

# 10–18 世纪美国大陆土地垦殖数据集的研发

赵彩杉<sup>1,2</sup>, 何凡能<sup>1\*</sup>, 杨帆<sup>3</sup>, 王亚非<sup>1,2</sup>

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;

3. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心, 开封 475001

**摘要:** 区域历史 LUCC 重建既可为气候与生态等效应研究提供可靠的基础数据, 也是充实和完善全球数据集的重要途径。本研究以今美国大陆为研究区, 基于历史文献、前人研究成果, 确定了以农业为主的印第安人数量、印第安人人均耕地面积、非印第安人数量及各殖民地人均耕地面积, 重建了 10–18 世纪美国大陆各区域耕地数量, 并通过构建宜垦性评估模型和耕地分配模型, 再现 10–18 世纪美国大陆耕地空间分布格局。结果表明: (1) 美国大陆耕地数量呈波动性增长态势, 由 1000 年的  $1.71 \times 10^3 \text{ km}^2$  增长至 1780 年的  $4.74 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 可分为缓慢增长期 (1000–1500 年)、缓慢减小期 (1500–1700 年)、快速增加期 (1700–1780 年); (2) 印第安时期的耕地主要分布在西南部和东部与平原相邻处。在殖民时期, 耕地主要分布在东部沿海地区。

**关键词:** 历史土地利用; 土地垦殖; 美国大陆; 10–18 世纪

**DOI:** <https://doi.org/10.3974/geodp.2022.02.17>

**CSTR:** <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2022.02.17>

## 数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2022.02.04.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2022.02.04.V1>.

## 1 前言

人类活动导致的土地利用/覆盖变化 (Land-use and Land-cover Change, LUCC) 不仅可以直接对地表景观格局产生影响, 还可以影响气候变化、环境变化。LUCC 可通过生物地球物理过程和生物地球化学过程对气候变化及环境变化产生重要影响<sup>[1–4]</sup>。因此, LUCC 及其影响研究在全球环境变化中占有重要地位。历史 LUCC 作为 LUCC 研究的重要组成部分, 是全球变化研究的核心问题之一。定量重建历史 LUCC 不仅为深入理解历史时期人类活动对地表的影响提供理论依据, 还可为气候模拟等研究提供基础数据<sup>[5,6]</sup>。

自 20 世纪 90 年代以来, 历史 LUCC 重建研究取得了较大进展。其中, 最具代表性的研究成果应为几个全球尺度的数据集, 如荷兰环境评价局 (Netherlands Environmental As-

收稿日期: 2022-04-20; 修订日期: 2022-06-14; 出版日期: 2022-06-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2017YFA0603304); 国家自然科学基金 (41671149)

\*通讯作者: 何凡能, 中国科学院地理科学与资源研究所, [hefn@igsrr.ac.cn](mailto:hefn@igsrr.ac.cn)

数据引用方式: [1] 赵彩杉, 何凡能, 杨帆等. 10–18 世纪美国大陆土地垦殖数据集的研发[J]. 全球变化数据学报, 2022, 6(2): 298–308. <https://doi.org/10.3974/geodp.2022.02.17>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2022.02.17>.

[2] 赵彩杉, 何凡能, 杨帆等. 基于历史文献重建的美国 1000–1780 年土地垦殖数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2022. <https://doi.org/10.3974/geodb.2022.02.04.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2022.02.04.V1>.

essment Agency)建立的覆盖时段为公元前 10000 至 2015 年的 HYDE 全球耕地、牧草地数据集<sup>[7]</sup>; 美国威斯康星大学全球环境和可持续发展中心 (Center for Sustainability and the Global Environment) 建立的 1700–2007 年的 SAGE 耕地数据集<sup>[8]</sup>; Pongratz<sup>[9]</sup>在 HYDE 和 SAGE 的基础上建立 PJ 数据集 (重建时段为 800–1992 年); Kaplan<sup>[10]</sup>重建的 KK10 土地覆被数据集 (时段为距今 8000 年至公元 1850 年)。尽管全球数据集具有时间序列长、覆盖空间广等特点,但在区域尺度上仍存在较大不确定性<sup>[11–16]</sup>,因此,区域尺度历史土地利用数据集重建尤为重要。

美国作为世界上最大经济体及农业大国之一,其历史 LUCC 过程深受学术界的关注,已有诸多学者开展了美国地区耕地的时空变化研究,如: Waisanen 等<sup>[17]</sup>利用多种统计数据,对美国 1850–1997 年耕地的时空变化特征进行重建,并分析其驱动机制; Steyaert 等<sup>[18]</sup>以分县森林统计资料为数量控制因子,结合土地覆被、潜在植被和土壤数据,生成了美国东部地区 1850 年、1920 年和 1992 年空间分辨率 20 km 的土地覆被网格化产品; Rhemtulla 等<sup>[19]</sup>对威斯康星州 19 世纪中期和 20 世纪中期的土地利用进行重建,并分析其驱动因素; Zumkehr 等<sup>[20]</sup>基于遥感数据及统计数据,对 1850–2000 美国的耕地数量变化及空间分布进行重建; Yu 等<sup>[21]</sup>基于遥感数据及统计资料等对 1850–2016 年美国耕地扩张及耕地撂荒时空分布进行了重建。从上述研究成果看,重建时段主要集中在美国建国以后,尤其是 19 世纪中叶以来,而对于美国大陆而言,在其建国之前的较长时间内,已有印第安人和欧洲殖民者在此生产与生活,土地利用活动有着悠久的历史,尤其在 1000 年左右,印第安人农业便已初步成型,而有关 10–18 世纪美国地区耕地重建研究较少。

