

李晨毓, 苗伟明, 曹璇, 等. 中国旱区农业生态补偿需求的时空分异特征及优化路径[J]. 中国沙漠, 2026, 46(4): 266–279.

中国旱区农业生态补偿需求的时空分异特征及优化路径

李晨毓¹, 苗伟明¹, 曹璇¹, 李随红¹, 杨洋²

(1. 兰州财经大学 农林经济管理学院, 甘肃 兰州 730101; 2. 常州大学 吴敬琏经济学院, 江苏 常州 213159)

摘要: 中国干旱半干旱区是维护国家粮食安全与生态安全的战略核心区域, 农业生态补偿是统筹该区域生态保护与农户生计的关键政策工具。本文以中国旱区涉及的153个市级单元为研究对象, 构建了涵盖资源环境约束、农业生计依赖、经济支付能力、社会支撑条件的旱区农业生态补偿需求评价体系, 运用熵权-TOPSIS、障碍度模型及方差分解等方法, 按照西北、华北、东北分区探索了补偿需求的时空分异、核心限制因子及政策优先级等。结果表明: (1) 补偿需求呈现三区各自集聚、整体梯度递减的空间格局, 西北集聚区规模最大、连片性最强。(2) 补偿需求区域差异显著, 西北在均值及高值段居首, 东北中位数最高, 华北整体最低; 需求的影响因素方面, 华北与西北水资源主导, 东北多因子均衡驱动。(3) 第一产业增加值占比是限制需求水平的主要因子, 人均用水量是需求水平空间分异的主导因素, 水资源类指标对空间分异的总贡献度超70%。(4) 补偿应侧重新疆西部等高政策优先级区域。据此, 提出分区差异化补偿、补偿标准动态调整、多元资金保障及全流程监管等建议, 为旱区农业生态补偿制度优化提供科学依据。

关键词: 旱区农业; 生态补偿; 空间格局; 优化路径

文章编号: 1000-694X(2026)04-266-14

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2026.00080

中图分类号: F205

文献标志码: A

0 引言

中国干旱半干旱区域分布广阔, 横跨西北、华北及东北地区^[1-2], 既包含重要的粮食生产基地, 也囊括防风固沙、水土保持、水源涵养的关键生态屏障区, 维系着区域生态平衡与农户生计^[3-4]。然而, 受水资源匮乏、生态系统脆弱等自然禀赋制约, 区域农业开发、民生保障与资源承载力之间的矛盾易导致生态与生计的双重失衡^[5-6]。农业生态补偿可作为协调生态保护与生计保障的关键手段, 成为实现区域可持续、高质量发展的重要途径^[7-9]。

随着生态文明建设与农业绿色转型的持续推进, 围绕旱区农业生态补偿的核算方法与实践模式已有丰富研究成果。核算方法方面, 意愿调查法、机会成本法、生态系统服务价值评估法逐步成熟, 且呈现多方法融合的演化趋势, 为补偿额度量化提供了核心技术支撑^[10-14], 但在旱区跨界生态服务核

算、间接价值量化等场景适配性不足; 实践模式方面, 形成了政府主导型^[15]、市场驱动型^[16-17]及多元主体协同型^[18-19]等差异化路径, 为不同区域的补偿实践提供了参考。部分研究聚焦典型区域与重大生态工程, 围绕退耕还林还草^[20-21]、禁牧休牧^[22]、跨流域调水^[23]等专题领域, 开展了补偿主体界定、方式优化及效果评估等实证探索, 积累了区域性实践经验。但现有成果缺乏系统性梳理, 对不同类型旱区的异质性适配、多维度补偿需求评估等关键问题探讨待深入, 与旱区生态系统的特殊性、复杂性及绿色转型的现实需求存在差距。

鉴于农业生态补偿在保障旱区生态安全、粮食安全、脱贫攻坚成果巩固及区域可持续发展中的关键作用^[24], 以及当前在实践中面临的区域适配性不足、市场化机制不完善、空间异质性不明晰等现实挑战^[25], 本文系统梳理了旱区农业生态补偿的理论基础与实践进展, 构建了适配旱区特征的农业生态

收稿日期: 2026-03-29; 改回日期: 2026-05-12

资助项目: 甘肃省科技计划青年科技基金项目(23JRRA1187); 甘肃省教育厅高等学校创新基金项目(2022B-134)

作者简介: 李晨毓(1993—), 男, 甘肃兰州人, 博士, 副教授。主要从事生态系统服务、生态补偿研究。E-mail: lichy@lzufe.edu.cn

补偿需求评价体系,分析了补偿需求的空间分异特征,提出了差异化优化路径,可为完善旱区农业生态补偿制度、推动区域生态-经济协同发展提供科学支撑与决策参考。

1 理论基础与实践进展

1.1 核心概念界定

本文讨论的旱区农业生态补偿,指基于传统生态补偿概念,针对干旱半干旱地区水资源约束强、生态系统脆弱、农业生产与生态保护矛盾突出的现实,为保障区域生态安全与农业可持续发展而设计的制度安排。其核心内涵与传统生态补偿、农业生态补偿保持一致^[26],即通过经济激励与利益调节手

段,内化农业生产的负外部性,显化并补偿正外部生态服务价值,从而引导农户及经营主体转向绿色生产模式,实现生态保护、生计保障与农业发展的协同^[9]。

1.2 旱区农业生态补偿核心要素与运行机制

旱区农业生态补偿的运行可分为驱动力与目标、核心要素与外部环境3个层次。生态退化、政策法规与社会需求构成了补偿机制的核心驱动力,最终目标是在外部环境因素的影响下,改善旱区生态环境、推动农业绿色转型、保障农户生计安全及实现区域可持续发展。

