

过去百年青海和西藏耕地空间格局 重建及其时空变化

李士成^{1,2,3}, 张镱锂^{1,2}, 何凡能¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心, 北京 100101; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 网格化的历史土地利用/覆被数据集, 可为历史气候变化和碳循环研究提供基础数据。本文估算了1910年, 并订正了1950-2000年青海和西藏的省域耕地面积数据; 基于现代耕地空间格局, 量化了海拔高程和地面坡度与耕地空间分布之间的关系, 构建了历史耕地网格化重建模型。将1910、1960、1980和2000年的省域耕地面积数据带入网格化重建模型, 得到了4个时间断面的耕地空间格局。结果表明: 青藏两省耕地面积1910-1950年稳定, 1950-1980年快速增加, 1980-2000年基本稳定, 略有降低。就空间格局而言, 1960-1980年, 河湟谷地和“一江两河”地区土地开垦范围的扩张和垦殖强度的增长在过去百年最为明显。模型检验表明, 模型重建的2000年耕地空间格局与2000年遥感数据相关系数达0.92。

关 键 词: 耕地; 估算与订正; 网格化重建; 过去百年; 青海和西藏

1 引言

土地利用与土地覆被变化(Land Use and Land Cover Change, LUCC)是全球变化研究的热点之一(李秀彬, 1996; Foley et al, 2005)。为了揭示人类长期土地利用活动对全球变化的影响, 长时间尺度LUCC重建得到了广泛重视(Thompson, 2000; Ellis et al, 2013)。历史LUCC数据集不仅能揭示过去人类土地利用活动情况, 也可用于长时间尺度气候变化模拟和碳排放等研究(Brovkin et al, 2004; He et al, 2014)。然而, 基于历史文献考订获得的以政区为单位的重建结果(Ge et al, 2008; He et al, 2008; 曹雪等, 2014)无法与现代基于遥感手段获取的自然资源及生态环境数据进行空间匹配, 不能用于模型进行土地利用的气候和生态效应的模拟研究。因此, 网格化重建历史LUCC便成为当前一个研究热点(朱枫等, 2012; Miao et al, 2013)。

在该领域较具有代表性的成果为全球历史环境数据集(History Database of the Global Environment, HYDE)(Klein Goldewijk et al, 2011)和全球土地利用数据集(Center for Sustainability and the Global Environment- Global Land Use Dataset, SAGE)(Ramankutty et al, 1999; Ramankutty, 2011)。在全球变化领域, 这两个数据集已得到了广泛的应用(Pitman et al, 2011; He et al, 2014)。此外, 全球或大陆尺度上的网格化重建研究还有: 全球过去1000年农用地数据集(Pongratz et al, 2008), 欧洲过去3000年毁林数据集(Kaplan et al, 2009), 全球1901-2005年耕地和牧草地数据集(Meiyappan et al, 2014), 印度1880-2010年耕地、森林、草地、城镇建设用地数据集(Tian et al, 2014), 巴西1940-1995年土地利用数据集(Leite et al, 2012)等。这些研究为该领域的开拓和发展作出了卓越贡献, 但目前仍存在大量的工作需要完成, 例如, 上述数据集的时空

收稿日期: 2014-08; 修订日期: 2014-10。

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDB03030500); 国家自然科学基金项目(41371120, 41271227)。

作者简介: 李士成(1989-), 男, 山东费县人, 博士生, 主要从事土地利用与土地覆被变化研究, E-mail: lisc.10s@igsnr.ac.cn。

通讯作者: 张镱锂(1962-), 男, 吉林人, 研究员, 博士生导师, 主要从事综合自然地理/生物地理和土地变化研究,

E-mail: zhangyl@igsnr.ac.cn。

引用格式: 李士成, 张镱锂, 何凡能. 2015. 过去百年青海和西藏耕地空间格局重建及其时空变化[J]. 地理科学进展, 34(2): 197-206. [Li S C, Zhang Y L, He F N. 2015. Reconstruction of cropland distribution in Qinghai and Tibet for the past one hundred years and its spatiotemporal changes[J]. Progress in Geography, 34(2): 197-206.]. DOI: 10.11820/dlkxjz.2015.02.008

分辨率均较低(最高为5'或者10 km),不能满足LUCC效应模拟研究的需求。相关评估也表明,上述全球数据集的中国部分准确性较低(Li et al, 2010; He et al, 2013; Zhang et al, 2013)。

依据重建方法的不同,可将历史LUCC网格化重建研究分为以下3类。一是通过遴选影响土地利用的自然和人文因子,构建空间分配模型。比如将地形、人口与耕地空间分布之间的关系量化,重建了清代1820年中国传统农区60 km分辨率的耕地空间格局(Lin et al, 2009)。二是假设历史土地覆盖空间格局与现代一致,以收集的历史时期基于政区的各类土地覆盖面积为数量限制,回溯历史土地覆盖空间格局。该方法被用来重建中国过去300年10 km分辨率的耕地、森林和城镇建设用地(Liu et al, 2010)。三是将上述两种方法结合来网格化重建历史土地覆盖空间格局,也得到部分学者的青睐。例如, HYDE数据集结合现代遥感数据,并遴选人口、地形、气候等6个因子构建了全球历史耕地分配模型(Klein Goldewijk et al, 2011)。

青藏高原是全球变化的敏感区,对其过去近百年耕地空间格局重建,不仅可为全球气候变化和碳循环研究提供基础数据,也有助于揭示高海拔地区的人地关系,为区域可持续发展提供理论依据。青藏高原在行政区划上包括西藏自治区和青海省的全部,以及云南省、四川省、新疆维吾尔自治区、甘肃省的部分地区(张懿铨等, 2002)。涉及青藏高原区域历史土地利用的研究成果大多是低空间分辨率,例如,0.5°(Pongratz et al, 2008)、5'(Klein Goldewijk et al, 2011)或10 km(Liu et al, 2010)。近期才

