



王儒桐,刘现,贾露瑶,等.西南石漠化地区粮食作物时空变化及影响因素研究[J].江西农业大学学报,2024,46(1):1-12.
WANG R T,LIU X,JIA L Y,et al.Study on spatial-temporal changes and influencing factors of grain crops in rocky desertification area of Southwest China[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2024,46(1):1-12.

西南石漠化地区粮食作物时空变化及影响因素研究

王儒桐¹,刘 现¹,贾露瑶¹,张 凤¹,刘世薇^{1,2*}

(1.西南大学 地理科学学院,重庆 400715;2.西南大学 旅游研究所,重庆 400715)

摘要:【目的】分析西南石漠化地区粮食作物播种面积的时空变化特征及影响因素。【方法】基于2015—2020年西南石漠化地区粮食种植数据与社会经济指标数据,运用农作物种植结构类型指数、空间自相关、空间误差回归模型等模型方法,在县域尺度上进行研究。【结果】2015—2020年粮食播种面积呈波动性增加趋势,玉米播种面积整体下降,稻谷和薯类播种面积整体上升;粮食种植结构类型共有54种,区域种植结构类型丰富度指数波动上升,玉米型县域数目减少,稻谷型增加;云南省石漠化地区HH集聚区的粮食作物为玉米与薯类,广西石漠化地区HH集聚区粮食作物为玉米与稻谷,而在贵州省石漠化地区,3种粮食作物分别有相应的HH集聚种植区;此外,自然地理环境、总人口、居民可支配收入、产业发展是影响西南石漠化地区粮食、玉米、稻谷、薯类播种面积的主要因素,亩均利润对玉米播种面积具有显著正向效益,国家政策促进了西南石漠化地区玉米面积的调减与种植结构的改变。【结论】2015—2020年西南石漠化地区主要受国家政策影响,减少玉米非优势区的播种面积,优化了该区域的种植结构。

关键词:西南石漠化地区;粮食作物;空间自相关;时空变化;影响因素

中图分类号:S501.9;K901

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1000-2286(2024)01-0001-12



Study on spatial-temporal changes and influencing factors of grain crops in rocky desertification area of Southwest China

WANG Rutong¹,LIU Xian¹,JIA Luyao¹,ZHANG Feng¹,LIU Shiwei^{1,2*}

(1.College of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2.Institute of Tourism, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: [Objective] Based on the data of grain planting and socio-economic indicators in the rocky desertification area of Southwest China from 2015 to 2020, the spatial and temporal variation characteristics and influencing factors of grain planting in the rocky desertification area of Southwest China were analyzed on

收稿日期:2023-10-20 修回日期:2023-12-01

基金项目:国家自然科学基金面上项目(42171175)和重庆市自然科学基金面上项目(CSTB2022NSCQ-MSX0753)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China (42171175) and the Chongqing Natural Science Foundation Project (CSTB2022NSCQ-MSX0753)

作者简介:王儒桐,硕士生,orcid.org/0009-0003-3168-9939,1150755651@qq.com; *通信作者:刘世薇,副教授,博士,主要从事农业地理和乡村发展研究,orcid.org/0000-0002-2509-0319,liushiwei@swu.edu.cn。

the county scale. [Method] The model methods including crop planting structure type index, spatial autocorrelation and spatial error regression model were adopted. [Result] The results showed that the grain planting area showed a fluctuating increasing trend from 2015 to 2020. The sown area of corn decreased, and the sown area of rice and potato increased. There were 54 kinds of grain planting structure types. The richness index of regional planting structure types fluctuated, the number of corn-type counties decreased, and the number of rice-type counties increased. The grain crops in the HH agglomeration area of the rocky desertification area in Yunnan Province were corn and potato, and those in Guangxi Zhuang Autonomous Region were corn and rice, and in Guizhou Province, there were corresponding HH agglomeration planting areas for the three grain crops; In addition, the natural geographical environment, total population, disposable income of residents and industrial development were the main factors affecting the sown area of grain, corn, rice and potato in the rocky desertification area of Southwest China. The average profit per mu had a significant positive impact on the sown area of corn. National policies have promoted the reduction of corn area and the change of planting structure in the rocky desertification area of Southwest China. [Conclusion] From 2015 to 2020, the area of rocky desertification in Southwest China was mainly affected by national policies, which reduced the planting area of non-dominant maize areas and optimized the planting structure of the region.

Keywords: southwest rocky desertification area; food crops; spatial autocorrelation; temporal and spatial changes; influencing factors

【研究意义】粮食是关乎国计民生的物质基础。我国政府历来重视粮食生产问题,经过多年的努力,我国粮食综合生产能力不断提高,截至2022年,已连续8年稳定在0.65万亿kg以上水平,我国谷物供应基本实现自给,谷物自给率在98%以上,口粮自给率达100%,确保了口粮绝对安全。但与此同时,我国粮食结构性不足现象严重,粮食安全领域陷入产量多、进口多、补贴多和浪费多的“怪圈”^[1]。为解决我国农产品供求结构失衡、资源环境压力大、农民收入持续增长乏力、部分农产品库存高企、国内外价格倒挂等问题,2015年,农业部发布了“关于‘镰刀弯’地区玉米结构调整的指导意见”,通过优化种植结构和区域布局,提升农业的效益和可持续发展能力;2016年4月,农业部印发了《全国种植业结构调整规划(2016—2020年)》,调整优化种植结构,全面提高发展质量;2017年,中央一号文件进一步提出“深入推进农业供给侧结构性改革,统筹调整粮经饲种植结构”;2018年4月,国务院发布的《关于构建现代农业体系深化农业供给侧结构性改革工作情况的报告》明确指出,农业供给侧结构性改革是实施乡村振兴战略的主线,其中优化农业种植结构是农业供给侧结构性改革的重要内容;2021年,中央一号文件强调要优化农业生产结构和区域布局,提升农业质量效益和竞争力。【前人研究进展】我国粮食播种面积连年增长,但受到玉米调减、临时收储等政策的影响,粮食生产结构发生了变化并逐渐受到人们的关注^[2]。国内学者对粮食作物种植的时空变化分析多为县域尺度,如周立青等^[3]使用空间聚类分析划分黑龙江省2000—2012年粮食生产类型并使用空间自相关判别空间集聚的时空变化特征;王凤等^[4]探究了2000—2014年间中国县域粮食产量时空分布演变特征;刘大千等^[5]利用ArcGIS 9.3软件对东北地区不同年份各类粮食作物产量比例进行可视化探究时空格局的演变特征;肖池伟等^[6]综合运用时序变化趋势、区域中心等方法还探究了老挝37年间种植结构的时空演变特征等。玉米是我国主要的粮食作物之一,玉米种植是主要的农业活动,自2015年农业部发布了“关于‘镰刀弯’地区玉米结构调整的指导意见”后,部分学者开始观察各个地区玉米种植结构的变化,如对内蒙古地区玉米结构调整^[7]等。近几年,在作物种植的影响因素方面,认为作物种植结构的演化是其自然条件与外部影响因素相互作用、交互影响的结果^[8],外部影响因素包括化肥使用、机械化水平、灌溉条件^[9]、生产资料的投入^[10]以及“临时收储制度”^[11-12]政策等。国外有关粮食作物时空变化方面研究较少,作物种植影响因素的研究多为大尺度,影响因素种类多为自然条件,如Lobell等^[13]研究了自1980年以来全球变化对农作物产量的影响;Wallach等^[14]使用3种独立的方法探究全球小麦产量对温度变化的影响;Pessarakli等^[15]讨论了土

