

甘肃省耕地开发强度的时空分异及驱动因素

后莉, 黄鑫, 裴婷婷, 陈英, 谢保鹏, 席瑞云

(甘肃农业大学 管理学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: [目的] 探究甘肃省耕地资源开发现状及其驱动因素, 为制定精准有效的耕地保护政策提供科学依据, 促进耕地绿色可持续发展。[方法] 以甘肃省 14 个地州市为研究单元, 量化耕地开发强度, 采用泰尔指数、标准差椭圆及灰色关联分析等方法, 揭示 2004—2023 年甘肃省耕地开发强度的时空格局演变特征及影响因素。[结果] ① 2004—2023 年, 甘肃省耕地开发强度呈波动上升趋势, 空间分布呈现“东高西低, 南高北低”的显著异质性特征, 高强度区集中于黄河流域中东部, 低强度区分布于西南部与西部。② 耕地开发广度的空间分异呈“东高西低, 南高北低”格局且持续衰减。耕地开发深度高值区由北向南迁移且低值区范围逐渐缩小。开发频度呈“中部高, 四周低”特征且市州间差异不断增大。③ 甘肃省耕地开发强度形成较稳定的空间集聚特征, 重心整体朝西北方向迁移, 标准差椭圆面积从 135 816.83 km² 增至 144 192.68 km², 空间离散程度增大。④ 甘肃省耕地开发强度总泰尔系数在 0.218 0~0.168 0 间小幅波动。其中组间差异贡献率维持在 59.83%~70.56%, 主导着区域总差异, 河西走廊对组间差异的贡献率达 45.02%~58.50%, 是耕地开发强度差异变化的主要驱动区域。⑤ 耕地开发强度分异并非单一因素决定, 而是多因子(自然环境因素>社会经济因素)共同驱动结果, 其中自然环境因素对开发强度、广度与深度起决定性作用, 社会经济因素则主导开发频度。[结论] 甘肃省耕地开发强度变化是一个以自然环境因素为主导、社会经济因素为辅助的动态过程, 具有明显的空间异质性和集聚性, 在研究期内呈波动上升趋势。

关键词: 耕地开发强度; 时空分异; 区域差异; 影响因素; 甘肃省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2025)05-0433-12

中图分类号: F301.21

文献参数: 后莉, 黄鑫, 裴婷婷, 等. 甘肃省耕地开发强度的时空分异及驱动因素[J]. 水土保持通报, 2025, 45(5):433-444. Hou Li, Huang Xin, Pei Tingting, et al. Spatiotemporal differentiation and driving factors of cultivated land development intensity in Gansu Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025, 45(5):433-444. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2025.05.017; CSTR:32312.14.stbctb.2025.05.017.

Spatiotemporal differentiation and driving factors of cultivated land development intensity in Gansu Province

Hou Li, Huang Xin, Pei Tingting, Chen Ying, Xie Baopeng, Xi Ruiyun

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

Abstract: [Objective] The current cultivated land status and driving factors of cultivated land development in the Gansu Province were investigated to provide scientific support for formulating targeted policies promoting cultivated land protection and sustainable agricultural development. [Methods] Using 14 prefecture-level cities in Gansu Province as research units, this study quantified the intensity of cultivated land development and employed methods including the Theil Index, standard deviational ellipse, and gray correlation analysis to reveal spatiotemporal pattern evolution characteristics and influencing factors of cultivated land development intensity in Gansu Province from 2004 to 2023. [Results] ① The intensity of cultivated land development in Gansu Province had fluctuated but increased overall. Spatial distribution exhibited significant heterogeneity, presenting the pattern ‘higher in the east, lower in the west; higher in the south, lower in the north.’ High-intensity areas were concentrated in the middle and eastern parts of the Yellow River basin, whereas low-intensity areas were

收稿日期: 2025-05-22

修回日期: 2025-06-10

采用日期: 2025-06-12

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于同位素示踪的陇东黄土丘陵区梯田果粮复合系统水分利用机制研究”(42361017); 甘肃省高校创新项目“基于农户视角的梯田非粮化行为决策机制研究”(2024B-075); 甘肃省高校研究生“创新之星”项目“基于农户视角的梯田非粮化行为决策机制研究”(2025CXZX-779)

