

甘肃省农业绿色发展水平测度、 变化趋势及区域差异

柴悦, 许艳, 王永强

(甘肃农业大学 管理学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: [目的] 分析甘肃省区域农业绿色发展水平演进趋势及区域差异, 为促进区域农业绿色发展以及实现乡村振兴提供重要理论支撑。[方法] 通过构建农业绿色发展水平评价指标体系, 运用熵权法对甘肃省及其14个市(州)的农业绿色发展水平进行测度, 同时采用核密度分析和Dagum基尼系数分析各市(州)农业绿色发展水平的动态演变及区域差异。[结果] ①2014—2023年甘肃省农业绿色发展水平整体呈上升趋势, 涨幅达到17.65%。区域农业绿色发展水平在空间上存在显著差异, 整体呈现出: 河西地区 > 陇东地区 > 陇中地区的梯度分布特征。②2014—2016年是甘肃省农业绿色发展的起步阶段, 2017—2019年全省农业绿色发展水平显著提升, 2020—2023年进入波动调整阶段。③2014—2023年甘肃省农业绿色发展水平的区域差异表现为先上升后呈现波动下降的态势, 整体维持在合理范围内(<0.40), 其中区域间差异的贡献度最大(整体贡献度约为52.33%), 尤其是河西地区—陇中地区。河西地区—陇东地区之间的差距是造成农业绿色发展不平衡的主要原因。[结论] 2014—2023年, 甘肃省农业绿色发展水平稳步上升, 形成河西 > 陇东 > 陇中的空间分布格局, 并经历了“起步—快速提升—波动调整”的演化阶段。目前河西地区农业绿色发展水平大幅领先于陇中、陇东地区。

关键词: 农业绿色发展水平; 测度; 变化趋势; 区域差异; 甘肃省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2025)06-0380-12

中图分类号: F323.22

文献参数: 柴悦, 许艳, 王永强. 甘肃省农业绿色发展水平测度、变化趋势及区域差异[J]. 水土保持通报, 2025, 45(6): 380-391. Chai Yue, Xu Yan, Wang Yongqiang. Measurement, variation trend and regional differences of agricultural green development level in Gansu Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025, 45(6): 380-391.

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2025.06.008

CSTR: 32312.14.stbctb.2025.06.008

Measurement, variation trend and regional differences of agricultural green development level in Gansu Province

Chai Yue, Xu Yan, Wang Yongqiang

(School of Management, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: [Objective] The evolutionary trends and regional differences of agricultural green development level in Gansu Province were analyzed, aiming to provide crucial theoretical support for promoting regional agricultural green development and achieving rural revitalization. [Methods] An evaluation indicator system for agricultural green development level was constructed. The entropy weight method was used to measure the agricultural green development level in Gansu Province and its 14 prefectures and cities. Furthermore, kernel density analysis and Dagum Gini coefficient were employed to thoroughly investigate the dynamic evolution and regional differences of agricultural green development level among the prefectures and cities. [Results] ① From 2014 to 2023, the overall agricultural green development level in Gansu Province showed an upward trend, with an increase of 17.65%. Additionally, significant spatial differences were observed in regional agricultural green development level, generally showing gradient distribution characteristics of Hexi region > Longdong region > Longzhong

收稿日期: 2025-06-18

修回日期: 2025-07-21

采用日期: 2025-07-21

资助项目: 甘肃省高校教师创新基金“甘肃省国土空间绿色利用及其对区域生态弹性保护的效应研究”(2025B-110); 甘肃省高校教师创新基金项目“黄河流域耕地生态补偿机制”(2023B-079)

第一作者: 柴悦(2001—), 女(汉族), 甘肃省兰州市人, 硕士研究生, 研究方向为农业绿色发展。Email: 2489495976@qq.com。

通信作者: 许艳(1980—), 女(汉族), 河北省沧州市人, 副教授, 主要从事农村发展与耕地保护研究。Email: 7183523@qq.com。

region. ② The period from 2014 to 2016 was the initial stage of agricultural green development in Gansu Province. From 2017 to 2019, the agricultural green development level increased significantly across the province. From 2020 to 2023, it entered a stage of fluctuating adjustment. ③ From 2014 to 2023, the regional differences in agricultural green development level in Gansu Province exhibited a trend of initial rise followed by fluctuating decline, maintaining within a reasonable range (<0.40) overall. The contribution of inter-regional differences was the largest (with an overall contribution rate of approximately 52.33%), especially between Hexi region and Longzhong region. The disparity between the Hexi region and Longdong region was the primary cause of the imbalance in agricultural green development. [Conclusion] From 2014 to 2023, the agricultural green development level in Gansu Province steadily increased, forming a spatial distribution pattern of ‘Hexi $>$ Longdong $>$ Longzhong’, and went through an evolutionary process of ‘initial development—rapid improvement—fluctuating adjustment’. Currently, the agricultural green development level in the Hexi region is substantially higher than that in the Longzhong and Longdong regions.

Keywords: agricultural green development level; measurement; variation trend; regional differences; Gansu Province

进入21世纪,中国农业农村现代化工作全面推进,党中央高度重视农业绿色化发展,明确提出了推动农业农村绿色发展的目标和任务。2021年9月甘肃省人民政府颁发了《关于加快农业发展全面绿色转型促进乡村生态振兴的指导意见》,其中明确指出,今后一段时期加快农业发展全面绿色转型以促进乡村生态全面振兴。由此表明甘肃省作为中国西部关键的农业区域,如何通过缩小区域差异,推动农业绿色发展水平协同化、均衡化,已成为亟需解决的重大科学问题,这不仅直接关系到区域生态与经济的协同发展,而且对实现区域乡村振兴至关重要。

国外农业绿色发展的研究起步较早,研究内容也更加多元化,主要集中在以下几方面:①以可持续发展目标(SDGs)为导向,强调农业生产与生态环境的协调,关注数字农业在应对气候变化、生物多样性保护等全球性议题中的作用^[1]。②绿色农业技术的应用,研究重点包括精准农业、有机农业、低碳农业等技术的推广与效果评估^[2]。③政策与制度层面的探讨,关注农业补贴、生态补偿、绿色认证等政策对农业绿色转型的影响。例如,Valkila M^[3]以尼加拉瓜有机咖啡为例,分析了公平贸易与有机认证对小农户生计的影响。近年来,在中国社会经济向高质量发展转型的背景下,农业领域也迎来了新的发展阶段,农业绿色发展问题逐渐引起学界的广泛关注。国内研究从初期的指标体系构建^[4]、发展水平测度^[5],逐步扩展到影响因素识别^[6]、空间差异分析^[7]等。农业绿色发展作为新型发展理念,在农业领域强调以尊重自然、顺应自然、保护自然为前提,追求经济效益、社会效益与生态效益的统一^[8]。通过绿色科技与制度创新,推动农业向增产增收、资源高效利用、环境友好和农民富裕健康等多目标协同发展的

