

清末耕地空间分布格局重建方法比较

姜蓝齐¹, 张丽娟¹, 臧淑英¹, 张学珍^{2,3}

- (1. 哈尔滨师范大学 黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室, 哈尔滨 150025;
2. 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;
3. 江苏省气候变化协同创新中心, 南京 210093)

摘要: 揭示历史时期土地利用/覆盖变化是认识人类活动对气候和环境影响的基础。本文在耕地面积、人口数量、土地利用及森林分布等多源数据基础上, 分别以近代耕地空间分布格局和历史时期耕地潜在分布区为边界条件, 通过构建耕地垦殖倾向指数模型分配耕地面积, 在1 km×1 km象元尺度上重建了清末(1908年)松嫩平原耕地空间格局, 并对重建结果进行分析比较。结果表明: ① 两种方法重建的耕地空间分布范围格局基本一致, 耕地空间定位吻合率约为68%。清末(1908年)耕地集中分布在松嫩平原东部和南部地区; ② 以历史时期耕地潜在分布为边界条件的重建结果, 较以近代耕地空间分布格局为限制范围的重建结果更准确, 更符合历史事实。

关键词: 耕地空间分布格局; 重建方法比较; 清末; 松嫩平原

DOI: 10.11821/dlxb201504010

1 引言

目前, 陆地地表(非冰层)近40%土地从事农业活动, 已替代全球大部分自然植被^[1-3], 由此导致地表参数(反照率、粗糙度、蒸腾与固碳能力等)的变化, 进而影响区域和全球气候^[4-8]。由农业垦殖所导致的土地利用/覆被变化已被广泛认为是人类活动影响气候变化的重要途径之一, 并且在区域和局地尺度上, 其效应可能大于通过燃烧化石能源、排放温室气体所带来的影响^[9]。因此, 建立高分辨率历史土地利用数据为更好地模拟历史时期土地利用/覆盖变化对气候、环境和生态效应的影响有重要意义, 同时也是全球变化研究的重要方向。

国内外学者对历史时期耕地空间格局重建的研究已取得了丰富的成果。在全球耕地覆盖变化方面, 最具代表性的为“全球历史环境数据集(HYDE 3.1)”^[10]和“过去300年全球土地利用数据集(SAGE 2010)”^[11], 分别由(荷兰)公共健康与环境研究所和(美国)威斯康星大学可持续性全球环境中心发布。HYDE和SAGE数据集空间分辨率分别为5'和0.5°经纬网格, 其数据只适用于全球尺度, 而不能作为区域研究的依据^[12]; 李

收稿日期: 2014-07-01; 修订日期: 2014-12-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(41030743, 42171217, 41471171); 黑龙江省自然科学基金项目(D201302)
[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41030743, No.42171217, No.41471171;
Natural Science Foundation of Heilongjiang Province, No.D201302]

作者简介: 姜蓝齐(1988-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 博士研究生, 主要从事土地利用/覆盖变化研究。

E-mail: jianglanqi@126.com

通讯作者: 臧淑英(1963-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 教授, 主要从事LUCC与3S综合应用研究。

E-mail: zsy6311@163.com

蓓蓓等^[13]以中国传统农区历史耕地数据集(CHCD)为基础,与SAGE和HYDE数据集进行同期同区比较,结果也表明其数据不能真实反映该地区历史耕地的变化趋势和特点。在中国历史时期耕地覆盖变化方面,林珊珊等^[14]利用人口密度、地形等因子,通过构建农垦引力模型,重建了1820年中国传统农区垦殖强度数据集,空间分辨率为60 km×60 km;何凡能等^[15]采取类似方法实现了北宋时期耕地垦殖率的网格化表达(空间分辨率为60 km×60 km);叶瑜等^[3]通过对多源耕地数据的校正,重建了东北地区1683-2002年15个时间断面的耕地面积及耕地垦殖率的空间表达;李士成等^[16]以现代耕地分布格局为基础,重建了清代西南地区1661-1911年6个时间断面的耕地垦殖率空间分布,分辨率为10 km×10 km。

上述研究成果均侧重于对耕地垦殖率空间格局的重建,缺少高精度具有空间属性的耕地覆盖信息,因而不能在气候与生态效应模拟研究中得到有效应用。由于历史资料的可获取性,目前国内对历史时期耕地空间定位的研究普遍以通过遥感影像解译获取的现代耕地空间分布格局为重建依据,辅以模型或限制因子分配耕地面积,如白淑英等^[17]利用现代多期土地利用遥感影像,建立土地利用转变诊断模型,重建了大庆市杜尔伯特县1930s、1950s的土地利用/土地覆被空间格局;李柯等^[12]以2000年MODIS影像中耕地空间分布范围为基础,以高程、坡度等为限制因子,将历史考订的县域耕地面积数据分配到空间上,重建了云南省1671和1827年两个时间断面上的耕地空间分布信息,分辨率为90 m×90 m。以现代土地利用或耕地空间格局为边界条件重建历史时期土地利用或耕地空间分布信息,虽可以获得较高分辨率的空间定位信息,但未能充分考虑到土地发展进程和变化情况,因而具有一定的局限性。

