

云南省粮食生产空间格局演化及其影响因素

王大力¹ 吕兵¹ 丁文丽²¹

(1. 云南师范大学地理学部, 昆明 650500;

2. 昆明学院, 昆明 650214)

【摘要】: 农业是国民经济的基础, 粮食是基础的基础。以云南省县域为研究单元, 选取 1990-2019 年县域粮食产量为研究指标, 运用区位基尼系数、标准差椭圆、空间自相关、空间回归方法分析云南省粮食生产空间格局演化及其影响因素。结果表明: (1) 云南省县域粮食生产集中分布趋势不断增强, 粮食生产重心向滇东北移动; (2) 粮食生产存在显著的全局空间相关性, 高产区分布在滇东地区, 低产区分布在滇西北地区; (3) 粮食生产高-高集聚区主要分布在滇东地区并向滇东北扩散, 低-低集聚区分布在滇西北和滇中地区, 滇中低-低集聚效应显著增强; (4) 滇中、滇东和滇南某些县域粮食生产存在空间离散性; (5) 第一产业产值、乡村从业人数、播种面积、土地面积、年均气温的差异是影响云南粮食生产空间格局变化的主要因素。

【关键词】: 粮食生产 空间格局 空间自相关 云南省

【中图分类号】: K902 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1006-2912(2021)12-0136-13

引言

2018 年中国迎来首个农民丰收节, 丰收节彰显了农业在我国的基础性地位。从 2004 年至今, 我国连续发布了十二个中央“一号文件”加大对粮食生产的扶持力度。在 2020 年抗击新冠疫情期间, 习近平总书记强调粮食供给是实施乡村振兴战略的首要任务。粮食成为经济学、政治学、地理学等学科共同关注的话题, 涵盖了产业经济、区域经济发展、资源开发、粮食安全、地缘政治、农业地理、空间布局与网络、粮食重心、地理空间差异及成因等方面。

粮食地理研究属于地理学的研究范畴, 地理学为粮食地理的发展奠定了基础。《江苏省之农业区域》(1934)、《中国粮食地理》(1942)、《中国农业地理》(1955)、《中国农业地理总论》(1980)、《世界农业地理总论》(2000)等著作推动了我国粮食地理的形成和发展^[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9], 当代粮食地理强调地理学对农业的服务。粮食地理的研究主题包括粮食生产空间结构、粮食生产空间布局、粮食作物时空分布与尺度效应、粮食生产时空演变及影响因素、粮食安全等方面。在我国, 粮食作物生产布局与人口分布相一致, 粮食作物生产布局受自然条件、社会经济条件的影响, 小麦、稻谷、玉米、大麦、高粱、薯类、大豆顺应自然环境呈地带性分布, 不同的地理环境具有明显的地域分异^[7]。改革开放以来我国粮食生产转型呈现出“以粮为纲—农业结构调整—综合转

作者简介: 王大力(1989-), 男, 云南大理人, 云南师范大学博士研究生, 研究方向: 边疆经济地理; 吕兵(1971-), 男, 云南开远人, 云南师范大学博士研究生, 研究方向: 边疆经济地理; 丁文丽(1972-), 女, 江苏句容人, 昆明学院教授、博士生导师, 研究方向: 区域经济与金融合作。

基金项目: 国家自然科学基金项目“云南与周边国家金融合作的异质性约束及人民币区域化的实现机制与路径研究”(U2002201), 项目负责人: 丁文丽; 云南师范大学研究生科研创新基金项目“人民币在缅甸跨境使用的空间过程与驱动机制研究”(ysdyjs2019167), 项目负责人: 王大力; 云南省教育厅项目“大湄公河次区域金融网络研究”(2020Y0102), 项目负责人: 王大力

型—城乡互动”阶段特征(戈大专, 2019)^[10]。首先, 国内学者一直重视粮食安全的研究。“解决温饱问题”始终是现代农业地理关注的重点, 我国东西部粮食供给安全差异日益突出, 东中部地区粮食供给安全水平呈现显著的南北差异, 西部地区粮食安全极为脆弱, 粮食供给发展极为缓慢(龙花楼, 2010; 戈大专, 2018)^[11, 12], 粮食生产重心逐步向平原区集中(刘玉, 2011)^[13]。第二, 粮食生产影响因素分析不断增加。中部地区粮食生产能力居全国首位(刘彦随, 2008)^[14], 粮食主产区总体发展缓慢的根源在于耕地保护制度、粮食生产约束等政策性限制(鲁莎莎, 2011)^[15], 粮食生产供给功能越强的地方生态环境保育功能越高(戈大专, 2018)^[16]; 区域粮食产量受粮食单产、粮食播种面积等因素影响日益明显, 粮食产量变化对耕地变化的敏感性呈增强趋势, 化肥、农药、干旱气候、资源过度开发、农业结构变化、耕地资源、农业劳动力、城镇化和工业化、机械化水平等因素影响递增(王大伟, 2005; 刘彦随, 2009; 王国刚, 2014; 戈大专, 2017)^[16, 17, 18, 19, 20]。第三, 粮食生产时空格局研究是当代粮食地理的主要内容, 也是 70 后、80 后地理学者的研究重点。研究发现我国粮食生产重心由南向北和由东部向中部推移(程叶青, 2005)^[21], 呈“北上西进”的变动格局(翟荣新, 2008; 王介勇, 2009)^[22, 23], 产销格局已由“南粮北调”转变为“北粮南调”(刘彦随, 2009)^[18, 24]; 粮食生产主要集中在胡焕庸线东南侧的环渤海地区、东北平原、成渝地区、江汉平原、关中平原等区域(刘继来, 2017)^[25], 粮食生产地域功能具有显著的空间异质性和时间变异性(刘玉, 2010; 叶妍君, 2018)^[26, 27], 人均粮食占有量空间差异呈现“平缓—快速”阶段性特征(张利国, 2015)^[28]。

