

基于 GIS 技术的玉米在中国的空间传播分析

余国良^{1,2}, 许彩琦¹, 齐娟¹, 李建华^{2,3}, 闫亭廷⁴, 马海涛⁵

(1.宁夏回族自治区地质局,宁夏银川 750021;2.宁夏大学地理科学与规划学院,宁夏银川 750021;3.宁夏大学环境工程学院,宁夏银川 750021;4.宁夏回族自治区遥感调查院,宁夏银川 750021;5.宁夏核地质调查院,宁夏银川 750021)

摘要: 尝试利用 GIS 技术模型化、量化研究历史地理问题,旨在为各种农作物传播路径研究和物质、文化扩散等历史地理课题研究提供一条新的研究思路和技术路线。为探究玉米进入中国后的传播路径和扩散过程,以中国各地最早有玉米记录的文献及记录时间为基础数据,建立玉米在中国传播的数字地面模型,利用定量和模型分析的方法研究玉米在中国的传播起点、方向、主线与扩展速度,探究其扩散区域面积与明末以来人口增长的关系。结果表明,玉米在明嘉靖年间传入中国,在甘肃西部(1522年)、云南东南部(1563年)、广西东南部(1564年)、福建东部(1545年)形成 4 处独立的传播源,沿 8 条线路传向全国。玉米的传播主要是沿陆路交通线传播,清代官路与大路对玉米的传播促进作用明显;但在我国西南地区,由于地形复杂、陆路交通不便,玉米的传播主要沿河谷方向拓展。清代以来玉米在中国快速扩散种植,中国人口快速增长,二者表现为明显正相关关系,玉米的广泛引种是清初到 1950 年中国人口能够快速增长的原因之一。

关键词: 玉米;DTM;空间插值;传播路径;历史地理

中图分类号: S127 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2481(2024)02-0103-07

Analysis of Spatial Spread of Corn in China Based on GIS Technology

YU Guoliang^{1,2}, XU Caiqi¹, QI Juan¹, LI Jianhua^{2,3}, YAN Tingting⁴, Ma Haitao⁵

(1.Geological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750021, China; 2.School of Geography and Planning, Yinchuan 750021, China; 3.School of Ecology AND Environment, Yinchuan 750021, China; 4.Ningxia Hui Autonomous Region Remote Sensing Survey Institute, Yinchuan 750021, China; 5.Ningxia Nuclear Geological Survey Institute, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In this study, GIS technology was used for modelization and quantification research on historical geographic issues to provide a new research approach and technical route for the study on various crop transmission pathways and historical geographic issues such as material and cultural diffusion. In order to explore the transmission path and diffusion process of corn after its entry into China, a digital ground model of corn transmission in China was established based on the earliest recorded literature and time in various parts of China. Quantitative and model analysis methods were used to study the starting point, direction, main line, and expansion speed of corn transmission in China, and explore the relationship between its diffusion area and population growth since the late Ming Dynasty. The results showed that during the Jiajing period of the Ming Dynasty, corn was introduced to China and formed four independent sources of transmission in western Gansu(1522), southeastern Yunnan(1563), southeastern Guangxi(1564), and eastern Fujian(1545), spreading along eight routes to the whole country. The spread of corn in China was mainly along land transportation routes, and the promotion of corn dissemination by official roads and highways in the Qing Dynasty was significant. However, in the southwestern region of China, due to complex terrain and inconvenient land transportation, the spread of corn mainly extended along river valleys. Since the Qing Dynasty, corn had been rapidly spread and cultivated in China, and the population in China had grown rapidly. The two had shown a significant positive correlation. The widespread introduction of corn was one of the reasons for the rapid population growth in China from the early Qing Dynasty to 1950.

Key words: corn; DTM; spatial interpolation; transmission pathway; historical geography

玉米(*Zea mays* L)是禾本科属一年生草本植物,中文名称有玉蜀黍、棒子、包谷、包米、包粟、玉

菱、玉麦、苞米、珍珠粒等 100 多个^[1-2],是全球总产量最高的重要粮食作物。早在 7 000 a 以前玉米就

收稿日期:2023-02-22

基金项目:国家自然科学基金项目(41361031)