有基于县域耕地面积数据重建的2 km分辨率青海省河湟谷地1726年耕地空间分布图(罗静等, 2014)。就青藏高原全区而言,目前还没有覆盖长时段、高空间分辨率的耕地数据集。历史耕地数据多以政区为统计单位,因此,本文以青海省和西藏自治区为研究区(以下简称“青藏地区”,图1),基于现代统计和调查数据,并以历史人口数据为代用资料,估算和订正了青藏地区过去百年的耕地面积。其次,结合青藏地区过去百年耕地面积总体持续增加的特点,以海拔高程和地面坡度为权重,构建了将省域耕地面积分配至1 km网格中的模型;并运用该模型,重现了青藏地区1910、1960、1980和2000年耕地的空间格局。

2 数据与处理

2.1 1900-1949年

1900-1949年青藏地区耕地面积数据缺失,本文拟以清民时期的人口数据为代用资料,假设20世纪初至建国初期人均耕地面积不变,对该时段中1910年青海和西藏的耕地面积进行估算。

清民时期人口资料引自曹树基(2001)所著《中国人口史:清时期》。该书根据《清实录》、嘉庆《大清一统志》等官修史书和清人笔记、地方志及档案资料,研究了清代的户口制度、各省府级人口数量、边疆地区汉族与少数民族人口数量、人口增长率、人口分布与迁移,以及战争、瘟疫、灾荒对人口的影响等一系列重要问题。通过对大量户口资料的考订,曹树基(2001)全面复原了宣统二年(1910年)全

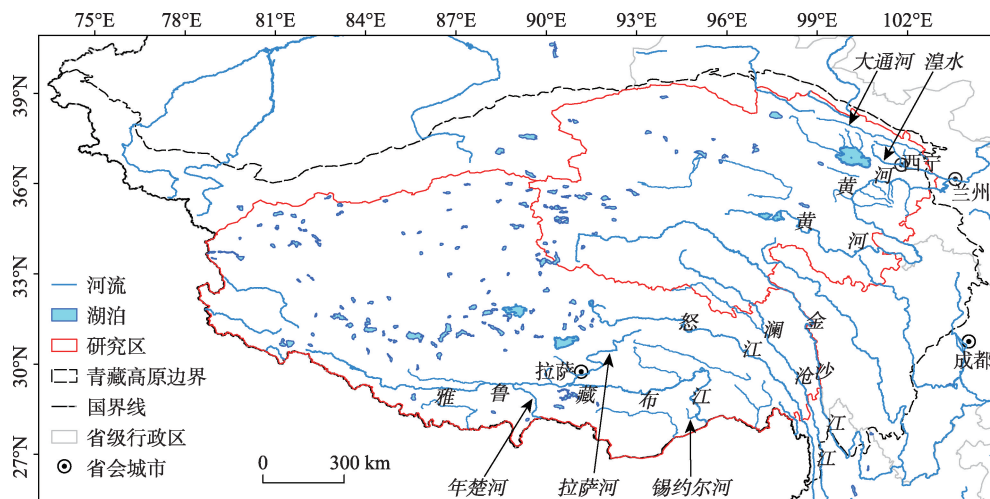


图1 研究区示意图(青藏高原边界线数据引自(Zhang et al, 2014))

Fig.1 Location of the study area (the boundary of the Tibetan Plateau is based on Zhang et al (2014))

国各省府级人口数据,并与1953年相同政区中的人口数量进行比较。青海省1910年人口约为34.4万,1953年约为36.7万;西藏自治区1910年约为131.2万,1953年约为137.4万(曹树基,2001)。

为了厘定农业税,1951-1953年全国开展了查田定产工作。此次查田定产工作组织严密,标准统一,就当时的技术条件而言,精度较高,其汇总的耕地面积在1953年的统计资料中得到真实的反映,因此,将1953年耕地面积除以1953年的人口数量,得到建国初期的人均耕地面积。20世纪上半叶青藏地区农业技术和生产力没有显著的进步,因此,本文假定在1910-1953年青海和西藏两省区的人均耕地面积不变,以宣统二年(1910年)人口数据为代用资料,估算1910年的耕地面积,结果见表1。

需要指出的是,1910年青海还未设省,其政区范围与建国以后的政区范围不同(谭其骧,1987)。但《中国人口史:清时期》在估算1910年人口数据时,将1953年县级数据按照清代的府级政区进行组合,以达到政区比较的前后一致。因此1910年人口数据与1953年数据是可比的,可直接使用。

2.2 1950-2000年

建国以来的耕地数据有统计数据 and 国土资源部调查数据两个来源。前者覆盖时间序列最长(从1949年至今);后者指国土资源部(1997年以前为国家土地管理局)从1987年开始公布的耕地数量增减数据和其他“普查”、“概查”、“详查”数据等。国内外许多学者认为,覆盖时间序列最长的统计数据的可信度存在很大问题(Crook, 1993; Frolking et al, 2002)。封志明等(2005)基于1949年以来中国不同的历史阶段,对耕地数据进行了系统分析,认为建国初期1949-1960年统计数据基本能够反映中国耕地资源的数量与变化趋势;1960-1978年的统计数据与实有耕地面积存在较大差距;改革开放后至今,

国土资源部从1987年开始公布的耕地面积增加数据基本能反映中国耕地变化的真实态势。封志明等(2005)对统计数据与真实情况有差异的1960-1978年的耕地数据进行了重建,并与其他时段数据能很好的衔接,其数据整体较客观地反映了1949年以来中国耕地资源数量的变化趋势与动态特征。

综上,对于建国以来青藏地区的耕地数据选取如下(表1):