近100年来中国东北地区伴随着“闯关东”这一独特历史事件,土地利用/覆被发生了重大变化。本文以东北地区耕地开发较早,历史资料较为丰富的松嫩平原为研究区,分别通过以历史潜在耕地分布范围为基础的“顺推法”和以现代耕地空间格局为基础的“逆推法”,结合垦殖倾向指数模型^[18],重建了清末(1908年)松嫩平原空间分辨率为1 km×1 km的耕地空间格局;并利用聚落重心距离法对重建结果进行对比检验,为优化历史时期耕地重建方法提供参考依据。

2 研究区概况

松嫩平原位于东北地区中西部,地跨黑龙江和吉林两省,地理坐标为北纬42°30′~51°20′,东经121°40′~128°30′,总土地面积约23.75×10⁴ km²。松嫩平原处于中纬度地带,属于温带半湿润、半干旱森林草甸和草甸草原地带,东部为高平原,中部为平原和低平原,西部为山前倾斜平原,北部为岗状平原区,南部为黄土状亚砂土覆盖的台地,基本分布在高程小于220 m的区域内。松嫩平原土质肥沃,以黑土、草甸土和黑钙土分布最为广泛。主要气候类型为温带大陆性半湿润、半干旱季风气候,四季分明,冬季寒冷干燥,夏季温暖多雨。

3 重建方法

3.1 历史时期耕地面积重建

为了叙述方便,将近代耕地空间分布溯源法,即基于近代耕地空间分布格局的重建方法,称为“逆推法”;将历史时期潜在耕地溯源法,即基于历史文献按时间顺序重建的

方法，称为“顺推法”。无论是“顺推法”还是“逆推法”，均基于重建的历史时期耕地面积数据。

本文采用文献查阅、校正及间接推算相结合的方法对松嫩平原清末（1908年）耕地面积进行重建。耕地数据来源为《满铁调查报告》^[19]和《满蒙全书》^[20]，两套资料共同记载了松嫩平原22个行政单元的耕地面积，可以相互校正、补充。本文先对耕地面积的计量单位进行换算；然后通过对《满铁调查报告》和《满蒙全书》两套资料的比较、校正并利用人口数据估算补充等方法，重建耕地面积数据（表1）。具体过程详见文献[18]，松嫩平原清末总耕地面积为49175.98 km²。

表1 清末(1908)松嫩平原各县级行政单元耕地面积(km²)

Tab. 1 Cropland area of each county in Songnen Plain in the late Qing Dynasty (AD 1908) (km²)

县 别	订正面积	县 别	订正面积	县 别	订正面积	县 别	订正面积
海伦府	5043.00	长岭县	2198.51	怀德县	1381.89	木兰县	530.84
德惠县	4035.59	呼兰府	2180.84	伊通州	1214.34	汤原县	265.42
长春府	3538.94	绥化府	2087.98	开通县	1159.68	讷河厅	176.95
宾州府	2927.03	新城府	1821.08	五常府	1069.06	安达厅	60.65
榆树厅	2775.49	兰西县	1602.72	安广县	926.96	嫩江府	30.79
农安县	2770.65	余庆县	1494.73	大赉县	912.20	肇州厅	26.54
双城府	2390.08	靖安县	1451.42	龙江府	814.36	郭前旗	—
巴彦州	2300.59	洮南府	1405.50	拜泉县	582.15	阿城县	—
兴东道	—	滨江厅	—			总计	49175.98

3.2 垦殖倾向指数模型构建

研究认为，历史人口数量和耕地开垦具有较强的相关性^[21]，人口对土地会有大致合理的最低需求量^[3]；农业开发历史证明，人类总是先垦殖平坦而肥沃的土地进行农业生产，并当人口增加、对产品需求加大时，才会开辟地势较高、坡度较大且肥力较低的土地^[12]；水源是人类生存的必要条件。因此，距聚落所在地、水源地（江、河、水域）距离越近，地势越平坦区域，其耕地垦殖倾向指数就越高。构建耕地垦殖倾向指数模型为：

$$RTI = \frac{1}{a\alpha + b\beta + c\gamma} \tag{1}$$

式中：RTI为垦殖倾向指数；α为距聚落的最短距离；β为距水源的最短距离；γ为地形标准差；a、b、c分别为α、β、γ的权重系数。垦殖倾向指数越大，说明被开垦成耕地的可能性越大，反之亦然。

本文采用层次分析法（AHP）^[22]确定a、b、c。认为新垦农区与聚落的距离比河流的距离重要，与河流的距离比地形起伏重要，取判断标度为“2”，通过一致性检验。构建垦殖倾向指数具体模型为：

$$RTI = \frac{1}{0.490\alpha + 0.312\beta + 0.198\gamma} \tag{2}$$

基于聚落空间分布信息（来自谭其骧主编的《中国历史地图集》^[23]（第八册））；水系数据（由国家基础地理信息系统数据库（http://nfgis.nsdi.gov.cn/nfgis/chinese/c_xz.htm）提供）；高程数据（黑龙江省测绘地理信息局（<http://www.hljbsm.gov.cn/>）、吉林省测绘地理信息局（<http://chj.jl.gov.cn/>）），采用ArcGIS空间分析功能，获取计算距聚落的最短距离（α）、距江、河、水域最短距离（β）、地形标准差（γ）图层，采用空间栅格计算，获取垦殖倾向指数空间分布信息（图1）。

