

北宋路域耕地面积重建及时空特征分析

何凡能¹, 李美娇^{1,2}, 刘浩龙¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 基于垦田和户口史料及耕地分布影响因子的分析, 本文建立了北宋册载垦田数据的订正方法以及路域耕地分布倾向模型和分配模型, 重建了北宋4个时点的路域耕地面积。结果表明: ① 北宋开宝九年(976年)、至道三年(997年)、治平三年(1066年)和元丰元年(1078年)的耕地总量分别为 468.27×10^6 今亩、 495.53×10^6 今亩、 697.65×10^6 今亩和 731.94×10^6 今亩, 百年间耕地面积增加了约2.64亿今亩; 垦殖率从开宝九年(976年)的10.8%, 增加至元丰元年(1078年)的16.9%, 提高了约6个百分点; 而人均耕地面积由15.7今亩降至8.4今亩。② 从空间变化特征看, 东南地区是北宋土地垦殖发展最快的地区, 土地垦殖率增加了约12.0%, 北宋中期长江中下游平原局部地区垦殖率高达40%; 其次是北方地区, 土地垦殖率增加了5.2%, 北宋中期黄淮海平原的土地垦殖率也超过了20%; 西南地区农业发展相对落后, 区域土地垦殖率仅增加1.2%, 除成都府路外, 各路垦殖率均低于6%。③ 从评估结果看, 本文所构建的路域耕地分配模型具有一定的可行性, 相对误差绝对值小于20%的路域占总路数的84.2%, 结果能较好地反映北宋时期路域耕地面积的时空变化特征。

关键词: 土地利用/土地覆被; 耕地面积; 路域重建; 时空特征; 北宋

DOI: 10.11821/dlxb201611008

1 引言

因人类土地利用活动而导致的土地覆被变化, 被认为是全球环境变化的重要驱动因素, 其影响不仅体现在生物地球化学过程中, 同时也反映在生物地球物理过程中^[1-3]。历史时期土地利用与覆被变化作为国际LUCC (land use and land cover change) 科学研究计划的重要组成部分, 因其在长时间尺度气候变化与生态效应模拟研究中的重要意义, 而受到国际学术界的密切关注^[4-6]。

近十几年来, 在各国学者的不懈努力下, 历史LUCC重建研究取得了显著进展。其中, 最具代表性的成果当数美国威斯康星大学全球环境和可持续发展中心 Ramankutty 等^[7-8]建立的“全球土地利用数据集”(SAGE, 重建时段为1700-1992年)和荷兰公众健康与环境研究所 Goldewijk 等^[9-10]建立的“全球历史环境数据集”(HYDE, 最新版3.1重建时段为10000BC-AD2000), Pongratz 等^[11]以SAGE数据集1700年土地覆被空间格局为基

收稿日期: 2016-04-20; 修订日期: 2016-07-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271227); 科技基础性工作专项项目(2014FY210900) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41271227; The Special Program for Basic Work of the Ministry of Science and Technology, China, No.2014FY210900]

作者简介: 何凡能(1963-), 男, 福建仙游人, 研究员, 博士生导师, 中国地理学会会员(S110006132M), 主要从事历史地理与环境变迁研究。E-mail: hefnc@igsrr.ac.cn

通讯作者: 李美娇(1989-), 女, 山西武乡人, 博士生, 主要从事历史土地利用与土地覆被变化研究。
E-mail: limeijiao0707@126.com

础,以全球人口数据为代用资料,建立的“全球农牧空间数据集”(PJ dataset,重建时段800-1700年),这些数据集中均含盖了中国区域。然而,正如SAGE数据集发布者所声明的那样:全球数据集只适用于全球尺度,不能作为区域性研究的依据^[7]。中国学者对这些全球数据集中有关中国区域的评估结果也表明数据存在较大的不确定性,不能客观反映中国历史耕地变化的趋势及特征^[12-14]。虽然近年来中国学者基于历史文献记载,对全国及区域历史时期LUCC数量重建^[15-17]和网格化重建^[18-22]进行了大量研究,并取得长足进展。但从已发表的研究成果看,多数集中在过去300年,而对过去千年时段的研究还较为鲜见。

北宋是中国千年时段的肇始年代,合理估算该时期的耕地数量,对重建中国过去千年LUCC数据集有着重要意义。虽然何凡能等^[23]依据《文献通考》中记载的一套北宋中期路域垦田资料,通过对垦田隐匿比例的考察,订正了该时点各路域垦田数,并进行网格化空间重建,但文中对订正结果存有明显异常的路域,未给予分析和修正。同时,针对北宋时期只有全国垦田总数而无路域数据的其他时点,如何进行重建,目前也尚无学者涉猎。因此,本文希冀:在深入分析北宋南北方垦田隐匿特征、北宋户均垦田数的合理范围及异常路的户均基本垦田需求等问题的基础上,重新订正北宋中期路域耕地数量;并着力探讨基于全国性垦田资料重建北宋其他时点路域耕地数量的方法,建立北宋路域耕地面积变化序列,揭示北宋时期耕地面积的时空变化特征。

2 资料来源与处理

2.1 研究区简介

北宋疆域位于中国今天津海河、河北霸州、山西雁门关一线以南,陕西横山、甘肃东部、青海湟水流域、四川岷山、大渡河一线以东,多为中国传统农业区(图1)。由于该时段(960-1127年)境内路级政区多有变化,先后有15路、17路、18路和23路等建置,为了便于比较,本文以北宋中期册载垦田资料中所涉及的1府18路作为耕地重建的基础行政单元。

2.2 资料来源

中国农业发展历史悠久,文献资料丰富,尤其是官方档册和地方志中,均留存有大量以耕地为代表的土地利用信息。虽然这些史料还存在着诸多问题,但它仍是深入开展宋代耕地重建研究的重要基础。本文所引用的原始资料主要有两类:垦田数据和户额数据等。

2.2.1 垦田数据 北宋中期的垦田资料引自《文献通考》^①,该数据是现存唯一一套完整的北宋路域垦田资料。此外,《文献通考》中还记载了太祖开宝九年(976年)、太宗至道三年(997年)、真宗天禧五年(1021年)、仁宗皇祐三年(1051年)、英宗治平三年(1066年)和神宗元丰六年(1083年)等6个时点全国性垦田总数(表1)。《新安志》中记载了南宋淳熙年间(1174-1189年)隶属于江南东路的徽州歙县、休宁县、祁门县、婺

