

清代中期建设用地数据恢复与空间网格化重建： 方法与实证

林忆南¹, 金晓斌^{1,2}, 杨绪红¹, 龙 瀛^{2,3}, 郭贝贝¹,
韩 娟¹, 周寅康^{1,2}

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023; 2. 南京大学自然资源研究中心, 南京 210023;
3. 北京市城市规划设计研究院, 北京 100045)

摘要: 以典型历史断面下的建设用地为研究对象, 采用数量重建控制下的空间格局重建思路, 尝试构建一套适用于清代中期建设用地(城镇用地和农村聚落用地)的重建方法。其中, 城镇用地主要基于城垣周长、城池形态进行数量重建, 以历史治所为中心, 以城池形态为控制边界, 进行空间配置; 农村聚落用地主要基于农村人口、户均居住用地需求进行数量重建, 以潜在农村居民点重心为中心, 考虑用地宜居性和连片性等特征进行空间重建。在理论分析的基础上, 选取历史资料较为丰富的1820年为研究期, 恢复了江苏省建设用地数据, 共1006.45 km², 其中城镇用地222.51 km², 农村聚落用地783.93 km², 重建形成了100 m×100 m空间网格下的建设用地空间格局, 并验证了重建结果的合理性。

关键词: 建设用地; 网格; 重建; 清代中期; 江苏

DOI: 10.11821/dlyj201512011

1 引言

自工业革命以来, 在全球气候变化与人类活动的双重胁迫下, 土地利用/覆被变化在不同时间和空间尺度下发生快速变化, 从而剧烈地改变着地表覆盖状态, 增加了地球表层生态系统的脆弱性, 同时也成为全球气候变化的重要驱动因素之一^[1-3]。与此同时, 工业革命的发展和科学技术的传播促进了现代城市的兴起, 随着经济和社会的发展, 建设用地空间拓展日益成为土地利用变化的主导特征^[4], 其所带来的人们生活方式和思想观念的改变, 资源、环境、生态等全球性问题日益突显。

近年来, 在IGBP的BIOME300、LUCC、GCTE、GLP、iLEAPS和PAGES等国际研究计划的推动下, 重建过去300年全球土地覆被工作取得重大进展^[5,6], 一些重要的全球和区域数据集先后建立^[7-16], 既对重建历史时期土地利用与覆被变化提供了方法借鉴, 也为以LUCC为边界条件的相关全球变化研究提供了数据支持。建设用地作为人类土地利用活动的主要形式之一, 随着经济社会发展、人口剧增及工业化、城镇化水平的提高, 用地数量迅速扩大, 大量耕地、草地和林地被城镇建设所侵占。近300年间, 中国传统农区范围内的人口数量增长超过了10倍, 人口城镇化率提高了5倍, 建设用地面积比例增加了近50倍。与历史时期记述农业、林业的各种文献相比, 建设用地的记载较为有

收稿日期: 2015-05-19; 修订日期: 2015-10-16

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2011CB952001); 国家自然科学基金项目(41340016)

作者简介: 林忆南(1991-), 女, 浙江舟山人, 硕士, 主要从事土地资源管理研究。E-mail: lin_yinan@126.com

通讯作者: 金晓斌(1974-), 男, 甘肃兰州人, 博士, 副教授。主要从事土地资源管理研究。E-mail: jinxb@nju.edu.cn
2329-2342 页

限,同时由于建设用地演化阶段迥异、利用形态多样、驱动机制复杂等原因,对其进行空间格局重建的难度较大。目前,国内外建设用地时空变化的研究多集中于近30年^[17-19],主要借助遥感影像数据和地理空间分析技术;而有限的历史时期研究,多针对城市用地,采用基于历史文献^[20]、历史地形图^[21]或多种数据相结合^[22-24]的方法进行综合分析。例如,何凡能等^[20]根据清代史志中记载的有关城周资料,估算了嘉庆年间(1820年)城镇建成区面积,得到本部18行省的城镇用地总面积为1987.44 km²,仅占辖区土地总面积的0.05%;方修琦等^[25]通过对近百年来北京城市空间扩展的研究,认为北京市城市核心区面积由1913年的47.1 km²,增加至1963年的96.9 km²,此后又快速增长到1992年的227.9 km²;尹昌应等^[26]研究了晚清以来上海市建成区边界扩张过程与特征,得出上海市建成区从1842年的1.54 km²增加至1919年的75.30 km²,进而增加到1989年的559.55 km²;纪芸等^[27]对晚清以来广州市建成区进行了分析,认为广州市建成区由1907年的18.58 km²,增长至1968年的47.63 km²;李松等^[24]对贵阳城市扩展时空特征的研究表明,贵阳市城区面积由1626年的2.25 km²,增加到1947年的6.8 km²,此后快速增长到1990年的53.13 km²。

在历史土地利用/覆盖空间重建方法方面,现有研究多依据历史人口密度、现代土地利用格局或按照土地适宜性评价值进行空间配置。前者认为现代土地利用格局是人类活动对陆地表层施加影响、进行改造的累计结果,当代的人口密度和土地利用格局已暗含了历史格局信息,故不再考虑土地适宜性对土地利用格局分布的影响,而是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^[10]和HYDE 2.0^[11]版本将现代人口密度作为土地格局分配的底图,依据历史人口数量高低在此底图内配置土地类型面积;SAGE数据集^[8]、Liu等^[14,15]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。后者通过筛选并量化历史土地利用空间分布影响因子,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。例如,林珊珊等^[28]选取人口及地形坡度作为历史耕地空间分布影响因子,构建了农垦人口引力模型和农垦地形引力模型,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分布;冯永恒等^[29-31]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,依据宜垦性高低分别网格化了中国全域、黑龙江省以及青海和西藏的耕地空间格局。不同于上述“自上而下”的静态配置模型,近些年来,“自下而上”的空间演化模型也尝试用于历史土地利用空间重建中。其不仅考虑适宜性或人口密度值,同时在模型中嵌入各种表征人类土地利用行为的规则和人工智能算法,通过网格单元逐次循环迭代来反演历史土地利用格局。例如,Long等^[32,33]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,采用基于元胞自动机的空间演化模型模拟了历史时期江苏省和山东省的耕地空间格局;Ray等^[16]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。

已有研究探索性地提出了历史时期建设用地的重建方法和基于大城市的实证分析,取得了富有启发性的研究成果,但在构建完整统一的重建思路、关键影响因素的识别量化、缺失数据的插补完善等方面仍需进一步完善。本文选取历史资料较为丰富的1820年作为研究期,以农业生产较为发达的江苏省为研究区,结合历史文献记载和现代用地格局,采用“数量重建控制下的空间格局重建”思路,在重建府级建设用地数量的基础上,综合城镇发展过程和入地关系协调,提出历史建设用地重建框架,重建了100 m×