在粮食生产的尺度效应研究方面, 粮食生产在区域、省域、区域、州域、县域等不同尺度上呈现出不同的集聚特征^[29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37]。省级尺度: 我国省级粮食生产空间分布由南向北和由东向中西部迁移^[38], 粮食产区逐渐向东北和中部集中^[39], 省区粮食生产的差距越来越大^[40]。地级尺度: 州域粮食拥有量及年均增长率存在空间差异^[41]。县级尺度: 高原地区的粮食主产地向坝区集中、由生产条件好的地区向播种面积大的地区转移、由经济发达地区向欠发达地区转移、存在显著的粮食商品化差异等特征^[42, 43, 44]。总体上, 中国粮食生产在省级与地级尺度上均呈现空间集聚特征, 且尺度越小空间集聚特征表现的越强, 小尺度比大尺度更能揭示我国粮食生产区域差异的空间格局^[45]。对水稻^[46]、小麦^[47]、玉米^[48]、大豆^[49, 50]的研究发现: 我国东北稻谷重要性凸显, 小麦产区向北方和中部集中, 玉米产区向东北、华北和华北集中; 小麦和玉米生产空间集聚效应增强, 稻谷生产空间集聚效应减弱^[39]。水稻生产存在正向空间效应, 由南向北变动(杨万江, 2011)^[46]; 长江中下游地区水稻种植的空间分布与耕地面积大小成正比(周静, 2019)^[51], 温度、灾害等对稻作影响明显(文春波, 2003; 周见, 2014)^[52, 53]; 而地形、光温、降水等对小麦产生的区域差异显著(尹君, 2011; 屈艳辉, 2017)^[54, 55]。近 300 年来玉米的种植形成了地域差异(韩茂莉, 2006)^[56], 玉米生产布局存在显著的正向空间相关性, 生产重心北移明显(陈欢, 2015)^[57], 北方玉米产量比较优势突出(刘彦随, 2005)^[58], 东北玉米高值区域分布在东北中西部地区(刘大千, 2019)^[35]。大豆种植地理分布重心一直处在东北方向, 重心转移轨迹和地理集聚格局演变表现出一致的周期性和阶段性(张晓峰, 2014; 李二玲, 2016)^[49, 50]; 资源配置效率是影响大豆生产规模效率的主要因素(周蕾, 2009; 王建华, 2011)^[59, 60]; 稻谷、小麦、玉米、大豆等大宗农产品的区域专业化程度较低(李二玲, 2012)^[61], 小麦生产的集中化程度最高^[62], 而 75% 的粮食单产高增长潜力区集中在中西部^[63]。可见, 中国种植业整体上空间集聚程度逐渐增大, 区域专业化和多样化程度逐步加强; 种植业地理集聚逐步“南下西进”(李二玲, 2012)^[64]。粮食是人与资源环境相互作用的中间初级产物, 也是人地相互作用最原始和最强烈的中间连结点: 粮食产量的空间分异在一定程度上决定着人地关系的空间结构(吴传钧, 1991)^[65]; 粮食作物种植结构演化是区域自然环境基础与外部影响因素相互作用、交互影响的结果^[66, 67], 粮食生产中心由 800mm 以上雨量带向 400-800mm 雨量带偏移, 由亚热带向中温带和暖温带转移, 逐渐向平原地区集中^[68]。可见, 粮食作为联系人与自然的中介物质与天然纽带, 将不同区域以及不同群体连接起来^[69, 70]。

粮食安全是国家安全的重要内容, 粮食生产是粮食安全的重要保障, 粮食生产是满足国家和家庭粮食需求的基础, 而边疆地区的粮食安全对国家粮食安全更加尤为重要。云南地处中国西南边疆, 与缅甸、越南、老挝接壤, 边境线长约 4060km, 是面向南亚东南亚的辐射中心, 是“一带一路”建设中的枢纽区域; 2019 年云南粮食单产约 4.49t/hm², 低于全国 5.72t/hm² 的水平线, 但是云南山区面积占其土地面积的 94%, 却生产了全国 2.8% 的粮食, 为全国 3.5% 的人口提供了粮食保障, 可见, 云南粮食生产对边疆社会稳定与国家粮食安全的作用之巨大。云南省是我国粮食产销平衡区, 粮食生产的首要任务是保证本地区粮食基本自给, 其粮食主产区向坝区集中^[44], 种植品种呈现立体分布^[71], 稻谷、玉米、薯类是云南省粮食生产中产量最多的作物^[32]。种粮是云南山区农民生存最重要的生活保障和口粮来源, 但近年来受经济作物比较效益的影响, 部分农户放弃种粮改为种植特色经济作物^[71], 从而导致出现了粮食生产主产地州与非主产地州之间全要素生产率和生产规模效率差距的不断加大^[71], 贫困地区粮食生产逐步好

于非贫困地区的非正常状态^[72]。同时,受高原的地理条件的限制,粮食供需缺口大,主要从东北地区调入^[73],现有耕地所提供的粮食只能满足全省居民温饱型和小康型的粮食消费水平,但要达到富裕型粮食消费的压力较大^[74]。鉴于此,为探索特殊地理空间下粮食生产空间格局与边疆粮食安全之间的关系演化特征,本文选取地形地貌复杂多变、垂直地带性明显、人地关系复杂的云南省为研究区域,将空间计量经济学引入地理集聚研究体系,应用 GIS 和 Geoda 定量地解析县域尺度下云南粮食生产空间格局演化及其影响因素研究,以期深化粮食地理体系研究,为丰富粮食地理研究内涵和发展高原特色农业提供一种理论思路和实践依据。

一、研究区域

云南省地处低纬高原(21° 8′ -29° 15′ N, 97° 31′ -106° 11′ E),土地面积约 39.41 万 km²,地形地貌复杂多变,地带性垂直性显著,以山地、高原地形为主,山地、丘陵、台地、平原面积分别占国土面积的 88.64%、4.96%、1.55%、4.85%,谷坝镶嵌其中的特殊地理环境,深刻影响着云南省粮食生产的条件、结构和布局,使粮食作物表现出强烈的地区差异,这种自然条件的垂直地带上的差异性,也形成了云南独有的“立体农业”和高原特色农业。云南省辖 16 个州市,129 个县市,2019 年总人口 4858.3 万人,约占全国 3.47%,人口密度 1223.3 人/km²;农作物播种面积约 695.95 万 hm²,粮食播种面积 416.58 万 hm²。2020 年国内生产总值 24521.9 亿元,人均 GDP50299 元,三次产业结构为 14.7:33.8:51.5,第三产业增加值 12635.45 亿元,农业产值 2902.24 亿元,粮食总产量约 1895.86 万吨,同比增长 1.4%,占全国粮食产量的 2.83%。本文研究数据主要来源于《云南省统计年鉴》(1990-2020),选取 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年和 2019 年为研究截面,以县域粮食产量为指标,以 124 个县域为基本地理单元^[32],运用区位基尼系数、标准差椭圆^[75]、空间自相关指数^[76]、空间回归模型^[77]等方法,展开云南粮食生产空间格局演化及其影响因素研究。本文使用 GIS 制作的云南省粮食生产空间格局图,均是在国家测绘地理信息局下载的审图号为 GS(2019)3333 号标准地图基础上完成,底图无修改。

