

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2025.01.003; CSTR:32311.14.rswc.2025.01.003.

李奇峰, 王艺洁, 王浩阳, 等. 新疆耕地多功能时空特征与权衡管理[J]. 水土保持研究, 2025, 32(1): 400-412.

Li Qifeng, Wang Yijie, Wang Haoyang, et al. Multifunctional spatiotemporal characteristics of cultivated land and trade-off management in Xinjiang[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025, 32(1): 400-412.

新疆耕地多功能时空特征与权衡管理

李奇峰¹, 王艺洁¹, 王浩阳², 张蚌蚌^{1,2}

(1.新疆农业大学 经济管理学院, 乌鲁木齐 830052; 2.西北农林科技大学 经济管理学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:[目的]研究耕地“生产—生活—生态”功能间发展不平衡现状,提出分区权衡管理措施,对促进耕地可持续利用水平和推动区域耕地保护政策实施具有重要意义。[方法]利用新疆 85 个县市 2005—2020 年社会经济数据,构建耕地多功能评价体系,基于改进 CRITIC-熵值法确定指标权重,运用综合指数模型、Spearman 秩相关和双变量空间自相关模型对新疆耕地多功能进行评价,分析了耕地多功能的时空特征及其权衡协同关系,并将新疆划分为五大耕地利用功能区。[结果](1) 耕地生产、生活、生态功能分别呈现“中间高,南北低”“北高南低”“三高夹两低”的空间分布特征。(2) 耕地多功能间存在显著权衡关系,研究期内生产—生活功能权衡关系减弱,而生产—生态和生活—生态功能权衡关系增强。(3) 基于以上结果,将耕地功能区划分为农业生产主导区(25.88%)、农业发展提升区(12.94%)、生态农业维持区(45.88%)、协同潜力提升区(5.88%)、城镇农业建设区(9.41%),优化新疆耕地利用格局。[结论]基于耕地功能分区提出差异化权衡管理措施,有利于保障粮食安全,对新疆耕地保护及多功能协同利用有一定借鉴意义。

关键词:耕地多功能; 三生空间; 权衡协同关系; 新疆

中图分类号:F301.21

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2025)01-0400-13

Multifunctional spatiotemporal characteristics of cultivated land and trade-off management in Xinjiang

Li Qifeng¹, Wang Yijie¹, Wang Haoyang², Zhang Bangbang^{1,2}

(1.College of Economics and Management, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2.College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 71900, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to examine the current imbalance in the development of ‘production-living-ecological’ functions of cultivated land, propose zoning trade-off management measures, to promote the sustainable use of cultivated land, and to drive the implementation of regional cultivated land protection policies. [Methods] The Socio-economic data from 85 counties and cities in Xinjiang from 2005 to 2020 were utilized to construct an evaluation system for the multifunctionality of cultivated land. The improved CRITIC-entropy method was used to determine index weights. Comprehensive index models, Spearman rank correlation, and bivariate spatial Moran’s I were employed to evaluate the multifunctionality of cultivated land in Xinjiang. The spatiotemporal characteristics and the trade-off and synergy relationships of the multifunctionality of cultivated land were analyzed. Xinjiang was divided into five major functional areas for cultivated land use. [Results] (1) The production, living, and ecological functions of cultivated land exhibited spatial distribution characteristics of ‘higher level in the middle, lower level in the north and

收稿日期:2024-04-06

修回日期:2024-05-03

资助项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2022D01B087);新疆维吾尔自治区社会科学基金项目(21BGL099);新疆维吾尔自治区专家顾问团决策研究与咨询项目(Jz202120)

第一作者:李奇峰(2000—),男,四川成都人,硕士研究生,主要从事粮食安全与耕地保护、农村与区域发展等方面的研究。E-mail:1843041664@qq.com

通信作者:张蚌蚌(1990—),男,河南太康人,副教授,博士生导师,主要从事耕地细碎化整治与土地评价、土地利用系统分析与乡村振兴等方面的研究。E-mail:bangbang.zhang@nwafu.edu.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

south', 'higher level in the north, lower level in the south', and 'three high areas surrounded by two low areas' respectively. (2) There were significant trade-offs among the multifunctions of cultivated land, with the production-living function trade-off weakening during the study period, while the production-ecological and living-ecological function trade-offs had intensified. (3) Based on these findings, the functional areas for cultivated land use were divided into agricultural production dominant areas (25.88%), agricultural development enhancement areas (12.94%), ecological agriculture maintenance areas (45.88%), synergy potential enhancement areas (5.88%), and urban agriculture construction areas (9.41%), to optimize the pattern of cultivated land use in Xinjiang. [Conclusion] Proposing differentiated trade-off management measures based on the functional zoning of cultivated land is beneficial for ensuring food security and provides certain reference significance for the protection and multifunctional coordinated use of the cultivated land in Xinjiang.

Keywords: multifunctional cultivated land; production-living-ecological space; trade-off and synergistic relationships; Xinjiang

耕地作为人类生存的根本命脉和维持社会发展的基础性资源,承担着多重功能^[1]。既为国民提供稳定的粮食供给,也为广大乡村人口提供生活保障,同时还为生态系统的持续稳定发挥着重要作用^[2-3]。然而,随着城镇化和工业化的快速发展,大量耕地资源被工业和建设用地侵占,导致耕地污染和荒废现象频发,耕地保护迫在眉睫^[4]。与此同时,盲目追求农作物增产而忽略耕地质量与生态负荷的土地利用模式急需转型^[5]。为此,2024年中央一号文件提出健全耕地数量、质量、生态“三位一体”的保护制度体系,更加强调了耕地的多功能性,要求在满足物质产出功能的同时,兼顾社会保障和生态安全,实现耕地“生产—生活—生态”功能的协同发展。因此,深入研究耕地的多功能性并剖析其相互作用关系,对完善耕地保护机制和保障耕地资源可持续利用具有重要意义。

耕地多能源自多功能农业理念,学者们从剖析耕地多功能内涵出发,强调耕地在具有粮食生产功能的同时,还具有经济产出、社会保障、生态服务、景观休闲等功能^[6-7],使耕地系统呈现多层次性。为充分利用耕地资源,从多功能视角开展耕地保护逐渐成为热点,相关研究借鉴国土空间规划领域的“三生空间”概念,以定性和定量结合的方式对耕地多功能定义和识别,探讨如何利用有限的耕地资源,在增加粮食和非粮食生产能力的同时,提供乡村人民生存所需的就业、经济、食品等保障,并维持耕地生态系统安全,实现多功能最大化^[8-10]。从内容来看,已有研究主要以构建多功能评价体系为基础^[11],刻画功能时空演变格局^[12-13],再测度功能间权衡协同关系^[14-15],进而制定耕地利用优化对策^[15-16];从尺度来看,已有研究多聚焦于粮食主产区^[17]、水资源丰富地区^[18]、经济带地区等^[19],并以不同行政区划分为县域^[20]、市域^[21]、省域等^[22]多层次。综上所述,既有研究对剖析耕地多功能

内涵、构建指标评价体系、测度功能间相互作用关系进行了较完整的探索,为耕地多功能权衡管理研究奠定了基础。纵观已有研究,学者们对耕地具有生产、生活、生态功能已达成共识,但在各功能指标选取的原则和标准上还存在探讨的空间;在内容上较少通过权衡协同关系的时空特征划分耕地功能区,并提出权衡管理措施;在尺度上较少关注干旱区和粮食产销平衡区。

新疆维吾尔自治区(以下简称新疆)位于中国西北边陲,地广人稀且经济基础较弱,由于气候干燥、水资源结构性短缺等自然条件及粗放管理方式的影响,该地区生态环境问题日益突出,区域间耕地利用程度存在差异较大^[23]。当前,新疆拥有大量战略后备耕地,粮食工作面临由“区内平衡、略有结余”向“区内结余、供给国家”的战略转型,具备较大的耕地利用潜力^[24-25]。为响应国家“十四五”规划的战略部署,新疆制定《新疆维吾尔自治区国土空间规划(2021—2035年)》,旨在推动形成农业生产与生态保护相融合、协调共进的国土空间开发新格局。在此背景下,本研究可明晰新疆耕地多功能时空特征和权衡协同关系,探讨耕地多功能权衡管理措施,为干旱区和粮食产销平衡区制定适宜的耕地保护与利用政策,保障粮食安全,为耕地多功能协同利用提供理论依据和决策参考。

1 研究思路框架

1.1 理论基础

研究基于耕地系统理论和农业多功能理论构建以“生产—生活—生态”功能为主体的耕地多功能理论框架(图1)。从系统论的角度看,耕地系统是一个由自然生态和社会经济组成的开放系统,既是农业生产场所和农民生计来源,也是生态系统重要组成部分,具有复杂性、不确定性等特征,受到自然环境和人类需求等不同要素的多重影响。从农业多功能理论