100 m空间网格下的1820年江苏省建设用地空间格局, 并进行了相关性检验, 以期为历史时期土地利用空间重建提供思路借鉴和方法参考。

2 研究方法

2.1 建设用地亚类划分

建设用地是土地资源管理领域的概念, 是指利用土地的承载能力或建筑空间, 不以取得生物产品为主要目的的用地, 包括城镇(城市和建制镇)用地、农村居民点用地、独立工矿用地、基础设施用地(交通和水利设施)等类型。考虑到历史时期建设用地的特点, 为了便于数据收集和空间模拟, 本文所涉及的建设用地主要为城镇用地(本文中指县级及以上行政单位驻地)和农村聚落(农村居民点)用地, 并根据其不同性质进行独立分析: ① 城镇用地集中于城池内, 主要包括居住、祭祀、道路、市场、防御、仓储与管理用地^[34]; ② 部分筑有城垣的治所城市, 形成规模不等的城下街区^[35]; ③ 有限的人口数量和分布范围、自给自足的封闭经济状态、较低的生产力水平等制约了一定地域范围内农村聚落的数量、密度和规模^[36]; ④ 农村聚落具有鲜明的区域特色, 表现在聚落的分布范围、空间结构、性质和规模等^[36]。

2.2 重建思路

本文在历史建设用地相关数据收集、订正、插补的基础上, 通过“自上而下”的地理空间分配方法, 参考现代土地利用格局和历史土地垦殖趋势, 利用地理空间配置方法形成典型时段建设用地空间格局。具体技术路线如图1所示。

2.2.1 人口结构 采用省级人口城镇化率, 计算城镇和农村人口数量, 再依据各府人口比例, 得到分府城镇和农村人口数量。

$$POP_F = POP_T - \alpha \times POP_T \quad (1)$$

式中: POP_F 为府级农村人口总数; POP_T 为府级人口总数; α 为人口城镇化率。

2.2.2 数量重建

(1) 城镇用地

城镇(城市)指社会经济发展到一定阶段所形成的政治、经济和文化中心, 非农业人口集中, 工商业繁荣, 并与农村相对立而存在的特殊区域。中国古代多数城市是由官府设立的政治中心。建城主要考虑城镇的地位、功能及行政规划等因素, 一般会根据城镇后期需要吸纳的人数而对城市用地稍作扩张, 进而建城筑墙; 随着人口的不断涌入, 受原有城墙的制约, 其内部又会出现居住拥挤等问题, 导致一段时间内的城市人均用地面积出现较大波动, 即城镇用地的人口弹性(城镇用地面积变化率/城镇人口数量变化率)较小。因此, 历史时期城市用地的数量重建不能过分依赖城镇人口及人均用地面积。

为确定城镇用地数量, 提出以下假设: ① 清代城镇一般并未完全脱离农耕行为, 城垣范围内同时存在不同数量的耕地^[20], 而城垣外临近区域一般也存在一定数量和规模的商业交换市场^[35], 由于难以逐一考订, 本文仅对城内田与城外市作相抵处理, 以城墙作为城市建成区的外围边界, 城墙的样态即是城市的形态。② 中国古代不同等级治所间存在不同组合特征, 主要表现为府、县同城或多县同城。前者为府、县(多县)治所建于一处, 该县(多县)即为附郭县; 后者为多个县城共有一个治所。因此, 本文基于城垣周长、城池形态, 计算各城镇面积; 同时结合实际城镇组合特征, 利用式(2)计算区域内的城镇面积。其中, 府、县同城, 计算府城面积; 多县同城, 仅计算一个县城面积。

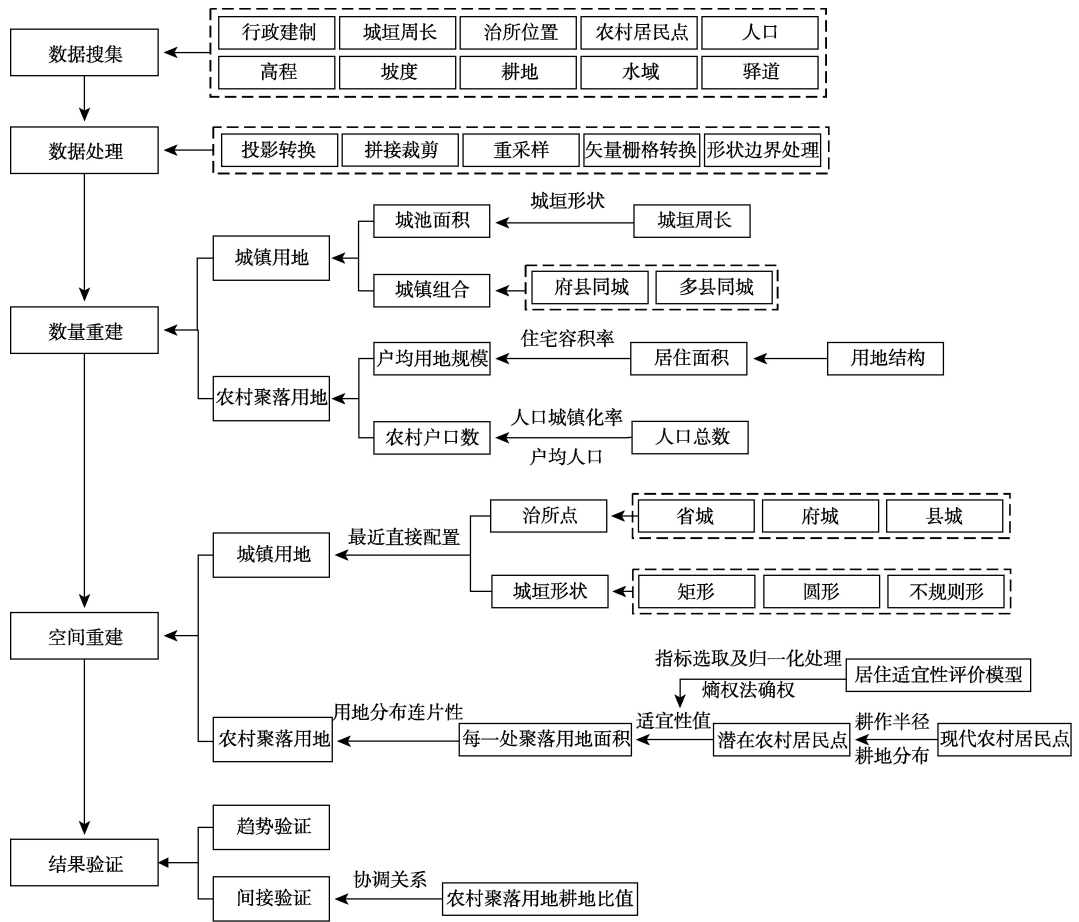


图1 技术路线

Fig. 1 The technical route

$$A = \sum_1^M \left(A_{pc} + \sum_1^I \left(\frac{A_{icc1} + A_{icc2} + \dots + A_{icci}}{i} \right) + \sum_1^J A_{ptcj} \right) \quad (2)$$

