



洪秋辰, 李千梦, 冯晓文, 戴瑶, 郝晋珉, 艾东. 高质量发展背景下高原山区特色农业多功能演变与优化分区——以云南省为例[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(07): 193-208.

HONG Qiuchen, LI Qianmeng, FENG Xiaowen, DAI Yao, HAO Jinmin, AI Dong. Multifunctional evolution and optimization zoning of characteristic agriculture in plateau and mountainous areas under the background of high-quality development: A case study of Yunnan Province[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(07): 193-208.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.07.18

高质量发展背景下高原山区特色农业多功能演变与优化分区 ——以云南省为例

洪秋辰 李千梦 冯晓文 戴瑶 郝晋珉 艾东*

(中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193)

摘要 高质量发展背景下, 深入探究特色农业多功能特征及其权衡协同关系, 是促进高原山区乡村振兴, 实现共同富裕的关键。以云南省129个县(市)区为研究单元, 从农产品生产、生态调节、经济振兴、社会保障4个功能维度构建高原特色农业功能评价指标体系, 利用Spearman法、双变量局域空间自相关等方法测度2010—2020年云南高原特色农业多功能水平及权衡与协同关系, 并运用K-means聚类法划分高原特色农业多功能分区, 提出相应的优化发展路径。结果表明: 1) 高原特色农业多功能是“全球—国家”层次多功能在小尺度区域实际情况的具体反映。各功能在时空格局上存在差异, 生产功能先增强后趋于不变, 生态、经济功能稳定增强, 社会功能小幅度波动。生产、社会功能水平由经济核心区向外递减; 生态功能强弱两极分化明显, “东北低, 西南高”; 经济功能显著提高, 总体呈“中心高, 四周低, 高值区散落分布”的空间格局。2) 2010—2020年各功能间权衡区数量减少, 各功能区由散落分布逐渐形成集群分布。生产与生态功能逐渐向协同发展转变; 生产与经济功能权衡协同关系稳定; 经济分别与生态和社会功能间以权衡关系为主; 社会功能与生产、生态功能权衡协同关系逐渐形成东部L-L低位协同区和西部H-H协同区两个功能区集群; 3) 以县(市)区为单位, 将云南省划分为农业生产集中区、生态优化调节区、经济振兴先行区、城乡优化发展区4个特色农业多功能分区, 并提出相应的优化发展路径。本研究可为云南省特色农业发展以及其他地区的农业经济社会发展提供参考。

关键词 高原特色农业; 农业高质量发展; 农业多功能; 权衡与协同; 分区优化

中图分类号 F327

文章编号 1007-4333(2024)07-0193-16

文献标志码 A

Multifunctional evolution and optimization zoning of characteristic agriculture in plateau and mountainous areas under the background of high-quality development: A case study of Yunnan Province

HONG Qiuchen, LI Qianmeng, FENG Xiaowen, DAI Yao, HAO Jinmin, AI Dong*

(College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract In the context of high-quality development, in-depth exploration of the multifunctional characteristics of characteristic agriculture and its collaboration/trade-off relationship is the key to promoting the rural vitalization of rural areas in plateau and mountainous areas and achieving common prosperity. The

收稿日期: 2023-12-16

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAD06B01)

第一作者: 洪秋辰(ORCID: 0009-0000-6973-2582), 硕士研究生, E-mail: simonhong@cau.edu.cn

通讯作者: 艾东(ORCID: 0000-0002-1393-8335), 副教授, 主要从事农业发展与国土空间规划研究, E-mail: aidong@cau.edu.cn

study takes 129 counties (cities) and districts in Yunnan Province as research objects, establishes an evaluation index system for plateau characteristic agriculture functions from four functional dimensions: agricultural product production, ecological regulation, economic revitalization, and social security. The Spearman method, bivariate local spatial autocorrelation, and other methods are used to measure the multifunctional level, trade-off, and collaborative relationship of Yunnan plateau characteristic agriculture from 2010 to 2020. The K-means clustering method is used to divide the multifunctional zones of plateau characteristic agriculture. Corresponding optimized development paths are proposed. The main results are as follows: 1) The multifunctional agriculture with plateau characteristics is a specific reflection of the practical situation of multifunctional agriculture at the global national level in small-scale regions. There are differences in the spatial and temporal patterns of various functions, with production function initially increasing and then tending to remain unchanged, ecological and economic functions steadily increasing, and social function fluctuating slightly. The level of production and social function decreases outward from the economic core area; The polarization of ecological function is obvious, with “low in the northeast and high in the southwest”; The economic function has significantly improved, with an overall spatial pattern of “high in the center, low in the surrounding areas, and scattered distribution of high-value areas”. 2) From 2010 to 2020, the number of trade-off zones between various functions, and each functional zone gradually formed a cluster distribution from scattered distribution. Production and ecological functions are gradually shifting towards coordinated development; Collaboration and trade-off relationship between production and economic functions is stable; The balance between economy and ecological and social functions is mainly based on mutual constraints, with each other growing and decreasing; The collaboration and trade-off relationship between social functions, production, and ecological functions have gradually formed two functional area clusters: the low level L-L collaborative area in the east and the H-H collaborative area in the west; 3) Taking counties (cities) and districts as units, Yunnan Province is divided into four characteristic agricultural multifunctional zones: agricultural production concentration zone, ecological optimization and regulation zone, economic revitalization pilot zone, and urban-rural optimization and development zone, and corresponding optimization and development paths are proposed. This study provides reference for the development of characteristic agriculture in Yunnan Province and the economic and social development of agriculture in other regions.

Keywords plateau characteristic agriculture; high-quality development of agriculture; agricultural multifunction; collaboration and trade-off; partition optimization

特色农业是一个综合性概念,指立足于市场,根据区位、资源和技术特色,形成的高效农业模式^[1],依据其产业功能不同分为“高原特色农业”“生态农业”“都市农业”等^[2-3]。云南高原特色农业是具有高原地域差异,兼具生态、旅游等特色的复合型农业模式,主要分布于长江上游云贵高原大部及青藏高原南部^[4]。我国高原特色农业多功能特点鲜明,相比其他特色农业形式,其功能充分对应“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念,主要体现在促进贫困山区乡村振兴、供应高附加值农产品、保护生物栖息地、适应并调节多变气候、提高地区生态保育能力、促进高原地区农业可持续发展等方面^[5-7]。多功能性是高原特色农业的典型特征,并在高质量发展下逐渐发生演化,因此对高原特色农业

多功能演变开展研究,不仅云南省,同时对其他地区特色农业及区域经济社会发展均具有重要指导意义。

近几十年来高原特色农业将云南独特的气候、地理、物种优势正转变为产业竞争优势。转变过程中高原特色农业多功能作用显著,农产品生产功能为保障粮食安全、推动特色农业产业集群发展打下基础^[8];面对差异性自然环境制约,高原特色农业生态调节功能体现在固碳增汇、营造小气候、形成生物栖息地等方面^[9];由于地理及资源因素制约,云南许多地区经济发展高度依赖于农业生产,高原特色农业在支撑经济,推动乡村振兴战略及保障民生等方面至关重要^[10]。农业多功能的研究主要从生产、生态、经济等维度构建指标体系,对不同地区特色

农业多功能差异和发展水平等做出定量评价,分析农业多功能的影响因素和地域分异规律^[11-13]。近年来,王艳等开始研究农业多功能的相互关系和格局演变^[14]。权衡协同理论是研究多功能关系的重要依据,以往多运用于生态系统服务研究^[15],现将其扩展到都市农业多功能^[16]、耕地多功能^[17]、乡村地域多功能^[18]等地理学领域,且多采用秩相关系数分析^[17]、空间自相关分析^[19]、耦合协调度^[20]等定量研究方法开展评价研究。目前,高质量发展背景下的农业多功能研究很少涉及高原特色农业领域,缺乏多功能之间的互动关系和演变特征研究。因此,定量评价云南各区域高原特色农业功能水平,引入权衡协同理论探讨高原特色农业多功能间相互关系和演变趋势确有必要。

农业高质量发展是国家重点推进项目之一,其本质要求在于保产、高效、减量、增收^[21],对拓宽优化农业多功能水平有较高要求。对于特色农业而言,张永旺等提出农业高质量发展没有统一路径,需要因地制宜,特色化推进农业高质量发展^[22]。高原特色农业高质量发展表现为农业多功能在创新驱动下,由相互独立到权衡发展,最终实现区域高位协同发展的过程。综合研究云南高原特色农业多功能水平,结合功能间权衡协同关系,可以为云南农业高质量发展水平研究提供重要参考。基于此,本研究拟以农业高质量发展为背景,以云南省129个县级行政单位作为研究单元,构建高原特色农业多功能指标体系,定量评价2010—2020年云南高原特色农业多功能时空演变规律,以揭示云南高原特色农业多功能权衡与协同关系的演化规律,划分不同云南高原特色农业多功能分区,分别提出相应优化对策,为云南省特色农业发展以及其他地区的农业经济社会发展提供参考。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