方向转型,涵盖产业布局、生产方式、资源利用、产品供给、消费方式及生态环境保护等6个绿色发展领域^[9]。在评价指标体系构建方面,学者们从不同视角出发,尝试构建多维度的农业绿色发展水平评价体系,并在此基础上进一步探讨区域差异及其影响因素。例如,郭鹏飞等^[10]强调农业发展的品牌价值和质量效益,从资源、环境、生态和质量4个维度构建指标体系,对中国西南地区的农业绿色发展水平进行了测度;赵建亚等^[11]从农业绿色供给能力出发,构建了相应的指标体系,对中国三大流域的农业绿色发展水平及其影响因素进行了研究;尹梦彤等^[12]基于乡村振兴的视角,构建了涵盖农村发展、资源利用、环境友好和生态保护4个维度的湖北省农业绿色发展评价指标体系。与上述指标体系相比,本文构建的“农业资源-经济效益-生态保护-环境质量”四位一体框架取代传统单一维度或片面侧重,既涵盖耕地、水、农机等资源约束,又纳入粮食单产、劳动生产率等经济产出,同时用森林覆盖率、成灾率、化肥/农膜/柴油强度等关键负向指标锁定生态与环境阈值,在一定程度上弥补了“重经济,轻生态”或“重生态,缺经济”的分割式局限,能够较好地实现对农业绿色发展全过程、多要素的综合刻画。从研究尺度来看,当前农业绿色发展水平的研究已涵盖国家^[13]、省^[14]、市^[15]、县^[16]及流域等多个层级,研究区域多聚焦于黄河流域^[17]、长江经济带^[18]以及粮食主产区等^[19]重点区域,分析其农业绿色综合发展水平及驱动因素^[20]。其中省级尺度多集中在农业发达省份,对甘肃省农业绿色发展水平的研究多采用熵权法进行初步的水平测度,缺乏借助空间计量模型对区域差异及其空间演变趋势的深入探讨,尤其在区域差异来源的动态分解方面仍有待推进。

基于此,本研究参考前人研究成果^[13-14],并结合甘肃省农业生产实际情况,首先从农业资源、经济效益、生态保护和环境质量4个方面构建了甘肃省农业绿色发展水平评价指标体系,其次采用熵权法对甘肃省及各区域农业绿色发展水平进行实证测度,进一步采用Dagum基尼系数分解甘肃省区域内部、区域之间的农业绿色发展水平差异,最终提出甘肃省农业绿色发展水平协同提升策略,以期对甘肃省乃至整个西北地区实现农业可持续发展,保障国家粮食安全提供借鉴。

1 材料与方 法

1.1 研究区概 况

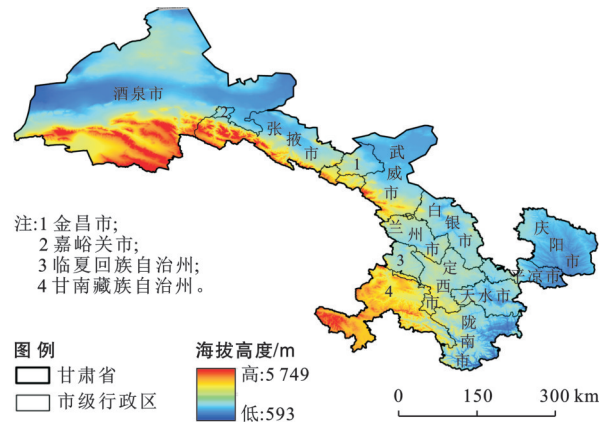
甘肃省位于中国西北地区,镶嵌在黄土高原、青藏高原与内蒙古高原的交界位置(图1)。全省地势自西南向东北倾斜,主要地形区划分为河西走廊地区、黄土高原区、祁连山区、甘南高原区、陇中地区、北山山地区六大区域。本研究结合地形特征和行政区划,将甘肃省划分为河西地区(武威、金昌、张掖、酒泉、嘉峪关)、陇中地区(兰州、白银、定西、天水、临夏、甘南)、陇东地区(平凉、庆阳、陇南)三大区域。全省气候类型丰富,总体气候特征为干旱少雨、昼夜温差大、四季分明。甘肃省是中国地理环境最为复杂的省份之一。其下辖14个地级行政区,辖区面积 $4.54 \times 10^5 \text{ km}^2$,旱地面积占全省耕地面积的70%以上,2020年开始,甘肃省粮食总产量连续3 a稳定在 $1.00 \times 10^7 \text{ t}$ 以上。近年来,甘肃省农业技术推广部门大力推行全膜双垄沟播、水肥一体化等旱作高效节水技术,在农业科技领域取得显著进展,研发了玉米密植增产、马铃薯立式深旋耕、土壤快速熟化培肥等多项关键核心技术,显著提高了水肥利用效率。在农业绿色发展方面,甘肃省通过建设绿色高质高效农田示范区,推动农业可持续发展,取得了一定成效。然而,甘肃省农业绿色发展仍面临地区内部差异大、农业科技支撑不足、资源利用效率低等诸多挑战,这些问题在不同程度上制约了甘肃省农业绿色发展化水平的提升。

1.2 数据来源与研究方 法

1.2.1 数据来源

本研究中各项评价指标原始数据分别来源于2015—2024年的中国统计年鉴、甘肃发展年鉴、甘肃农村年鉴、甘肃省国土/自然资源公报及甘肃省水土保持公报公开数据;矢量数据来自中国科学院资源环境数据共享中心(<https://www.resdc.cn/>);DEM

数据下载于地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn>);坐标重投影为CGCS2003 Degree GK Zone 35。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号GS(2019)333号的标准地图制作,底图未做修改。下同。

图1 甘肃省地形图

Fig.1 Topographic map of Gansu Province

1.2.2 农业绿色发展水平评价指标体系构建

本研究以甘肃省14个市(州)为研究单元,按照科学性、系统性、适宜性和可操作性以及数据可获得性等基本原则^[21],在梳理国内外研究文献的基础上,参考姜晴怡^[13]、姜帆等^[14]的研究方法,结合甘肃省农业发展实际情况,围绕农业绿色发展的核心要义,构建甘肃省农业绿色发展水平评价指标体系(表1)。

在构建甘肃省农业绿色发展水平评价指标体系的基础上,本文进一步引入熵权法^[22]对各项指标进行客观赋权,旨在确保评价结果的科学性与客观性。该方法能够有效避免人为因素的干扰,客观反映指标在不同样本间的差异程度^[23]。从权重结果来看,本文中生态保护类指标的权重最高(0.486 8),表明生态环境因素在甘肃省农业绿色发展过程中占据主导地位,体现甘肃作为生态脆弱区,生态保护对于农业可持续发展的重要性。其次是经济效益类指标(0.371 6),说明农业产出效率与经济效益同样是衡量绿色发展水平的重要因素。尽管农业资源类(0.117 1)与环境质量类(0.024 5)指标的权重相对较低,但其仍然能够从资源利用效率与环境污染控制的角度,对评价体系进行补充和完善。

1.2.3 研究方法

(1) 基于熵权法的农业绿色发展水平测度模型。

本研究参考徐霄等^[24]的研究方法,首先运用熵权法对指标体系进行赋权,然后采用加权函数法综合测算过去10 a间甘肃省及各市农业绿色发展水平。

具体计算过程如下:

$$Z = \sum_{i=1}^n \theta_j x_{ij} \quad (1)$$

式中: Z 为农业绿色发展水平评价值; θ_j 为单个指标权重; x_{ij} 为归一化处理后的指标数据; n 为样本数量。

表 1 甘肃省农业绿色发展水平评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system for agricultural green development level in Gansu Province