壤中的盐对农作物种植生长的胁迫影响;Ndamani等^[6]探究了1980—2012年Lawra地区降水量变化与农作物生产的关系等,这些因素对不同地区作物种植存在着差异性的影响。

【本研究切入点】综合来看,国内有关“镰刀弯”地区粮食种植结构调整的相关研究主要集中在全国或者东北等片区,对西南“镰刀弯”地区的相关研究较少。西南石漠化地区是我国石漠化地区玉米种植结构调整的重要区域之一,也曾是国家公布的全国集中连片特困区之一。该区位于横断山脉以东、大瑶山以西,以云贵高原为主体,包括广西、云南、贵州等省(区),地形复杂,山地、丘陵、盆地交错分布,80%以上土地为丘陵山地和高原,石漠化生态环境脆弱,土层浅薄,是玉米种植的非优势区之一。本区主要制约因素是土地细碎、人地矛盾紧张、石漠化、水土流失、季节性干旱等问题突出,坡耕地比例大,不利于机械作业。根据《“镰刀弯”地区玉米结构调整规划》,西南石漠化地区共涉及云南、贵州、广西三省(区)218个县市区,总人口9 137.5万人,占三省人口总量的68.4%;粮食产量近2 971.1万t,占三省粮食总产量的69.2%;农村居民人均可支配收入只有11 989.6元,远低于全国14 617元的平均水平。依据农业部印发的《全国种植业结构调整规划(2016—2020年)》通知,西南地区应实施“稳粮扩经、扩大面积、优化结构”的措施,适当调减石漠化地区玉米面积,改种耐旱耐瘠薄的薯类、杂粮杂豆,以满足市场需求,保护生态环境。滇桂黔三省(区)政府高度重视种植结构调整,贵州省政府专门出台了调减玉米种植三年行动方案(2018—2020年)。【拟解决的关键问题】在国家玉米结构调增政策引导下,西南石漠化地区粮食作物种植结构发生了哪些变化?玉米调减的效果如何?哪些因素制约着粮食作物种植结构的变化还不得而知。鉴于此,文章研究西南石漠化地区粮食作物的时空变化及影响因素,分析存在的差异及原因,以期研究区粮食种植调整等有关政策提供理论依据。

1 研究方法数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 农作物种植结构类型

根据各种作物种植面积占农作物总播种面积的百分比组合确定农作物种植结构类型,具体划分方法:种植比例 $\geq 30\%$ 的作为主要作物,种植比例为 $15\% \sim < 30\%$ 的作为辅助作物,种植比例为 $< 15\%$ 的不计入作物种植类型。辅助作物类型的计数方法:包含2种及以上主要作物时,只计1种辅助作物;包含1种主要作物时,计2种辅助作物;不包含主要作物时,计3种辅助作物。作物类型组合时考虑种植面积比例的大小。在命名时,用“-”作为主要作物和辅助作物之间的连接,例如,某县的玉米种植比为玉米30%,稻谷15%,则该县农作物种植类型划分为玉米-稻谷型,若没有辅助作物,则命名为“主要作物名称”型。根据以上方法确定各个县市区在各个年份的农作物种植结构类型^[17]。

1.1.2 空间自相关

空间自相关是指地理对象的某一属性值在相邻空间位置处取值之间的关系,是对该属性空间聚集或分散程度的度量^[18]。*Moran's I*指数在评价地理要素空间自相关特征方面应用广泛^[19-20],该指数既能给出总体自相关性评价,同时能对自相关类型做进一步的区域可视化。基于空间自相关理论,采用*Moran's I*指数对玉米、稻谷、薯类种植比例均值的空间分布特征进行评价,全局*Moran's I*指数计算公式如下:

$$I = \frac{N \sum_i \sum_k W_{ik} (X_i - \bar{X})(X_k - \bar{X})}{(\sum_i \sum_k W_{ik}) \sum_i (X_i - \bar{X})^2} \quad (1)$$

$$Z = \frac{1 - E(I)}{\sqrt{\text{var}(I)}} \quad (2)$$

式(1)、(2)中:*Moran's I*指数的取值范围是 $[-1, 1]$,含义如下:值大于0表示正相关,种植比例在空间上有聚集的趋势;值小于0表示负相关,种植比例在空间上有分散的趋势。局部*Moran's I*指数计算公式如下:

$$I_i = \frac{N(X_i - \bar{X})}{\sum_k [W_{ik}(X_k - \bar{X})^2]} \sum_k [W_{ik}(X_k - \bar{X})] \quad (3)$$

式(3)中: I_i 是局部Moran's I指数。将局部Moran's I指数结合LISA(local indicators of spatial autocorrelation)集聚图进行空间可视化,可将局部空间自相关类型划分为5种类型^[21]:高-高型(high-high, HH)、低-低型(low-low, LL)、高-低型(high-low, HL)、低高型(low-high, LH)以及非显著型(not significant, NN)。

1.1.3 空间误差回归模型(SEM)

对比空间滞后模型(SLM)和空间误差模型(SEM)估计结果的基础上选取拟合程度更高的SEM^[22]做西南石漠化地区粮食、稻谷、玉米、薯类的播种面积、气温、降水、高程、总人口、农村居民可支配收入、城镇居民可支配收入、农林牧渔产值、第一产业增加值、第二产业增加值、亩均成本、亩均利润各要素的空间回归分析。空间误差模型(SEM)的表达式为:

$$y = X\beta + \lambda W_u + \varepsilon = X\beta + (1 - \lambda W)^{-1} \varepsilon \quad (4)$$