4 重建结果

4.1 “逆推法”重建过程及结果

“逆推法”即近代耕地空间分布格局溯源法,认为历史时期耕地大都包含在现有耕地范围之内,以近代耕地空间分布为边界条件,在空间上进行历史耕地再分配。《东北地区经济地理》一书中附有1959年“东北土地利用图”图件^[24],该图比例尺为1:300万,绘制了包含林地、草地、耕地等7种土地利用类型的空间分布。本文将该图件扫描,运用ArcGIS软件,与具有地理坐标系统的图像进行坐标配准,并与松嫩平原行政区划图进行叠加、裁切,建立属性数据库,进行点、线、面跟踪实现矢量化,获取了1959年松嫩平原土地利用图,提取出耕地空间分布信息(图2)。1959年松嫩平原耕地空间分布是目前能够获取的,与清末时期时间间隔最近的土地利用信息。因此,本文以此为耕地分布的边界条件。

将耕地垦殖倾向图层(图1)与1959年耕地空间分布图层(图2)叠加,按照垦殖倾向指数由大到小的原则,在耕地分布区域,进行耕地空间定位。具体操作为:控制耕地垦殖倾向指数,按照由大到小的原则,逐渐减小垦殖倾向指数,采用空间统计方法跟踪统计耕地面积,当重建的耕地面积与松嫩平原清末总耕地面积(49175.98 km²)基本吻合,且不能在空间上继续减小垦殖倾向指数时为止。重建结果如图3。

4.2 “顺推法”重建过程及结果

在松嫩平原农业开发的进程中,天然肥沃而低平的土地必然是进行垦殖的首选场所。因此,森林、水域、湿地、山地等自然资源就成为历史时期耕地重建过程中的重要约束条件和参考依据。

森林覆盖数据来自于矢量化后的“黑龙江省森林分布图(1896年)”^[25],比例尺为1:300万;水域、湿地覆盖数据从“1959年东北土地利用图”^[24]中提取。农业开发历史证明,海拔低、地势平、坡度小的地区最适合农业生产,只有当人口增加,对产品的需求加大时,才会进一步开垦地势较高、坡度较大、肥力较低的土地^[12, 14]。而坡度在3°以下的

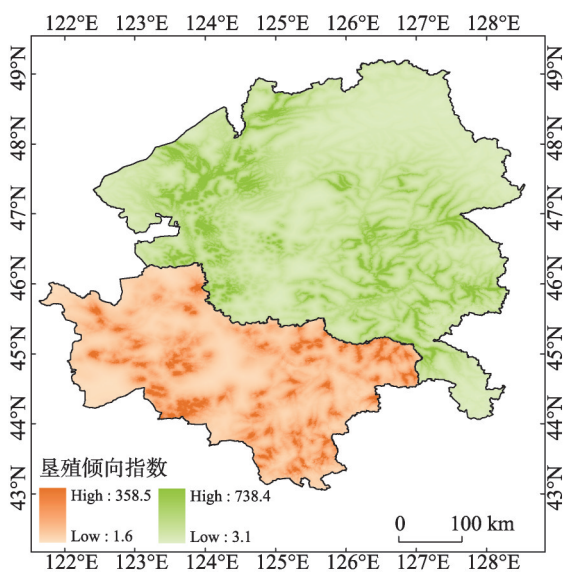


图1 清末(1908)松嫩平原垦殖倾向指数空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of agricultural suitability index of Songnen Plain in late Qing Dynasty (AD1908)

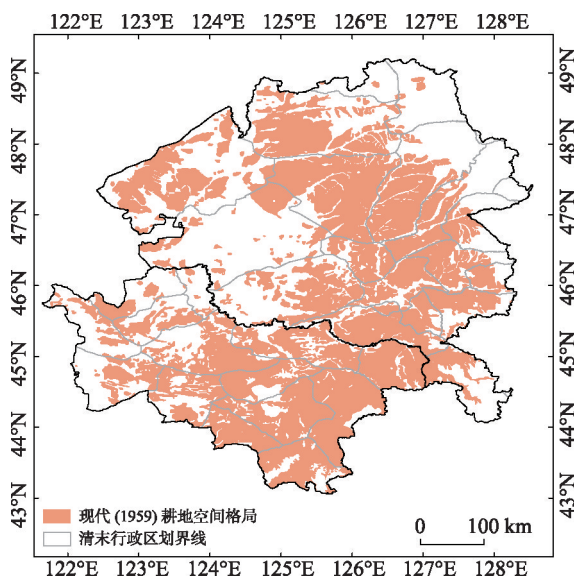


图2 1959年松嫩平原耕地空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of cropland of Songnen Plain in 1959

土地,基本无水土侵蚀,可作为较好的耕地^[14]。做高程等值线图,找出等高线闭合区,且等高线向内逐渐增加的区域,判断为山地所在区域;根据DEM数据提取坡度 $> 3^{\circ}$ 的区域。将以上区域依次剔除,得到清末松嫩平原耕地空间潜在分布图(图4)。

为提高耕地空间定位的准确性,且避免将行政界线(统计区域)发生变化所引起的数据变化与其实际意义上的变化相混淆^[26],根据1917年出版的《中华民国新区域图》^[27],将该图册中东三省图件矢量化,并与松嫩平原边界图进行空间叠加,得到清末松嫩平原行政区划图(图5)^[18]。

将图4和图5叠加,并裁切出各个行政区域,以各行政区域为重建单元,按照垦殖倾向指数由大到小的原则(过程同4.1),重建各个行政单元内耕地空间格局。最后将重建后的各个行政单元合并,得到清末松嫩平原耕地空间分布图(图6)。