本研究归纳了旱区农业生态补偿运行机制(图1)。与传统生态补偿研究类似,旱区农业生态补偿工作

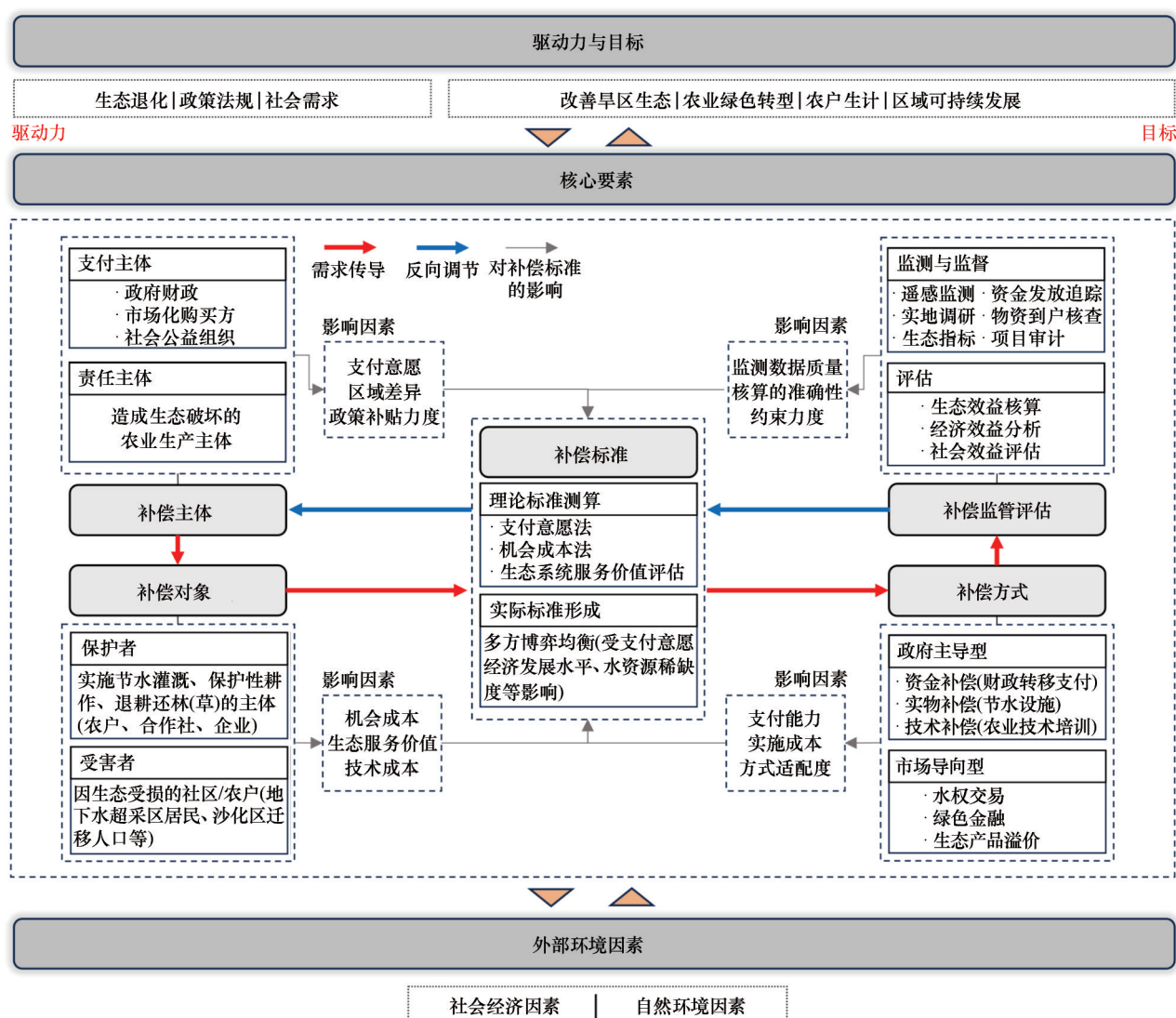


图1 旱区农业生态补偿运行机制

Fig.1 Operation logic of agricultural ecological compensation in arid regions

主要由五大核心要素组成^[27],即补偿主体、补偿对象、补偿标准、补偿方式及补偿监管与评估,分别对应谁补偿、补偿谁、补偿多少、如何补偿及补偿差异5个关键问题,可归纳为资源禀赋与生态责任(主体)、补偿对象生计需求(对象)、补偿主体支付能力(补偿方式与标准)、外部支撑环境四大维度,主要以前两个维度为标准进行是否为农业生态补偿的判断。

(1) 补偿主体。基于“受益者付费、保护者受偿”原则进行界定,决定了“谁补偿”,主要需明确支付主体与责任主体。于旱区而言,责任主体应为造成旱区生态破坏的农业生产主体及享受水土保持、沙化遏制等生态服务的受益方;支付主体可按资金来源划分,包括财政、市场化购买方及社会公益组织,核心是协调旱区自然资源保护与利用的利益关系。

(2) 补偿对象。基于“保护者受偿、受害者受偿”原则确定,主要决定“补偿谁”。涵盖旱区农业生态环境保护者、农业生态环境污染受害者,可分为政府、社会组织或个人,包括实施节水灌溉、保护性耕作等绿色措施的主体,以及因地下水超采、土地沙化受损的旱区乡镇等,主要支持生计替代与农业转型。

(3) 补偿标准。主要决定“补偿多少”,是补偿工作的核心与难点。可分为由支付意愿法、机会成本法等测算的理论标准,及补偿双方基于支付意愿博弈形成的实际标准,需兼顾旱区节水保育成本、生态服务价值与农业负外部性代价,其合理性影响政策激励效果与可持续性,并受到补偿主体、补偿对象、补偿方式、补偿监管评估的多重影响。

(4) 补偿方式。主要决定“如何补偿”,目前以政府财政直接转移支付的资金补偿为主,实物补偿、技术补偿为补充,结合旱区实际推广节水设施、抗旱品种及农业技术培训、精准灌溉服务。同时探索水权交易、绿色金融等市场化路径,提升补偿效率与长效性。

(5) 补偿监管与评估。主要监督补偿差异,旨在保障政策落地及动态优化。包括遥感与实地调研结合的生态指标监测、资金物资精准到户的执行监督,及定期核算生态服务增量与综合效益的评估等工作,并以上述监测与评估结果调整补偿要素,提升旱区农业生态补偿的精准性与适应性。

1.3 国内外旱区生态补偿实践进展

1.3.1 国际典型旱区农业生态补偿实践进展

国际旱区农业生态补偿政策措施区域差异化明显。发达国家以制度化建设为核心,如美国依托保护储备计划(CRP, Conservation Reserve Program)^[28]、环境质量激励计划(EQIP, Environmental Quality Incentives Program)^[29]等措施,通过年度租金补贴、生态实践成本分担等方式,推动旱区易蚀耕地保护与节水技术应用;欧盟共同农业政策(CAP, Common Agricultural Policy)实施时强调绿色导向^[30],以生态方案为补贴前置条件,并配套农业环境气候措施(AECM, Agri-Environment-Climate Measures)^[31],如针对性支持南欧等地旱区土壤保护与水资源管控;澳大利亚通过水权交易、灌溉设施改造补贴及碳农业激励政策,构建水资源保护与碳封存协同的补偿机制^[32]。发展中国家通常立足本土旱情与农户生计需求,如非洲部分地区通过旱季现金转移、生态恢复技术培训等措施,实现植被保护与农户粮食安全双赢^[33];中亚地区通过灌溉调节、节水设备购置扶持等方式,缓解地下水超采压力^[34];拉美通过拓展生态系统服务付费,以公共资金为主要支持,在国家层面开展补偿活动^[35]。

从上述可知,国际旱区农业生态补偿的区域差异明显,本质上是各地区结合自身资源禀赋、经济发展水平及生态治理需求形成的适配性选择。发达国家以制度化、标准化为核心导向,聚焦长效保护与多目标协同,采用标准化、系统化补偿,依托较为完善的监测评估体系、充足资金及市场化机制,保障政策规范持续实施;非洲、拉美及中亚等地发展中国家多立足本土特色问题,采用适配本土的补偿手段,侧重措施的实用性与针对性。

1.3.2 中国旱区农业生态补偿重点政策演进

早在1973年国务院批转的《关于保护和改善环境的若干规定(试行草案)》中,已初步蕴含农业生态补偿的核心思想;1982年启动的生态农业建设试点工作,标志着农业生态补偿进入起步探索阶段;此后,农业生态补偿政策逐步拓展至草原^[36-37]、湿地^[38-39]、耕地^[40-41]等,实现了补偿范围的系统性延伸。

梳理农业生态补偿相关法律法规、政策文件及关键时间节点可知,中国农业生态补偿制度的演进大致经历了萌芽孕育阶段(1973—1979年)、起步探

索阶段(1981—1997 年)、快速发展阶段(1998—2015 年)和强化管理阶段(2016 年至今)4 个递进式发展阶段^[24](图 2)。

(1) 萌芽孕育阶段基本依附于整体环境保护与改善工作,相关表述以条文式提及为主,制度设计较为粗放,但整体政策中对旱区相关生态系统的保护要求,已为其后续发展奠定基础。(2)起步探索阶段,农业生态补偿的项目化实践逐步开展,政策框架初步形成,补偿主体得以明确,《中华人民共和国草原法》《中华人民共和国农业法》等一系列法律法规相继颁布,构建了初步的旱区相关农业生态补偿制度体系,但仍存在补偿客体覆盖面较窄、补偿方式单一、补偿标准缺乏科学性等不足。(3)快速发展

阶段,进一步强化了农业生态环境保护的要求,加大政策扶持与投入,拓宽补偿范围,在前期工作基础上,出台退耕还林还草等政策,逐步将旱区相关农业生态保护纳入补偿范畴,但专项补偿仍有不足。(4)强化管理阶段,“绿水青山就是金山银山”理念日渐深入人心,生态修复等适配旱区的农业生态补偿专项政策相继落地,旱区耕地轮作休耕补偿、荒漠化治理专项补偿等配套措施进一步完善。2024 年《生态保护补偿条例》的出台,标志着包括旱区农业生态补偿在内的生态补偿工作进入全面深化阶段,确立了以财政纵向补偿、地区间横向补偿、市场化补偿为主体的框架体系,为旱区农业绿色可持续发展提供了坚实支撑。