有鉴于此,本文拟以今美国大陆为研究区,以 10–18 世纪为研究时段,在系统梳理前人相关研究成果的基础上,提取美国大陆长时间序列的人口与土地垦殖信息,重建 10–18 世纪美国耕地数量及空间分布格局,进而揭示美国大陆的土地垦殖变化规律,为深入研究历史 LUCC 导致的气候、生态效应提供可靠的基础数据,并为充实和完善全球数据集提供区域案例。

## 2 数据集元数据简介

《基于历史文献重建的美国 1000–1780 年土地垦殖数据集》<sup>[22]</sup>的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

## 3 数据研发方法

### 3.1 数据来源

本文的基础数据主要分为两种,一是用于计算耕地数量的历史人口数据,二是用于耕地空间网格化重建的现代基础数据。

#### 3.1.1 历史人口数据来源

(1) 印第安时期 (1000–1620 年): 本文以公元 1000 年作为研究时段的起点,其人口数据引自《世界历史人口图集》<sup>[24]</sup>。

1500 年至 1620 年的人口数据引自文献《North American Indian Population Size, A.D.

1500 to 1985》<sup>[24]</sup>。其中，1500 年以后有关印第安人数量的记载，主要源于 Mooney<sup>[26]</sup>的研究，该研究通过筛选和校正早期探险家对个别部落的估计人口，估算了 1500 年左右北美的人口数量。此后 Ubelaker<sup>[25]</sup>在 Mooney 研究的基础上，通过新增部落人口资料，并对其进行校正、完善，估算出 1500–1970 年美国大陆的印第安人口。值得注意的是，Snow<sup>[27]</sup>基于莫霍克人的遗址点和北美地区遗址点数量，开展了已有人口估算结果的可靠性评估，结果显示：Ubelaker 估算的印第安人口数据与基于遗址点的人口估算结果较为一致。因此，本文所选用 Ubelaker 重建的数据作为 1500 年以后的印第安人数量。

表 1 《基于历史文献重建的美国 1000–1780 年土地垦殖数据集》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	基于历史文献重建的美国 1000–1780 年土地垦殖数据集
数据集短名	LandReclaUSA_1000–1780
作者信息	赵彩杉，中国科学院地理科学与资源研究所，中国科学院大学，zhaocs.19b@igsnr.ac.cn 何凡能，中国科学院地理科学与资源研究所，hefn@igsnr.ac.cn 杨帆，河南大学黄河文明与可持续发展研究中心暨黄河文明省部共建协同创新中心，yangfan@henu.edu.cn 王亚非，中国科学院地理科学与资源研究所，中国科学院大学，wangyafei972x@igsnr.ac.cn
地理区域	美国大陆
数据年代	1000、1500、1620、1700、1780
空间分辨率	10 km
数据格式	.xls、.shp、.tif
数据量	24.8 MB（压缩后为 10.3 MB）
数据集组成	1 个表格文件，5 个.shp 和 5 个.tif 文件
基金项目	中华人民共和国科学技术部（2017YFA0603304）；国家自然科学基金（41671149）
数据计算环境	ArcMap、MATLAB、Excel
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 <a href="http://www.geodoi.ac.cn">http://www.geodoi.ac.cn</a>
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据集和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 <sup>[23]</sup>
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

（2）殖民时期(1620–1780 年):由于该时期欧洲人在美洲大陆的殖民活动以及奴隶交易，因而该时期的人口由两部分组成，即印第安人和非印第安人。其中，印第安人数据来源与上述印第安时期的来源一致，均引自 Ubelaker 的重建数据。非印第安人数据来源于美国商业部国情调查局的“美国历史统计：殖民地时期至 1970 年”第 2 卷。

3.1.2 现代基础数据

（1）现代耕地数据。选用 1982、1985、1990、1995、2000、2005、2010、2015 年共 8

期空间分辨率为 5 km 的土地利用数据, 该数据来自于清华大学宫鹏等人的研究<sup>[128]</sup>。该数据集利用 1982–2015 年最新版本的 GLASS (全球陆地表面卫星) CDRs (气候数据记录), 包括耕地、森林、草地、灌木林、冻土带、荒地和冰雪, 覆盖时段为 1982–2015。

(2) 地形数据。包括海拔高度和地面坡度。高程数据来自于美国地质调查局 (USGS) 发布的航天飞机雷达地形测绘任务 (Shuttle Radar Topography Mission) 获得的数字高程模型 (DEM) 产品 (V4.1)<sup>2</sup>。坡度数据由原始 DEM 数据生成。

(3) 气候数据。活动积温 (1960–1990) 数据是从联合国粮农组织 (FAO) 发布的全球农业生态区 (Global Agro-ecological Zones) 产品<sup>3</sup>中直接获得的。

(4) 土壤数据。与土壤相关的数据全部来源于 SoilGrids<sup>4</sup>, 包括土壤的粗粒物质含量、砂粒物质含量、粉砂物质含量和黏土物质含量。

## 3.2 数据处理与估算

### 3.2.1 人口数据处理

在印第安时期和殖民时期, 美国大陆并没有政区的设置。本文借鉴前人在历史人口相关研究中采用的区域划分方案, 将美国大陆初步分为以上 8 个区域 (图 1), 分别为: 西北海岸带地区、加利福尼亚地区、高原地区、大盆地地区、西南地区、大平原地区、东北地区、东南地区<sup>[29]</sup>。