一级指标	二级指标	指标含义	指标类型	权重
农业资源 (0.117 1)	人均粮食播种面积/($\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$)	粮食播种面积/第一产业从业人员	正向	0.006 2
	耕地复种指数/%	农作物播种面积/耕地面积	负向	0.004 6
	节水灌溉面积占比/%	有效灌溉面积/耕地面积	正向	0.006 2
	单位播种面积农机总动力/($\text{kW} \cdot \text{hm}^{-2}$)	农机总动力/农作物播种面积	负向	0.100 1
经济效益 (0.371 6)	粮食单产/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	粮食产量/粮食播种面积	正向	0.167 3
	单位播种面积农业总产值/(万元· hm^{-2})	农业总产值/粮食播种面积	正向	0.150 2
	粮食产量增长率/%	[(本年粮食产量/上一年粮食产量)-1]×100%	正向	0.000 9
生态保护 (0.486 8)	农业劳动生产率/(万元· 人^{-1})	农业总产值/第一产业从业人员	正向	0.053 2
	森林覆盖率/%	森林面积/土地总面积	正向	0.000 6
	人均水资源量/($\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$)	水资源总量/总人口	正向	0.001 3
	自然保护区占有率/%	自然保护区面积/总面积	正向	0.001 9
环境质量 (0.024 5)	成灾率/%	成灾面积/受灾面积	负向	0.483 0
	化肥使用强度	化肥施用量/农作物播种面积	正向	0.002 4
	农用塑料薄膜使用强度	农用塑料薄膜量/农作物播种面积	正向	0.010 0
	农用柴油使用强度	农用柴油使用量/耕地总面积	负向	0.012 1

(2) 基于核密度分析的农业绿色发展水平动态演进计量模型。

本研究参考高群等^[25]的研究,采用核密度分析对甘肃省 2014—2023 年农业绿色发展水平动态演进进行估计,计算公式为

$$f_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \quad (2)$$

式中: $f_h(x)$ 为总体密度,其数值越大,代表集聚程度越高; h 表示带宽; n 为地区数量; $x - X_i$ 为估计点 x 至样本 X_i 的距离。

(3) 基于 Dagum 基尼系数的农业绿色发展水平差异测算模型。

为进一步分析甘肃省农业绿色发展水平的区域差异,本研究参考张西林等^[26]的研究方法,采用 Dagum 基尼系数来确定甘肃省农业绿色发展水平差异。与传统基尼系数及泰尔指数相比,Dagum 基尼系数通过分解可以更准确的计算区域差异的来源。计算公式为

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{2\mu n^2} \quad (3)$$

式中: k 为区域数量; n 为市域数量; n_j 和 n_h 分别表示第 j 和 h 区域内市域的农业绿色发展水平; μ 为总体

均值; y_{ij} 和 y_{hr} 分别表示区域 j 第 i 个样本和区域 h 第 r 个样本的观测值。Dagum 基尼系数可进一步分解为区域内差异贡献 $G(w)$ 、区域间差异贡献 $G(nb)$ 以及超变密度 $G(t)$,三者满足 $G = G(w) + G(nb) + G(t)$ 的数学关系。Dagum 基尼系数越大,表明区域差异越大,反之表明差异越小。

2 结果与分析

2.1 甘肃省农业绿色发展水平时空变化特征

2.1.1 时间变化特征

甘肃省 2014—2023 年农业绿色发展水平综合得分(图 2a)表明,甘肃省农业绿色发展水平总体呈现出“先上升,后下降”的变化趋势:综合评分在 2014—2018 年处于上升阶段,从 0.425 上升至 0.596,年均增长率达到 3.42%;在 2018—2023 年处于下降阶段,从 0.596 下降至 0.501,下降了 15.94%。

从一级指标变化趋势来看,农业资源呈现“波浪状”上升形态,经济效益、环境质量均整体呈现“倒 V”型的上升态势,转折点均在 2018 年和 2019 年,生态保护则处于低得分稳定状态。2014—2023 年甘肃省农业资源得分提高明显,增长值达到 0.05;各一级指标上升幅度表现为:农业资源 > 经济效益 > 环境质量 > 生态保护。综合来看,甘肃省在农业生产过程

中对于生态环境的保护仍有较大的提升空间。

图 2b 表明,农业资源指标在 2014—2023 年呈现波动上升趋势,从 2014 年的 0.240 上升到 2016 年的 0.302,年均增长率 10.51%,农业资源得分上升主要受益于单位播种面积农机总动力的提升,从侧面反映出在此期间甘肃省农业机械化水平得到明显提升(累计提升 22.90%)。2017—2019 年人均粮食播种面积、耕地复种指数及单位播种面积农机总动力均保持在相对稳定的状态,2020—2023 年受到人均粮食播种面积的下降和单位播种面积农机总动力的提升的影响呈现出波动状态,反映出甘肃省在农业资源利用方面取得了一定进展,但稳定性有待提高。经济效益指标在 2014—2023 年同样呈现波动上升趋势,从 2014—2018 年该指标上升了 0.08,之后有所下降,2023 年回落至 0.152。在研究期内,甘肃省粮食单产、单位播种面积农业总产值以及农业劳动生产率均不同程度有所增长,其年均增长率分别为 3.83%,6.71% 和 6.87%,需要重点关注的是,甘肃省

粮食产量增长率从 2018 年开始以年均 1.4% 的速度下降,表明甘肃省农业经济效益在 2018 年达到阶段性高点后,由于耕地非粮化的加剧,粮食产量增长速度有所下降,整体农业发展面临着新的挑战;过去 10 a 间生态保护指标得分处于较低水平,2014—2023 年均值仅为 0.022,主要原因在于虽然甘肃省自然生态环境多样,但对农业生产而言,各地区均存在显著的限制性因素,因此在实现农业绿色化和生态保护协同发展方面面临挑战;甘肃省农业绿色发展水平二级指标环境质量在 2014—2023 年波动较大,2014—2018 年处于上升态势,2014 年为 0.030,2018 年达到最高值 0.056,之后有所下降,2023 年为 0.039,原因在于过去 10 a 甘肃省通过持续性的政策引导,加强限制化肥使用以及农用塑料薄膜使用强度来加大环境保护力度,但在机械化水平不断提升的同时农用柴油使用强度一直处于高位水平,进一步导致甘肃省虽在环境质量方面取得了一定进展,但整体水平以及稳定性依旧较低。