式(4)中: y 为被解释变量, X 为 $n \times k$ 的外生解释变量设计阵, β 为 $k \times 1$ 回归系数向量入为空间自回归系数, W 为 $n \times n$ 阶的空间权重矩阵,常采用邻接矩阵 u 为误差向量, z 为随机误差向量。

1.1.4 粮食作物种植结构类型年际变化趋势

采用丰富度指数探究粮食作物种植结构类型年际变化趋势,其含义表示的是某一年份的种植结构类型数量与研究时段内全部出现的类型比例^[23],公式表示如下:

$$R_t = \frac{m_t}{m_{\max}} \quad (5)$$

式(5)中: R_t 表示的是某一年种植结构类型的比例,其值域为(0, 1],值越大则种植结构类型越丰富; m_t 是某一年种植结构类型的种类数量; $m_{\max}$ 是研究时段内所有种植结构组合类型的种类数量。

1.2 数据来源

粮食种植数据主要来源于历年《云南省统计年鉴》以及广西、贵州地市级统计年鉴,如《毕节市统计年鉴》《黔西南州统计年鉴》《桂林统计年鉴》等,部分数据来自于地方统计局官网和统计公报,数据内容包括2015—2020年西南石漠化地区142个县市区的粮食、玉米、稻谷、薯类播种面积和选取的总人口、第一产业增加值、第二产业增加值、农村居民可支配收入、城镇居民可支配收入、农林牧渔产值等集中影响因素指标数据。气温、降水量和高程数据则收集自各省份的气象局官网。稻谷、玉米总成本与利润数据来自《全国农产品成本收益资料汇编2016》《全国农产品成本收益资料汇编2021》。西南石漠化区共有218个县市区,鉴于数据的可得性,研究区仅包括142个县市区(图1)。



底图来自国家基础地理信息中心,审图号:GS(2020)4619号,边界无修改。

The basemap is from the National Basic Geographic Information Center, Review number: GS(2020)4619, the boundary is not modified.

图1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

2 结果分析

2.1 粮食作物面积时空分布特征

2.1.1 时序变化

2015—2020 年西南石漠化地区粮食作物播种面积变化如图 2 所示,研究时段内西南石漠化地区粮食播种面积呈波动性上升趋势,从 2015 年的 620.2 万 hm^2 增长至 2020 年的 727.9 万 hm^2 ,增加了 17.38%,2018 年播种面积最小仅为 556.3 万 hm^2 。西南石漠化地区主要粮食作物为玉米,面积占比为 30.22%~22.91%,其次是稻谷、薯类,比例分别为 26.4%~20.48% 与 14.6%~18.13%。其中,玉米的播种面积呈增加—降低—平稳的变化趋势,而稻谷和薯类均为增加—降低—增加的变化趋势。3 种粮食作物在 2015 年和 2020 年的播种面积变化中,玉米减少了 2.6%,稻谷增加了 8%,而薯类增加了 26.2%,其中薯类增幅最明显。

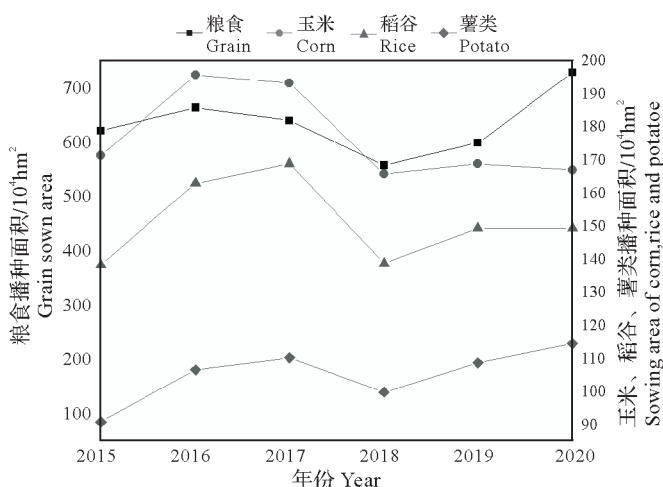


图2 2015—2020年西南石漠化地区粮食作物播种面积变化

Fig.2 Variations in sown area of grain crops in rocky desertification areas of Southwest China from 2015 to 2020

图3对比了广西、云南省和贵州省石漠化地区 2015—2020 年粮食作物播种面积变化趋势。各年份的粮食播种面积由大到小依次为广西、云南省和贵州省。2015 至 2020 年,云南省石漠化地区粮食播种面积增加了约 38 万 hm^2 ,贵州省石漠化地区粮食播种面积增加了约 6.9 万 hm^2 ,而广西石漠化区粮食播种面积增加了约 65.6 万 hm^2 。由于广西地势较为低平,多以种植经济效益更高的稻谷为主,作为西南石漠化区的玉米调减区,2018 年玉米播种面积较上一年减少了 27.5%。而贵州省和云南省的石漠化地区地势较高、土壤相对贫瘠,均以玉米种植为主。其中,贵州省石漠化地区 2018 年玉米播种面积调减最明显,较上一年减少了 48.6%。相比之下,云南省石漠化地区玉米播种面积不仅未减反增,2020 年云南省石漠化地区玉米播种面积高达 102 万 hm^2 。

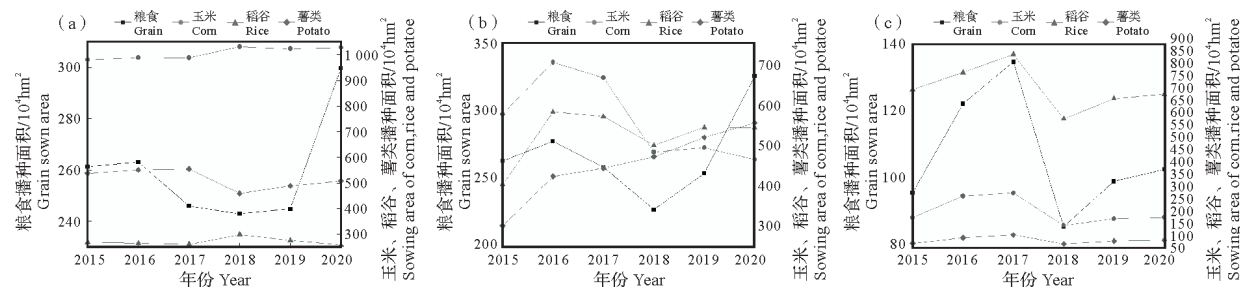


图3 2015—2020年云南(a)、贵州(b)、广西(c)石漠化地区粮食作物播种面积变化

Fig.3 The variations of sown area of grain crops in rocky desertification areas of Yunnan (a), Guizhou (b) and Guangxi (c) from 2015 to 2020