4.3 基于两种方法耕地重建结果对比分析

将“顺推法”重建结果(图6)和“逆推法”重建结果(图3)进行空间叠加(图7),其中棕色代表同为耕地区域,蓝色代表基于“逆推法”重建的耕地分布区域,粉色代表基于“顺推法”重建的耕地分布区域。可以看出,上述两种方法的重建结果吻合性较好,耕地空间分布范围和特征趋于一致,均分布在松嫩平原东南部和南部地区,但其

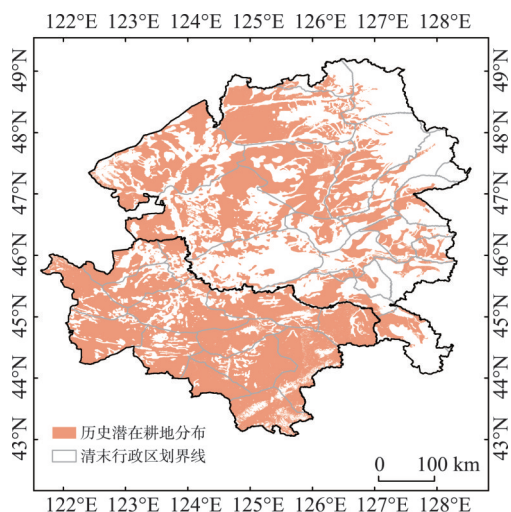


图4 清末(1908)松嫩平原潜在耕地空间分布图

Fig. 4 Potential cropland area of Songnen Plain in late Qing Dynasty (1908 AD)

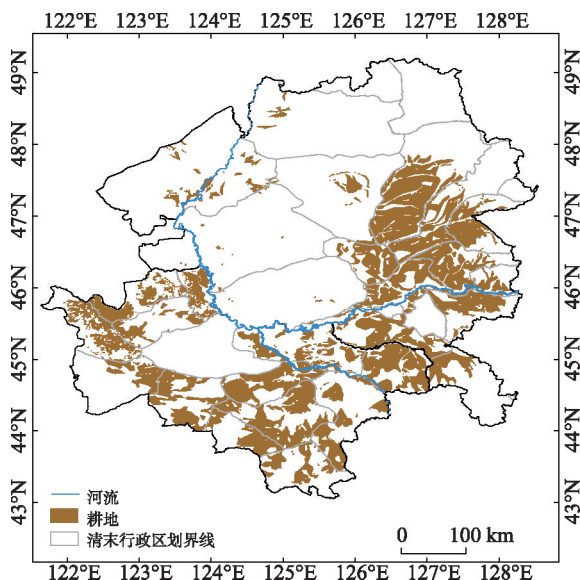


图3 “逆推法”重建的松嫩平原清末(1908)耕地空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of cropland of Songnen Plain in late Qing Dynasty (1908 AD) reconstructed by allocating cropland within cropland area in 1959

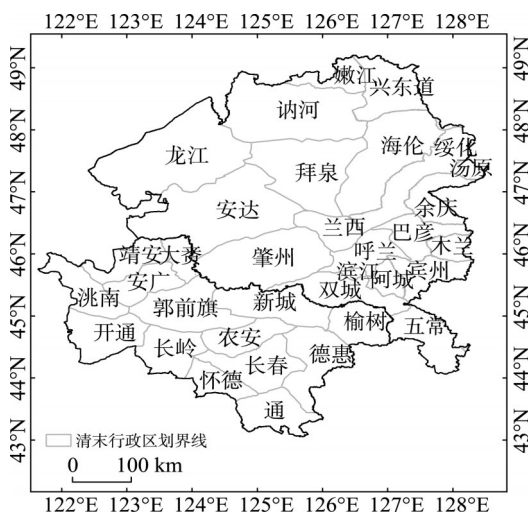


图5 松嫩平原清末(1908)行政区划图

Fig. 5 Administrative divisions in Songnen Plain in late Qing Dynasty (1908 AD)

空间定位仍有区别。两种方法重建结果同为耕地的区域面积为 33428 km², 吻合率大约为 68%。

历史时期聚落(即村镇)的形成、演变与农业开垦有着密切联系^[3, 14, 28], 因此可以用聚落所在地作为检验耕地重建结果准确性的标准。基于历史时期潜在耕地分布的“顺推

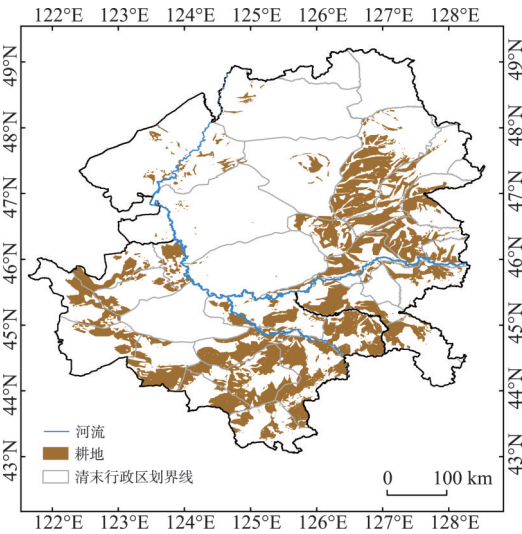


图6 “顺推法”重建的松嫩平原清末(1908)耕地空间格局

Fig. 6 Spatial distribution of cropland of Songnen Plain in late Qing Dynasty (1908 AD) reconstructed by allocating cropland within the potential cropland area