第一作者: 后莉(2001—), 女(汉族), 甘肃省岷县人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源管理。Email: hou10803@126.com。

通信作者: 裴婷婷(1989—), 女(汉族), 甘肃省静宁县人, 博士, 副教授, 主要从事土地资源管理与农村发展等方面的研究。Email: peitt@gsau.edu.cn。

distributed in the southwestern and western regions. ② The spatial differentiation of cultivated land development breadth in Gansu Province showed a pattern of ‘higher in the east, lower in the west; higher in the south, lower in the north,’ with a continuous decline over time. Development depth followed a north-south transition of high-value areas with narrowing low-value zones. The development frequency presented a ‘central-high-peripheral-low’ pattern with increasing inter-city disparities. ③ The intensity of cultivated land development in Gansu Province had formed relatively stable spatial agglomeration characteristics. The center of gravity had shifted toward northwest as a whole, and the area of the standard deviational ellipse had increased from 135, 816.83 km² to 144, 192.68 km², indicating increased spatial dispersion. ④ The total Theil index of cultivated land development fluctuated slightly between 0.2180 and 0.1680, with inter-group differences (59.83%—70.56%) dominating regional variations. The Hexi Corridor contributed 45.02%—58.50% to intergroup differences, serving as the primary driver of variations in intensity in Gansu Province. ⑤ Differentiation in cultivated land development intensity in Gansu Province was not determined by a single factor, however, was jointly driven by multiple factors, including natural environmental and socioeconomic factors. Natural environmental factors played a decisive role in development intensity, breadth, and depth, whereas socioeconomic factors played a decisive role in frequency. [Conclusion] The change in cultivated land development intensity in Gansu Province is a dynamic process dominated by natural environmental factors and assisted by socioeconomic factors. It is characterized by obvious spatial heterogeneity and agglomeration, with a fluctuating upward trend over the examined years.

Keywords: cultivated land development intensity; spatiotemporal differentiation; regional differences; influencing factors; Gansu Province

耕地是粮食生产的基础,是人类赖以生存和发展的基本资源和条件^[1],具有粮食生产、生态维护和社会保障等多重功能^[2]。但在人多地少、后备耕地资源不足的现实条件约束下,中国现有耕地资源承载力已接近极限^[3]。一方面,随着经济发展、城市化和工业化进程的迅速推进,中国耕地开发强度不断增大,造成土地耕作层土壤有机质含量持续下降,土壤肥力和保水保肥能力减弱,耕地地力遭到严重透支,影响耕地生产力水平^[4]。另一方面,耕地储量有限的现实又要求通过加大开发强度以实现农产品的有效供给。在这种耕地资源数量和质量有限但需求较大的情况下,耕地资源开发强度评价就显得十分重要,其可准确判断耕地资源开发状态,为耕地资源管理提供决策依据^[5],并成为提高中国耕地生产能力与利用效率的重要手段。掌握区域耕地资源开发强度的现实情况,对制定区域耕地资源管理政策,保障区域粮食安全和生态安全具有重要意义。

当前学术界对于耕地利用的相关研究已十分丰富,涉及耕地非粮化^[6]、耕地用途管制^[7]、耕地绿色利用^[8]、低碳利用^[9]、耕地利用转型等^[10]多个方面,探究了中国耕地利用现状以及如何向更沃、更绿、更健康、更高产的方向发展,为中国耕地高效、环保性利用提供了丰富的科学支撑。另外,现有研究对于用地强度的研究也取得了显著进展,涵盖土地开发强度^[11-12]的时空分异、驱动因素探究^[13],以及土地利用强度和耕地利用强度等^[14-15]多个方面,取得了丰硕的