式中： A 为城镇用地总面积； A_{pc} 为一省/府城的城镇用地面积，其中与该省/府城同城的附郭县城面积不计； A_{icc} 为同城县城面积，其中 $A_{icc1} = A_{icc2} = \dots = A_{icci}$ ； A_{ptc} 为一府中除附郭县城及同城县城外的普通县城面积； M 为府数量； I 为一府中同城县组数； J 为普通县城数量。

(2) 农村聚落用地

历史上，中国长期处于封建自给自足的农业社会，农村作为一个有机联系的整体构成了聚落体系。农村聚落用地主要包括居住建筑用地和公共建筑用地（村庄道路、公共服务设施用地）两部分。居住建筑用地（即农村宅基地）多是以户为单位划定，可进一步分为建筑用地和活动场地两部分。其中，建筑用地主要包括住房（卧室、堂屋等）、杂物间（偏房、旁房等）、设施用地（厕所、水井等）和畜舍用地（鸡、鸭、猪、牛、羊等圈舍）；活动场地主要指谷物晾晒及家庭成员及饲养禽畜的活动场地。与城镇用地不同，农村聚落用地外围边界一般不受控制，其用地增加与农村人口增加存在显著正相关，相比于城镇用地的人口弹性系数，农村聚落用地的人口弹性系数（农村聚落用地面积变化

率/农村聚落人口数量变化率)更具弹性;另一方面,由于中国各地区的自然环境和人文情况不同,各地居住方式与住房结构也显现出多样化的面貌。故在进行大范围农村聚落用地重建时应考虑按自然条件和文化差异进行分区。

为确定农村聚落用地数量,提出以下假设:①农村聚落用地以居住建筑用地为主,暂不考虑服务设施用地等公共建筑用地;②改革开放前,中国社会经济处于低速稳定发展阶段,农村居民住房结构变化不大,用地结构相对稳定,户均宅基地面积(式(3))可用1978年数据替代。在进行数量重建时,重点考虑农户数、户均居住用地面积和住宅容积率等指标。其中:农村住宅容积率^[37]指户(人)均住宅内部总建筑面积与户(人)均居住建筑用地面积的比率(式(4));农户数量指农村以家庭为单位进行日常耕作与生活,区域内农村聚落用地所承载的家庭数量,农户数量与该地区的人口总数、人口城镇化率及户均人口规模相关。因此,本文主要基于农村居住单元用地结构,采用农村住宅容积率表征农村居住方式及居住用地需求,结合农户数量、户均人口规模计算农村聚落用地面积。

$$Homestead_{F_{pop_t}} = \frac{Homestead_{F_{pop_m}}}{Family_{pop_m}} \times Family_{pop_t} \quad (3)$$

式中: $Homestead_{F_{pop_t}}$ 为第 t 年即研究期农村户均宅基地面积; $Homestead_{F_{pop_m}}$ 为第 m 年即依据年户均宅基地面积; $Family_{pop_m}$ 为第 m 年即依据年农村户均人口; $Family_{pop_t}$ 为第 t 年即研究期农村户均人口。

$$u = \frac{Residence_{F_{pop(per)}}}{Homestead_{F_{pop(per)}}} \quad (4)$$

式中: u 为农村住宅容积率; $Residence_{F_{pop(per)}}$ 为农村户(人)均住宅面积; $Homestead_{F_{pop(per)}}$ 为农村户(人)均宅基地面积。

2.2.3 空间重建 将数量重建过程得到的城镇用地及农村聚落用地面积作为数量控制,参考现代土地利用格局和建设用地适宜性分析,基于“自上而下”的地理空间分配方法,分别对城镇用地、农村聚落用地进行空间重建。

(1) 城镇用地

古代城市因城墙而与城外相对隔绝,独立存在。城墙约束了城镇用地空间分布,同时也体现出城镇用地空间形态。为确定城镇用地空间分布,本文假设古代城市治所点均分布于现代城市治所点之中,不考虑位置的变化,但结合古代城市的存废实际,考证补充古代所存而现今不存的城市治所点。在空间重建时以历史治所为中心,以城池形态为控制边界,将离治所最近的指定数量(重建城镇用地数量)栅格确定为城镇用地的具体空间位置,主要包括:①治所点。省治、府治、县治等地方政府驻地空间位置,作为城镇空间分布的中心点位。②城池形状。中国清代城市平面形态,除部分形态不规则外,大部分城垣呈近似于长方、正方、圆或椭圆形态。其中,呈近似长方形的旧城,如杭州旧城等;呈近似正方形的旧城,如泰州城、正定府城、怀宁(安庆)旧城、昆明旧城、济南旧城、洛阳旧城、太原旧城、大同旧城、兰州旧城等;呈近似圆形的旧城,如南昌旧城、桐城旧城等;呈近似椭圆形的旧城,如宜昌旧城、衡阳旧城、柳江(柳州)旧城等。

(2) 农村聚落用地

农村聚落用地多以亲缘或宗族为纽带,形成过程缓慢但相对稳定,村庄内呈连片分布,一般外围边界无特别约束,空间分布较城镇用地零散。本文通过构建居住适宜性综

合评价模型,得到研究期“潜在农村居民点重心”(以下简称“潜在居民点重心”)对应栅格及辖区内其他栅格的适宜性值,并以通过“现代农村居民点重心”(以下简称为“现代居民点重心”)得到的历史潜在居民点重心为中心,在综合考虑栅格适宜性及用地分布连片性^①的基础上,将指定数量(农村聚落用地数量重建结果)栅格确定为农村聚落用地具体空间位置。

为确定农村聚落用地的空间分布,提出以下基本假设:一是,与居民点用地布局相关的自然资源条件不发生重大变化,即气候、地形、工程地质等自然资源条件不随时间变化;二是,研究区内虽存在个别村庄荒废、弃置等现象,但比例极低,故不予考虑;三是,现代(1980年代)居民点重心是由古代潜在居民点重心发展而来,因此古代任一时期的最大潜在居民点重心分布都在现代居民点重心分布之内。具体重建步骤如下:①分析现代居民点重心位置,根据地形及耕作条件等设定相应耕作半径,叠加研究期耕地空间分布图,剔除在耕作半径范围内无耕地的居民点重心。②分府对比重建的农村聚落用地数量与重建空间网格下的研究期最大潜在居民点重心所对应的栅格面积,若前者大于后者,则对潜在居民点重心所在栅格进行扩张处理;反之,则按适宜性评价价值从低到高缩减最大潜在居民点重心数量,直至两者相等。③假设历史上农村聚落用地选择与耕地利用相伴生,故农村聚落的分布与地形、河流的关系最为密切^[36]。④从宜居性、安全性和生活便利性角度,距驿道、中心村镇和县城的距离也对农村聚落建设具有影响。