角度看,耕地不仅是农业生产的基础,还承载着社会文化、生态环境等多种功能。

耕地生产、生活、生态功能作为耕地多功能系统的子系统,各功能间既相互促进又相互制约,既存在积极影响又存在消极影响,为充分利用耕地多功能,需要从系统的角度来考虑这些功能的互动方式。基于上述理论,耕地“生产—生活—生态”功能权衡协同是指在充分发挥耕地生产功能的基础上,兼顾耕地生活与生态功能,通过协调各功能间的关系,提高耕地资源的利用效率,实现耕地资源的可持续利用。耕地生产功能是耕地多功能的核心,通过生产各类农产品以满足人类生存的物质与经济需求。然而,生产功能的强弱会直接影响耕地生活与生态功能,较弱的生产功能可能导致人类生活水平下降,较强的生产功能可能带来对自然生态的不利影响,如水资源、化肥地膜等化学品的粗放使用。耕地生活功能较强的地区通常具有较高的耕地生产经济效益和粮食安全保障,农民从事农业生产意愿较强,进而促进耕地生产功能;另外,为了使农业经济效益可持续,需要提高耕地生态功能,即采取科学的管理方式减少耕地资源的过度利用,防止水土流失和化学污染等现象的发生。耕地生态功能是耕地生产和生活功能的支撑,良好的生态功能不仅能够增加地均产量与产值,还能满足人类的生态需求,获得更健康的农产品和更高的生活品质。

1.2 研究技术路线

本研究基于耕地多功能权衡协同理论框架开展

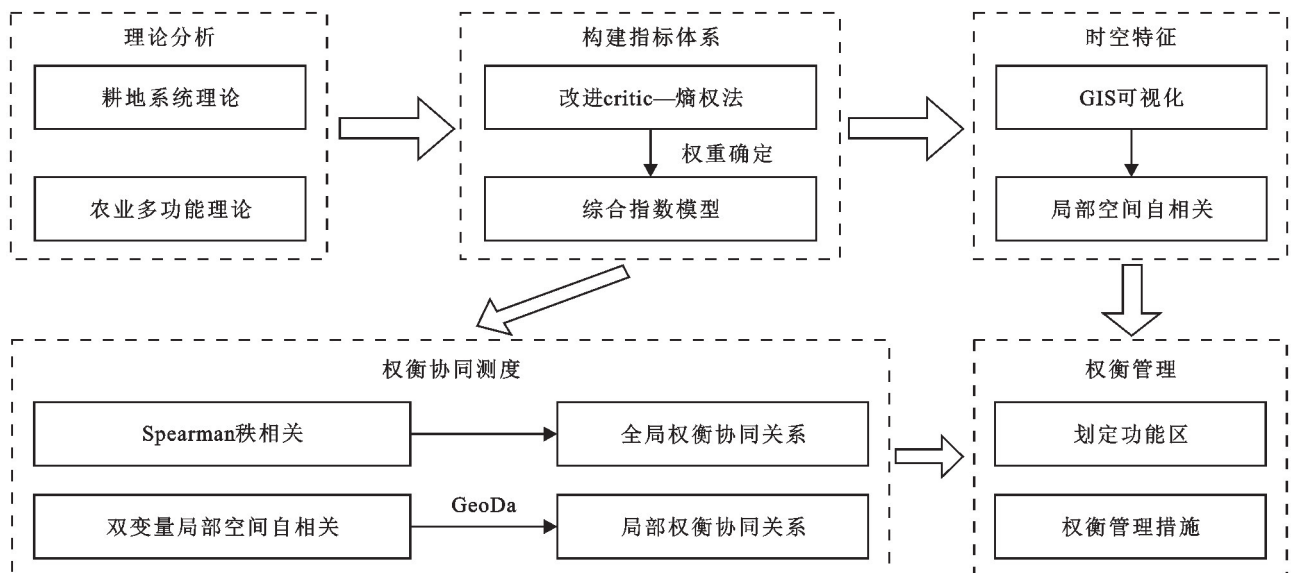


图 2 技术路线

Fig. 2 Technical roadmap

2 研究方法数据来源

2.1 耕地多功能评价体系

2.1.1 指标选取 研究基于上述理论框架,遵循科

研究,通过改进 CRITIC-熵值法确定指标权重,使用综合指数模型构建耕地多功能指标评价体系,基于 GIS 可视化通过局部空间自相关模型刻画耕地各功能时空演变特征,进而使用 Spearman 秩相关从整体角度评估耕地子功能间的权衡协同关系,通过 GeoDa 软件双变量局部空间自相关分析实现对各市县权衡协同关系的测度,最后结合新疆各县市多功能空间分布特征以及权衡协同关系进行耕地功能区划分,并依此提出差异化权衡管理措施(图 2)。

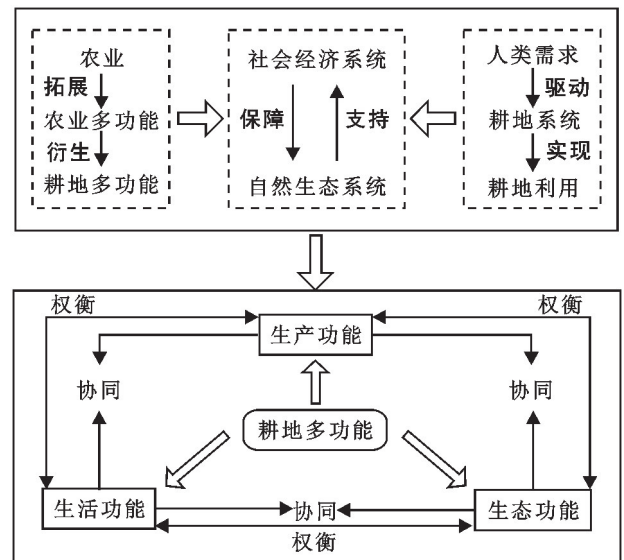


图 1 耕地多功能权衡协同理论框架

Fig. 1 Theoretical framework of trade-offs and synergy for cultivated land multifunctionality

学性、系统性和数据可获取原则,本文从生产、生活和生态三方面选取 15 个指标建立新疆 85 个县市级耕地多功能评价体系(表 1)。

(1) 生产功能:耕地生产功能对应农业生产能

力,因此选取产量、产值以及耕地利用情况三方面评价耕地生产功能。其中,选取粮食单产衡量单位面积耕地粮食生产能力^[26];选取耕地地均产值^[27]和经济作物播种面积占比^[21]衡量耕地经济产出能力;使用复种指数和耕地垦殖率来衡量耕地利用情况,分别表征农业生产强度与耕地开垦程度^[28]。

(2) 生活功能:耕地生活功能凸显了耕地独有的人地关系属性,为人类生存所需的耕地、经济、就业、粮食提供基本的社会保障。本研究选取乡村人均耕地面积表示耕地保障程度^[29];选取乡村人均农业产值体现经济保障程度,其值越高表示乡村居民农业收入水平越高^[30];选取乡村农业人口承载力衡量乡村就业保障程度,该指标值越高就对社会稳定和缓解就业压力越有利^[18]。此外,使用人均粮食占有量和粮食自给率来衡量粮食安全保障程度^[12,31]。

(3) 生态功能:耕地生态功能主要体现在农业生产中环境和生物多样性的可持续等方面^[32]。新疆水资源总量丰富但分布极度不均,气候干燥且昼夜温差较大,耕地类型大多为水浇地与旱地,近年来耕地快速扩张使新疆耕地生态问题日益突出^[33]。本研究选取化肥使用强度与地膜使用强度体现农业生产的环境负荷^[34];选取地均用水量表示农业水资源消耗程度;使用农田生态多样性指数^[35]和耕地类型生态优势度^[14]共同衡量耕地生态维持功能,其中多样性指数和水浇地占比越高,越有利于维持生物多样性和土壤湿度,改善土壤微生物的活动和土壤结构,进而促进农作物的根系发育和养分吸收。

2.1.2 指标权重确定 研究采用改进 CRITIC-熵值法确定指标权重^[36],并假设二者在权重设定上具有同等重要性。CRITIC 权重法是一种基于评价指标的对比强度和指标间的冲突性来综合衡量指标权重的客观赋权方法,但 CRITIC 权重法并不能度量指标间的离散度,而熵权法则通过评价指标间离散度来确定指标权重。为解决指标间可比性问题,研究使用极差标准化法对数据进行无量纲化处理。正向和负向指标的计算方法分别是

正向指标:

$$X_{ij} = (x_{ij} - x_{j\min}) / (x_{j\max} - x_{j\min}) \quad (1)$$

负向指标:

$$X_{ij} = (x_{j\max} - x_{ij}) / (x_{j\max} - x_{j\min}) \quad (2)$$

式中: X_{ij} 为标准化值; x_{ij} 为第 i 个地州市第 j 项指标的实际值; $x_{j\max}$ 为第 j 项指标的最大值; $x_{j\min}$ 为第 j 项指标的最小值。