2.1.2 空间格局

运用空间自相关方法,借助 ArcGIS 绘制西南石漠化地区主要粮食作物比例空间集聚特征图(图4)。通过研究发现区域稻谷、玉米、薯类种植比例的 Moran's I 指数分别为 0.587、0.417、0.441,表明这 3 种粮食作物在空间上存在一定的集聚特征,即存在空间自相关关系。稻谷、玉米、薯类种植比例空间自相关关系具体如图 4 所示,图中显示稻谷的种植比例在广西石漠化区大部、贵州黔南州、镇远县、施秉县地区呈现“高-高”集聚分布特征,而在贵州省石漠化地区和云南省石漠化地区的其他地区则呈现“低-低”或不显著特征。玉米种植比例在云南石漠化地区西南部和东部、贵州六盘水市、广西巴马自治州地区呈现“高-高”分布特征,而在广西石漠化地区大部 and 贵州石漠化地区中东部呈现“低-低”或不显著分布。薯

类种植比例在云南石漠化地区东北部和贵州石漠化地区西北部呈现“高-高”集聚特征,在贵州石漠化区大部 and 云南西南石漠化地区呈现“低-低”分布特征,其余地区集聚特征不显著。因此,玉米和薯类在云南省石漠化地区存在“H-H”集聚区,玉米和稻谷在广西石漠化地区存在“H-H”集聚区。而在贵州省石漠化的不同地区,3种粮食作物分别有相应的“H-H”集聚区。

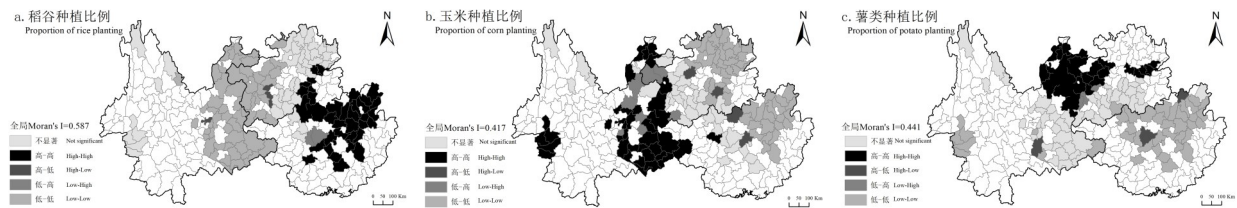


图4 2015—2020年西南石漠化地区稻谷、玉米、薯类种植比例空间自相关

Fig.4 Spatial autocorrelation of maize, corn and potato planting proportion from 2015 to 2020

2.2 粮食作物种植结构类型时空演变

2.2.1 种植结构类型的年际变化

2015—2020年,西南石漠化地区共出现了54种粮食作物种植结构类型,主要包括稻谷型、稻谷-玉米型、玉米-稻谷型、稻谷玉米型、玉米薯类型、玉米-豆类型等。西南石漠化地区2015—2020年粮食种植结构类型的丰富度呈波动性增加趋势,2015年丰富度最低为0.481,2016年最高为0.667,截止到2020年为0.611,出现了更多的粮食种植类型(图5)。不同粮食作物种植结构类型县市区数目占比如图6所示,玉米型及以玉米为主要作物的组合型的种植结构类型的县市区数目占比不断下滑,由2015年的63.89%降至2020年的49.41%。稻谷型及以稻谷为主要作物的组合型的种植结构类型的县市区数目占比呈波动性上升趋势,由2015年的45.14%上升至2020年的51.18%,2018年占比最高为52.69%。薯类型及以薯类为主要作物的组合型的种植结构类型的县市区数目占比呈波动下降趋势,由2015年的18.75%降至2020年的15.29%,2018年占比最低为13.17%。其中,2018年之前稻谷型及稻谷为主要作物的组合型县市区数目占比呈增加趋势,相比之下玉米型及玉米为主要作物的组合型县市区数目占比则呈不断下降趋势,前者县市区数目占比大于后者,二者在2018年出现交叉后,后者县市区数目占比开始大于前者县市区数目占比。这表明,西南石漠化地区粮食种植结构类型的多样性在逐年增加,而以玉米为主要作物的组合型的县市区数目占比不断下降,稻谷为主要作物的组合型的县市区数目占比呈波动上升趋势,薯类为主要作物的组合型的县市区数目占比呈波动下降趋势。

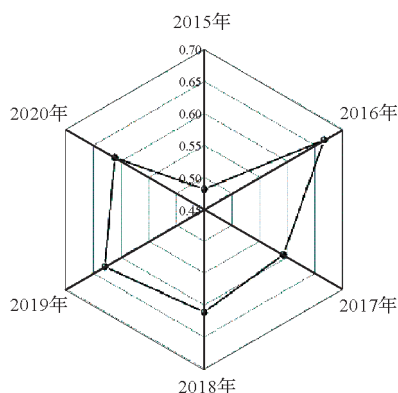


图5 2015—2020年西南石漠化区种植结构类型丰富度

Fig.5 Richness of planting structure types in rocky desertification area of southwest China from 2015 to 2020

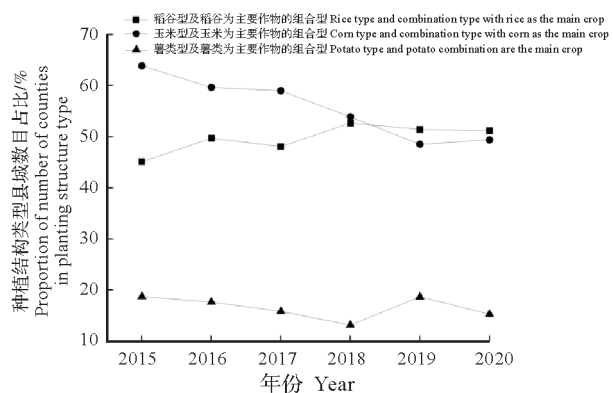


图6 2015—2020年西南石漠化地区种植结构类型县市区数目占比

Fig.6 The proportion of counties and cities with planting structure types in the rocky desertification area of Southwest China from 2015 to 2020