由于公元 1000 年的人口数据仅为总量, 故需要将该时期的人口数据拆分至各区域; 考虑到 1000 至 1500 年期间人口的空间分布基本一致, 因此本文参照 1500 年的人口在各区的比重, 对 1000 年的人口数据作拆分处理。此外, 在 1620–1780 年殖民地区, 人口总量来自统计局, 数据较可靠。但关于各殖民地的人口却较难获取。因此, 将其按照《历史人口图集》中各殖民地的人口数量比例对 1620、1700 和 1780 年的殖民地区的人口数据进行拆分。

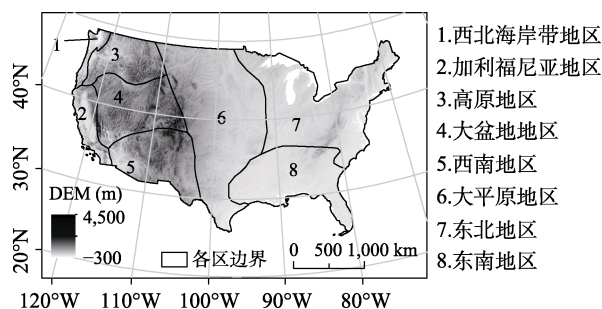


图 1 美国大陆分区图

### 3.2.2 耕地面积的估算

(1) 印第安时期: 考虑到印第安人较为多源的生产方式, 本文首先根据历史文献、前人研究成果确定了印第安人的农业分布范围。将农业分布的面积占该区总面积的比例与该区人口相乘, 获取各区域以农业为主要生产方式的人口数量, 结合人均耕地计算其耕地面积及垦殖率。

<sup>1</sup> <http://data.ess.tsinghua.edu.cn/>.

<sup>2</sup> <http://stm.csi.cgiar.org/>.

<sup>3</sup> <http://www.fao.org/nt/gaez/>.

<sup>4</sup> [www.soilgrids.org](http://www.soilgrids.org).

由于资料的严重缺失,印第安人时期人均耕地难以直接从资料中获取。考虑到最初殖民者的耕作技术是由印第安人传授<sup>[30]</sup>,可见殖民者初登北美时的耕作水平与印第安人的耕作水平基本相当。美国通史中关于移民垦殖的记载为:“一个移民一年通常只能开辟 1–3 英亩”<sup>[30]</sup>。鉴于印第安人时期农业相较殖民者初登北美时更为原始,耕作技术不成熟,粮食产量较低,故该时期的人均耕地应略高于殖民者。因此本文将印第安人时期的人均耕地面积按 4 英亩来计算耕地面积及垦殖率。

(2) 殖民时期:本文按照印第安人地区和殖民地地区分别计算各个区域垦殖率。其中,印第安人地区垦殖率的计算方法同印第安时期,其分布范围设定为与 1620 年相同;殖民地垦殖率计算方法如下:

$$Rcropz(i,t) = perland(i,t) \times \rho(i,t) \times \phi \times 100\% \quad (1)$$

式中,  $Rcropz(i,t)$ ,  $perland(i,t)$ ,  $\rho(i,t)$  和  $\phi$  分别表示  $t$  年  $i$  殖民地的垦殖率、人均土地面积、人口密度、和垦殖比例(常数)。

人均土地面积:殖民初期美国大陆地区以印第安人为主,殖民者土地开发的规模较为有限。之后,英国政府为获取肥沃的土地,逐渐开始驱赶、杀戮印第安人。与此同时,政府制定了“人丁权”政策,即给垦殖移民分配大量土地,从而吸引来大量非印第安人移民。如弗吉尼亚在 1619 年制定了赠予土地的“人丁权”制度,每个移民均可以获得 50 英亩的土地;在马里兰,每个移民的“人丁权”为 100 英亩;新泽西的“人丁权”是每个移民 150 英亩;佐治亚的“人丁权”为每个移民可得到 500 英亩<sup>[31]</sup>,因此,该时期的人均土地面积应等同于为各地区“人丁权”所设定的面积(没有记载人丁权分配数量的地区,本文按照 50 英亩计算)。

垦殖比例:根据殖民时期政府颁布的法令,规定在每位移民所得土地中每 50 英亩需垦殖 3 英亩。从实际来看,各区域垦殖比例可能存在比规定值略高或略低的情况。但由于相关资料阙载,本文仍以政府所规定的每 50 英亩垦殖 3 英亩作为殖民地的垦殖比例——0.06。

### 3.2.3 现代基础数据重采样与归一化处理

由于耕地网格化重建的分辨率为  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ ,因此,将各现代数据通过重采样至  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$  的方法进行空间分辨率的统一。此外,在数据无量纲化处理时,本文采用两种归一化方法,分别表征各区域影响因子与空间分布之间的正负关系。公式如下:

$$\begin{aligned} M_{norm}(i,j) &= \frac{M_{max}(i,j) - M(i,j)}{M_{max}(i,j)} \\ N_{norm}(i,j) &= \frac{N(i,j)}{N_{max}(i,j)} \end{aligned} \quad (2)$$