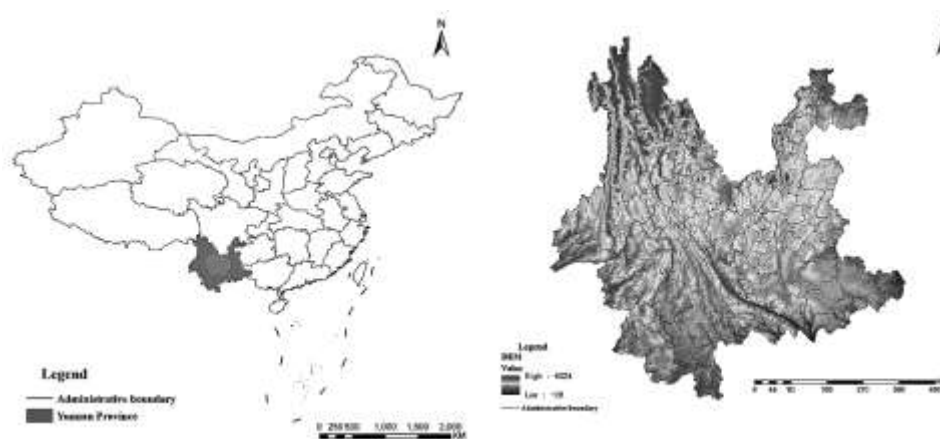


图 1 云南省区位示意图

二、云南粮食生产地理集聚的时空特征

(一)粮食生产地理集聚的时间特征

利用 1990-2019 年云南省粮食产量数据,计算县域粮食生产的洛伦兹曲线图及区位基尼系数(如图 2 所示)。

由洛伦兹曲线可以看出,云南省的粮食生产较为稳定,县域粮食生产的区位分布趋向均衡化。1990-2019 年云南省县域粮食生产的区位基尼系数分别为 0.3072、0.3029、0.3374、0.3311、0.3662、0.3718、0.3879,呈现出波动上升趋势,29 年间区位基

尼系数上升了 26.27%,2019 年基尼系数达到最高。县域粮食生产的区位基尼系数逐渐增大,表明云南省粮食生产的地理集聚程度越来越高。粮食产量前五的县域主要是宣威市、曲靖市、保山市、镇雄县、会泽县,1990-2019 年粮食产量前五的比重 CR_5 分别为 12.71%、12.49%、12.50%、12.99%、14.47%、14.71%、14.77%, CR_5 呈逐年递增趋势,粮食产量前五县域占云南省粮食产量的比重不断增加。1990 年云南省粮食产量前五的县域分别是宣威市(3.28%)、曲靖市(3.01%)、保山市(2.55%)、陆良县(1.98%)、镇雄县(1.89%),到了 2019 年为宣威市(4.09%)、曲靖市(3.17%)、保山市(2.63%)、镇雄县(2.50%)、会泽县(2.37%);可见,云南省县域粮食生产的集聚趋势不断上升。而呈贡区(0.01%)和晋宁区(0.11%)的粮食产量减少最明显(如表 1 所示)。

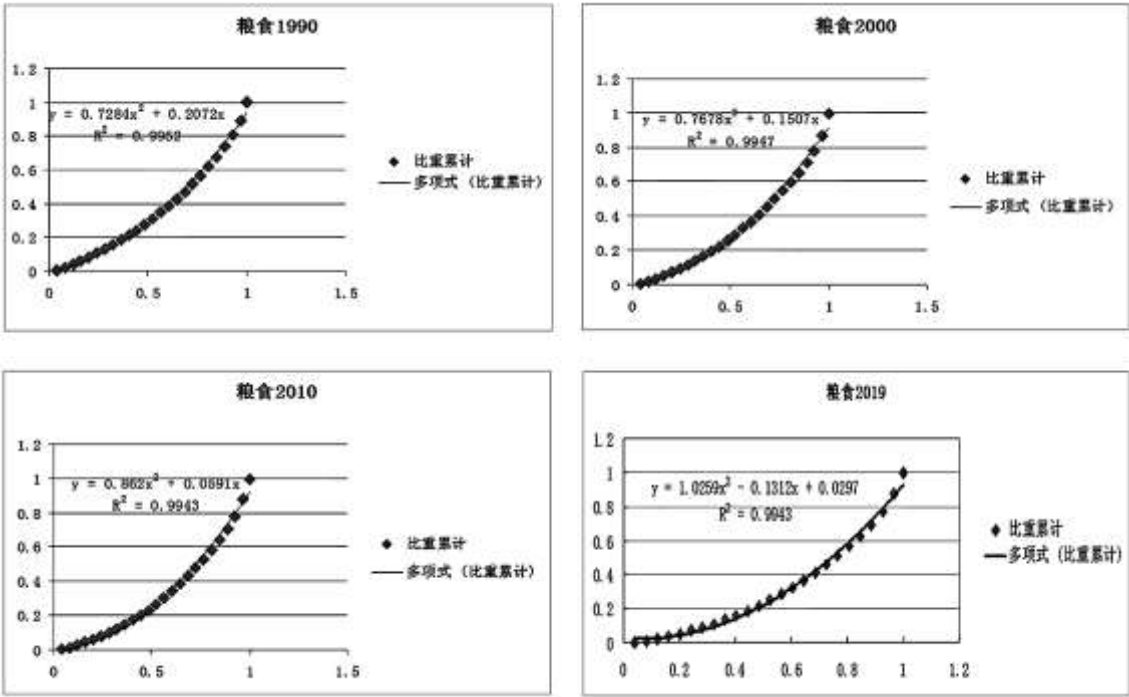


图 2 1990-2019 年云南省粮食生产洛伦兹曲线

表 1 1990-2019 年云南省粮食生产区位基尼系数

时间	GINI _j	粮食产量前五及其比重					
		前五位县域					CR ₅ (%)
1990	0.3072	宣威市	曲靖市	保山市	陆良县	镇雄县	12.71%
1995	0.3029	宣威市	曲靖市	保山市	会泽县	镇雄县	12.49%
2000	0.3374	宣威市	曲靖市	保山市	镇雄县	会泽县	12.50%
2005	0.3311	宣威市	曲靖市	保山市	镇雄县	会泽县	12.99%
2010	0.3662	宣威市	曲靖市	保山市	镇雄县	会泽县	14.47%
2015	0.3718	宣威市	镇雄县	曲靖市	会泽县	广南县	14.71%

2019	0.3879	宣威市	曲靖市	保山市	镇雄县	会泽县	14.77%
------	--------	-----	-----	-----	-----	-----	--------

(二)粮食生产地理集聚的空间特征

利用标准差椭圆计算公式可以得到云南省粮食生产重心及其变化情况，结果如表 2 所示。从时间维度看，1990-2019 年云南省粮食生产标准差椭圆的中心一直位于禄丰市，方位角在 76° -78.5° 之间小幅度移动了 1.287° ,长半轴和短半轴分别增加了 13.9km、4.3km。

表 2 1990-2019 年云南粮食生产椭圆参数

年份	经纬度	X-StdDist	Y-StdDist	方位角	移动方向	移动距离	中心区位
1990	101.957° E, 25.019° N	283.3	194.7	77.643°	-	-	禄丰市
1995	101.968° E, 25.031° N	282.2	194.6	77.408°	东北	1.10	禄丰市
2000	101.966° E, 24.996° N	278.0	194.3	76.961°	东南	5.30	禄丰市
2005	102.044° E, 25.042° N	286.6	199.4	78.499°	东北	3.30	禄丰市
2010	102.079° E, 25.102° N	296.7	201.2	76.755°	东北	13.4	禄丰市
2015	102.059° E, 25.091° N	297.5	199.3	76.068°	东北	14.2	禄丰市
2019	102.069° E, 25.049° N	296.9	199.0	76.356°	东北	13.6	禄丰市