CRITIC 权重法计算公式为:

$$w_1 = \frac{\frac{\sigma_j}{\bar{x}} \sum_{i=1}^n (1 - |r_{ij}|)}{\sum_{j=1}^n \left[\frac{\sigma_j}{\bar{x}} \sum_{i=1}^n (1 - |r_{ij}|) \right]} \quad (3)$$

式中: σ_j 、 \bar{x} 分别为第 j 项指标的标准差和平均值; r_{ij} 为第 i 项指标与第 j 项指标间的皮尔逊相关系数; w_1 为 CRITIC 权重法得到的权重。

熵权法计算公式为:

县 i 第 j 项指标出现的概率:

$$p_{\theta ij} = \frac{x'_{\theta ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x'_{\theta ij}} \quad (4)$$

第 j 项指标的权重:

$$w_2 = \frac{1 - \left(-\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \right)}{\sum_{i=1}^n \left[1 - \left(-\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \right) \right]} \quad (5)$$

式中: $P_{\theta ij}$ 为第 θ 年县 i 的第 j 项指标值比重; θ 为研究时长; w_2 为熵权法得到的权重。

综合两种赋权法计算第 j 项指标的综合权重为:

$$w_{ij} = (w_1 + w_2) / 2 \quad (6)$$

式中: W_{ij} 为县 i 第 j 项指标权重。

2.1.3 耕地多功能评价指标 基于上述指标权重计算,通过综合指数模型^[21]加权得到耕地生产功能、生活功能和生态功能值。计算方式如下:

$$F = \sum_{j=1}^n (x_{ij} \times w_{ij}) \quad (7)$$

式中: F 为耕地子功能评价指数; n 表示该功能评价指标总数。 F 取值区间为(0~1),数值越大则耕地多功能水平越强。

2.2 Spearman 秩相关

耕地多功能权衡协同关系的研究参考了生态系统服务权衡协调关系的分析框架^[37],权衡指的是两个子功能间相互制约,而协同则表示两个子功能同步发展或共同衰减。学者们在研究协同权衡关系的相关问题时广泛使用 Spearman 秩相关分析方法,该方法能够较准确地评估变量间线性关系的强弱^[38],进而判断耕地各功能间权衡与协同关系。本研究使用 Spearman 秩相关法计算新疆耕地生产、生活、生态功能间相互作用的强度及其正负性质。计算方法如下:

$$r_s(X_i, Y_i) = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (8)$$

式中: r_s 表示相关系数; (X_i, Y_i) 表示 n 对独立分布的数据对; P_i 为 X_j 的秩次; Q_i 为 Y_j 的秩次。相关系数为正数时,表示其存在正向的线性相关关系,即两个功能间存在协调作用。相关系数为负数时,表示其存在负

向的线性相关关系,即两个功能间存在权衡作用。当相关系数为 0 时,则表示其存在独立关系,相关性不显著。当相关系数处于(−1,1),越接近于 1 代表正相关性越强,越接近于−1 代表负相关性越强。

表 1 耕地多功能评价指标体系及权重

Table 1 Evaluation indicator system and weights for cultivated land multifunctionality

系统层	指标层	指标说明	单位	性质	权重			
					熵权法	critic 法	指标权重	功能权重
生产	粮食单产	粮食产量/粮食播种面积	kg/hm ²	+	0.045	0.213	0.129	0.303
	耕地地均产值	农业产值/耕地面积	万元/hm ²	+	0.212	0.164	0.188	
	经济作物播种面积占比	经济作物播种面积/农作物播种面积	%	+	0.162	0.326	0.244	
	复种指数	农作物播种面积/耕地面积	%	+	0.061	0.182	0.122	
	耕地垦殖率	耕地面积/土地面积	%	+	0.520	0.115	0.317	
生活	乡村人均耕地面积	耕地面积/乡村总人口	hm ² /人	+	0.434	0.134	0.284	0.484
	乡村人均农业产值	农业产值/乡村总人口	万元/人	+	0.218	0.129	0.174	
	乡村农业人口承载力	乡村农业人口/耕地面积	人/hm ²	+	0.096	0.324	0.210	
	人均粮食占有量	粮食产量/县域总人口	kg/人	+	0.139	0.206	0.172	
	粮食自给率	粮食产量/粮食需求量	%	+	0.113	0.207	0.160	
生态	化肥使用强度	化肥使用量/耕地面积	t/hm ²	—	0.174	0.164	0.169	0.213
	地膜使用强度	地膜使用量/耕地面积	kg/hm ²	—	0.175	0.181	0.178	
	单位耕地面积用水量	农业用水量/耕地面积	10 ⁴ m ³ /hm ²	—	0.073	0.138	0.105	
	耕地类型生态优势度	水浇地面积/耕地面积	%	+	0.252	0.259	0.256	
	农田生态系统多样性指数	$-\sum b_i \ln b_i$, b_i 为各作物播种面积占比		+	0.326	0.258	0.292	

2.3 空间自相关模型

本研究采用局部空间自相关模型对新疆耕地多功能空间聚集特征进行分析^[15]。局部莫兰指数(Local-Moran's I)常用于衡量研究区域内部的聚类情况,计算公式为:

$$LM=\frac{\sum_{i=1,j\neq 1}^n w_{ij} (x_i-\overline{x})(x_j-\overline{x})}{S^2}$$

(9)

式中: x_i 和 x_j 分别表示第*i*个和第*j*个县的耕地多功能各项数值; \overline{x} 表示各县耕地多功能均值; w_{ij} 表征空间权重矩阵; S^2 为各县耕地多功能数值方差。LM取值范围为[−1,1],结果大于 0 则表示耕地多功能呈现空间正相关,其值越大,空间相关性越明显;结果小于 0 则表示耕地多功能呈现空间负相关,其值越小,空间差异性越大;结果为 0 则表示耕地多功能呈现空间随机性。

本研究通过双变量局部空间自相关进一步探究新疆各县市在空间上存在的权衡协同关系。GeoDa 软件可生成双变量局部 Moran's I 的 LISA 图,并可将其得到的结果划分为“高高协同区”“高低权衡区”“低高权衡区”“低低权衡区”4 种类型。计算方式如下:

$$I_i^{KI}=\frac{x_i^K-\overline{x_K}}{S_K^2}\sum_{j=1}^n\left(w_{ij}\frac{x_j^I-\overline{x_I}}{S_I^2}\right)$$

(10)

式中: I_i^{KI} 表示县*i*的双变量局部自相关系数; x_i^K 表示县*i*第*K*项耕地功能值; x_j^I 表示县*j*第*I*项耕地功能值; $\overline{x_K}$, $\overline{x_I}$ 分别表示第*K*和第*I*项耕地功能的平

均值;其余同上。

2.4 数据来源

研究数据主要来源于 2006—2021 年《新疆统计年鉴》和 2006—2011 年《新疆调查年鉴》,部分年份数据来源于当年各地州市县国民经济与社会发展统计公报。各县市农业产值数据均来源于《新疆统计年鉴》中各地州市县(市)农林牧渔业总产值表,其中农林牧渔业总产值包含农业、林业、牧业、渔业和农林牧渔服务业产值,本文使用的农业产值即为种植业产值。耕地面积数据来源于第二次与第三次全国土地调查,样本期为 2005—2020 年。考虑到数据可得性,将乌鲁木齐市分为乌鲁木齐县和乌鲁木齐主城区;而克拉玛依市作为整体,其各区不单独划分。

3 结果与分析

3.1 耕地多功能时空特征

3.1.1 耕地生产功能时空分布特征 本研究通过自然断点法,将耕地各功能指数划分为高、较高、中等、较低、低 5 种类别,具体范围由图 3 所示。通过分析耕地生产功能各等级县市占比时序变化(表 2),可知新疆耕地生产功能整体呈上升趋势。研究期内,低与较低等级县市数量减少 7.06%,呈现下降趋势;高与较高等级县市数量增加 18.82%,呈现倒 U 形上升趋势。

2005—2020 年,新疆耕地生产功能总体呈现“中间高,南北低”的空间分布(图 3)。生产功能高值区变化较为明显,2005 年主要集中在北疆精河县、乌苏市、

沙湾县,而在 2020 年则呈现以乌苏市、高昌区、库车市、喀什市为中心的多个高值区。该分布与新疆规划建设“天北和天南两带”农产品主产区存在重合,说明近年来此类县市充分发挥天山山脉两侧丰富水资源与气候优势,提高粮食单产水平,增加经济作物播种占比。低值区零散分布在南北疆各地,研究期内变化不明显。这类地区除乌鲁木齐外,均存在不同程度的气候干燥、水资源短缺、土地荒漠化破碎化等自然条件制约,导致优质耕地相对较少,生产功能处于较低水平。