作者简介:余国良(1992-),男,宁夏石嘴山人,工程师,主要从事地质信息化建设研究工作。

通信作者:李建华(1973-),男,宁夏中卫人,副教授,硕士生导师,主要从事区域地理、GIS 技术应用研究工作。

已经被印第安人驯化在墨西哥中部高原种植,伴随新大陆的发现,玉米在 15 世纪末和 16 世纪初传入欧洲,明末传入中国^[3-4]。玉米这一作物凭借生长快、产量高、适口性好,且对气候、土壤、水肥的适应性强、易种植等众多优点,在中国被快速扩散种植,对中国的粮食种植结构、饮食文化、人口增长,甚至对国家的稳定都产生了深远影响。玉米在中国传播的历史研究主要集中在两方面^[5]。一是玉米传播对自然和人文环境的影响。张祥稳等^[6-7]研究认为,玉米在丘陵、山地开垦种植引起了水土流失与土地荒漠化等问题。崔思朋^[8]分析了美洲作物在丝绸之路上的传播情况,证明了明清时期丝绸之路的农作物传播成为有效沟通各大洲之间的重要媒介。颜德如^[9]总结玉米在中国的传播路线已经不单单是农学所研究的问题,很大程度上正是因为玉米、番薯等美洲高产作物传入中国,广泛种植,才能使中国在清末时,虽战乱不断,人口却达到了前所未有的四万万。二是玉米在中国各省的传入时间和途径。关于这一点一直都是研究讨论的热点问题,如梁四宝等^[10]对比玉米传入山西省和相邻省份的时间以及玉米在山西的传播途径,指出玉米这种高产作物对山西社会经济发展的促进作用。郭云奇^[11]系统分析了玉米在河南时间与空间传播范围,认为清代以来玉米的推广种植有效缓解了人口急剧增长与粮食需求之间的矛盾,有效推动了商业、畜牧业、手工业的发展。李昕升等^[12]研究认为,玉米和番薯传入广西后,在通过多条线路反复引种,最终形成桂西北山地多玉米,桂东南平原多番薯的空间分布格局。张箭^[13]从全国空间格局认为,玉米传入中国主要有 3 条路径,一是从西亚、中亚沿路上丝绸之路传入中国西北(甘、陕);二是由葡萄牙人把玉米带往印度,然后经中南半岛、缅甸等国传入中国西南(云南),后推广及川、黔;三是越印度洋、中国南海,由葡萄牙人和华裔商人把玉米传入我国东南沿海(闽、浙、粤),他的观点也得到学界的普遍认可。

但以上相关研究多基于历史方志、县志等史料文献进行描述性分析,阐述历史时期玉米传入中国在时间和空间位置上存在分散、模糊现象,使读者在感官和空间思考上难以形成整体印象。基于此,研究尝试利用地理信息系统中的数字地面模型(Digital Terrain Model,DTM)方法,将玉米在中国各省市、县最早有文献记录的时间作为高程值,建立玉米在中国传播的数字地面模型,利用定量和模型分析的方法研究玉米在中国的传播起点、方向、

主线与扩展速度,探究其扩散区域面积与明末以来人口增长的关系,为历史地理研究开拓了一种新的研究方法。

1 数据来源及处理

1.1 基础数据采集

研究玉米在中国的传播,首先要搞清楚全国各地最早什么时候开始有玉米种植。中国历来有编史修志的优良传统,地方志会全面记载某一时期某一地域的自然、社会、政治、经济、文化、物产等方面的情况或特定事项,通过各方志中有无关于玉米的记载,可以确定玉米这一作物在此方志编纂年代是否已在当地普遍种植。马雪芹等已通过方志研究出一些地方玉米引入时间,统计汇总共 126 个记录^[14-16]。本团队查阅地方县志、府州志、札记等历史资料补充 76 个记录,共整理得到全国范围内 202 个地点最早记录玉米种植的时间。

1.2 空间数据库建立

该研究以中国国家地理信息中心网站所提供的 1:400 万数据库中的中国地图为底图,采用 CGCS_2000 国家地理坐标系,利用 ArcGIS 10.2 为平台软件,将搜集整理的 202 个市县以点实体方式矢量化(图 1),并录入市县名称(字符型)及最早记录玉米种植年份(整型),每个市县定点位置为对应志书编纂年代的旧行政驻地,若无法查找到其旧行政驻地则取现行政驻地,因当地最高行政驻地往往是本市县的行政、经济、文化、交通和人口集聚中心。

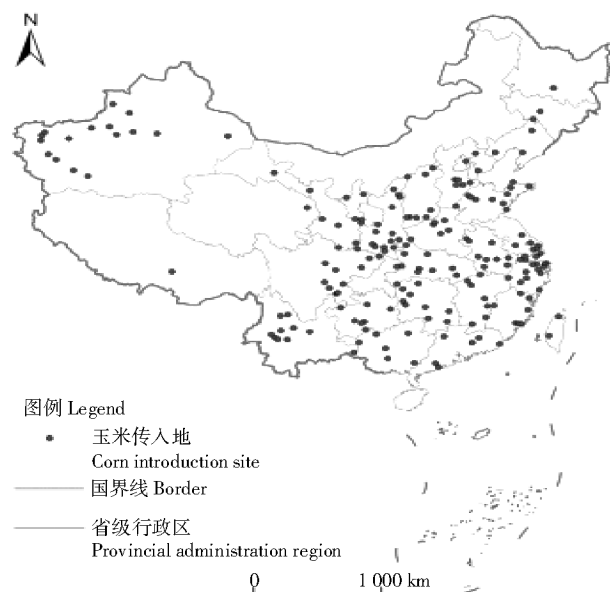


图 1 玉米在中国最早记录点分布
Fig.1 Distribution of the earliest recording spots of corn in China

