等. 2010. 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[J]. 中国科学: 地球科学, 40(8): 1048-1059. [Li B B, Fang X Q, Ye Y, et al. 2010. Accuracy assessment of global historical cropland datasets based on regional reconstructed historical data: a case study in Northeast China[J]. Science China: Earth Science, 40(8): 1048-1059.]
- 李东明, 郭正刚, 安黎哲. 2008. 青藏高原多年冻土区不同草地生态系统恢复能力评价[J]. 应用生态学报, 19(10): 2180-2188. [Li D M, Guo Z G, An L Z. 2008. A assessment on vegetation restoration capacity of several grassland ecosystems under destroyed disturbance in perm a frost regions of Qinghai-Tibet Plateau[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 19(10): 2180-2188.]
- 李柯, 何凡能, 张学珍. 2011. 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[J]. 地理研究, 30(12): 2281-2288. [Li K, He F N, Zhang X Z. 2011. 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[J]. Geographical Research, 30(12): 2281-2288.]
- 李明森. 1978. 西藏土地资源概况[J]. 自然资源, (2): 27-29, 31-42. [Li M S. 1978. Tibet land resource survey[J]. Natural Resources, (2): 27-29, 31-42.]
- 李士成, 何凡能, 陈屹松. 2012. 清代西南地区耕地空间格局网格化重建[J]. 地理科学进展, 31(9): 1196-1203. [Li S C, He F N, Chen Y S. 2012. Gridding reconstruction of cropland spatial patterns in Southwest China in the Qing Dynasty[J]. Progress in Geogrephy, 31(9): 1196-1203.]
- 李秀彬. 1996. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 51(6): 553-558. [Li X B. 1996. A review of the international researches on land use/land cover change[J]. Acta Geographica Sinica, 51(6): 553-558.]
- 林珊珊, 郑景云, 何凡能. 2008. 中国传统农区历史耕地数据网格化方法[J]. 地理学报, 63(1): 83-92. [Lin S S, Zheng J Y, He F N. 2008. The approach for gridding data derived from historical cropland records of the traditional cultivated region in China[J]. Acta Geographic Sinica, 63(1): 83-92.]
- 罗静, 张懿锶, 刘峰贵, 等. 2014. 青藏高原东北部河湟谷地1726年耕地格局重建[J]. 地理研究, 33(7): 95-106. [Luo J, Zhang Y L, Liu F G, et al. 2014. Reconstruction of cropland spatial patterns in Hehuang Valley in the northeast Qinghai-Tibet Plateau in 1726[J]. Geographical Research, 33(7): 95-106.]
- 马礼, 唐毅, 牛东宇. 2008. 北方农牧交错带耕地面积变化驱动力研究: 以沽源县近15年为例[J]. 人文地理, (5): 17-21. [Ma L, Tang Y, Niu D Y. 2008. Driving forces of cultivated land change in transitional area between pastoral and agricultural: a case of cultivated land change of Guyun County in the last 15 years[J]. Human Geography, (5): 17-21.]
- 丘宝剑, 卢其尧. 1980. 中国农业气候区划试论[J]. 地理学报, 35(2): 116-125. [Qiu B J, Lu Q X. 1980. A Tentative regionalization of agro-climatic of China[J]. Acta Geographica Sinica, 35(2): 116-125.]
- 石瑞香, 康慕谊. 2000. NECT上农牧交错区耕地变化及其驱动力分析[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 36(5): 700-705. [Shi R X, Kang M Y. 2000. Arable land change and its driving factor analysis in the transitional area between pastoral and agricultural regions along NECT[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 36(5): 700-705.]
- 孙颖, 石玉林. 2003. 中国农业土地利用[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 3-84. [Sun H, Shi Y L. Agricultural land use in China[M]. Nanjing: China: Jiangsu Science and Tech-