从空间位置看，1990-2019 年间粮食生产重心在东经 101.957° -102.079° 、北纬 24.996° -25.091° 之间变动；从移动轨迹看，粮食生产重心呈现“东北-东南-东北”移动态势，总体移动方向趋于东北；从移动距离看，粮食生产重心在 1990-2019 年间向东北移动了 13.6km, 平均移速约为 1.76km/a。表明，云南省粮食生产重心逐渐由以稻谷为主的滇西、滇南向以小麦、玉米、豆类、薯类为主的滇东北移动 (如图 3 所示)。

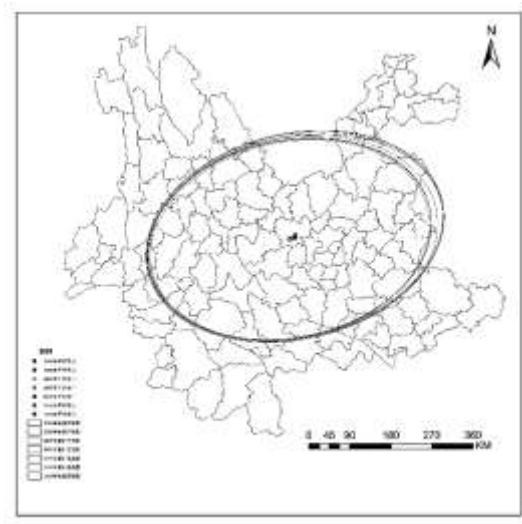


图 3 1990-2019 年云南粮食生产空间分布椭圆

三、云南粮食生产空间格局演变

(一)全局空间关联性

对云南省县域粮食生产的全局空间自相关进行显著性检验，从图 4 的检验结果可以看出，1990-2019 年云南省县域粮食生产全局空间自相关均通过了 1%水平的显著性检验，且在 1%显著性水平下显著集聚，这表明云南省县域粮食生产在空间上存在较强的相关性。

通过空间自相关显著性检验可知，在通过 1%水平上的显著性检验时，云南省县域粮食生产存在显著的地理集聚状况。1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2019 年粮食生产的全局 Moran' I 指数分别为 0.3051、0.3257、0.3467、0.3828、0.4239、0.4441、0.4213, Moran' I 指数全部为正，整体呈递增趋势，这表明云南省县域粮食生产呈现正的空间自相关性，粮食生产空间分布存在地理集聚效应，且空间集聚程度不断增加，与粮食高产县域相邻的县域产量也高，粮食低产县域周边的县域粮食产量也低(如表 3 所示)。

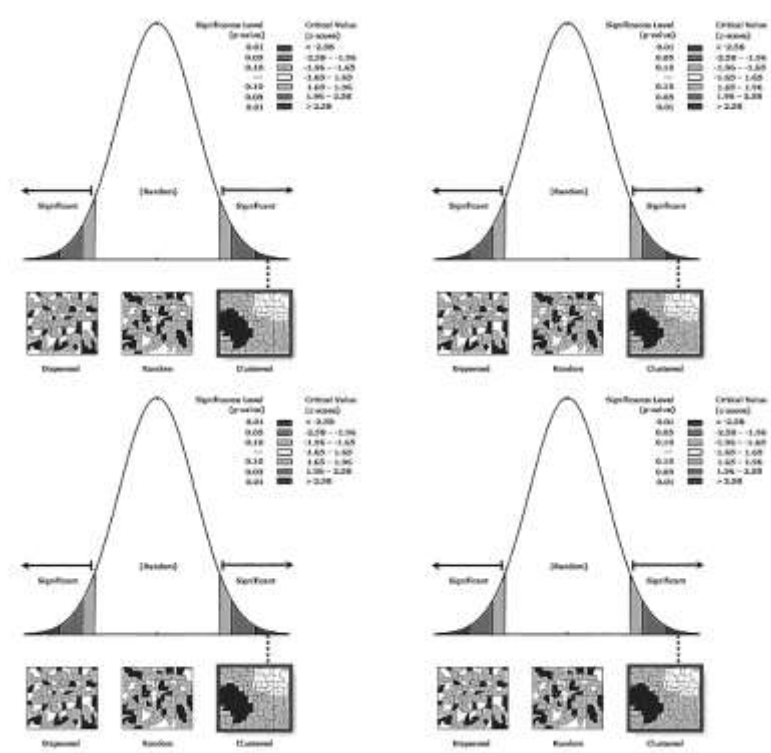


图 4 1990-2019 年云南粮食空间自相关显著性检验

表 3 1990-2019 年云南粮食生产全局自相关系数

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Moran' sI	0.3051	0.3257	0.3467	0.3828	0.4239	0.4441	0.4213

Z 值	5.6348	6.0271	6.3816	7.0429	7.7869	6.8762	6.6048
-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

(二)局域空间关联性

通过测算可以得到云南省县域粮食生产的 Moran 散点图,从图 5 可以看出 124 个县域地理单元分布在 Moran 散点图的 H-H(高-高集聚)、L-H(低-高集聚)、L-L(低-低集聚)、H-L(高-低集聚)4 个类型区。其中,分布在 L-L 象限和 H-L 象限的县域地理单元逐年增多,H-H 象限和 L-L 象限表现出与粮食高产县域相邻近的县域、与粮食低产县域相邻近的县域存在空间集聚效应;L-H 象限和 H-L 象限表现出某些县域之间的粮食生产具有离散特征,在空间上存在异质性。1990-2019 年云南省县域粮食生产 LISA 显著性通过 0.001 的县域数量分别为 4、4、3、4、5、5、5,通过显著性检验的县域逐年增加,表明云南省县域粮食生产的地理集聚效应逐渐增强。

粮食供给能力主要表现在粮食产量的提升和粮食播种面积的增加。从图 6 云南粮食生产 LISA 集聚图可以看出,1999-2019 年始终位于粮食生产高-高集聚区的县域有宣威市、曲靖市、会泽县、富源县、罗平县、陆良县、师宗县;始终位于低-低集聚区的县域有德钦县、贡山县、维西县、福贡县、兰坪县;马龙县始终位于低-高集聚区,2000 年后东川区和鲁甸县逐渐加入低-高集聚区;2000 年后墨江县、芒市、禄丰市等县域开始出现高-低集聚区;2005 年后高-高集聚区和低-低集聚区出现明显的增加,2005 年石林县加入高-高集聚区,2010 年和 2015 年鲁甸县、彝良县、威信县加入高-高集聚区,2019 年施甸县加入高-高集聚区;1995 年后墨江县和马关县退出低-低集聚区,从 2000 年开始以晋宁区为首位的滇中地区逐渐出现低-低集聚区,并呈现不断扩张趋势,2005 年江川县、玉溪市、峨山县、新平县低-低集聚性显著,2010 年澄江市、墨江县出现低-低集聚现象,2015-2019 昆明市和呈贡区逐渐出现低-低集聚现象。