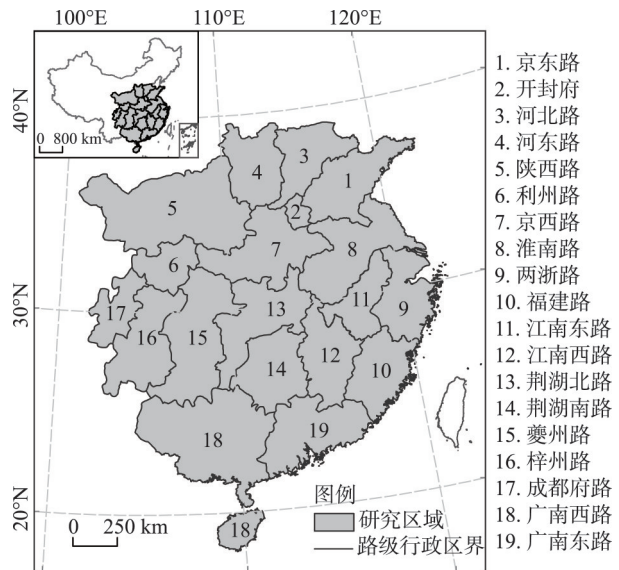


图1 研究区图

Fig. 1 The study area

① [南宋]马端临《文献通考》卷4《田赋四》,中华书局,1986年。

源县、绩溪县和黟县等州县“经界”前后的垦田数据^②。

2.2.2 户额数据 主要引自《文献通考》中记载的5个时点的全国性户额总数(表1), 以及《中国人口史·辽宋金元时期》一书^[24]。该研究成果是吴松弟等在客观把握基本史实的基础上, 依据《太平寰宇记》、《元丰九域志》等宋代户籍史料订正而成(空间分辨率为路级行政区), 具有较高的可信度。

2.3 数据处理

2.3.1 垦田数据选择 册载田亩数字是一种“税亩”, 并非实际的耕地面积, 这已是学界的共识。但是, 研究也表明: 其增减趋势具有相对合理性, 可在一定程度上反映实际耕地面积变化的总体趋势^[25]。从表1中可以看出, 北宋时期册载垦田数总体呈持续增长态势, 这与北宋时期人口不断增长、土地垦殖指数不断提高的史实基本吻合^[26-27]。但是, 表中也显示了

天禧五年(1021年)与皇祐三年(1051年)册载垦田数明显不符合这一变化趋势的情况, 有学者就此明确指出: 增减幅度超乎寻常, 且与总体变化趋势相悖, 其合理性值得怀疑^[26]。基于此, 本文在进行路域耕地面积重建时, 选取开宝九年(976年)、至道三年(997年)、治平三年(1066年)和元丰六年(1083年)^③4个时点, 而对天禧五年(1021年)与皇祐三年(1051年)的垦田数暂不给予订正。

2.3.2 户额数据插补 不同时点的路级户额数是本文所依据的另一类重要数据。然而, 从已有研究成果看, 空间分辨率可达路级政区的户额订正数据只有太平兴国年间(980-989年)、元丰元年(1078年)和崇宁元年(1102年)3个时点^[24], 未能与有册载垦田数的年份匹配。为了获得所需年份的路域户额数据, 文中做如下插补处理: 治平三年(1066年)与元丰元年(1078年)分别以《文献通考》记载和吴松弟等订正的全国户额数据为准; 开宝九年(976年)与至道三年(997年)则基于《文献通考》所载户额数及吴松弟等订正的太平兴国年间的户额数据, 采用线性插值与相互校正的方法得到。

3 重建方法

3.1 总体方案

基于可能获得的史料特点, 本文拟重建北宋多时点路域耕地面积的总体方案是(图2): ① 北宋中期: 首先, 基于北宋推行“方田均税法”时清丈所得的北方部分路域垦田数, 与南宋推行“经界法”时所得的部分州县垦田数, 确定南北方册载垦田数据的隐匿比例, 对该时点册载垦田数据进行初步订正; 其次, 依据户均垦田数, 对订正结果进行合理性评估; 最后, 对部分户均垦田数明显存疑的路, 利用户数与户均基本垦田需求数进行再订正。② 其他时点: 以北宋中期订正结果为基础, 对其他时点全国垦田总数进行订正; 通过分析耕地分布与海拔、坡度和人口等自然与人文因素的关系, 建立路域耕地

表1 北宋著籍户口及垦田数

Tab. 1 "Cropland Taxes" and "the Number of Households" data in the Northern Song Dynasty recorded in historical documents

年代	户数(10 ⁴ 户)	垦田数(10 ⁶ 亩)
太祖开宝九年(976年)	309.1	295.33
太宗至道三年(997年)	413.3	312.53
真宗天禧五年(1021年)	867.8	524.76
仁宗皇祐三年(1051年)	—	228.00
英宗治平三年(1066年)	1291.7	440.00
神宗元丰六年(1083年)	1721.2	461.66

注: 文中耕地面积单位除特别注外, “亩”均指“宋亩”, 现代亩均以“今亩”表示, 下同。

② [南宋] 罗愿:《新安志》卷2《叙贡赋》, 宋元方志从刊本, 中华书局, 1990年。

③ 关于该组“垦田资料”的年代, 何凡能等根据路级政区建置沿革的考察, 认为应为熙宁年间至元丰初年(1068-1078年)的数据, 文中以元丰元年(1078年)为断。

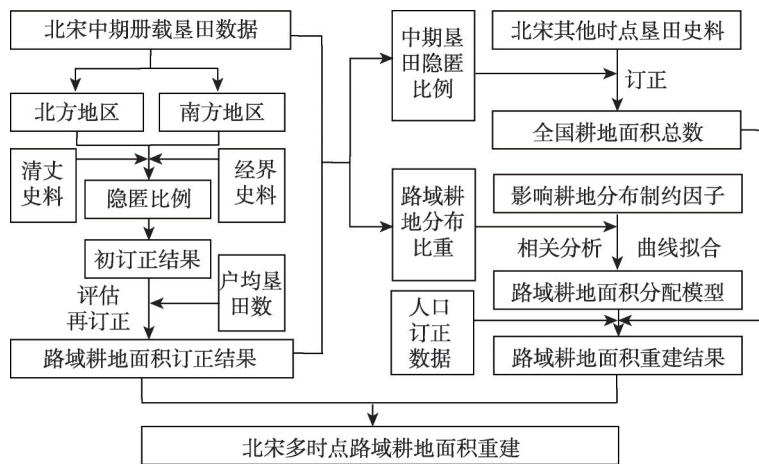


图2 北宋路域耕地面积重建总体方案

Fig. 2 Scheme for reconstruction of cropland area at Lu scale in the Northern Song Dynasty