2.4 结果验证

由于缺少直接的历史土地利用空间分布数据,难以通过整体或点对点的方式验证重建结果的有效性。本文通过趋势验证和间接验证对研究结果进行检验。

(1)趋势验证。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。

(2)间接验证。引入“农村聚落用地耕地比值”(农村聚落面积/耕地面积)参数,间接评判农村聚落与土地利用及农业生产间的协调关系。通过分析研究期和现代府级行政范围内农村聚落用地耕地比的相关程度,间接判断重建结果的可靠性。

3 研究区概况与数据来源

3.1 研究区概况

江苏省于清康熙六年(1667年)正式建省(原江南省分为江苏、安徽两省)^[38],至乾隆三十二年(1767年)始基本稳定^[39],行政区划、辖区、名称、治所历有更迭。值本文期(1820年)时,境内共设江宁、苏州、松江(今上海)、常州、镇江、扬州、淮安、徐州等8府,通州、海州、太仓、泗州等4直隶州和海门直隶厅,总人口2640万^[40]。为保持数据及分析的连续性,本文以现代江苏省行政边界为研究范围,以研究期的行政界线(府界)为内边界,对府界边缘地区做裁切、扩展和归并,最终划分为经修正的7府4州1厅,即江宁府、苏州府、常州府、镇江府、扬州府、淮安府、徐州府、通州、海州、太仓州、泗州、海门厅,如图2所示。

3.2 数据来源与处理

本文所采用数据主要包括三方面:一是文献与统计数据,用于土地利用数量重建的

^① 首先将与潜在居民点重心栅格直接相邻(有公共边)的适宜性评价价值最高的栅格转化为农村聚落用地;然后将原潜在居民点重心栅格与该转化后的栅格视为一类,将该类栅格直接相邻的适宜性评价价值最高的栅格转化为农村聚落用地;以此类推,直至相应的栅格数量达到数据重建的结果值。

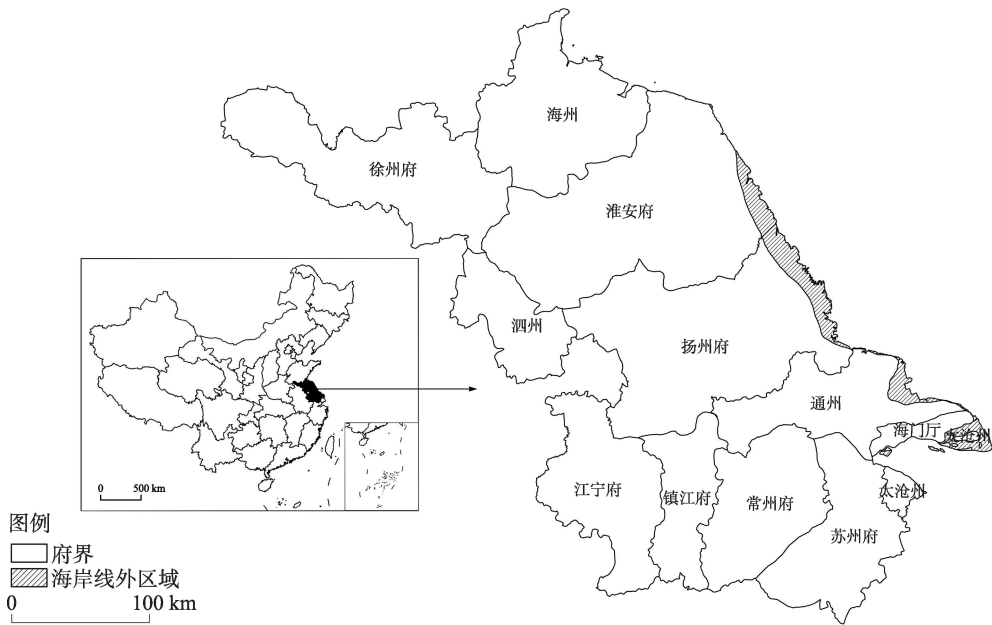


图2 研究区示意图

Fig. 2 The location of the study area

控制, 主要包括城垣周长、人口、行政建制等数据; 二是土地利用数据, 用于确定土地利用分布范围, 主要包括耕地空间分布数据; 三是基础地理信息数据, 用于进行土地利用空间重建的控制, 主要包括行政界线、治所、居民点、水域、驿道、地形等数据。

① 文献与统计数据。1820年城镇用地面积的城垣周长数据^[41]; 1820年分府总人口^[40]、清中期人口城镇化率^[42]; 行政建制数据^[43]。

② 土地利用数据。采用龙瀛等重建的1820年耕地空间格局成果^[44]。

③ 基础地理信息数据。1820年行政界线、治所点矢量数据^[45]; 1820年河流湖泊矢量数据^[45]; 清代驿道分布数据^[46]; 现代行政界线矢量数据^[47]; 现代农村居民点重心矢量数据^[45]; 近现代90m空间分辨率高程、坡度数据^[48]。

因多源数据在范围、尺度、坐标等内容上有所差异, 进行投影转换、矢量栅格数据转换、拼接与裁剪等预处理, 将栅格数据重采样至100 m×100 m。

4 实证研究

4.1 清代江苏省建设用地数量重建

4.1.1 人口结构 由式(1)计算得到1820年江苏省各分府人口及农村人口数量(表1)。

4.1.2 城镇用地数量重建 以《嘉庆重修一统志》为基础, 参考《清史稿》和《清代地理沿革表》中的有关记载和考订, 提取各城镇(省城、府城和县城)城垣周里数的具体记录。以正方形统一作为城池形态^②, 采用方周求积法, 即式(5)累加求算城池面积,

② 清代中国城市平面形态包括长方形、正方形、圆形、椭圆形、卵形、葫芦形等形状, 但受“天圆地方”传统观点的影响, 以近似方形居多。就建造技术而言, 与其他形状(尤其是圆形)相比, 虽然相同城墙长度的方形城市所包容的面积较小, 但建造所需要的测量和工程技术要求最低, 且城墙内的面积更为规整, 并利于城内土地的划分, 故古代事先经规划的城池基本是方形。

进而得到府级城镇用地面积（表1）。

$$A_n = \left(\frac{L_n}{4} \right)^2 \quad (5)$$

式中： A_n 为 n 城城镇用地面积； L_n 为 n 城城垣周长。

城镇组合中，府县同城，仅计算府级治所面积；多县同城仅计算一个县级治所面积；普通县分别计算各自县级治所面积（式（2））。具体而言：① 府县同城。包括江宁府与其附郭县江宁县、上元县；淮安府与其附郭县山阳县；扬州府与其附郭县甘泉县、江都县；徐州府与其附郭县铜山县；苏州府与其附郭县长洲县、吴县、元和县；镇江府与其附郭县丹徒县；常州府与其附郭县武进县、阳湖县。② 多县同城。包括苏州府中常熟县与昭文县、昆山县与新阳县，常州府中无锡县与金匮县及宜兴县与荆溪县。