云南粮食生产 LISA 集聚图中高-高集聚区和低-低集聚区两者的比例由 1990 年的 11.29%增加到了 2019 年的 17.74%,表明云南粮食生产空间集聚特征增强,粮食产量相似的县域单元在地理位置上相对邻近。粮食高产区主要分布在滇东地区;低产区分布在滇西北地区,滇中地区的低-低集聚性显著增加。高-高集聚类型向滇东北方向偏移,与前面所研究的标准差椭圆中心变化方向具有一致性。表明目前云南粮食生产连片分布于宣威市、曲靖市、会泽县、富源县、罗平县、陆良县、师宗县为中心的地区。

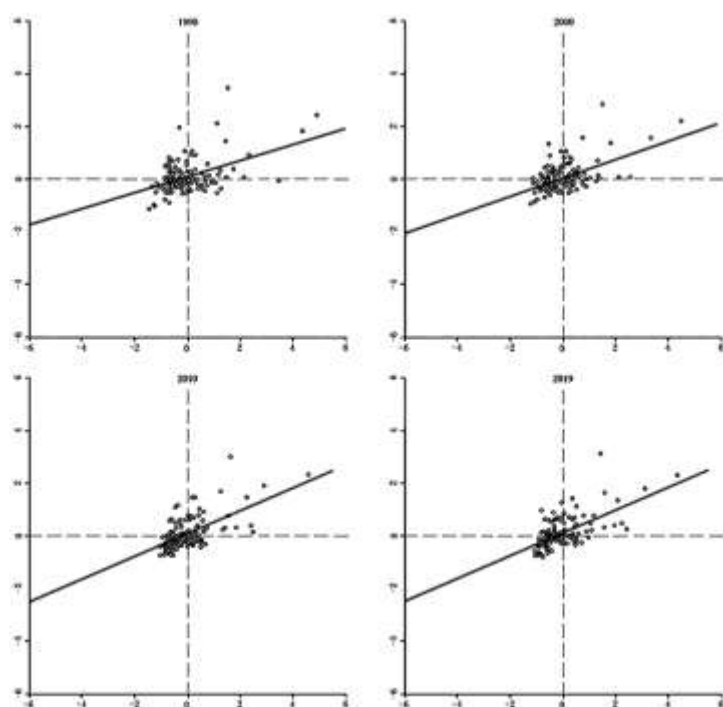


图 5 1990-2019 年云南粮食生产 Moran 散点图

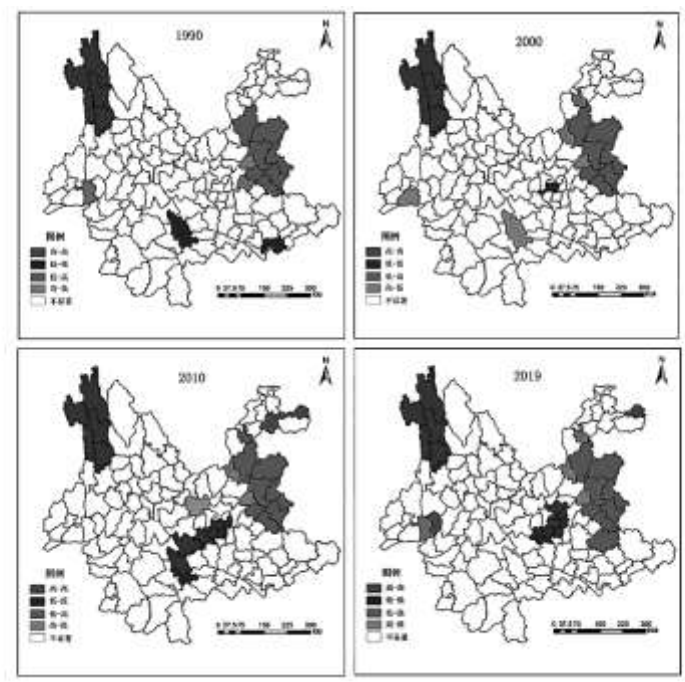


图 6 1990-2019 年云南粮食生产 LISA 集聚图

四、云南粮食生产空间格局演变的影响因素

(一) 指标体系构建

粮食生产具有显著的空间异质性和较强的时间变异性^[12]，自然环境运行要素、经济条件运行要素、社会人文运行要素和政策制度^[12, 15, 23, 50, 61, 66]的变化均会导致粮食生产空间格局的变化。基于对多篇相关文献中影响因素指标选择的比较分析，并结合云南省粮食生产实际^[32]，本文选取 GDP (X_1)^[23, 27, 28, 33, 34, 44, 50, 64]、第一产业产值 (X_2)^[34, 42, 43]、人均 GDP (X_3)^[12, 36, 42, 43, 46]、人均财政收入 (X_4)^[28]、农民人均纯收入 (X_5)^[12, 28, 33, 37, 42, 43, 55]、土地面积 (X_6)^[19, 27, 28, 33, 34, 42, 43, 46]、年均气温 (X_7)^[23, 27, 28, 34, 50, 54, 64, 66, 68]、年降水量 (X_8)^[23, 28, 34, 66]、粮食播种面积 (X_9)^[28, 37, 40, 55, 66]、总人口 (X_{10})^[28, 33, 36]、乡村人口 (X_{11})^[28, 33]、乡村从业人数 (X_{12})^[19, 20, 27, 28, 30, 34, 36, 40, 46, 66]、城市化率 (X_{13})^[37, 66]作为解释粮食产量空间格局的成因变量，各变量的描述性统计如表 4 所示。

表 4 影响因素描述性统计

	均值	标准差	极小值	极大值
X_1	103.927	243.524	8.8500	2596.2
X_2	16.4624	10.6388	1.4800	56.380
X_3	26042.3	30245.2	6192.0	307834
X_4	1863.18	1840.47	358.67	17046

X ₅	8231.29	4840.70	3944.0	55157
X ₆	0.30902	0.18647	0.0382	1.1419
X ₇	17.2110	2.87280	6.7000	24.500
X ₈	980.643	321.754	359.40	2347.7
X ₉	3.58345	2.69675	0.0479	18.982
X ₁₀	38.0200	35.2050	4.0000	334.00
X ₁₁	29.9472	21.7981	2.9274	144.91
X ₁₂	17.6517	11.9965	1.7400	76.288
X ₁₃	0.13197	0.10134	0.0180	0.6884

(二) 回归模型分析

云南粮食生产空间格局演变的分析结果表明，云南省县域粮食生产具有较强的空间相关性，在进行影响因素分析时需考虑因变量和自变量的空间效应。因此，在进行粮食生产空间格局演变的成因分析时，使用经典回归模型(OLS)、空间滞后模型(SLM)、空间误差模型(SEM)进行估计(如表5所示)。