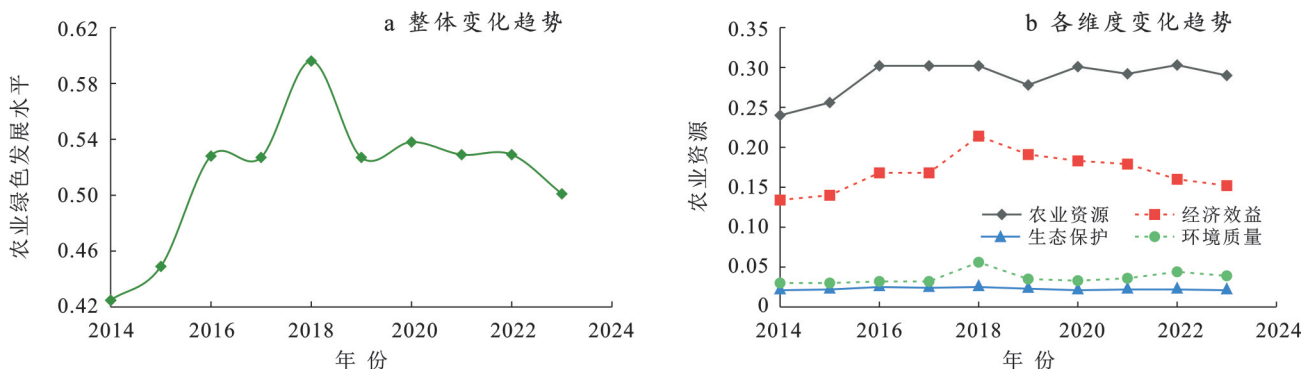


图 2 2014—2023 年甘肃省及农业绿色发展水平及各维度变化趋势

Fig. 2 Changes in agricultural green development level and its dimensions in Gansu Province (2014—2023)

2.1.2 空间变化特征

整体来看,甘肃省农业绿色发展水平在区域间差异明显,呈现出西北高、东南低的梯度分布特点(图 3)。在 2014—2023 年期间,甘肃省农业绿色发展水平的空间分布格局发生了较为明显的变化。具体而言,2014 年甘肃省农业绿色发展水平表现出中部和东部高、西部和南部较低分布特征。2023 年,全省农业绿色发展水平进一步提升,高值区域连片分布趋势更加明显,尤其在中部和东部地区,而西部和南部地区的低值区域逐渐减少。从区域来看,2014—2023 年,河西地区农业绿色发展水平整体呈现波动上升趋势,金昌市和酒泉市相较 2014 年分别增长约 4.26% 和 5.97%;陇中地区的兰州市和白银市绿色发展水平在研究期间上升明显,兰州市由 2014 年的

0.409 8 增长到 2023 年的 0.614 9,增幅达到 50.07%,白银市由 2014 年的 0.184 2 增长到 2023 年的 0.381 9,增幅达到 107.1%;陇东地区的庆阳市和平凉市变化较为明显,农业绿色发展水平年均增幅分别达到 11.45% 和 10.64%,相较而言,定西市在过去 10 a 间一直处于极低水平(<0.4)。

为进一步探究甘肃省农业绿色发展水平各个维度上的表现,本研究采用 GIS 中的自然间断点法(表 2),并在王丽娟等^[27]划分的较低水平、中等水平、较高水平基础上,进一步将其划分为极低水平、较低水平、一般水平、较高水平及极高水平 5 个等级对各市农业绿色发展水平的 4 个维度进行评价(图 4)。

在农业资源方面,河西地区耕地面积占全省的 29.1%,其中 2023 年有效灌溉面积占该区域耕地面

积的 70.4%，提高了 11.60%，由此可知较高的耕地复种指数和节水灌溉面积占比，为区域农业发展提供了良好的基础；而庆阳、陇南、天水等地受到耕地非粮化、耕地“非农化”的影响，过去 10 a 人均粮食播种面积分别下降了 3.10%，3.67% 和 4.25%，粮食产能有所降低；陇中地区水热组合条件适宜，同时机械化程度相对较高，因此对农业资源的开发程度稳定地处于较高水平；陇南和定西地区人均耕地数量较为

充足，分别为 0.32 hm² 和 0.36 hm²，但节水灌溉面积占比分别为 8.30%，12.17%，不及全省平均水平的 1/4 和 1/2，且并未有明显提升，表明过去 10 a 农业资源得分提升不明显；甘南州作为甘肃省重要的生态保育区，以林草覆盖面积为主的土地利用方式使得其土地资源总量不占优势，同时在生态保护政策的限制以及畜牧业为主的影响下，其农业资源得分持续稳定在极低水平。

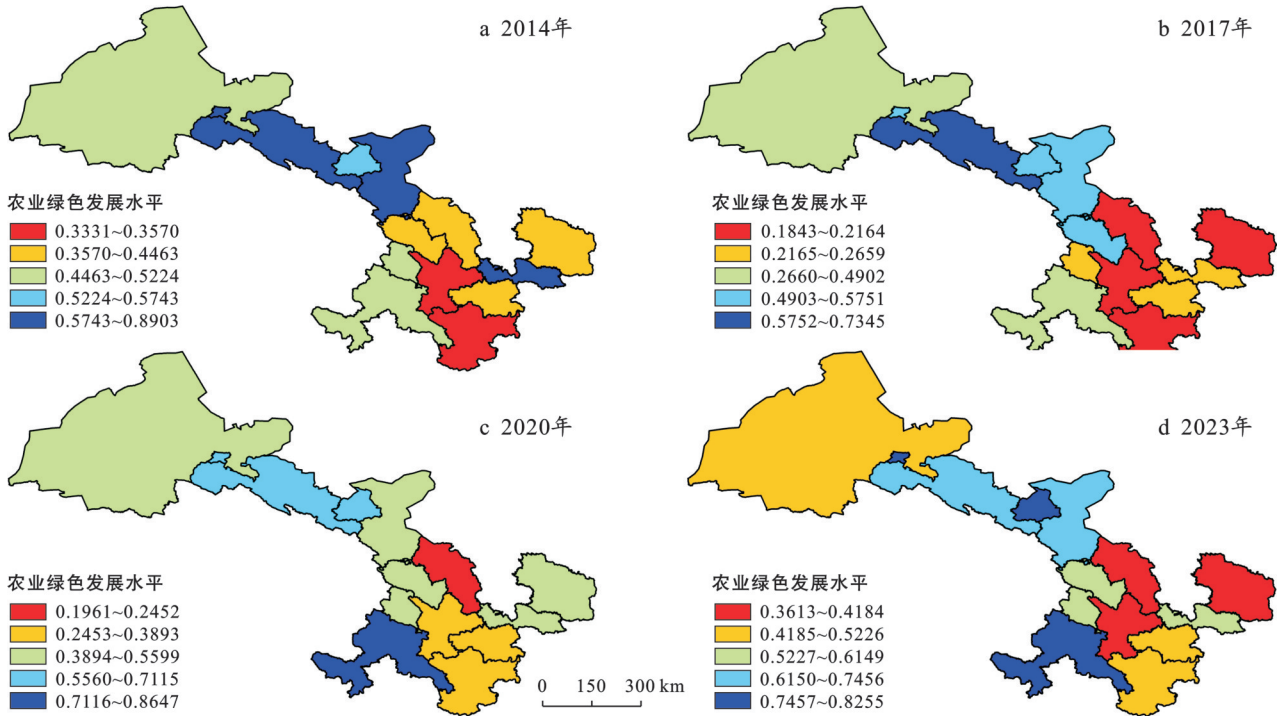


图 3 2014—2023 年甘肃省各市农业绿色发展水平分布

Fig.3 Distribution of agricultural green development level in cities of Gansu Province (2014—2023)

表 2 甘肃省农业绿色发展水平分级标准

Table 2 Classification criteria for agricultural green development level in Gansu Province

单一维度值	水平
[0.09, 0.13)	极低水平
[0.13, 0.16)	较低水平
[0.16, 0.24)	一般水平
[0.25, 0.28)	较高水平
[0.28, 0.53)	极高水平