选取我国高原特色农业核心区域云南省作为研究对象,以云南省129个县(市)区为基本研究单元。云南省位于中国西南地区,地处长江上游云贵高原,土地面积约39.41万km²,山地面积占国土面积约88.64%,地理因素导致了云南农业发展面临生态脆弱且环境制约;耕地资源少而散;气候差异显著;水资源时空分布不均,生产规模受地形地貌

因素限制,建设难度大。随着经济社会发展,云南高原特色农业创新发展,产业化水平显著提高,具有巨大发展潜力。针对云南高原特色农业的研究有助于充分发挥云南低纬高原、生物人文资源多样等优势,多样、特色、高端的农业,对云南省全面推进乡村振兴战略具有深远的意义^[23-24]。

1.2 研究方法

1.2.1 高质量发展背景下高原特色农业多功能内涵

农业是一个复杂的生产—生态—经济—社会的耦合系统,表现在农业具有全面的功能性,农业多功能评价本质上是将其功能性分解为可量化的功能指标^[12]。Wilson^[25]提出农业多功能性可以被视为空间复杂的嵌套结构,“全球—国家—地方”是其不同的表现层次,其演进规律详见图1。地方区域农业多功能是上位层次多功能特征在小尺度区域实际情况的具体反映,相对“全球—国家”层次更具体、客观。对于农业多功能的划分,因不同研究对象特点存在不同标准,如都市农业多功能衍生出文化传承功能;生态脆弱区农业衍生出生态涵养功能等^[26-27]。结合高原特色农业高质量发展中具有的独特含义,本研究将高原特色农业功能划分为农产品生产、生态调节、经济振兴、社会保障四大功能并开展多功能评价。

农产品生产功能是农业的基础功能,无论特色农业形式如何演化,其基本生产性质不会改变。高原特色农业生产是在国家保障粮食安全的要求下,依托于独特的自然资源禀赋,高效利用资源,打造优势“云牌”特色农产品,提高“粮食—经济—畜牧”产品种类、品质及其附加值的过程。

生态调节功能除了改善生态环境,保护生物多样性,还对多变气候具有调节作用。高原特色农业空间是生态系统有机组成部分,不仅从生产上造就了“生态环保,四季飘香”的高原农产品特点^[4],同时一定程度防止了负面因素对生态污染和威胁。

经济振兴功能代表农业维持经济市场稳定的作用,高原特色农业除此之外还肩负着增产创收、乡村建设、巩固脱贫攻坚的责任。云南大多数是农业县,各地区凭借各自优势发展“一县一业”,以形成县域主导产业支撑落后地区经济。

社会保障功能是指农业保障可持续生计、推动农业农村现代化发展的能力。高原特色农业社会

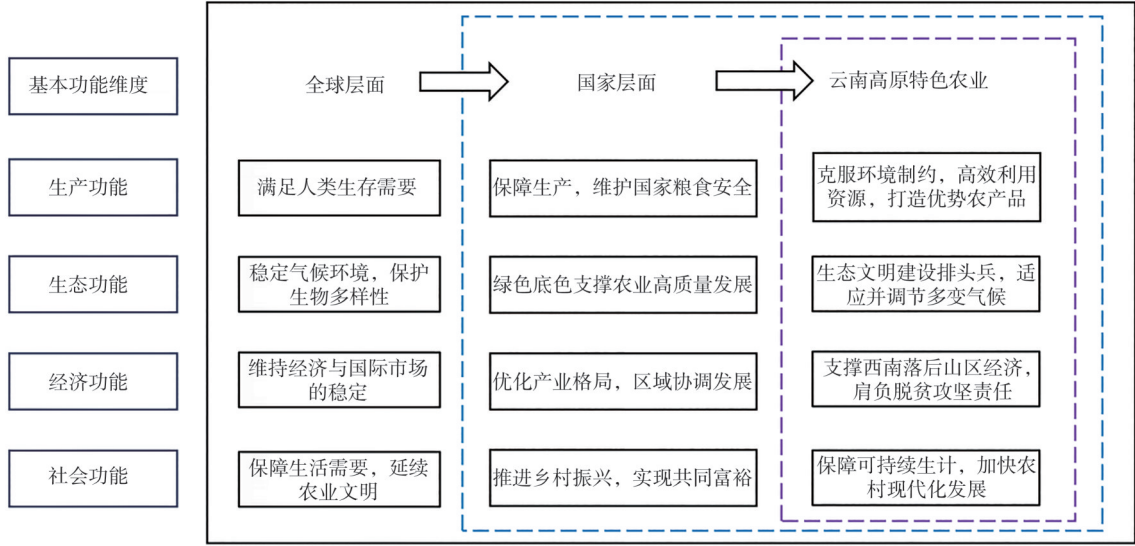


图1 不同层级农业多功能性演进规律

Fig. 1 Evolution law of agricultural multifunction at different levels

功能体现在农业文化、“一村一品”特色产业为农业人口提供充足就业机会,增加农民创收途径,是追求共同富裕目标的体现。

1.2.2 高原特色农业多功能评价指标体系的构建

为探讨高原特色农业多功能在地方层级的演变规律,选取16项指标定量反映功能水平(表1),首先采用极差标准化法对3年原始数据统一处理,后用熵值法^[28]对高原特色农业多功能评价体系计算权重。以农产品生产功能为例,对各指标进行标准化处理,后用熵值法计算各指标权重并计算各区县农产品生产功能得分,具体计算公式如下:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \quad (1)$$

$$X'_{ij} = \frac{X_{j\max} - X_{ij}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \quad (2)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^m S_{ij} = \sum_{j=1}^m w_j \times X'_{ij} \quad (3)$$

式中: X_{ij} 和 X'_{ij} 分别为第*i*区域第*j*个指标的原始数值和标准化值; $X_{j\min}$ 和 $X_{j\max}$ 分别为第*j*项指标的最小值与最大值; S_{ij} 为第*i*单元生产功能第*j*个指标得分; S_i 为第*i*区域农产品生产功能水平,农产品生产功能通过四项指标表示,故 $m=4$; w_j 为第*j*个指标的权重。其他功能评价方法相同。

本研究纳入人均粮食和畜牧业占有量、高附加值作物综合优势指数和垦殖系数4项指标来测度农产品生产功能,以综合反映云南高原特色农产品生

产结构与规模;选取林木覆盖率、NDVI均值、化肥施用强度、农药施用强度4项指标测度生态调节功能;选取人均设施农业种植面积、土地产出率、农村居民人均收入水平、经济作物生产水平4项指标表征经济振兴功能,测度多元化现代农业增产创收的实际能力;选取5项指标测度社会保障功能,通过全国一村一品示范村镇个数体现村镇产业发展水平,通过农村用电量体现农村现代化水平,通过第一产业生产总值占比体现农业产业结构水平,通过年末乡村就业人口占就业总人口比例体现就业结构水平,通过统计中国重要农业文化遗产数量、全国休闲农业与乡村旅游示范县数量、中国美丽休闲乡村/美丽田园数量总和来体现特色农业文化水平。

其中,高附加值作物综合优势指数计算参考朱俊林等^[29]方法,该指标用于反映特色农业资源禀赋和农产品供应结构。考虑数据可获得性、地区生产代表性,选取云南普及面广、品牌种类丰富的3种高附加值作物茶叶、水果、烤烟为对象,计算其综合优势指数并加和作为各县高附加值作物综合优势指数。

1.2.3 Spearman相关性分析法

在时间维度上,本研究选取非参数性质Spearman秩相关系数表征高原特色农业四大功能两两之间的权衡与协同关系^[30]。若相关系数为正数,则说明两功能互为相互促进的协同关系;若相

表 1 高原特色农业多功能评价指标体系

Table 1 The evaluation index system of plateau characteristic agricultural multifunction

