

中国历史时期土地覆被数据集地理空间重建进展评述

杨绪红, 金晓斌*, 林忆南, 韩娟, 周寅康

(南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023)

摘要:重建长时间序列具有空间属性的土地覆被数据集, 对研究历史时期土地利用/土地覆被变化及其气候和生态效应具有重要意义。近年来, 国内外学者就定量重建中国区域历史土地覆被数据集进行了积极探索。但由于历史时期土地利用数据来源多元、重建方法多样、验证方式各异等原因, 不同学者的重建结果迥异, 其中重建方法是导致差异形成的重要原因之一。本文从重建思路、假设和方法、结果验证等方面对覆盖中国区域的主要空间数据集进行了综合评述, 结果表明: ①基于历史记录的还原法和基于地理空间模型的重建法是历史土地覆被空间重建的主要方法, 而根据建模过程, 后者又可进一步分为“自上而下”的配置模型和“自下而上”的演化模型法。②基于数量重建进行空间重建是当前历史土地覆被数据集重建的主流, 在缺少充分、客观历史数据的条件下, 对基础数据、分布控制因素和限制因子进行合理假设是取得合理结果的重要条件。③为提高研究成果的解释力, 需要对重建结果进行检验, 直接验证法虽较为准确, 但受时空尺度限制, 具有显著的局限性, 间接验证法可作为有效的补充。

关键词:土地覆被; 历史时期; 空间重建; 中国

1 引言

土地覆被是地球陆地表层系统最突出的景观标志, 受人类土地利用行为和自然过程共同影响(李秀彬, 1996; 摆万奇等, 2001)。作为表征人类活动行为对地球陆地表层自然生态系统影响最直接的信号, 土地覆被是理解和解释人类社会经济活动与自然生态交互过程与链接的纽带(Sterling et al, 2013; 刘纪远等, 2014)。大量研究表明: 土地覆被变化通过改变地表反照率、粗糙度、蒸散发、辐射强度等生物地球物理机制和生物多样性、大气碳循环、CO₂含量等生物地球化学过程而影响及干扰全球气候和全球环境, 这种影响自工业革命后变得愈加明显(李巧萍等, 2006; 葛全胜等, 2008; 华文剑

等, 2013)。历史时期的土地利用/覆被变化(Land Use and Cover Change, LUCC)作为全球变化研究的重要组成部分, 是建立全球环境变化模型的关键因素之一。因气候、生态系统变化存在滞后效应, 建立长时间序列土地覆被数据对研究土地利用时空变化, 以及分析、预测由此产生的气候和生态效应具有重要作用(白淑英等, 2007; Long et al, 2014)。

20世纪90年代中期, 由国际地圈生物圈计划(IGBP)和国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)联合发起的LUCC研究强调, 必须利用各种手段重建过去土地利用变化的详细历史(刘纪远等, 2009), 由此开启了历史时期土地覆被变化研究的热潮。近年来, 在IGBP的LUCC、BIOME300、GCTE、GLP、iLEAPS和PAGES等研究计划的共同推动下,

收稿日期: 2015-05; 修订日期: 2015-08。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2011CB952001); 国家自然科学基金项目(41340016, 41201386); 江苏省普通高校毕业生科研创新计划资助项目(KYLX15_0040) [Foundation: National Basic Research Program of China (973 Program), No.2011CB952001; National Natural Science Foundation of China, No.41340016, No.41201386; The Graduate Scientific Research Innovation Project of Education Department of Jiangsu Province, China, No.KYLX15_0040]。

作者简介:杨绪红(1988-), 男, 湖南湘潭人, 博士生, 主要研究方向为土地利用与规划、空间模拟, E-mail: 279538242@qq.com。

通讯作者:金晓斌(1974-), 男, 甘肃兰州人, 博士, 副教授, 主要研究方向为土地资源管理, E-mail: jinxb@nju.edu.cn。

引用格式:杨绪红, 金晓斌, 林忆南, 等. 2016. 中国历史时期土地覆被数据集地理空间重建进展评述[J]. 地理科学进展, 35(2): 159-172. [Yang X H, Jin X B, Lin Y N, et al. 2016. Review on China's spatially-explicit historical land cover datasets and reconstruction methods[J]. Progress in Geography, 35(2): 159-172.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.02.003

定量重建过去环境,特别是重建过去300年全球土地覆被的工作取得积极进展。中国位于全球环境变化最为剧烈的东亚季风区,陆地面积居世界第三,具有悠久的农业文明史,其历史时期的土地利用/覆被变化过程在全球LUCC格局中占有显著地位。虽有部分学者通过空间数量配置法重建了覆盖全国的多地类、耕地和林地的空间格局(Liu et al, 2010; 冯永恒等, 2014; He et al, 2015; Li et al, 2016),但受基础数据限制,相关研究多以区域为研究对象(姜蓝齐等, 2015)。同时,由于历史时期土地利用数据来源多元、重建方法多样和验证方式各异等原因,相应的重建结果差异显著,其中重建方法是导致差异的重要原因之一。综合而言,现有研究多遵循“基于数量重建进行空间重建”的基本思路,在历史资料收集、基础数据订正、代用指标假设、空间重建方法、研究结果校验等方面都取得了积极进展。为全面了解当前国内外重建数据集和重建方法的研究进展,本文通过对覆盖中国区域的主要空间数据集进行对比分析,从研究范式的角度对相应的重建思路、假设、方法和结果验证等4个方面进行综合评述,并提出对今后研究的展望。

2 历史土地覆被空间重建研究范式

2.1 重建思路

现有国内外研究多遵循“基于数量重建进行空

间重建”的基本思路(Yang, Jin, et al, 2015)。数量重建主要通过查阅典籍、方志、税赋记录、统计资料和已有研究文献,甄别、订正数据记载后获得历史土地数量的统计信息;而空间重建一般以一定历史时期和区域范围的土地覆被空间格局重建为研究对象,借助一定的理论假设,在地理空间分析方法支持下,依据设定的转化规则、分配方法和约束条件,将历史土地数量统计数据空间化为具一定时空分辨率的空间属性数据集的过程(朱枫等, 2012; 龙瀛等, 2014; Yang, Jin, et al, 2015)(图1)。土地类型的数量重建是其空间格局重建的起点和数据基础,空间格局重建是数量重建结果的进一步深化和应用。

2.2 重建假设

在进行历史土地覆被空间重建前,一般会根据现代空间格局和自然经济特征提出一系列重建假设(Ramankutty et al, 1999; 白淑英等, 2007; 张洁等, 2007; 林珊珊等, 2008; 李士成等, 2012; Long et al, 2014; 何凡能等, 2014)。其中,数据假设、分布控制因素假设、限制因子假设以及结果假设是历史土地覆被数据空间重建的基石和基本准则,现分述如下:

(1) 基础数据假设:①当数据缺乏时,简单回溯算法更为有效;②数据应尽量收集齐备,而不是单纯依赖于模型模拟;③相邻省份耕地面积变化的趋势相似,并假定历史时期各省内府、州之间的耕地面积以大致相同的比率变化(李士成等, 2015)。