(1) 1949-1960年和1997-2000年。采用统计数据(中华人民共和国国家统计局,2009)。

(2) 1961-1985年。采用封志明等(2005)利用粮食产量和耕地面积相关性重建全国尺度耕地面积的方法,订正该时期青海和西藏省域耕地面积统计数据。其中1961-1978年耕地面积采用同期粮食产量和1949-1960年粮食产量和耕地面积的相关系数0.879进行模拟;1979-1985年耕地面积采用同期粮食产量和1986-1995年粮食产量和耕地面积的相关系数0.829进行模拟。

(3) 1986-1996年。1996年采用全国土地利用详查数据,并以该数据为基数,利用国土资源部从1987年开始公布的中国耕地面积增减的统计资料反推1986-1995年数据^①。

建国以来每10年为一个时间断面,耕地面积数据如表1所示。1900-1949年和1950-2000年两个时段的数据,均是以耕地统计或者调查资料为基准进行估算、甄别和订正得到的,可互相衔接。

3 网格化重建模型与检验

3.1 模型构建

耕地的空间分布受气候、地形、河流等自然因子和人口、政策等社会因子的双重影响。但不同的时空尺度,影响耕地分布的主导因子不同。全球数据集HYDE 3.1将地形、人口、距河流远近、土壤、气候、现代遥感耕地空间格局等6个因子纳入耕地空间分配模型(Klein Goldewijk et al, 2011)。但相关评估表明, HYDE数据集中国部分的耕地过多地分布在沿河地区,其空间变化与中国土地垦殖历史并不相符(Li et al, 2010; Zhang et al, 2013)。Lin等(2009)在重建中国传统农区清代1820年60 km分辨率耕地空间格局时,将坡度和人口密度综合,构建了垦殖倾向模型。在重建中国西南地区10 km分辨率耕

表1 1910-2000年青海省和西藏自治区耕地面积/km²

Tab.1 Cropland area of Qinghai and Tibet, 1910-2000/km²

年份	1910 ^a	1950 ^b	1960 ^b	1970 ^c	1980 ^c	1990 ^c	2000 ^b
青海	4467	4527	5530	6921	6850	6739	6875
西藏	1560	1620	1852	2631	3733	3681	3667
全区	6027	6147	7382	9552	10583	10420	10541

注: a: 依据人口数据估算而得; b: 直接引自统计数据; c: 基于统计数据 and 调查数据, 进行订正而得。

①数据来自全国农业资源区划办公室1997年编写的《中国农用土地资源十年变化分析评价》。

地空间数据集时,李士成等(2012)通过分析论证,将地形因子(含海拔高程和地面坡度)、气候生产潜力、人口密度纳入土地宜垦性模型。由于青藏地区1 km分辨率历史人口数据的缺失,上述垦殖倾向模型或土地宜垦性模型无法应用于青藏地区。但仔细分析可发现,对青藏地区而言,气候空间分异、河流分布在很大程度上受到地形的影响,因此它们对耕地空间分布的影响已包含在地形因子中。青藏地区历史时期人口非常稀少,且多数分布在地势较平坦、气候相对适宜的河谷地区。换言之,人口分布很大程度上受地形的限制。政策的作用主体是人口,而人口分布和活动范围受到地形的限制,因此政策的作用也可通过地形来表达。综上,就本文研究区——青藏地区而言,地形是影响耕地分布的主导因子。因此本文通过量化地形与耕地空间分布间的关系,构建了历史耕地网格化重建模型。

海拔越高、地面坡度越大,自然条件越恶劣,耕地分布的可能性越低。本文将海拔高程 D 和地面坡度 S 两个因子归一化处理如下:

$$D'(i, k_n) = \frac{\text{Max}[D(i, k_n)] - D(i, k_n)}{\text{Max}[D(i, k_n)]} \quad (1)$$

$$S'(i, k_n) = \frac{\text{Max}[S(i, k_n)] - S(i, k_n)}{\text{Max}[S(i, k_n)]} \quad (2)$$

式中: $D(i, k_n)$, $S(i, k_n)$ 分别为 k_n 省网格 i 的海拔高度和地面坡度; $\text{Max}[D(i, k_n)]$, $\text{Max}[S(i, k_n)]$ 分别为 k_n 省网格尺度上海拔高度和地面坡度的最大值; $D'(i, k_n)$, $S'(i, k_n)$ 分别为 k_n 省网格 i 归一化后的海拔高度和地面坡度,取值范围为[0,1]。

将上述两因子等权重相乘,获得在1 km网格尺度上耕地分布的可能性 $W_{\text{suit}}(i, k_n)$

$$W_{\text{suit}}(i, k_n) = D'(i, k_n) \times S'(i, k_n) \quad (3)$$

从百年尺度上来看,随着人口的不断增加,青藏地区的耕地面积也逐渐增加。因此,历史时期的耕地面积数量和分布范围不会超过现代耕地数量和分布范围的最大值。基于此,假设现代遥感观测到的耕地空间分布范围 $W_{\text{crop}}(i, k_n)$ 为历史耕地的最大分布范围。历史耕地网格化重建模型如式(4)所示。

$$\text{Crop}(i, t) = \text{area}(k_n, t) \times \frac{W_{\text{crop}}(i, k_n) \times W_{\text{suit}}(i, k_n)}{\sum_i [W_{\text{crop}}(i, k_n) \times W_{\text{suit}}(i, k_n)]} \quad (4)$$

式中: $\text{area}(k_n, t)$ 为 k_n 省 t 年的耕地面积, $W_{\text{crop}}(i, k_n)$ 为历史耕地的最大分布范围, $\text{Crop}(i, t)$ 为网格 i 在 t 年的耕地面积。