2 研究方法

数字地面模型(DTM)——即利用一个任意坐标系中大量选择的已知 x 、 y 、 z 的坐标点对连续地面的一种模拟表示。本研究以全国各地玉米传入最早时间为高程值,采用插值的方法建立DTM模型。

2.1 DTM的建立

数字高程模型DEM是DTM的核心,是描述地球表面形态多种信息空间分布的有序数值阵列。

$$V_i = (X_i, Y_i, Z_i) \quad (i = 1, 2, 3, 4 \dots n) \quad (1)$$

式中, X_i, Y_i 是平面坐标, Z_i 是 (X_i, Y_i) 对应的高

程,表示区域上的三维向量有限序列。本文以数据库中全国各地最早记录玉米种植的202个市县的离散点为基础,将高程换成当地的玉米最早记录时间,对记录年份进行全国范围的空间插值,形成玉米在中国扩散的数字高程模型,即得到玉米传播的趋势面。

空间插值方法基于地形表面的空间自相关性,由已知点或已知区域推算出未知点或未知区数据的方法。目前插值算法有多种,本研究分别应用反距离函数、克里金函数、趋势面函数、自然领域函数、样条函数对已入库的市县点进行插值试验,结果见图2。

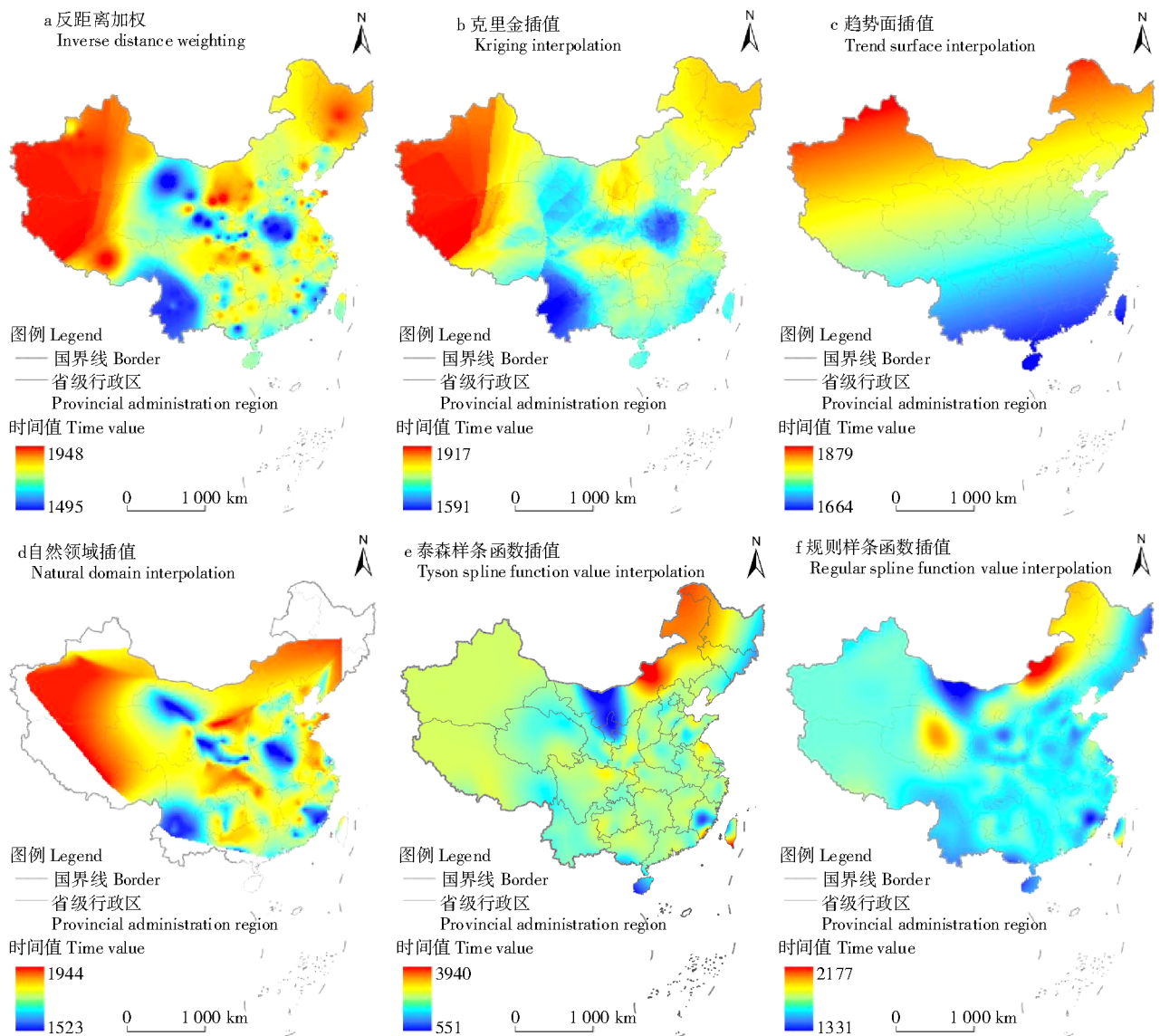


图2 不同插值方法DTM数据对比分析
Fig.2 Comparison of DTM data for different interpolation methods

6种方法的插值结果进行比较,反距离加权插值方法对于玉米传播在全国范围内插值的均衡效

果最好,与记录的时间吻合度最高。因而本研究采用反距离加权插值法构建玉米在全国传播的趋

势面。

2.2 人口数据库的建立

葛剑雄等^[17-19]对明朝以来中国人口的研究成果丰硕。本研究基于明清以来已有记录或研究结论的时间点中国人口数,通过线性插值方法估算出我国明朝以来每隔30年的人口数量。