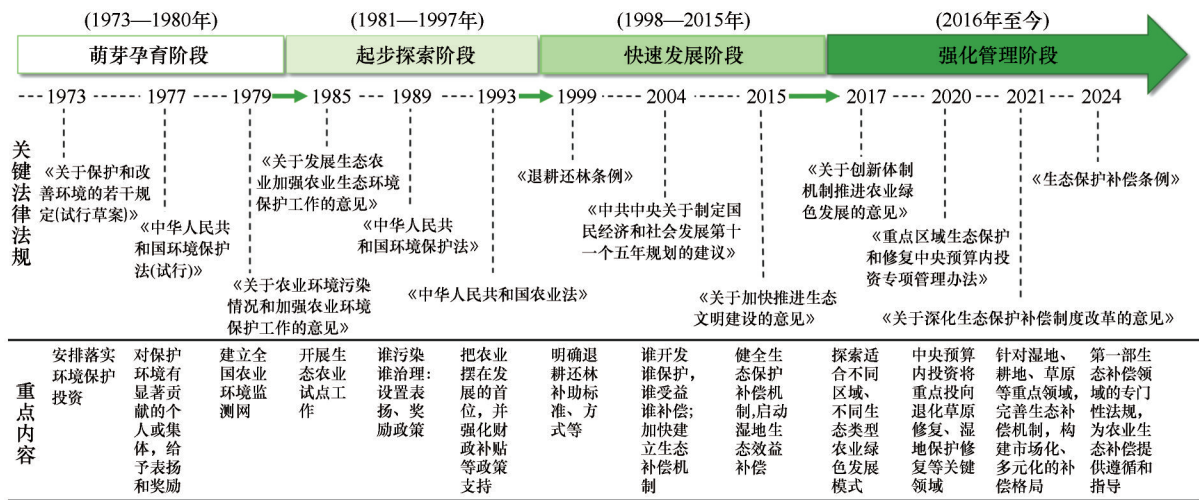


图 2 中国农业生态补偿政策与核心法律法规演进阶段

Fig.2 Evolution stages and regulations of agricultural ecological compensation policy and core laws in China

2 研究区概况、数据来源与研究方法

2.2 数据来源

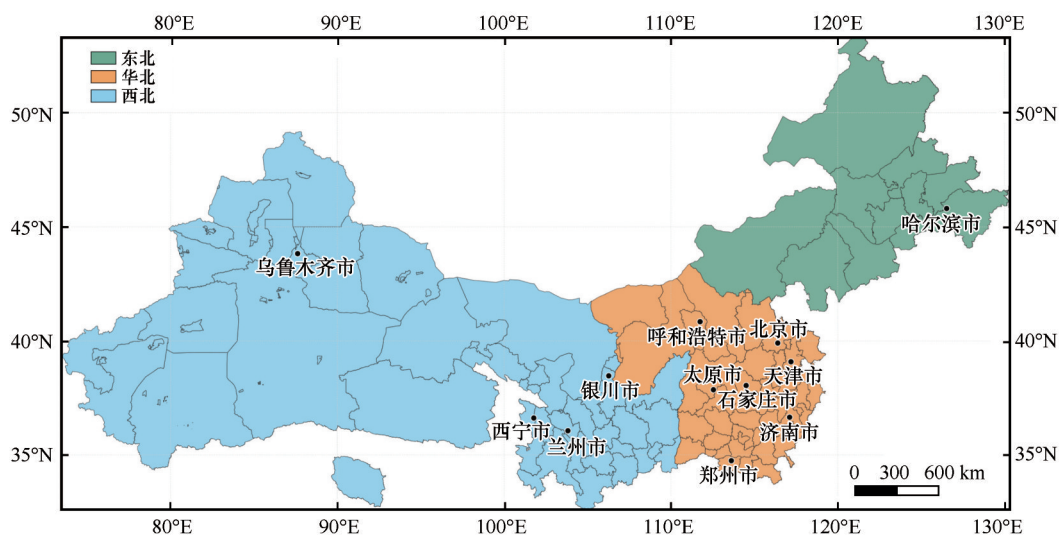
2.1 研究区概况

参照前人研究^[42],本研究所采用的旱区边界如图 3 所示,并以中国科学院资源环境科学平台(<https://www.resdc.cn>)提供的中国六大区域分布数据为基准,划分为东北、华北、西北三大区域。东北涉及辽、吉、黑及内蒙古东部,属中温带半湿润-半干旱区,为重要的商品粮基地,核心生态挑战为黑土退化与湿地萎缩;华北涉及京、津、冀、晋、鲁、豫及内蒙古中部,属暖温带半湿润-半干旱过渡区,为重要粮食主产区,春旱频发、地下水超采问题显著;西北涵盖新疆、甘肃、青海、宁夏、陕西及内蒙古西部,属典型内陆干旱半干旱区,降水稀缺,以绿洲农业与旱作农业为主。

本文所用数据包括社会经济数据、自然环境数据与地理基准数据三类。鉴于数据完整程度及可获取性,除地理基准数据外,所用数据时间节点均为 2023 年。

社会经济类数据来源于《中国城市统计年鉴 2024》及研究区各省份 2024 年统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报。水资源与生态环境类数据来源于各省份 2023 年水资源公报、各省份水利部门网站发布的官方数据、《2023 中国生态环境状况公报》及国务院历年批复的国家重点生态功能区名单。地理基准数据来源于国家地理信息公共服务平台全国基础地理数据库,主要使用市级行政边界矢量数据。

对少量缺失数据(如新疆维吾尔自治区 12 个直



注:基于自然资源部标准地图服务网站审图号GS(2025)5996号标准地图制作,底图边界无修改

图3 研究区概况

Fig.3 Overview of the study area

辖县级市部分数据、青海省市级水资源相关数据等),采用省级同指标均值、相邻地级市同指标均值、近3年线性插值等方法补齐,最终形成完整的2023年数据集合。

2.3 研究方法

2.3.1 指标体系构建

本研究以生态功能优先保障、发展受限优先支持为目标,构建区域农业生态补偿需求评价指标体系,将生态功能重要、生态环境正外部性突出的区域优先纳入补偿范围,对自身发展水平受限、需通过外部补偿减少生态负外部性的区域优先给予补偿支持。

指标体系以旱区农业生态补偿运行机制为基础,设置旱区刚性约束、农业生计依赖、区域支付能力、社会支撑条件4个准则层,分别对应机制中的资源禀赋与生态责任、补偿对象生计需求、补偿主体支付能力、外部支撑环境4个维度。最终筛选15项可量化指标,结合指标与补偿需求强度的关联方向确定正负向属性,形成评价指标体系(表1)。因聚焦补偿需求,未设置补偿监管等非需求类准则。

2.3.2 熵权-TOPSIS模型及指标权重确定

采用熵权-TOPSIS模型测度旱区农业生态补偿需求综合指数。通过指标数据的离散程度客观赋权,避免主观赋权法的偏差,同时通过正负理想解的距离测算综合水平。具体计算方法参考文献[43-44]。

考虑到“是否属于国家重点生态功能区”为二

元分类指标,直接纳入熵权法计算会因离散程度异常导致权重极端化,故将其作为修正项处理。基于财政部预算司公布的2023年中央对地方一般性转移支付执行数与重点生态功能区转移支付决算数,计算分省份生态功能区财政倾斜系数:

$$k_p = 1 + \frac{E_p}{G_p} \quad (1)$$

式中: k_p 为第 p 个省份的财政倾斜系数; E_p 为第 p 个省份获得的重点生态功能区转移支付决算数; G_p 为第 p 个省份获得的一般性转移支付执行数。为验证结果稳健性,进行了敏感性分析,将财政倾斜系数上下浮动10%重新计算综合指数,结果表明不同系数下综合指数的斯皮尔曼相关系数均保持在较高水平(0.9以上),证明了本方法的统计学稳定性。若某市包含国家重点生态功能区,则其最终综合补偿需求指数为基础综合指数乘以对应省份的财政倾斜系数;反之,保持基础综合指数不变。

2.3.3 障碍度模型

采用障碍度模型识别制约旱区农业生态补偿水平的核心障碍因子,通过指标偏离度、因子贡献度测算各指标的障碍度,明确不同区域的核心限制因素^[45]:

$$O_{ij} = \frac{w_j \cdot x'_{ij}}{\sum_{j=1}^m w_j \cdot x'_{ij}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: O_{ij} 为第 i 个市第 j 个指标的障碍度,值越大代表该指标对补偿需求水平的制约作用越强; x'_{ij} 为指

表 1 旱区农业生态补偿需求评价指标体系

Table 1 Evaluation indexes of agricultural ecological compensation demand in arid region