4.1.3 农村聚落用地数量重建 受立地条件和土地资源限制，中国南方的住宅普遍较紧凑，研究区内的典型住宅形式是以小面积长方形天井为中心的堂屋，一般为单层。参考现有研究^[37]，基于户均宅基地面积、农村户均人口规模及农村人均住宅面积^[49]，分别采用式（3）和式（4）求算第 t 年农村户均宅基地面积及农村住宅容积率。

考虑到改革开放前，以家庭为单位的中国农村居住特点基本稳定^[50]，因此本文以1978年的农村人均宅基地数量作为标准，农村住宅容积率采用多年 u 趋势拟合，推求得到1978年农村住宅容积率 u_{1978} 为0.245，进而计算得到1978年农村人均宅基地面积约为40 m²/人。故假定1820年户均农村宅基地面积为200 m²（40 m²/人×5人/户^[51]）结合各府农户数量，得到分府农村聚落用地数量（表1）。

4.2 建设用地空间重建

4.2.1 城镇用地空间重建 虽然历史上城池形态多样，其中又以方形为多，但由于城池面积一般较小，在区域尺度进行重建时，难以考虑城池坐落方位对朝向的影响，为简化模拟难度，本文采用圆形作为城镇空间形态的控制。根据1820年行政建制，结合1911年县级治所分布数据^[45]，提取1820年相应的县级治所点，并以此为中心，形成相应面积的圆后进行栅格化处理，得到研究区城镇用地空间分布（图3）。

4.2.2 农村聚落用地空间重建 江苏省水热条件良好，地势平坦、土层深厚、水网密布，

表1 1820年江苏省分府人口及建设用地面积

Tab. 1 The population and construction land area of Jiangsu province in 1820

府名	总人口/万人	城镇人口/万人	农村人口/万人	建设用地面积/km ²	城镇用地面积/km ²	农村聚落用地面积/km ²
江宁府	187.40	25.49	161.92	211.12	146.35	64.77
苏州府	547.33	74.44	472.90	225.81	36.65	189.16
常州府	389.58	52.98	336.59	144.76	10.12	134.64
镇江府	219.47	29.85	189.62	78.60	2.76	75.85
扬州府	326.75	44.44	282.31	121.25	8.33	112.93
淮安府	163.76	22.27	141.49	65.35	8.76	56.60
徐州府	132.86	18.07	114.79	48.78	2.86	45.92
通州	98.30	13.37	84.93	36.20	2.23	33.97
海州	58.55	7.96	50.59	22.18	1.95	20.23
太仓州	57.14	7.77	49.37	21.22	1.59	19.75
泗州	63.20	8.60	54.61	22.61	0.38	21.84
海门厅	23.99	3.26	20.73	8.83	0.54	8.29
总和	2268.32	308.49	1959.83	1006.45	222.51	783.93

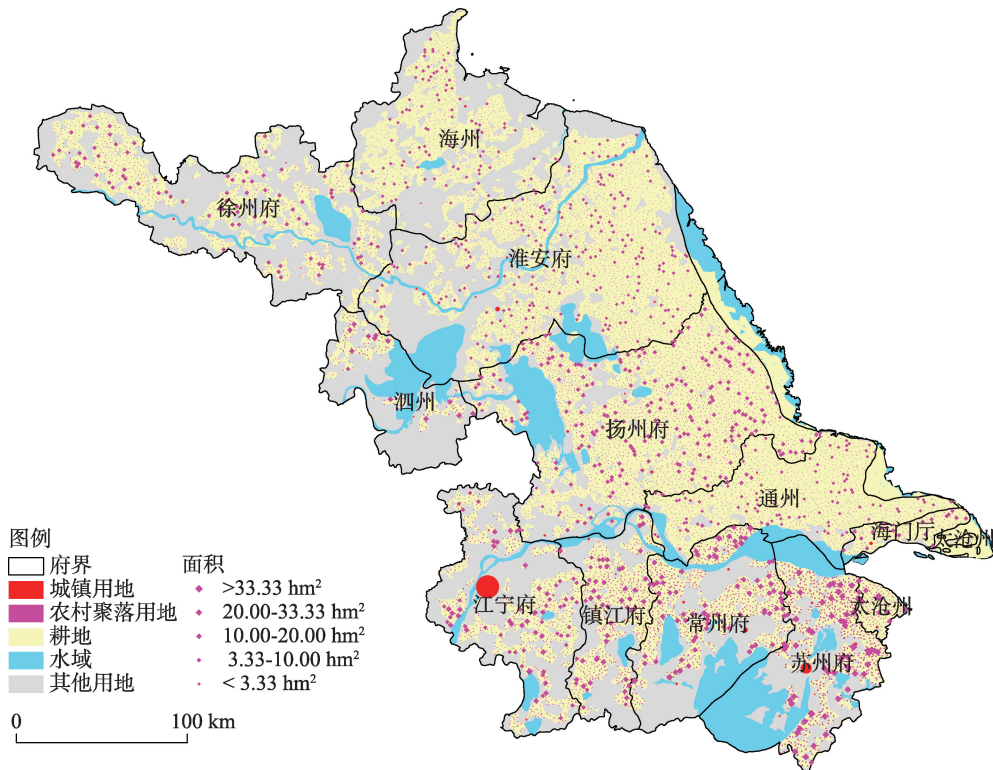
垦殖率较高。研究期省内耕地面积为 54479 km², 占区域土地面积的 53.1%^[44]。耕地的大规模垦殖, 也导致了密度较高的农村居民点。考虑到研究区内主要种植稻谷、养殖桑蚕, 作物管理要求较高, 相应的耕作半径较小, 参考相关研究成果, 以 300 m^[36]作为耕作半径进行 1820 年潜在居民点重心设定, 得到最大潜在居民点重心分布。因重建的分府农村聚落用地数量均大于重建空间网格尺寸下的最大潜在居民点重心对应栅格面积, 故该最大潜在居民点重心分布即为江苏省 1820 年潜在居民点重心分布, 并对其所在的栅格进行扩张处理。

选择高程、坡度、离最近河流距离、离最近驿道距离、离最近村镇距离、离最近县城距离为指标, 构建农村聚落宜居适宜性综合评价模型, 针对指标特征, 并考虑尾端效应^[52], 采取异质化归一化方法, 利用熵权法确定权重(表 2)。在分府数量重建及潜在居民点重心分布的控制下, 考虑栅格适宜性及用地分布连片性, 将指定数量(重建农村聚落用地数量)栅格