研究成果。耕地开发强度作为土地开发强度的重要组成部分,近年来也受到广泛关注。如李佳玲等^[16]研究了湖南省耕地开发强度时空演变特征,宋小青等^[5]对中国耕地资源开发强度及其演化阶段进行深入分析。然而,当前研究成果中对中国西北内陆干旱区耕地开发强度的关注明显不足,亟需进一步探究。甘肃省地处中国西北内陆地区,地形复杂^[17],耕地条件较差,土壤类型多样,人均耕地数量较少,可开发利用的后备资源相对匮乏^[18]。其耕地资源的稀缺性和不合理分布对区域耕地开发规模与方式产生了一定限制。甘肃省作为中国生态安全屏障的重要组成部分及维护西部粮食安全的关键一环,探究其耕地开发状况及驱动因子对于协调耕地开发强度与生态保护,应对粮食安全与生态安全的双重挑战具有重要意义。基于此,本研究以甘肃省14个地州市为研究对象,从耕地开发的广度、深度、频度3个方面来综合度量其耕地开发强度,并采用泰尔系数模型和标准差椭圆对2004—2023年来甘肃省耕地开发强度时间变化趋势和空间格局演化特征及区域差异特征进行分析,以期全面把握甘肃省耕地开发强度的发展方向及规律,并深入探究其影响因素,为区域耕地开发和综合利用制定适宜的管控政策提供帮助。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

甘肃省位于中国西北地区,位于黄河上游地区,

与黄土高原、青藏高原、内蒙古高原接壤,东西分别连通陕西和青海、新疆,南与四川接壤,北与内蒙古、宁夏等省区相连;西北出蒙古国,辐射中亚。该省大部分地区处于西北内陆,属于典型的大陆性气候,是中国地形地貌最为丰富的省份之一。地形狭长,东西跨越约1 600 km,南北宽530 km,总面积 $4.26 \times 10^5 \text{ km}^2$,占中国国土面积的4.72%^[19],下辖12个地级市以及临夏回族自治州和甘南藏族自治州。截至2023年,甘肃省年末总人口达2 465.48万人,地区生产总值(GDP)实现11 863.84亿元。

1.2 数据来源

研究所需的CLCD数据来源于Yang Jie等^[20]提供的1985—2023年中国30 m土地覆被数据集(<https://zenodo.org/records/12779975>),该数据集是基于谷歌地球引擎(GEE)上的335 709个Landsat数据场景生成的,整体准确率为80%。与现有数据集相比,它表现出了卓越的分类精度、空间分辨率和时间分辨率,并显示出与不透水地表、地表水和全球森林变化产品的良好一致性,本研究基于此数据集提取2000—2023年各州市耕地面积及土地总面积。降水量数据来自2023年甘肃省水资源公报,DEM数据使用哥白尼数字高程模型(Copernicus DEM, COP-DEM),由欧洲航天局发布(<https://panda.copernicus.eu/panda>),被行业公认为是目前最佳开源DEM,分辨率为30 m。各地州市粮食产量数据来自2001—2024年《甘肃省统计年鉴》,农作物播种面积、农业机械总动力、地区生产总值、农产品(种植业)生产价格指数、人口密度、有效灌溉面积、城市化率、农村居民人均可支配收入等数据通过2005—2024年《甘肃省统计年鉴》获得。

1.3 研究方法

1.3.1 耕地开发强度

宋小青等^[5]将耕地资源开发强度定义为在某一区域、某一发展阶段、某一技术条件下,人们为获得生存和发展所需而人为干预耕地资源生产方式或条件以达到对耕地产出能力的占用程度。由此可见对耕地的开发是为了获取更多可供人类生存、生活和发展所需的资料。基于此,结合宋小青^[5]、李佳玲^[16]、朱吉贝等^[21]学者对耕地开发强度的量化方式,分别从开发广度、深度与频度3个维度对耕地开发强度进行综合测度。

(1) 耕地开发广度,即耕地数量的开发率,计算公式为

$$k_g = \frac{S}{S_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: k_g 表示开发广度; S 为现状耕地面积; S_0 为区域土地总面积。