$$p = p_i + (t_{i+1} - t_i) * (p_{i+1} - p_i) / (t_{i+2} - t_i) \quad (2)$$

式中, p 表示具体时间人口数量; p_i 表示某一年份人数; t_i 表示具体年份; i 表示时间节点。

3 结果与分析

3.1 传播趋势与主要路径分析

DTM的脊线和谷线构成了地形起伏变化的分界线(骨架线),在地形表示方面有着极其重要的作用^[20]。利用ArcGIS的水文分析模块,提取玉米在中国传播DTM的谷线(图3)。

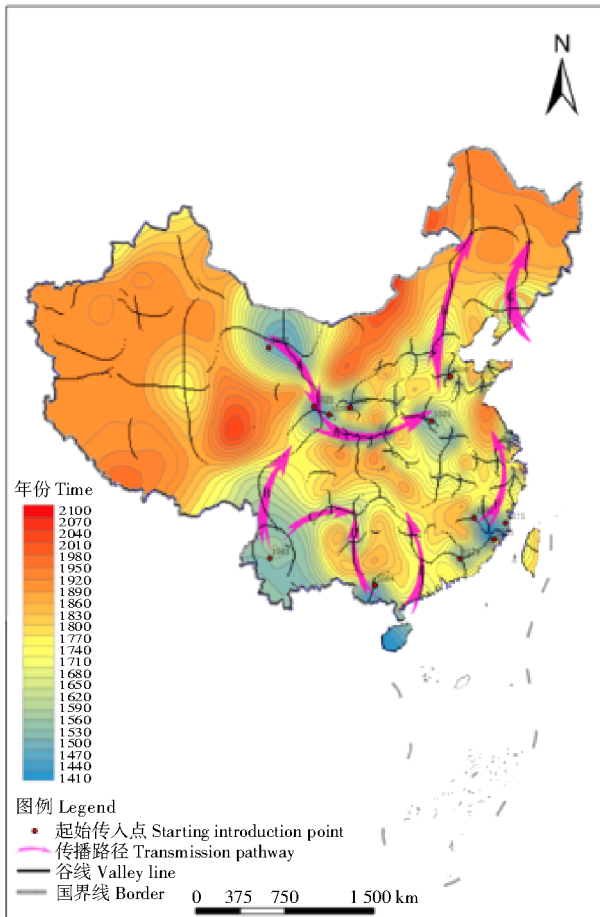


图3 玉米在中国传播谷线
Fig.3 The transmission valley lines of corn in China

在自然地貌中,谷线是两山之间低凹的地方,在地表具有合水性,是地表水汇集的径流与流向所在。本文以玉米在我国各地区最早记录的时间为

高程空间插值生成DTM,模拟出的是玉米传播的趋势面,提取的谷线是玉米传播推进最快的方向和最快的路径。从DTM来看,外围的有4处独立洼地,分别在甘肃酒泉地区(1522年)、云南临沧地区(1563年)、广西南宁地区(1531年)、福建福州地区(1545年),是玉米从国外通过不同路径进入中国的最早落脚点。玉米在国内的传播皆源于这4个点。从谷线来看,反映出玉米在国内的传播存在8条主要路径,分别是A线路(河西走廊→陕西关中→河南)、B线路(云南→四川)、C线路(云南→贵州)、D线路(广西→贵州)、E线路(雷州半岛→广州→湖南)、F线路(福建→浙江→江苏)、G线路(朝鲜→辽宁→吉林→黑龙江)、H线路(河南→山东→河北→内蒙古东部→黑龙江)。