2.2.2 种植结构类型的空间格局

为了直观展示主要粮食作物种植结构类型的时空变化趋势,提取主要粮食作物类型(种植比例 $\geq 30\%$ 的作物及其组合),得到2015年与2020年西南石漠化地区的主要粮食作物种植结构类型的空间分布图(图7),其中,玉米型的县市区数目从2015年的28个减少至2020年的23个,而稻谷型的县市区数目从2015年的28个增加至2020年的41个。2015年玉米型主要分布在云南大部分石漠化地区,零星分布在贵州省少数石漠化地区,广西石漠化地区没有单一的玉米型,2020年广西石漠化地区出现了单一的玉米型,云南省石漠化地区东南部的单一玉米型县域数目有所减少;2015年稻谷型主要分布在广西石漠化地区中部和东北部,2020年稻谷型主要分布在广西石漠化地区东北、中部以及贵州省石漠化地区东北部和南部即铜仁市与黔南黔东南自治州;薯类型的县市区数目没有发生变化,仍然分布在贵州省石漠化地区西部和云南石漠化地区东北部。总体来看,2020年稻谷、玉米及其组合的种植类型的县市区数目占61%,稻谷、玉米及其组合构成了西南石漠化地区主要粮食作物的种植结构类型。这些结果表明,西南石漠化地区主要粮食作物的种植结构类型在时空上呈现出一定的变化趋势,其中稻谷型的县市区数目增加,玉米型的县市区数目减少,薯类型的县域数目未发生变化。

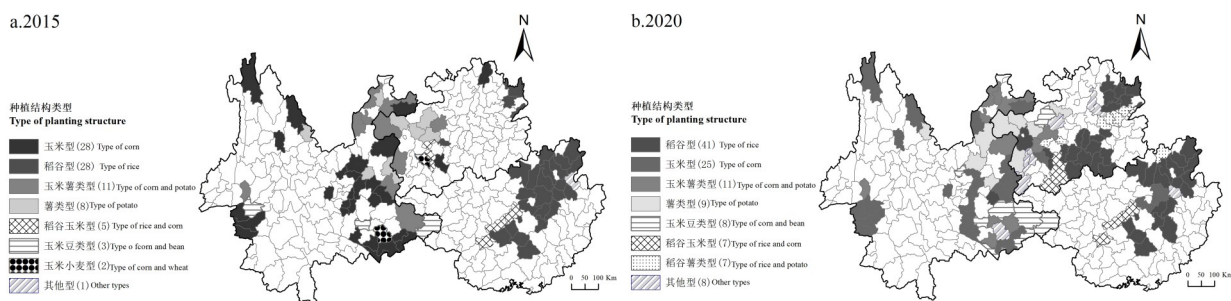


图7 2015年、2020年西南石漠化地区种植结构类型

Fig.7 The planting structure types of rocky desertification area in Southwest China in 2015 and 2020

2.3 粮食种植影响因素

粮食种植面积受人口、产业发展、自然条件、成本收益、国家政策及补贴等的影响,根据数据的可得性和完整性,参考已有研究成果^[3,8,24-26],在统计年鉴中选取气温(Y_1)、降水(Y_2)、高程(Y_3)、总人口(Y_4)、农村居民人均可支配收入(Y_5)、城镇居民人均可支配收入(Y_6)、农林牧渔产值(Y_7)、第一产业增加值(Y_8)、第二产业增加值(Y_9)分别与粮食(X_1)、稻谷(X_2)、玉米(X_3)、薯类(X_4)播种面积进行空间回归分析;根据《全国农产品成本收益资料汇编》中数据的可得性,只选取了稻谷和玉米的亩均总成本(Y_{10})与亩均利润(Y_{11})分别与稻谷和玉米的播种面积进行空间误差回归分析(表1)。具体分析结果如下:

(1)自然地理环境。西南石漠化地区地处亚热带,易受季风气候影响,降水丰富,地势起伏大且自然岩溶地区富含碳酸盐,为土壤石漠化提供了形成条件。2015年粮食播种面积与降水通过了1%概率水平下的显著性检验,回归系数为193.329,与气温、高程均不显著,降水作为石漠化地区作物主要水源,对粮食播种面积的增长起到促进作用;2020年与3个指标均不显著,可能与新冠疫情期间防疫政策对种植业间接干涉有关。从不同粮食作物看,2015年稻谷播种面积与高程、降水均通过了1%概率水平下的显著性检验,回归系数分别为-4.349、49.985;2020年稻谷播种面积与高程通过了1%概率水平下的显著性检验,回归系数为-5.88,其他指标不显著,西南石漠化地区山地居多,而稻谷多种植在地势平缓地区,高程一直呈现负向作用。玉米由于较强的适应能力、品种丰富、产量高等优点在西南山地广泛种植^[27],2015年玉米播种面积与气温、降水均通过了1%概率水平下的显著性检验,回归系数分别为915.552、38.552,与高程不显著;2020年玉米播种面积与3个指标均不显著。2015年、2020年薯类播种面积与高程均通过了显著性检验,回归系数分别为3.206、5.093,均为正数,表明薯类适宜在多山的西南石漠化地区播种。

(2)总人口。西南石漠化地区因地形等原因,传统农业根深蒂固^[28],人口仍然是农业发展主要动力。截止2020年,西南石漠化地区总人口由2015年的7 341万人缓慢增长至7 395万人。依据表2,

2015、2020年总人口均通过了1%概率水平下的显著性检验,2015年粮食、玉米、稻谷、薯类播种面积的回归系数依次为845.88、41.474、300.927、226.067,2020年依次为637.81、214.858、178.145、107.55,系数均为正数,与总人口呈高度正向相关作用,表明总人口增长导致粮食需求的增加,有效提高粮食播种面积扩大,较2015年相比,2020年粮食与稻谷的回归系数减小,总人口作用强度削弱,相反总人口对玉米与稻谷影响增强。

表1 西南石漠化县市区粮食种植影响因素的SEM模型估计结果
Tab.1 SEM model estimation results of influencing factors of grain planting in rocky desertification county in Southwest China