(2) 耕地开发深度,即粮食单产潜力的开发率,计算公式为

$$k_s = \frac{Y}{P} \times 100\% \quad (2)$$

式中: k_s 表示开发深度; Y 为现有粮食产量; P 为粮食生产潜力。其中,粮食生产潜力通过计算研究时点前5 a粮食产量的趋势值得到。

(3) 耕地开发频度,即粮食复种潜力的开发率,计算公式为

$$k_p = \frac{S_p}{s} \times 100\% \quad (3)$$

式中: k_p 表示开发频度; S_p 为农作物播种面积; s 为现状耕地面积。

(4) 计算耕地开发强度计算公式为

$$k = k_g \cdot k_s \cdot k_p \times 100\% \quad (4)$$

式中: k 表示开发强度。

1.3.2 泰尔指数

泰尔指数是一种常用的衡量区域差异的方法,它通过对总体差异进行分解以探索地区间差异,衡量区域内部差异和区域之间差异对整体差异的贡献^[22]。本文将甘肃省14个地州市按照地理位置、地形地势、历史文化等分为河西走廊(包括酒泉市、张掖市、嘉峪关市、金昌市、武威市),陇中地区(包括天水市、定西市、临夏回族自治州、兰州市、白银市),陇东地区(平凉市、庆阳市)南部地区(包括陇南市、甘南藏族自治州)等4个区域,以衡量耕地开发强度分异。泰尔指数取值范围为0~1,结果值越大,代表差异程度越大。计算公式为

$$T = \sum_{g=1}^G (\omega_{g,i} \times \frac{x_{g,i}}{\mu} \ln \frac{x_{g,i}}{\mu}) \quad (5)$$

$$T_b = \sum_{g=1}^G \omega_g \times \frac{\mu_g}{\mu} \ln \left(\frac{\mu_g}{\mu} \right) \quad (6)$$

$$T_w = \sum_{g=1}^G \omega_g \cdot T_g \quad (7)$$

式中: T 为总泰尔指数; T_b 为组间差异; T_w 为组内差异; μ 为全局加权平均值; μ_g 为第 g 组的加权平均值; $\omega_{g,i}$ 是第 g 组第 i 区域的权重; ω_g 为第 g 组的权重; $x_{g,i}$ 为第 g 组内各区域的耕地开发强度值; n_g 为第 g 组的区域数量; T_g 为第 g 组自身的泰尔指数。

1.3.3 标准差椭圆

标准差椭圆(standard deviational ellipse, SDE)是一种测量地理要素分布格局的空间统计方法^[23]。

在GIS软件中使用空间分析工具创建甘肃省耕地开发强度标准差椭圆,可以汇总地理要素的空间特征并实现标准化椭圆的可视化,以反映甘肃省耕地开

发强度的空间分布特征和核心区域变化状况。

$$(\bar{X}, \bar{Y}) = \left(\sum_{i=1}^n F_i \cdot X_i / \sum_{i=1}^n F_i, \sum_{i=1}^n F_i \cdot Y_i / \sum_{i=1}^n F_i \right) \quad (8)$$

$$\tan \theta = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \bar{X}_i^2 \cdot F_i^2 - \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i^2 \cdot F_i^2 \right) + \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \bar{X}_i^2 \cdot F_i^2 - \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i^2 \cdot F_i^2 \right)^2 + 4 \left(\sum_{i=1}^n \bar{X}_i \cdot \bar{Y}_i \cdot F_i \right)^2}}{2 \sum_{i=1}^n \bar{X}_i \cdot \bar{Y}_i \cdot F_i} \quad (9)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^n (\bar{X} \cdot F_i \cdot \cos \theta - \bar{X} \cdot F_i \cdot \sin \theta)^2}{n}} \quad (10)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^n (\bar{Y} \cdot F_i \cdot \cos \theta - \bar{Y} \cdot F_i \cdot \sin \theta)^2}{n}} \quad (11)$$

式中: X_i, Y_i 为经度和纬度; F_i 为耕地开发强度; n 为变量总数; (\bar{X}, \bar{Y}) 为标准差椭圆的重心; σ_x, σ_y 为空间椭圆长半轴和短半轴的标准差; θ 为转角度数。

1.3.4 灰色关联度

灰色关联度分析是一种对系统动态发展态势的量化比较分析方法^[24],主要用于对系统中母因素与子因素之间关系的紧密程度进行分析,进而分析出导致该系统发展变化的主要因素和次要因素^[25]。本文参考崔岚等^[26]的研究成果,采用灰色关联度模型对影响甘肃省耕地开发强度变化的相关因素进行分析。将甘肃省耕地开发强度作为参考序列,选取相关指标作为比较序列,分析其对耕地开发强度的影响程度。计算公式为