面积分配模型，将订正后的全国耕地面积分配到路级政区。最后，以重建结果为基础，结合北宋人口与土地垦殖政策，阐明北宋耕地面积的时空变化特征。

3.2 北宋中期路域垦田数订正与评估方法

3.2.1 册载垦田数据订正方法 北宋因推行“不立田制，不抑兼并”的土地制度，“隐田漏税”现象非常严重。因此，学者主要是通过确定垦田隐匿比例，对册载垦田数据进行订正。其中，北方地区以熙宁五年（1072年）王安石推行“方田均税法”后清丈所得北方五路，包括开封府、京东路、河北路、河东路和陕西路的垦田数与册载垦田数据为基础，确定垦田隐匿比例，系数约为2.03^[23]。南方地区则以南宋时期推行“经界法”后，部分州县经界前后的册载垦田数据为基础，确定垦田隐匿比例，系数约为1.93（表2）。从确定的比值看，南北方地区垦田隐匿比例虽有差异，但相差不是很大。

3.2.2 结果合理性评估方法 为了检验所订正各路垦田数的合理性，本文采用户均垦田数作为评估指标。通过对历史文献中有关宋代部分地区“一夫”所耕之田的零星记载的梳理^④，按户均1~2夫计^[24]，大致确定了北宋户均垦田数的合理变动范围，应介于20~100亩之间。文中以此为依据，利用户数与垦田订正数计算了各路户均垦田数（图3），认为：梓州、利州、夔州、广南东和广南西等5路户均垦田数不尽合理，有过于偏低嫌疑，需另行校正。

3.2.3 再估算方法 采用以满足人口基本生活需求为基准，确定各路户均基本垦田需求数的方法，对异常路域垦田数予以再估算。从上述户均垦田数明显偏低各路的地理分布看，主要位于西南地区，因此，文中通过对有宋代

表2 南宋徽州各县经界前后的垦田数据

Tab. 2 "Cropland Taxes" and boundary survey data in Huizhou in the Southern Song Dynasty recorded in historical documents

州县	经界前(亩)	经界后(亩)	经界后/经界前
歙县	252984	458156	1.81
休宁县	186950	303964	1.63
祁门县	199563	717636	3.60
婺源县	679707	795787	1.17
绩溪县	104538	309566	2.96
黟县	92135	334430	3.63
合计	1515877	2919539	1.93

④ 北宋科学家沈括在《梦溪笔谈》“记生计”条下载：北方陆田，粗放的一夫可耕“百亩、五十亩”，集约的“三十亩”；北宋彭州知州吕陶在《净德集》“岁计”条下载：熙宁年间（1068-1077年）北方陆田“一夫有田二十亩”；北宋水利学家郑亶在论及北宋中期苏州垦田时称“国朝之法：一夫之田为四十亩”；南宋词人陈亮在《龙川集》中载：南方水田“一夫耕三、四十亩”；南宋时任严州知府的方回据其在嘉兴时的见闻，称当地佃户“一夫之田”约为30亩。

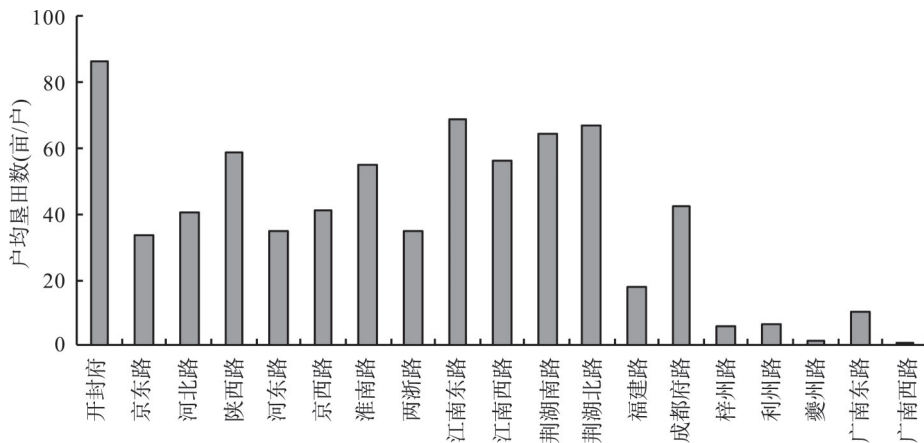


图3 初步订正后的北宋中期各路户均垦田数

Fig. 3 Preliminary revised results of cropland area per household in each Lu in the mid-Northern Song Dynasty

西南地区粮食亩产量^[28]⑤、人均年粮食需求量^[29]⑥、种植制度^[30]⑦和户均口数^[24]⑧的分析,认为梓州路、利州路和广南东路的户均基本垦田需求数约为20亩,夔州路和广南西路为30亩。以此为依据,对梓州路、利州路、夔州路、广南东路和广南西路的垦田数再行估算(表3)。

3.3 其他时点耕地面积重建方法

3.3.1 全国垦田总量订正方法

虽然北宋前期政府为了方田均税,也推行了一系列检田、方田活动,但均实施时间较短,涉及范围有限,未留下可资利用的检田、方田的结果^[26]。因此,文中以订正后的北宋中期垦田数据作为估算基数,确定北宋中期册载垦田数据总的隐匿比例,以此比值对其他时点全国性的册载垦田数进行订正。

3.3.2 路域耕地面积分配方法 为了更好地反映北宋路域耕地面积及垦殖强度的时空变化特征,本文试图通过遴选和量化影响耕地分布的因子,探索建立基于全国耕地总面积分配路域耕地面积的模型,其具体方法如下:

(1) 因子遴选和量化 影响耕地分布的因素主要有地形、热量、水分、土壤、植被等自然因素和人口、政策、经济发展水平、战争等人文因素,但在不同地区或同一地区的不同空间尺度上,其主要影响因素不尽相同。北宋疆域多处于中国传统农垦区,耕地分布可能会受到地形条件的影响,水热、植被、土壤等自然因素并不成为耕地分布的制

表3 西南五路垦田数再估算结果

Tab. 3 Re-estimation results of cropland area in Southwest China in the mid-Northern Song Dynasty