准则层	指标层/单位	属性	指标说明
旱区 刚性 约束	人均水资源量/m ³	负向	水资源禀赋,指标值越低,水资源越匮乏,越需优先保障生态用水需求,避免过度开发引发生态退化。
	农田灌溉水有效利用系数	负向	农业用水效率,指标值越低,农业用水浪费越严重,越需通过补偿推动节水技术应用,减少负外部性。
	人均用水量/m ³	正向	水资源开发强度,指标值越高,水资源开发利用程度越高,生态承载余量越小,越需优先划定生态保护红线,保障生态系统稳定。
	是否属于国家重点生态功能区范畴	正向	生态保护责任,该类区域承担国家生态安全任务,提供的生态正外部性最强,应优先补偿。
农业 生计 依赖	第一产业增加值占地区生产总值比重/%	正向	经济对农业的依赖度,指标值越高,区域产业结构越单一,越需外部补偿支持产业转型。
	农业用水量/亿 m ³	正向	农业用水压力,指标值越高,农业对水的依赖度越高,农民为维持生计过度取水的风险越大,越需补偿降低生计对生态的依赖。可与总用水量共同刻画出旱区整体生态约束与农业生计压力的双重特征。
	常住人口/万人	正向	生计保障压力,指标值越高,生态保护与民生保障的矛盾越突出,越需补偿维持二者平衡。
	城镇化率/%	负向	非农就业能力,指标值越低,农村劳动力转移渠道越窄,发展受限程度越高,越需补偿拓宽增收途径。
区域 支付 能力	人均地区生产总值/万元	负向	经济发展水平,区域自我发展能力越弱,越需上级财政转移支付给予补偿支持。
	地区生产总值增长率/%	负向	经济发展潜力,指标值越低,越难以通过自身发展积累生态保护资金,越需外部补偿培育发展动能。
	地方一般公共预算收入/亿元	负向	地方财政能力,指标值越低,区域可用于生态保护和民生改善的资金越少,越需外部补偿弥补财政缺口。
	第二产业增加值占地区生产总值比重/%	负向	工业反哺农业的能力,指标值越低,农业生态保护越缺乏本地产业支撑,越需外部补偿。
社会 支撑 条件	金融机构存款余额/亿元	负向	金融支撑能力,指标值越低,生态保护和产业转型越难以获得本地金融支持,越需加大外部补偿资金投入力度。
	第三产业增加值占地区生产总值比重/%	负向	产业多元化水平,指标值越低,生态保护带来的产业调整成本越高,需通过补偿降低转型阻力。
	空气质量优良天数比例/%	正向	生态环境敏感性,指标值越高,区域生态环境本底越好但越敏感,越需优先保护。

标标准化值; w_j 为指标权重。

2.3.4 需求水平空间分异的贡献度分析

为量化各指标对需求水平空间分异的贡献程度,识别导致不同区域补偿需求差异的核心来源,采用方差分解方法进行探索^[46]:

$$Var(C_i) = \sum_{j=1}^{15} w_j^2 Var(X'_j) + 2 \sum_{j=1}^{15} \sum_{k=1}^{15} w_j w_k Cov(X'_j, X'_k)$$

(3)

式中: $Var(X'_j)$ 为第 j 个指标标准化值的方差; $Cov(X'_j, X'_k)$ 为第 j 个指标与第 k 个指标标准化值的协方差; $1 \leq j < k \leq 15$ 。在此基础上,指标的总贡献度公式为:

$$TC_j = \frac{w_j^2 Var(X'_j) + 2 \sum_{j=1}^{15} \sum_{k=1}^{15} w_j w_k Cov(X'_j, X'_k)}{Var(C_i)} \times 100\%$$

(4)

式中: TC_j 即 j 指标的独立贡献与该指标和其他所有指标交互贡献之和。总贡献度越大,表明该指标对补偿需求水平空间分异的影响越大。

2.3.5 补偿需求-短板差距耦合模型

将补偿需求与短板差距进行耦合,测算旱区农业生态补偿改善潜力并划分政策干预优先级。综合改善潜力指数 PI_i 取值范围为 $[0, 1]$, 值越大,代表该地区生态补偿改善潜力越大、政策干预边际效益

越高:

$$PI_i = C_i \times G_i \quad (5)$$

式中: C_i 为第 i 个市的生态补偿需求指数; G_i 为第 i 个市的加权短板差距, 反映其与研究区最优水平的综合差距。加权短板差距 G_i 由各指标熵权与短板程度计算得到:

$$G_i = \sum_{j=1}^m w_j \cdot x'_{ij} \quad (6)$$

式中: w_j 为第 j 个指标的熵权; x'_{ij} 为第 i 个地级市第 j 个指标的标准化值。

3 结果与分析

3.1 补偿需求水平的空间格局

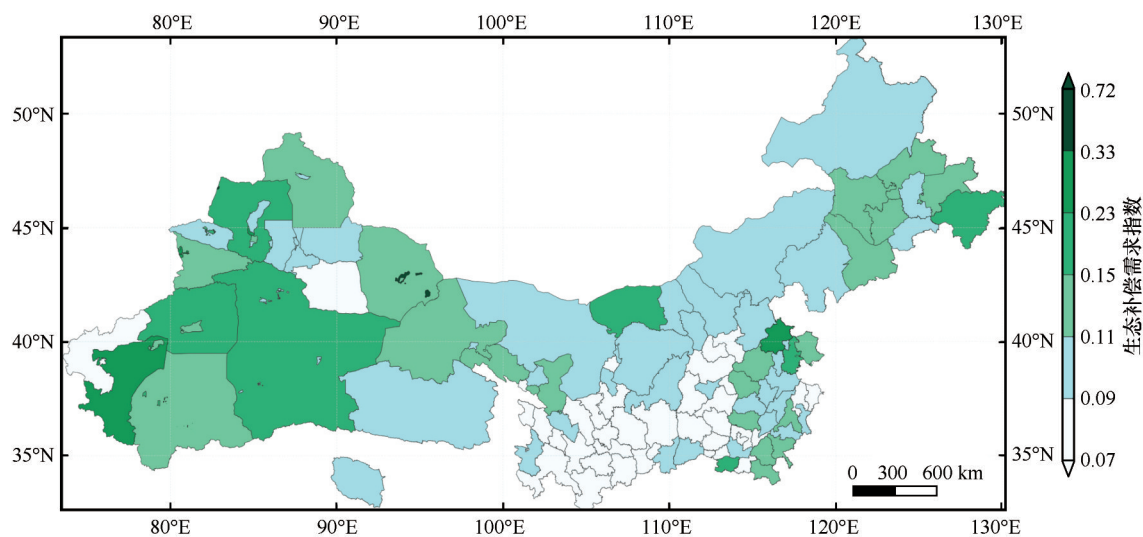
将计算结果采用自然间断点法划分为 6 个等级。整体来看, 旱区农业生态补偿需求呈三区各自集聚、整体梯度递减的空间格局(图 4)。西北集聚规模最大、连片性最强, 覆盖新疆大部、河西走廊及内蒙古西部, 是补偿需求的核心主体。华北集聚规模较小, 呈孤立斑块状分布于华北平原中部、南部, 是区域性高值区。东北集聚规模居中, 呈条带状由东北平原西部多个中高值斑块串联而成, 空间连续

性弱于西北集聚区, 且多为中低等需求水平。自西向东、自北向南补偿需求大体呈阶梯式递减, 最低需求等级的地区连片分布于甘肃南部、关中平原周边及晋豫交界地带, 这些区域或水热条件优良、农业基础扎实, 或农业开发强度低, 生态系统受扰动程度弱, 补偿需求较低。

3.2 分区域补偿需求的差异特征

3.2.1 评价指标权重差异

影响补偿需求的指标呈现显著区域分异(图 5)。华北与西北均呈现用水量主导特征, 人均用水量、农业用水量合计权重均超过 0.5, 其中华北人均用水量主导性更强(0.381), 西北农业用水量权重更高(0.211)。东北区域呈现多因子均衡驱动特征, 常住人口(0.167)、农业用水量(0.162)、地区生产总值增长率(0.136)为排名前三的因子, 无单一主导指标。人均地区生产总值、地方一般公共预算收入等经济类指标权重均低于 0.03, 贡献度较弱; 人均水资源量的权重均低于 0.02, 表明用水量指标是影响潜在补偿需求的主要因素。国家重点生态功能区财政倾斜系数呈西北>东北>华北, 符合传统的国家生态转移支付导向。