在经济效益方面，2014—2023 年甘肃省河西地区的酒泉、嘉峪关等地的经济效益得分处于较高水平，原因在于河西五市（酒泉、嘉峪关、张掖、武威、金昌）粮食产量和农业生产效率年均增长率分别为 4.07% 和 0.92%，远高于定西（2.25%，0.02%）、天水（2.93%，0.32%）、临夏（1.99%，0.15%）等地区；自 2013 年甘肃省东部百万亩土地整治重大工程项目启动实施以来，陇中和陇东地区的兰州、白银、临夏、定

西、天水、陇南等地耕地质量平均提高 1.07 个等级，农业生产条件得到了更高层次的改善，因此在过去 10 a 间经济效益水平有所提升，由较低水平提升为一般水平。

在生态保护方面，虽然甘肃省整体生态环境得分较低，平均值为 0.022，但地区内部差异较大，相较于陇中、陇东地区，2014 年甘肃省河西地区生态环境平均得分为 0.015，到 2023 年提升到 0.021，原因在于近年来随着全域土地综合整治和高标准农田建设工作的开展，该区域以灌溉农业和绿洲农业为代表的现代农业实现了稳定农业生产用水供给的同时，大力推广高效节水技术，减少了水资源的消耗，加之由于地处石羊河、黑河流域，水资源较为充足，人均水资源占有率高于其他地区；甘南州因其良好的生态基底，在过去 10 a 间森林覆盖率提升了 1.75%，到 2024 年达到 24.57%，远高于甘肃省平均水平（11.33%），因此河西地区以及甘南地区的生态保护

得分较高,甘肃省其他地区受制于自然生态环境的脆弱性,农业生产过程中的生态保护水平较低。

在环境质量方面,2014—2023年甘肃省河西地区环境质量水平先上升后下降,下降点始于2019年,原因在于随着机械化水平的提高,河西地区传统绿洲农业同样得到进一步发展,该农业类型施用氮肥较高,导致河西地区化肥施用强度远高于全省平均

水平0.18,氮肥的过度使用加剧该区域农业生态环境恶化;陇中和陇东地区环境质量在过去10 a间持续下降,原因与河西地区一致,即在农业机械化不断推进的背景下,化肥施用强度和农用薄膜使用强度均有大幅度提升,以定西市为例,这两项指标分别提升了10.07%和12.16%,其环境质量得分由原来的0.19下降到0.14。

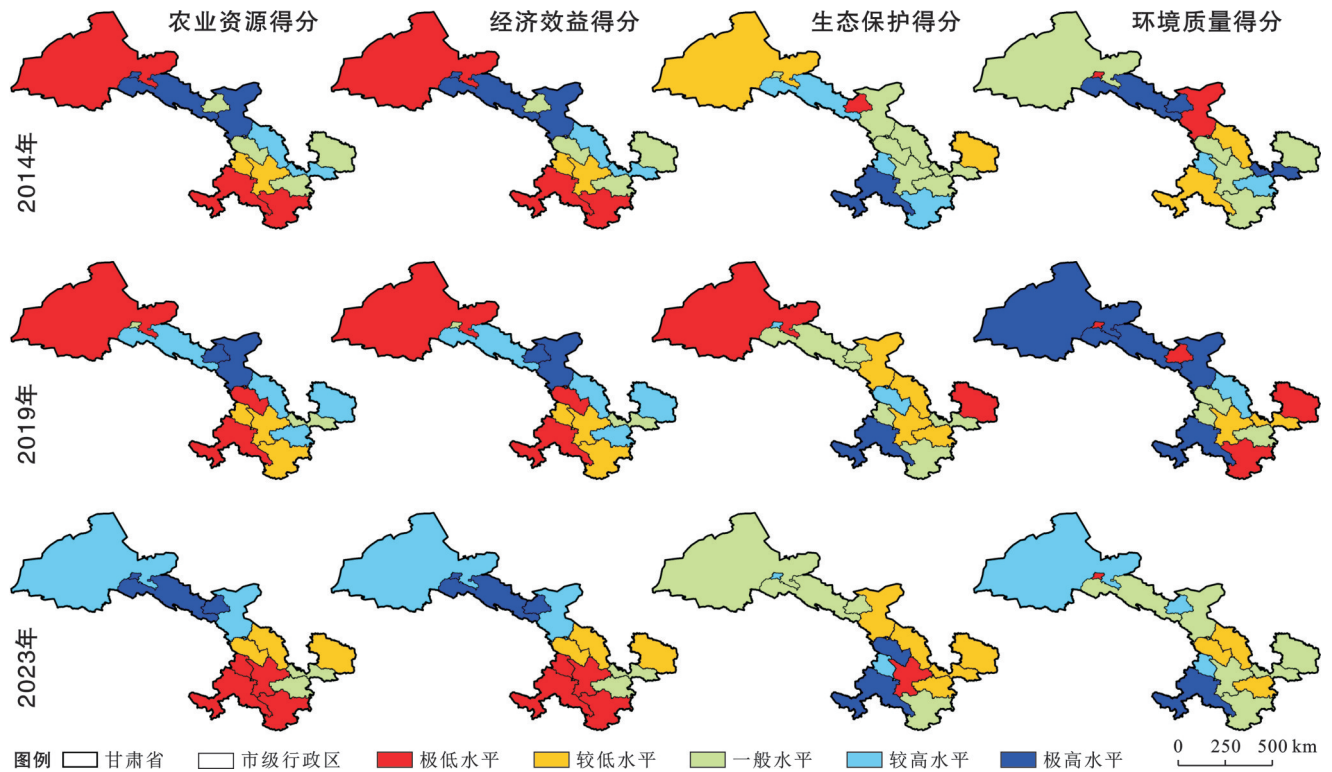


图4 2014—2023年甘肃省农业绿色发展水平各维度得分情况

Fig.4 Scores of each dimension of agricultural green development level in Gansu Province (2014—2023)

2.2 甘肃省农业绿色发展水平变化特征

2014—2023年,甘肃省农业绿色发展水平的核密度曲线呈现波动趋势(图5a),表明该水平在过去10 a中并非单调上升或下降,而是存在一定的波动性。多峰值特征表明多数年份中不同市域的农业绿色发展水平存在差异。

具体来看,2014年和2015年的核密度曲线较为平缓,峰值较低,表明当时的农业绿色发展水平整体处于较低水平,且区域间差异相对较小。2016—2018年,曲线峰值逐渐上升,反映出农业绿色发展水平显著提升,区域间差异开始扩大,部分区域绿色发展水平提升速度较快。2019—2023年,核密度曲线波动加剧,表明农业绿色发展受到更多不确定性因素的影响,区域间差异动态变化,部分地区的绿色发展水平出现波动。

综上所述,2014—2016年是甘肃省农业绿色发展的起步阶段,基础较为薄弱,尚未受到强有力的外

部刺激或政策推动。2017—2019年,核密度曲线的峰值逐渐上升,表明农业绿色发展水平显著提升。2020—2023年进入波动调整阶段,农业绿色发展面临更多不确定性和复杂因素的影响,区域间差异呈现动态变化,部分地区绿色发展水平出现波动。