式中,  $M_{norm}(i,j)$ 、 $N_{norm}(i,j)$  分别代表  $i$  区  $j$  网格归一化后的正相关因子和负相关因子,范围  $[0,1]$ ;  $M_{max}(i,j)$ 、 $N_{max}(i,j)$  分别为  $i$  区  $10 \text{ km}$  网格尺度影响因子的最大值;  $M(i,j)$ 、 $N(i,j)$  分别为  $i$  区  $j$  网格影响因子的原始数值。

## 3.3 网格化重建方法

### 3.3.1 耕地最大可分配范围的确定

本文按照东部和西部地区的划分,分别确立其耕地最大可分配范围。其中,东部地区包括东北地区和东南地区。东部地区自被殖民占领开始,土地垦殖一直呈扩张的态势,故

历史时期的耕地分布不应超出现代耕地的分布范围。因此, 本文将 1982、1985、1990、1995、2000、2005、2010、2015 年美国东部耕地分布范围取并集, 制成  $10\text{ km}\times 10\text{ km}$  网格数据, 作为美国东部历史时期耕地分配的最大有效范围。西部地区为除东部以外美国的其他地区。西部地区在历史时期的耕地分布与现代差异较大, 在西部地区则根据历史时期的农业印第安人的分布来确定各时期耕地最大可分配范围。

### 3.3.2 土地宜垦性评估模型的构建

由于人们垦殖活动先发生于适宜农作物生长的地区, 随着人口增多, 优质的土地开垦殆尽后, 才会逐渐扩张至劣质土地, 即人类垦殖遵循“先优后劣、先易后难”的规律。影响土地宜垦程度的因子包括自然因素和人文因素。就 10–18 世纪的美国而言, 人口在网格尺度上的分布格局较难确定, 且土地政策也尚不完善, 人文因素难以获取。并且, 在 10–18 世纪的美国, 人口稀少, 尚未有土地政策的颁布来规划农业用地, 宜垦性好的土地分布广泛, 人类垦殖活动优先发生自然条件较好的土地。因此, 本文将自然条件作为影响耕地分布的主要因素。其中, 人类土地利用活动会优先发生在海拔较低、坡度平缓、气候适宜耕作地区, 因此, 本文遴选海拔、坡度、气候等因子, 并经归一化处理后, 采用等权重的方式, 构建网格尺度土地宜垦性评估模型:

$$Land_{suit}(i, j) = H_{norm}(i, j) \times S_{norm}(i, j) \times C_{norm}(i, j) \quad (3)$$

式中,  $Land_{suit}(i, j)$  为  $i$  区  $j$  网格的土地宜垦性;  $H_{norm}(i, j)$ 、 $S_{norm}(i, j)$ 、 $C_{norm}(i, j)$  分别代表  $i$  区  $j$  网格中海拔高度、地面坡度和气候因子归一化处理后的数值。

### 3.3.3 耕地网格化分配模型的构建

基于上述模型计算的宜垦值, 将各区耕地面积分配至网格上, 以再现历史耕地空间分布格局。其分配模型如下:

$$Cropland(j, t) = \alpha \times \beta \times \frac{Land_{suit}(i, j)}{\sum_i Land_{suit}(i, j)} \times Area_{crop}(i, t) \quad (4)$$

式中,  $Cropland(j, t)$  为  $j$  网格在  $t$  时点的耕地面积,  $Land_{suit}(i, j)$  为  $i$  区  $j$  网格的土地宜垦值,  $Area_{crop}(i, t)$  为  $i$  区  $t$  时点的耕地面积,  $\alpha$  为最大耕地分布范围指数,  $\beta$  为土壤因素。当网格  $j$  不在最大耕地分布范围内、土壤不适宜耕作时,  $\alpha$ 、 $\beta$  赋值为 0, 否则为 1。其中, 土壤因素是基于张成鹏<sup>[32]</sup>的研究中可耕作土壤的参数范围而确定的。

## 3.4 技术路线

首先, 在印第安时期, 将美国大陆依据印第安人的生产方式分为八个区域, 搜集整理各区域有关历史人口数据和印第安人分布格局的文献资料, 确定印第安时期以农业为主的印第安人分布范围及其人口数量, 利用垦殖历史等相关资料确定印第安人的人均耕地。通过农业人口数量和人均耕地相乘, 可得到印第安时期各区耕地数量。其次, 在殖民时期, 利用历史资料确定各时点非印第安人分布的殖民地区域, 结合上述印第安时期的八个区域, 将美国大陆分为印第安人地区和殖民地区。通过搜集非印第安人垦殖历史与垦殖政策, 结合非印第安人人口数量, 计算各殖民地区耕地数量; 印第安人地区耕地数量计算方式同印第安时期。通过对上述结果的计算与合并, 得到 10–18 世纪美国大陆各区耕地面积序列。最后, 利用 1982–2015 年现代遥感影像和历史资料确定各个时期美国大陆耕地最大可分配

范围，遴选海拔高度、地面坡度、气候生产潜力因子，构建了土地宜垦性评估模型和耕地分配模型，重建了 10–18 世纪 5 个时点、10-km 分辨率的耕地网格化数据（图 2）。