(2) 分布控制因素假设:①历史记载数据可提

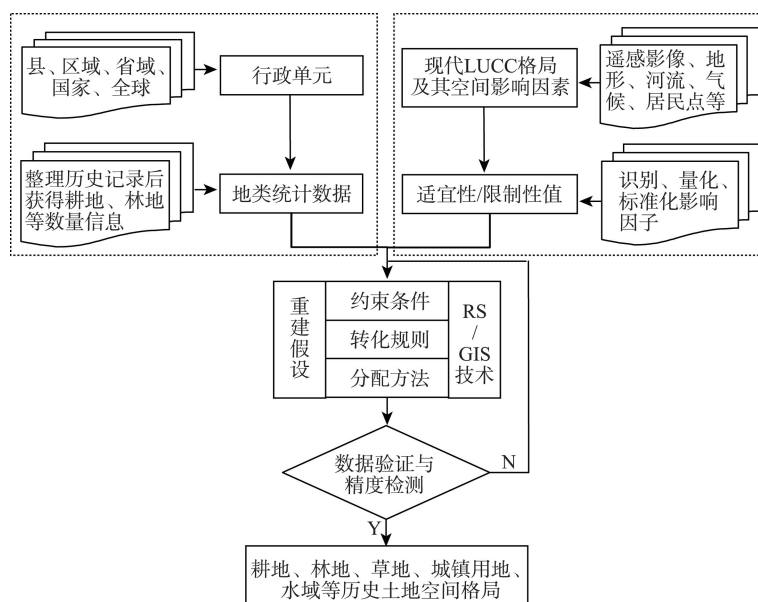


图1 历史土地覆被空间格局重建基本思路

Fig.1 Framework for reconstructing the spatial patterns of historical land cover

供控制边界;②历史时期的耕地垦殖率一般不超过现代水平;③现代耕地分布是历史耕地的最大潜在分布范围(李柯等, 2011);④行政区域内各栅格历史耕地比率固定;⑤在城市聚集区、人口密度小于0.1人/km²的地区不分配耕地;⑥靠海岸和冲积平原的土地更适宜早期人类定居;⑦年平均气温<0℃的地区没有农业活动;⑧湖泊、河流等水域不含人口;⑨可将耕地分配到县、副都统、协领设置对应的今址上, 提高空间分辨率。

(3) 限制因子假设: ①自然因素变化不大, 可采用现代格局(Long et al, 2014); ②农业发展与人口、劳动力密切相关, 可用历史人口估计农业区位置; ③地形、热量、气候条件是耕地分配的重要因素; ④人们倾向于先选择地势平坦海拔低的土地开垦耕种; ⑤距河流、公路等线性地物的远近对土地分布有影响; ⑥最可能的土地利用方式和实际利用方式可作为土地变化空间模拟的参考。

(4) 研究结果假设: 通过空间重建形成的结果不一定是真实的土地覆被而是潜在覆被类型(Yang, Guo, et al, 2015)。在空间分配方面, 现有研究无一例外地都基于当代空间格局, 并假设历史土地利用的空间格局和现代格局具有相似性, 但不同方法对这种相似程度的控制不尽相同(朱枫等, 2012)。

3 历史土地覆被空间重建方法

根据所采用的数据源、研究思路及方法的不同, 历史土地覆被重建在基本方法上可分为基于历史记录的还原法和基于地理空间模型的重建法。

3.1 基于历史记录的还原法

历史记录(地方志、档案、地籍、影像、地图、花粉、沉积物、遗址等)中包含有历史时期土地利用规模以及格局变化的重要信息, 为直接或间接研究过去土地利用变化提供了数据资料(Yang et al, 2014); 按历史记录的介质表达形式不同, 历史LUCC重建方法可以分为以下类型。

(1) 基于历史文献记录的土地利用格局重建法。人类活动对陆地表层进行各种改造的结果大多以纸介质保存或流传, 包括土地税、地方志、史志、地名志、游记、个人笔记、地形图、地籍图、景观图等。直接或间接地从这些资料中提取历史时期的LUCC信息, 按照时间、空间尺度进行提取、恢

复、甄别、修正和空间化后, 可为定性或半定量地分析历史LUCC提供有力证据。该重建方法有赖于历史文献的丰富度和可辨识性, 资料整理的过程较为繁琐、耗时, 其重建的时空尺度大多有限, 一般集中在省级(或更小的行政单元)及地理形态较为完整的区域。例如: 葛全胜等(2003)利用清代官修地方总志、调查统计数据以及统计局资料, 重建了1661年以来中国传统农区内18省的耕地面积; 何凡能等(2002)以《嘉庆重修一统志》、《清史稿》、《清代地理沿革表》为数据源, 按府、直隶州、厅和散州、厅、县6个类别分省统计城垣周长里数, 估算了1820年内地18省的城镇用地; 何凡能等(2007)搜集正史、地方志、类书、游记、文人笔记、民国政府森林调查统计信息等, 订正了1700年以来全国6个时段的森林面积; 何凡能等(2003)利用《陕西通志》、《屯田》、《田赋》等地方志的原额数据, 重建了清代关中地区土地垦殖时空特征; 叶瑜, 方修琦, 任玉玉等(2009)、叶瑜, 方修琦, 张学珍等(2009)分别以方志、个人日记、年鉴、林业史、历史文献、专题图等资料和《盛京通志》、《八旗通志初集》、《清代东北史》、《吉林外纪》等历史记录为基础, 重建了过去300年东北地区林草地、耕地覆被变化; 曾早早等(2011)利用地名志, 将聚落地名依据不同的土地开垦类型进行划分, 建立了吉林省聚落体系演变与农用地开垦过程的空间格局; 李为等(2005)基于《钦定盛京通志》、《盛京通志》等历史文献, 重建了清代东北地区土地开发过程及耕地规模; 匡文慧等(2005)综合集成TM、SPOT遥感影像、地形图、专题图, 重建了1900年以来长春市土地空间扩张过程; 颀耀文等(2014)利用人类遗址、地方志、古今地图、遥感影像等资料, 结合实地考察, 对黑河流域历史水资源利用与农业活动范围的空间格局进行重建。

(2) 基于历史自然记录的还原法。除了文献记录外, 人类活动的历史记录还表现在“痕迹”上, 即人类历史活动在陆地表层留下的足迹, 包括孢粉、人类遗址、动植物化石、木屑炭、树轮等自然记录。通过地质测年、炭追踪、考古学等分析手段, 可以了解自然记录的年代、气候、自然植被和人类活动特征, 其重建的时间尺度可达10³~10⁴年。例如, 丁伟等(2011)筛选了不同气候条件下人类活动的指示性和代表性花粉类型, 探讨了中国东部暖温带低山丘陵区表土花粉对人类土地利用活动的指示意义; 史威等(2008)采集了中坝遗址中的文化堆积物, 辅之

以树轮校正后结合物器推定时代,建立了该遗址的综合剖面时间序列和人类土地利用活动的阶段特征。

基于历史记录还原法重建LUCC格局时,得到的重建结果多为各土地利用类型的统计值或中宏观尺度的土地利用格局,一般缺少明确的地理空间属性信息。为更好地模拟历史土地利用的气候、生态效应,有必要进一步建立具有较高时空分辨率的土地覆被数据集(朱枫等, 2012)。

3.2 基于地理空间模型的重建法

通过分析历史LUCC的变化过程,构建相应的数学模型,是分析历史LUCC空间情景的有效途径之一(胡宁科等, 2012)。朱枫等(2012)基于历史土地利用重建模型是否依赖于现代土地利用格局,按“完全依赖”、“部分依赖”和“动态依赖”对LUCC重建模型进行了分类。这一方法虽一定程度上反映了模型算法的差别,但尚无法揭示不同模型的演化机理,其本质依旧是适宜性配置模型。按模型重建的机理和特征,本文将地理空间模型重建法划分为“自上而下”的配置模型和“自下而上”的演化模型。

3.2.1 “自上而下”的配置模型

“自上而下”配置模型的一般过程是将通过数量重建获得的历史土地类型面积按照土地适宜性、人口密度或现代土地利用格局进行空间配置,将相应的用地数量分配至地理空间网格。按其配置的分配方式可进一步划分为以下类型:

(1) 按土地适宜性高低进行空间配置。首先基于史料获得的历史时期各土地利用类型面积数量,筛选并量化历史土地利用空间分布影响因子,如历史人口、地面高程、地形坡度、距河流距离、距村镇聚落点距离等,结合现代土地利用空间格局构建土地适宜性函数,依据适宜性高低从大到小配置历史土地数量,实现历史土地利用的网格化。如林珊珊等(2008)选取人口和地形坡度作为历史耕地空间分布影响因子,构建了农垦人口、地形引力模型,网格化了中国传统农区6个历史时间断面的耕地空间格局;何凡能等(2011)和李士成等(2012)沿用林珊珊等(2008)的网格化方法,在对人口和田亩数据进行订正后,分别重建了北宋中期和清代西南地区耕地空间分布格局;李柯等(2011)基于Modis土地覆被遥感数据,以地表高程和坡度作为影响因子构建宜垦适宜性函数,网格化重建了1671年和1827年云南省耕地数据集;颜耀文等(2013)基于地面坡度、海拔