路别	初订正结果(10 ⁶ 亩)	户数(10 ⁴ 户)	再估算结果(10 ⁶ 亩)
梓州路	2.84	47.8	9.56
利州路	2.49	37.2	7.45
夔州路	0.43	25.4	7.63
广南东路	6.07	57.9	11.59
广南西路	0.11	23.8	7.15

⑤ 据佚名《两朝纲目备要》卷13载:梓州路梓州在南宋嘉定年间的粮食亩产量约为2~2.5石;《宋会要辑稿·食货》63之111、2之20;李心传《建炎以来系年要录》卷111、李心传《建炎以来朝野杂记》甲集卷16等载:利州路的汉中、洋州一带在绍兴年间的粮食亩产量约为2~3石;梓州路、利州路山区及夔州路与荆湖南路西部、西南部山区同为“刀耕火种之地”;据陈傅良《止斋先生文集》卷44《桂阳军劝农文》载:“湖南路桂阳军一亩米一石”。可见,西南地区农业发展相对较好的地区粮食平均亩产量约为1.5石,较差的地区为1石。

⑥ 据程民生在《宋代生活水平及币值考》中通过对宋代史料综合分析称:人均日粮食消耗量的底线应为二升,小孩减半。

⑦ 据曾雄生等在《宋代岭南地区的生态环境与稻作农业》中研究称:宋代岭南地区的稻田最普遍的仍为一年一熟制。

⑧ 据吴松弟等在《中国人口史·辽宋金元时期》中研究称:南方地区户均人口数为5.2口。

约条件^[18]。从人文因素来看，在传统农业社会里，人口数量变化而引起的对粮食需求状况的改变，会直接影响区域耕地需求量的变化，因此人口是影响区域耕地分布的重要因素；而政策和战乱等因素则多是通过影响区域人口状况，间接影响区域耕地分布。那么，在路域尺度上，究竟是地形（包括海拔与坡度）因素还是人口因素起主导作用？

为了辨识影响耕地分布的主导因子，本文以全国 1 km DEM 数据^⑨为基础资料，在 GIS 软件中运用空间分析模块进行重采样，得到北宋路域的平均海拔 $D(i)$ 和平均坡度 $S(i)$ 数据；利用北宋中期路域耕地面积和人口数据，求得各路耕地比重 $C(i)$ 和人口比重 $P(i)$ 数据；将各路平均海拔 $D(i)$ 、平均坡度 $S(i)$ 和人口比重 $P(i)$ 分别与耕地比重 $C(i)$ 进行相关分析。结果显示，地形因子与耕地比重 $C(i)$ 相关性并不显著（相关系数分别为 -0.183 和 -0.287 ）；而人口比重 $P(i)$ 与耕地比重 $C(i)$ 呈显著的正相关（相关系数为 0.823 ）。可见在路域尺度上，人口是影响耕地分布的主导因素。

通过拟合耕地比重与人口比重间的关系，可以很好地量化揭示人口对耕地分布的影响。曲线拟合结果显示，北宋中期人口分布和耕地分布呈明显指数变化趋势（ $R^2 = 0.682$ ）（图 4），其拟合函数为：

$$C(i, t_v) = 0.904 \times e^{0.273 \times P(i, t_v)} \quad (1)$$

式中： $C(i, t_v)$ 为 i 路在 t_v 年的耕地比重； $P(i, t_v)$ 为 i 路在 t_v 年的人口比重。

(2) 修正系数确定 在各路人均耕地面积相近的情况下，直接通过路域人口比重指示耕地比重是可行的。但从北宋中期耕地订正结果看，各路人均耕地面积有较大差别，直接利用路域人口比重指示耕地比重具有一定的局限性。因此，为了消除人均耕地面积差异对分配结果的影响，本文利用北宋中期人均耕地面积指数 $\alpha(i)$ 为系数，对拟合函数进行修正。其计算公式：

$$a(i) = C_p(i) / \text{MAX}(C_p(i)) \quad (2)$$

式中： $a(i)$ 为 i 路人均耕地面积指数； $C_p(i)$ 、 $\text{MAX}(C_p(i))$ 分别为北宋中期 i 路人均耕地面积、人均耕地面积最大值。

(3) 倾向模型与分配模型的构建 为了能更加合理地将不同时点全国耕地面积总数分配到各个路域，本文构建了路域耕地分布倾向模型，其计算公式为：

$$\delta(i, t_v) = a(i) \times 0.904 \times e^{0.273 \times P(i, t_v)} \quad (3)$$

式中： $\delta(i, t_v)$ 为 t_v 年 i 路耕地分布倾向； $\alpha(i)$ 为人均耕地面积指数； $P(i, t_v)$ 为 t_v 年 i 路的人口比重。模型表征了人口比重大，且人均耕地资源占有量大的路级政区，将拥有更大的耕地分布倾向。基于此，本文建立了利用全国耕地总数进行路域耕地面积重建的分配模型：

$$X(i, t_v) = \frac{\delta(i, t_v)}{\sum_i \delta(i, t_v)} \times A(t_v) \quad (4)$$

式中： $\delta(i, t_v)$ 为 i 路在 t_v 年的耕地分布倾向； $X(i, t_v)$ 为 i 路在 t_v 年的耕地面积； $A(t_v)$ 为 t_v 年的耕地总面积。

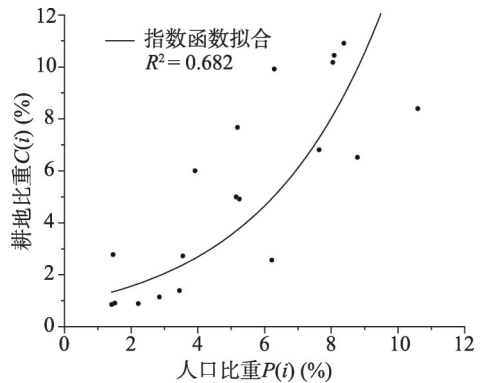


图4 北宋中期各路耕地比重与人口比重的曲线拟合结果

Fig. 4 The curve fitting results of cropland proportion and population proportion in each Lu in the mid-Northern Song Dynasty

⑨ 数据来源：全球 1 km DEM，由国家科学数据共享工程—地球系统科学数据共享网提供（<http://www.geodata.cn>）。

应该指出的是, 北宋中前期是境内农业垦殖恢复和发展的时期, 北宋中期各路耕地面积应是重建时段的最高值^[26]。因此, 在耕地分配过程中, 若某路耕地分配数超过北宋中期的耕地数, 则将超出的部分按照公式(3)~(4)继续分配到其他各路。