表 2 农村聚落用地适宜性评价指标体系

Tab. 2 The suitability evaluation system of rural settlement land

目标层	指标层	属性	权重
自然条件	高程	区间值	0.346
	坡度	区间值	0.110
	离最近河流距离	负指标	0.116
社会经济条件	离最近驿道距离	负指标	0.162
	离最近村镇距离	负指标	0.162
	离最近县城距离	负指标	0.104



注: 由于农村聚落分布较为零散, 数据点较多(共 10409 个), 为了突出显示效果, 本图采用 10:1 的随机方式, 选取了 1041 个点进行表示

图 3 1820 年研究区建设用地空间格局

Fig. 3 Spatial pattern of construction land of the study area in 1820

确定为农村聚落用地具体空间位置(图3)。

4.3 结果验证

通过上述重建,确定研究期内江苏省建设用地的总量为1006.45 km²,占区域土地总面积的1.03%,其中城镇用地为222.51 km²,农村聚落用地为783.93 km²。在空间分布上,聚落用地分布呈现南部密集,北部相对稀疏的特征。

(1) 趋势验证。对于城镇用地,从除城垣周里数这一史料记载最为集中地反映城镇规模的数据外,城镇区位(如清代扬州城位于长江和大运河的交汇处;淮安府城为漕运延后,城区位于运河岸上,水域广阔^[53])及城池形态(如扬州城为东西向的长方形;苏州城因城内受三横四直运河框架的制约,城池为南北向的长方形;紧邻苏州府的奉贤县、南汇县等位于江南平原地带的县城范围一般都比较小,成方形,面积多为1 km²左右,因为1 km²的县城已能建立起完整的统治机构,充分行使统治权力,并形成地方的经济、文化中心^[54])的描述中,初步判断重建结果具有一定的合理性。

(2) 间接验证。对于农村聚落用地,根据现有的研究^[52](1820年分府耕地数据)及1980年代遥感影像数据,在府级边界下分别计算1820年、1980年代农村聚落用地耕地比。相关性分析的结果显示,两组数据的相关系数达0.652,并在95%的置信度下显著相关。

5 结论与讨论

5.1 结论

本文采用“数量重建控制下的空间格局重建”思路,构建了一套适用于清代中期建设用地(城镇用地和农村聚落用地)的重建方法。其中,城镇用地主要基于城垣周长、城池形态进行数量重建,以历史治所为中心,以城池形态为边界控制,进行空间配置;农村聚落用地主要基于农村人口、人均居住用地需求进行数量重建,以潜在居民点重心为中心,考虑用地宜居性和连片性等特征进行空间重建。并重建了100 m×100 m空间网格下的江苏省建设用地空间格局。结果表明:①在缺乏直接历史记载和有效空间数据支持的情况下,进一步挖掘现有历史记录与文献资料,依托现代建设用地格局和合理假设,采用地理空间模型对历史时期建设用地空间格局进行重建是可行的方法之一;②对各相关因素进行量化时,应综合考虑不同府治之间在城镇组合特征、城镇化率、耕作半径、居住方式等方面的差异,宜根据各区域历史不同情况,合理确定用地规模及其空间格局;③重建的江苏省1820年建设用地总量为1006.45 km²,其中城镇用地为222.51 km²,农村聚落用地783.93 km²。

5.2 讨论

与现有研究结果^[20,52]相比,城镇用地数量上的差异主要来自从单个城镇到多个城镇面积在计算处理方式上的不同。现有研究多对同一行政等级(府、县)城镇的用地面积作相等处理,基于均值与治所个数求算,而本文则通过对全部县级行政单元逐个累加得到;农村聚落用地数量上的差异主要来自人均用地数量替代指标选取的不同,现有研究多以1985年的农村人均用地水平作为代用指标,而本文考虑到江苏省改革开放进程较早,20世纪80年代初期农村已经开始发生较大变化,故选用1978年农村人均居住用地水平作为代用指标;在空间分布上的差异主要因为现有研究多仅考虑了宜居因素,一般以适宜性评价值作为用地数量匹配的唯一标准,而本文在考虑了用地宜居性的同时,还兼顾用地连片性特征。

由于受历史资料与研究精度的限制, 重建结果不一定能重现1820年江苏省建设用地的实际和全貌, 但仍可视为历史潜在建设用地空间分布, 并为区域历史土地利用模拟提供新的借鉴思路。后期, 可依托日益细化的历史地理学研究成果, 综合考虑区域发展阶段、城乡体系演进、土地利用分区等特征, 对研究成果进行进一步完善。

参考文献(References)

- [1] 刘纪远, 邵全琴, 延晓冬, 等. 土地利用变化对全球气候影响的研究进展与方法初探. 地球科学进展, 2011, 26(10): 1015-1022. [Liu Jiyuan, Shao Quanqin, Yan Xiaodong, et al. An over view of the progress and research framework on the effects of land use change upon global climate. *Advances in Earth Science*, 2011, 26(10): 1015-1022.]
- [2] 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. [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.]
- [3] 叶瑜, 方修琦, 任王玉, 等. 东北地区过去300年耕地覆盖变化. 中国科学: 地球科学, 2009, 39(3): 340-350. [Ye Yu, Fang Xiuqi, Ren Yuyu, et al. Coverage changes of cropland in northeastern China during the past 300 years. *Science China: Earth Sciences*, 2009, 39(3): 340-350.]
- [4] 道格·桑德斯. 落脚城市. 上海: 上海译文出版社, 2012. [Saunders D. *Settled in the City*. Shanghai: Shanghai Translation Publishing House, 2012.]
- [5] LUCC Scientific Steering Committee. Key findings of LUCC on its research questions. *IGBP Newsletter*, 2005, 63: 12-14.
- [6] 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 地球科学, 2008, 38(2): 197-210. [Ge Quansheng, Dai Junhu, He Fanneng, et al. Land use, land cover change and carbon cycle research of China over the past 300 years. *Science China: Earth Sciences*, 2008, 38(2): 197-210.]
- [7] Ramankutty N, Foley J A. Characterizing patterns of global land use: An analysis of global croplands data. *Global Biogeochemical Cycles*, 1998, 12(4): 667-685.
- [8] 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.
- [9] Ramankutty N, Foley J A. ISLSCP II Historical Croplands Cover, 1700-1992. Oak Ridge, Tennessee: National Laboratory Distributed Active Archive Center, 2010.
- [10] Klein Goldewijk C G M, Battjes J J. A Hundred Year (1890-1990) Database for Integrated Environmental Assessments (HYDE, version 1.1). Bilthoven: National institute of public health and the environment (RIVM), 1997.
- [11] Goldewijk K K. Estimating global land use change over the past 300 years: the HYDE database. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, 15(2): 417-433.
- [12] Goldewijk K K, Van Drecht G. HYDE 3: Current and historical population and land cover. Netherlands Environmental Assessment Agency, 2006.
- [13] Goldewijk K K, Beusen A, Van Drecht G et al. The HYDE 3.1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12000 years. *Global Ecology and Biogeography*, 2011, 20(1): 73-86.
- [14] Liu M, Tian H. 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: 3003.
- [15] Tian H, Banger K, Bo T, et al. History of land use in India during 1880-2010: Large-scale land transformations reconstructed from satellite data and historical archives. *Global and Planetary Change*, 2014, 121: 78-88.
- [16] Ray D K, Pijanowski B C. A backcast land use change model to generate past land use maps: application and validation at the Muskegon River watershed of Michigan, USA. *Journal of Land Use Science*, 2010, 5(1): 1-29.
- [17] 陈松林, 刘诗苑. 海湾型城市建设用地扩展的时空动态特征及驱动力研究: 以厦门市为例. 地理科学, 2009, 29(3): 342-346. [Chen Songlin, Liu Shiyuan. Spatiotemporal dynamic characteristics and driving force of built-up land in bay city Case study in Xiamen. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 29(3): 342-346.]
- [18] Bartholomé E, Belward A B. GLC2000: A new approach to global land cover mapping from earth observation data. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26(9-10): 1959-1977.
- [19] Friedl M A, McIver D K, Hodges J C F, et al. Global land cover mapping from MODIS: Algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83: 287-302.