类别	Year	年份	Year	2015	2020	2015	2020	2015	2020	2015	2020
指标 Indicators	类型	粮食播种面积(X_1)		稻谷播种面积(Y_2)		玉米播种面积(Y_3)		薯类播种面积(Y_4)			
	Catogary	Sown area for grain		Paddy sown area		Corn sown area		Potato sowing area			
	模型变量	回归系数		回归系数		回归系数		回归系数		回归系数	
	Model variables	Regression coefficient		Regression coefficient		Regression coefficient		Regression coefficient		Regression coefficient	
自然地理环境 Physical geography	气温(Y_1)	240.67	-101.2	-159.01	18.501	915.552***	382.56	-2.07	20.052		
	降水(Y_2)	193.329***	6.557	49.985***	1.744	38.522***	-2.396	-5.432	-27.52		
	高程(Y_3)	8.32	9.827	-4.349***	-5.88***	-2.269	2.1	3.206**	5.093***		
总人口 Population	总人口(Y_4)	845.88***	673.81***	41.474***	214.858***	300.927***	178.145***	226.067***	107.55***		
居民可支配收入 Disposable income of residents	农村居民人均可支配收入(Y_5)	-1.211	1.73	0.399	0.676**	-0.375	0.182	-0.27	0.924		
	城镇居民人均可支配收入(Y_6)	-0.871	-0.619	0.116	-0.599***	-0.268	0.039	-0.137	-0.554***		
	第一产业增加值(Y_7)	-0.036	0.06*	0.051***	0.001	-0.018**	0.04***	-0.027***	-0.009		
产业发展 Industrial development	第二产业增加值(Y_8)	-0.018**	-0.036***	0.001	0.004*	-0.003	-0.009***	-0.004**	-0.005*		
	农林牧渔产值(Y_9)	0.041**	0.01	-0.017***	-0.003	0.013***	-0.004	0.018***	0.018***		
成本收益 Cost benefits	成本(Y_{10})			-1.505	10.512	-20.526***	-13.271*				
	利润(Y_{11})			12.724	62.831	-205.26***	92.908**				
	空间自回归系数	0.051	0.254**	0.483***	0.75***	0.156	0.484***	0.654***	0.645***		
	似然比	90.943	32.649	94.109	168.137	442.169	402.339	235.2	384.49		
	拟合系数	0.505	0.422	0.791	0.758	0.749	0.674	0.786	0.718		

***、**、*分别表示在1%、5%、10%的概率水平下显著。

***、**、*significant at 1%, 5%, and 10% level.

(3)居民可支配收入。2015年、2020年粮食播种面积与农村、城镇居民人均可支配收入均不显著。2015年稻谷播种面积与农村、城镇居民人均可支配收入均不显著;2020年与农村、城镇居民人均可支配收入均通过显著性检验,回归系数分别为0.676、-0.599,前者表现出正相关关系、后者为负相关关系,农村居民可支配收入的增加使农民更有能力承担租赁或者购买土地的费用,提供更多用于农业生产的资金等,以此扩大西南石漠化地区粮食作物播种面积;城镇居民可支配收入呈较低的负相关,城镇居民人均可支配收入的增加伴随居民膳食营养升级和消费结构变化导致人均粮食消费量下降,部分农户在 market 需求的刺激下转向经济效益更高的瓜果、林下产品等种植^[29]。另一方面,城镇化居民可支配收入的增加会吸引农村的劳动力流向城镇来寻找更好地就业条件和生活条件等,许多地区抛耕、弃耕等现象普遍存在^[30]。2015年、2020年玉米播种面积与农村、城镇居民人均可支配收入均不显著。2015年薯类播种面

积与农村、城镇居民人均可支配收入均不显著;2020年薯类播种面积与城镇居民人均可支配收入显著情况下,回归系数为-0.554,与农村居民人均可支配收入不显著。

(4)产业发展。空间误差回归模型结果显示(表1),2015年粮食播种面积与第二产业增加值、农林牧渔产值在显著的情况下,回归系数分别为-0.018、0.041;2020年第一产业增加值转变为显著,第二产业增加值仍保持负相关。2015年稻谷播种面积分别与第一产业增加值、农林牧渔产值显著,回归系数分别为0.051、-0.01;2020年稻谷播种面积与第二产业增加值转变为显著,回归系数为0.004,呈现较低的正相关。2015年玉米播种面积与第一产业增加值、农林牧渔产值显著,回归系数分别为-0.018、0.013;2020年玉米播种面积与第一产业增加值、第二产业增加值显著,前者系数转为正数,后者便显出较低的负相关。2015年薯类播种面积与第一产业增加值、第二产业增加值、农林牧渔产业显著,回归系数分别为-0.027、-0.004、0.018;2020年薯类播种面积分别与第二产业增加值、农林牧渔产值显著,回归系数分别为-0.005、0.018。总的来说,农业等同于第一产业,第一产业增加值与作物面积多为正相关;第二产业增加值与作物面积多为负相关,石漠化地区多为贫困连片区,第二产业发展吸引劳动力转移到城镇,加重农村人口老龄化,不利于农村种植业的发展;农林牧渔产值与作物面积多为正相关,其增加也会推动粮食作物播种面积的扩大。

(5)成本收益。成本收益影响农户种植行为^[31]。利用SEM模型对玉米播种面积与单位面积(667 m^2)成本、单位面积(667 m^2)利润进行相关性分析得到(表1),2015年、2020年稻谷播种面积与二者均不显著。2015年与2020年玉米单位面积总成本分别通过1%、10%概率水平下的显著性检验,回归系数分比为-20.526、-205.26,表示玉米单位面积成本的增加会削弱农户种植的积极性,2015到2020年影响作用减弱;2015年与2020年玉米的单位面积利润分别通过了1%、5%概率水平下的显著性检验,回归系数分别为-13.271、92.908。表明利润的增加会促进农户对玉米种植面积的扩大。2015年受国家玉米调减政策的影响,虽然玉米种植仍具有一定利润,但很多农户改种其他对石漠化影响相对小的作物。2020年随着国家玉米库存清零,玉米价格有所回升,加之玉米种植简单耐旱、单产高于其他粮食作物,即使不能销售也可以用于牲畜养殖,很多农户在家庭总收益的统筹考虑下开始重新种植玉米。

另外,西南石漠化地区粮食作物时空变化也受到政府补贴政策的影响。如为促进西南石漠化地区种植结构调整,推广粮改饲,粮豆轮作,对玉米改种大豆的农户补贴100~150元(667 m^2)。对改种杂粮的农户补贴30~230元(667 m^2),进一步激发了农户改种其他经济作物的积极性。

3 结 论

基于西南石漠化地区2015—2020年的统计年鉴县域尺度的数据,分析了西南石漠化区的粮食的时空变化以及影响因素,主要结论如下:

(1)2015—2020年,西南石漠化地区粮食播种面积变化呈波动增长,3种主要的粮食作物类型玉米、稻谷、薯类播种面积呈现不同的变化趋势,玉米呈增加—降低—平稳的变化趋势,玉米播种面积整体下降,稻谷与薯类均呈增加—降低—增加的变化趋势。三省区石漠化地区粮食播种面积均增加,各年份的粮食播种面积由大到依次为广西、云南省和贵州省。根据空间自相关分析3种主要粮食作物平均种植比例空间格局,玉米、稻谷、薯类均存在一定的空间相关关系,其中云南省石漠化地区玉米、薯类显著“高—高”聚集,3种粮食作物在贵州省石漠化地区不同地区分别有相应集聚区,广西石漠化地区“高—高”集聚区的粮食作物为玉米与稻谷。2015—2020年,西南石漠化地区的玉米种植范围逐年缩小,稻谷的种植范围扩大,玉米种植结构性逐渐明显,向单产高—高集聚地区靠拢,“‘镰刀弯’玉米调减政策”的实施效果明显,其中,在贵州和广西,玉米调减政策效果明显,但云南省调减面积有所反弹。

(2)2015—2020年西南石漠化地区的丰富度指数波动增加,粮食种植类型多元化。其中薯类型以及以薯类为主要作物的种植类型的县市区数目占比呈波动性下降趋势,稻谷型及稻谷为主要作物种植类型、玉米型及玉米为主要作物的县市区数目占比呈相反的变化趋势,前者呈下降—上升趋势,后者呈上升—下降趋势。2015年与2020年西南石漠化地区玉米型主要分布在云南省石漠化地区,且玉米

型所占的县市区数目减少;稻谷型主要分布在贵州省与广西石漠化地区,县市区数目明显增加且超过玉米型的县市区数目成为第一种植结构类型,薯类型所占县市区数目无明显变化。

(3)SEM空间回归分析表明,西南石漠化地区特殊的地形条件不适合稻谷种植,适应能力较强的玉米广泛播种,薯类较稻谷更适宜在西南山地播种;总人口对西南石漠化地区粮食、稻谷、玉米、薯类的种植面积的调控均有显著的正相关关系;农村居民可支配收入作物种植起到正向作用;产业发展整体对作物种植面积显示正向促进的趋势;成本收益方面,玉米的单位面积成本与播种面积呈负相关作用,单位面积利润的增加会扩大玉米的种植,西南石漠化区作为国家玉米调减区,作物种植面积更易受国家政策影响。

致谢:西南大学创新研究2035先导计划项目(SWUPilotPlan031)和西南大学青年团队转向资金资助项目(SWU-XJPY202307)同时对本研究给予了资助,西南大学地理科学学院禹朴家老师及同门对研究给予了帮助,谨致谢意!

参考文献 References:

- [1] 成升魁,李云云,刘晓洁,等.关于新时代我国粮食安全观的思考[J].自然资源学报,2018,33(6):911-926.
CHENG S K, LI Y Y, LIU X J, et al. Thoughts on food security in China in the new period[J]. Journal of natural resources, 2018, 33(6): 911-926.
- [2] 杨春霞,郑华,欧阳志云.2000—2015年三江平原粮食生产时空变化特征及驱动因素分析[J].水利水电技术,2020,51(6):21-29.
YANG C X, ZHENG H, OUYANG Z Y. Study on spatio-temporal variation characteristics and driving factors of grain production in Sanjiang Plain during 2000—2015[J]. Water resources and hydropower engineering, 2020, 51(6): 21-29.
- [3] 周立青,程叶青.黑龙江省粮食生产的时空格局及动因分析[J].自然资源学报,2015,30(3):491-501.
ZHOU L Q, CHENG Y Q. Spatio-temporal pattern and its driving factors of grain production in Heilongjiang Province[J]. Journal of natural resources, 2015, 30(3): 491-501.
- [4] 王凤,刘艳芳,孔雪松,等.中国县域粮食产量时空演变及影响因素变化[J].经济地理,2018,38(5):142-151.
WANG F, LIU Y F, KONG X S, et al. Spatial and temporal variation of grain production and its influencing factors at the county level in China[J]. Economic geography, 2018, 38(5): 142-151.
- [5] 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(5):163-170.
LIU D Q, LIU S W, WEN X. Spatial-temporal evolution of grain production structure in northeast China[J]. Economic geography, 2019, 39(5): 163-170.
- [6] 肖池伟,李鹏,封志明,等.1976—2013年老挝主要农作物种植结构时空演变特征分析[J].世界地理研究,2017,26(6):31-39.
XIAO C W, LI P, FENG Z M, et al. Spatio-temporal change of primary crops in Laos during 1976—2013[J]. World regional studies, 2017, 26(6): 31-39.
- [7] 梁爽.镰刀弯地区农业供给侧改革的成果分析:以内蒙古玉米结构调整成果为例[J].经济研究导刊,2020(34):17-18.
LIANG S. Analysis on the results of agricultural supply-side reform in sickle bend area: a case study of corn structure adjustment in Inner Mongolia[J]. Economic research guide, 2020(34): 17-18.
- [8] 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(2):156-166.
AN Y, TAN X L, TAN J Y, et al. Evolution of crop planting structure in traditional agricultural areas and its influence factors: a case study in Hunan Province[J]. Economic geography, 2021, 41(2): 156-166.
- [9] 王静,方锋,王莺.中国西南和华南粮食作物播种面积时序变化特征及其影响因素分析[J].生态环境学报,2021,30(10):2010-2025.
WANG J, FANG F, WANG Y. Temporal variation characteristics and influencing factors of sown area variation of grain crops in southwest and south China[J]. Ecology and environmental sciences, 2021, 30(10): 2010-2025.