3.1.2 耕地生活功能时空分布特征 通过分析耕地生活功能各等级县市占比时序变化(表 2),可知新疆耕地生活功能整体呈上升趋势。研究期内,低与较低等级县市数量减少 14.12%,呈现 U 形下降态势;高与较高等级县市数量增加 10.59%,表现为倒 U 形上升趋势。

2005—2020 年,新疆耕地生活功能总体表现为“北高南低”的空间分布(图 3)。生活功能高值区变化较为明显,2005 年仅有高昌区和鄯善县处于较高水平,随后在 2015 年下降至中等水平。相比 2005 年,2020 年新增 8 个高水平县市,均分布在北疆地区。这与近年来该地区农业重视程度较高且地广人稀有关,使乡村人均农业产值较高,人均耕地面积较大。低值区主要集中在北疆阿勒泰地区,研究期内南

疆低值区呈现整体提升,个别县市生活功能存在下降趋势,主要由于这些地区存在农业种植结构性调整与人口数的变化。

3.1.3 耕地生态功能时空分布特征 通过分析耕地生态功能各等级县市占比时序变化(表 2),可知新疆耕地生态功能整体呈下降趋势。研究期内,低与较低等级县市数量增加 12.94%,呈现上升趋势;高与较高等级县市数量减少 18.83%,呈现 U 形下降趋势。

2005—2020 年,新疆耕地生态功能总体表现为“三高夹两低”的空间分布(图 3)。生态功能高值区变化较为明显的地区在新疆西北部,有塔城市、裕民县、额敏县、温泉县等县市生态功能水平下降。高值区主要分布在准噶尔盆地和塔里木盆地边缘绿洲区,分别位于北疆中部与南疆中部。该分布与新疆推进建立“三屏两环”为主体的生态安全战略格局所包含地区相符。说明近年来该类地区重视耕地生态保护,化肥地膜等生产资料投入较为科学,更有利于维持耕地生态。研究期内,新疆中部与东南部处于低值区的县市数量呈现增加趋势,有沙雅县、轮台县、库尔勒市等,该类县市耕地生态功能受自然环境约束,为保持耕地生产能力,农业用水等生产资料投入较大,耕地生态环境负荷较重。

表 2 新疆耕地多功能各等级县市占比

Table 2 Proportion of Xinjiang's cultivated land multifunctional counties and cities by grade					%				
年份	等级	生产功能	生活功能	生态功能	年份	等级	生产功能	生活功能	生态功能
2005	低	16.47	15.29	4.71	2015	低	20.00	7.06	10.59
	较低	22.35	42.35	7.06		较低	32.94	67.07	0
	中等	41.18	15.29	27.06		中等	27.06	35.29	41.18
	较高	20.00	8.24	15.29		较高	7.06	2.35	23.53
	高	2.35	0	44.71		高	10.59	7.06	25.88
2010	低	11.76	10.59	7.06	2020	低	16.47	16.47	7.06
	较低	25.88	51.77	10.59		较低	31.76	61.18	5.88
	中等	40.01	18.82	29.41		中等	29.42	18.82	32.94
	较高	12.94	3.53	22.35		较高	11.76	5.88	28.24
	高	4.71	3.53	29.41		高	15.29	9.41	27.06

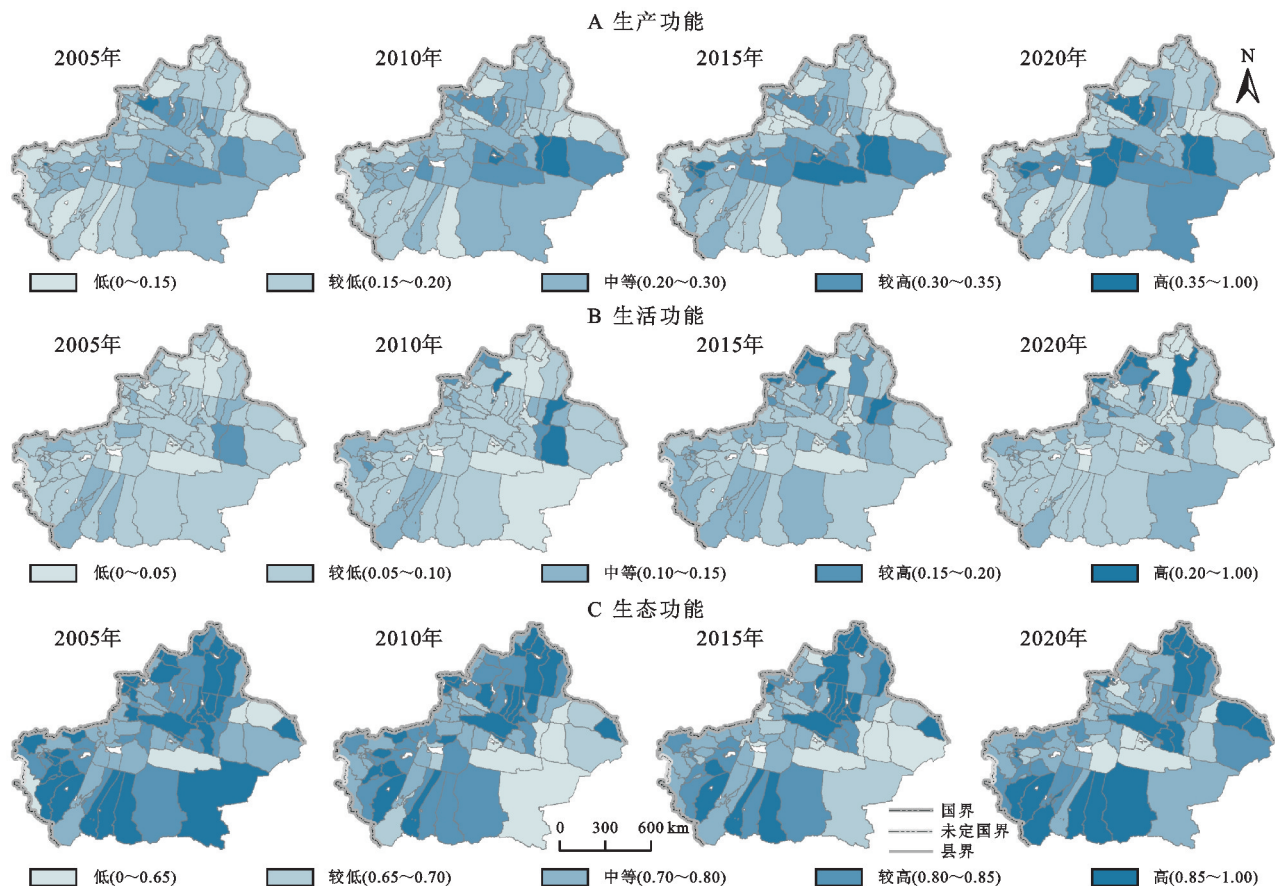
3.2 耕地多功能空间自相关分析

2005—2020 年,分析新疆耕地多功能局部空间自相关情况(图 4),可知各年份均呈现不同程度的显著聚集特征,且不同年份间差异较大。具体来说:(1) 2005 年耕地生产功能在中部和北部地区分别呈现高高聚集和低低聚集。2020 年变化为中部地区高高聚集,北部地区低低聚集程度下降,西南地区新增低高聚集和低低聚集情况。高高和低低聚集区变化较少,前者主要是由于该聚集区地处天山山脉南北坡,具有重视农业生产的传统,后者主要是受区位因素所致,该类聚集区地处山地和高海拔地区,不适宜开展农业生产。(2) 2005 年耕地生活

功能在北疆克拉玛依市呈现高低聚集,其周围区县呈现低低聚集,以及吐鲁番市的两区县高高聚集。2020 年转变为北疆西北部包含克拉玛依市与塔城地区形成的高高聚集,伊犁州三区形成的低高聚集区。生活功能高聚集区分布在北疆,主要由于北疆相比南疆具有天然优势,交通便利,各类物资充足,对生活功能的保障程度较高。同时也可以发现南疆耕地生活功能低低聚集情况存在明显减弱趋势,这是由于新疆近年来致力于补齐南疆各项短板,引进农业人才,调动农业生产积极性,使得南疆耕地生活功能得到提升。(3) 2005 年耕地生态功能在北疆呈现高高与低高聚集,在东疆哈密市表现为低

低和高低聚集,在南疆巴州呈现高高和高低聚集。2020 年,耕地生态功能在西疆天山两端呈现低低聚集,在南疆巴州、和田地区分别表现为低低和高高聚集,而北疆则维持与 2005 年相同的聚集特征,东疆聚集情况消失。近年来低低聚集区新增在新疆中西部,该聚集区分布在

阿克苏和伊犁河谷地区,例如 2021 年阿克苏地区棉花产量排名全疆第一,而干旱区生产棉花主要依靠滴灌技术,对水资源需求较大,并且需要大量使用农膜防止水分蒸发,因此势必造成农业用水、农膜等生产资料过度投入,降低耕地生态功能。