等自然因子和人口密度等社会经济因子,按 $5\text{ km}\times 5\text{ km}$ 的网格单元,重建了公元2年、140年、753年和1290年黑河流域中游的耕地分布格局;李士成等(2014)和何凡能等(2014)分别遴选并量化土地宜垦性的主导因子,构建以土地宜垦性为权重的历史森林覆被网格化模型,分别网格化了中国东北地区和西南地区的森林空间格局。此外,冯永恒等(2014)、罗静等(2014)、张丽娟等(2014)以及李士成等(2015)分别选择人口、地形坡度、现代土地垦殖强度构建土地宜垦性评价模型,依据宜垦性高低分别网格化了中国全域、黑龙江省、青藏高原河湟谷地以及青海和西藏的耕地空间格局。

(2) 依据历史人口密度或现代土地利用格局,将重建土地利用类型数量配置到网格。以现代土地利用格局作为人类活动对陆地表层施加影响、进行改造的累计结果,不再考虑土地适宜性对土地利用格局分布的影响,仅将人口密度或现代土地利用格局作为历史LUCC重建的指示因子,依据其值的高低配置土地类型面积。如HYDE 1.1 (1997)和HYDE 2.0(2001)版本将现代人口密度作为土地格局分配的底图,依据历史人口数量多少在此底图内配置土地类型面积;SAGE数据集(Ramankutty et al, 1999)、Liu等(2010)、Tian等(2014)分别收集历史土地统计数据后,将当代遥感影像解译的土地利用格局作为分配底图,依据历史统计数据与遥感解译后的面积数据的比值将历史地类数量配置到底图内,生成历史土地利用格局。

3.2.2 “自下而上”的演化模型

“自上而下”的配置模型法是静态模型,多依赖计量分析方法寻找潜在的土地覆被格局。而“自下而上”的空间演化模型可在地类数量网格化时综合人类的土地利用行为,通过嵌入各种表征人类土地利用行为的规则,运用人工智能算法,采用网格单元逐次循环迭代的方式反演历史土地利用格局。例如,白淑英等(2004, 2007)、Long等(2014)和Yang, Guo等(2015)考虑到邻近耕地的非耕地块易于被人类垦殖而嵌入邻域开发密度函数,基于元胞自动机的空间演化模型,分别重建了历史时期杜尔伯特县全地类、江苏省和山东省的耕地空间格局;Ray等(2010)考虑到多期土地利用遥感数据之间暗含有土地利用转化规律,而嵌入了人工神经网络算法,结合GIS技术,采用分步土地利用转化方法,以美国密歇根马斯基根河流域为例反演了建设用地、耕

地、林地的空间分布;Yang, Jin等(2015)考虑到由不同空间差异引致的耕地演化规律的空间异质性和演化速率的空间差异性,构建分区同步的约束性CA模型,模拟了中国传统农区历史耕地空间分布。采用“自下而上”空间演化模型法用于前向(预测)土地利用模拟(如城市扩展情景分析)等已较为成熟(张鸿辉等, 2008; 王丽萍等, 2012),而对后向(回溯)的研究尚处于起步阶段。该模型的难点主要表现在空间配置中,不仅要考虑土地利用约束因子的筛选、量化和标准化,更需考虑人类的土地利用行为特征,并将其用数学语言抽象成函数后嵌入模型中。

综上所述,历史土地利用格局重建研究中使用的数据源逐渐多元,相应地重建方法也日益丰富。在不同的时空尺度下,采用不同数据源及重建方法,所获得的结果在适用性和数据精度上具有显著差异。一般来说,研究的时空尺度越小,回溯时段愈近,其数据源的可获取性以及重建结果的精度和可靠性就越高。例如,文献记录的收集难度大、覆盖范围小、资料整理费力耗时,但却是历史土地类型统计数据的主要来源,是区域历史土地利用数量变化的优先选择;自然记录重建可一定程度弥补文献记录的缺失,但多针对较早的历史时期,不适宜近代研究;基于遥感影像获取的现代土地利用格局具有明确的时间和空间属性,仅可追溯至1970年代,多作为底图使用;模型模拟的时空尺度可大可小,其重建结果的精度严重依赖于模型的转化规则和历史土地利用数量重建成果(图2)。

4 结果验证

在缺乏客观对照的情况下,应对通过历史记录还原或模型重建生成的历史时期土地覆被空间格局进行验证。根据验证方法的不同,可以分为直接验证和间接验证。

4.1 直接验证法

直接验证法是将重建的历史时期土地利用结果直接与同一时空背景下的遥感影像、农户调查记录、古遗址等进行点对点的比对验证,其验证结果的可信度较高。例如,Fuchs等(2012)选择欧洲1950年和1990年的73个样点遥感影像与模型重建结果进行居民点、耕地、林地和草地的点对点比对验证,得出模型反演时段越久远其模拟误差将越大的结

论。受遥感影像成像时间的限制(一般不早于1980年代),国内利用遥感数据进行直接验证的应用较少。白淑英等(2007)在研究区内选择年龄较长的农户和村干部,采用访谈调查,对重建结果进行定性分析。颀耀文等(2013)将古城遗址和人类活动集中场所作为指示因子纳入重建模型中,故重建结果自然能通过直接验证。一般而言,重建结果的时空尺度越大,可资对比的数据(证据)愈加缺乏,故直接验证法多应用于历史记录尤其是空间数据丰富、涉及时段较近的微观区域研究,而较大时空尺度的重建结果多采用间接验证法。

4.2 间接验证法

间接验证法是在缺乏直接证据时的妥协之举,根据验证思路可进一步分为以下类型。

(1) 将重建结果与对应时期的历史文献记录或现有研究成果进行定性或定量的交叉对比。一般过程为:提取重建结果中相关的土地利用规模、格局特征后与对应时期的地方志、统计报告及现有研究,从全局定性描述和区域,甚至栅格单元尺度,进行对比分析,对重建结果进行验证。例如,李柯等(2011)从全局角度将重建的土地利用格局与历史文献记载进行定性比较,认为重建结果与史实基本吻合;张丽娟等(2014)将重建结果与《黑龙江开发史》、《黑龙江移民概要》进行人均耕地规模和移民垦殖方向对比,并从县域尺度定量分析了重建结果与叶瑜等研究成果的区别;林珊珊等(2008)将模型重建的各省府耕地比例与《嘉庆一统志》册载的田亩数

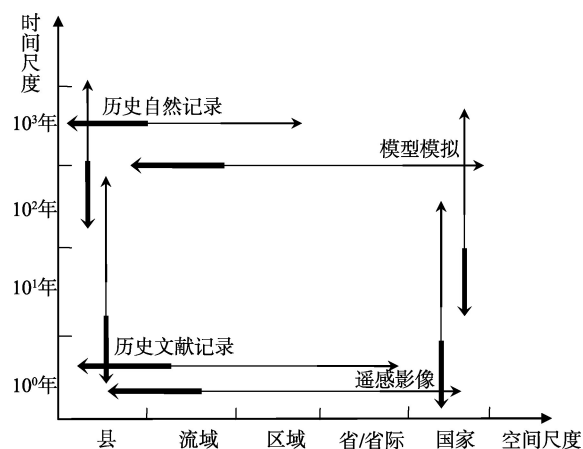


图2 不同重建方法的时空标尺及其精度

(线段愈粗表征精度和可靠性愈高)

Fig.2 Spatiotemporal scales and accuracy of results of different restructuring methods

(Thicker line segments indicate higher precision and reliability of the methods used and results.)