功能 Function	指标 Index	测算方法 Calculation method	属性 Attribute	权重 Weight
农产品生产 Agricultural product production	人均粮食占有量	粮食产量/常住人口数量	+	0.119 8
	垦殖指数	耕地面积/土地面积	+	0.124 6
	高附加值作物综合优势指数	主要高附加值作物供给优势指数加和	+	0.532 0
	人均畜牧业生产占有量	(肉奶蛋+水产品)总产量/常住人口数量	+	0.223 7
生态调节 Ecological regulation	林木覆盖率	林地面积/土地面积	+	0.212 1
	NDVI 均值	区域 NDVI 均值	+	0.509 8
	化肥施用强度	化肥施用量/农作物种植总面积	—	0.205 5
	农药施用强度	农药施用量/农作物种植总面积	—	0.072 6
经济振兴 Economic revitalization	人均设施农业种植面积	设施农业种植占地面积/年末农村常住人口	+	0.578 2
	土地产出率	农林牧渔业总产值/年末实有耕地面积	+	0.198 5
	农村居民人均收入水平	农村居民人均可支配收入	+	0.139 9
	经济作物生产水平	1-粮食作物播种面积/耕地面积	+	0.083 4
社会保障 Social security	村镇产业发展水平	全国一村一品示范村镇个数	+	0.333 2
	农村现代化水平	农村用电量	+	0.091 8
	农业产业结构水平	第一产业生产总值/生产总值	+	0.134 9
	就业结构水平	年末乡村就业人口/就业人口数量	+	0.127 2
	特色农业文化水平	中国重要农业文化遗产数量	+	0.312 8
		全国休闲农业与乡村旅游示范县数量		
		中国美丽休闲乡村/美丽田园数量		

关系数为负数,则说明两功能之间互为彼此制约的
权衡关系;若两功能之间相关性不显著,则表明两
功能相互影响较小。

1.2.4 局部空间自相关分析

在空间维度上,本研究构建 Queen 空间邻接矩
阵,运用双变量局域空间自相关^[31]定量探究高原特
色农业四大功能两两之间权衡与协同关系的分布
格局及演变规律。对双变量局域空间自相关的定
义为:

$$I_{kl}^i = \frac{X_k^i - \overline{X}_k}{\sigma_k} \sum_{j=1}^n w_{ij} \frac{X_l^j - \overline{X}_l}{\sigma_l} \quad (7)$$

式中: X_k^i 为空间单元*i*的属性*k*的值; X_l^j 为空间单元*j*
属性*l*的值; $\overline{X}_k$ 和 $\overline{X}_l$ 分别为属性*k*、*l*的平均值; σ_k 和

σ_l 为属性*k*和*l*的方差; w_{ij} 为空间单元*i*和*j*之间的空
间连接矩阵。

双变量局域空间自相关分析可得出“高-高”
 (“H-H”)、“低-低”(“L-H”)、“高-低”(“H-L”)、
 “低-高”(“L-H”)、“不显著”(“Not significant”)五类
 结果,其中“H-H”和“L-L”表示局域内两功能比例
 关系为空间正相关,被视作协同关系;“H-L”和“L-
 H”表示局域内两功能比例关系为空间负相关,被视
 作权衡关系;“不显著”被视为两功能在此区域空间
 内独立。

1.2.5 高原特色农业多功能分区划定方法

K-means 是无监督的连续性数据处理的聚类算
 法,将数据对象划归几个不同的簇类,收敛速度及

聚类效果好,常用于地区农业多功能、生态系统服务功能等分区研究^[32-33],该算法有助于科学确定最佳聚类数目,根据最佳数目任意选取样本点作为分类初始中心,通过反复迭代以相似性最大原则划分不同类别数据集,公式如下^[34]:

$$D(X_m,X_n)=\sqrt{\sum_{k=0}^i(X_{mk},X_{nk})^2}\tag{8}$$

式中: $D(X_m,X_n)$ 为2个样本 X_m 和 X_n 间最小距离; k 为聚类数; X_{mk} 和 X_{nk} 为聚类数为 k 时样本集; m 和 n 为聚类要素。

1.3 数据来源

选用2010、2015及2020年云南省县(市)区层面的截面数据对云南高原特色农业多功能进行评价。统计数据主要来源于云南省及各州市统计年鉴和统计公报;土地利用数据来源于资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>);NDVI数据来源于中国科学院生态学科数据中心(<http://www.nesdc.org.cn>)。

村镇产业发展水平测算数据来源于农业农村部和云南省农业农村厅网站;特色农业文化水平数

据来源于云南省农业农村厅;农药施用量和化肥施用量缺乏县(市)区层面数据,故用所在地级市的平均数替代;设施农业种植占地面积少部分县(市)区数据缺失,用相邻年份或地级市平均数替代。垦殖指数、林木覆盖率根据土地利用数据计算得出。

2 结果与分析

2.1 云南高原特色农业多功能时空演变分析

2010—2020年云南高原特色农业多功能评价结果详见表2。可见:农产品生产功能均值由0.24上升至2015年的0.26后趋于不变;生态调节功能均值由2010年的0.60向2020年的0.67持续提升且增幅稳定;经济振兴功能均值从2010年的0.09上升至2020年的0.21,每五年增幅约50%;社会保障功能均值围绕0.21上下小幅度波动。2010—2020年除社会功能中位数变化趋势与均值略微相反,各功能中位数变化趋势与均值类似。生态、经济功能水平稳定提高;生产功能水平先增长后趋于不变;社会功能呈小幅度波动趋于不变。总之,高原特色农业多功能整体水平有一定提升。

表2 云南高原特色不同农业多功能评价结果

Table 2 Evaluation results of different agricultural multifunction in Yunnan Plateau

指标 Index	农产品生产 Agricultural product production			生态调节 Ecological regulation			经济振兴 Economic revitalization			社会保障 Social security		
	2010年	2015年	2020年	2010年	2015年	2020年	2010年	2015年	2020年	2010年	2015年	2020年
均值 Average	0.240	0.260	0.262	0.597	0.626	0.665	0.092	0.145	0.213	0.210	0.208	0.212
中位数 Median	0.233	0.257	0.258	0.587	0.628	0.675	0.068	0.116	0.180	0.215	0.210	0.198

云南高原特色农业多功能空间演变特征在空间上体现为:生产、社会功能中心弱四周强;生态功能东北弱西南强;经济功能中心强四周弱,高值区散落分布。对比不同功能评价结果的均值和变化规律可以发现,云南高原特色农业发展稳健,生态调节功能较强,农业生产推动经济振兴,社会保障不断深化。

生产功能空间演变特征如图2所示。可见形成了多个较强特色农业生产区和2个较弱发展区。其中:高值区主要分布于西双版纳、曲靖、临沧等地,

其中,西双版纳位于热带地区,临沧、普洱部分县(市)区位于澜沧江干热河谷地区,热量充足,农产品附加值高,而曲靖具有陆良、曲靖两大坝子,土地垦殖指数高,坝区地势平缓,且临近昆明都市圈,农产品生产需求量大;低值区有分布于昆明市主城区,位于经济核心区,人口集聚显著,人均农产品拥有量低,农产品难以自给自足,也有位于农业不适宜发展区,例如迪庆州、怒江州地处横断山区高山陡坡地带,耕地面积少,垦殖系数极低,有限的人口对于农产品生产的需求量不高,农产品生产水平有限。

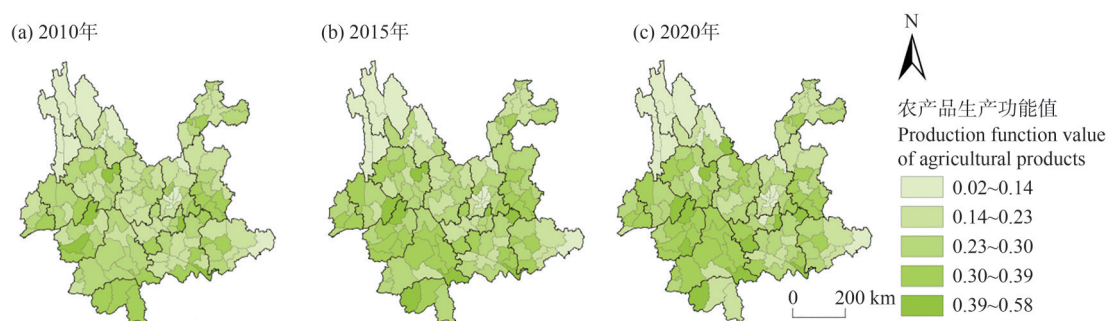


图 2 农产品生产功能空间演变特征

Fig. 2 Characteristics of spatial evolution of the agricultural product production function

生态功能总体格局强弱两极分化明显,总体趋势为“东北低西南高”,详见图 3。可见:西南部地区生态功能水平高,高值区主要集中在普洱市、西双版纳州等,水热条件较好,生态调节能力强,环境压力小;中低值区主要集中于昆明市、迪庆州等,或处农业生态服务能力不足的工业化相对发达地区,或受限于海拔降水等因素农业对生态环境缺乏影响力,农业高度依赖工程技术。因此,2010 年生态功能较弱可能源于 2009 年起云南连续 3 年遭遇干

旱,缺乏农业用水,土壤板结,农业生态调节能力差。

经济振兴功能空间演变特征如图 4 所示。可见经济振兴功能在空间上以滇中地区为高值中心,辐射带动四周发展。其中:2010—2020 年高值区主要分布于昆明市、大理州等地区经济中心;低值区主要分布于昭通市、怒江州等地,喀斯特地貌、高山峡谷地形限制了地区经济发展,农业对地区经济发展支撑效果不明显(图 4)。