(4) 不确定性分析 为了分析重建结果可能存在的不确定性, 笔者利用本文建立的模型, 对北宋中期耕地面积进行了路域分配, 并将分配结果与路域耕地面积订正结果进行对比分析, 结果显示: 虽然各路域间相对误差绝对值存有一定差异, 这主要与各路域人均耕地占有量不同有关。但从总体来看, 19路(府)的相对误差绝对值均小于30%(图5)。其中, 小于10%的路有13个, 介于10%~20%的路有3个, 20%~30%的路有3个。可见, 相对误差绝对值介于0~20%之间的路占到总路数的84.2%, 说明分配结果能够基本反映北宋时期路域耕地面积的分布情况。

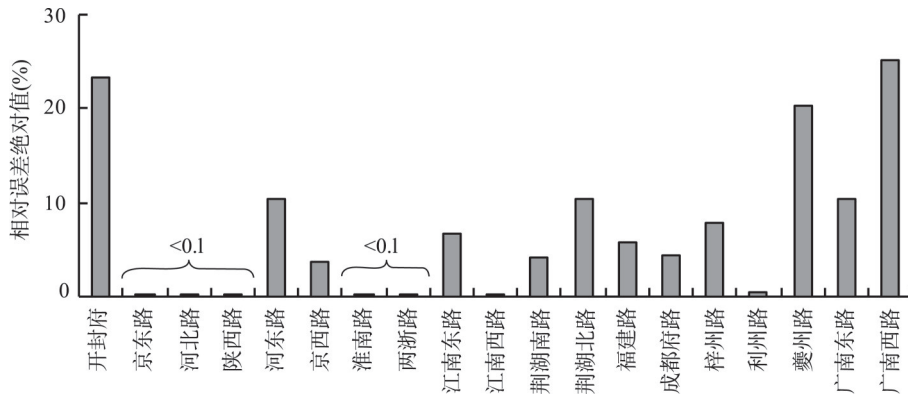


图5 北宋中期路域耕地重建结果相对误差绝对值

Fig. 5 The absolute relative error of cropland reconstruction results in the mid-Northern Song Dynasty

4 结果与分析

4.1 北宋路域耕地面积重建结果

利用上述引用的数据和建立的路域耕地面积重建方法, 本文订正或重建了开宝九年(976年)、至道三年(997年)、治平三年(1066年)和元丰元年(1078年)4个时点的全国及路域耕地面积数据, 并结合各路政区面积, 得到各路土地垦殖率(图6)。其中, 宋境土地面积及各路的政区面积是根据谭其骧《中国历史地图集》^[31]中的北宋政区图, 进行数字化求得。

结果显示(表4): 开宝九年(976年)、至道三年(997年)、治平三年(1066年)和元丰元年(1078年)的耕地总量分别为 468.27×10^6 今亩、 495.53×10^6 今亩、 697.65×10^6 今亩和 731.94×10^6 今亩; 垦殖率分别为10.8%、11.4%、16.1%和16.9%; 人口总量分别为 2982.7×10^4 人、 3988.5×10^4 人、 6791.9×10^4 人和 8730.4×10^4 人; 人均耕地面积分别为15.7今亩、12.4今亩、10.3今亩和8.4今亩。

4.2 耕地时空变化特征分析

4.2.1 总体趋势 从耕地总量重建结果来看, 北宋统一之后, 开宝九年(976年)至元丰元年(1078年), 北宋境内的人口数量由 2982.7×10^4 人增加至 8730.4×10^4 人, 年均增长率约为1.1%。在日益增长的人口需求的推动下, 耕地面积呈现持续增加的变化趋势, 耕地面积从 468.27×10^6 今亩增至 731.94×10^6 今亩, 100年间增加了 263.67×10^6 今亩; 土地垦殖率由10.8%增至16.9%, 增加约6个百分点; 而人均耕地面积由15.7今亩降至8.4今亩。

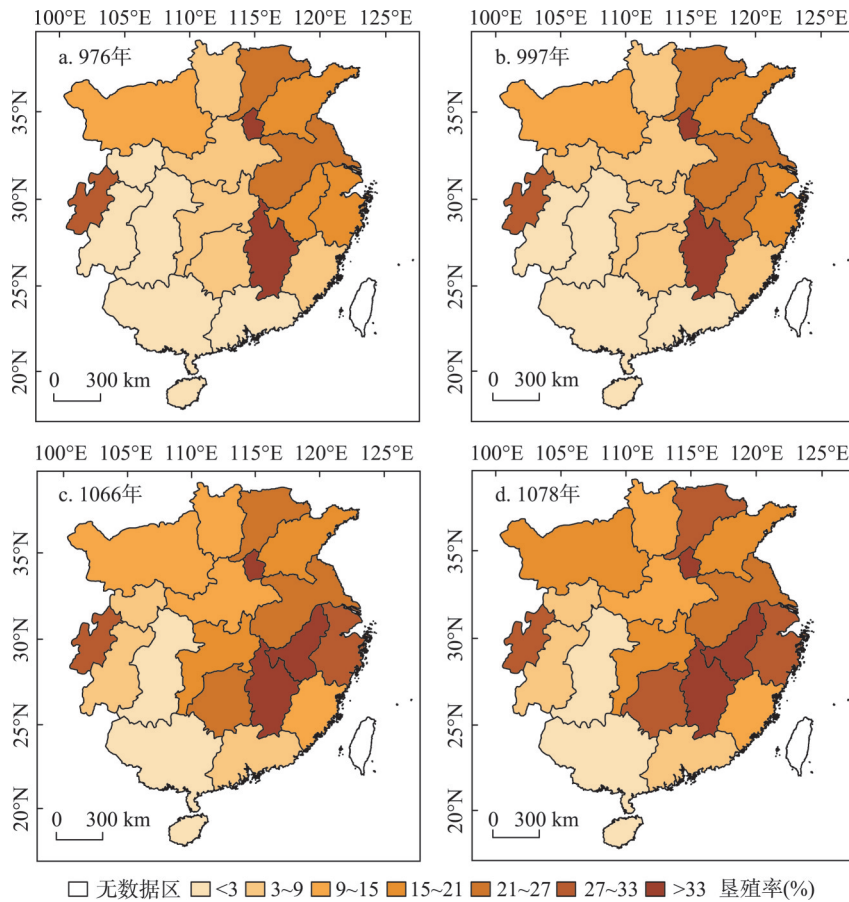


图6 北宋路域垦殖率重建结果

Fig. 6 Reconstruction results of reclamation rate at Lu scale in the Northern Song Dynasty