据进行T检验方法检验,分析了网格化结果的合理性;李蓓蓓等(2010)和何凡能等(2012)从全局、分省、栅格尺度出发,按绝对误差和相对误差,将中国东北地区 and 传统农区的重建结果与HYDE、SAGE数据集进行对比分析,提出国外数据集难以客观反映中国耕地的实际变化。

(2) 利用构建的模型模拟现代土地利用格局,将现代时期的重建结果与遥感数据进行定量分析。例如,冯永恒等(2014)、罗静等(2014)利用遥感解译数据,从县域和栅格尺度分析了模型重建的1980s耕地与同期遥感数据的差异;何凡能等(2014)、李士成等(2014)、采用绝对误差和相对误差,分析了基于网格化模型重建的2000年东北三省和西南地区森林与同期遥感数据的差异。

5 典型历史土地覆被数据集

5.1 典型数据集

基于文献析出法,以Web of Science和中国知网(www.cnki.net)为数据源,对以中国(或其内部区域)为研究区,具有明确地理空间属性的历史土地覆盖数据集进行整理,典型成果如表1。

5.2 重建的主要地类及结果表达

历史土地覆被空间重建类型的丰富程度主要受基础数据可取得性和重建方法复杂性的制约。中国历史典籍中关于耕地、人口的记载较为充分,同时还保存了较为丰富的赋税记录,使得历史耕地空间格局重建占据了显著地位(魏学琼等, 2014)。除耕地外,林地和牧草地的历史记载有限,虽有学者通过假定历史耕地面积的增加与森林砍伐或退化紧密联系,并据此重建了西南和东北地区的历史林地格局(何凡能等, 2014; 李士成等, 2014),但尚未形成全国尺度的研究结果;涉及建设用地(城镇用地和农村居民点)的史料更是寥寥,仅有少量基于史料的定性分析,具有时空指示意义的城镇和农居点空间重建研究尚未开展。同时,由于多地类的重建,涉及不同土地利用类型间的用地竞争及用地协调,确立相应的重建规则具有一定难度,故当前的研究仍以一、二个土地利用类型重建为主,全地类重建的研究成果尚不多见。

重建结果的数据表达形式主要包括比例型数据(如垦殖率等)和布尔型数据(逻辑数据类型,是或不是)(朱枫等, 2012)。例如,Liu等(2010)采用相同的算法生成了比例型和布尔型的中国全域数据

集。尽管比例型数据仅表示网格单元内特定土地利用类型的比例,而“模糊”了具体位置,但却间接地提高了重建结果的可靠性,同时也能较为方便地转化为布尔型数据,故已成为当前主流数据集的首选。

5.3 数据集的时空特性

从时间跨度来看,相关研究大多集中于近300年,国外的长时间序列研究可追溯至过去12000年(Goldewijk, 2001),国内也有涉及千年尺度的宋、汉、唐、元等朝代的研究(何凡能等, 2011; 颀耀文等, 2013)。从重建结果来看,可进一步分为典型历史断面研究和连续时间断面研究。典型历史断面的选取多基于朝代更替、方志或统计资料的记录时段,其时间分辨率较为多样化,如叶瑜, 方修琦, 任玉玉等(2009)在过去300年东北地区耕地覆盖重建时,所选择的时间断面间隔介于6年至45年;而Lin等(2009)、何凡能等(2011)、罗静等(2014)仅选取一个历史断面进行耕地重建。而当时间分辨率达到代际甚至年际时(1~50年),通常是基于算法回溯获得,其重点关注数据的长时间序列特征,或是对不同数据源进行数量修正(2001)。

在空间尺度上,除SAGE、HYDE等全球数据集,覆盖中国范围的区域性研究成果包括:①全国尺度。如Liu等(2010)的多地类重建、冯永恒等(2014)的耕地分区重建、Li等(2015)的耕地重建以及He等(2015)的林地重建;②区域尺度。如中国传统农区耕地(林珊珊等, 2008; 何凡能等, 2011; Yang, Jin et al, 2015)、东北三省耕地(叶瑜, 方修琦, 任玉玉等, 2009)和森林(李士成等, 2014)、西南地区耕地(李士成等, 2012)和森林(何凡能等, 2014)、东部省份耕地(张洁等, 2007)、黑龙江省耕地(张丽娟等, 2014)、江苏省耕地(Long et al, 2014)、云南省耕地(李柯等, 2011)、黑河流域耕地(汪桂生等, 2013)、青藏高原河湟谷地耕地(罗静等, 2014)以及青海和西藏耕地(李士成等, 2015)重建等。③亚区域尺度。如大庆市杜尔伯特县(白淑英等, 2007)、吉林省镇赉县(吕妍等, 2010)重建等。研究的单元大多基于行政区划或采用空间栅格,栅格空间分辨率的设计主要考虑数据应用和与其他模型的衔接,如气候模拟、生态效应分析或土地空间特征等精细研究的需要,栅格分辨率包括 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 、 $5' \times 5'$ 、 $60 \text{ km} \times 60 \text{ km}$ 、 $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 、 $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ 、 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 、 $90 \text{ m} \times 90 \text{ m}$ 等。

表1 中国区典型历史土地覆盖格局重建数据集成果
Tab.1 Historical land cover datasets with explicit geographic information in China

文献	模型/方法	地类	影响因子	时段/年	数据结构	空间分辨率	空间尺度
Ramankutty et al, 1999 (SAGE)	比例修正法	耕地	现代土地利用格局	1700年至今	比例型	0.5°	全球
Hurt et al, 2006	土地类型转化模型	耕地、草地	HYDE数据集、潜在生物量	1700年至今	比例型	0.5°	全球
Klein Goldewijk et al, 1997(HYDE)	基于土地适宜性的空间配置模型	耕地、草地	人口、地形坡度、与河流距离、城镇分布、林地分布、潜在植被	10000 BC -2000 AD	比例型	5'	全球
Pongratz et al, 2008	比例修正法	耕地、草地	人口、潜在植被	800-1700	比例型	0.5°	全球
Liu et al, 2010	历史土地空间配置模型	耕地、林地、城市用地	人口密度、2000年土地利用现状	1700-2005	比例型、布尔型	10 km	中国
Li et al, 2015 (CHCD)	历史耕地数据网格化重建模型	耕地	坡度、高程、气候生产力潜力	1661、1724、1784、1820、1873、1933、1980、1996	比例型	10 km	中国
He et al, 2015	网格化重建模型	林地	高程、坡度、气候生产潜力	1700-2000,每隔20年一个断面	比例型	10 km	中国
冯永恒等, 2014	分区网格化模型	耕地	坡度、高程、人口密度、现代耕地垦殖率	1913、1933、1950、1970、1990、2000	比例型	10 km	中国
林珊珊等, 2008	网格化重建模型	耕地	海拔、坡度、人口	1820	比例型	60 km	中国传统农区
何凡能等, 2011	网格化重建模型	耕地	海拔、坡度、人口	1077	比例型	60 km	中国传统农区
Yang, Jin, et al, 2015 (HCTC)	分区同步历史耕地重建模型	耕地	坡度、高程、水系距离、降水、居民点	1661、1724、1820、1887、1933、1952	布尔型	1 km	中国传统农区
张洁等, 2007	网格化重建模型	耕地、林地、水域	现代土地利用格局	1724、1784、1820、1887、1933、1955	比例型	0.5°	中国东部
李士成等, 2014	网格化重建模型	林地	地形(海拔、坡度)、气候生产潜力	1780、1940	比例型	10 km	东北三省
叶瑜, 方修琦, 任玉玉等, 2009	垦殖率重建法	耕地	人口数量	1683、1735、1780、1908、1914等14个断面	数量和垦殖率	分县	东北三省
姜蓝齐等, 2015	网格化重建模型	耕地	聚落、水源、地形	1908	比例型	1 km	松嫩平原
张丽娟等, 2014	垦殖倾向指数模型	耕地	聚落、地形、水系	1900 s	比例型	1 km	黑龙江省
何凡能等, 2014	网格化重建模型	林地	地形(海拔、坡度)、气候生产潜力	1724、1784、1820、1873、1911	比例型	10 km	云南、贵州、四川和重庆
李士成等, 2012	网格化重建模型	耕地	海拔、坡度、气候生产潜力、人口密度	1661、1724、1784、1820、1873、1911	比例型	10 km	云南、贵州、四川和重庆
Long et al, 2014	历史耕地重建模型	耕地	土壤侵蚀、pH、有机质、居民点、水体	1661、1820、1887、1933、1980	布尔型	1 km	江苏
李士成等, 2012	历史耕地数据网格化重建模型	耕地	坡度、高程	1910、1960、1980、2000	比例型	1 km	青海与西藏
Yang, Guo, et al, 2015	历史耕地重建模型	耕地	坡度、高程、水系距离、土壤侵蚀、土壤肥力	1661、1685、1724、1753、1820、1873、1887、1933	布尔型	1 km	山东
李柯等, 2011	网格化重建模型	耕地	海拔、坡度	1671、1827	比例型	90 m	云南省
颜耀文等, 2013	网格化重建模型	耕地	海拔、坡度、人口	2、140、753、1290	比例型	5 km	黑河流域中游
罗静等, 2014	基于土地适宜性的空间配置模型	耕地	海拔、坡度、气候生产潜力	1726	比例型	2 km	青藏高原东北河湟谷地
白淑英等, 2007	土地利用数字重建模型	全地类	光、热、水、土等自然条件和人口、居民点、道路等社会经济条件	1950 s、1930 s	布尔型	县	黑龙江大庆市杜尔伯特县