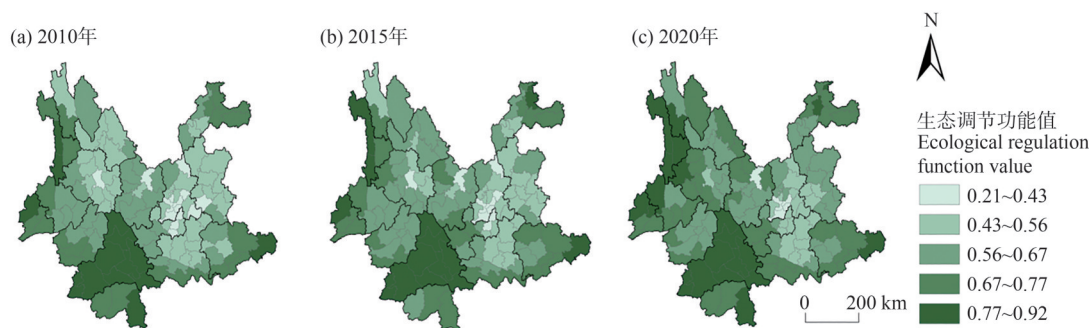


图 3 生态调节功能空间演变特征

Fig. 3 Characteristics of spatial evolution of the ecological regulation function

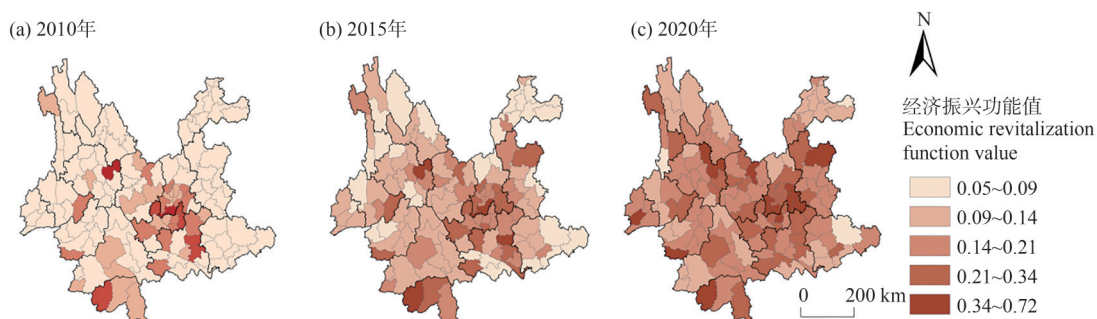


图 4 经济振兴功能空间演变特征

Fig. 4 Characteristics of spatial evolution of the economic revitalization function

社会保障功能空间上呈中间低外围高、分布离散的格局,详见图5。可见县(市)区功能增减情况和变化幅度均存显著差异。其中:高值区散落于西双版纳州、红河州等地,说明围绕产业和文化的特色化发展对社会保障功能起到重要正向作用;低值区主要位于昆明市,其经济发展快,第二、三产业占比高,乡村就

业人口比例小的区域。通过对比具体数据可以发现各地村镇产业发展水平和特色农业文化水平不同程度提高,但社会功能总体均值仍然变化不大,原因是乡村收缩导致原农业生产劳动力转向从事非农产业,第一产业占比降低;同时部分地区特色农业文化品牌提供稳定就业机会,导致空间格局向两级分化发展。

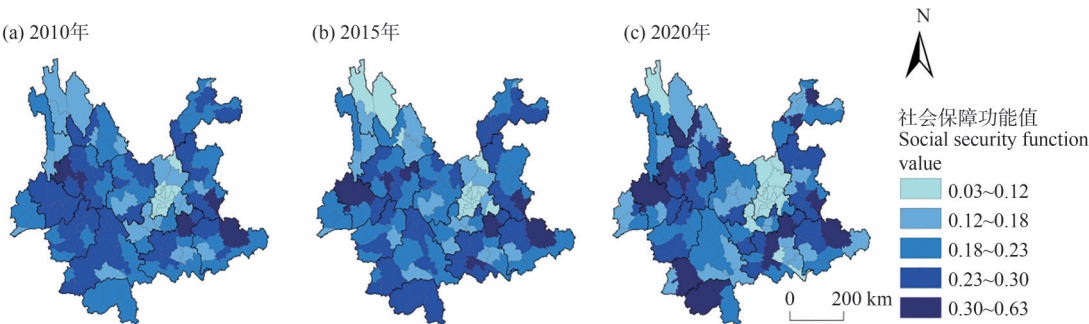


图5 社会保障功能空间演变特征

Fig. 5 Characteristics of the spatial evolution of social security function

2.2 云南高原特色农业多功能权衡/协同格局分析

2.2.1 多功能相关性与时空格局分析

根据高原特色农业功能评价结果,分别测算

2010年、2015年、2020年高原特色农业四大功能相互之间的Spearman相关系数,分析其格局演化趋势,结果见表3。

表3 云南高原特色农业多功能相关关系

Table 3 Relationship between Plateau characteristic agricultural multifunction in Yunnan

年份 Year	功能 Function	农产品生产 Agricultural product production	生态调节 Ecological regulation	经济振兴 Economic revitalization	社会保障 Social security
2010	农产品生产	1.00			
	生态调节	0.02	1.00		
	经济振兴	0.24 **	−0.38 **	1.00	
	社会保障	0.25 **	0.17	−0.15	1.00
2015	农产品生产	1.00			
	生态调节	0.03	1.00		
	经济振兴	0.23 **	−0.40 **	1.00	
	社会保障	0.40 **	0.17	−0.16	1.00
2020	农产品生产	1.00			
	生态调节	0.08	1.00		
	经济振兴	0.06	−0.46 **	1.00	
	社会保障	0.35 **	0.20 **	0.13	1.00

注:**表示在0.01水平上显著相关。
Note: ** denotes significantly correlated at the 0.01 level.

2010年生产功能分别与经济功能和社会功能呈现显著正相关关系,说明两两之间均表现为相互促进的协同关系。生态与经济功能呈现显著的负相关关系,两者之间存在此消彼长的权衡竞争关系。2010年云南农业产业转型处于关键发展阶段,高附加值作物带来的生产效益优势显著,同时形成了巨大环境负担。社会功能与生态、经济功能未通过显著性检验,社会功能相对独立。2015年生产功能与经济功能、社会功能之间延续了其显著协同功能。

2020年经济与社会功能之间持续无显著相关性,生产与经济功能之间显著性减弱并转向各自独立发展,说明新冠疫情对“云牌”农产品的生产状况、国内外市场条件产生一定影响。经济和生态功能仍然呈现显著负相关,原因可能是部分地区为刻意追求经济发展忽略了生态保护。生态功能与经济功能持续呈现权衡关系且相关系数值增大,表明经济振兴过程中,与生态环境之间冲突仍存;生产功能和社会功能之间相关系数有所上升,转呈显著正相关,表明农产品生产水平提高为“一村一品”建设提供了动能,农业体系向可持续化发展体系转型。

2.2.2 权衡协同关系时空差异性演变分析

借助GeoDA 1.16软件双变量局部Moran's I空间自相关分析,可以得到研究区四大功能两两聚类地图。结合不同时间尺度聚类地图,探究各县农业功能之间权衡与协同关系,分析其在空间格局上的

分布及演变规律。以空间尺度横向比较各县(市)区可以发现,云南高原特色农业多功能在权衡协同关系上分布离散,地域性特点显著;以时间尺度纵向比较,可以发现在总体格局稳定的情况下各功能之间的权衡协同关系会产生调节性的变化。

图6和图7分别为生产与生态功能权衡协同关系、生产与经济功能权衡协同关系空间格局示意图。由图6可见:H-H协同区主要位于普洱、西双版纳和德宏等地,农产品产量与生态环境俱佳;L-L协同区主要位于昆明市及其周边,农产品人均占有量小且该地区汇聚了云南省超过四分之一的人口,城镇化发展持续挤占农业空间,为缓解人口压力,农业生产以增施化肥农药换取高产值,生态调节功能较微弱;H-L权衡区主要位于曲靖市,该地为云南东部粮食主产区,毗邻经济发展中心昆明,生态调节功能难以应对生产需求负担而相对较弱。由图7可见:生产与经济功能关系空间格局稳定,以主要位于农业生产条件较苛刻的L-L协同区和经济发展迅速的昆明中南部L-H权衡区为主,前者因生产难度大导致农业发展受限呈现低位协同关系,后者虽一产总值处于高水平,但因人口基数上升而人均占有量下降导致生产与经济功能间L-H权衡区数量略微增加。生产功能与生态、经济功能之间的权衡协同关系时间变化规律类似,除H-L权衡区于2015年数量有所减少外,其余权衡协同区数量稳定。