- [20] 何凡能, 葛全胜, 郑景云. 中国清代城镇用地面积估算及其比较. 地理学报, 2002, 57(6): 709-716. [He Fanneng, Ge Quansheng, Zheng Jingyun. Reckoning the areas of urban land use and their comparison in the Qing Dynasty in China. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(6): 709-716.]
- [21] 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. 地理学报, 2007, 62(4): 427-436. [Bai Shuying, Zhang Shuwen, Zhang Yangzhen. Digital rebuilding of LUCC spatial-temporal distribution of the last 100 years. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(4): 427-436.]
- [22] 李晓文, 方精云, 朴世龙. 上海城市用地扩展强度、模式及其空间分异特征. 自然资源学报, 2003, 18(4): 412-421. [Li Xiaowen, Fang Jingyun, Piao Shilong. The intensity and modes of urban land use growth in Shanghai. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(4): 412-421.]
- [23] Tian H Q, Kamaljit Banger, Bo T, et al. History of land use in India during 1880-2010: Large-scale land transformations reconstructed from satellite data and historical archives. *Global and Planetary Change*, 2014, 121: 78-88.
- [24] 李松, 罗绪强. 基于RS的多数据源的700多年来贵阳城市扩展时空特征研究. 自然资源学报, 2014, 29(10): 1734-1745. [Li Song, Luo Xuqiang. Study on spatiotemporal expansion feature of urban based on multisource data using remote sensing technique in Guiyang city in the latest 700 years. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(10): 1734-1745.]
- [25] 方修琦, 章文波, 张兰生, 等. 近百年来北京城市空间拓展与城乡过渡带演变. 城市规划, 2002, 26(4): 56-60. [Fang Xiuqi, Zhang Wenbo, Zhang Lansheng, et al. The urban expansion and the evolution of urban fringe in Beijing in the 20th century. *City Planning Review*, 2002, 26(4): 56-60.]
- [26] 尹昌应, 石忆邵, 王贺封. 晚清以来上海市建成区边界扩张过程与特征. 地理科学进展, 2013, 32(12): 1793-1803. [Yin Changying, Shi Yishao, Wang Hefeng. Process and characteristics of boundary expansion of built-up area of Shanghai city since the late Qing dynasty. *Progress in Geography*, 2013, 32(12): 1793-1803.]
- [27] 纪芸, 孙武, 李国, 等. 1907-1968年广州建成区土地利用/覆被变化时空特征分析. 华南师范大学学报: 自然科学版, 2009, (1): 121-126. [Ji Yun, Sun Wu, Li Guo, et al. Space-time features analysis of land use/cover change in Guangzhou urban built-up area from 1907 to 1968. *Journal of South China Normal University: Natural Science Edition*, 2009, (1): 121-126.]
- [28] 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. [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.]
- [29] 冯永恒, 张时煌, 何凡能, 等. 20世纪中国耕地格网化数据分区重建. 地理科学进展, 2014, 33(11): 1546-1555. [Feng Yongheng, Zhang Shihuang, He Fanneng, et al. Separate reconstruction of Chinese cropland grid data in the 20th century. *Progress in Geography*, 2014, 33(11): 1546-1555.]
- [30] 张丽娟, 姜蓝齐, 张学珍, 等. 19世纪末黑龙江省的耕地覆盖重建. 地理学报, 2014, 69(4): 448-458. [Zhang Lijuan, Jiang Lanqi, Zhang Xuezheng, et al. Reconstruction of cropland over Heilongjiang Province in the late 19th century. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(4): 448-458.]
- [31] 李士成, 张懿铨, 何凡能. 过去百年青海和西藏耕地空间格局重建及其时空变化. 地理科学进展, 2015, 34(2): 197-206. [Li Shicheng, Zhang Yili, He Fanneng. Reconstruction of cropland distribution in Qinghai and Tibet for the past one hundred years and its spatiotemporal changes. *Progress in Geography*, 2015, 34(2): 197-206.]
- [32] Long Ying, Jin Xiaobin, Yang Xuhong. Reconstruction of historical arable land use patterns using constrained cellular automata: a case study of Jiangsu, China. *Applied Geography*, 2014, 52: 67-77.
- [33] Yang X, Guo B, Jin X, et al. Reconstructing spatial distribution of historical cropland in China's traditional cultivated region: Methods and case study. *Chinese Geographical Science*, 2015, 25(5): 1-15.
- [34] 王树声. 从河津与韩城看中国古代城市建设用地结构. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2009, 41(3): 391-396. [Wang Shusheng. Study on the structure of construction land in Chinese ancient city based on the analysis of Hejin and Hancheng. *Journal of Xi'an University of Architecture and Technology: Natural Science Edition*, 2009, 41(3): 391-396.]
- [35] 鲁西奇, 马剑. 城墙内的城市: 中国古代治所城市形态的再认识. 中国社会经济史研究, 2009, (2): 7-16. [Lu Xiqi, Ma Jian. City within the city walls: Rethinking the seat city form of ancient China. *Social and Economic History of China*, 2009, (2): 7-16.]
- [36] 金其铭. 农村聚落地理. 北京: 科学出版社, 1988. [Jin Qiming. *Rural Settlement Geography*. Beijing: Science Press, 1988.]
- [37] 宋伟, 陈百明, 杨红, 等. 我国农村宅基地资源现状分析. 中国农业资源与区划, 2008, 29(3): 1-5. [Song Wei, Chen Baiming, Yang Hong, et al. Analysis on the status quo of residence base resources in rural areas of China. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2008, 29(3): 1-5.]