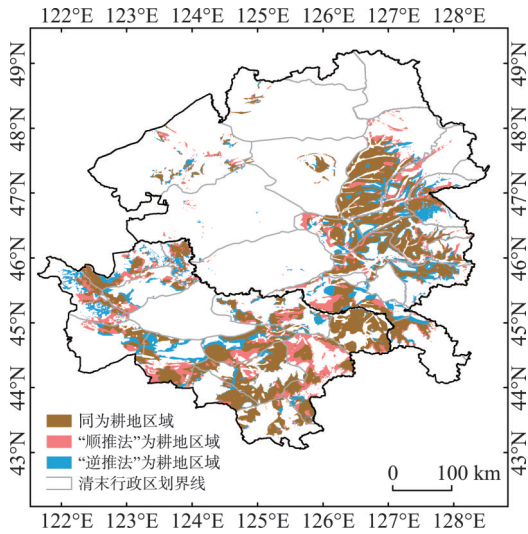


图7 清末(1908)松嫩平原耕地空间格局重建结果对比

Fig. 7 Spatial distribution of the unmatched cropland pixels in Songnen Plain for late Qing Dynasty (1908 AD) reconstructed by two different methods

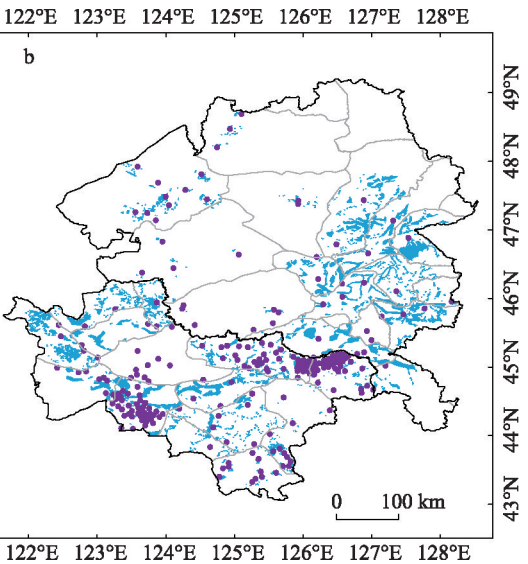
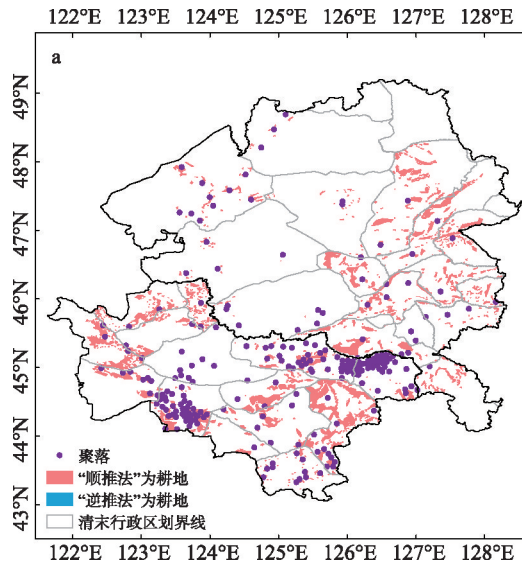


图8 “顺推法”(a)和“逆推法”(b)重建结果的差异部分与聚落空间分布

Fig. 8 Spatial distribution of settlements in Songnen Plain for late Qing Dynasty (1908 AD) and mismatch of cropland pixels reconstructed (a) by allocating cropland area within the potential cropland area and (b) by allocating cropland area within cropland area in 1959

法”(图8a)和基于近代耕地空间格局的“逆推法”(图8b)的重建结果差异部分与聚落点的空间分布情况,直观上很难分辨哪种方法更符合实际,因此本文采用重心距离法来比较两种方法的优越性。

以松嫩平原各行政单元为基准,在ArcGIS中分别计算松嫩平原两种方法差异部分及聚落点的重心坐标,并比较分析(表2),可以看出,大部分行政单元中基于“顺推法”的耕地差异部分重心坐标距该地区聚落重心坐标更近,且松嫩平原区域内“顺推法”差异部分平均重心坐标距聚落重心坐标同样更近,由此我们认为以历史潜在耕地分布为基准的“顺推法”重建结果更准确。

表2 松嫩平原各县级行政单元“顺推法”和“逆推法”差异部分与聚落重心坐标
Tab. 2 The average coordinate of settlements and average coordinate of unmatched cropland pixels of two reconstructions for each county in Songnen Plain