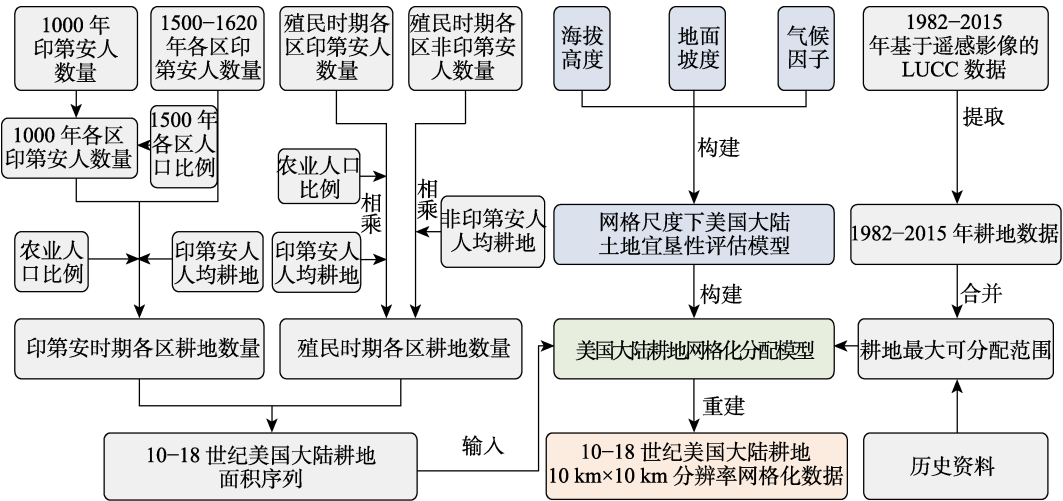


图 2 数据集研发技术路线图

4 数据结果

4.1 数据集组成

《基于历史文献重建的美国 1000–1780 年土地垦殖数据集》由一个表格文件、5 个.shp 文件和 5 个分辨率为 10 km 的栅格数据组成。表格文件为 10–18 世纪美国大陆耕地总量(图 3)。5 个.shp 数据分别为 1000、1500、1620、1700、1780 年美国各区垦殖率分布图(图 4)。5 个栅格数据分别为 1000、1500、1620、1700、1780 年美国大陆 10-km 分辨率耕地空间分布图(图 5)。