注:该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2022)1873 号的标准地图制作,底图边界无修改,下同。

图 3 新疆耕地多功能时空分布

Fig. 3 Spatiotemporal distribution of Xinjiang's cultivated land multifunctionality

3.3 耕地多功能权衡与协同关系

耕地子功能间存在不同程度的交互关系,本研究对 2005—2020 年新疆耕地多功能各单项功能值两两计算 Spearman 秩相关系数。如表 3 所示,生产—生活功能在所有年份均呈现权衡关系,2005 年、2020 年为显著权衡,且权衡关系随着时间存在倒 V 形的先减弱后增强,呈现总体下降趋势;生产—生态功能在研究期内均为权衡关系,2015 年、2020 年为显著权衡,且权衡关系随着时间表现为倒 V 形的先减弱后增强,呈现总体增强趋势;生活—生态功能除 2005 年呈现不显著权衡关系外,其余年份均表现为显著权衡关系,且权衡关系整体呈现为倒 V 形增强趋势。

为进一步剖析新疆各县市间耕地多功能存在的权衡协同关系,通过双变量局部空间自相关分析其空间格局(图 5),可以发现在 2015 年后存在显著权衡或协同关系的县市均分布在北疆。在 2020 年,具

体来看:(1) 生产—生活功能在塔城市、裕民县、额敏县、托里县呈现显著低高权衡关系,在和布克赛尔蒙古自治县和乌苏市呈现显著高高协同关系,在乌鲁木齐市和福海县呈现显著低低协同关系。其中乌苏市经济作物播种面积高达 84%,耕地经济产出和经济保障能力较为突出,是其生产—生活功能高高协同的主要原因;福海县则由于经济作物播种面积仅为 18%,且乡村人口较多,导致生产—生活功能低低协同,而乌鲁木齐市作为人口众多的省会城市,呈现明显的非农业主导发展模式,耕地生产—生活功能协同程度较低。(2) 生产—生态功能在和布克赛尔蒙古自治县和阜康市呈现显著高高协同关系,在哈巴河县、布尔津县、吉木乃县、富蕴县、乌鲁木齐县处于显著低高权衡关系,在博乐市处于显著高低权衡关系。其中阜康市由于南靠天山,水资源丰富,气候较为湿润,使其单位面积农业用水量较少,因此该地

生产—生态功能呈现高高协同;处于低高权衡的地区主要由于地处山地和荒漠,水资源短缺导致当地农业生产水平较低。(3) 生活—生态功能在乌鲁木齐、阜康市、富蕴县、和布克赛尔蒙古自治县、哈巴河县、布尔津县、吉木乃县处于显著低高权衡状态,而博

乐市呈现显著高低权衡关系。处于生活—生态功能低高权衡的县市与生产—生态功能低高权衡的县市存在部分重合,可能是由于区位原因导致这些地区不适宜农业生产,耕地社会保障能力弱,因此耕地生态功能处于较高水平。

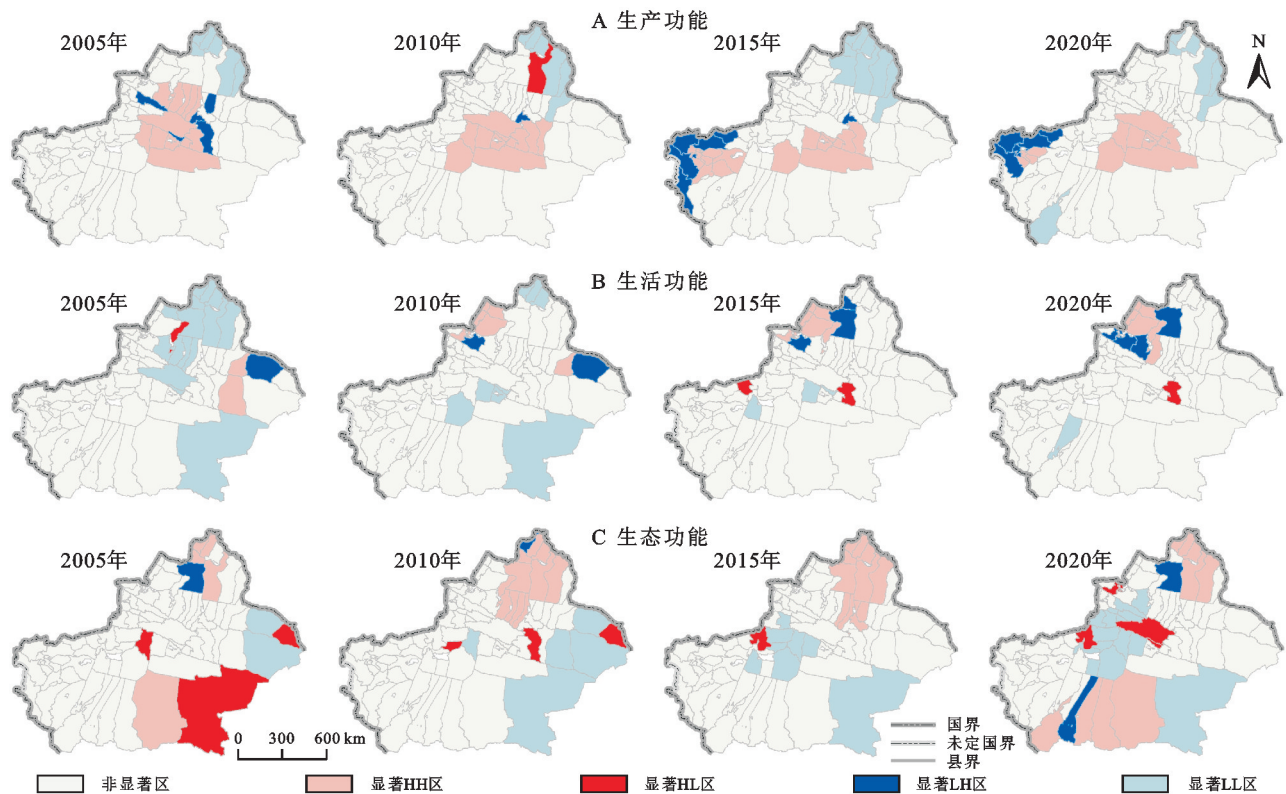


图 4 新疆耕地多功能单变量局部自相关

Fig. 4 Local-Moran's I of a single variable of Xinjiang's cultivated land multifunctionality

表 3 新疆耕地多功能间 Spearman 秩相关

Table 3 Spearman correlation table for Xinjiang's cultivated land multifunctionality

年份	生产—生活	生产—生态	生活—生态
2005	-0.265***	-0.119	-0.042
2010	-0.137	-0.041	-0.262***
2015	-0.048	-0.158*	-0.307***
2020	-0.193**	-0.223**	-0.215**

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 的水平上显著。

3.4 耕地多功能权衡管理措施

耕地功能区首先依据《新疆维吾尔自治区国土空间规划》中对自治区农业与生态格局规划要求,加以考虑各县市子功能间空间聚集情况与权衡协同关系,初步划定为 4 类:农业生产主导区、农业发展提升区、生态农业维持区、协同潜力提升区。从上述划分的功能区中筛选出 14 个地州市的首府城区,考虑各城区农业产业占生产总值比重,将部分地州市首府城区单独划定为城镇农业建设区(图 6)。具体分区原则(表 4)和权衡管理措施为:

(1) 农业生产主导区(25.88%):要重点关注此类地区耕地生产功能,防止“非粮化”和“非农化”现

象,实施最严格地管控耕地用途,守住粮食安全的底线。处于天山北坡的该功能区应在现有的耕地基础上加快建设高标准农田,增加粮食产量并提高农业经济效益;处于天山南坡的该功能区则应依托特色林果和棉花等经济作物种植传统,在保持耕地生态安全的基础上优化种植规模,适当增加粮食播种面积,提高粮食保障程度。由于该功能区农业生产占主导地位,耕地生产—生态功能和耕地生产—生活功能在整体上存在显著权衡关系。前者是由于农业生产中投入了大量资源如水、化肥、农膜等,对自然环境和土壤质量有负面影响。因此需要长期关注地下水资源等自然环境的变化,定期检测土壤中化学物质残留情况,科学投入生产资料,对施用绿色化肥和可降解农膜的从业者进行补贴,弱化功能间权衡关系。后者可能是由于土地垦殖率越高的地区,乡村人口越多,使乡村人均耕地面积、人均农业产值、人均粮食占有量相应减少。因此更应聚焦于提升耕地利用效率,通过提高单位面积产量和经济产出,增加乡村人均收入等方式,改善耕地生活功能,弱化其与生产功能间的权衡关系。