3.2 玉米传播路线和清代交通线关系

陈光华^[21]的《中国的交通运输发展》中有清代的官路与大路图,记载了清代时期中国陆路上的官路与大路分布及其连接的主要城市。将此图地理配准,把主要交通线路、城市节点信息进行矢量化,构建清代主要道路数据库。

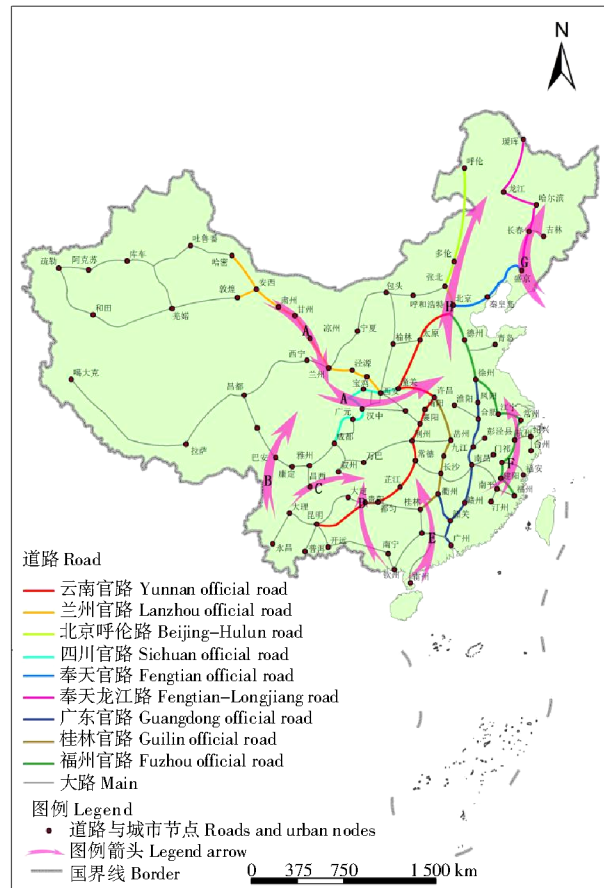


图4 清代官路、大路与谷线叠置
Fig.4 Overlaying of the valley lines and official roads and main roads in the Qing Dynasty

从图4可以看出,有5条玉米传播路径与清代官道和大路交通线高吻合,分别是:A线路与兰州官路走向一致;E线路与大路、桂林官路走向一致;F线路沿福州官路向北延伸;G线路与奉天龙江路一致;H线路与北京呼伦路一致。说明陆路交通对玉米在中国的快速传播有促进作用。B、C、D线路无明显吻合道路,但与中国水系图叠置,发现B、C、D线路与我国西南地区主要河谷吻合度较高,分别与澜沧江、长江以及珠江的主要支流右江重合,说明在地形复杂、交通不便的西南地区,玉米的传播主要沿河谷扩展。

3.3 历史时期玉米传播范围与人口增长分析

已有研究表明,从新大陆传播到旧大陆的玉米、土豆是促进近代人口增长的重要作物^[22-24]。NUNN等^[25]通过分析一国4万人口以上城市所种植土豆面积占比,估算出土豆对人口增长的贡献率。玉米在明末传入中国,清代迅速传播种植,成为促进中国人口增长的重要因素之一。本文基于玉米在全国传播的趋势面,提取等间距为30a的等值线(图3),得到玉米在中国传播年份等值线图,得到各年份玉米种植扩散到的区域,进而得到1500—1950年间玉米在中国扩散区域累积面积变化曲线,与通过线性插值方法估算出我国明朝以来每隔30年的人口数量进行比较分析。

由中国人口变化与玉米扩散累积面积曲线可见(图5),二者的变化趋势存在较高一致性。1470—1700年人口数量与玉米扩散面积增长趋势都较缓;1700—1911年、1890—1950年人口增长和玉米种植扩散速度都很快。人口增长与玉米扩散累积面积增长高度一致。人口曲线在1620—1650年、1850—880年出现人口减少,经查这两段时期分别是明末农民起义与清军入关、太平天国运动时期,中国战乱频繁,人口缩减,而这两段时期玉米扩散面积反而快速增长,笔者认为战争虽然会造成人口减少,但流民增多会刺激人口的大量迁移,进而促进玉米的传播。从图5可以看出,玉米的扩散面积相对于人口增长表现出滞后70~90 a,这种滞后效应是因为各地并非在玉米传入之时就立即修志记录,而是玉米传入后,被地方农民认可成为一种广泛种植的主要作物,修志时才有可能被记载。本文用于计算玉米扩散累积面积的DTM是基于方志记录数据创建的,所以,会表现出滞后性。实际情况应该是玉米扩散面积增长在前,人口增长在后。