- [10] 邹军,朱颖璇,杨雨豪,等.1981—2015年华北地区种植结构演变及其驱动机制分析[J].中国农业大学学报,2019,24(12):23-32.
- ZOU J, ZHU Y X, YANG Y H, et al. Analysis of planting structure evolution and its driving mechanism in north China from 1981 to 2015[J]. Journal of China agricultural university, 2019, 24(12): 23-32.
- [11] 李明,甄善继,高祺,等.黑龙江省作物种植结构演变特点与调整对策研究[J].中国农业资源与区划,2018,39(5):46-53.
- LI M, ZHEN S J, GAO Q, et al. Research on the evolution characteristics of crop planting structure and adjustment counter-measures in Heilongjiang Province[J]. Chinese journal of agricultural resources and regional planning, 2018, 39(5): 46-53.
- [12] 丁永潮,施海波,吕开宇.玉米收储制度改革的农户政策响应研究:基于规模异质性的视角[J].干旱区资源与环境,2022,36(3):22-27.
- DING Y C, SHI H B, LYU K Y. Policy response of farmers to the reform of corn purchase and storage system: based on the perspective of scale heterogeneity[J]. Journal of arid land resources and environment, 2022, 36(3): 22-27.
- [13] LOBELL D B, FIELD C B. Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming[J]. Environmental eesearch letters, 2007, 2(1): 014002.
- [14] WALLACH D, ROSENZWEIG C, LIU B, et al. Similar estimates of temperature impacts on global wheat yield by three independent methods[J]. Nature climate change, 2016, 6(12): 1130-1136.
- [15] PESSARAKLI M, SZABOLCS I. Soil salinity and sodicity as particular plant/crop stress factors[J]. Handbook of plant and crop stress, 1999, 1: 1-16.
- [16] NDAMANI F, WATANABE T. Influences of rainfall on crop production and suggestions for adaptation[J]. International journal of agricultural sciences, 2015, 5(1): 367-374.
- [17] 任频频,李保国,黄峰.农作物种植结构演变下的黄淮海旱作区小麦玉米生产时空格局[J].资源科学,2022,44(3):436-449.
- REN P P, LI B G, HUANG F. Spatiotemporal patterns of wheat and maize production under the evolution of crop planting structures in the Huang-Huai-Hai dry farmland, China[J]. Resources science, 2022, 44(3): 436-449.
- [18] 任频频,黄峰,李保国.黄淮海平原旱作农田土壤有机质含量的空间分异特征[J].土壤学报,2022,59(2):440-450.
- REN P P, HUANG F, LI B G. Spatial differentiation characteristics of soil organic matter in dry farmland in the Huang-Huai-Hai plain[J]. Acta pedologica Sinica, 2022, 59(2): 440-450.
- [19] 张佰发,苗长虹.黄河流域:土地利用时空格局演变及驱动力[J].资源科学,2020,42(3):460-473.
- ZHANG B F, MIAO C H. Spatiotemporal changes and driving forces of land use in the Yellow River Basin[J]. Resources science, 2020, 42(3): 460-473.
- [20] 高建岗,黄锐.基于耕地质量指数和空间自相关的苏南地区耕地保护分区[J].水土保持研究,2019,26(3):213-218.
- GAO J G, HUANG R. Protection zoning of cultivated land based on cultivated land quality index and spatial autocorrelation on Southern Area of Jiangsu Province[J]. Research of soil and water conservation, 2019, 26(3): 213-218.
- [21] 张晗,赵小敏,欧阳真程,等.基于空间自相关的耕地质量空间差异特征及耕地保护分区:以江西省上高县为例[J].水土保持研究,2018,25(1):304-312.
- ZHANG H, ZHAO X M, OUYANG Z C, et al. Spatial disparity features and protection zoning of cultivated land quality based on spatial autocorrelation: a case of Shanggao County, Jiangxi Province[J]. Research of soil and water conservation, 2018, 25(1): 304-312.
- [22] 胡慧芝,王建力,王勇,等.1990—2015年长江流域县域粮食生产与粮食安全时空格局演变及影响因素分析[J].长江流域资源与环境,2019,28(2):359-367.
- HU H Z, WANG J L, WANG Y, et al. Spatial and temporal patterns of food production and food security in counties and urban areas of the Yangtze River Basin from 1990 to 2015 and their influencing factors[J]. Resources and environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(2): 359-367.

- [23] 刘珍环,杨鹏,吴文斌,等.近30年中国农作物种植结构时空变化分析[J].地理学报,2016,71(5):840-851.
LIU Z H, YANG P, WU W B, et al. Spatial-temporal pattern and influencing factors of grain production and food security at county level in the Yangtze River Basin from 1990 to 2015[J]. Acta geographica Sinica, 2016, 71(5): 840-851.
- [24] 王洋,王新江.吉林省种植结构演变的驱动机制研究[J].农业系统科学与综合研究,2005(1):33-36.
WANG Y, WANG X J. Study on driving mechanism of cultivating structural evolutionary in Jilin Province[J]. System sciences and comprehensive studies in agriculture, 2005(1): 33-36.
- [25] 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(5):3-10.
CHENG Y Q, ZHANG P Y. Regional patterns changes of Chinese grain production and response of commodity grain base in northeast China [J]. Scientia geographica Sinica, 2005(5): 3-10.
- [26] 王德臣.浅谈如何做好玉米种植管理[J].农业与技术,2016,36(10):82.
WANG D C. Talking about how to do a good job in maize planting management [J]. Agriculture and technology, 2016, 36(10): 82.
- [27] 白家和.西南地区山地农业现代化发展水平评价及影响因素研究[D].贵阳:贵州财经大学,2022.
BAI J H. Study on the evaluation of the development level of mountain agriculture modernization in southwest China and its influencing factors [D]. Guiyang: Guizhou University of Finance and Economics, 2022.
- [28] 韩昭庆.清中叶至民国玉米种植与贵州石漠化变迁的关系[J].复旦学报(社会科学版),2015,57(4):91-99.
HAN Z Q. On the relationship between maize cultivation and the development of rocky desertification in Guizhou from the mid-Qing to the Republic (1736—1949) [J]. Fudan journal (social sciences edition), 2015, 57(4): 91-99.
- [29] 雷金银,吴霞,王长军,等.1980—2015年宁夏农作物种植结构时空变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2017,31(12):172-178.
LEI J Y, WU X, WANG C J, et al. Spatio-temporal changes of crop patterns in Ningxia during 1980—2015 [J]. Journal of arid land resources and environment, 2017, 31(12): 172-178.
- [30] 牛凯.中国农村三大产业均衡发展战略[J].中国农业科技导报,2012,14(1):7-17.
NIU K. Strategy for balanced development of three major industries in China's rural areas [J]. Journal of agricultural science and technology, 2012, 14(1): 7-17.
- [31] 程国强.我国粮价政策改革的逻辑与思路[J].农业经济问题,2016,37(2):4-9.
CHENG G Q. Logic and thinking of grain price policy reform in China [J]. Issues in agricultural economy, 2016, 37(2): 4-9.