县别	聚落	“顺推法”	“逆推法”	县别	聚落	“顺推法”	“逆推法”
五常	127.1,44.8	127.3,44.8	127.4,44.9	龙江	124.0,47.5	124.0,47.5	124.1,47.5
余庆	127.5,46.9	127.7,46.9	127.5,46.9	伊通	125.2,43.5	125.2,43.5	125.2,43.5
兰西	126.2,46.3	127.7,46.9	127.5,46.9	农安	124.7,44.6	124.9,44.7	125.1,44.7
双城	126.6,45.3	126.4,45.4	126.3,45.4	大赉	123.9,45.8	123.8,45.9	123.8,45.9
呼兰	126.6,46.1	126.8,46.0	126.7,45.9	安广	123.3,45.5	123.3,45.5	123.3,45.5
安达	124.2,46.6	124.3,46.7	124.0,46.6	开通	122.9,44.8	123.0,44.9	122.7,44.9
宾州	127.5,45.8	127.6,45.7	127.7,45.8	德惠	125.8,43.9	125.7,43.9	125.9,44.1
巴彦	127.4,46.1	127.4,46.3	127.6,46.3	怀德	124.6,43.8	124.4,44.0	124.3,44.0
拜泉	125.9,47.4	126.0,47.5	125.7,44.4	新城	125.6,45.1	125.3,45.1	125.3,45.1
木兰	128.2,46.0	127.9,46.1	127.9,46.1	榆树	126.5,45.0	126.6,45.0	126.6,44.8
海伦	126.7,47.1	126.8,47.2	128.0,47.6	洮南	122.7,45.4	122.5,45.4	122.6,45.3
绥化	127.1,46.9	127.0,46.8	127.2,47.1	长岭	123.6,44.4	123.6,44.4	123.5,44.4
肇州	125.0,45.7	125.5,45.8	124.7,45.9	长春	124.9,44.2	125.0,44.2	124.8,44.3
讷河	124.9,48.5	124.9,48.4	125.0,48.4	靖安	122.8,45.7	123.2,45.9	122.9,45.8
阿城	127.0,45.6	126.9,45.8	127.0,45.7	平均	125.5,45.7	125.5,45.7	125.5,45.8

4 结论

本文采用目前国内外学者普遍运用的两种方法——以近代耕地空间分布格局为基准的“逆推法”和以历史时期潜在耕地分布范围为基准的“顺推法”,对清末(1908)松嫩平原耕地空间格局进行重建,在研究历史时期土地利用空间格局重建的方法上提供了可参考意见,并为今后研究过去百年耕地覆盖变化的气候、生态和环境效应提供了基础数据,同时为研究人—地关系这一地理学的核心命题提供了较为完美的案例区。得到结论如下:

- (1) 两种方法重建的耕地空间分布格局基本一致,耕地集中分布在松嫩平原东部和南部地区;松嫩平原北部和西北部广泛区域内,几无耕地。清末(1908)松嫩平原耕地面积共计49175.98 km²,两种方法重建的耕地空间分布一致的区域,面积为33428 km²,近70%区域在空间上吻合。两种方法重建结果差异部分分布在重叠区域外,并无明显规律。
- (2) 本文采用耕地分布与聚落重心距离法,检验了两种耕地重建结果的精度,结果

表明，以历史时期潜在耕地分布范围为基准的“顺推法”更加准确。

5 讨论

(1) 基于历史资料的可获取性，已有研究大多采用近代耕地空间分布格局溯源法重建历史时期耕地空间格局，重建结果准确性因此下降。因此，本文建议在今后的研究中，在历史资料充足的条件下，采用历史时期潜在耕地溯源的方法重建耕地空间格局，以保证结果的准确性。

(2) 目前覆盖松嫩平原清末时期耕地的数据主要有全球历史土地利用数据集 (SAGE)、全球历史环境数据集 (HYDE) 和中国东北传统农区耕地数据集 (CNEC) 三种；其中 SAGE 数据集声明说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^[13]对中国传统农区及东北地区过去 300 年耕地数据评估结果也表明 SAGE 和 HYDE 数据集中相关耕地数据不能真实地反映中国历史耕地的变化趋势和特点，且在空间分布上更有显著差异。因此，与本文重建结果具有比较意义的仅有 CNEC 数据集，而该数据集以耕地垦殖率空间分布为结果，只能为清末松嫩平原耕地面积总量、耕地空间分布格局提供趋势检验，并不能证明空间定位的准确性。

将本文重建结果统一到垦殖率水平上，与 CNEC 数据集进行对比 (表 3)。可以看出，以近代耕地空间分布格局为基准的“逆推法”和以历史时期潜在耕地分布范围为基准的“顺推法”与 CNEC 数据集垦殖率范围一致的县 (市) 分别为 28 个、34 个，吻合率分别约为 55% 和 67%，重建结果可信，并且以历史时期潜在耕地分布范围为基准的“顺推法”较以近代耕地空间分布格局为基准的“逆推法”重建结果更为准确。

表 3 清末(1908)松嫩平原基于现代行政区划的各县域垦殖率
Tab. 3 Cropland area fraction in 1908 for each modern county