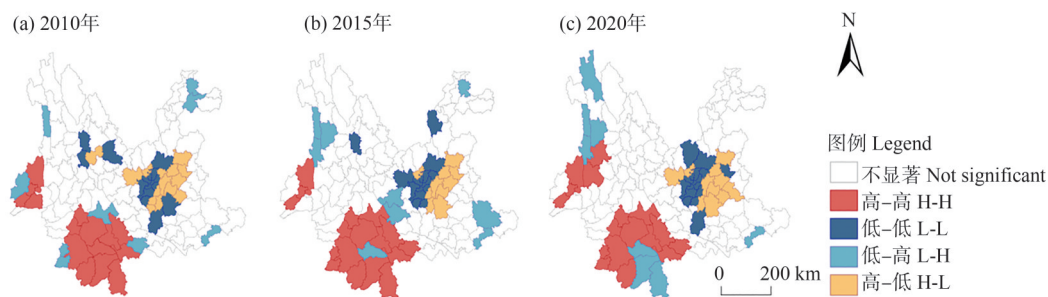


图6 高原特色农业农产品生产功能与生态调节功能权衡协同关系空间格局

Fig. 6 Spatial pattern of trade-offs and synergies between agricultural product production function and ecological regulation function of plateau characteristic agriculture

图8和图9分别为生产与社会功能权衡协同关系、生态与社会功能权衡协同关系空间格局示意图。由图8可见:生产与社会功能间权衡协同关系变化主要体现在L-L协同区数量增加而其他三

类区数量减少。L-L协同区数量增加主要位于昆明及其周边地区,其主要原因是昆明市城市化率较高,发展侧重于二三产业,农业从业人口流出,农产品需求量增加,农业生产及社会保障功能相

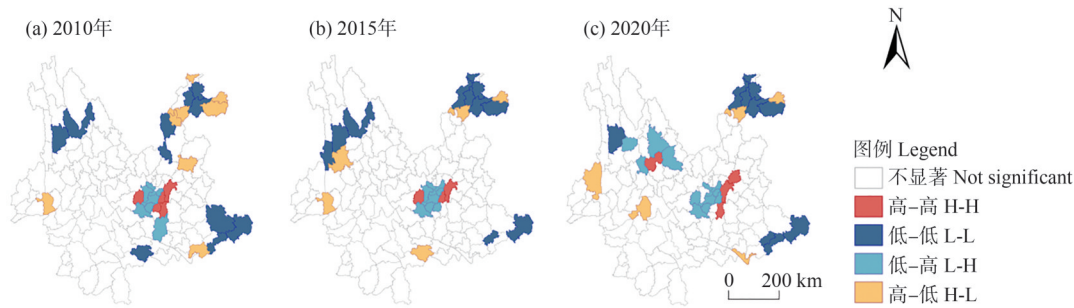


图7 高原特色农业农产品生产功能与经济振兴功能权衡协同关系空间格局

Fig. 7 Spatial pattern of trade-offs and synergies between agricultural product production function and economic revitalization function of plateau characteristic agriculture

对不明显;H-H协同区、H-L权衡区空间位置分布变化不大,主要是数量相对减少。由图9可见:生态与社会功能间权衡协同关系数量关系变化主要体现在L-H权衡区数量自2015年的9个到2010年骤降至1个,主要是L-H权衡区于2010年在西部形成的分布集群,于2020年多转为H-H协同区,说明高原特色农业生态调节与社会保障功能是相辅相成的,农业文化遗产、美丽乡村与“一村一品”

是建设于特色优异的生态环境之上的,同时也对生态环境有显著的反馈调节功能,形成良性循环。社会功能分别与生产和生态功能间权衡协同关系空间上呈现一定相似性,大部分年份均形成东西两个功能区集群,东部以昆明市为主形成L-L协同区集群,西部以昌宁、隆阳区等地为主形成H-H协同区集群,集群周边均分布有不同数量类型的权衡区。

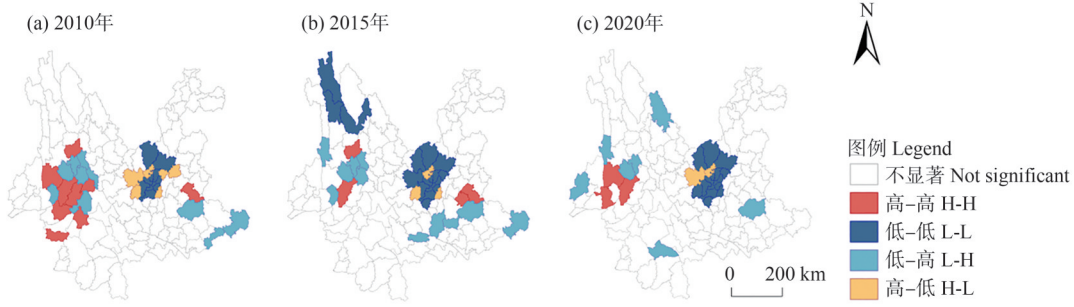


图8 高原特色农业农产品生产功能与社会保障功能权衡协同关系空间格局

Fig. 8 Spatial pattern of trade-offs and synergies between agricultural product production function and social security function of plateau characteristic agriculture

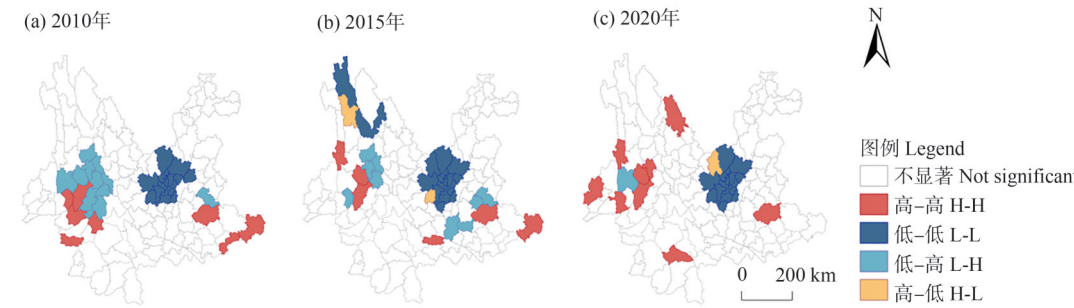


图9 高原特色农业生态调节功能与社会保障功能权衡协同关系空间格局

Fig. 9 Spatial pattern of trade-offs and synergies between agricultural ecological regulation function and social security function of plateau characteristic agriculture

图10和图11分别为生态与经济功能权衡协同关系、经济与社会功能权衡协同关系空间格局示意图。由图10可见：生态与经济功能呈现显著权衡关系，权衡区数量远大于协同区，L-H权衡区集中于环滇池区域，以第二产业为主导，安宁工业园区等分布于此，该区域内农业对经济发展的贡献相对不明显，但工业对生态环境压力有增无减，形成了生态—经济功能之间L-H权衡关系；H-L权衡区稳定分布于昭通市、文山州等地，多位于生态保护重要区，区域内多自然保护区，生态价值高但经济发展

受限，该现象说明经济功能与生态功能本质上仍然存在一定此消彼长的权衡作用。由图11可见：经济与社会功能间权衡协同关系大体空间格局保持不变，与生产社会权衡协同关系功能区分布规律类似，其中滇西北维西等地L-L协同关系消除，总体2020年L-L协同区数量降至3个，其主要原因是该地为省海拔最高，高山峡谷纵横，人迹罕至，特色农业与文化产业开发难度大，其功能区消除代表乡村振兴覆盖面广，脱贫攻坚成效显著，农业发展低水平地区社会保障水平有所提升。

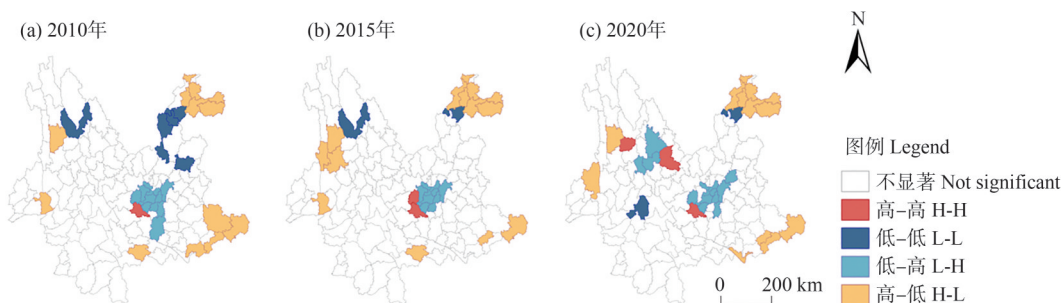


图10 高原特色农业生态调节功能与经济振兴功能权衡协同关系空间格局

Fig. 10 Spatial pattern of trade-offs and synergies between ecological regulation function and economic revitalization function of plateau characteristic agriculture