6 典型数据集对比

目前,以近300年为重点的中国历史土地覆被重建取得了积极的研究成果,但由于数据源、研究

方法、重建假设、验证方式等的各异,不同数据集的重建结果差异显著。本文以具有代表性的SAGE(2010)、HYDE(3.1)、CHCD和HCTC数据集为例进行对比分析,主要结果如下(图3-4):

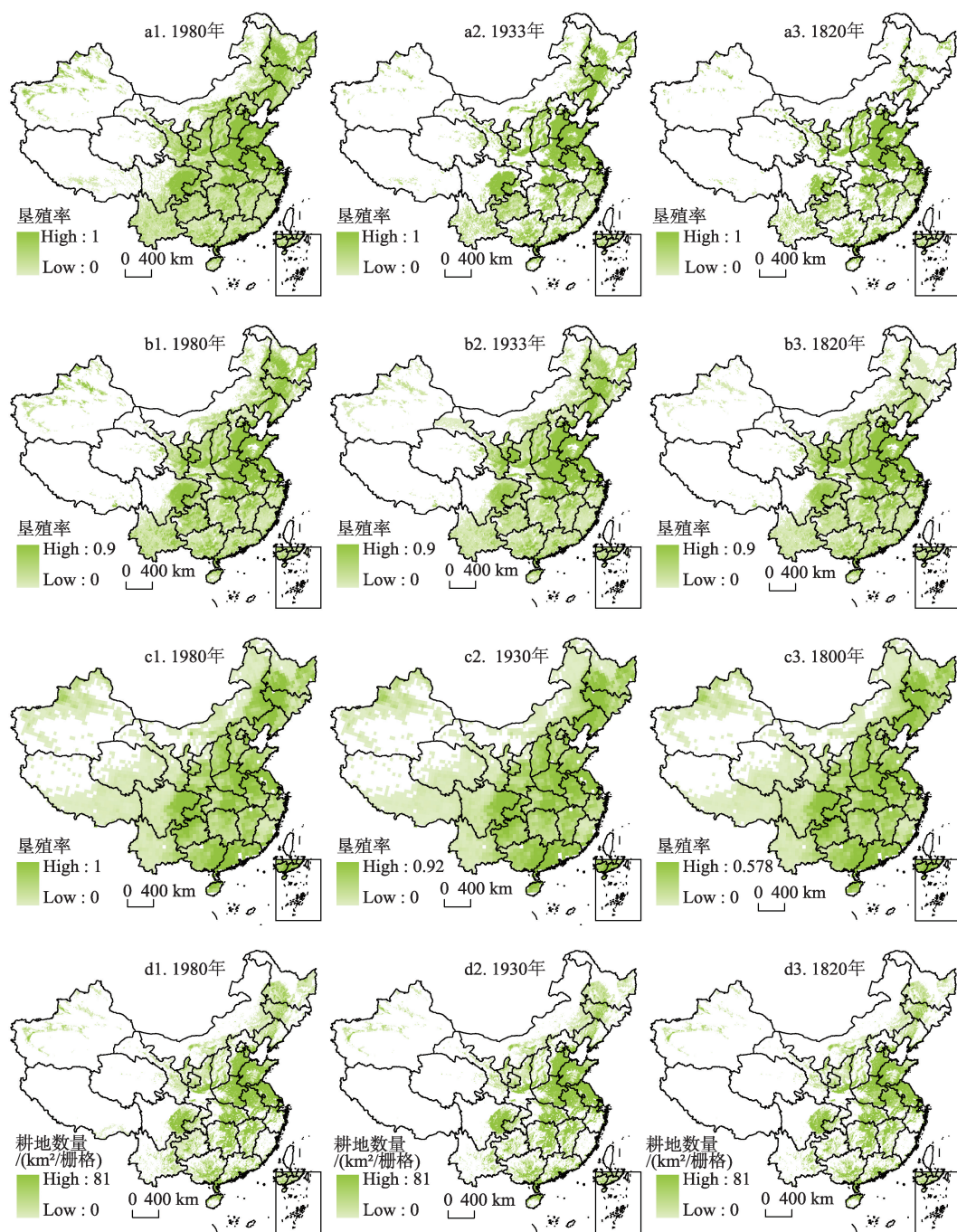


图3 中国区内不同数据集的历史耕地空间格局

(a. 为HCTC, 源自文献Yang, Jin, et al, 2015, 有修改; b. 为CHCD, 源自文献Li et al, 2015; c. 为SAGE2010, 源自 <http://www.sage.wisc.edu/iamdata/>; d. 为HYDE3.1, 源自 <http://themasites.pbl.nl/en/themasite>.)

Fig.3 Spatial patterns of China's historical cropland in different reconstruction datasets

(a. represents HCTC inferred from Yang, Jin, et al. 2015; b. represents CHCD inferred from Li et al. 2015; c. is SAGE2010 downloaded from <http://www.sage.wisc.edu/iamdata/>; d. is HYDE3.1 downloaded from <http://themasites.pbl.nl/en/themasite>.)