注: 基于自然资源部标准地图服务网站审图号 GS(2025)5996 号标准地图制作, 底图边界无修改

图 4 2023 年中国旱区农业生态补偿需求空间分布

Fig.4 Spatial distribution of demand for agricultural ecological compensation in arid regions of China in 2023

3.2.2 补偿需求的统计分布与指标贡献度

西北补偿需求指数的均值、极差及高值段占比均居首位, 区域内差异最为显著, 高需求地区数量明显多于东北与华北。东北补偿需求指数的中位数最高, 均值略高于华北, 指数分布相对集中, 无极

端高值, 内部需求差异弱于西北。华北需求指数的均值、中位数及最大值均最低, 分布区间较窄, 离散程度较小, 区域内差异最为平缓, 低需求城市占比最高(图 6A)。

主导三大区域补偿需求指数的关键维度类似,

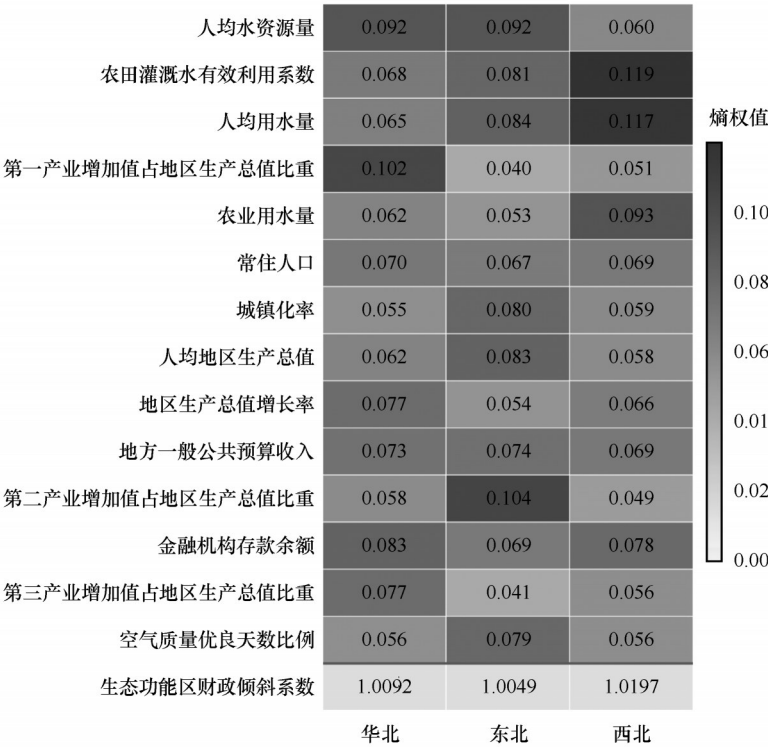


图 5 三大区域农业生态补偿评价指标权重热力图

Fig.5 Heat map of weight of agricultural ecological compensation evaluation indicators in three major regions

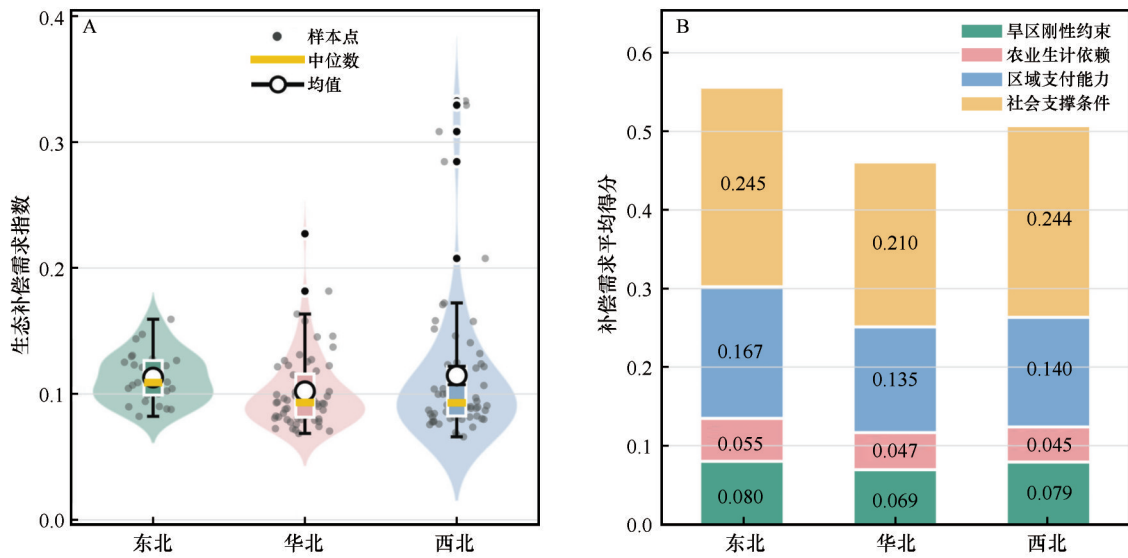


图 6 补偿需求指数分布特征与指标的分维度贡献

Fig.6 Distribution characteristics of compensation demand index and dimensional contributions of indicators

均表现为社会支撑条件>区域支付能力>旱区刚性约束>农业生计依赖(图 6B)。差异体现在:社会支撑条件得分东北(0.254)>西北(0.244)>华北(0.210),东北与西北水平接近,华北相对偏低;区域支付能力以东北(0.167)为最高,西北(0.140)与华北(0.135)水平相近;旱区刚性约束得分呈东北(0.080)≈西北(0.079)>华北(0.069)的分布,三者均

小于 0.08;农业生计依赖得分东北(0.055)>华北(0.047)>西北(0.045),但三者均小于 0.06,实际差异不大,对需求水平的影响程度不高。

3.3 补偿需求的限制因子与空间分异的驱动因子

采用障碍度模型识别核心限制因子,结合方差分解分析空间分异的主要因素,选取影响程度排名

前五的因子进行分析,结果如图7所示。

从障碍度分析结果来看,第一产业增加值占地区生产总值比重是全域性核心限制因子,整体障碍度达14.2%,东北、西北障碍度均超过16%;常住人

口、城镇化率为次要限制因子,整体障碍度均超过12%,常住人口在华北的障碍度达21.4%;第二产业增加值占地区生产总值比重、农田灌溉水有效利用系数限制作用相对较弱,整体障碍度不足12%。