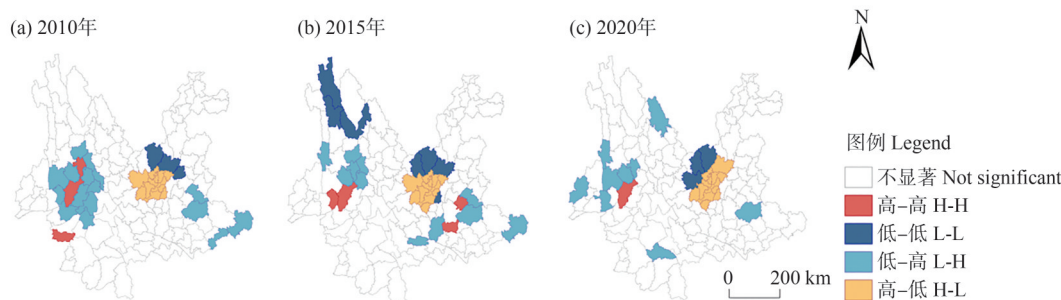


图11 高原特色农业经济振兴功能与社会保障功能权衡协同关系空间格局

Fig. 11 Spatial pattern of trade-offs and synergies between economic revitalization function and social security function of plateau characteristic agriculture

2.3 基于权衡与协同视角的高原特色农业多功能分区及优化措施

2.3.1 K-means聚类分类结果和分区方法

本研究基于SPSSPRO的K-means聚类分析模块，对2020年129个县（市）区的农业多功能评价结果运用K-means函数实现聚类分析，根据“肘部法则”，最终确定当聚类个数值为4时，组内距离平方和曲线拐点效应明显，聚类效果最好。后将初始聚类数设定为4，运用GeoDA 1.16软件空间

聚类分析模块，将129个研究单元分别划入4个簇类，同一簇类在地理上有明显聚集，簇类之间呈现显著空间差异性，各簇类标准化分值结果统计结果详见表4。可见各簇类的标准化分值呈现以下特征：簇类I的生产功能(0.3702)、簇类II的生态功能(0.7193)、簇类III的经济功能(0.3437)、簇类IV社会功能(0.3823)均显著高于其他3个簇类；簇类II和簇类III的生态与经济功能分值呈现显著权衡关系。

表 4 基于聚类分析的各簇类标准化分值计算结果

Table 4 Calculation results of standardized scores for each cluster based on cluster analysis

功能 Function	簇类 I Cluster I	簇类 II Cluster II	簇类 III Cluster III	簇类 IV Cluster IV
农产品生产功能 Agricultural product production	0.370 2	0.210 2	0.193 1	0.277 0
生态调节功能 Ecological regulation	0.687 1	0.719 3	0.484 1	0.696 7
经济振兴功能 Economic revitalization	0.224 0	0.160 6	0.343 7	0.176 1
社会保障功能 Social security	0.221 4	0.182 7	0.121 3	0.382 3

基于4个簇类结果与相应簇类特点,本研究将4个簇类结果所包含的县(市)区划分为4个聚类区,同时结合云南省农业发展实际情况,对分区结果进行修正结果见图12。将簇类I划分为农业生产集中区;簇类II划分为生态优化调节区;簇类III划分为经济振兴先行区;簇类IV划分为城乡优化发展区4类高原特色农业功能分区(图12)。

2.3.2 高原特色农业多功能分区和优化措施

农业生产集中区,包括县(市)区数量为35个,空间上主要分布于云南东西部、西南部粮食生产区和特色农业产业带,多为生产与经济功能H-H协同

或H-L权衡区。该分区生产功能较为突出,其余三个功能并无明显短板。粮食与特色农产品生产功能对于地区至关重要,该地区自然条件禀赋高,应充分挖掘上升空间,着力克服云南省复杂多样的自然地理环境和技术条件约束,追求农产品生产功能与其他功能的高位协同发展。因此该分区应以加强农业产业技术创新为目标,探索农业产业链延伸发展路径,努力控制农村劳动力外流趋势,拓宽农民增收渠道,各地方政府应坚持“一县一业”发展路线,着力打造各区域特色农业优势品牌,科学规划地区高原特色农业发展方向。

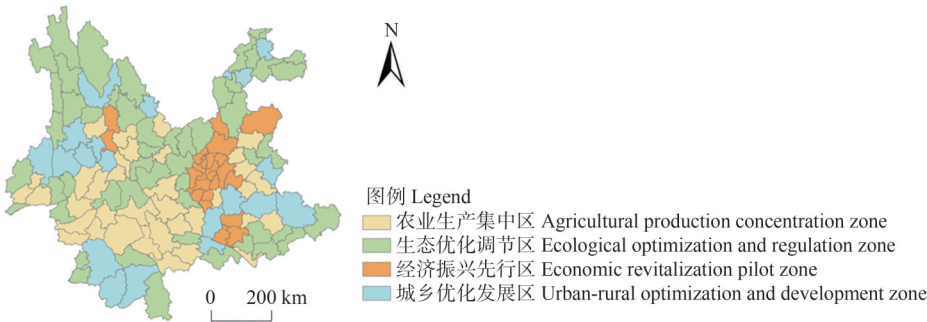


图 12 云南高原特色农业多功能分区图

Fig. 12 Multifunctional zoning map of plateau characteristic agriculture in Yunnan

生态优化调节区,包含行政单元共52个,是全省数量最多的功能区,该分区生态调节功能(0.719 3)在簇类中为最高值,经济功能(0.160 6)相对最弱,体现了生态与经济功能权衡关系明显,空间上分布于云南北部迪庆、昭通、楚雄等地和最南部地区。该分区气候调节能力强,林木覆盖率较高,同时由于距离经济中心较远,经济功能相对受限,但农业生长于较好的生态基础之下,依据其独特生态资源

条件,可因地制宜发展特色产业,如福贡县(草果)、孟连县(牛油果)。生态保护区同样也是贫困人口的聚集区,大多农户仅能勉强自给自足,在生态空间中如何盘活一定数量的耕地,如何实现生产与生态的有机结合值得深入探讨^[35]。该分区生态功能多与生产、经济、社会功能形成权衡发展格局,因此应当努力创新生态农业模式,积极开展提高耕地生产能力的工程措施,政府应当加速推进生态脆弱地

区的易地扶贫搬迁工作,完善土地及农业生态补偿机制,扩展该分区农民农业创收途径。

经济振兴先行区,分区县(市)区单元共23个,空间上形成昆明—玉溪、大理、红河3个集群。该分区经济振兴功能相对突出,经济振兴作用显著,农业现代化程度领先,高附加值农产业能够有效支撑地区农业经济,从而农村居民收入较高,但该分区的经济功能依赖于分区内二三产业优势所带动发展的,虽高原特色农业生产总值较高,但该分区生态功能相对较弱,且集中全省人口量大,农业从业人口少,人均生产占有量小。劳动力向大城市的流动和市场需求是农业经济振兴的重要推动力,却又给生产供给、生态保护、社会保障带来了严峻的挑战。因此既然是先行区,该分区应以高质量发展和辐射带动其他地区为目标,运用好区位交通优势,深度优化农业产业空间,积极培育面向国内外优势农业产业,政府应完善区域引领帮扶机制,规范特色农业市场,推动区域协调发展。

城乡优化发展区,分区共包括县(市)区19个,空间上主要形成3个集群,分别是南部景洪市集群,西部隆阳区、腾冲市集群,东南部弥勒市、建水县集群。该分区各地社会保障功能较强,农产品生产和农业文化产业特色突出为该区农村人口提供的良好就业条件,毗邻经济核心区所带来的市场交通优势,基层乡村行政单元的“一村一品”创新实践,该分区体现社会保障功能的优势地位。城乡优化发展的主要需求是利用好经济振兴先行区的辐射效应和自身高原特色农业突出特点,持续打造特色鲜明的农业村镇,深度挖掘如景迈山、元阳梯田等重要农文化遗产资源,探索一二三产融合新路径及农文旅、田园综合体的新业态,政府应当鼓励基层自发创新特色产业,健全完善“一县一业特色/示范县”补贴激励政策与年度高原特色农业示范乡镇的评比制度,便于在良性竞争的特色农业市场机制下不断提高地方竞争力。

3 讨 论

农业多功能权衡协同关系分析是反映特色农业发展程度,针对性提出政策建议与优化路径的重要依据。总体来看,云南高原特色农业多功能相比国内其他传统农区有较大不同,传统农业作为乡村主导产业,是乡村人口创收的最主要途径,其农产