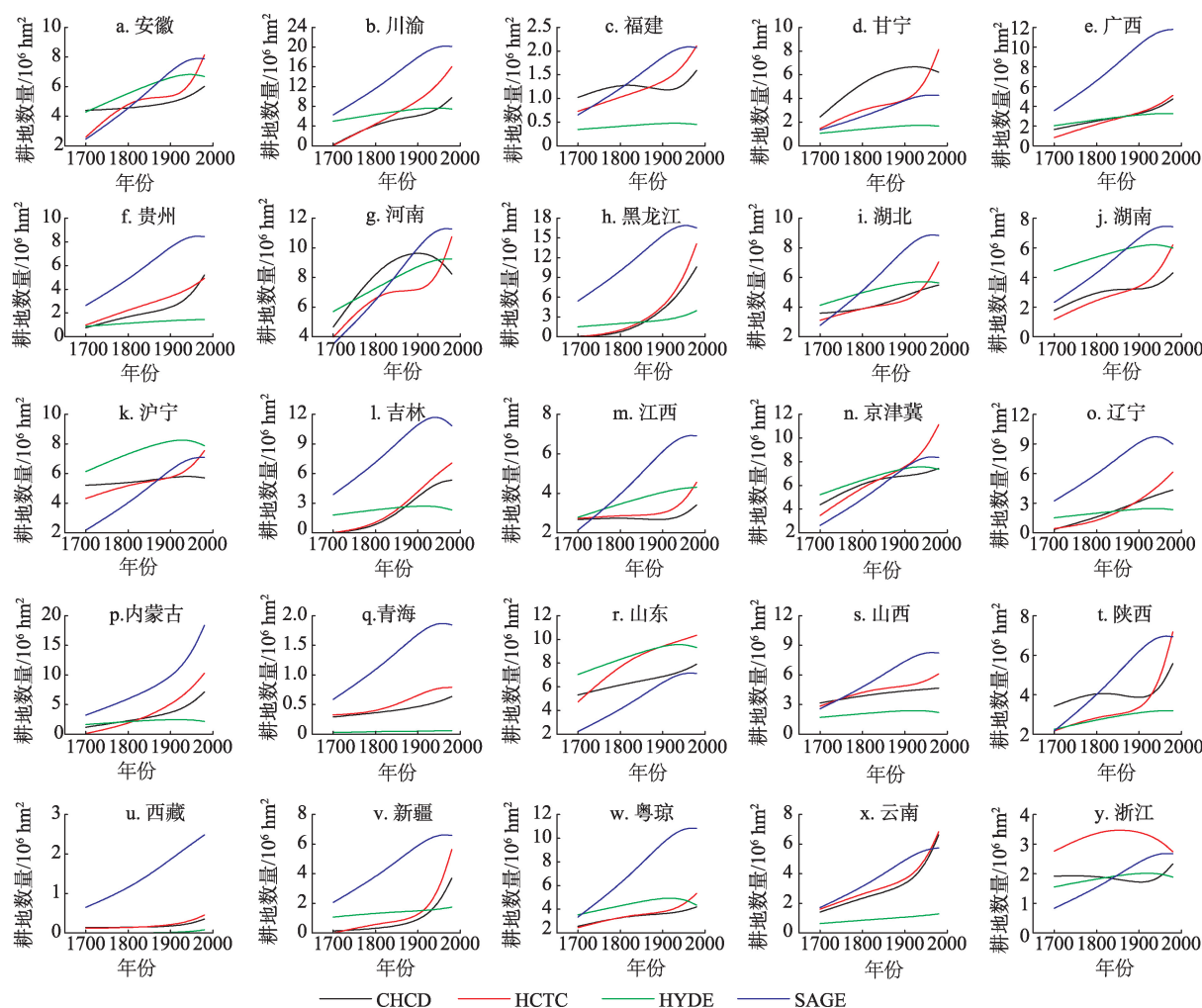


图4 近300年来中国历史耕地数量对比分析

Fig.4 Comparison of cropland areas in China over the past 300 years

(1) SAGE 和 HYDE 数据集均采用“自上而下”的空间配置法,以 DIScover 与 GLC2000 遥感数据(精度分别为 66.9%、68.6%)中的耕地格局作为历史耕地的最外围边界。囿于现代耕地格局底图精度、历史耕地数量来源和采用的影响因子各异,其重建的耕地空间格局差异较大且不符合中国耕地垦殖过程。已有学者论证表明,上述数据集应用于区域模拟研究时,无论耕地数量估算,还是空间分配方法都过于粗糙,其数据只适用于全球尺度,而不能作为区域研究的依据(李蓓蓓等, 2010; 何凡能等, 2012)。

(2) SAGE 数据集中 1720 年以来省际间耕地数量以年均增长率 0.51% 进行线性增加,到 1950 年之后又以 0.34% 的速度线性递减,这种线性递增、递减重建算法使得各省间耕地数量呈现统一变化规律;同时,除山东、浙江与京津冀地区外,其余各个省份

耕地数量明显高于其他数据集。

(3) 相较于 HCTC、CHCD 等国内数据集, HYDE 数据集的耕地在贵州、山西、陕西、福建、云南和浙江等省份存在偏低现象,而在山东、沪宁地区、湖南、安徽、江西等省存在偏高现象,福建、湖南、云南、贵州四省外的其余省/地区平均相对差异率均介于 $\pm 45\%$ 之间;

(4) CHCD 和 HCTC 在基础数据订正整理上采用了相似的历史资料,并均利用了刘纪远等(2003)生产的现代土地利用格局成果(精度 99% 以上),故两者历史耕地总量及区域变化趋势较为一致,但由于采用了不同的重建方法:CHCD 以现代耕地格局为底图采用“自上而下”的配置模型法;HCTC 采用“自下而上”的演化模型法,耕地格局重建考虑了农户土地利用行为和垦殖过程,因此两套数据在东北、西北和西南等历史垦殖边界区域的重建格局上

存在显著差别。

(5) 即使利用相似的数据来源,由于重建方法和影响因子选择、量化的不同,其重建结果也会存在较大差异。为了融合多元数据,进一步提高模拟精度,历史土地覆被重建方法研究仍有待进一步深入。

7 研究展望

纵观现有研究,近年来历史LUCC空间格局重建在理论方法和实践应用等方面均取得了积极进展,但在土地利用变化的过程性、研究方法的适用性、研究结果的有效性等方面尚未形成统一认识。在现有研究的基础上,综合性和集成性势必将成为今后历史LUCC空间格局重建的重要特征,具体表现在以下方面:

(1) 数据源的综合。多源数据是开展历史LUCC空间格局重建之根基,中国拥有悠久的农业耕作史和未曾中断的文明发展史,其丰富的文献记载为中国历史LUCC空间格局重建提供了充足可信的数据,综合地方志、档案、地籍、影像、地图、花粉、沉积物、遗址等历史文献和自然遗迹记录数据源,通过提取、恢复、甄别、修正和空间化等方法重建历史土地利用类型的规模和格局是今后研究的主要趋势。

(2) 重建类型的综合。历史LUCC空间格局重建的重要任务之一是对历史时期的土地利用格局进行复原,并为长时间尺度气候变化模拟、诊断气候形成机制、预测未来气候变化等科学问题提供数据基础支持。而当前以耕地为主要研究对象的单地类研究成果难以满足全球变化相关研究对土地利用与覆被变化基础数据的要求,亟需综合重建中国区域的城镇用地、林地和牧草地。

(3) 重建方法的综合。随着学科理论和研究方法的交叉融合,历史土地覆被空间格局重建在研究方法已从早期的依靠历史文献记录和自然记录还原法发展到多源数据、多学科方法的融合阶段,尤其是“自上而下”的配置模型和“自下而上”的演化模型的引入,进一步丰富了重建方法集。但目前的模型方法大多采用通用型的空间建模理论假设和规则设计,在土地利用变化机理和驱动机制控制等方面尚有进一步完善的空间,今后应进一步考虑不同区域自然资源特点和自然—人文因素交互影响,

增强对历史土地利用变化影响因素和驱动机制的系统性分析。

(4) 结果验证的综合。重建结果的精度和不确定性来源于诸多方面,对验证重建结果进行有效的精度分析仍面临严峻的挑战。针对研究区域和重建方法的特征与差异,综合运用直接验证和间接验证法是提高重建结果的可能途径之一。如在省级单元,可将重建结果与历史文献中的定性描述相比较,进行分布趋势对比,如趋势基本一致,则判断重建效果初步达到要求;与历史时期行政建制设立、农村聚落发展、人口密度演化、粮食供需格局变迁、农业生产条件变化,以及沉积、泥炭、孢粉等环境气候数据等直接证据相对比,如基本一致则判断重建效果较好;与基于遥感数据解译获取的现代土地利用格局进行对比分析,分析误差产生的原因,进而修正重建方法的参数;与清代鱼鳞册、早期航拍照片、历史时期专题图件等直接证据相对比,对相应时段的重建结果进行精度分析,同时,与现有其他学者的重建成果进行间接对比分析,查找异同并分析原因也是值得研究的重要方面。

参考文献(References)

- 白淑英, 张树文. 2004. 历史时期土地利用空间信息再现方法初探[J]. 干旱区资源与环境, 18(5): 77-80. [Bai S Y, Zhang S W. 2004. The discussion of the method of land utilization spatial information reappearance of history period[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 18(5): 77-80.]
- 白淑英, 张树文, 张养贞. 2007. 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[J]. 地理学报, 62(4): 427-436. [Bai S Y, Zhang S W, Zhang Y Z. 2007. Digital rebuilding of LUCC spatial-temporal distribution of the last 100 years: Taking Durbod Mongolian Autonomous County in Daqing city as an example[J]. Acta Geographica Sinica, 62(4): 427-436.]
- 摆万奇, 赵士洞. 2001. 土地利用变化驱动力系统分析[J]. 资源科学, 23(3): 39-41. [Bai W Q, Zhao S D. 2001. An analysis on driving force system of land use changes[J]. Resources Science, 23(3): 39-41.]
- 丁伟, 庞瑞铭, 许清海, 等. 2011. 中国东部暖温带低山丘陵区表土花粉对人类活动的指示意义[J]. 科学通报, 56(11): 839-847. [Ding W, Pang R M, Xu Q H, et al. 2011. Surface pollen assemblages as indicators of human impact in the warm temperate hilly areas of eastern China [J]. Chinese Science Bulletin, 56(10): 996-1004.]