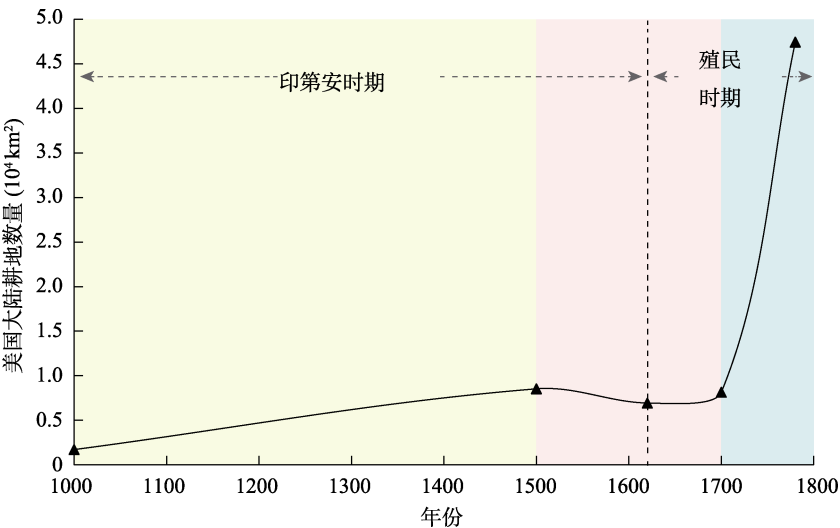


图 3 1000–1700 年美国大陆耕地数量变化图

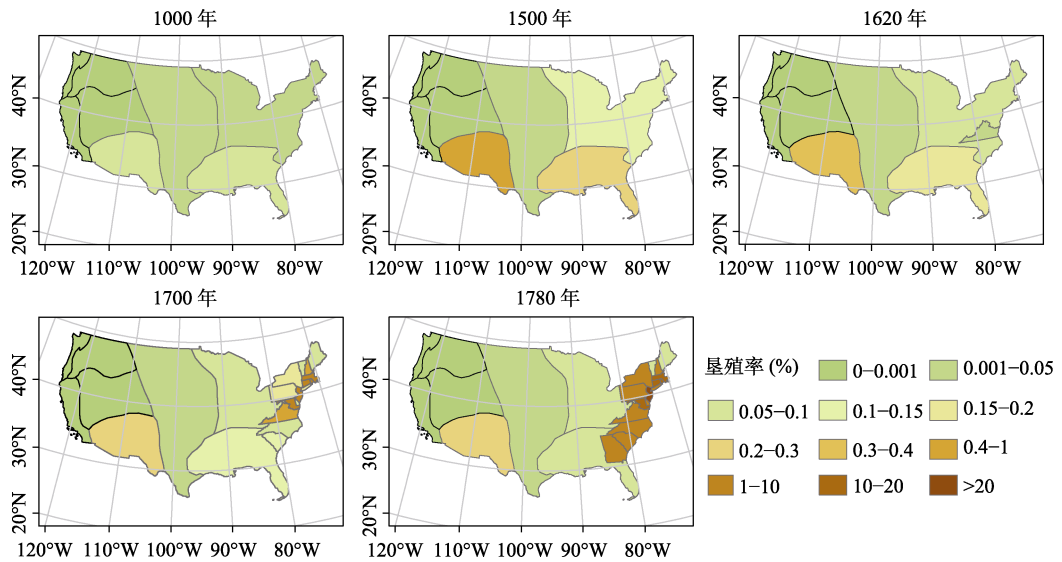


图 4 1000–1780 年美国大陆各区域垦殖率变化图

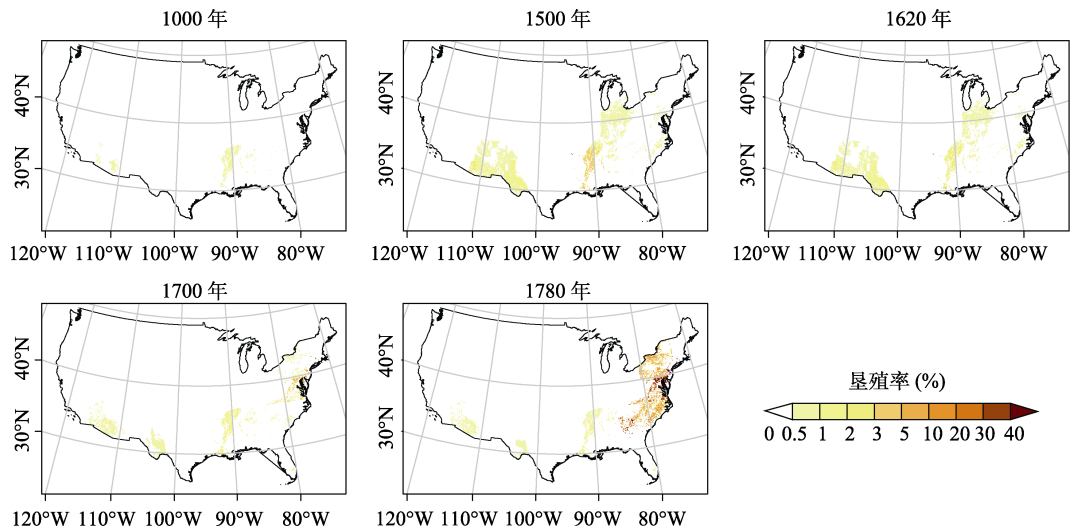


图 5 1000–1780 年美国大陆 10 km×10 km 耕地分布空间格局对比图

4.2 数据结果

从耕地数量来看，美国大陆在 10–18 世纪的耕地数量总体呈上升趋势。大体可分为三个阶段：1000–1500 年的缓慢增长期、1500–1700 年的缓慢减少期和 1700–1780 年的快速增加期。具体来看，1000–1500 年，美国大陆人种仅为印第安人，部分印第安人是以农业为主要生产方式，随着农业人口的增长，耕地数量呈增长趋势，由 1000 年的  $1.71 \times 10^3 \text{ km}^2$  增至 1500 年的  $8.53 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。1492 年，哥伦布发现美洲大陆后，西班牙人虽然并未对美国大陆进行殖民活动，但欧洲流行病的侵入，使得印第安人的人口数据迅速减少，导致耕地数量降至 1620 年的  $6.94 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。

殖民时期耕地面积呈增加趋势，尤其在 1700 年以后，增长速度加快。1620 年以后，



英国人开始在今美国大陆移民,并且颁布土地垦殖相关政策,吸引大规模的移民活动,殖民地不断扩张,至1780年殖民地已有13个,包括弗吉尼亚、佐治亚等。耕地数量也因此迅速上升,由1700年的 $8.14 \times 10^3 \text{ km}^2$ 增至1780年的 $4.74 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,1700–1780年间耕地数量增加了4.83倍。

从印第安人所在的各区垦殖率来看,在公元1000年时,美国东北地区、东南地区、西南地区和平原地区的东南部是美国印第安人主要的农垦区,但垦殖率较小,垦殖率最高的东南地区也仅为0.07%。至1500年,美国大陆垦殖率逐渐增高。其中,西南地区垦殖率可达0.45%,东南地区和东北地区垦殖率也分别增加到0.24%、0.11%。1500–1620年,由于印第安人数量的减少,导致垦殖率整体略有下降,其中西南地区和东南地区下降的幅度最大,可达0.07%。

从各殖民地垦殖率来看,自1620年殖民者逐渐增多,且殖民者的垦殖目的与印第安人不同,印第安人的垦殖活动是为解决自身生存问题,而殖民者开垦土地则是为了出售农作物和烟草来获取利润,因此,在“人丁权”的推动下,移民人口的迅速增加,殖民地的垦殖率也快速增加。至1780年,东部殖民地的垦殖率显著增加,其中,新泽西、罗德岛、马里兰,康涅狄格、马萨诸塞垦殖率均超过20%。

10–18世纪耕地空间网格化重建结果显示:1000年时耕地主要分布在西南地区的南部和东南地区的西部,且分布范围较小。1500年垦殖率增加,且分布范围扩张。1620年东南部与平原南部地区垦殖率减小。1700年西南地区耕地范围缩小,东北部沿海地区耕地扩张。1780东部沿海地区耕地范围迅速扩大,垦殖率增加,部分格点可达40%以上。