海拔高度数据采用1 km分辨率的DEM数据,地面坡度可运用ArcGIS软件,从DEM数据中提取并矫正。建国以来,1980s年代中国耕地面积最大,之后开始缓慢减少(封志明等, 2005)。据此,我们采用1 km分辨率1980s年代遥感数据(地球系统科学数据共享平台 <http://www.geodata.cn/>)来表示耕地的最大分布范围。考虑到青藏高原地区的耕地主要沿青海省黄河和湟水的河谷地带以及雅鲁藏布江及其支流拉萨河与年楚河等狭长的河谷地带分布,河谷宽度为1~4 km不等,且上述DEM、遥感土地利用数据的分辨率均为1 km,因此,本文将重建网格大小暂设定为1 km。

3.2 模型检验

用本文构建的模型网格化分配2000年省域耕地面积遥感数据(西藏耕地面积约4718 km²,青海约8217 km²),并将分配结果和同期遥感耕地空间格局进行对比(图2),通过分析两者的差异来检验模型的可行性和合理性(何凡能等, 2014)。

从图2可知,网格化重建结果(图2a)和遥感数据(图2b)在整体上较为接近,两者绝对差异(图2c)主要分布在-10%~10%之间,绝对差异为0的网格占比达24.23%。但在西藏年楚河流域和雅鲁藏布江的子流域锡约尔河流域绝对误差较大。模型重建结果在年楚河流域偏低,而在锡约尔河流域偏高,主要是因为年楚河流域位于珠峰北坡,而近于南北向的锡约尔河地处藏东南地区,前者海拔较高、坡度较陡,后者则相对海拔较低、坡度较缓。而本文只考虑海拔高程和地面坡度的重建模型使得年楚河流域耕地分布可能性偏低,而锡约尔河流域的可能性则偏高。

为了进一步定量分析重建结果的不确定性,本文作了散点图和绝对差异的直方图(图3)。从散点图看出,重建数据和遥感数据整体较为接近,两者的相关系数达到0.92。但从“ $y=x$ ”线和散点的拟合线可看出,在耕地面积较小区域的网格,重建结果略偏高;而在耕地面积较大区域的网格,重建数据略偏低。从绝对差异的直方图可看出,绝对差异服从正态分布,其值分布在-10%~10%之间的网格占比达73.29%;绝对差异较大、大于40%的网格占比

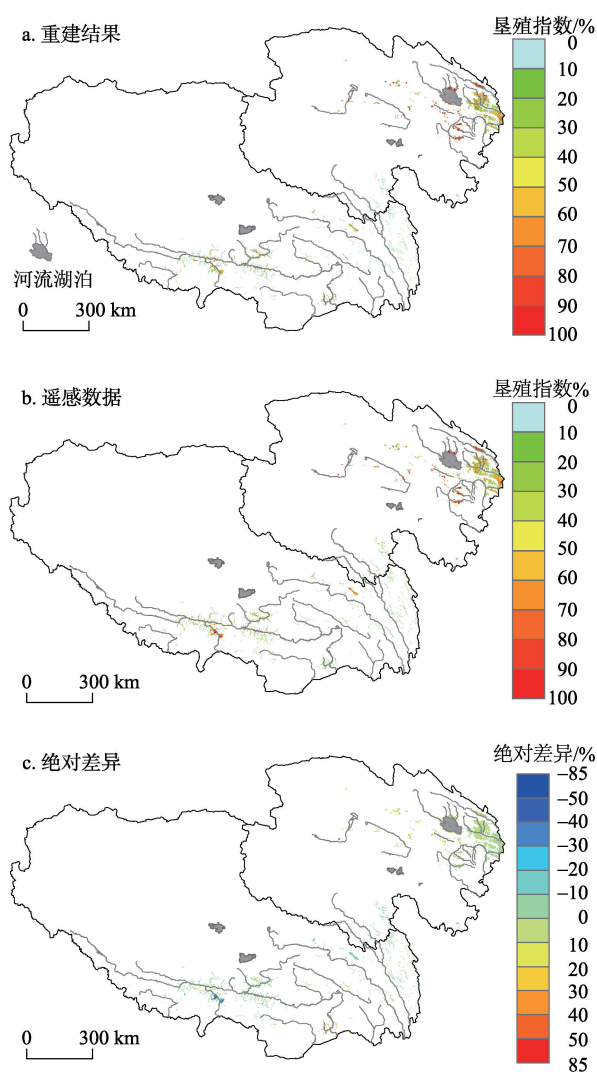


图2 2000年耕地分布的网格化重建结果与遥感数据对比
Fig.2 Comparison between the reconstruction of this study and satellite-observed data of 2000

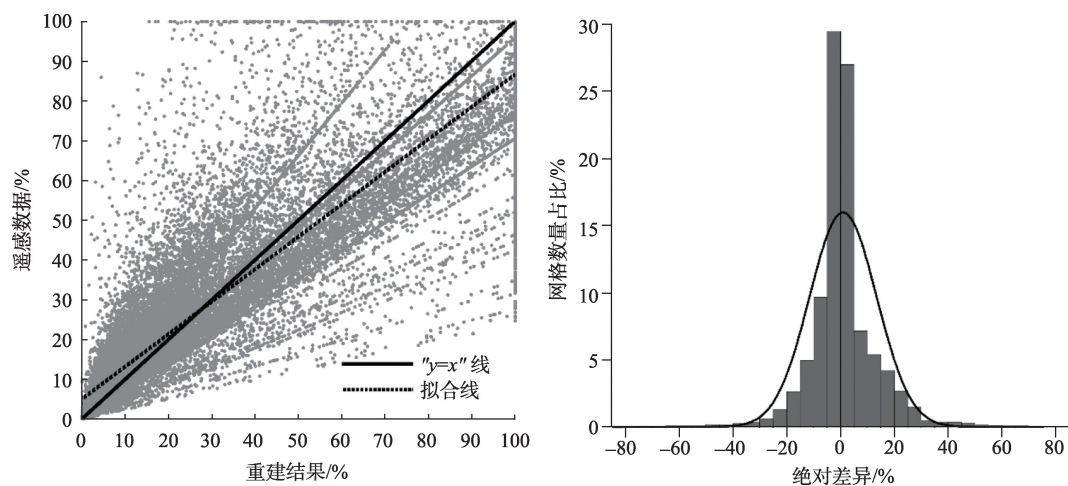


图3 2000年耕地分布的网格化重建结果与遥感数据散点图和绝对差异直方图

Fig.3 Scatterplot of the reconstruction of this study and satellite-observed data and histogram of absolute difference of 2000