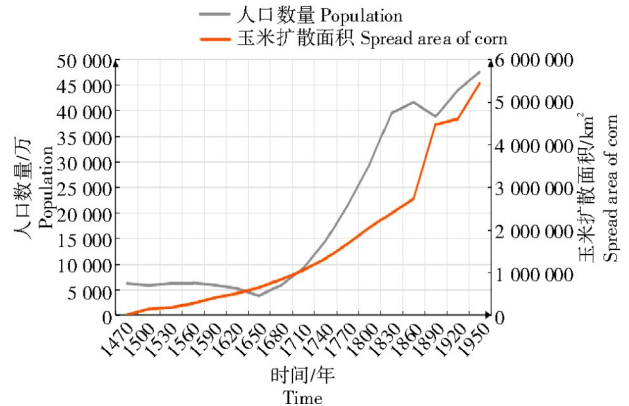


图5 人口与玉米扩散面积的对比
Fig.5 Comparison of population size and spread area of corn

2条曲线变化趋势趋同,表现出明显的正相关性,说明两者之间存在联系。对历史时期人口和玉米扩散面积构建一次线性模型,探究二者之间相关性。采用散点图方式,将人口数量与玉米扩展面积进行拟合,其拟合结果 $R^2=0.8671$,从拟合的 R^2 值来看,人口数量与玉米扩展面积也表现出强相关性(图6)。

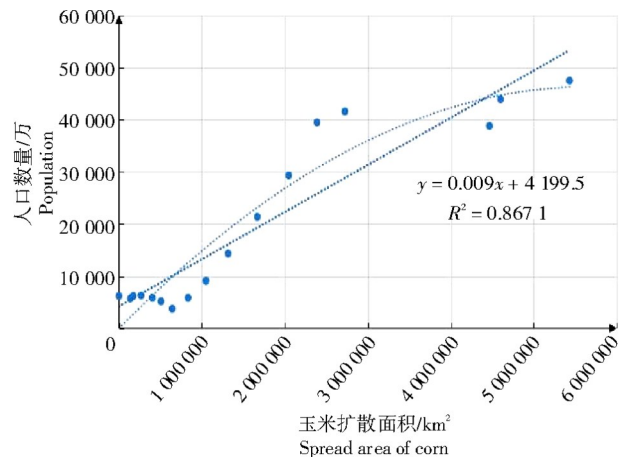


图6 人口与玉米扩散面积线性拟合
Fig.6 Linear fit of population and spread area of corn

4 结论与讨论

明嘉靖年间玉米进入中国,在甘肃西部(1522年)、云南东南部(1563年)、广西东南部(1564年)、福建东部(1545年)形成4处独立的传播源,然后在明、清、民国时期,主要沿8条线路向全国传播。分别是:A线路(甘肃→陕西→河南)、B线路(云南→四川)、C线路(云南→贵州)、D线路(广西→贵州)、E线路(广东→湖南)、F线路(福建→浙江→江苏)、G线路(朝鲜→辽宁→吉林→黑龙江)、H线路(河南→山东→河北→内蒙古东部→

黑龙江)。

交通促进人与物交流,玉米在中国的传播主要是沿陆路交通线传播,清代官路与大路对玉米的传播促进作用明显。但在我国西南地区,由于地形复杂,陆路交通不便,玉米的传播主要沿河谷方向拓展。

高产作物玉米的引入和扩散种植对中国人口的增长有促进作用。明嘉靖年间到崇祯年间,玉米虽传入中国,但扩散速度缓慢,种植少,对人口数量影响力微弱。清代以来玉米在中国快速扩散种植,中国人口快速增长,二者存在显著关联,表现为明显正相关。玉米的广泛引种是清初到 1950 年中国人口能够快速增长的原因之一。

地理信息系统技术的 DTM 方法能够定量化、模型化研究历史地理问题。数字地面模型能够可视化表达玉米在中国传播的起点、方向、范围,模拟玉米传播的趋势面,其谷线展现出玉米扩散的主要方向和线路,基于 DTM 可以定量计算玉米在中国的扩散速度和扩散区域面积。

研究以玉米这一农作物为突破口,试图利用历史时期玉米传入中国各地时间为数据支撑,建立玉米传播扩散数字地面模型,研究历史时期玉米在中国的扩散问题。本文尝试利用 GIS 技术模型化、定量化研究历史地理问题,是历史地理研究方法的一种新尝试,为今后各种农作物传播路径研究和物质、文化扩散等历史地理课题研究提供一条新的研究思路和技术路线。