品生产供给、促进经济增长、社会保障等功能较强,而因生产与生态存在较强权衡关系导致了生态环境保护能力较弱。云南省作为长江上游典型高原山区省份,农业发展滞后,但生态与资源优势明显^[36-37]。高原特色农业模式是“被动形成,主动发展”的,资源、环境、人口、文化的条件注定云南难以效仿大规模化、都市化农业形式,但差异化的环境造就了云南农业的“特”,产品附加值高、花果四季飘香、农业自然价值高。因此,云南省应当以生态功能主导,发挥多功能性农业的优势,做好全产业链融合发展,提高农业综合效率。

2010—2020年云南高原特色农业多功能权衡协同关系呈现“相互独立—低位协同—相互权衡—高位协同”的演变规律。云南高原特色农业多功能高位协同发展是实现农业高质量发展的最终目标,在维持农产品生产效益高质量发展的基础上,实现生态效益、经济效益、社会效益统筹,意味着云南高原特色农业的下一个目标是推进农产品生产技术持续创新,经济振兴先行区发挥带动能力,各地深度发掘自身特色产业,改善并化解农业经济发展与生态保护调节的矛盾,同时全面保障人民的可持续生计,推进农业现代化发展与乡村振兴进程。深度挖掘云南独有的少数民族文化与地域特色,扩展农业在农产品加工业、乡土文化产业、乡村文旅产业发展可能性,推动以一产为主的特色农业向三产融合的乡村特色产业转型升级。

由于数据获取难度大,本研究在多功能评价指标体系中未能涵盖更多代表性特色农产品、反映生境质量变化等指标。云南高原特色农业发展差异性显著,本研究以县(市)区作为最小研究单元,难以面面俱到论证差异具体因素。因此,未来可以从乡村振兴和高原特色农业差异性发展变化的角度出发,结合实地调研数据完善指标体系,综合开展长时间多尺度的农业多功能时空演变研究。

4 结 论

本研究以地处高原山区的云南省129个县(市)区为研究单元,根据多功能内涵剖析—指标评价—分区优化的核心思路,探究高原特色农业多功能下的特色农业发展优化路径。主要结论如下:

1)高原特色农业多功能是“全球—国家”层次多功能特征在小尺度区域实际情况的具体反映,各

单元高原特色农业多功能水平存在差异。时间尺度下,生态调节、经济振兴功能均值的稳定增长,农产品生产功能均值先增长后趋于不变,社会保障功能小幅度波动。空间尺度下,农产品生产、社会保障功能水平呈现由经济核心区向外递减的空间格局;生态调节功能强弱两极分化明显,呈“东北低,西南高”的空间格局;经济振兴功能显著提高,总体呈“中心高,四周低,高值区散落分布”的空间格局。

2)2010—2020年云南高原特色农业各功能间权衡区数量减少,各功能区由散落分布逐渐形成集群分布。生产与生态功能逐渐向协同发展转变,空间上逐渐形成滇中L-L协同、滇西、西南H-H协同3个集群分布区;生产与经济功能权衡协同关系稳定,以农业生产条件较苛刻的L-L协同区和昆明中南部L-H权衡区为主;经济分别与生态和社会功能间以权衡关系为主;社会功能与生产、生态功能权衡协同关系空间上呈现一定相似性,大部分年份均形成东西2个功能区集群,西部形成H-H协同区集群,东部以L-L低位协同关系为主。

3)基于2020年高原特色农业多功能评价和各功能时空格局中权衡协同关系演变分析结果,将云南省129个县(市)区划分为4个特色农业多功能分区,针对不同分区提出差异性优化发展路径。

参考文献 References

- [1] 潘时常,朱菊萍,焦金芝. 发展现代特色农业的若干思考[J]. 现代经济探讨, 2011(12): 72-75
Pan S C, Zhu J P, Jiao J Z. Some thoughts on developing modern characteristic agriculture[J]. *Modern Economic Research*, 2011(12): 72-75 (in Chinese)
- [2] Marini M, Caro D, Thomsen M. Investigating local policy instruments for different types of urban agriculture in four European cities: A case study analysis on the use and effectiveness of the applied policy instruments[J]. *Land Use Policy*, 2023, 131: 106695
- [3] Canwat V, Onakuse S. Organic agriculture: A fountain of alternative innovations for social, economic, and environmental challenges of conventional agriculture in a developing country context[J]. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 2022, 3: 100025
- [4] 向明生. 云南高原特色农业发展理论思考[J]. 中国集体经济, 2015(1): 35-36
Xiang M S. Theoretical thinking on the development of characteristic agriculture in Yunnan Plateau[J]. *China Collective Economy*, 2015(1): 35-36 (in Chinese)
- [5] 方一舒,艾东,羊玉婷,孙玮健,戴瑶. 高自然价值农田识别及空间分布格局研究:以云南省为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(3): 441-450
Fang Y S, Ai D, Yang Y T, Sun W J, Dai Y. Identification of high natural-value farmland and its spatial distribution pattern: Taking Yunnan Province as an example[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2022, 30(3): 441-450 (in Chinese)
- [6] 马如彪,刘云,王金亮,逯绍华,王艳英,宋嘉. 云南藏区县域农业生态系统能值分析[J]. 水土保持研究, 2014, 21(4): 92-96
Ma R B, Liu Y, Wang J L, Su S H, Wang Y Y, Song J. Analysis of agricultural ecological energy at county level in Tibetan areas of Yunnan Province[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2014, 21(4): 92-96 (in Chinese)
- [7] 杨丹,朱纯子,刘自敏. 特色农业赋能乡村振兴的可行路径和支持政策[J]. 中国农学通报, 2023, 39(23): 153-164
Yang D, Zhu C Z, Liu Z M. The feasible path and supporting policy for rural revitalization enabled by featured agriculture [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2023, 39(23): 153-164 (in Chinese)
- [8] 陈惠敏. 罗平县高原特色农业产业集群发展探析[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(7): 192-196
Chen H M. The development of characteristic agricultural industrial cluster in Luoping County[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37(7): 192-196 (in Chinese)
- [9] 杨晓梅,尹昌斌. 农业生态产品的概念内涵和价值实现路径[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(12): 39-45
Yang X M, Yin C B. The concept connotation and value realization pathway of agro-ecological products[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(12): 39-45 (in Chinese)
- [10] Huang Z Y, Tan M H. Spatial differences of specialty agriculture development in the mountainous areas of China: “one village, one product” as an example[J/OL]. *Heliyon*, 2023, 9(8): e18391
- [11] 钟源,刘黎明,刘星,杜荪玲. 农业多功能评价与功能分区研究:以湖南省为例[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(3): 93-100
Zhong Y, Liu L M, Liu X, Du S L. Multi function evaluation and functional zoning of agriculture: a case study of Hunan Province[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2017, 38(3): 93-100 (in Chinese)
- [12] 彭建,刘志聪,刘焱序. 农业多功能性评价研究进展[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(6): 1-8
Peng J, Liu Z C, Liu Y X. Research progress on assessing multifunctionality of agriculture [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2014, 35(6): 1-8 (in Chinese)
- [13] Wang M, Yuan M C, Han P Y, Wang D. Assessing sustainable urban development based on functional spatial differentiation of urban agriculture in Wuhan, China [J/OL]. *Land Use Policy*, 2022, 115: 105999.
- [14] 王艳,孙朔,龚新蜀. 中国农业多功能的时空格局演变及创新驱动分析[J]. 资源开发与市场, 2023, 39(3): 319-327
Wang Y, Sun S, Gong X S. Analysis on the spatial-temporal pattern evolution and innovation drive of China's agricultural multi-function[J]. *Resource Development & Market*, 2023, 39(3): 319-327 (in Chinese)
- [15] 苗培培,赵筱青,普军伟,李思楠,王茜,谭琨. 喀斯特山区生态系统服务权衡/协同时空分异研究:以云南广南县为例[J]. 山地学报, 2023, 41(1): 103-114
Miao P P, Zhao X Q, Pu J W, Li S N, Wang Q, Tan K. Spatiotemporal differentiation of ecosystem service synergy/trade-offs in the mountainous Karst areas: A case study of Guangnan County, Yunnan, China[J]. *Mountain Research*, 2023, 41(1): 103-114 (in Chinese)
- [16] 杨忍,刘芮彤. 珠三角城市群地区都市农业功能演变及其协同-权衡关系