为了进一步揭示河西、陇中、陇东3个地区在过去10 a间的农业绿色发展水平动态变化趋势,本研究求取了以上3个区域内部的农业绿色发展水平核密度的各年平均值。

(1) 河西地区核密度曲线分布形态呈现单峰右偏的特征,峰值(约为0.55)集中且拖尾较短,表明该区域农业绿色发展水平的均衡性相对较好。其次核密度曲线更加靠近右侧,说明区域农业绿色发展水平整体高于其他两大区域,原因在于河西地区土地平坦,灌溉农业比例较高,促使其农业资源利用的效率较高。

(2) 陇中地区的曲线分布形态表现为尖锐形左

农业绿色发展水平失衡的贡献度在逐步下降,降幅为17.70%;区域内差异和超变密度对农业绿色发展

不平衡的贡献度呈现上升趋势,涨幅分别达到16.92%和84.44%。

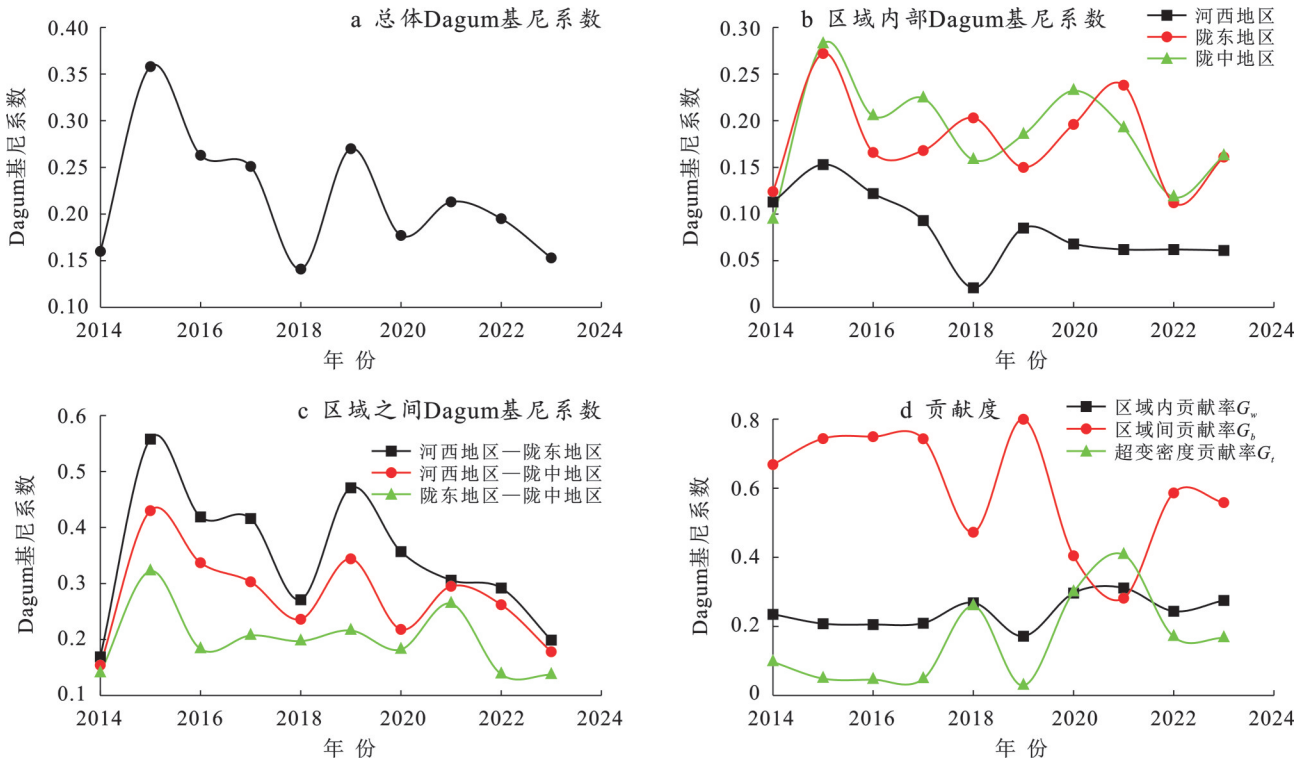


图6 2014—2023年甘肃省农业绿色发展水平差异分解

Fig.6 Decomposition of differences in agricultural green development level in Gansu Province (2014—2023)

3 讨论

本研究借鉴《“十四五”全国农业绿色发展规划》充分考虑甘肃省作为生态脆弱区和西部地区农业大省的独特省情,对部分指标进行了有针对性的调整与优化。目前,大部分研究多采用《农业绿色发展水平监测评价办法》所规定的指标体系,相较于以往的研究,本文构建的指标体系的优势在于更加注重生态保护与经济效益之间的协调与平衡,特别强化了水资源利用效率以及农业面源污染控制等关键指标的权重。这一调整不仅充分体现了甘肃省特殊的生态环境禀赋,也更贴合其农业绿色发展的现实需求与长远目标。

研究结果表明,近年来甘肃省农业绿色发展水平呈现出稳步提升的良好态势,特别是在2018年,全省农业绿色发展水平达到了峰值。这与王霞等^[27]的研究结果一致。她们认为政策引导是推动甘肃省农业绿色转型的重要外部驱动力,在2017—2018年,政策执行力度显著增强,带动了农业绿色指标的快速改善。与金书秦^[28]及张俊飏等^[29]对全国农业绿色发展水平测度结果进行比较,甘肃省农业绿色发展水平整体处于中等偏下水平,这与甘肃省严酷的自然

条件、脆弱的生态环境以及相对薄弱的农业基础设施等因素密切相关。此外,甘肃省内部各区域之间的差异同样显著,其中河西走廊地区凭借其较为优越的水土资源条件和相对完善的农业基础设施,农业绿色发展水平显著高于陇中、陇东等地区。深入分析这种时空变化特征可以发现,区域间资源禀赋的差异、政策支持力度的不同以及农业技术应用水平的高低等多重因素共同作用,导致了甘肃省农业绿色发展水平的区域差异^[30]。首先,自然资源禀赋的差异是导致区域差异的根本性因素,河西走廊拥有较为丰富的水资源和肥沃的土壤,为农业绿色发展提供了良好的自然基础,而陇中、陇东等地区则面临水资源短缺、土壤贫瘠等自然条件的制约,农业发展受到较大限制;其次,政策支持和资金投入的差异也是导致区域差异的重要因素,河西走廊作为甘肃省农业发展的重点区域,长期以来获得了更多的政策倾斜和资金支持,在很大程度上推动了该地区农业绿色技术的推广应用和农业基础设施的持续改善,进一步拉大了与其他地区的差距。因此未来提升甘肃省农业绿色发展水平的关键路径在于通过加快农业技术、人才、劳动力、资金的跨区域流动,缩小河西地区与其他两个区域之间的差异。