表4 北宋耕地面积与人口数量重建结果

Tab. 4 Reconstruction results of cropland area and population for the Northern Song Dynasty

年份	垦田数(10 ⁴ 今亩)	垦殖率(%)	人口总量(10 ⁴ 人)	人均耕地面积(今亩)
开宝九年(976年)	468.27	10.8	2982.7	15.7
至道三年(997年)	495.53	11.4	3988.5	12.4
治平三年(1066年)	697.65	16.1	6791.9	10.3
元丰元年(1078年)	731.94	16.9	8730.4	8.4

注: 1宋亩=0.876今亩^[32]。

4.2.2 空间格局变化特征 根据路域耕地面积的分配结果, 绘制得到开宝九年(976年)至元丰元年(1078年)的垦殖率变化图(图7)。为了便于分析, 本文依据垦殖率变化特点, 将研究区分为北方地区、东南地区和西南地区, 从区域及路域的尺度上, 对北宋土地垦殖率的空间变化特征进行分析。

从图6、图7中可以看出, 北方地区作为中国传统的农耕区, 历来土地垦殖发展程度较高。入宋之后, 随着人口的增长和政府促垦政策的推行, 土地垦殖仍处于不断发展状态, 开宝九年(976年)至元丰元年(1078年)间区域土地垦殖率从12.7%增至17.9%(表5)。到北宋中期, 各路垦殖率均在10%以上, 其中, 黄淮海平原土地垦殖率最高, 已达到20%以上。

东南地区是开宝九年(976年)至元丰元年(1078年)间北宋土地垦殖发展最快的地区(图7),随着唐末宋初北方人口的不不断迁入,区域土地垦殖率从16.3%增至28.3%,增长约12个百分点。其中,江南东路、两浙路和荆湖南路垦殖率增加最明显,分别达到33.3%、16.1%和22.9%;福建路垦殖率增加量最小,约为2.8%,这应该与路内人多地少的境况有关。到北宋中期,长江中下游平原的局部地区垦殖率已经超过了40%。

西南地区是北宋土地垦殖发展最落后的地区,除位于成都平原的成都府路外,其余各路自然地理条件相对较差,北宋时期人口迁入量有限,且开发难度大,因此土地垦殖发展相对较缓慢(图7)。开宝九年(976年)至元丰元年(1078年)间区域垦殖率由3.8%增至5.0%。其中,广南东路和利州路的垦殖率增加量较高,分别为3.3%和2.8%;成都府路次之,约为1.5%;其余三路的增长量均不到1%。到北宋中期,成都府路垦殖率达到32.2%,其他各路垦殖率均低于6%,其中,夔州路和广南西路垦殖率最低,仅在2%左右。

4.3 重建结果对比

由于本文与HYDE3.1和PJ全球数据集中耕地重建时点不同,笔者选择时点较为接近的北宋中期(1078年)与两个全球数据集中1100年的耕地重建结果进行对比,结果显示:本文重建的北宋中期耕地总量为 731.94×10^6 今亩,土地垦殖率为17%,而HYDE 3.1和PJ的耕地总量分别为 565.50×10^6 今亩和 492.60×10^6 今亩,垦殖率相应为13%和11%,存有较大差别。从路域尺度来看(图8),HYDE数据集对北宋东南各路及成都府路的耕地重建结果明显偏低,其中江南西路、江南东路和成都府路差异较大,分别低了76.2%、77.2%和79.1%;而对北方地区和西南各路的重建结果相对偏高,其中京东路、梓州路和广南西路分别高了75.7%、218.9%和410.5%。

5 结论

(1) 基于史料及耕地分布影响因子的分析,本文建立了北宋中期册载垦田数据的订正方法和路域耕地分布倾向模型和分配模型。误差分析表明:相对误差绝对值介于0~20%之间的路占到总路数的84.2%,说明分配结果能够基本反映北宋时期路域耕地面积的分布情况。

(2) 重建了4个时点的耕地面积,结果表明:研究时段北宋耕地面积总量呈持续增加的趋势。开宝九年(976年)、至道三年(997年)、治平三年(1066年)和元丰元年(1078年)的耕地总量分别为 468.27×10^6 今亩、 495.53×10^6 今亩、 697.65×10^6 今亩和

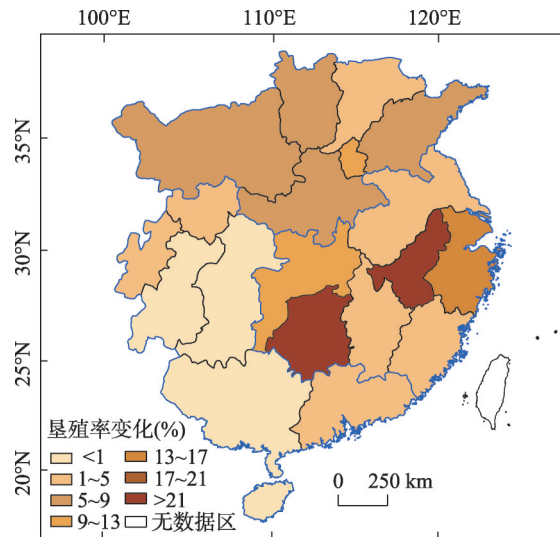


图7 976-1078年北宋路域垦殖率变化图

Fig. 7 Changes of reclamation rate in each Lu of the Northern Song Dynasty during AD 976-1078

表5 976-1078年北宋各区域垦殖率变化(%)

Tab. 5 Changes of reclamation rate in each region of the Northern Song Dynasty during AD 976-1078 (%)

年份	北方地区	东南地区	西南地区
开宝九年(976年)	12.7	16.3	3.8
元丰元年(1078年)	17.9	28.3	5.0
变化幅度	5.2	12.0	1.2