- nology Press: 3-84.]
- 吴存浩. 1996. 中国农业史(第一卷)[M]. 北京: 警官教育出版社. [Wu C H. 1996. Chinese Agricultural History (Volume I) [M]. Beijing: China: Police Education Press.]
- 吴学明. 1997. 青藏高原扁蓍、车前叶绿体超微结构研究[J]. 西北植物学报, 17(4): 551-555. [Wu X M. 1997. The study of ultrastructure of chloroplast on *polygonum aviculare* and *plantago asiatica* at Qinghai-Tibet Plateau[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 17(4): 551-555.]
- 姚檀栋, 刘晓东, 王宁练. 2000. 青藏高原地区的气候变化幅度问题[J]. 科学通报, 45(1): 98-106. [Yao T D, Liu X D, Wang N L. 2000. Amplitude of climatic change in Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Chinese Science Bulletin, 45(1): 98-106.]
- 曾永年, 靳文凭, 何丽丽, 等. 2012. 青海高原东部农业区土地利用遥感分类制图[J]. 农业工程学报, 28(16): 225-231. [Zeng Y N, Jin W P, He L L, et al. 2012. Land use mapping using remote sensing for eastern part of Qinghai Plateau[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 28(16): 225-231.]
- 曾早早, 方修琦, 叶瑜. 2011. 基于聚落地名记录的过去300年吉林土地开垦过程[J]. 地理学报, 66(7): 985-993. [Zeng Z Z, Fang X Q, Ye Y. 2011. The process of land cultivation based on settlement names in Jilin Province in the past 300 years[J]. Acta Geographica Sinica, 66(7): 985-993.]
- 张文江, 高志强. 2006. 青藏高原中东部水热条件与NDVI的空间分布格局[J]. 地理研究, 25(5): 877-886. [Zhang W J, Gao Z Q. 2006. Spatial variation of water/thermal elements and NDVI with altitudes in central and eastern the Tibetan-Plateau[J]. Geographical Research, 25(5): 877-886]
- 张雪芹, 葛全胜. 2002. 青藏高原土地利用结构、特征及合理开发战略[J]. 中国农业资源与区划, 23(1): 17-22. [Zhang X Q, Ge Q S. 2002. The structure, characteristics of land use in the Tibetan Plateau and its rationed development strategy[J]. Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning, 23(1): 17-22.]
- 张懿铨, 李炳元, 郑度. 2002. 论青藏高原范围与面积[J]. 地理研究, 21(1): 1-8. [Zhang Y L, Li B Y, Zheng D. 2002. A discussion on the boundary and area of the Tibetan-Plateau in China[J]. Geographical Research, 21(1): 1-8.]
- 赵延洽, 程宏, 王贵勇, 等. 2003. 高寒地区土地利用与覆盖变化初步研究: 以西藏自治区拉孜县为例[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 39(2): 261-267. [Zhao Y Z, Cheng H, Wang G Y, et al. 2003. Preliminary study of land-use and land-cover change in high frigid region: Tibet Autonomous Region Lazi County as an example[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 39(2): 261-267.]
- 郑度, 杨勤业, 刘燕华. 1985. 中国的青藏高原[M]. 北京: 科学出版社. [Zheng D, Yang Q Y, Liu Y H. 1985. Zhongguo de qingzang gaoyuan[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 1984. 西藏气候[M]. 北京: 科学出版社, 90-132, 212-221. [Tibetan-Plateau Scientific Expedition Team of Chinese Academy of Sciences. 1984. Tibet Climates[M]. Beijing, China: Science Press, 90-132, 212-221.]
- 朱枫, 崔雪峰, 缪丽娟. 2012. 中国历史时期土地利用数据集的重建方法评述[J]. 地理科学进展, 31(12): 1563-1573. [Zhu F, Cui X F, Miao L J. 2012. China's spatially-explicit historical land-use data and its reconstruction methodology[J]. Progress in Geogrophy, 31(12): 1563-1573.]
- Feddema J, Oleson K, Bonan G, et al. 2005. A comparison of a GCM response to historical anthropogenic land cover change and model sensitivity to uncertainty in present-day land covers representation[J]. Climate Dynamics, 25: 581-609.
- Foley J A, De Fries R, Asner G P, et al. 2005. Global consequences of land use[J]. Science, 309: 570-574.
- IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Klein Goldewijk K. 2001. Estimating global land use change over the past 300 years: the HYDE database[J]. Global Biogeochemical Cycles, 15(2): 417-433.
- Klein Goldewijk K, Beusen A, Van Dreht G, et al. 2011. The HYDE 3.1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12000 years[J]. Global Ecology and Biogeography, 20(1): 73-86.
- Klein Goldewijk K, Ramankutty N. 2004. Land covers change over the last three centuries due to human activities: the availability of new global data sets[J]. The Geographical Journal, 61: 335-344.
- Kocabas Z, Craigon J, Azam-Ali SN. 1999 The germination response of Bambara groundnut (*Vigna Subterranean* (L.) Verdc) to temperature[J]. Seed Science and Technology, 27: 303-313.
- Li Q P, Ding Y H, Dong W J. 2006. A numerical simulation on impact of historical land-change on regional climate in China since 1700[J]. Acta Meteorological Sinica, 64(3): 257-270.
- Liu M L, Tian H Q. 2010. China's land cover and land use change from 1700 to 2005: estimations from high-resolution satellite data and historical archives[J]. Global Biogeochemical Cycles, 24: GB3003, doi: 10.1029/2009GB003687.
- LUCC Scientific Steering Committee. Sep., 2005. Key findings of LUCC on its research questions[J/OL]. Global change newsletter no. 63: 12-14. [2014-08-10]. <http://www.igbp.net/download/18.316f18321323470177580001>