- 冯永恒, 张时煌, 何凡能, 等. 2014. 20世纪中国耕地格网化数据分区重建[J]. 地理科学进展, 33(11): 1546-1555. [Feng Y H, Zhang S H, He F N, et al. 2014. Separate reconstruction of Chinese cropland grid data in the 20th century[J]. Progress in Geography, 33(11): 1546-1555.]
- 葛全胜, 戴君虎, 何凡能, 等. 2003. 过去300年中国部分省区耕地资源数量变化及驱动因素分析[J]. 自然科学进展, 13(8): 825-832. [Ge Q S, Dai J H, He F N, et al. 2003. Analysis of cropland quantity change and driving factors of some provinces of China over the past 300 years[J]. Progress in Natural Science, 13(8): 825-832.]
- 葛全胜, 戴君虎, 何凡能, 等. 2008. 过去300年中国土地利用、土地覆被变化与碳循环研究[J]. 中国科学: 地球科学, 38(2): 197-210. [Ge Q S, Dai J H, He F N, et al. 2008. Land use changes and their relations with carbon cycles over the past 300 a in China[J]. Science in China: Earth Sciences, 51(6): 871-884.]
- 何凡能, 葛全胜, 戴君虎, 等. 2007. 近300年来中国森林的变迁[J]. 地理学报, 62(1): 30-40. [He F N, Ge Q S, Dai J H, et al. 2007. Quantitative analysis on forest dynamics of China in recent 300 years[J]. Acta Geographica Sinica, 62(1): 30-40.]
- 何凡能, 葛全胜, 郑景云. 2002. 中国清代城镇用地面积估算及其比较[J]. 地理学报, 57(6): 709-716. [He F N, Ge Q S, Zheng J Y. 2002. Reckoning the areas of urban land use and their comparison in the Qing Dynasty in China[J]. Acta Geographica Sinica, 57(6): 709-716.]
- 何凡能, 李士成, 张学珍. 2011. 北宋中期耕地面积及其空间分布格局重建[J]. 地理学报, 66(11): 1531-1539. [He F N, Li S C, Zhang X Z. 2011. The reconstruction of cropland area and its spatial distribution pattern in the mid-northern Song Dynasty[J]. Acta Geographica Sinica, 66(11): 1531-1539.]
- 何凡能, 李士成, 张学珍, 等. 2012. 中国传统农区过去300年耕地重建结果的对比分析[J]. 地理学报, 67(9): 1190-1200. [He F N, Li S C, Zhang X Z, et al. 2012. Comparisons of reconstructed cropland area from multiple datasets for the traditional cultivated region of China in the last 300 years[J]. Acta Geographica Sinica, 67(9): 1190-1200.]
- 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.]
- 何凡能, 田砚宇, 葛全胜. 2003. 清代关中地区土地垦殖时空特征分析[J]. 地理研究, 22(6): 687-697. [He F N, Tian Y Y, Ge Q S. 2003. Spatial-temporal characteristics of land reclamation in Guanzhong region in the Qing Dynasty[J]. Geographical Research, 22(6): 687-697.]
- 胡宁科, 李新. 2012. 历史时期土地利用变化研究方法综述[J]. 地球科学进展, 27(7): 758-768. [Hu N K, Li X. 2012. A review of research methods of historical land use change[J]. Advances in Earth Science, 27(7): 758-768.]
- 华文剑, 陈海山. 2013. 全球变暖背景下土地利用/土地覆盖变化气候效应的新认识[J]. 科学通报, 58(27): 2832-2839. [Hua W J, Chen H S. 2013. Recognition of climatic effects of land use/land cover change under global warming[J]. Chinese Science Bulletin, 58(31): 3852-3858.]
- 姜蓝齐, 张丽娟, 臧淑英, 等. 2015. 清末耕地空间分布格局重建方法比较[J]. 地理学报, 70(4): 625-635. [Jiang L Q, Zhang L J, Zang S Y, et al. 2015. Comparison of approaches of spatially explicit reconstruction of cropland in the late Qing Dynasty[J]. Acta Geographica Sinica, 70(4): 625-635.]
- 匡文慧, 张树文, 张养贞, 等. 2005. 1900年以来长春市土地利用空间扩张机理分析[J]. 地理学报, 60(5): 841-850. [Kuang W H, Zhang S W, Zhang Y Z, et al. 2005. Analysis of urban land utilization spatial expansion mechanism in Changchun City since 1900[J]. Acta Geographica Sinica, 60(5): 841-850.]
- 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 Sciences, 53(11): 1689-1699.]
- 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.]
- 李巧萍, 丁一汇, 董文杰. 2006. 中国近代土地利用变化对区域气候影响的数值模拟[J]. 气象学报, 64(3): 257-270. [Li Q P, Ding Y H, Dong W J. 2006. A numerical simulation on impact of historical land-use changes on regional climate in China since 1700[J]. Acta Meteorologica Sinica, 64(3): 257-270.]

- 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.]
- 李士成, 何凡能, 张学珍. 2014. 中国历史时期森林空间格局网格化重建方法研究: 以东北地区为例[J]. 地理学报, 69(3): 312-322. [Li S C, He F N, Zhang X Z. 2014. An approach of spatially-explicit reconstruction of historical forest in China: A case study in Northeast China[J]. Acta Geographica Sinica, 69(3): 312-322.]
- 李士成, 张德铨, 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.]
- 李为, 张平宇, 宋玉祥. 2005. 清代东北地区土地开发及其成因分析[J]. 地理科学, 25(1): 7-16. [Li W, Zhang P Y, Song Y X. 2005. Analysis on land development and causes in Northeast China during Qing Dynasty[J]. Scientia Geographica Sinica, 25(1): 7-16.]
- 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 research 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 Geographica Sinica, 63(1): 83-92.]
- 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 2014. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 69(1): 3-14. [Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. 2014. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s[J]. Acta Geographica Sinica, 69(1): 3-14.]
- 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 2009. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报, 64(12): 1411-1420. [Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, et al. 2009. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century[J]. Acta Geographica Sinica, 64(12): 1411-1420.]
- 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 2003. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究, 22(1): 1-12. [Liu J Y, Zhang Z X, Zhuang D F, et al. 2003. A study on the spatial-temporal dynamic changes land-use and driving forces analyses of China in the 1990s[J]. Geographical Research, 22(1): 1-12.]
- 龙瀛, 金晓斌, 李苗裔, 等. 2014. 利用约束性CA重建历史时期耕地空间格局: 以江苏省为例[J]. 地理研究, 33(12): 2239-2250. [Long Y, Jin X B, Li M Y, et al. 2014. A constrained cellular automata model for reconstructing historical arable land in Jiangsu Province[J]. Geographical Research, 33(12): 2239-2250.]
- 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): 1285-1296. [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): 1285-1296.]
- 吕妍, 张树文, 杨久春. 2010. 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[J]. 地球信息科学学报, 12(2): 174-179. [Lv Y, Zhang S W, Yang J C. 2010. Application of toponymy to the historical LUCC researches in Northeast China: Taking Zhenlai County of Jilin Province as an example[J]. Journal of Geo-Information Science, 12(2): 174-179.]
- 史威, 朱诚, 马春梅, 等. 2008. 中坝遗址约4250a B.P.以来古气候和人类活动记录[J]. 地理科学, 28(5): 703-708. [Shi W, Zhu C, Ma C M, et al. 2008. Records of paleo-climate and mankind activities since 4250a B. P. in Zhongba site, Chongqing[J]. Scientia Geographica Sinica, 28(5): 703-708.]
- 汪桂生, 颜耀文, 王学强, 等. 2013. 明代以前黑河流域耕地面积重建[J]. 资源科学, 35(2): 362-369. [Wang G S, Xie Y W, Wang X Q, et al. 2013. Data reconstruction of Heihe River basin cultivated land area prior to the Ming Dynasty[J]. Resources Science, 35(2): 362-369.]
- 王丽萍, 金晓斌, 杜心栋, 等. 2012. 基于灰色模型: 元胞自动机模型的佛山市土地利用情景模拟分析[J]. 农业工程学报, 28(3): 237-242. [Wang L P, Jin X B, Du X D, et al. 2012. Land use scenarios simulation of Foshan city based on gray model and cellular automata model[J]. Transactions of the CSAE, 28(3): 237-242.]
- 魏学琼, 叶瑜, 崔玉娟, 等. 2014. 中国历史土地覆被变化重建研究进展[J]. 地球科学进展, 29(9): 1037-1045. [Wei X Q, Ye Y, Cui Y J, et al. 2014. Review of China's historical land cover change reconstructions[J]. Advances in Earth Science, 29(9): 1037-1045.]