为进一步促进甘肃省农业绿色发展水平协同提升,基于以上研究结果,结合《关于加快农业发展全面绿色转型促进乡村生态振兴的指导意见》文件精神,本研究提出以下建议:①对于以现代都市型农业为主导的陇中地区,应进一步提升农业资源使用效率,降低农业机械消耗,推广农业节水技术,发展适应水资源条件的农业模式,发挥兰州市的经济驱动作用,增强区域内部农业资源的联动性和流动性,带动区域整体向技术农业、绿色农业方向推进。②河西地区作为区域性粮食主产区,应持续加强农田基础设施建设,提升土地利用率和劳动生产率,提高农业绿色发展的经济效益,同时应进一步加强生态保护工作的推进,加强生态修复与农业生产的协同,以实现农业的可持续发展和生态系统的长期稳定。③陇东地区实现农业绿色发展水平提升的关键在于生态保护、抗灾能力、特色农业、科技应用、政策扶持及区域合作的协同推进,因此通过强化生态修复、增强农业抵御自然灾害的能力是当下首要任务;其次,推广普及农业科技知识,培育特色农业产业,优化生态补偿政策,改善农业生产条件,降低农业风险,推动农业可持续发展,为区域生态建设和经济增长筑牢基础。

本研究虽然对绿色农业发展水平进行了深入研究,但仍然存在一定的局限性。①对于农业绿色发展水平的评价指标体系按照《“十四五”全国农业绿色发展规划》的解读,规划侧重政府层面对农业绿色发展的引导,但对农户、企业等微观主体的激励机制涉及较少(如补贴标准、技术推广路径)。②研究侧重于对甘肃省过去10a农业绿色发展水平进行实证测度,同时对于农业绿色发展水平的区域差异进行了分解,但对于农业绿色发展水平的影响因素缺乏层次性解析,未来有望对此进行更具有针对性的研究。

4 结论

本研究通过对2014—2023年甘肃省农业绿色发展水平的测度与时空演化特征分析,揭示了其发展规律与区域差异特征。

(1)过去10a,甘肃省农业绿色发展水平呈现稳步上升态势,整体水平呈现出“河西地区高于陇东地区,陇东地区又高于陇中地区”的空间分布格局,表明甘肃省在农业绿色发展方面取得了积极进展,但区域间的发展差距仍是制约其整体提升的关键因素。

(2)甘肃省农业绿色发展水平的提升经历了“起步—快速提升—波动调整”的阶段性演化过程,核密度曲线的多峰值特征和变化趋势揭示了不同区域在

农业绿色发展过程中的差异性和波动性。这种阶段性特征反映了政策实施及资源禀赋对农业绿色发展的深刻影响。

(3)尽管甘肃省农业绿色发展水平的区域差异总体处于合理范围(<0.40),但区域间差异,尤其是河西地区与陇中、陇东地区之间的差异,是造成空间失衡的主要原因。因此在推动农业绿色发展过程中,必须重视区域协调发展,通过差异化政策缩小区域差距。

参考文献(References)

- [1] Balasundram S K, Shamshiri R R, Sridhara S, et al. The role of digital agriculture in mitigating climate change and ensuring food security: An overview [J]. Sustainability, 2023, 15(6):5325.
- [2] Wezel A, Casagrande M, Celette F, et al. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review [J]. Agronomy for Sustainable Development, 2014, 34(1): 1-20.
- [3] Valkila M. Fair trade and organic certification in the context of smallholder livelihoods: A case study from Nicaragua [J]. Ecological Economics, 2009, 68(12): 3018-3025.
- [4] 付舒斐,吕添贵,朱丽萌,等.农业绿色发展对耕地利用碳排放强度的影响机制和空间效应[J].中国农业大学学报,2025,30(4):286-299.
Fu Shufei, Lv Tianguai, Zhu Limeng, et al. Impact mechanism and spatial effects of agricultural green development on carbon emission intensity of cultivated land use [J]. Journal of China Agricultural University, 2025, 30(4):286-299.
- [5] 尹朝静,廖培森,葛静芳,等.中国农业全要素水资源绿色生产率的区域差异、动态演进及收敛性[J].干旱区资源与环境,2025,39(2):107-116.
Yin Chaojing, Liao Peisen, Ge Jingfang, et al. Regional differences, dynamic evolution and convergence of agricultural total factor water green productivity in China [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2025, 39(2):107-116.
- [6] 盖美,杨尚菲,何亚宁.东北粮食主产区农业绿色发展水平时空演化及其影响因素[J].资源科学,2022,44(5): 927-942.
Gai Mei, Yang Qingfei, He Yanning. Spatiotemporal changes and influencing factors of agricultural green development level in main grain-producing areas in Northeast China [J]. Resources Science, 2022, 44(5):927-942.
- [7] 李菲菲,周霞,周玉玺.环渤海地区农业绿色发展水平评价与区域差异分析[J].中国农业资源与区划,2023,44(3):118-129.
Li Feifei, Zhou Xia, Zhou Yuxi. Evaluation of agricultural green development level and regional disparity analy-

- sis in the Bohai rim region [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(3): 118-129.
- [8] 尹昌斌,李福夺,王术,等.中国农业绿色发展的概念、内涵与原则[J].*中国农业资源与区划*,2021,42(1):1-6.
Yin Changbin, Li Fuduo, Wang Shu, et al. The concept, connotation and principle of agricultural green development in China [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(1):1-6.
- [9] 赵会杰,于法稳.基于熵值法的粮食主产区农业绿色发展水平评价[J].*改革*,2019(11):136-146.
Zhao Huijie, Yu Fawen. Evaluation of agricultural green development level in main grain producing areas based on entropy method [J]. *Reform*, 2019(11):136-146.
- [10] 郭鹏飞,何建.中国西南地区农业绿色发展水平测度及区域差异研究[J].*重庆三峡学院学报*,2025,41(1):50-62.
Guo Pengfei, He Jian. Measurement of agricultural green development level and regional differences in southwest China [J]. *Journal of Chongqing Three Gorges University*, 2025, 41(1):50-62.
- [11] 赵建亚,王术,王婷,等.我国三大流域农业绿色发展水平测度与时空差异分析[J].*环境保护*,2024,52(增刊3):32-38.
Zhao Jianya, Wang Shu, Wang Ting, et al. Measurement and spatiotemporal difference analysis of agricultural green development levels in the three major river basins in China [J]. *Environmental Protection*, 2024, 52 (Suppl.3):32-38.
- [12] 尹梦彤,尹子蔓,樊帆.湖北省粮食产业高质量发展与绿色发展耦合协调研究[J].*安徽农业科学*,2025,53(22):213-217.
Yin Mengtong, Yin Ziman, Fan Fan. Study on coupling and coordination between high quality development and green development of grain industry in Hubei Province [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2025, 53(22):213-217.
- [13] 姜晴怡.我国农业绿色发展水平测度及其时空特征分析[J].*现代化农业*,2025(1):70-73.
Jiang Qingyi. Measurement of China's agricultural green development level and analysis of its temporal and spatial characteristics [J]. *Modernizing Agriculture*, 2025(1):70-73.
- [14] 姜帆,任仝,宋金杰.河北省农业绿色发展水平评价及影响因素研究[J].*北方园艺*,2024(22):122-130.
Jiang Fan, Ren Quan, Song Jinjie. Research on evaluation and influencing factors of agricultural green development level in Hebei Province [J]. *Northern Horticulture*, 2024(22):122-130.
- [15] 肖玲玲,殷德军.天津市农业绿色发展水平分析[J].*南方农机*,2024,55(24):175-178.
Xiao Lingling, Yin Dejun. Analysis on the green development level of agriculture in Tianjin [J]. *China Southern Agricultural Machinery*, 2024, 55(24):175-178.
- [16] 邢铭强,马可,陈彩亮,等.河西地区农业绿色发展水平测度及耦合协调提升路径[J].*中国沙漠*,2024,44(6):207-219.
Xing Mingqiang, Ma Ke, Chen Cailiang, et al. Measurement and coupling coordination promotion path of agricultural green development level in the Hexi region [J]. *Journal of Desert Research*, 2024, 44(6):207-219.
- [17] 李魁明,王晓燕,姚罗兰.黄河流域农业绿色发展水平区域差异及影响因素[J].*中国沙漠*,2022,42(3):85-94.
Li Kuiming, Wang Xiaoyan, Yao Luolan. Regional differences and driving factors of agricultural green development level in the Yellow River basin [J]. *Journal of Desert Research*, 2022, 42(3):85-94.
- [18] 熊巍,周沛洋.长江流域农业绿色发展水平评价与时空差异分析[J].*生态经济*,2024,40(7):119-128.
Xiong Wei, Zhou Peiyang. Evaluation of agricultural green development level and analysis on spatial-temporal differences in the Yangtze River basin [J]. *Ecological Economy*, 2024, 40(7):119-128.
- [19] 张晓莉,刘云畅.粮食主产区农业绿色发展质量时空演变格局及驱动机制分析[J].*新疆农垦经济*,2025(8):60-72.
Zhang Xiaoli, Liu Yunchang. Spatial-temporal evolution pattern and mechanism analysis of agricultural green development in major grain producing areas [J]. *Xinjiang State Farms Economy*, 2025(8):60-72.
- [20] 韦流宜.基于资源环境承载力的我国农业绿色发展评价及影响因素分析[J].*中国农业资源与区划*,2025,46(3):13-22.
Wei Liuyi. Evaluation and influencing factor analysis of agricultural green development in China based on resource and environmental carrying capacity [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2025, 46(3):13-22.
- [21] 崔宁波,生世玉.粮食主产区农业绿色发展的影响因素、质量测度与动力分析:基于绿色全要素生产率视角[J].*农业资源与环境学报*,2022,39(3):621-630.
Cui Ningbo, Sheng Shiyu. Influencing factors, quality measurement and dynamic analysis of agricultural green development in major grain producing areas from the perspective of green total factor productivity [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(3):621-630.
- [22] Tilman D, Clark M. Global diets link environmental sustainability and human health [J]. *Nature*, 2014, 515(7528):518-522.
- [23] Foley J A, Ramankutty N, Brauman K A, et al. Solu-