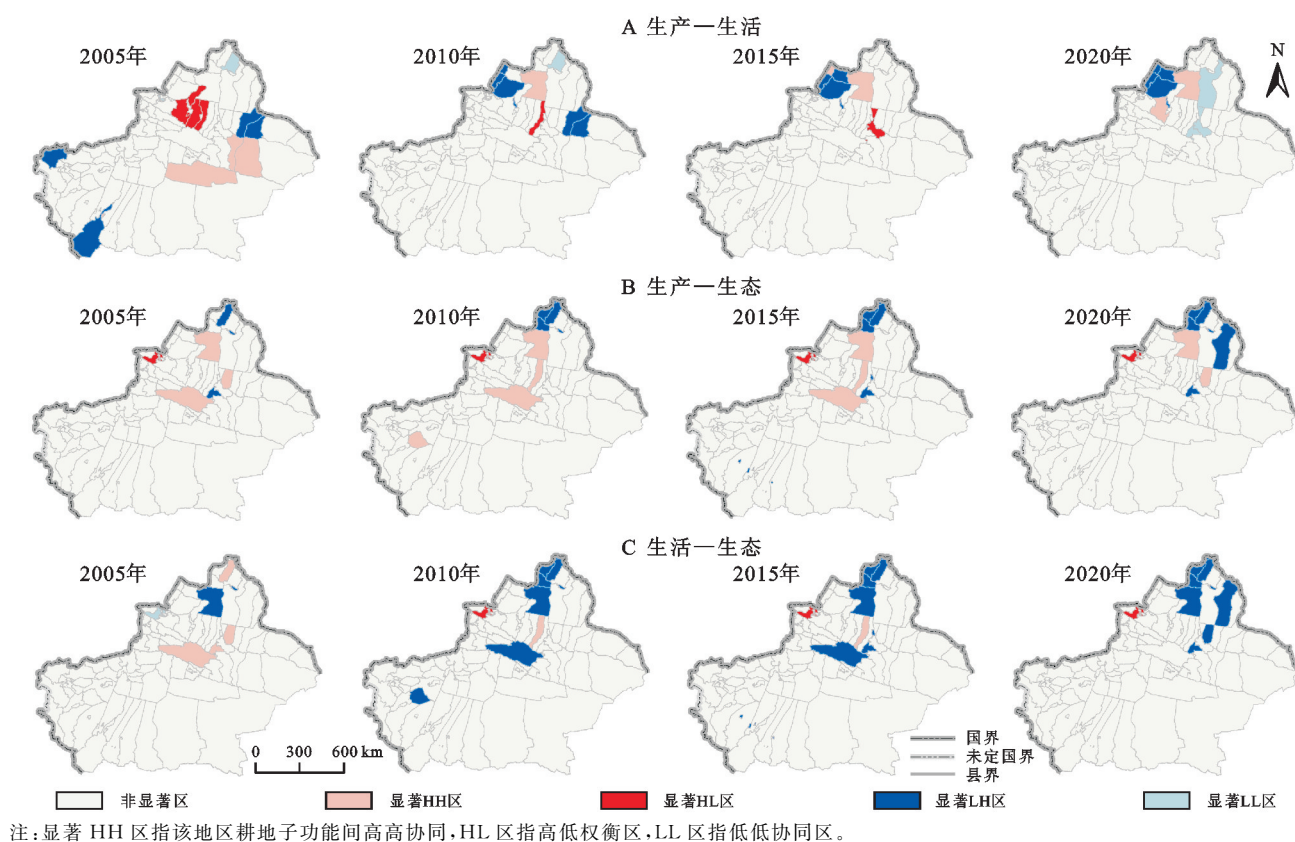


Fig. 5 Local-Moran's I of two variables of Xinjiang's cultivated land multifunctionality

(2) 农业发展提升区 (12.94%): 该功能区耕地生态功能较高, 生产和生活功能处于中等水平以上, 并不存在显著权衡地区。鉴于该地区分布零散且部分县市内存在河流流经, 应充分利用这些水资源丰富的流域, 在其周边地区合理开发耕地, 构建符合高标准要求的农田。同时, 必须实行严格的农业用水管理制度, 并与上游流域的县市共同合作, 合理开发和利用水资源, 确保流域生态得到有效保护。应探索适宜当地的农业种植结构, 提高现有的农业生产规模化水平, 集约化利用耕地资源, 增加农业产值, 培养农业生产上下游产业, 提供更多的农业就业岗位, 促进耕地多功能间形成协同效应。

(3) 生态农业维持区 (45.88%): 要着重关注该功能区的耕地生态, 对耕地生态功能较弱地区实行现有耕作方案的调整, 水资源有限的地区应尽量维持现有的耕地面积和种植规模; 水资源极度匮乏地区应严格限制地下水资源开采, 尝试开展节水型农业或实施“退耕还水”。对于耕地生态功能较高但生产和生活功能较低的县市, 通常位于难以开展规模化农业生产的地区, 应考虑结合当地地理条件, 在水资源相对丰富且地势平坦的地区适度开展农业, 制定科学且严格的耕地保护措施, 规划果树林木尽量上山上坡, 将优质耕地留给粮食作物。对上述地区, 应定期摸排不合

理耕地利用方式并进行劝阻教育, 宣传环保型农业化学投入品, 严格执行适宜本地的耕地保护措施, 使耕地生态—生产和生态—生活功能向协同关系转变。

(4) 协同潜力提升区 (5.88%): 该功能区中耕地生产—生态功能处于高高协同的区县, 同时其耕地生活—生态功能处于低高权衡关系。这类地区拥有较好的自然资源优势, 土壤肥沃且耕地生产能力较强, 具备耕地利用水平再提升的潜力, 应适度开垦耕地, 增加经济作物播种面积, 提高人均耕地面积和人均农业产值等耕地生活功能相关指标, 使耕地生活—生态功能权衡关系减弱, 逐渐向耕地多功能协同发展。要着重关注此功能区中耕地生产—生活功能低低协同区, 虽然其表现为低水平协同关系, 但由于该功能区耕地生态功能处于较高水平, 说明该地区耕地生态—生活或生态—生产功能存在提升潜力, 可改善农业种植规模和结构并适当加大生产资料的投入, 并严格防止耕地“非粮化”和“非农化”现象。通常这类地区还存在耕地细碎化问题, 对此应通过耕地互换、小田并大田等耕地治理方式加强耕地集约化利用程度, 提高农业现代化水平, 运用农业机械耕作, 提高耕地利用效率。在不触及粮食安全红线即人均粮食占有量 400 (kg/人) 的基础上适当增加经济作物播种面积占比, 增加地均经济产出和产量, 以此提高耕地生产—生活功能协同水平, 降

低耕地生态—生产和生态—生活功能高低权衡关系。

(5) 城镇农业建设区(9.41%):这类功能区呈现非农业主导的经济发展模式,且面临较为快速的城镇化进程,城市用地呈现扩张趋势,因此需要严格执行耕地占补平衡制度,确保耕地面积总量不减少,质量不降低。原则上应禁止开发国家划定的基本农田,坚决防止城乡交界处耕地出现撂荒或非农化现象。同时城镇周边也存在部分耕地与工业建筑用地接壤,因此需要督促企业对工业建筑垃圾进行无害化处理后

排放,防止造成周围土壤污染,影响耕地质量。在土地与人口城镇化双重影响下,如何在有限耕地中提高产量和产值是该功能区发展中的主要问题,故应采取与传统农业不同的差异化发展模式,即在不降低现有耕地生态功能水平的基础上,不追求提高土地垦殖率,通过集约化规模化提高耕地利用效率,增加粮食产量,为城镇周边的乡村农业人口提供更高的人均农业产值,增加乡村人均收入,缩小城乡差距,促进耕地生产—生活功能向协同关系发展。

表 4 新疆耕地功能区划分原则

Table 4 Principles of functional zoning in Xinjiang

功能区类型	功能区划分原则与流程
农业生产主导区	(1) 选取《新疆维吾尔自治区国土空间规划》中“天北和天南两带”农业战略格局所属地区 (2) 选取生产—生态功能高高地区 (3) 将(1),(2)所选区叠加保留重叠地区 (4) 剔除城镇农业建设区所含地区
农业发展提升区	(1) 选取生态功能较高地区 (2) 选取生产和生活功能中等以上地区 (3) 将(1),(2)所选区叠加保留重叠地区 (4) 剔除城镇农业建设区所含地区
生态农业维持区	(1) 选取《新疆维吾尔自治区国土空间规划》中“三屏两环”生态战略格局所属地区 (2) 选取生态功能低值地区 (3) 选取生态—生产和生态—生活功能高低地区 (4) 将(1),(2)所选地区叠加保留重叠地区 (5) 将(1),(3)所选地区叠加保留重叠地区 (6) 合并(4),(5)地区 (7) 剔除城镇农业建设区所含地区
协同潜力提升区	(1) 选取耕地生产—生活与生产—生态功能显著协同地区 (2) 剔除城镇农业建设区所含地区
城镇农业建设区	(1) 选取各地州市首府城市 (2) 选取一产产值/GDP 低于 20%的地区 (3) 将(1),(2) 所选地区叠加保留重叠地区