- 409/1376383095718/NL63.pdf.
- Nyachiro J M, Clarke F R, Depauw R M, et al. 2002. Temperature effects on seed germination and expression of seed dormancy in wheat[J]. *Euphytica*, 126: 123-127.
- Pongratz J, Reick C, Raddatz T, et al. 2008. A reconstruction of global agricultural areas and land cover for the last millennium[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(3): 1-16.
- Ramankutty N, Foley J A. 1999. Estimating historical changes in global land cover: croplands from 1700 to 1992[J]. *Global Biogeochemical Cycle*, 13: 997-1027.
- Steffen W, Sanderson, Tyson P D, et al. 2004. Global change and the earth system: a planet under press[J]. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Turner B L, Skole D, Sanderson S, et al. 1995. Land-use and land-cover change: science/research plan. Joint publication of the international geosphere-biosphere programme (Report No. 35) and the Human dimensions of global environmental change programme (Report No. 7)[R]. Stockholm: Royal Swedish Academy of Sciences.
- Voldoire A, Eickhout B, Michele S, et al. 2007. Climate simulation of the twenty-first century with interactive land-use change[J]. *Climate Dynamics*, 29: 177-193.

Methods for reconstructing historical cropland spatial distribution of the Yellow River–Huangshui River valley in Tibetan Plateau

LUO Jing¹, CHEN Qiong¹, LIU Fenggui^{1,2}, ZHANG Yili², ZHOU Qiang¹

(1. College of Life and Geographical Science, Qinghai Normal University, Xining 810008, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Land use/cover change (LUCC) caused by human activities is not only one of the main causes that change the earth's natural ecosystem, but also one of the important factors that affect regional and global climate change. Thus it has become one of the core areas of the global environment change research. In recent years, research on reconstructing historical cropland spatial distribution has made important progress. Tibetan Plateau is an area that is fragile and sensitive to global climate change, particularly its river valleys. Analyzing historical land use/cover change of valleys on the Tibetan Plateau is of great significance to the understanding of regional and global environmental change. Existing research on land use/land cover change, however, rarely involves this region, due to the lack of historical data. This article attempts to fill this gap by exploring historical land use/cover change in the region. The vast Tibetan Plateau has a high altitude and cold climate, and is regarded as "the third pole of the earth," due to its special geographical position. Arable land area of the plateau is small although the total land area is large. The development of agriculture is restricted by the harsh natural environment. On the plateau weather condition in general is poor, but some valleys in the interior of the plateau have relatively low altitude and slope and high temperature and fertile soil, so the cultivated land is mainly distributed in these valleys. The role of human factors on the distribution of cropland is very weak, especially in the historical period when agricultural productivity was low. Cropland distribution mainly depends on the suitability of land for reclamation, which is affected by a variety of natural environmental conditions. In this study, we first analyzed the relationship between environmental factors and the distribution of cultivated land in the Tibetan Plateau. We then divided the factors into limiting and non-limiting factor groups, and eliminated the areas that is not suitable for farming, and then distributed the cultivated land data based on suitability using a composite model. We reconstructed the cropland spatial distribution of the Yellow River-Huangshui River Valley in 1726 by using this method. The results show that this method is suitable for reconstructing historical cropland spatial distribution where agricultural productivity was low and the natural environment conditions strongly limited the development of agriculture.

Key words: Tibetan Plateau; valley agriculture; cropland spatial distribution; the grid model; Yellow River-Huangshui River Valley