- [38] 傅林祥. 清代江苏省问题新探. 清史研究, 2009, (2): 23-31. [Fu Linxiang. A new study on the establishment of Jiangsu Province in the Qing Dynasty. *Studies in Qing History*, 2009, (2): 23-31.]
- [39] 江苏地方志编纂委员会. 江苏省志·地理志. 南京: 江苏古籍出版社, 1999. [Local chronicles compilation committee of Jiangsu Province. *Jiangsu Provincial Annals: Geography Annals*. Nanjing: Jiangsu Ancient Book Press, 1999.]
- [40] 中国人口地理信息系统. <http://cpgis.fudan.edu.cn/cpgis/default.asp>. [China Population Geography Information System. <http://cpgis.fudan.edu.cn/cpgis/default.asp>.]
- [41] 嘉庆重修一统志. [Jiaqing Rebuilt Chi Unification.]
- [42] 曹树基. 中国人口史(第5卷). 上海: 复旦大学出版社, 2005. [Cao Shuji. *Population History of China (Volume 5)*. Shanghai: Fudan University Press, 2005.]
- [43] 赵泉澄. 清代地理沿革表. 北京: 中华书局, 1955. [Zhao Quancheng. *Geography History Table of Qing Dynasty*. Beijing: Zhonghua Book Company, 1955.]
- [44] 龙瀛, 金晓斌, 李苗裔, 等. 利用约束性CA重建历史时期耕地空间格局: 以江苏省为例. 地理研究, 2014, 33(12): 2239-2250. [Long Ying, Jin Xiaobin, Li Miaoyi, et al. A constrained cellular automata model for reconstructing historical arable land in Jiangsu province. *Geographical Research*, 2014, 33(12): 2239-2250.]
- [45] 中国历史地理信息系统项目. <http://www.fas.harvard.edu/~chgis/>. [China Historical Geography Information System. <http://www.fas.harvard.edu/~chgis/>.]
- [46] 江苏省交通史志编纂委员会. 江苏公路交通史. 北京: 人民交通出版社, 1995. [Traffic Chronicles Compilation Committee of Jiangsu Province. *Highway Transportation History of Jiangsu Province*. Beijing: China Communications Press, 1995.]
- [47] 国家基础地理信息系统. http://nfgis.nsd.gov.cn/nfgis/chinese/c_xz.htm. [National Geomatics Center of China. http://nfgis.nsd.gov.cn/nfgis/chinese/c_xz.htm.]
- [48] 国际科学数据服务平台. <http://datamirror.csdb.cn/>. [International Science Data Services Platform. <http://datamirror.csdb.cn/>.]
- [49] 国家统计局. 新中国五十年统计资料汇编. 北京: 中国统计出版社, 1999. [National Bureau of Statistics. *China Compendium of Statistics 1949-1999*. Beijing: China Statistics Press, 1999.]
- [50] 吴文恒, 牛叔文, 郭晓东, 等. 黄淮海平原中部地区村庄格局演变实证分析. 地理研究, 2008, 27(5): 1017-1026. [Wu Wenheng, Niu Shuwen, Guo Xiaodong, et al. The empirical analysis of the village pattern evolution in the central part of Huang-Huai-Hai Plain. *Geographical Research*, 2008, 27(5): 1017-1026.]
- [51] 崔晓黎. 家庭·市场·社区: 无锡清苑农村社会经济变迁的比较研究(1929-1949). 中国经济史研究, 1990, (1): 42-63. [Cui Xiaoli. *Family · Market · Community: A Comparative Study of Social and Economic Change in Wuxi Qingyuan countryside (1929-1949)*. *Researches in Chinese Economic History*, 1990, (1): 42-63.]
- [52] 潘倩. 清代中期江苏省土地利用格局网格化重建. 南京: 南京大学硕士学位论文, 2014. [Pan Qian. *Gridding reconstruction of land use pattern in Jiangsu province in mid Qing Dynasty*. Nanjing: Master Dissertation of Nanjing University, 2014.]
- [53] 马正林. 中国城市历史地理. 济南: 山东教育出版社, 1998. [Ma Zhenglin. *Chinese Urban Historical Geography*. Jinan: Shandong Education Press, 1998.]
- [54] 唐两京城坊考. 卷2. [Lane Research on Two Capitals of Tang Dynasty. Volume 2.]

Data set establishment and spatial reconstruction of built-up area in the Mid Qing Dynasty: Method and case study

LIN Yinan¹, JIN Xiaobin^{1,2}, YANG Xuhong¹, LONG Ying^{2,3}, GUO Beibei¹,
HAN Juan¹, ZHOU Yinkang^{1,2}

(1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

2. Natural Resources Research Center of Nanjing University, Nanjing 210023, China;

3. Beijing Institute of City Planning, Beijing 100045, China)

Abstract: Human-induced land use/cover change (LUCC) has significant effects on the climatic and ecological processes at both global and regional scales, especially in the last 300 years. It is an important driving force of global environmental change and has been one of the hot topics of international concerns. Since the modernization started after industrial revolution, the expansion of built-up areas (construction land) profoundly changed the status of LUCC and made the landscape of urban areas become a notable feature of a certain region. Limited by the available data, reconstruction of historical built-up areas confronts with some difficulties. Supported by the data of historical records, modern statistical and natural resources, the method of reconstructing historical construction land (urban land and rural residential land) of the typical time section in the mid-Qing Dynasty was proposed in this paper. We reconstructed the scale and spatial pattern of urban land by using data including the perimeter of ancient city wall, the shape of the city and the points of city location. Meanwhile, the characteristics of livability and continuity of land, rural population, per capita living space requirements, and the points of potential rural settlements were used as the foundation for rural residential land reconstruction. Based on the theoretical analysis, this study took Jiangsu Province as the study case and chose the year of 1820 as the research year for the availability of historical data. A spatial distribution of construction land with a resolution of $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ was finally established. The results showed that: ① Under the circumstances of lacking effective data, it is a viable attempt to reconstruct the spatial pattern of historical construction land by exploring the most potential of historical documents and making proper deduction based on the modern construction land patterns. ② As for relative factors calculation, the differences in features of combination of towns, the urbanization rate, farming radius and residential patterns should be considered. At the same time, different historical situations of each area should be taken into account in order to determine the scale and spatial pattern of land rationally. ③ The total area of construction land of Jiangsu Province in 1820 was 1006.84 km^2 , in which urban land was 222.90 km^2 and rural residential land was 783.93 km^2 . Compared with related studies, the main difference came from research assumptions and computation basis of study units.

Keywords: construction land; grid; reconstruction; mid-Qing Dynasty; Jiangsu province