## 5 讨论和结论

### 5.1 讨论

由于包含10–18世纪美国大陆耕地数据的全球数据仅有PJ和HYDE数据集。本文将重建的美国大陆耕地面积总量与全球数据集PJ和HYDE3.2进行对比分析(图6)。就10–18世纪耕地变化趋势而言,本文中的变化趋势与HYDE3.2和PJ数据集较为相似,总体呈增长趋势(图6a)。具体来看,本文与HYDE3.2中的耕地数据均可分为三个阶段,与史实较为吻合,即1000–1500年的缓慢增加期,1500–1700年的缓慢减少,1700–1780年的快速增长期。而PJ数据集在10–18世纪中可分为两个阶段:1000–1600年的相对稳定期和1600–1780年的线性增长期,与史实较为不符,因此本文仅与HYDE3.2进行对比分析。

从数量上看,本文估算的耕地面积在1700年前低于HYDE3.2(图6b),1700年以后高于HYDE3.2。这些差异主要原因为:

(1)人均耕地数量略有差异。本文和HYDE3.2均利用历史文献资料对美国大陆的人均耕地进行估算,但数量上略有差异。HYDE3.2是根据现代人均耕地推算出更早时点的人均耕地,如在1000、1600年时HYDE3.2分别用 $0.031 \text{ km}^2/\text{人}$ 、 $0.025 \text{ km}^2/\text{人}$ 作为人均耕地,且未进行细化。而本文在估算时人均耕地时,分为印第安人 and 非印第安人两种情况,同时,使用的人均耕地数据来源于历史资料。

(2)耕地的估算方法不同。HYDE3.2是根据总人口与人均耕地直接相乘得出总的耕地面积。本文在估算印第安时期和殖民时期的耕地时采用不同的思路:①在估算印第安时期的耕地数量及分布时,本文考虑到印第安人的生产方式有农业、渔业、采集、狩猎等,通过历史文献等确定农业人口的分布区域,进而根据该区域的人口密度计算农业人口数量,

最后计算该区的耕地面积和垦殖率。②在计算殖民地时期的耕地面积时,本文考虑到印第安人和非印第安人的人均耕地不同,因此将印第安人和非印第安人所在地进行分别计算。印第安人地区的计算方法同印第安时期。殖民地中各个区域的耕地计算方法为:将各殖民地人均耕地面积与该区的人口数量相乘而得。

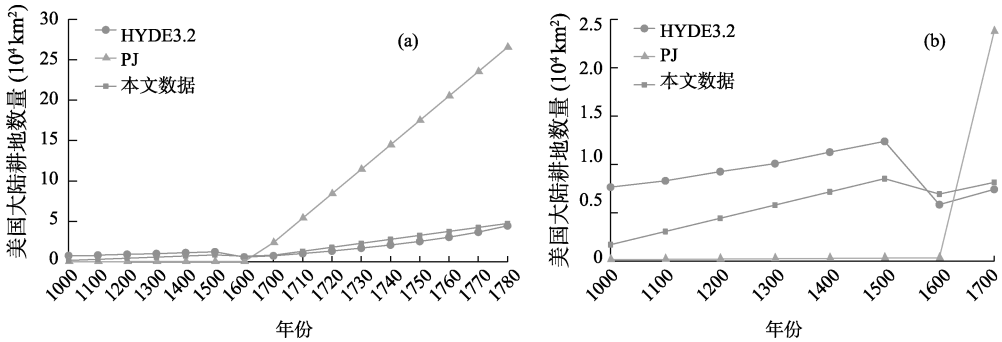


图6 各数据集中 1000–1780 年美国大陆耕地面积

## 5.2 结论

本文以美国大陆为研究区,基于统计数据、历史文献、考古数据等资料,建立了 10–18 世纪美国大陆耕地面积序列,并在此基础上,构建了土地宜垦性评估模型和耕地分配模型,对美国大陆进行耕地网格化重建,空间分辨率为  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ ,再现了 10–18 世纪美国大陆土地垦殖特征。主要结论如下:

(1) 美国大陆区域 10–18 世纪的耕地面积总体呈上升趋势,由 1000 年的  $1.71 \times 10^3 \text{ km}^2$  增长至 1780 年的  $4.74 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。可分为三个阶段:缓慢增加期(1000–1500 年),减少期(1500–1700 年),快速增加期(1700–1780 年)。

(2) 在空间上看,印第安时期的耕地主要分布在西南部和东部与平原相邻处,即以农业为主要生产方式的印第安人的分布区域;在殖民时期,印第安人地区的耕地分布在东南和西南地区,且范围逐渐缩小,殖民地耕地由最初的东北沿海地区,扩张至东部沿海地区。

**作者分工:** 赵彩杉、何凡能对数据集的开发做了总体设计;赵彩杉、杨帆、王亚非采集和处理数据;赵彩杉、杨帆设计模型和算法;所有作者共同撰写和修改了数据论文等。

**利益冲突声明:** 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

## 参考文献

- [1] Turner, B. L., Meyer, W. B., Skole, D. L. Global land-use/land-cover change towards an integrated study [J]. *Ambio*, 1994, 23(1): 91–95.
- [2] 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 [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 2002, 360(1797): 1705–1719.
- [3] Foley, J. A., Defries, R., Asner, G. P., et al. Global consequences of land use [J]. *Science*, 2005, 309(5734): 570–574. DOI: 10.1126/science.1111772.
- [4] Arneth, A., Sitch, S., Pongratz, J. Historical carbon dioxide emissions caused by land-use changes are possibly larger than assumed [J]. *Nature Geoscience*, 2017, 10(2): 79–84.
- [5] Gaillard, M. J., Morrison, K. D., Madella, M., et al. Past land-use and land-cover change: the challenge of