仅1.94%(表2)。

上述检验表明,整体来看,本文构建的耕地网格化重建模型能够较好的重现青藏地区耕地的空间格局,可用于青藏地区历史耕地的网格化重建。将1910、1960、1980和2000年共4个时间断面的省域耕地面积数据带入上述耕地网格化重建模型,得到4个断面1 km×1 km分辨率的耕地空间格局(图4)。

4 结果分析与对比

4.1 空间格局变化

从图4整体来看,1910-2000年,青藏地区耕地空间分布呈扩张趋势,且土地垦殖强度显著增强;耕地主要分布在青海省东部黄河和湟水流域地区(以下简称“河湟谷地”)以及雅鲁藏布江及其支流年楚河与拉萨河河谷地区(以下简称“一江两河”)。

1910年,耕地主要分布在河湟谷地,包括湟水河流域地区、大通河中游地区、青海湖周边,以及黄河上游的子流域(茫拉河和巴沟流域)等(图4a)。而在“一江两河”地区,耕地仅有少量分布。到1960年,河湟谷地地区耕地的分布范围与1910年相比有所扩展,且垦殖程度增强,有一半以上网格的垦殖率提高5%以上;而西藏“一江两河”地区耕地分布范围变化不明显,垦殖强度在干流河谷的周边地区略有提高,提高幅度多在5%以下(图4b)。整体来看,青藏农垦区全区1910-1960年垦殖指数提高约为3%。

1960-1980年,河湟谷地地区耕地分布变化延续上一阶段的趋势,分布范围继续在原垦殖区周边

表2 网格化重建结果与遥感数据绝对差异分区统计

差异区间/%	≤-40	-40~-20	-20~-10	-10~0	0~10	10~20	20~40	> 40
网格占比/%	0.74	2.58	7.58	39.14	34.15	9.61	4.99	1.20

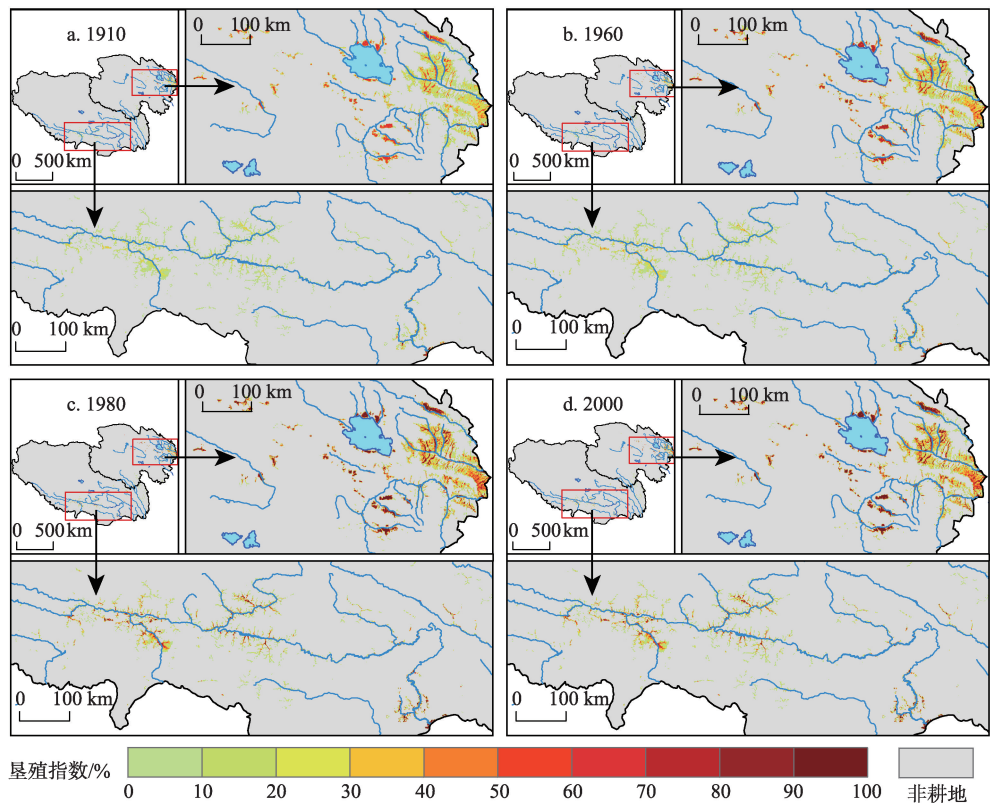


图4 1910、1960、1980和2000年青海和西藏1 km×1 km耕地空间格局

Fig. 4 Spatial patterns of cropland in Qinghai and Tibet at 1 km×1 km resolution in 1910, 1960, 1980, and 2000

逐渐扩张,但不明显;而垦殖强度明显增加,多数网格垦殖指数提高了10%~20%。在该时段,“一江两河”地区土地垦殖程度显著增强,特别是在雅江干流河谷地区、年楚河流域、拉萨河流域以及锡约尔河流域附近更为明显,其中年楚河流域农垦区近一半网格垦殖指数提高幅度在30%以上(图4c)。与1910-1960年不同,1960-1980年时段“一江两河”地区垦殖指数提高的幅度明显高于“河湟谷地”地区,平均高出约10%。