- tions for a cultivated planet [J]. *Nature*, 2011, 478 (7369):337-342.
- [24] 徐霄,贾燕翔,管诗华,等.基于目标值的区域农业绿色发展评价研究:以浙江省衢州市为例[J].*生态经济*, 2024,40(11):97-102.
Xu Xiao, Jia Yanxiang, Guan Shihua, et al. Target-based evaluation of regional agriculture green development: Taking Quzhou City of Zhejiang Province as an example [J]. *Ecological Economy*, 2024, 40 (11) : 97-102.
- [25] 高群,王雨萱,窦亚文.长江经济带农业绿色发展水平的时空分异及驱动因子研究[J].*中国生态农业学报(中英文)*,2024,32(10):1731-1743.
Gao Qun, Wang Yuxuan, Dou Yawen. Spatial-temporal differentiation and driving factors of agricultural green development level in the Yangtze economic belt [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2024, 32 (10) : 1731-1743.
- [26] 张西林,范林榜,林兵.我国数字经济发展水平测度及地区差异实证研究[J].*江苏师范大学学报(自然科学版)*,2025,43(02):39-45.
Zhang Xilin, Fan Linbang, Lin Bing. An empirical study on measurement and regional differences of China's digital economy development level [J]. *Journal of Jiangsu Normal University (Natural Science Edition)*, 2025, 43(02): 39-45.
- [27] 王霞,吕剑平.甘肃省农业绿色发展水平综合测度及障碍因子分析[J].*国土与自然资源研究*,2022,(6):69-73.
Wang Xia, Lü Jianping. Comprehensive measurement of agricultural green development level and obstacle factor analysis in Gansu Province [J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2022, (6): 69-73.
- [28] 金书秦,魏琦,张斌.中国农业绿色发展的评价指标体系构建与实证分析[J].*农业经济问题*,2018,39(11):83-92.
Jin Shuqin, Wei Qi, Zhang Bin. Construction and empirical analysis of evaluation index system for green development in Chinese agriculture [J]. *Agricultural Economic Problems*, 2018,39(11):83-92.
- [29] 张俊彪,王学婷.中国农业绿色发展的时空演变及驱动因素[J].*中国人口·资源与环境*,2020,30(5):68-76.
Zhang Junbiao, Wang Xueting. Spatiotemporal evolution and driving factors of green development in Chinese agriculture [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020,30(5):68-76.
- [30] 孙艺夺,吴永常.甘肃省农业现代化水平评价及区域差异分析[J].*中国农业资源与区划*,2018,39(11):217-224.
Sun Yiduo, Wu Yongchang. Evaluation and regional difference analysis of agricultural modernization level in Gansu Province [J]. *Chinese Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018,39(11):217-224.

(上接第379页)

- [22] 张艳杰,庞清刚,刘洋,等.紫穗槐根土复合体特征对黄土边坡稳定性的影响[J].*水土保持通报*,2024,44(4):33-44.
Zhang Yanjie, Pang Qinggang, Liu Yang, et al. Influence of root-soil complex characteristics of *Amorpha fruticosa* on stability of loess slope [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2024,44(4):33-44.
- [23] 杨旭超,张军,李杰,等.呈贡区近30年植被覆盖度时空变化特征与土地利用驱动[J].*水土保持研究*,2019,26(4):232-238.
Yang Xuchao, Zhang Jun, Li Jie, et al. Temporal and spatial variation characteristics of vegetation coverage and land use driving in Chenggong District in recent 30 years [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2019,26(4):232-238.
- [24] Sheikh V, Visser S, Stroosnijder L. A simple model to predict soil moisture: Bridging event and continuous hydrological (BEACH) modelling [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2009,24(4):542-556.
- [25] Manfreda S, Fiorentino M, Iacobellis V, et al. DREAM: A distributed model for runoff, evapotranspiration, and antecedent soil moisture simulation [J]. *Advances in Geosciences*, 2005,2:31-39.
- [26] Sloan P G, Moore I D. Modeling subsurface stormflow on steeply sloping forested watersheds [J]. *Water Resources Research*, 1984,20(12):1815-1822.
- [27] Rougé C, Ge Yan, Cai Ximing. Detecting gradual and abrupt changes in hydrological records [J]. *Advances in Water Resources*, 2013,53:33-44.
- [28] Ahn K H, Merwade V. Quantifying the relative impact of climate and human activities on streamflow [J]. *Journal of Hydrology*, 2014,515:257-266.
- [29] 郭慧慧,郝明德,李龙,等.农牧交错带土地利用类型对土壤风蚀的影响[J].*水土保持通报*,2016,36(6):53-57.
Guo Huihui, Hao Mingde, Li Long, et al. Impacts of land use type on soil wind erosion in agro-pastoral area [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2016,36 (6):53-57.
- [30] Goss M J, Miller M H, Bailey L D, et al. Root growth and distribution in relation to nutrient availability and uptake [J]. *European Journal of Agronomy*, 1993, 2 (2):57-67.