表5 回归分析结果

模型变量	经典回归模型(OLS)		空间滞后模型(SLM)		空间误差模型(SEM)	
	回归系数	标准误差	回归系数	标准误差	回归系数	标准误差
常数项	6.4304**	2.6568	3.5887	0.0410	3.0697	2.6129
X ₁	0.0179	0.0164	0.0109	0.0148	0.0105	0.0137
X ₂	0.2955***	0.0499	0.2878***	0.0449	0.2441***	0.0463
X ₃	-0.0001	8.8928	-6.3227	8.0682	-4.2880	7.3149
X ₄	0.0003	0.0005	0.0004	0.0004	0.0001	0.0004
X ₅	-7.4174	0.0003	-0.0002	0.0003	3.6039	0.0003
X ₆	-3.1913	0.0003	-1.7031	1.9595	-3.9611*	2.1994
X ₇	-0.3327***	2.1167	-0.2439**	0.1113	-0.2069*	0.1141
X ₈	-0.0005	0.0010	-0.0006	0.0009	0.0004	0.0009
X ₉	2.6772***	0.3179	2.4328***	0.2951	2.4947***	0.2934
X ₁₀	-0.0721	0.0975	-0.0295	0.0886	-0.0626	0.0855

X ₁₁	-0.0369	0.1225	-0.0451	0.1103	-0.1078	0.1065
X ₁₂	0.3320*	0.1853	0.2944	0.1677	0.5122***	0.1628
X ₁₃	7.1141	5.9995	3.6422	5.4643	1.8873	5.6231
R ₂	0.9379	0.9433	0.9501			
Lagcoeff.		0.1367	0.5431			
Breusch-Ptest	69.256	78.099	90.114			
Loglikelihood	-310.201	-304.806	-301.278			

注：***、**、*分别表示在 1%、5%、10%的概率水平下显著。

回归分析结果显示，SLM 和 SEM 的拟合度均高于经典回归模型，且 SEM 拟合度最高，表明加入变量空间效应后的回归效果更显著。第一产业产值、土地面积、年均气温、乡村从业人数、播种面积等变量通过了显著性检验，其中，第一产业产值、乡村从业人数、播种面积对粮食生产起正向作用，土地面积、年均气温与粮食生产呈负相关。在 3 个回归模型中，粮食播种面积的系数均在 2.4 以上，表明播种面积对粮食生产影响显著，表明提高粮食播种面积的比例，有助于提高县域粮食产量；云南省积极建设高标准农田 480 万亩，稳定农作物良种覆盖率 96%以上，确保 6250 万亩粮食播种面积，保障了粮食生产的基础条件。第一产业产值在 3 个模型中均通过了显著性检验，表明农、林、牧、渔业和农林牧渔服务业的发展和产值的提升对粮食生产起到正向作用，云南省第一产业值从 1990 年的 168.13 亿元增加到了 2019 年的 3037.62 亿元，增加了 18 倍。乡村从业人数在 OLS 和 SEM 模型中通过了显著性检验，表明农林牧渔劳动力的增加能够提高县域粮食的产量和生产效率，云南省乡村从业人数从 1990 年的 1512.82 万人增加到 2019 年的 2099.9 万人，第一产业值和乡村从业人数的增长直接促进了县域粮食产量的增加。土地面积的回归系数为负，表明单从云南省县域的土地面积判断粮食产量高低过于片面，土地面积多的县域能够保证粮食生产的耕地不一定多。一方面，云南省山地面积占其土地面积的 94%以上，坝区面积不足 10%左右，坝区的资源禀赋和粮食生产条件明显优于山地，坝区粮食播种面积较多，粮食产量相对较高；而山地粮食生产条件较差，粮食产量的增速相对缓慢。例如曲靖市有 34 个万亩以上的坝子，曲靖市的粮食产量从 1990 年 166.8 万吨上升到 2019 年的 319.62 万吨，研究期内的宣威市、曲靖市、会泽县、富源县、罗平县、陆良县、师宗县粮食生产表现出高集聚现象，一直呈现出高-高的空间格局，成为云南省粮食生产的主产区。另一方面，建设用地的经济收益极高于粮食生产，建设用地极速扩张导致耕地面积急剧下降，粮食产量急剧下滑；随着耕地大量转化为建设用地，城镇化区域的农业从业人口随即转为非农就业，导致从事粮食生产的人数锐减。例如，呈贡区 1990 年耕地面积约 7412.33hm²，自 2008 年新区开发到 2019 年粮食播种面积锐减到约 200hm²，粮食产量 47012 吨跌至 12065 吨，2019 年呈贡区低-低集聚效应极为显著。年均气温在 OLS 和 SEM 模型中通过了显著性检验，表明近年来的持续高温天气造成云南大部分县域严重缺水，干旱灾害严重影响了粮食的生产。政策制度一直对云南省粮食生产起着重要作用，《云南省高原特色农业现代化建设总体规划(2016—2020 年)》发展了高原特色农业和建设高原粮仓，稳定了粮食播种面积 6500 万亩以上，确保了粮食产量在 1800 万吨以上，推进了 70 多个粮食产能县域基地的建设；以种粮直接补贴、良种补贴、农机购置补贴、农资价格综合补贴为核心的农业 4 补贴政策，充分发挥了农业补贴对云南省粮食生产的激励作用。SLM 模型中被解释变量的空间滞后项回归系数为正，表明县域粮食生产对相邻县域的粮食生产有同向促进作用，SEM 的残差参数也为正，表明一个县域粮食产量的高低不仅受到该县域自然环境、经济条件和社会人文要素的影响，而且受到相邻县域粮食生产和自然环境、经济条件和社会人文要素的影响。

五、结论与建议

通过空间相关分析，利用 Moran' sI 和空间计量方法解析了 1990-2019 年云南省县域粮食生产空间格局及其演变规律，进一步探索了其驱动机制。结果表明：①云南省县域粮食生产在空间上呈现集中分布，随着时间的推移这种集中分布趋势不断增

强；粮食生产重心逐渐向滇东北地区移动，移动了 13.6km；滇东北地区的粮食生产功能日益增强，滇西北地区和滇中地区的粮食生产能力下降。②粮食生产存在显著的全局空间相关性，粮食生产相近县域的空间集聚程度增加；粮食高产区分布在滇东地区，低产区分布在滇西北地区。③粮食生产的高-高集聚区主要分布在滇东地并有向滇东北扩散趋势，低-低集聚区连片分布于滇西北和滇中地区，滇中地区的低-低集聚性显著增强，宣威市、曲靖市、会泽县、富源县、罗平县、陆良县、师宗县成为云南省县域粮食生产的主产区。④粮食生产在滇中、滇东和滇南某些县域存在空间离散性，高-高集聚和低-低集聚周围的县域存在显著的低-高集聚、高-低集聚的空间异质性，1995-2019 年高-高集聚的曲靖市、会泽县相邻县域马龙县、东川区和鲁甸县出现显著的低-高集聚性；2005 年低-低集聚的新平县相邻的墨江县出现高-低集聚现象，2015 年与低-低集聚昆明市相邻的禄丰县出现高-低集聚现象，而墨江县的高-低集聚现象消失。⑤通过空间回归分析，第一产业产值、乡村从业人数、播种面积对云南省粮食生产起正向促进作用，土地面积、年均气温与粮食生产呈现负相关性。