- 叶瑜, 方修琦, 任玉玉, 等. 2009. 东北地区过去300年耕地覆盖变化[J]. 中国科学: 地球科学, 39(3): 340-350. [Ye Y, Fang X Q, Ren Y Y, et al. 2009. Cropland cover change in Northeast China during the past 300 years[J]. Science in China: Earth Sciences, 52(8): 1172-1182.]
- 叶瑜, 方修琦, 张学珍, 等. 2009. 过去300年东北地区林地和草地覆盖变化[J]. 北京林业大学学报, 31(5): 137-144. [Ye Y, Fang X Q, Zhang X W, et al. 2009. Coverage changes of forestland and grassland in Northeastern China during the past 300 years[J]. Journal of Beijing Forestry University, 31(5): 137-144.]
- 曾早早, 方修琦, 叶瑜. 2011. 吉林省近300年来聚落格局演变[J]. 地理科学, 31(1): 87-94. [Zeng Z Z, Fang X Q, Ye Y. 2011. The pattern evolution of settlements in Jilin Province over the past 300 years[J]. Scientia Geographica Sinica, 31(1): 87-94.]
- 张鸿辉, 曾永年, 金晓斌, 等. 2008. 多智能体城市土地扩张模型及其应用[J]. 地理学报, 63(8): 869-881. [Zhang H H, Zeng Y N, Jin X B, et al. 2008. Urban land expansion model based on multi-agent system and application[J]. Acta Geographica Sinica, 63(8): 869-881.]
- 张洁, 陈星. 2007. 中国东部地区土地利用和植被覆盖的历史演变[J]. 南京大学学报: 自然科学, 43(5): 544-555. [Zhang J, Chen X. 2007. The historical land use and vegetation cover change in eastern China[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 43(5): 544-555.]
- 张丽娟, 姜蓝齐, 张学珍, 等. 2014. 19世纪末黑龙江省的耕地覆盖重建[J]. 地理学报, 69(4): 448-458. [Zhang L J, Jiang L Q, Zhang X Z, et al. 2014. Reconstruction of cropland over Heilongjiang Province in the late 19th century[J]. Acta Geographica Sinica, 69(4): 448-458.]
- 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.]
- 颀耀文, 汪桂生. 2014. 黑河流域历史时期水资源利用空间格局重建[J]. 地理研究, 33(10): 1977-1991. [Xie Y W, Wang G S. 2014. Reconstruction of historic spatial pattern for water resources utilization in the Heihe River basin[J]. Geographical Research, 33(10): 1977-1991.]
- 颀耀文, 王学强, 汪桂生, 等. 2013. 基于网格化模型的黑河流域中游历史时期耕地分布模拟[J]. 地球科学进展, 28(1): 71-78. [Xie Y W, Wang X Q, Wang G S, et al. 2013. Cultivated land distribution simulation based on grid in middle reaches of Heihe River basin in the historical periods[J]. Advances in Earth Science, 28(1): 71-78.]
- Fuchs R, Herold M, Verburg P H, et al. 2012. A high-resolution and harmonized model approach for reconstructing and analyzing historic land changes in Europe[J]. Biogeosciences Discussions, 9(10): 14823-14866.
- Goldewijk K K. 2001. Estimating global land use change over the past 300 years: The HYDE database[J]. Global Biogeochemical Cycles, 15(2): 417-433.
- He F N, Li S C, Zhang X Z. 2015. A spatially explicit reconstruction of forest cover in China over 1700-2000[J]. Global and Planetary Change, 131: 73-81.
- Hurt G C, Froking S, Fearon M G, et al. 2006. The underpinnings of land-use history: Three centuries of global gridded land-use transitions, wood-harvest activity, and resulting secondary lands[J]. Global Change Biology, 12(7): 1208-1229.
- Klein Goldewijk C G M, Battjes J J. 1997. A hundred year (1890-1990) database for integrated environmental assessment (HYDE, version 1.1) [M]. Bilthoven, the Netherlands: National Institute of Public Health and the Environment (RIVM).
- Li S C, He F N, Zhang X Z. 2016. A spatially explicit reconstruction of cropland cover in China from 1661 to 1996 [J]. Regional Environmental Change, 16(2): 417-428.
- 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(3), doi: 10.1029/2009GB003687.
- Long Y, Jin X B, Yang X H, et al. 2014. Reconstruction of historical arable land use patterns using constrained cellular automata: a case study of Jiangsu, China[J]. Applied Geography, 52: 67-77.
- 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), doi: 10.1029/2007GB003153.
- 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.
- Ray D K, Pijanowski B C. 2010. A backcast land use change model to generate past land use maps: application and validation at the Muskegon River watershed of Michigan, USA[J]. Journal of Land Use Science, 5(1): 1-29.

- Sterling S M, Ducharme A, Polcher J. 2013. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle[J]. *Nature Climate Change*, 3(4): 385-390.
- 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.
- Yang X H, Jin X B, Guo B B, et al. 2015. Research on reconstructing spatial distribution of historical cropland over 300 years in traditional cultivated regions of China[J]. *Global and Planetary Change*, 128: 90-102.
- Yang X H, Guo B B, Jin X B, et al. 2015. Reconstructing spatial distribution of historical cropland in China's traditional cultivated region: methods and case study[J]. *Chinese Geographical Science*, 25(5): 629-643.
- Yang Y Y, Zhang S W, Yang J C, et al. 2014. A review of historical reconstruction methods of land use/land cover[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 24(4): 746-766.

Review on China's spatially-explicit historical land cover datasets and reconstruction methods

YANG Xuhong, JIN Xiaobin*, LIN Yinan, HAN Juan, ZHOU Yinkang

(College of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Constructing a spatially-explicit time series of historical land cover dataset is of upmost importance for climatic and ecological studies that make use of land use and cover change (LUCC) data. Some scholars have made efforts to simulate and reconstruct quantitatively information on China's historical land use. Due to the multiple sources of land use data, diversity of reconstruction approaches, and different methods of verification, the reconstruction results of spatially-explicit historical land cover datasets significantly differ. To better understand China's historical land cover datasets and provide effective references for future reconstruction study, it is necessary to comprehensively summarize and discuss the reconstruction methods. By comparing the characteristics of different historical land cover datasets, this research thoroughly analyzed the conceptual constructs, assumptions, reconstruction methods, and validation of the models. The main conclusions are as follows: (1) The majority of the research methods starts with reconstruction of the quantity of historical land cover and then proceeds to spatial pattern reconstruction. Given the lack of adequate and reliable historical data, making reasonable hypotheses about basic data, factors controlling distribution, and limiting factors is an important condition for attaining sound reconstruction results. (2) Methodologically, the majority of the studies uses the reduction method based on historical records and the reconstruction method based on spatial models that consist of the "top-down" method of spatial distribution and the "bottom-up" method of evolutionary reconstruction models. (3) In order to improve the explanatory power of the results, it is necessary to validate the reconstruction output of historical land cover datasets in detail. While direct validation of reconstruction results is a more precise method, it is often restricted by the spatiotemporal scales of the research and data sources. Indirect validation method provides an important alternative for accuracy evaluation of the reconstruction results.

Key words: land cover; historical period; spatial pattern reconstruction; China