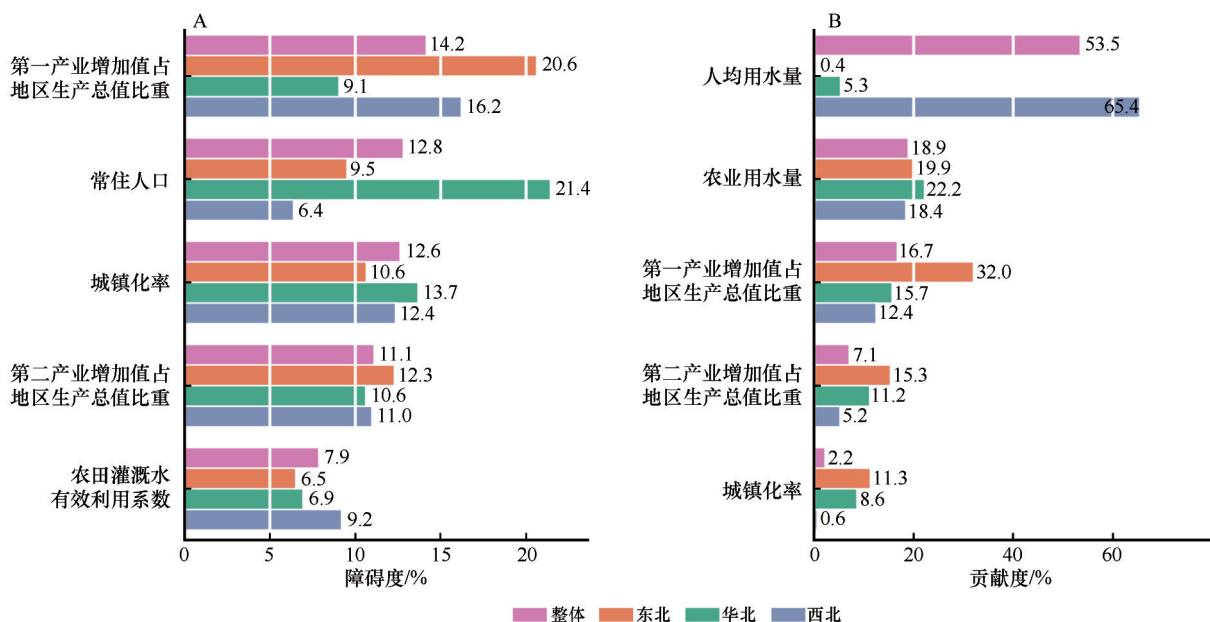


图7 障碍度与空间分异贡献度计算结果

Fig.7 Results of obstacle degree and contribution to spatial differentiation

方差分解结果表明,人均用水量是造成需求水平空间分异的主要因素,整体贡献度达53.5%,主要是由于西北区域达65.4%,拉高了整体水平;农业用水量、第一产业增加值占地区生产总值比重为次要因素,整体贡献度分别为18.9%、16.7%,其中东北区域第一产业增加值占地区生产总值比重贡献度达32.0%,华北区域农业用水量贡献度为22.2%;其余因子整体贡献度大多不足10%。水资源类指标整体贡献度超过70%,表明空间分异主要由用水条件驱动。

综合来看,第一产业增加值占地区生产总值比重既是限制需求水平的主要因子,也是造成需求水平空间分异的重要因素;常住人口、城镇化率对区域需求水平的限制作用更显著,而人均用水量对空间分异的驱动作用更突出,反映出旱区农业生态补偿需求形成机制的复杂性。

3.4 补偿优先级的空间格局

基于补偿需求-短板差距耦合模型测算的政策干预优先级空间分异显著,与区域生态脆弱性、水资源禀赋及补偿需求格局关联度高,结果如图8所示。

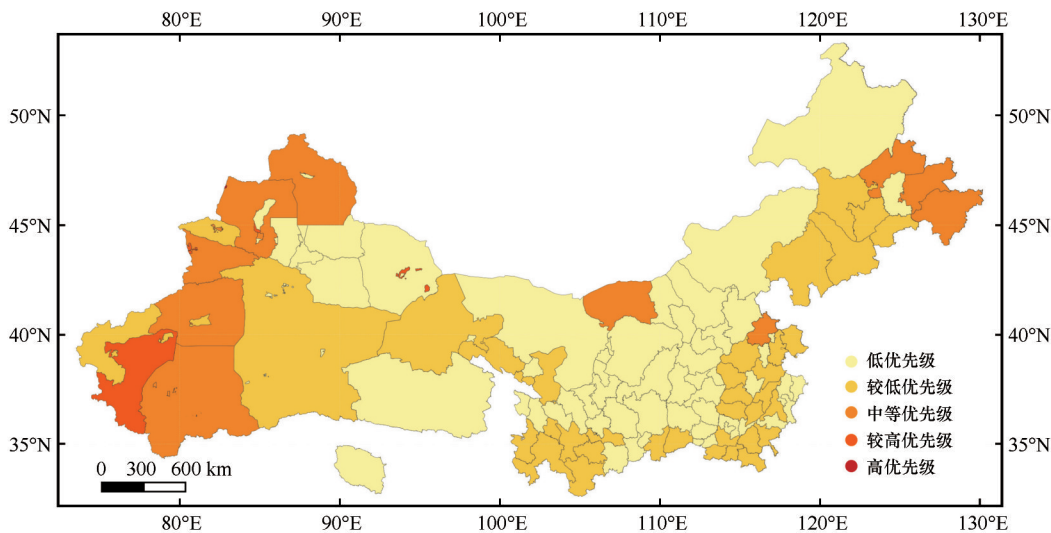
政策干预优先级呈高值区点状集聚、中值区带状过渡、低值区面状连片的非连续格局。高优先级仅分布在新疆部分地区,是政策优先投入的核心区域,需集中资源保障;较高优先级形成与补偿需求格局类似的3个独立片区,应适度加大补偿投入;中等及较低优先级沿河西走廊、宁夏、甘肃南部及华北平原南部呈条带状分布,作为高低梯度的过渡带,需稳步完善补偿机制;低优先级占比最高,连片分布于内蒙古西部、黄土高原、华北平原周边等地,工作重点应为巩固现有成效,探索市场化、多元化补偿路径。

4 旱区生态补偿实践优化路径

在明确了旱区农业生态补偿的总体需求与分区特征之后,本研究提出旱区生态补偿优化路径,为形成闭环管理体系提供参考(图9)。

4.1 实施原则

立足旱区生态脆弱、水资源刚性短缺、农业生产与生态保护空间高度重合的本底特征,针对现有补偿实践中的现实问题,确立三大实施原则:(1)生



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号GS(2025)5996号标准地图制作，底图边界无修改

图 8 政策干预优先级空间分布

Fig.8 Spatial distribution of policy intervention priority

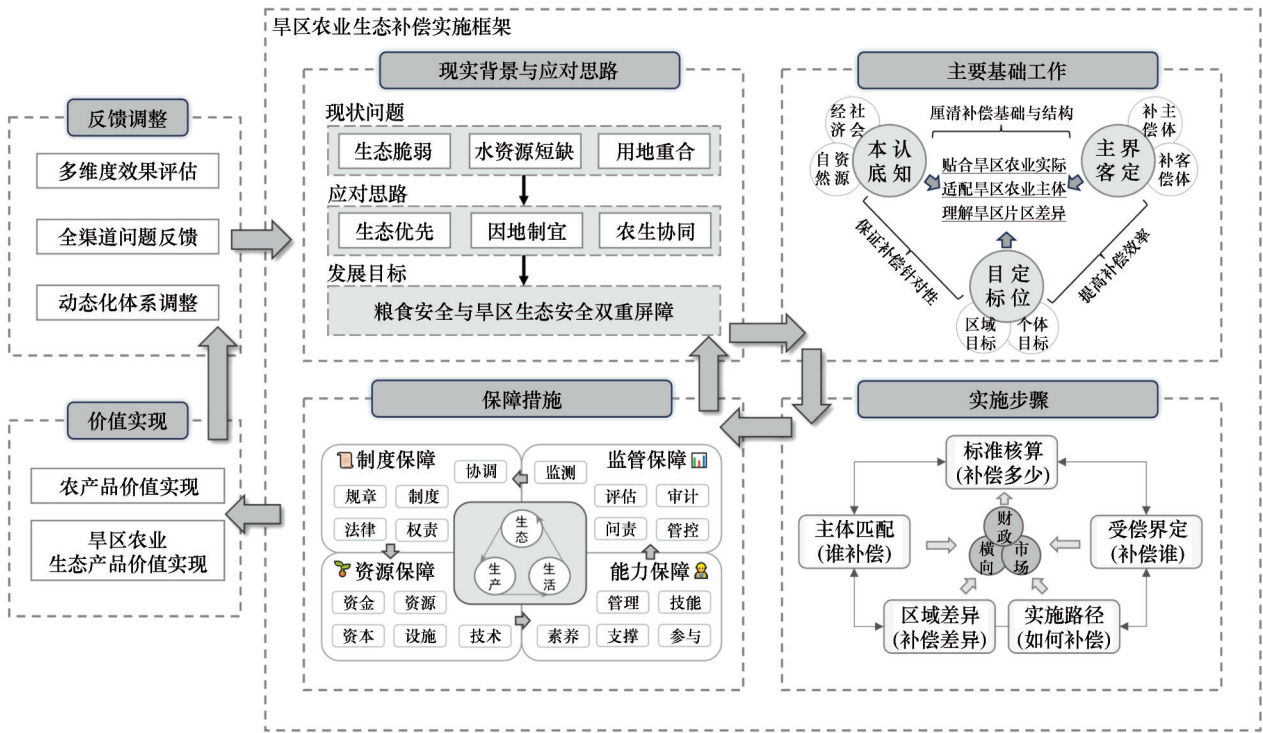


图 9 旱区生态补偿优化路径

Fig.9 Optimization path of ecological compensation in arid regions

态优先。将水资源管控与生态保护作为补偿工作的核心,约束农业生产负外部性,补偿绿色生产的正外部生态价值。(2)因地制宜。把握不同区域补偿需求的特征,规避“一刀切”导致的政策激励失效风险。(3)农生协同。统筹农业生产与生态系统服务,兼顾生态安全、粮食安全与农户生计可持续,实现保障国家粮食安全与旱区生态安全的双重目标。