云南省地形地貌复杂多变，地带性垂直性显著，为了实现粮食生产效率和产量的提升，积极推进脱贫攻坚同乡村振兴有效衔接，加快发展建设高原特色农业和高原粮仓，提出以下建议：第一，必须保证全省的粮食播种面积保持在 6500 万亩以上，确保粮食产量稳定在 1800 万吨以上，推进曲靖市、昆明市、楚雄州、玉溪市、大理州、保山市粮食高产区建设，稳定红河州、文山州、临沧市、普洱市、昭通市、德宏州、西双版纳的粮食播种面积，以期为发展高原特色农业和建设高原粮仓提供资源保障。第二，粮食生产高-高集聚程度高的宣威、曲靖、会泽、富源、罗平、陆良、师宗是云南省粮食生产的主产区，成为了发展高原特色农业和建设高原粮仓的主要区域，提升稻谷、玉米大宗粮食作物的质量，建设马铃薯、玉米、豆类等高原特色粮食品种的地理标志品牌；滇东地区要大力发展第一产业，增强农业综合生产能力，稳定粮食产量，深度挖潜农业资源禀赋，构建以第一产业发展为主，农林牧渔服务业为辅的现代农业体系。第三，低-低集聚的昆明、呈贡、晋宁、玉溪等滇中地区是新型城镇化和新型工业化的重点开发区，要构建以制造业为主，服务业为辅的现代产业体系。第四，滇西北地区是重点生态功能区，要以保护生态为主，大理、丽江、迪庆、怒江依托河谷地带的资源优势积极发展高山农业，确保基本的粮食生产和供给。

参考文献:

- [1]刘世铨. 中国农业地理[M]. 上海：新知识出版社，1955.
- [2]吴传钧. 农业地理译丛[M]. 北京：农业出版社，1980.
- [3]中国科学院地理研究所经济地理研究室. 中国农业地理总论[M]. 北京：科学出版社，1980.
- [4]程璐，陆心贤. 中国农业地理[M]. 北京：农业出版社，1984.
- [5]中国地理学会. 地理学与农业[M]. 北京：农业出版社，1983.
- [6]周立三. 中国农业地理[M]. 北京：科学出版社，2000.
- [7]张同铸. 世界农业地理总论[M]. 北京：商务印书馆，2000.
- [8]刘彦随，龙花楼，王介勇. 中国农业现代化与农民[M]. 北京：科学出版社，2014.
- [9]吴传钧. 农业地理学发展述要[J]. 地理环境研究，1989(01):10-17.
- [10]戈大专，龙花楼，乔伟峰. 改革开放以来我国粮食生产转型分析及展望[J]. 自然资源学报，2019, 34(03):658-670.

-
- [11] 龙花楼, 邹健. 中国耕地利用变化驱动下的粮食生产: 安全格局分析 (英文) [J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2010, 1 (01): 60-67.
- [12] 戈大专, 龙花楼, 屠爽爽, 张英男. 黄淮海地区土地利用转型与粮食产量耦合关系研究 [J]. *农业资源与环境学报*, 2017, 34 (04): 319-327.
- [13] 刘玉, 刘彦随, 郭丽英. 环渤海地区县域人均粮食占有量空间格局演化 [J]. *地理科学*, 2011, 31 (01): 102-109.
- [14] 刘彦随, 彭留英. 我国中部地区农业发展定位与战略 [J]. *经济地理*, 2008 (04): 646-649.
- [15] 鲁莎莎, 刘彦随, 关兴良. 粮食主产区农村经济发展态势及其政策影响分析 [J]. *经济地理*, 2011, 31 (03): 483-488.
- [16] 戈大专, 龙花楼, 李裕瑞等. 城镇化进程中我国粮食生产系统多功能转型时空格局研究——以黄淮海地区为例 [J]. *经济地理*, 2018, 38 (04): 147-156, 182.
- [17] 王大伟, 刘彦随, 卢艳霞. 农业结构调整对全国粮食安全的影响分析——以粮食主产区为例 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2005 (02): 65-68.
- [18] 刘彦随, 翟荣新. 中国粮食生产时空格局动态及其优化策略探析 [J]. *地域研究与开发*, 2009, 28 (1): 1-5, 16.
- [19] 王国刚, 刘彦随, 陈秋分. 中国省域耕地集约利用态势与驱动力分析 [J]. *地理学报*, 2014, 69 (07): 907-915.
- [20] 戈大专, 龙花楼, 张英男, 等. 中国县域粮食产量与农业劳动力变化的格局及其耦合关系 [J]. *地理学报*, 2017, 72 (06): 1063-1077.
- [21] 程叶青, 张平宇. 中国粮食生产的区域格局变化及东北商品粮基地的响应 [J]. *地理科学*, 2005 (05): 3-10.
- [22] 翟荣新, 刘彦随. 20 世纪 90 年代以来中国粮食生产的区域格局变动 [J]. *中国农业资源与区划*, 2008, 29 (06): 49-54.
- [23] 王介勇, 刘彦随. 1990 年至 2005 年中国粮食产量重心演进格局及其驱动机制 [J]. *资源科学*, 2009, 31 (07): 1188-1194.
- [24] 刘彦随, 王介勇, 郭丽英. 中国粮食生产与耕地变化的时空动态 [J]. *中国农业科学*, 2009, 42 (12): 4269-4274.
- [25] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析 [J]. *地理学报*, 2017, 72 (07): 1290-1304.
- [26] 刘玉, 刘彦随, 郭丽英. 环渤海地区粮食生产地域功能综合评价与优化调控 [J]. *地理科学进展*, 2010, 29 (08): 920-926.
- [27] 叶妍君, 齐清文, 姜莉莉, 等. 基于地理探测器的黑龙江垦区农场粮食产量影响因素分析 [J]. *地理研究*, 2018, 37 (01): 171-182.
- [28] 张利国, 陈苏. 中国人均粮食占有量时空演变及驱动因素 [J]. *经济地理*, 2015, 35 (03): 171-177.
- [29] 程叶青. 东北地区粮食单产空间格局变化及其动因分析 [J]. *自然资源学报*, 2009, 24 (9): 1541-1549.