在研究中也遇到很多问题。首先,就数据而言,原始采样点的空间分布和数量直接影响 DTM 的空间插值效果,对趋势面模拟的准确度和精度影响巨大。中国以胡焕庸线为界^[26-28],东西差异很大,东南人口众多,西北人口稀少,且江淮、中原、闽越、两广地区文化底蕴深厚,修志之风盛行,更容易出现玉米相关的记载,所以,这些地区采集到的数据点较密,趋势面的扩散模拟效果良好;东北、西北等区域采集到的数据点较稀疏甚至缺失,趋势面的扩散模拟效果一般;在广阔的青藏地区只有 3 个数据点,插值效果很差。这种原始数据的不均一性会影响分析的结果,在研究中需要注意。本文将玉米的扩散路径和清代官路与大路交通叠加,验证 DTM 提取扩散路径的可靠性,并探讨了它们之间的关系,但对同时代存在的水路交通的影响并未做探究。

其次,笔者以地理学视角,用玉米这一农作物

为研究对象,建立定量分析模型,以可视化视角展现玉米在中国的多种传播路径以及对人口扩散产生的影响。但促进人口增长的原因是一个多要素、多因素作用下的复杂问题。在历史上,马铃薯、甘薯、南瓜等众多农作物对人口数量的增长也起到了不可忽视的作用。历朝历代官方的一些政策实施和调控也有助于人口的增长和迁移。本研究团队目前以玉米为研究突破口,积极探索地理空间分析方法解决玉米在中国传播这一定性问题。在今后的研究中,将扩大研究范围,补充完善数据源,优化模型,深入挖掘影响历史时期中国人口增长的因素。

参考文献:

- [1] 韩茂莉. 近五百年来玉米在中国境内的传播[J]. 中国文化研究, 2007(1):44-56.
HAN M L. On the spreading of corn in China in the past 500 years[J]. Chinese Culture Research, 2007(1):44-56.
- [2] 程杰. 明朝玉米传入与传播考[J]. 闽江学刊, 2021, 13(1): 101-126.
CHENG J. The introduction and spread of corn in Ming dynasty [J]. Yuejiang Academic Journal, 2021, 13(1):101-126.
- [3] CF M I, TENAILLON, CHARCOSSET A. A european perspective on maize history[J]. Comptes Rendus Biologies, 2011, 334:221-228.
- [4] 李昕升. 明清以来美洲粮食作物经济地理研究[J]. 中国经济史研究, 2022(6):封 2.
LI X S. Study on economic geography of food crops in America since Ming and Qing dynasties[J]. Researches in Chinese Economic History, 2022(6):封 2.
- [5] 李昕升, 王思明. 近十年来美洲作物史研究综述(2004—2015) [J]. 中国社会经济史研究, 2016(1):99-107.
LI X S, WANG S M. A summary of studies on crop history in America in recent ten years(2004-2015)[J]. The Journal of Chinese Social and Economic History, 2016(1):99-107.
- [6] 张祥惠, 惠富平. 清代中晚期山地种植玉米引发的水土流失及其遏止措施[J]. 中国水土保持, 2010(4):13-16.
ZHANG X W, HUI F P. Soil and water loss initiated by *Zea mays* L. cultivation on hilly areas in the middle and late Qing dynasty and restrained measures[J]. Soil and Water Conservation in China, 2010(4):13-16.
- [7] 严奇岩. 清代玉米的引进与推广对贵州石漠化的影响[J]. 贵州师范大学学报(社会科学版), 2010(3):48-53.
YAN Q Y. The impact of corn's introduction and promotion on the rocky desertification in Guizhou in Qing dynasty[J]. Journal of Guizhou Normal University(Social Sciences), 2010(3):48-53.
- [8] 崔思朋. 明清时期丝绸之路上农作物传播及对中国的历史影响[J]. 全球史评论, 2021(1):101-122, 342.
CUI S P. The spread of crops on the Silk Road during the Ming and Qing dynasties and their impact on China[J]. Global History Review, 2021(1):101-122, 342.
- [9] 颜德如. 清末民初中国人口“四万万”说之考察:以孙中山为中心[J]. 福建论坛(人文社会科学版), 2016(6):87-90.