- [J]. 地理研究, 2022, 41(7): 1995-2015
- Yang R, Liu R T. Functional evolution and collaboration/trade-off relationship of urban agriculture in the Pearl River Delta urban agglomeration[J]. *Geographical Research*, 2022, 41(7): 1995-2015 (in Chinese)
- [17] 李怡, 方斌, 李裕瑞, 璩路路, 李冬杰. 城镇化进程中耕地多功能权衡/协同关系演变及其驱动机制[J]. 农业工程学报, 2022, 38(8): 244-254
- Li Y, Fang B, Li Y R, Qu L L, Li D J. Trade-off and synergy evolution of farmland functions and its dynamic mechanism in the process of urbanization [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(8): 244-254 (in Chinese)
- [18] 张艳茹. 太行山区乡村地域多功能的时空动态与权衡-协同关系[D/OL]. 郑州: 河南大学, 2021
- Zhang Y R. Spatio-temporal dynamics and tradeoff-synergy Relationship of rural multi-function in Taihang Mountain area [D/OL]. Zhengzhou: Henan University, 2021 (in Chinese)
- [19] 叶静, 关瑜, 陈影. 滨海盐碱区土地利用功能权衡与协同关系及分区: 以河北省黄骅市为例[J]. 应用生态学报, 2023, 34(2): 423-432
- Ye J, Guan Y, Chen Y. Trade-off and synergistic relationship of land use function and zoning in coastal saline-alkali area: A case study of Huanghua, Hebei, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023, 34(2): 423-432 (in Chinese)
- [20] 裴潇, 袁帅, 罗森. 长江经济带绿色发展与数字经济时空耦合及障碍因子研究[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(10): 2045-2059
- Pei X, Yuan S, Luo S. Spatio-temporal coupling and obstruction factors between green development and digital economy in Yangtze River economic belt [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2023, 32(10): 2045-2059 (in Chinese)
- [21] 张露, 罗必良. 中国农业的高质量发展: 本质规定与策略选择[J]. 天津社会科学, 2020, 11(5): 84-92
- Zhang L, Luo B L. Pursuing high quality development of agriculture in China: Essential regulations and strategy options [J]. *Tianjin Social Sciences*, 2020, 11(5): 84-92 (in Chinese)
- [22] 张永旺, 周欣欣, 赵敏娟, 汪红梅. 黄河流域九省区特色农业高质量发展评价及路径选择[J]. 经济问题探索, 2023(9): 53-64
- Zhang Y W, Zhou X X, Zhao M J, Wang H M. Evaluation and path selection of high-quality development of characteristic agriculture in nine provinces in the Yellow River Basin [J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2023(9): 53-64 (in Chinese)
- [23] 陈良正, 李隆伟, 毛昭庆, 王雪娇, 罗雁, 王奕, 李学林. 云南高原特色现代农业产业经济分析研究[J]. 中国农学通报, 2019, 35(30): 155-164
- Chen L Z, Li L W, Mao Z Q, Wang X J, Luo Y, Wang Y, Li X L. Development of modern characteristic agriculture in Yunnan Plateau [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35 (30): 155-164 (in Chinese)
- [24] 李学林, 郭沛, 董晓波. 我国高原地区农业转型发展研究[J]. 经济问题探索, 2016(9): 182-190
- Li X L, Guo P, Dong X B. Study on agricultural transformation and development in plateau areas of China [J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2016(9): 182-190 (in Chinese)
- [25] Wilson G A. The spatiality of multifunctional agriculture: A human geography perspective[J]. *Geoforum*, 2009, 40(2): 269-280
- [26] 王艳, 孙翔. 生态脆弱区农业多功能空间格局特征及驱动因素研究: 以新疆三地州为例[J]. 新疆农垦经济, 2023(2): 49-60
- Wang Y, Sun S. Spatial pattern and its driving factors of agricultural multi-functions in ecologically fragile areas: A case study on three prefectures in southern Xinjiang [J]. *Xinjiang State Farms Economy*, 2023(2): 49-60 (in Chinese)
- [27] 彭锐, 张婷, 张秋玲, 吴政文. 大城市近郊都市现代农业多功能实施路径探究: 以苏州高新区通安现代农业示范园为例[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(10): 11-18
- Peng R, Zhang T, Zhang Q L, Wu Z W. Research on the implementation path of multi-functionality of urban modern agriculture in outskirts of big cities: In the case of Tongan modern agriculture demonstration park in Suzhou High-Tech Zone [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(10): 11-18 (in Chinese)
- [28] 刘玉, 蒋治, 王浩森. 北京农业地域功能空间分异及影响因素[J]. 自然资源学报, 2020, 35(10): 2444-2459
- Liu Y, Jiang Z, Wang H S. Spatial differentiation of agricultural regional function in Beijing and its influencing factors [J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(10): 2444-2459 (in Chinese)
- [29] 朱俊林. 基于空间统计的湖北省农业功能分析与分区研究[D/OL]. 武汉: 华中农业大学, 2012
- Zhu J L. Study on spatial pattern and regionalization of agricultural functions in Hubei based on spatial statistics [D/OL]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012 (in Chinese)
- [30] 周永江, 姚宜斌, 熊永良, 单路路. 基于 Spearman 秩相关系数的 PWV 与 PM_{2.5} 相关性研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2020, 40(3): 236-241
- Zhou Y J, Yao Y B, Xiong Y L, Shan L L. Study of correlation between PWV and PM_{2.5} based on spearman rank correlation coefficient [J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2020, 40 (3): 236-241 (in Chinese)
- [31] 陈会, 李阳兵, 唐家发. 贵州坝子现代农业功能分布特征研究[J]. 地球科学进展, 2019, 34(9): 962-973
- Chen H, Li Y B, Tang J F. Study on distribution characteristics of modern agricultural function of basins in Guizhou, China [J]. *Advances in Earth Science*, 2019, 34(9): 962-973 (in Chinese)
- [32] 赵筱青, 石小倩, 李驭豪, 李益敏, 黄佩. 滇东南喀斯特山区生态系统服务时空格局及功能分区[J]. 地理学报, 2022, 77(3): 736-756
- Zhao X Q, Shi X Q, Li Y H, Li Y M, Huang P. Spatio-temporal pattern and functional zoning of ecosystem services in the Karst mountainous areas of southeastern Yunnan [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77 (3): 736-756 (in Chinese)
- [33] 雷可欣. 多功能视角下的武汉市都市农业发展潜力与分区发展策略研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2022
- Lei K X. Urban agriculture development potentiality and strategy in Wuhan from the perspective of multifunctionality [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022 (in Chinese)
- [34] 陈逸航, 黄秋昊, 郑锦浩, 李满春. 多情景模拟下城市周边耕地功能分区 [J]. 农业工程学报, 2023, 39(10): 227-236
- Chen Y H, Huang Q H, Zheng J H, Li M C. Functional zoning of the cultivated land around the city under multi-scenario simulation [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2023, 39(10): 227-236 (in Chinese)
- [35] 刘超, 许月卿, 卢新海. 生态脆弱贫困区土地利用多功能权衡/协同格局演变与优化分区: 以张家口市为例[J]. 经济地理, 2021, 41(1): 181-190
- Liu C, Xu Y Q, Lu X H. Spatio-temporal evolution and optimization regionalization of trade-off and synergy of land use functions in ecologically fragile and poverty areas: A case study of Zhangjiakou City [J]. *Economic Geography*, 2021, 41(1): 181-190 (in Chinese)
- [36] 张建伟, 曾志庆, 李国栋. 中国农业经济高质量发展水平测度及其空间差

异分析[J]. 世界农业, 2022(10): 98-110

Zhang J W, Zeng Z Q, Li G D. The measurement and spatial difference analysis of the high-quality development level of agricultural economy of China[J]. *World Agriculture*, 2022(10): 98-110 (in Chinese)

[37] 李学林, 郭沛, 董晓波. 我国高原地区农业转型发展研究[J]. 经济问题探

索, 2016(9): 182-190

Li X L, Guo P, Dong X B. Study on agricultural transformation and development in plateau areas of China[J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2016(9): 182-190 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东



第一作者简介: 洪秋辰, 现为中国农业大学硕士研究生, 学士毕业于华中农业大学, 农业空间与乡村振兴规划专业。硕士期间获得二等学业奖学金、校级优秀学生干部; 本科期间曾获衡盛奖学金、校级体育优秀奖、华中农业大学志愿服务项目大赛银奖等荣誉。先后作为主要成员参与昆明市国土空间总体规划编制、昆明市矿山修复生态补偿机制研究、云南省国土空间规划“资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价”研究专题、新疆生产建设兵团双评价及新疆生产建设兵团第二师双评价等; 曾赴云南、北京、湖北等地主持或参与十余次微观调研活动。



通讯作者简介: 艾东, 副教授, 博士生导师, 主要从事农业发展与国土空间规划研究。现任中国农业大学土地科学与技术学院土地管理系党支部书记、副系主任。主要从事国土空间规划和乡村振兴研究, 参与主持多项国家与省部级项目, 荣获国土资源科学技术二等奖和黑龙江省科学技术三等奖。2015—2019年多次赴德国等地考察乡村规划、产业发展, 近年来重点开展省市县各级规划, 参与或主持云南省、新疆生产建设兵团、云南昆明市、河北省曲周县等国土空间规划, 参与或主持北京大兴区长子营镇北蒲州营村、河北省顺平县小水村等乡村规划。