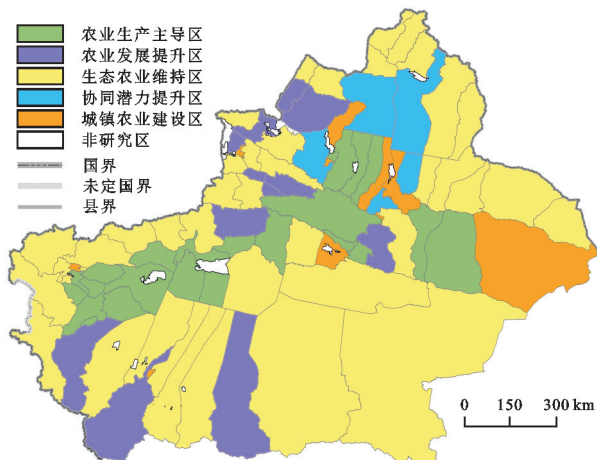


图 6 新疆耕地多功能区划分

Fig. 6 Division of functional areas for Xinjiang’s cultivated land

4 讨论

本研究选取 2005—2020 年作为样本期,通过多视角评价新疆县域耕地多功能时空演变,识别耕地多功能间权衡与协同关系,探讨耕地功能区划分并提出对

应的差异化权衡管理措施,既丰富了我国干旱与粮食产销平衡区耕地多功能研究,也对新疆各县市科学有效地配置农业生产资料,制定耕地保护措施至关重要。

本研究评价耕地多功能并刻画其时空分布,得出新疆耕地生产—生活—生态功能依次呈现“中间高,南北低”“北高南低”“三高夹两低”的空间分异特征,这与牛雅萱等^[39]对新疆县市多功能时空变化的研究结果基本一致,但生态功能分布存在部分不同,主要是因为其研究基于国土空间视角评价生态维持功能,将草地、森林等相关生态指标纳入评价体系,与本研究针对的耕地生态功能指标较为不同。本研究根据新疆各县市耕地多功能权衡协同关系计算结果及其空间分布图,将耕地功能区划分为 5 类,包含农业生产主导区、农业发展提升区、生态农业维持区、协同潜力提升区、城镇农业建设区,并提出相应的权衡管理措施,这与新疆提出构建农业“天北和天南两带”和生态安全“三屏两环”战略格局大体相同。

综上,本研究探讨了耕地多功能时空特征及其权

衡协同关系,存在以下不足之处:(1) 指标体系。各项指标受限于宏观尺度和数据获取的难易性,对研究结果的精确性存在一定影响。(2) 研究内容。在功能分区原则中存在对地理环境、气候、自然资源等区位因素考虑不全面的情况,未能进一步探究不同功能区背后的驱动因素。未来还应针对新疆各县市在耕地保护与利用环节中存在的具体挑战,从宏微观结合的角度完善权衡管理措施,寻找缩小区域间耕地多功能发展不平衡不充分的对策,实现耕地多功能协同发展。

5 结论

(1) 新疆耕地多功能时空分异明显。2005—2020年新疆耕地多功能均存在不同程度的下降。具体来说,耕地生产功能表现为“中间高,南北低”的空间分布,呈逐年上升趋势;耕地生活功能表现为“北高南低”的空间分布,呈倒V形下降趋势;耕地生态功能表现“三高夹两低”的空间分布,呈V形下降趋势。

(2) 新疆耕地多功能间权衡关系显著,并存在局部权衡与协同地区。具体来看,耕地生产—生活功能权衡关系有减弱趋势,北疆局部存在高高协同、低高权衡、低低协同关系;耕地生产—生态功能权衡关系呈增强趋势,北疆局部呈现高高协同、高低权衡、低高权衡;耕地生活—生态功能权衡关系有增强趋势,全疆范围内未出现协同地区,北疆局部呈高低或低高权衡关系。

(3) 新疆耕地功能区划分为5类,包含农业生产主导区(25.88%)、农业发展提升区(12.94%)、生态农业维持区(45.88%)、协同潜力提升区(5.88%)、城镇农业建设区(9.41%)。具体来说,农业生态主导区主要分布在天山山脉南北两端,农业发展提升区零散分布在全疆各地,生态农业维持区主要分布在“三屏两环”所属地区,协调潜力提升区分布在北疆中部地区,城镇农业建设区分布在部分首府城市。

参考文献(References):

- [1] 孔祥斌,张蚌蚌,温良友,等.基于要素-过程-功能的耕地质量理论认识及其研究趋势[J].中国土地科学,2018,32(9):14-20.
Kong X B, Zhang B B, Wen L Y, et al. Theoretical framework and research trends of cultivated land quality based on elements-process-function[J]. China Land Science, 2018, 32(9): 14-20.
- [2] 史常亮,张益,郭焱,等.耕地细碎化对农户化肥使用效率的影响[J].自然资源学报,2019,34(12):2687-2700.
Shi C L, Zhang Y, Guo Y, et al. The impact of land fragmentation on farmer's chemical fertilizer use efficiency[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(12): 2687-2700.
- [3] 王文旭,曹银贵,苏锐清,等.我国耕地保护政策研究:基于背景、效果与未来趋势[J].中国农业资源与区划, 2020, 41(10): 40-51.
Wang W X, Cao Y G, Su R Q, et al. Cultivated land protection policy in China: background, effect and future trends[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(10): 40-51.
- [4] Deng X Z, Huang J K, Rozelle S, et al. Impact of urbanization on cultivated land changes in China[J]. Land Use Policy, 2015, 45: 1-7.
- [5] 谷国政,施琳娜,文琦,等.乡村空心化治理视角下区域耕地多功能与价值耦合协调研究[J].地理科学进展, 2024, 43(3): 587-602.
Gu G Z, Shi L N, Wen Q, et al. Coupling and coordination of the multifunction and value of arable land at the regional scale from the perspective of rural hollowing governance[J]. Progress in Geography, 2024, 43(3): 587-602.
- [6] 宋小青,欧阳竹.耕地多功能内涵及其对耕地保护的启示[J].地理科学进展,2012,31(7):859-868.
Song X Q, Ouyang Z. Connotation of multifunctional cultivated land and its implications for cultivated land protection[J]. Progress in Geography, 2012, 31(7): 859-868.
- [7] 姜广辉,张凤荣,孔祥斌,等.耕地多功能的层次性及其多功能保护[J].中国土地科学,2011,25(8):42-47.
Jiang G H, Zhang F R, Kong X B, et al. The different levels and the protection of multi-functions of cultivated land[J]. China Land Science, 2011, 25(8): 42-47.
- [8] 金贵,郭柏枢,成金华,等.基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J].地理学报,2022,77(3):534-546.
Jin G, Guo B S, Cheng J H, et al. Layout optimization and support system of territorial space: an analysis framework based on resource efficiency[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(3): 534-546.
- [9] 黄安,许月卿,卢龙辉,等.“生产-生活-生态”空间识别与优化研究进展[J].地理科学进展,2020,39(3):503-518.
Huang A, Xu Y Q, Lu L H, et al. Research progress of the identification and optimization of production-living-ecological spaces[J]. Progress in Geography, 2020, 39(3): 503-518.
- [10] 邹利林,李裕瑞,刘彦随,等.基于要素视角的耕地“三生”功能理论建构与实证研究[J].地理研究,2021,40(3):839-855.
Zou L L, Li Y R, Liu Y S, et al. Theory building and empirical research of production-living-ecological function of cultivated land based on the elements[J]. Geographical Research, 2021, 40(3): 839-855.
- [11] 殷如梦,李欣,曹锦秀,等.江苏省耕地多功能利用权衡/协同关系研究[J].南京师大学报:自然科学版,