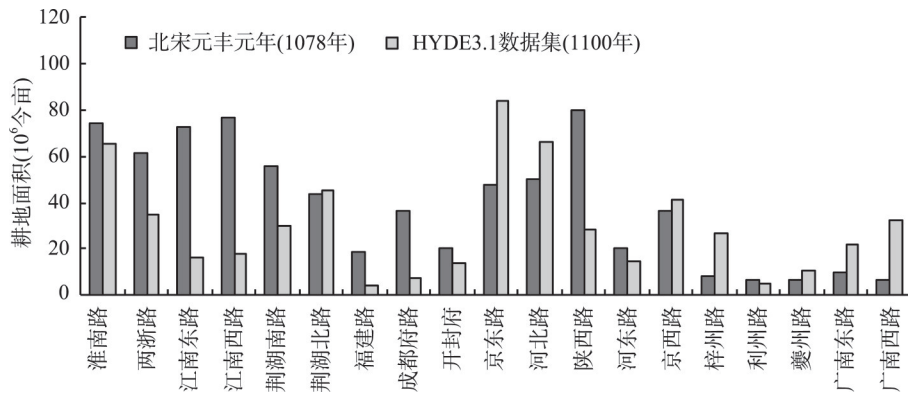


图8 北宋中期路域耕地重建结果对比图

Fig. 8 Comparisons of reconstructed cropland area in the mid-Northern Song Dynasty at Lu scale

731.94×10^6 今亩；垦殖率分别为 10.8%、11.4%、16.1% 和 16.9%；人口总量分别为 2982.7×10^4 人， 3988.5×10^4 人、 6791.9×10^4 人和 8730.4×10^4 人。

(3) 从耕地总体变化趋势来看，开宝九年（976年）至元丰元年（1078年），北宋境内的耕地面积从 468.27×10^6 今亩增加至 731.94×10^6 今亩，100年间耕地面积增加约 2.64 亿今亩；垦殖率从开宝九年（976年）的 10.8%，增加至元丰元年（1078年）的 16.9%，提高了约 6 个百分点；而人均耕地面积由 15.7 今亩降至 8.4 今亩。

(4) 空间格局变化特征：开宝九年（976年）至元丰元年（1078年），东南地区是北宋土地垦殖发展最快的地区，区域土地垦殖率增加 12.0%，北宋中期长江中下游平原局部地区垦殖率高达 40%；北方地区土地垦殖率增加 5.2%，北宋中期黄淮海平原土地垦殖率也超过了 20%；西南地区是北宋土地垦殖发展最落后的地区，区域垦殖率仅增加 1.2%，除位于成都平原的成都府路外，各路垦殖率均低于 6%，其中，夔州路和广南西路仅在 2% 左右。

参考文献(References)

- [1] Ramankutty N, Delire C, Snyder P. Feedbacks between agriculture and climate: An illustration of the potential unintended consequences of human land use activities. *Global and Planetary Change*, 2006, 54(1/2): 79-93.
- [2] Tian H Q, Chen G S, Zhang Chi, et al. Century-scale responses of ecosystem carbon storage and flux to multiple environmental changes in the southern United States. *Ecosystems*, 2012, 15(4): 674-694.
- [3] Tao B, Tian H Q, Chen G S, et al. Terrestrial carbon balance in tropical Asia: Contribution from cropland expansion and land management. *Global and Planetary Change*, 2013, 100: 85-98.
- [4] Li Qiaoping, Ding Yihui, Dong Wenjie. A numerical simulation on impact of historical land-use changes on regional climate in China since 1700. *Acta Meteorologica Sinica*, 2006, 64(3): 257-270. [李巧萍, 丁一汇, 董文杰. 中国近代土地利用变化对区域气候影响的数值模拟. *气象学报*, 2006, 64(3): 257-270.]
- [5] Tian H Q, Banger K, Tao B, 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.
- [6] Mazier F, Broström A, Bragée P, et al. Two hundred years of land-use change in the South Swedish Uplands: Comparison of historical map-based estimates with a pollen-based reconstruction using the landscape reconstruction algorithm. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2015, 24(5): 555-570.
- [7] 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.
- [8] Ramankutty N, Foley J A. ISLSCP II historical croplands cover, 1700-1992//Hall F G, Collatz G J, Meeson B, et al. ISLSCP Initiative II Collection. Tennessee: Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, 2010: 1-20.
- [9] Goldewijk K K. Estimating global land use change over the past 300 years: The HYDE database. *Global*