- YAN D R. An investigation of the "40,000" population theory in the late Qing dynasty and the early Republic of China: centered on Sun Yat-sen[J]. *Fujian Forum (Humanities and Social Sciences Edition)*, 2016(6):87-90.
- [10] 梁四宝,王云爱. 玉米在山西的传播引种及其经济作用[J]. *中国农史*, 2004, 23(1):51-56.
LIANG S B, WANG Y A. The spread and cultivation of maize in Shanxi and its economic effects[J]. *Agricultural History of China*, 2004, 23(1):51-56.
- [11] 郭云奇. 玉米在河南的传播种植及其农业经济价值[J]. *农业考古*, 2019(3):47-54.
GUO Y Q. Spread and cultivation of maize in Henan and its agricultural economic value[J]. *Agricultural Archaeology*, 2019(3):47-54.
- [12] 李昕升,王思明. 清代玉米、番薯在广西传播问题再探——兼与郑维宽、罗树杰教授商榷[J]. *中国历史地理论丛*, 2018, 33(4):78-86.
LI X S, WANG S M. Discussing on the spread of maize and sweet project in Guangxi during the Qing Dynasty again[J]. *Series of Chinese Historical Geography Theories*, 2018, 33(4):78-86.
- [13] 张箭. 新大陆农作物的传播和意义[M]. 北京:科学出版社, 2014.
ZHANG J. Spread and significance of crops in the New World [M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [14] 戚金山. 从方志记载看玉米在我国的引进和传播[J]. *古今农业*, 1988(1):99-111, 118.
XIAN J S. Introduction and dissemination of maize in China as recorded in local chronicles[J]. *Ancient and Modern Agriculture*, 1988(1):99-111, 118.
- [15] 佟屏亚. 试论玉米传入我国的途径及其发展[J]. *古今农业*, 1989(1):41-48.
TONG P Y. On the ways and development of maize introduced into China[J]. *Ancient and Modern Agriculture*, 1989(1):41-48.
- [16] 张芳. 玉米进入中国的时间与路径研究综述——基于中国知网的搜索[J]. *闽商文化研究*, 2019(1):15-18.
ZHANG F. A review on the time and path of corn entering China: a search based on CNKI[J]. *Fujian Business Culture Research*, 2019(1):15-18.
- [17] 葛剑雄,曹树基. 对明代人口总数的新估计[J]. *中国史研究*, 1995(1):33-44.
GE J X, CAO S J. A new estimation of the total population of the Ming dynasty[J]. *A Study of Chinese History*, 1995(1):33-44.
- [18] 米红,蒋正华. 民国人口统计调查和资料的研究与评价[J]. *人口研究*, 1996(3):44-52.
MI H, JIANG Z H. Research and evaluation of demographic survey and data of the Republic of China[J]. *Population Research*, 1996(3):44-52.
- [19] 易富贤. 就清朝初年人口数量与葛剑雄先生商榷[J]. *社会科学论坛*, 2010(1):150-157.
- YI F X. Discussing with Mr. Ge Jianxiong about the population in the early Qing Dynasty[J]. *Social Science Forum*, 2010(1):150-157.
- [20] 程会超. 基于南方CASS的历史地貌DTM模型重建[J]. *测绘通报*, 2020(S1):38-40.
CHENG H C. Reconstruction of historical landform DTM model based on Southern CASS[J]. *Surveying and Mapping Bulletin*, 2020(S1):38-40.
- [21] 陈光华. 中国的交通运输发展[M]. 台湾:中央文物供应社, 1971.
CHEN G H. Transportation development in China[M]. Taiwan: Central Cultural Relics Supply Agency, 1971.
- [22] 章楷,李根蟠. 玉米在我国粮食作物中地位的变化——兼论我国玉米生产的发展和人口增长的关系[J]. *农业考古*, 1983(2):94-99.
CHANG K, LI G F. The change of the position of maize in China's food crops-also on the relation between the development of maize production and population growth in China[J]. *Agricultural Archaeology*, 1983(2):94-99.
- [23] 韩伟男. 土豆和玉米:新大陆农作物与人口增长和经济发展[J]. *量化历史研究*, 2017(Z1):253-261.
HAN W N. Potatoes and maize: crops and population growth and economic development in the new world[J]. *Quantitative History Study*, 2017(Z1):253-261.
- [24] 王政军,王宝卿. 清末至民国时期玉米、番薯在青岛地区的传播及对居民主食结构的影响[J]. *青岛农业大学学报(社会科学版)*, 2017, 29(1):72-74, 87.
WANG Z J, WANG B Q. The spread of corn and sweet potatoes in the Qingdao region from the late Qing Dynasty to the Republic of China and their impact on the staple food structure of residents[J]. *Journal of Qingdao Agricultural University (Social Science Edition)*, 2017, 29(1):72-74, 87.
- [25] NUNN N, QIAN N. The potato's contribution to population and urbanization: evidence from a historical experiment[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 2011, 126(2):593-650.
- [26] 李佳洺,陆大道,徐成东,等. 胡焕庸线两侧人口的空间分异性及其变化[J]. *地理学报*, 2017, 72(1):148-160.
LI J M, LU D D, XU C D, et al. Spatial heterogeneity and its changes of population on the two sides of Hu Line[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1):148-160.
- [27] 戚伟,刘盛和,赵美凤. “胡焕庸线”的稳定性及其两侧人口集聚模式差异[J]. *地理学报*, 2015, 70(4):551-566.
QI W, LIU S H, ZHAO M F. Study on the stability of Hu Line and different spatial patterns of population growth on its both sides[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(4):551-566.
- [28] 盛磊. 中国交通现代化发展展望——从“胡焕庸线”两侧分析[J]. *经济研究参考*, 2016(14):31-37.
SHENG L. Prospects for China's transportation modernization development: an analysis from both sides of Hu Huanyong line [J]. *Reference for Economic Research*, 2016(14):31-37.