- 2020,43(1):69-75.
- Yin R M, Li X, Cao J X, et al. Study on the trade-off/synergy of multifunctional cultivated land in Jiangsu Province[J]. Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition, 2020,43(1):69-75.
- [12] 张玥,代亚强,陈媛媛,等.中国耕地多功能耦合协调时空演变及其驱动因素[J].农业工程学报,2023,39(7):244-255.
- Zhang Y, Dai Y Q, Chen Y Y, et al. Spatial-temporal evolution and driving factors of cultivated land multifunctional coupling coordination development in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023,39(7):244-255.
- [13] 牛海鹏,赵晓鸣,肖东洋,等.黄河流域(河南段)耕地多功能时空格局演变及其权衡协同关系[J].农业工程学报,2022,38(23):223-236.
- Niu H P, Zhao X M, Xiao D Y, et al. Spatial-temporal pattern evolution and trade-off relationship of cultivated land multifunction in the Yellow River Basin(Henan Section) [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022,38(23):223-236.
- [14] 罗莎莎,赖庆标,王旭东,等.基于多功能评价与权衡-协同关系的福建省耕地地区划管控[J].农业工程学报,2023,39(13):271-280.
- Luo S S, Lai Q B, Wang X D, et al. Control and management of cropland regionalization in Fujian Province of China using multi-functional evaluation and trade-off/synergy relationships [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023,39(13):271-280.
- [15] 钱凤魁,迟艳茹,徐欢,等.2006—2020年沈阳市耕地多功能权衡协同关系演变分析[J].中国土地科学,2022,36(10):31-41.
- Qian F K, Chi Y R, Xu H, et al. Study on evolution of trade-off and synergy relationship of multifunctional cultivated land from 2006 to 2020: a case of Shenyang City[J]. China Land Science, 2022,36(10):31-41.
- [16] 戈大专,龙花楼.论乡村空间治理与城乡融合发展[J].地理学报,2020,75(6):1272-1286.
- Ge D Z, Long H L. Rural spatial governance and urban-rural integration development[J]. Acta Geographica Sinica, 2020,75(6):1272-1286.
- [17] 向慧,周春梅,彭保发,等.湖南省武陵山片区耕地多功能的时空演变及分区优化[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2023,49(6):714-722.
- Xiang H, Zhou C M, Peng B F, et al. The spatiotemporal evolution of cultivated land's multi-functions and its zoning optimization in Wuling Mountain Area of Hunan Province [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2023,49(6):714-722.
- [18] 张宇佳,蔡海生,张学玲,等.鄱阳湖平原耕地多功能时空演变及其驱动机制[J].水土保持通报,2023,43(3):245-253.
- Zhang Y J, Cai H S, Zhang X L, et al. Multi-functional spatiotemporal evolution of cultivated land and its driving mechanisms in Poyang Lake plain [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023,43(3):245-253.
- [19] 张利国,陆汝成,马国斌,等.珠江-西江经济带广西段耕地多功能利用及优化策略[J].水土保持研究,2024,31(3):276-286.
- Zhang L G, Lu R C, Ma G B, et al. Multifunctional utilization and optimization strategy of cultivated land in Guangxi section of Pearl River-Xijiang River economic belt [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024,31(3):276-286.
- [20] 范业婷,金晓斌,项晓敏,等.苏南地区耕地多功能评价与空间特征分析[J].资源科学,2018,40(5):980-992.
- Fan Y T, Jin X B, Xiang X M, et al. Evaluation and spatial characteristics of arable land multifunction in southern Jiangsu [J]. Resources Science, 2018,40(5):980-992.
- [21] 李怡,方斌,李裕瑞,等.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, et al. 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.
- [22] 刘宝涛,陆鹏,刘帅,等.中国粮食主产区耕地多功能时空格局及其优化[J].华东经济管理,2021,35(12):92-99.
- Liu B T, Lu P, Liu S, et al. The spatio-temporal pattern and optimization of multifunctional cultivated land in China's major grain producing areas [J]. East China Economic Management, 2021,35(12):92-99.
- [23] 孟梅,杨雅薇,杨磊.新疆耕地后备资源开发与生态环境耦合关系研究[J].浙江农业学报,2020,32(3):543-551.
- Meng M, Yang Y W, Yang L. Study on coupling relationship between reserve resources development and ecological environment of cultivated land in Xinjiang [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2020,32(3):543-551.
- [24] 张志高,范留飞,马晓慧,等.2007—2015年新疆粮食增产格局及贡献因素研究[J].干旱区资源与环境,2018,32(9):71-75.
- Zhang Z G, Fan L F, Ma X H, et al. Spatial-temporal patterns of Xinjiang's grain output increase and the contribution factors during 2007—2015 [J]. Journal of

- Arid Land Resources and Environment, 2018, 32(9): 71-75.
- [25] 邓铭江.天山北坡经济带“三生空间”发展格局与智能水网体系建设[J].干旱区地理, 2020, 43(5): 1155-1168.
- Deng M J. Development pattern of production-living-ecological spaces and construction of a smart water network system for the Economic Belt on the North Slope of the Tianshan Mountains[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(5): 1155-1168.
- [26] 张丝雨, 胡伟艳, 赵可, 等.耕地多功能与农业绿色全要素生产率耦合协调发展研究[J].世界农业, 2022(11): 83-97.
- Zhang S Y, Hu W Y, Zhao K, et al. Study on the coupling and coordinated development of multifunctional cultivated land and agricultural green total productivity[J]. World Agriculture, 2022(11): 83-97.
- [27] 向敬伟, 廖晓莉, 宋小青, 等.中国耕地多功能的区域收敛性[J].资源科学, 2019, 41(11): 1959-1971.
- Xiang J W, Liao X L, Song X Q, et al. Regional convergence of cultivated land multifunctions in China[J]. Resources Science, 2019, 41(11): 1959-1971.
- [28] 卫新东, 林良国, 罗平平, 等.耕地多功能耦合协调发展时空格局与驱动力分析[J].农业工程学报, 2022, 38(4): 260-269.
- Wei X D, Lin L G, Luo P P, et al. Spatiotemporal pattern and driving force analysis of multi-functional coupling coordinated development of cultivated land[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(4): 260-269.
- [29] 张英男, 龙花楼, 戈大专, 等.黄淮海平原耕地功能演变的时空特征及其驱动机制[J].地理学报, 2018, 73(3): 518-534.
- Zhang Y N, Long H L, Ge D Z, et al. Spatio-temporal characteristics and dynamic mechanism of farmland functions evolution in the Huang-Huai-Hai Plain[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(3): 518-534.
- [30] 钱磊, 党明.西安市农业多功能评价及功能分区研究[J].中国农业资源与区划, 2023, 44(9): 203-211.
- Qian L, Dang M. Study on multi-function evaluation and function division of agriculture in Xi'an[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, 44(9): 203-211.
- [31] 朱庆莹, 胡伟艳, 赵志尚.耕地多功能权衡与协同时空格局的动态分析:以湖北省为例[J].经济地理, 2018, 38(7): 143-153.
- Zhu Q Y, Hu W Y, Zhao Z S. Dynamic analysis on spatial-temporal pattern of trade-offs and synergies of multifunctional cultivated land: evidence from Hubei province[J]. Economic Geography, 2018, 38(7): 143-153.
- [32] 靳文娟, 边振兴, 魏忠义, 等.沈阳城市周边耕地多功能评价[J].中国农业资源与区划, 2019, 40(5): 166-173.
- Jin W J, Bian Z X, Wei Z Y, et al. Multi-functional evaluation of cultivated land in peri-urban areas of Shenyang City[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(5): 166-173.
- [33] 孙德华, 刘维忠, 盛洋.干旱区耕地安全压力测试及时空演变特征研究:以新疆为例[J].资源开发与市场, 2022, 38(7): 792-800.
- Sun D H, Liu W Z, Sheng Y. Pressure test and spatial-temporal evolution characteristics of cultivated land safety in arid areas: a case study of Xinjiang[J]. Resource Development & Market, 2022, 38(7): 792-800.
- [34] 谷国政, 宋戈.辽宁省耕地多功能演变及其价值响应研究[J].中国土地科学, 2022, 36(12): 103-116.
- Gu G Z, Song G. Study on the evolution of cultivated land multifunction and its value response in Liaoning Province[J]. China Land Science, 2022, 36(12): 103-116.
- [35] 朱从谋, 李武艳, 杜莹莹, 等.浙江省耕地多功能价值时空变化与权衡-协同关系[J].农业工程学报, 2020, 36(14): 263-272.
- Zhu C M, Li W Y, Du Y Y, et al. Spatial-temporal change, trade-off and synergy relationships of cropland multifunctional value in Zhejiang Province, China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(14): 263-272.
- [36] 傅为忠, 储刘平.长三角一体化视角下制造业高质量发展评价研究:基于改进的 CRITIC-熵权法组合权重的 TOPSIS 评价模型[J].工业技术经济, 2020, 39(9): 145-152.
- Fu W Z, Chu L P. Research on the evaluation of high quality development of manufacturing industry from the perspective of integration of the Yangtze River Delta: topsis evaluation model based on improved CRITICAL-Entropy weight method[J]. Journal of Industrial Technology and Economy, 2020, 39(9): 145-152.
- [37] Zou L L, Liu Y S, Yang J X, et al. Quantitative identification and spatial analysis of land use ecological-production-living functions in rural areas on China's southeast coast[J]. Habitat International, 2020, 100: 102182.
- [38] Spearman C. The proof and measurement of association between two things[J]. International Journal of Epidemiology, 2010, 39(5): 1137-1150.
- [39] 牛雅莹, 吴世新, 郭晨宇, 等.新疆县市“三生”功能时空变化及耦合协调性分析[J].干旱区地理, 2021, 44(6): 1821-1835.
- Niu Y X, Wu S X, Guo C Y, et al. Spatio-temporal changes and coupling coordination of the function of “production-living-ecological” in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(6): 1821-1835.