- Biogeochemical Cycles, 2001, 15(2): 417-433.
- [10] Goldewijk K K, Beusen A, Dreht G V, et al. The HYDE 3.1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12,000 years. *Global Ecology & Biogeography*, 2011, 20(1): 73-86.
- [11] Pongratz J, Reick C, Raddatz T, et al. A reconstruction of global agricultural areas and land cover for the last millennium. *Global Biogeochemical Cycles*, 2008, 22(3): 1-16.
- [12] Li Beibei, Fang Xiuqi, Ye Yu, et al. Accuracy assessment of global historical cropland datasets based on regional reconstructed historical data: A case study in Northeast China. *Science China Earth Sciences*, 2010, 40(8): 1048-1059. [李蓓蓓, 方修琦, 叶瑜, 等. 全球土地利用数据集精度的区域评估: 以中国东北地区为例. *中国科学: 地球科学*, 2010, 40(8): 1048-1059.]
- [13] He F N, Li S C, Zhang X Z, et al. Comparisons of cropland area from multiple datasets over the past 300 years in the traditional cultivated region of China. *Journal of Geographical Sciences*, 2013, 23(6): 978-990.
- [14] Zhang X Z, He F N, Li S C. Reconstructed cropland in the mid-eleventh century in the traditional agricultural area of China: Implications of comparisons among datasets. *Regional Environmental Change*, 2013, 13(5): 969-977.
- [15] Ge Quansheng, Dai Junhu, He Fanneng, et al. Analysis on cropland resources changes and its driving forces over the past 300a in some provinces of China. *Progress in Natural Science*, 2003, 13(8): 43-50, 116. [葛全胜, 戴君虎, 何凡能, 等. 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. *自然科学进展*, 2003, 13(8): 43-50, 116.]
- [16] Ye Yu, Fang Xiuqi, Ren Yuyu, et al. Cropland cover change in Northeast China during the past 300 years. *Science China Earth Sciences*, 2009, 39(3): 340-350. [叶瑜, 方修琦, 任玉玉, 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.]
- [17] Cao Xue, Jin Xiaobin, Wang Jinshuo, et al. Reconstruction and change analysis of cropland data of China in recent 300 years. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 69(7): 896-906. [曹雪, 金晓斌, 王金朔, 等. 近300年中国耕地数据集重建与耕地变化分析. *地理学报*, 2014, 69(7): 896-906.]
- [18] 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, 61(1): 698-706. [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, 61(1): 698-706.]
- [19] Li Ke, He Fanneng, Zhang Xuezheng. An approach to reconstructing spatial distribution of historical cropland with grid-boxes by utilizing MODIS land cover dataset: A case study of Yunnan Province in the Qing Dynasty. *Geographical Research*, 2011, 30(12): 2281-2288. [李柯, 何凡能, 张学珍. 基于MODIS数据网格化重建历史耕地空间分布的方法: 以清代云南省为例. *地理研究*, 2011, 30(12): 2281-2288.]
- [20] Xie Yaowen, Wang Xueqiang, Wang Guisheng, et al. Cultivated land distribution simulation based on grid in middle reaches of Heihe River basin in the historical periods. *Advances in Earth Science*, 2013, 28(1): 71-78. [颜耀文, 王学强, 汪桂生, 等. 基于网格化模型的黑河流域中游历史时期耕地分布模拟. *地球科学进展*, 2013, 28(1): 71-78.]
- [21] 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. [龙瀛, 金晓斌, 李苗茜, 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.]
- [22] Li S C, He F N, Zhang X Z. A spatially explicit reconstruction of cropland cover in China from 1661 to 1996. *Regional Environmental Change*, 2016, 16(2): 417-428.
- [23] He Fanneng, Li Shicheng, Zhang Xuezheng. The reconstruction of cropland area and its spatial distribution pattern in the midnorthern Song Dynasty. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(11): 1531-1539. [何凡能, 李士成, 张学珍. 北宋中期耕地面积及其空间分布格局重建. *地理学报*, 2011, 66(11): 1531-1539.]
- [24] Wu Songdi, Ge Jianxiang. *The History of Chinese Population: Vol. III*. Shanghai: Fudan University Press, 2000: 1-665. [吴松弟, 葛剑雄. *中国人口史: 第三卷*. 上海: 复旦大学出版社, 2000: 1-665.]
- [25] Zhou Rong. A comprehensive survey and reevaluation on the cropland area of early Qing Dynasty. *The Journal of Chinese Social and Economic History*, 2001(3): 39-49. [周荣. 对清前期耕地面积的综合考察和重新估价. *中国社会经济史研究*, 2001(3): 39-49.]
- [26] Qi Xia. *The Economic History of the Song Dynasty: First Volume*. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 1987. [漆侠. *宋代经济史*. 上海: 上海人民出版社, 1987.]
- [27] Han Maoli. *Agricultural Geography of the Song Dynasty*. Taiyuan: Shanxi Ancient Classics Publishing House, 1993. [韩茂莉. *宋代农业地理*. 太原: 山西古籍出版社, 1993.]
- [28] Qi Xia. Imbalanced development of the agricultural production in the Song Dynasty: A study based mainly on agricultural management modes and yield per unit area. *Academic Journal of Zhongzhou*, 1983(1): 102-110. [漆侠. 宋代农业生产的发展及其不平衡性: 从农业经营方式、单位面积产量方面考察. *中州学刊*, 1983(1): 102-110.]

- [29] Cheng Minsheng. The study on living standard and currency value in the Song Dynasty. *Journal of Historical Science*, 2008(3): 100-111. [程民生. 宋代生活水平及币值考. *史学月刊*, 2008(3): 100-111.]
- [30] Zeng Xiongsheng. Ecological environment and rice agriculture of the Lingnan area in the Song Dynasty//Key Research Institute of Social History of China in Nankai University. International Symposium on Historical Environment and Social of China. Tianjin: Key Research Institute of Social History of China in Nankai University, 2005. [曾雄生. 宋代岭南地区的生态环境与稻作农业//南开大学中国社会史研究中心. 中国历史上的环境与社会国际学术讨论会论文. 天津: 南开大学中国社会史研究中心, 2005.]
- [31] Tan Qixiang. *Historical Atlas of China: The Sixth Book*. Beijing: SinoMaps Press, 1982: 12-41. [谭其骧. 中国历史地图集(第六册). 北京: 地图出版社, 1982: 12-41.]
- [32] Wu Hui. *New Concise History of Chinese Measurement*. Beijing: China Metrology Publishing House, 2006: 119-131. [吴慧. 新编简明中国度量衡通史. 北京: 中国计量出版社, 2006: 119-131.]

Reconstruction of cropland area at Lu scale and its spatial-temporal characteristics in the Northern Song Dynasty

HE Fanneng¹, LI Meijiao^{1,2}, LIU Haolong¹

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on "Cropland Taxes" and "the Number of Households" data recorded in historical documents, this paper estimated cropland area of the Northern Song Dynasty by analyzing some society factors in this dynasty, including land use policies and taxation system. Besides, by quantifying the relationship among population proportion, per capita cropland and cropland spatial pattern in the mid-Northern Song Dynasty, we designed a cropland distribution model. And the model was used to reconstruct cropland area at Lu (administrative region of the Northern Song Dynasty) scale for AD 976, 997, 1066 and 1078. The results are shown as follows: (1) The cropland area of the whole study area for AD 976, 997, 1066 and 1078 of the Northern Song Dynasty were about 468.27 million mu (Chinese area unit, 1 mu=666.7 m²), 495.53 million mu, 697.65 million mu and 731.94 million mu, respectively, and 264 million mu was increased for AD 976-1078. The annual growth rate of cropland area was about 4.4‰, and the reclamation rate (i.e. ratio of cropland area to total land area) increased from 10.7% to 16.8%, and per capita cropland area decreased from 15.7 mu to 8.4 mu. (2) In terms of the characteristics of cropland spatial pattern change, the reclamation rate of the Southeast, Northern and Southwest in the Northern Song territory increased by 12.0%, 5.2% and 1.2%, respectively, and that of some regions of the Yangtze River Plain increased to more than 40%, and for the North China Plain the reclamation rate increased to more than 20%. The reclamation rate of the Southwest (except the Chengdu Plain) in the Northern Song territory was less than 6%. (3) The evaluation results show that the absolute relative error of 84.2% Lu was less than 20%, so the cropland distribution model is feasible. Therefore, our reconstruction results can reflect the spatial-temporal characteristics of cropland area in the Northern Song Dynasty.

Keywords: LUCC; cropland area; reconstruction at Lu scale; spatial-temporal characteristics; the Northern Song Dynasty