2000年青藏地区耕地的空间格局与垦殖强度(图4d)与1980年相比,变化不甚明显。河湟谷地垦殖强度基本不变,垦殖指数提高在0.5%以下;而“一江两河”地区部分网格垦殖强度则略有降低,降幅为0.5%~1%,可能与1980s年代以来国家在该地区不断实施退耕还林还草以及其他生态建设等政策相关。

4.2 空间模拟结果对比分析

为了进一步明确本文重建结果的准确性和构建方法的合理性,我们将本文1910年重建结果与前人的重建结果进行空间对比,如图5所示。罗静等(2014)仅重建了青海河湟谷地地区1726年耕地空间格局(图5b),因此本文仅提取重建结果中同一区域的数据(图5a)与其进行对比。图5c是在现代耕地空间格局基础上,将海拔高程、地面坡度和气候生产潜力纳入土地宜垦性模型,网格化重建的10 km分辨率的耕地空间格局(Li et al, 2015)。由于上述3个用于对比的数据集的空间分辨率,以及所代表的重建时点均不一致,所以不能进行直接空间定量对比。但从图5可看出,本文重建耕地空间格局(图5a)与图5b和图5c具有较好的一致性,主要的农垦区均分布在湟水流域和黄河流域。此外,本文以地面坡度和海拔高程为指标将3个数据集分别进行分

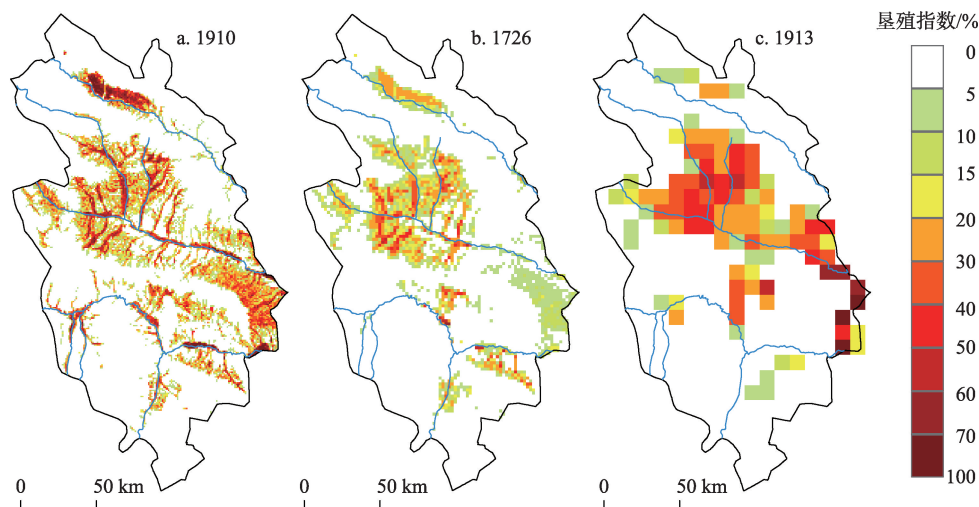


图5 不同空间尺度河湟谷地历史耕地空间格局对比(数据集来源:a,本文;b,罗静等(2014);c,Li等(2015))

Fig.5 Comparison of historical cropland spatial patterns in the Yellow River-Huangshui River Valley
(data sources: a, this study; b, Luo et al (2014); c, Li et al (2015))

级统计,通过比较各数据集在各个坡度级别和海拔高程级别耕地面积的相对占比来大致说明本文重建结果的合理性(表3)。从表3可看出,3个数据集在各个坡度级别耕地面积占比较为接近。耕地均主要分布在地面坡度小于6°的地区,特别是2°~6°的地区,耕地面积占比均在60%左右;而在地面较陡(坡度>15°)的地区,耕地分布均较少,面积占比都在0.5%以下。就不同的海拔高程而言,3个数据集在各个高程级别耕地面积占比也较为接近,耕地均主要分布海拔3 km以下的地区,特别是海拔在2~3 km之间的地区,耕地面积占比最少也近70%;而在海拔大于4 km的地区,3个数据集均几乎没有耕地分布。此外,不论是坡度分级,还是海拔分级,本文重建结果与罗静等(2014)重建结果更为接近,各个级别耕地面积占比差异均较小。这可能是由于10 km数据集是以全国为研究区,分辨率较低所致。上述对比结果表明,本文重建结果与前人重建结果具有较好的空间一致性。

从3个数据集的重建方法和使用的源数据来看

(表3),罗静等(2014)采用的模型涵盖了海拔高程、地面坡度、气候、人口分布等4个因子,输入的源数据是县域(河湟谷地县域平均面积为0.24万km²)分辨率数据;Li等(2015)的模型考虑了海拔高程、地面坡度、气候3个因子,输入的源数据为省域(青海省国土面积约为72.23万km²)数据;而本文的重建方法仅考虑了海拔高程和地面坡度2个因子,输入的源数据也为省域数据,但却得到了与前两个数据集具有相当精度、且更高分辨率的重建结果。因此,相比较而言,本文构建的分配模型在青藏地区具有更广泛的适用性和易操作性,特别是在缺少高分辨率人口和耕地数据的历史时期。

5 结论与讨论

通过估算、订正和引用相关统计和调查数据,本文得到了青藏地区1910-2000年耕地面积变化序列。同时,假设历史时期耕地分布范围不会超出现代耕地空间分布范围,遴选量化了海拔高程和地面

表3 3个数据集重建模型涵盖因子、数据来源和重建结果比较分析

Tab.3 Model variables, data sources and reconstruction results of this study, Luo et al (2014), and Li et al (2015)