县市	R1	R2	R3	县市	R1	R2	R3	县市	R1	R2	R3
农安	0.60	0.47	0.6-1	巴彦	0.63	0.63	0.1-0.2	林甸	0.00	0.00	0-0.05
北安	0.07	0.02	0.2-0.6	呼兰	0.52	0.52	0.1-0.2	泰来	0.01	0.00	0-0.05
海伦	0.58	0.60	0.2-0.6	双城	0.46	0.43	0.1-0.2	镇赉	0.29	0.27	0-0.05
绥棱	0.20	0.13	0.2-0.6	五常	0.20	0.24	0.1-0.2	肇源	0.03	0.01	0-0.05
庆安	0.21	0.28	0.2-0.6	甘南	0.03	0.01	0.05-0.1	安达	0.05	0.00	0-0.05
望奎	0.60	0.77	0.2-0.6	龙江	0.01	0.01	0.05-0.1	肇东	0.10	0.09	0-0.05
兰西	0.46	0.53	0.2-0.6	富裕	0.09	0.08	0.05-0.1	肇州	0.00	0.01	0-0.05
绥化	0.49	0.60	0.2-0.6	洮南	0.35	0.37	0.05-0.1	阿城	0.03	0.07	0-0.05
木兰	0.26	0.24	0.2-0.6	乾安	0.05	0.08	0.05-0.1	宾县	0.31	0.51	0-0.05
大安	0.09	0.09	0.2-0.6	前郭	0.28	0.40	0.05-0.1	通榆	0.18	0.18	0-0.05
扶余	0.25	0.23	0.2-0.6	长岭	0.51	0.41	0.05-0.1	大庆	0.00	0.00	0-0.05
榆树	0.57	0.56	0.2-0.6	讷河	0.03	0.03	0-0.05	白城	0.36	0.50	0-0.05
德惠	0.52	0.26	0.2-0.6	克山	0.00	0.00	0-0.05	公主岭	0.50	0.52	0.2-0.6
九台	0.48	0.03	0.2-0.6	克东	0.00	0.00	0-0.05	哈尔滨	0.26	0.28	0-0.05
长春	0.52	0.48	0.2-0.6	依安	0.00	0.00	0-0.05	齐齐哈尔	0.06	0.09	0.05-0.1
伊通	0.14	0.14	0.2-0.6	拜泉	0.12	0.13	0-0.05	杜尔伯特	0.01	0.00	0-0.05
青冈	0.15	0.14	0.1-0.2	明水	0.03	0.03	0-0.05	五大连池	0.00	0.00	0-0.05

注：R1 为“顺推法”重建结果；R2 为“逆推法”重建结果；R3 为 CNEC 重建结果。

(3) 本文引入了历史时期行政边界信息, 以此实现历史文献记载比较准确的空间定位, 降低重建结果的不确定性。但由于历史时期区划与现代相差较大, 如嫩江府、宾州府和余庆县并非全境位于松嫩平原境内, 因此这些地区的耕地面积可能小于实际记载资料。会影响耕地重建结果的精确性。

(4) 限于获取资料的有限性, 建立《满铁调查报告》和《满蒙全书》中耕地面积数据的校准关系以及耕地面积与人口数量的函数关系时, 使用样本数量较少, 结果可能存在一定的不确定性, 在后续的研究中, 针对上述统计关系尚待更多数据的验证。另外, 在基础地理信息数据的选取、处理及数学方法的应用上, 还应完善资料及征求更多专家的意见。如聚落、森林、湿地、水域等数据, 由于目前资料的限制, 与本文研究时段有所差异, 可能会对结果产生一定影响; 矢量化获取数据信息过程中, 图层转化、叠加、裁切等操作均会有误差产生; 用层次分析法确定垦殖倾向指数模型权重, 将判断标度定为“2”, 在后续研究中将征求更多专家意见, 评估该数值对本研究结果的影响。

参考文献(References)