- quantification at the subcontinental to global scales [J]. *Past Land Use and Land Cover*, 2018, 26(1): 1–44.
- [6] Gaillard, M. J. LandCover6K: global anthropogenic land-cover change and its role in past climate [J]. *Past Global Changes Magazine*, 2015, 23(1): 38–39.
- [7] Klein, G. K., Beusen, A., Doelman, J., *et al.* Anthropogenic land use estimates for the Holocene: HYDE3.2 [J]. *Earth System Science Data*, 2017, 9(2): 927–953.
- [8] Ramankutty, N. Global cropland and pasture data from 1700–2007 [D]. Montreal: McGill University Press, 2012.
- [9] Pongratz, J., Reick, C., Raddatz, T., *et al.* A reconstruction of global agricultural areas and land cover for the last millennium [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2008, 22(3): 1–16.
- [10] Kaplan, J. O., Krumhardt, K. M., Ellis, E. C., *et al.* Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land cover change [J]. *The Holocene*, 2011, 21(5): 775–791.
- [11] 方修琦, 赵琬一, 张成鹏等. 全球历史 LUCC 数据集数据可靠性的评估方法及评估案例[J]. 中国科学: 地球科学, 2020, 50(7): 149–160.
- [12] 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 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2013, 23(6): 978–990.
- [13] He, F. N., Li, S. C., Yang, F., *et al.* Evaluating the accuracy of Chinese pasture data in global historical land use datasets [J]. *Science China Earth Sciences*, 2018, 61(11): 1685–1696.
- [14] Yang, F., He, F. N., Li, M. J., *et al.* Evaluating the reliability of global historical land use scenarios for forest data in China [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2020, 30(17): 1083–1094.
- [15] Kaplan, J. O., Krumhardt, K. M., Gaillard, M. J., *et al.* Constraining the deforestation history of Europe: evaluation of historical land use scenarios with pollen-based land cover reconstructions [J]. *Land*, 2017, 6(4): 1–20.
- [16] Leite, C. C., Costa, M. H., Soares-Filho, B. S., *et al.* Historical land use change and associated carbon emissions in Brazil from 1940 to 1995 [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2012, 26(2): 1–13.
- [17] Waisanen, P. J., Bliss, N. B. Changes in population and agricultural land in conterminous United States counties, 1790 to 1997 [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2002, 16(4): 84–1–84–19. DOI: 10.1029/2001GB001843.
- [18] Steyaert, L. T., Knox, R. G. Reconstructed historical land cover and biophysical parameters for studies of land-atmosphere interactions within the eastern United States [J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2008, 113(D2): 194–204.
- [19] Rhemtulla, J. M., Mladenoff, D. J., Clayton, M. K. Legacies of historical land use on regional forest composition and structure in Wisconsin, USA (mid-1800s–1930s–2000s) [J]. *Ecological Applications*, 2009, 19(4): 1061–1078.
- [20] Zumkehr, A., Campbell, J. E., *et al.* Historical U.S. Cropland Areas and the Potential for Bioenergy Production on Abandoned Croplands [J]. *Environmental Science and Technology*, 2013, 47(8): 3840–3847.
- [21] Yu, Z., Lu, C. Historical cropland expansion and abandonment in the continental U.S. during 1850 to 2016 [J]. *Global Eco-Biogeogr*, 2018, 27(3): 322–333.
- [22] 赵彩杉, 何凡能, 杨帆等. 10–18 世纪美国大陆土地垦殖数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2022. <https://doi.org/10.3974/geodb.2022.02.04.V1>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2022.02.04.V1>.
- [23] 全球变化科学研究数据出版系统, 全球变化科学研究数据共享政策 [OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [24] McEvedy, C., Jones, R. Atlas of World Population History [M]. Penguin Books Ltd., London, 1978.
- [25] Ubelaker, D. H. North American Indian population size, A.D. 1500 to 1985 [J]. *American Journal of Physical Anthropology*, 1988, 77: 289–294.
- [26] Mooney, J. Population [M]. In FW Hodge (ed.): Handbook of American Indians North of Mexico. Bureau of American Ethnology, Bulletin 30, Part 2. Washington DC, 1910.
- [27] Snow, D. R. Microchronology and demographic evidence relating to the size of pre-columbian North American Indian populations [J]. *Science*, 1995, 268(5217): 1601.
- [28] Liu, H., Gong, P., Wang, J., *et al.* Annual dynamics of global land cover and its long-term changes from 1982 to 2015. [J]. *Earth System Science Data*, 2020, 12(2): 1217–1243.
- [29] 艾文·约瑟斐. 美洲印第安人的文化[M]. 贾士蘅, 译. 台北: 台湾商务印书馆, 1968.
- [30] 李剑鸣. 美国通史, 第1卷, 美国的奠基时代 1585–1775[M]. 北京: 人民出版社, 2002.
- [31] 施莱贝克尔 J.T. 美国农业史(1607–1972 年)[M]. 高田, 松平, 朱人, 译. 北京: 农业出版社, 1975.
- [32] 张成鹏. 基于自然地理要素的历史耕地格网化分配模型构建方法——以中国为例 [D]. 北京: 北京师范大学, 2020.