数据集来源	模型涵盖限制因子	源数据分辨率	重建空间 分辨率/km	不同坡度(°)耕地面积占比/%				不同高程(km)耕地面积占比/%			
				≤2	2~6	6~15	>15	≤2	2~3	3~4	>4
本文	高程、坡度	省域/约72.23万km ²	1	24.1	60.7	15.0	0.1	8.3	79.2	12.5	0.0
罗静等(2014)	高程、坡度、气候、人口	县域/平均0.24万km ²	2	23.0	62.1	14.8	0.2	3.2	85.6	11.2	0.0
Li等(2015)	高程、坡度、气候	省域/约72.23万km ²	10	14.4	59.0	26.3	0.4	5.5	69.7	24.1	0.8

坡度与耕地分布之间的关系,构建了历史耕地网格化重建模型。将1910、1960、1980和2000年的省域耕地面积带入网格化重建模型,得到了4个时间断面的耕地空间格局。主要结论如下:

(1) 就耕地面积数量的变化而言,1910-1950年青藏地区耕地面积保持平稳;1950-1980年快速增加,1980年达过去百年的最大值,为10583 km²;1980-2000年基本稳定,略有下降。就耕地空间格局的变化而言,1910年,耕地主要分布在河湟谷地地区;1910-1960年,河湟谷地地区耕地分布范围扩张,土地垦殖强度明显增强;至1980年,耕地主要分布区扩展为河湟谷地和“一江两河”地区,垦殖强度较高;1980-2000年,耕地空间格局基本稳定。

(2) 模型检验表明,网格化重建2000年耕地空间格局与遥感2000年耕地空间格局相关系数为0.92;两者的绝对差异在-10%~10%之间的网格占比达73.29%,且绝对差异服从正态分布。将本文重建1910年结果与前人重建结果对比表明,本文构建的模型在青藏地区具有更广泛的适用性和易操作性。

由于青藏地区20世纪前半叶耕地面积数据缺失,本文以人口为代用资料,并假定人均耕地面积不变,估算了1910年的耕地面积。在以后的研究工作中,若能充分利用当地的历史文献、档案等资料,分府或者分县进行细致考订,相信会得到更准确的历史耕地面积数据。此外,本文将1980s年代的耕地空间分布范围作为历史时期耕地的最大分布范围,重建得到的早期结果(如1910年)因其耕地分布范围小于现代耕地空间分布范围,在土地宜垦性较高的地区耕地面积可能会低估,而土地宜垦性较差的地区可能会被高估。

致谢:感谢青海师范大学生命与地理科学学院刘峰贵教授和中国科学院地理科学与资源研究所龙花楼研究员在2014南宁“自然地理学创新与区域可持续发展”学术研讨会上对本文提出的宝贵意见和悉心点评!

参考文献(References)

曹树基. 2001. 中国人口史(第五卷): 清时期[M]. 上海: 复旦大学出版社. [Cao S J. 2001. Zhongguo renkoushi (diwujuan): Qing shiqi[M]. Shanghai, China: Fudan University Press.]

曹雪, 金晓斌, 王金朔, 等. 2014. 近300年中国耕地数据集重建与耕地变化分析[J]. 地理学报, 69(7): 896-906. [Cao

X, Jin X B, Wang J S, et al. 2014. Reconstruction and change analysis of cropland data of China in recent 300 years[J]. Acta Geographica Sinica, 69(7): 896-906.]

封志明, 刘宝勤, 杨艳昭. 2005. 中国耕地资源数量变化的趋势分析与数据重建: 1949-2003[J]. 自然资源学报, 20(1): 35-43. [Feng Z M, Liu B Q, Yang Y Z. 2005. A study of the changing trend of Chinese cultivated land amount and data reconstructing: 1949-2003[J]. Journal of Natural Resources, 20(1): 35-43.]

何凡能, 李士成, 张学珍. 2014. 清代西南地区森林空间格局网格化重建[J]. 地理研究, 33(2): 260-269. [He F N, Li S C, Zhang X Z. 2014. Spatially explicit reconstruction of forest cover of southwest China in the Qing Dynasty[J]. Geographical Research, 33(2): 260-269.]

罗静, 张德铨, 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 for 1726 on Yellow River-Huangshui River Valley in northeast Qinghai-Tibet Plateau[J]. Geographical Research, 33(7): 95-106.]

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 Geography, 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.]

谭其骧. 1987. 中国历史地图集: 清时期[M]. 北京: 中国地图出版社. [Tan Q X. 1987. The historical atlas of China: the Qing Dynasty period[M]. Beijing, China: SinoMaps Press.]

张德铨, 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.]

中华人民共和国国家统计局. 2009. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社. [Natural bureau of statistics of China. 2009. China statistical yearbook[M]. Beijing, China: China Statistics Press.]

朱枫, 崔雪锋, 缪丽娟. 2012. 中国历史时期土地利用数据集的重建方法述评[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 Geography, 31(12): 1563-1573.]