- [1] Ramankutty N, Evan A, Monfreda C, et al. Farming the Planet: The geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global Biogeochem Cycles*, 2008, 22(1): GB1003.
- [2] Ellis E C, Klein G K, Siebert S, et al. Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2010, 19: 589-606.
- [3] Ye Yu, Fang Xiuqi, Ren Yuyu, et al. Cropland cover change in Northeast China during the past 300 years. *Science China: Earth Science*, 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(D)辑: 地球科学*. 2009, 39(3): 340-350.]
- [4] Bonan G B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 2008, 320(5882): 1444-1449.
- [5] Pielke R A, Marland G, Betts R A, et al. The influence of land use change and landscape dynamics on the climate system: Relevance to climate change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. A*, 2002, 360(1797): 1705-1719.
- [6] Brovkin V, Claussen M, Driesschaert E, et al. Biogeophysical effects of historical land cover changes simulated by six earth system models of intermediate complexity. *Climate Dynamics*, 2006, 26(6): 587-600.
- [7] Pitman A J, Avila F B, Abramowitz G, et al. Importance of background climate in determining impact of land cover change on regional climate. *Nature Climate Change*, 2011, 1(9): 472-475.
- [8] Houghton R A, van der Werf G R, DeFries R S, et al. Chapter G2 carbon emissions from land use and land cover change. *Biogeosciences Discuss.*, 2012, 9(1): 835-878.
- [9] Findell K L, Pitman A J, England M H, et al. Regional and global impacts of land cover change and sea surface temperature anomalies. *Journal of Climate*, 2009, 22(12): 3248-3269.
- [10] Goldewijk K K. The HYDE 3.1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12,000 years. *Global Ecology and Biogeography*, 2011, 20(1): 73-86.
- [11] Ramankutty N, Foley J A. ISLSCP II Historical Croplands Cover, 1700-1992. Dataset. Available from: <http://daac.ornl.gov/>. Accessed 2012-09-25.
- [12] 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.]
- [13] 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 Science*, 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.]
- [14] 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. [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.]
- [15] He Fanneng, Li Shicheng, Zhang Xuezheng. The reconstruction of cropland area and its spatial distribution pattern in the mid-Northern 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.]
- [16] Li Shicheng, He Fanneng, Chen Yisong. Gridding reconstruction of cropland spatial patterns in Southwest China in the Qing Dynasty. *Progress in Geography*, 2012, 31(9): 1196-1203. [李士成, 何凡能, 陈屹松. 清代西南地区耕地空间格局网格化重建. *地理科学进展*, 2012, 31(9): 1196-1203.]
- [17] Bai Shuying, Zhang Shuwen, Zhang Yangzhen. Digital rebuilding of LUCC spatial-temporal distribution of the last 100 years. 2007, 62(4):427-436. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(4): 427-436. [白淑英, 张树文, 张养贞. 土地利用/土地覆被时空变化分布 100 年数字重建: 以大庆市杜尔伯特蒙古族自治县为例. *地理学报*, 2007, 62(4): 427-436.]
- [18] 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. [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.]
- [19] Liaoning Provincial Archives. Survey of Manchurian Railway (Vol 3). Guilin: Guianagxi Normal University Press, 2008. [辽宁省档案馆. 满铁调查报告(第三辑). 桂林: 广西师范大学出版社, 2008.]
- [20] Course on the Survey of Manchurian Railway. Local Gazette of Manchu-Mongolian. Manchuria Riri Press, 1923. [(日) 满铁调查课. 满蒙全书, 满州日日新闻社印, 大正十二年(1923).]
- [21] Zhu Feng, Cui Xuefeng, Miao Lijuan. China's spatially-explicit historical land-use data and its reconstruction methodology. *Progress in Geography*, 2012, 31(12):1563-1573. [朱枫, 崔雪峰, 缪丽娟. 中国历史时期土地利用数据集的重建方法述评. *地理科学进展*, 2012, 31(12): 1563-1573.]
- [22] Xu Jianhua. *Mathematical Methods in Contemporary Geography*. Beijing: Higher Education Press, 2009. [徐建华. 现代地理学中的数学方法. 北京: 高等教育出版社, 2009.]
- [23] Tan Qixiang. *Historical Atlas of China: The Eighth Book*. Beijing: China Cartographic Publishing House, 1987: 12-15. [谭其骧. 中国历史地图集(第八册) 北京: 中国地图出版社, 1987: 12-15.]
- [24] Sun Jingzhi. *The Regional Economic Geography Science in Northeast*. Beijing: Science Press, 1959. [孙敬之. 东北地区经济地理. 北京: 科学出版社, 1959.]
- [25] Li Jingwen. *Forest in Heilongjiang*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1993. [李景文. 黑龙江森林. 东北林业大学出版社, 1993.]
- [26] Ye Yu, Fang Xiuqi, Dai Yujuan, et al. Comparisons of cultivated land data in Three Provinces in Northeast in Republic of China and reconstruction of cropland area fraction. *Progress in Natural Science*, 2006, 16(11): 1419-1427. [叶瑜, 方修琦, 戴玉娟, 等. 东北 3 省民国时期耕地数据的同化与垦殖率重建. *自然科学进展*, 2006, 16(11): 1419-1427.]
- [27] Tong Shiheng. *New Area Map of the Republic of China*. Shanghai: Department of Home and Aboard Maps, 1917. [童世亨. 中华民国新区域图. 上海: 中外舆图局, 1917.]
- [28] Zeng Zaozao, Fang Xiuqi, Ye Yu. The process of land cultivation based on settlement names in Jilin Province in the past 300 years. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(7): 985-993. [曾早早, 方修琦, 叶瑜. 基于聚落地名记录在过去 300 年吉林省土地开垦过程. *地理学报*, 2011, 66(7): 985-993.]

Comparison of approaches of spatially explicit reconstruction of cropland in the late Qing Dynasty

JIANG Lanqi¹, ZHANG Lijuan¹, ZANG Shuying¹, ZHANG Xuezheng^{2,3}

(1. Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment, Harbin Normal University, Harbin 150025, China; 2. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic

Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. Jiangsu Collaborative Innovation Center for Climate Change, Nanjing, 210093, China)

Abstract: For understanding historical human-induced land use/cover change and its climatic effects, it is primary to reconstruct historical land use/cover changes with explicit spatial information. In this study, based on the historical documental cropland area at county level, we reconstructed the spatially explicit cropland distribution at pixel size of 1 km for the Songnen Plain in the late Qing Dynasty (1908AD). Two methods were used to perform the reconstructions. One method (hereafter, method I) allocated the cropland into pixels following the order from high agriculture suitability index (ASI) to low ASI within the domain of cropland area in 1959. This method was based on a hypothesis that the cropland area domain in 1959 was resulted from enlargement of the cropland area domain in 1908. The other method (hereafter, method II) allocated the cropland into pixels following the order from high ASI to low ASI within the domain of potential cropland area. The potential cropland area was created by excluding the natural woodland, swamp, water body, and mountains from the study area. Then, we compared these two methods. We found that the cropland distribution reconstructed through the two methods exhibit a similar spatial pattern. Both of the methods show that the cropland in the late Qing Dynasty (1908 AD) mostly occurred in the southern and eastern parts of the Songnen Plain. The two methods matched with each other for about 68% of the total cropland area. By spatially comparing the unmatched cropland pixels of the two methods with the settlements for each county, we found that unmatched cropland pixels by method I are closer to settlements than that by method II. This finding suggests that reconstruction with method I may have less bias than that with method II.

Keywords: spatial reconstruction of cropland; comparison of reconstruction approaches; late Qing Dynasty; Songnen Plain