4.2 差异化实施路径

分区域差异化开展补偿工作。西北应以水资源管控为核心,建立与农业用水量、水资源禀赋、节水成效直接挂钩的补偿标准,补偿重点向高效节水灌溉推广、土地沙化与盐渍化治理、旱作绿色农业技术应用倾斜,匹配区域水资源核心约束的本底特

征;东北可构建多因子协同的补偿机制,统筹黑土地退化治理、水土保持、农业节水与农户生计保障,覆盖耕地保护、绿色生产、生计替代等多个维度,适配区域多因素共同驱动补偿需求的特征;华北以生态功能管控为核心,注重国家重点生态功能区补偿工作,重点支持耕地质量提升、农业面源污染治理等绿色生产行为。

全流程补偿工作完善。首先完善本底动态认知,定期开展区域本底摸排,精准识别不同行政单元的补偿需求变化;结合区域支付能力与生计依赖度差异,明确补偿主体权责,明确实施绿色生产的经营主体、因生态保护让渡发展机会的农户与社区等受偿对象,避免补偿错配与泛化;同时要开展补偿标准的科学核算,以机会成本、生态系统服务价值核算为基础,提升补偿标准的针对性与精准性。

保障措施由制度、资源、监管、能力共同构成。制度保障通过规章、法律等明确权责,强化协调机制,确保政策执行的规范性与权威性;资源保障统筹资金、资本、设施、技术等要素投入,对补偿实施形成实质支撑;监管保障建立监测、评估、问责、审计等全流程监管体系,防范资金挪用与政策走样;能力保障提升管理、科技、素养、参与等实施能力,强化基层执行与农户参与,共同服务于生态—生产—生活的协同发展。

反馈调整与价值实现环节形成闭环优化。通过多维度效果评估、全渠道问题反馈与动态化体系调整,及时纠偏并优化机制设计,提升政策精准性;同时推动农产品价值与旱区农业生态产品价值的双重实现,将生态保护的外部效益内部化,形成实施、反馈、优化、增值的良性循环,为旱区农业绿色转型与可持续发展提供内生动力。

5 结论与建议

5.1 主要结论

中国旱区农业生态补偿需求呈现显著空间分异特征。整体遵循西北内陆高、华北东北中等,生态功能区高、传统农业主产区中等的分布规律,与区域生态脆弱性、水资源约束高度耦合。

中国旱区农业生态补偿需求的整体水平与影响因子区域异质性明显。西北补偿需求指数的均值、数值跨度及高值段占比均居首位,区域内部差

异最为显著;东北指数中位数最高,整体需求中等偏上,内部层级分化较弱;华北均值、中位数及最大值均为最低,区域内需求差异最为平缓。影响因素方面,华北与西北均呈现水资源双因子主导特征,人均用水量、农业用水量合计权重均超0.5,其中华北以人均用水量主导性更强,西北农业用水量权重更高;东北旱区呈现多因子均衡驱动特征,无单一主导指标。

中国旱区农业生态补偿需求的全域限制因子与空间分异驱动因子各异。第一产业增加值占地区生产总值比重是制约补偿需求水平的全域性限制因子,常住人口、城镇化率为次要限制因子;人均用水量是决定补偿需求空间格局的绝对主导因素,农业用水量、第一产业增加值占地区生产总值比重为次要贡献因子,水资源类指标总贡献度超70%,是驱动补偿需求空间分异的核心要素。

中国旱区农业生态补偿政策干预优先级呈现非连续空间格局。高优先级集中于新疆西部边境地区,为政策优先投入的核心区域;较高优先级形成新疆大部、内蒙古中部、东北西部三个独立片区;中等及较低优先级沿河西走廊、宁夏、甘肃南部及华北平原南部呈条带状分布;低优先级连片分布于柴达木盆地、黄土高原及华北平原北部。

由于数据完整性与可获取性的限制,本研究只在市级层面进行了2023年单年度的分析,未来可在时空维度、指标完善程度及实地调研摸排等方面继续深化相关研究。

5.2 政策建议

政策分级保障。遵循高优先级集中保障、较高优先级重点支持、中低优先级稳步推进,可开展针对性补偿。针对新疆西部高优先级区域,设立旱区生态补偿专项基金,重点治理极端干旱区农业生态退化;针对较高优先级区域,加大中央财政转移支付力度,重点支持节水改造与生态修复;针对中低优先级区域,以巩固生态成效为主,稳步探索市场化补偿,避免资源平均分配导致的边际效益递减。

分区优化补偿。西北以农业用水为主导驱动,建立与农业用水量、灌溉水有效利用系数挂钩的补偿标准,多数资金可用于高效节水灌溉、沙化及盐渍化治理;围绕东北呈多因子均衡驱动特征,构建黑土保护、水土保持、农业节水与生计替代多元补

偿体系,统筹黑土退化治理与农户转型;华北以人均用水为主导驱动,可继续强化地下水超采区专项补偿,严格管控农业用水总量,推进耕地轮作休耕与面源污染治理。

农业转型赋能。针对旱区第一产业增加值占比高、城镇化率低的整体特点,可适当将补偿资金与农业结构调整、农村劳动力转移就业挂钩;对压缩高耗水作物、发展生态农业的经营主体给予额外补贴;设立农业转型培训专项,提升农户非农就业能力;建立生态保护与农户增收联动机制,避免生态保护引发生计水平下降。

水耗挂钩分配。探索以水资源消耗为核心的差异化补偿标准体系,以单位农业产值用水量、节水成效作为资金分配核心权重,对超额节水地区予以奖励,未达标地区核减补偿资金;探索跨区域水权交易,推动水资源生态价值市场化补偿。

参考文献:

- [1] 唐可欣,郭建斌,何亮,等.中国旱区GPP时空演变特征及影响因素研究[J].干旱区研究,2024,41(6):964-973.
- [2] 程姗姗,于海鹏,任钰,等.中国干旱半干旱区气候异常影响机理研究进展[J].中国沙漠,2023,43(3):21-35.
- [3] 陶汪海,邓铭江,王全九,等.西北旱区农业高质量发展体系的生态农业内涵与路径[J].农业工程学报,2023,39(20):221-232.
- [4] Elouafi I. Drylands under pressure: science and solutions for global stability[J]. Science, 2025, 387(6735): eadv6563.
- [5] 刘焱序,傅伯杰,王帅,等.旱区人地耦合系统水-粮食-生态关联研究述评[J].地理研究,2021,40(2):541-555.
- [6] Shi H, Muhammad U. Balancing agricultural production and environmental sustainability: based on economic analysis from North China Plain [J]. Environmental Research, 2024, 252: 118784.
- [7] 吴普侠,蒋晋豫,方燕,等.对西北地区旱作农业高质量发展的思考[J].干旱地区农业研究,2023,41(3):21-24.
- [8] Wang Y, Richard E B, Zhang Q, et al. Effects of payment for ecosystem services and agricultural subsidy programs on rural household land use decisions in China: synergy or trade-off? [J]. Land Use Policy, 2019, 81: 785-801.
- [9] 牛坤玉,刘静,郭静利,等.农业生态补偿:内涵、要素特征与政策创设[J].中国农业资源与区划,2024,45(10):1-10.
- [10] 苏荟琰,李金燕,魏怡敏,等.基于机会成本的宁夏中南部调水工程水源区生态补偿标准研究[J].水利经济,2023,41(6):45-50.
- [11] 柳获,胡振通.地下水超采区休耕生态补偿的农户意愿研究:基于河北省的动态调查[J].干旱区资源与环境,2021,35(10):98-104.
- [12] Liu B, Xu L, Long Y, et al. Public willingness to pay for farmland eco-compensation and allocation to farmers: an empirical study from Northeast China [J]. Agriculture, 2024, 14(7): 1166.
- [13] Zhao G, Tian S, Chen R, et al. Study on the ecosystem service value and inter-basin ecological compensation between provinces in China [J]. Water Policy, 2024, 27(1): 118-140.
- [14] 马元博,翟天林,毕庆生,等.基于调节服务流视角的黄河流域生态补偿优化研究[J].生态学报,2025,45(8):3763-3775.
- [15] 宋博,邢弘育,张盼盼,等.河南省小麦秸秆资源化利用的减排效应与生态补偿机制[J].资源科学,2025,47(5):1050-1062.
- [16] 姚石,张秋泽,刘俊娟,等.粮食安全与“双碳”视角下黄河流域农田生态补偿额度[J].水土保持通报,2024,44(3):399-407.
- [17] Ma Y, Chen H, Yang M, et al. Ecological compensation based on multiscale ecosystem carbon sequestration service flow [J]. Journal of Environmental Management, 2024, 372: 123396.
- [18] 赵茹,龙冬平,杨美玲,等.基于感知价值理论的农户生态补偿适应性研究:以北方农牧交错带盐池县为例[J].中国农业资源与区划,2023,44(2):252-263.
- [19] Yang Q, Liu Y, Yun Y, et al. Payments for desert ecosystem services in China [J]. Journal of Arid Environments, 2025, 231: 105454.
- [20] Hou L, Xia F, Chen Q, et al. Grassland ecological compensation policy in China improves grassland quality and increases herders' income [J]. Nature Communications, 2021, 12(1): 4683.
- [21] Zhang J, Zhang Y, Wang X, et al. National forest restoration projects in China: cost-efficiency, and trade-off between carbon sequestration and water consumption [J]. Earth's Future, 2024, 12(12): e2024EF004976.
- [22] Li D, Xu D, Wang Z, et al. Ecological compensation for desertification control: a review [J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(3): 367-384.
- [23] 景来红,严登明,崔萌,等.南水北调西线工程生态环境影响及应对的关键科学问题[J].水科学进展,2024,35(4):521-529.
- [24] 张铁亮.农业生态补偿:内涵、演进与政策建议[J].当代经济管理,2026,48(2):58-69.
- [25] 乔玉辉,甄华杨,冯旭,等.农业生态补偿标准的量化方法研究与展望[J].中国生态农业学报(中英文),2025,33(4):783-793.
- [26] 牛志伟,邹昭晞.农业生态补偿的理论与方法:基于生态系统与生态价值一致性补偿标准模型[J].管理世界,2019,35(11):133-143.
- [27] 崔树强,周国华,尚鹏,等.近40余年中国生态补偿研究进展与实践探索综述[J].生态科学,2024,43(1):247-256.
- [28] Vandever M, Carter S, Assal T, et al. Evaluating establishment of conservation practices in the conservation reserve program across the central and western United States [J]. Environmental Research Letters, 2021, 16(7): 074011.
- [29] Trotter B, Wible T, Brink P, et al. Edge-of-field water quality

- impacts of EQIP-funded conservation practices on irrigated fields in Colorado[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2025, 80(2): 176–189.
- [30] José-Antonio M, Gema G, María-Auxiliadora S, et al. Appraising trapping efficiency of vegetative barriers in agricultural landscapes: strategy based on a probabilistic approach based on a review of available information[J]. *International Soil and Water Conservation Research*, 2024, 12(3): 615–634.
- [31] D'Alberto R, Targetti S, Schaller L, et al. A European perspective on acceptability of innovative agri-environment-climate contract solutions[J]. *Land Use Policy*, 2024, 141: 107120.
- [32] Troccoli A, Stone R, Bardi U, et al. Rebalancing regional and remote Australia: a vision for a global carbon sink while creating sustainable communities[J]. *Environmental Research Letters*, 2024, 19(11): 111003.
- [33] Khavhagali V, Reckien D, Biesbroek R, et al. Understanding the climate change adaptation policy landscape in South Africa[J]. *Climate Policy*, 2024, 24(4): 458–472.
- [34] Yu Y, Pi Y, Yu X, et al. Climate change, water resources and sustainable development in the arid and semi-arid lands of Central Asia in the past 30 years[J]. *Journal of Arid Land*, 2019, 11(1): 1–14.
- [35] Perevochtchikova M, Castro-Díaz R, Langle-Flores A, et al. A systematic review of scientific publications on the effects of payments for ecosystem services in Latin America, 2000–2020[J]. *Ecosystem Services*, 2021, 49: 101270.
- [36] 蒋振, 高雅罕, 靳乐山. 牧户的草原生态补偿政策满意度与支持度: 基于 CSI 框架和 SEM 的检验[J]. *生态学报*, 2024, 44(1): 196–208.
- [37] 韩枫, 张鑫, 周荣柱. 草原生态补偿及其对牧户行为影响: 综述与展望[J]. *资源科学*, 2024, 46(8): 1447–1459.
- [38] 胡运禄, 张明善. 我国民族地区湿地生态价值核算与生态补偿标准研究[J]. *青海民族研究*, 2022, 33(2): 220–228.
- [39] 陈科屹, 邱胜荣, 赵晓迪, 等. 北京市湿地生态补偿标准研究[J]. *生态学报*, 2021, 41(12): 4786–4794.
- [40] Liu M, Bai Y, Yang L, et al. Calculation of ecological compensation standards for the kuancheng traditional chestnut cultivation system[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2021, 12(4): 471–479.
- [41] Li L, Li X, Fan H, et al. Quantifying and zoning ecological compensation for cultivated land in intensive agricultural areas: a case study in Henan Province, China[J]. *Land*, 2024, 13(10): 13101720.
- [42] 赵晋申, 赵媛媛, 王岳, 等. 中国旱区 2000–2022 年乡村振兴水平评估[J]. *水土保持通报*, 2025, 45(3): 319–330.
- [43] 邹磊, 刘慧媛, 王飞宇, 等. 长江中游城市群绿色发展水平的地区差异及其影响因素[J]. *中国科学: 地球科学*, 2022, 52(8): 1462–1475.
- [44] Chen P. Effects of the entropy weight on TOPSIS[J]. *Expert Systems with Applications*, 2021, 168: 114186.
- [45] 谭学玲, 虞虎, 彭建. 中国国家公园区域生态-经济-社会耦合协调发展及其障碍因素[J]. *生态学报*, 2026, 46(10): 1–14.
- [46] 吴昊, 张广成, 段志远. 生态产品价值实现的经济效应: 以东北地区为例[J]. *中国人口·资源与环境*, 2025, 35(6): 167–176.

Spatial differentiation characteristics and optimization paths of agricultural ecological compensation demand in China's arid regions

Li Chenyu¹, Miao Weiming¹, Cao Xuan¹, Li Suihong¹, Yang Yang²

(1.School of Agricultural and Forestry Economics and Management, Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730101, China; 2.Wu Jinglian School of Economics, Changzhou University, Changzhou 213159, Jiangsu, China)

Abstract: China's arid and semi-arid regions represent a strategic core for safeguarding national food security and ecological security. Agricultural ecological compensation is the key policy tool for balancing ecological protection and farmers' livelihoods in these areas. This study examines 153 municipal-level administrative units across China's arid regions and develops an evaluation framework for agricultural ecological compensation demand that integrates four dimensions: resource and environmental constraints, agricultural livelihood dependence, economic payment capacity, and social support conditions. Using the entropy weight-TOPSIS method, obstacle degree model, and variance decomposition analysis, we investigate the spatial differentiation, core limiting factors, and policy priorities of compensation demand, with separate analyses for Northwest, North, and Northeast China. The results show that: (1) Compensation demand forms a spatial pattern of distinct regional clustering with an overall gradient decline, and the Northwest cluster is the largest and most spatially contiguous. (2) Marked regional differences exist in compensation demand; Northwest China has the highest mean value and the largest proportion of high-demand areas, Northeast China shows the highest median value, and North China has the lowest overall demand. In terms of driving factors, water resources dominate demand in North and Northwest China, while multiple factors contribute equally in Northeast China. (3) The share of primary industry in regional GDP is the primary factor limiting overall demand levels, whereas per capita water consumption is the dominant driver of spatial variation. Water resource-related indicators together account for over 70% of the total spatial variance in compensation demand. (4) Compensation resources should be prioritized for high-policy-priority areas such as western Xinjiang. Based on these findings, we propose recommendations including regionally differentiated compensation schemes, dynamic adjustment of compensation standards, diversified funding mechanisms, and whole-process supervision, which provide a scientific basis for optimizing the agricultural ecological compensation system in China's arid regions.

Key words: agriculture of arid regions; ecological compensation; spatial pattern; optimization path