Brovkin V, Sitch S, Von B W, et al. 2004. Role of land cover

- changes for atmospheric CO₂ increase and climate change during the last 150 years[J]. *Global Change Biology*, 10(8): 1253-1266.
- Crook F. 1993. Underreporting of China's cultivated land area: implications for world agricultural trade[R]. *China International Agricultural and Trade Report*: 33-39.
- Ellis E C, Kaplan J O, Fuller D Q, et al. 2013. Used planet: a global history[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(20): 7978-7985.
- Foley J A, DeFries R, Asner G P, et al. 2005. Global consequences of land use[J]. *Science*, 309: 570-574.
- Frolking S, Qiu J J, Boles S, et al. 2002. Combining remote sensing and ground census data to develop new maps of the distribution of rice agriculture in China[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(4): 1091.
- Ge Q S, Dai J H, He F N, et al. 2008. Land use changes and their relations with carbon cycles over the past 300a in China[J]. *Science in China: Earth Sciences*, 51(6): 871-884.
- He F, Vavrus Steve J, Kutzbach J E, et al. 2014. Simulating global and local surface temperature changes due to Holocene anthropogenic land cover change[J]. *Geophysical Research Letters*, 41(2): 623-631.
- He F N, Ge Q S, Dai J H, et al. 2008. Forest change of China in recent 300 years[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 18(1): 59-72.
- He F N, Li S C, Zhang X Z, et al. 2013. Comparisons of cropland area from multiple datasets over the past 300 years in the traditional cultivated region of China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 23(6): 978-990.
- Kaplan J O, Krumhardt K M, Zimmermann N. 2009. The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe[J]. *Quaternary Science Reviews*, 28(27-28): 3016-3034.
- 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.
- Leite C C, Costa M H, Soares-Filho B S, et al. 2012. Historical land use change and associated carbon emissions in Brazil from 1940 to 1995[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 26: GB2011.
- 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 in China: Earth Sciences*, 53(11): 1689-1699.
- Li S C, He F N, Zhang X Z. 2015. A spatially explicit reconstruction of cropland cover in China from 1661 to 1996 [J]. *Regional Environmental Change*. doi: 10.1007/s10113-014-0751-4.
- Lin S S, Zheng J Y, He F N. 2009. Gridding cropland data reconstruction over the agricultural region of China in 1820 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 19(1): 36-48.
- 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.
- Meiyappan P, Dalton M, O'Neill B C, et al. 2014. Spatial modeling of agricultural land use change at global scale[J]. *Ecological Modelling*, 291: 152-174.
- Miao L J, Zhu F, He B, et al. 2013. Synthesis of China's land use in the past 300 years[J]. *Global and Planetary Change*, 100: 224-233.
- Pitman A J, Avila F B, Abramowitz G, et al. 2011. Importance of background climate in determining impact of land-cover change on regional climate[J]. *Nature Climate Change*, 1(9): 472-475.
- 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): GB3018.
- Ramankutty N. 2011. Global cropland and pasture data from 1700- 2007[DB/OL]. 2011- 07- 13[2014- 08- 15]. <http://www.geog.mcgill.ca/landuse/pub/Data/Histlanduse/>.
- Ramankutty N, Foley J A. 1999. Estimating historical changes in global land cover: croplands from 1700 to 1992[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 13(4): 997-1027.
- Thompson Robert S. 2000. Biome 300: understanding the impacts of human activities on land cover over the past 300 years[J]. *IGBP Newsletter*, 43: 2-3.
- Tian H Q, Banger K, Bo T, et al. 2014. History of land use in India during 1880-2010: large-scale land transformations reconstructed from satellite data and historical archives [J]. *Global and Planetary Change*, 121: 78-88.
- Zhang X Z, He F N, Li S C. 2013. Reconstructed cropland in the mid-eleventh century in the traditional agricultural area of China: implications of comparisons among datasets [J]. *Regional Environmental Change*, 13(5): 969-977.
- Zhang Y L, Li B Y, Zheng D. 2014. Datasets of the boundary and area of the Tibetan Plateau[DB/OL]. 2014- 06- 01 [2014-07-30]. <http://geodoi.ac.cn/WebCn/doi.aspx?Id=135>.

Reconstruction of cropland distribution in Qinghai and Tibet for the past one hundred years and its spatiotemporal changes

LI Shicheng^{1,2,3}, ZHANG Yili^{1,2}, HE Fanneng¹

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Chinese Academy of Sciences Center for Excellence & Innovation in Tibetan Plateau Earth System Sciences, Beijing 100101, China;
3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Since numerical simulation has become a popular method for studying the effects of land use and land cover change on climate and environment, spatially explicit historical cropland datasets are increasingly required in regional and global climate change and carbon cycle research. In this study, using historical population data as a proxy, we estimated the provincial cropland area of Qinghai and Tibet in 1910. Based on the statistical data of the National Bureau of Statistics of China, the survey data of the Ministry of Land and Resources, and the results of some previous studies, we revised the cropland area of Qinghai and Tibet in 1950-2000. The relationship between altitude and surface slope and cropland distribution were quantified to develop the spatially explicit reconstruction model of historical cropland at a resolution of 1 km \times 1 km. Since the cropland area reached the maximum in the 1980s, the satellite-observed cropland distribution extent of this time period was taken as the maximum distribution extent of historical cropland. The model developed in this research was used to reconstruct the spatial patterns of cropland in Qinghai and Tibet in 1910, 1960, 1980, and 2000. The reconstruction results show that: (1) in 1910-1950, cropland area of Qinghai-Tibet was stable, while in 1950-1980 cropland area increased rapidly, reaching 10583 km², which is the maximum of the entire study period; in 1980-1990, cropland area decreased slightly; and in 1990-2000, cropland area increased slightly; (2) with regard to its spatial distribution, in 1910-1960, cropland expanded and land use activities intensified greatly in the Yellow River-Huangshui River Valley (YHV); in 1960-1980, cropland expansion and land use intensification occurred in the YHV, the Yarlung Zangbo River, the Nianchu River, and the Lhasa River valleys; in 1980-2000, the spatial pattern of cropland in Qinghai and Tibet remained unchanged. By comparing the reconstruction results of this study for 2000 with satellite-observed cropland distribution of the same year, we found that the correlation coefficient was 0.92 and the absolute difference followed normal distribution. The percentage of grid cells where the absolute difference is low (-10% to 10%) reached 73.29%, while the percentage of grid cells where the absolute difference is high (>40% or <-40%) was 1.94%. Incorporating more information on historical population and cropland of Qinghai and Tibet will help improve the accuracy of our reconstruction modeling. The reconstruction results of this research can be used in regional climate models to study the impact of cropland cover change on the climate and carbon cycle.

Key words: cropland; estimation and revision; spatially explicit reconstruction; past one hundred years; Qinghai and Tibet