-
- [30]刘彦随,李裕瑞.中国县域耕地与农业劳动力变化的时空耦合关系[J].地理学报,2010,65(12):1602-1612.
- [31]刘玉杰,杨艳昭,封志明.中国粮食生产的区域格局变化及其可能影响[J].资源科学,2007,29(2):8-14.
- [32]王大力.云南粮食生产地理集聚格局研究[D].云南师范大学,2016.
- [33]姚成胜,杨一单,殷伟.中国非主粮生产的地理集聚特征及其空间演化机制[J].经济地理,2020,40(12):155-165.
- [34]冯颖,侯孟阳,姚顺波.中国粮食生产空间关联网络的结构特征及其形成机制[J].地理学报,2020,75(11):2380-2395.
- [35]刘大千,刘世薇,温鑫.东北地区粮食生产结构时空演变[J].经济地理,2019,39(05):163-170.
- [36]夏四友,赵媛,许昕,等.江苏省粮食生产时空格局及其驱动因素[J].经济地理,2018,38(12):166-175.
- [37]李政通,姚成胜,梁龙武.中国粮食生产的区域类型和生产模式演变分析[J].地理研究,2018(05):937-953.
- [38]杨春,陆文聪.中国粮食生产空间布局变迁实证[J].经济地理,2008(05):813-816.
- [39]邓宗兵,封永刚,张俊亮,等.中国粮食生产空间布局变迁的特征分析[J].经济地理,2013,33(5):117-123.
- [40]熊友云,张明军,刘园园,等.中国粮食产量省区差距变化及其成因分析[J].自然资源学报,2009,24(6):965-974.
- [41]张杰,卢李朋,姜朋辉,等.湖北省粮食生产的多尺度及关联动态分析[J].经济地理,2013,33(07):140-147.
- [42]薛剑,韩娟,刘玉,等.河南省县域粮食生产格局变化及其影响因素[J].地域研究与开发,2013,32(4):150-155.
- [43]刘玉,郭丽英,刘彦随.1980—2008年环渤海地区县域粮食的时空动态变化及分析[J].农业工程学报,2012,28(12):230-236.
- [44]颜晓飞.云南粮食主产区演变的特征及原因探析[J].中国农业资源与区划,2015,36(3):48-55.
- [45]范业龙,陆玉麒,赵俊华,等.中国粮食生产区域差异的多尺度分析[J].经济地理,2014,34(10):124-130.
- [46]杨万江,陈文佳.中国水稻生产空间布局变迁及影响因素分析[J].经济地理,2011,31(12):2086-2093.
- [47]田燕,王国强,王令超,等.河南省小麦生产的区域差异及其对农用地分等的影响[J].地域研究与开发,2006,25(3):90-93.
- [48]秦雅,刘玉洁,葛全胜.气候变化背景下1981-2010年中国玉米物候变化时空分异[J].地理学报,2018,73(05):906-916.
- [49]张晓峰,王宏志,刘洛,等.近50年来气候变化背景下中国大豆生产潜力时空演变特征[J].地理科学进展,2014,33(10):1414-1423.

-
- [50]李二玲, 位书华, 胥亚男. 中国大豆种植地理集聚格局演化及其机制[J]. 经济经纬, 2016, 33 (03) :37-42.
- [51]周静, 曾福生. 稻作大户生产投入行为及其空间分布特征——基于湖南省 6 县 419 户稻作大户的数据[J]. 经济地理: 1-12[2021-04-06].
- [52]文春波, 高红莉, 蔡德龙, 等. 水稻施用硅肥研究综述[J]. 地域研究与开发, 2003, 22 (3) :79-81.
- [53]周见, 郝成元, 吴文祥. 基于 GIS 的黑龙江省水稻低温灾害风险等级区划[J]. 地域研究与开发, 2014, 33 (1) :109-112.
- [54]尹君, 苏筠. 农谚在河南冬小麦种植及气候适应中的应用[J]. 地域研究与开发, 2011, 30 (4) :153-157.
- [55]屈艳辉, 李二玲, 范詠嘉. 河南省县域粮食生产格局演化及影响因素[J]. 地域研究与开发, 2017, 36 (03) :148-153.
- [56]韩茂莉. 近 300 年来玉米种植制度的形成与地域差异[J]. 地理研究, 2006, 25 (6) :1083-1095.
- [57]陈欢, 王全忠, 周宏. 中国玉米生产布局的变迁分析[J]. 经济地理, 2015, 35 (8) :165-171.
- [58]刘彦随, 甘红, 王大伟. 东北地区农业现代化水平及比较优势分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2005 (02) :149-153.
- [59]周蕾, 辛丽轲, 庞英. 转型期中国大豆生产资源配置效率及其区域特征研究——基于非参数方法双产出模型的经验分析[J]. 人文地理, 2009, 24 (2) :73-77.
- [60]王建华. 基于 DEA 方法的农作物成本效率测度及区域特征分析——以大豆为例[J]. 经济地理, 2011, 31 (7) :1190-1195.
- [61]李二玲, 朱纪广, 李小建. 2008 年中国种植业地理集聚与专业化格局[J]. 地理科学进展, 2012, 31 (08) :1063-1070.
- [62]柴玲欢, 朱会义. 中国粮食生产区域集中化的演化趋势[J]. 自然资源学报, 2016, 31 (06) :908-919.
- [63]杨丽霞, 杨桂山, 姚士谋, 等. 基于 ESDA-GWR 的粮食单产及其驱动因子的空间异质性研究[J]. 经济地理, 2012, 32 (06) :120-126.
- [64]李二玲, 庞安超, 朱纪广. 中国农业地理集聚格局演化及其机制[J]. 地理研究, 2012, 31 (5) :885-897.
- [65]吴传钧. 论地理学的研究核心——人地关系地域系统[J]. 经济地理, 1991, 11 (3) :1-6.
- [66]安悦, 谭雪兰, 谭杰扬, 等. 湖南省农作物种植结构演变及影响因素[J]. 经济地理, 2021, 41 (02) :156-166.
- [67]李亚婷, 潘少奇, 苗长虹. 中国县域人均粮食占有量的时空格局——基于户籍人口和常住人口的对比分析[J]. 地理学报, 2014, 69 (12) :1753-1766.
- [68]徐海亚, 朱会义. 基于自然地理分区的 1990-2010 年中国粮食生产格局变化[J]. 地理学报, 2015, 70 (04) :582-590.
- [69]Ilbery B, Maye D. Changing geographies of food consumption and production [M]//Daniels P et al. An

introduction to human geography:Issues for the 21st century.Essex:Pearson Education, 2008:159-179.

[70]Cook I.Geographies of food:following [J].Progress in Human Geography, 2006, 30(5):655-666.

[71]李学林, 李隆伟, 董晓波, 等. 云南省粮食全要素生产率分解研究[J]. 农业技术经济, 2019(10):102-113.

[72]郑宝华. 责任下沉: 提高省级粮食安全的必然选择——基于云南 80 个贫困县的粮食生产趋势分析[J]. 云南社会科学, 2014(05):81-85.

[73]孔志坚, 杨光. 中国云南与缅甸粮食贸易研究[J]. 世界农业, 2017(02):145-148, 176.

[74]童彦, 潘玉君, 施玉. 基于耕地压力指数的云南粮食产能安全动态分析[J]. 农业现代化研究, 2012, 33(01):100-103.

[75]白冰, 赵作权, 张佩. 中国南北区域经济空间融合发展的趋势与布局[J]. 经济地理, 2021, 41(02):1-10.

[76]Cliff, A., J. k Ord. Spatial autocorrelation [M]. London:Pion, 1973.

[77]刘瑞翔, 夏琪琪. 城市化、人力资本与经济增长质量——基于省域数据的空间杜宾模型研究[J]. 经济问题探索, 2018(11):34-42.