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (12)$$

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta(\min) + \rho \Delta(\max)}{\Delta_i(k) + \rho \Delta(\max)} \quad (k = 1, 2, 3 \dots n)$$

其中, $\Delta_i(k) = |X_{0i}(k) - X_i(k)|$

$\Delta_{\min} = \min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)|$

$\Delta_{\max} = \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|$

式中: r_i 为灰色关联度; n 为数据序列的个数; $\xi_i(k)$ 为关联系数; Δ_{\min} 和 Δ_{\max} 为两者间差值的最小值和最大值; $0 < \rho < 1$,为分辨系数,通常情况下, ρ 取0.5; $\Delta_i(k)$ 为绝对差值, $X_{0i}(k)$ 为参考序列标准化数据, $X_i(k)$ 为比较序列标准化数据。一般的,关联度数值越大,说明该组因素参考序列和比较序列之间关系的紧密程度越强。

2 结果与分析

2.1 甘肃省耕地开发强度时空变化特征分析

2.1.1 甘肃省耕地开发强度时空变化

通过公式(1)~(4)测算甘肃省全域耕地开发强

度值发现(图1),2004—2023年甘肃省耕地开发深度、频度及强度均呈波动式上升趋势,而广度数值常年保持低值且呈逐年减小态势,这一变化趋势表明,随着时间推移,甘肃省全域耕地投入及产出量均有所提升,而耕地面积却有所缩减。具体来看,耕地开发深度波动幅度较大,2014年达到峰值(1.11)。这与当时的经济发展形势以及国家政策调整密切相关。2013年12月,中央经济工作会议报告提出“确保谷物基本自给,口粮绝对安全”的新粮食安全观,确立“以我为主,立足国内,确保产能,适度进口,科技支撑”的战略方针。

在此背景下,甘肃省耕地粮食生产水平实现重大突破。耕地开发频度呈较平稳的波动上升态势,在2016年达到峰值(0.79)后回落,之后又平稳上升。耕地开发强度在2014年达到高峰(10.76%)后回落,2017年后开始回升。20 a间,耕地开发强度值变动主要受开发深度驱动,二者变化趋势最为相似,而受耕地开发广度的影响最小。这主要是由于甘肃省位于中国西北部,属典型山地高原区,地形地貌复杂,可开发耕地面积受限所致。

在GIS软件中,采用自然断点法将甘肃省各州市耕地开发强度值分5级显示(图2)。整体来看,甘肃省耕地开发强度呈现“东高西低,南高北低”的空间分异格局,且具有相对集中特性。高强度区(包括较高与高)成块分布,集中在甘肃省东部和中部的黄河流域(渭河、洮河、泾河汇入黄河区),该流域较为丰富的水资源体系为耕地开发提供显著助力。其中,2004—2016年开发强度极高值区均为平凉市,2004年为35.25%,2010年达到43.30%,2016年为39.52%,自2017年起转变为天水市(2018年异常,极高值仍为平凉市,其值31.63%),并在后续年份保持极高值区地位,至2023年,天水市耕地开发强度达到33.51%,平凉市为32.08%。低强度区(包括较低与低)主要集中于甘肃省西南部的甘南高原和西部的河西走廊,受限于地形地势及气候环境,该区域耕地面积相对较少,耕地开垦环境限制性较大。其中,逐年极低值区均为酒泉市,其值在2004—2023年保持在0.87%~1.55%。

研究时段内,大多数地州市耕地开发强度等级保持稳定,如酒泉市、嘉峪关市、张掖市、甘南州稳定在低与较低强度区,平凉市稳定在高强度区,陇南市稳定在中强度区。但也有部分地区发生了变化,如武威市从前期低强度区转为较低强度并趋于稳定,定西市和天水市从高强度区下降到较高强度区后又回升。

分时段来看,2004—2010年,除金昌市与天水市有所降低外,其余各市相对稳定。2010—2016年,多数地区维持既有强度等级,黄土高原区的定西市、天水市、庆阳市有所下降。2016—2023年,部分地区(定西市、天水市、白银市、庆阳市、金昌市)有一定提升,其余地区相对稳定。整体而言,耕地开发强度波动区主要出现在河东地区,河西地区则相对稳定。

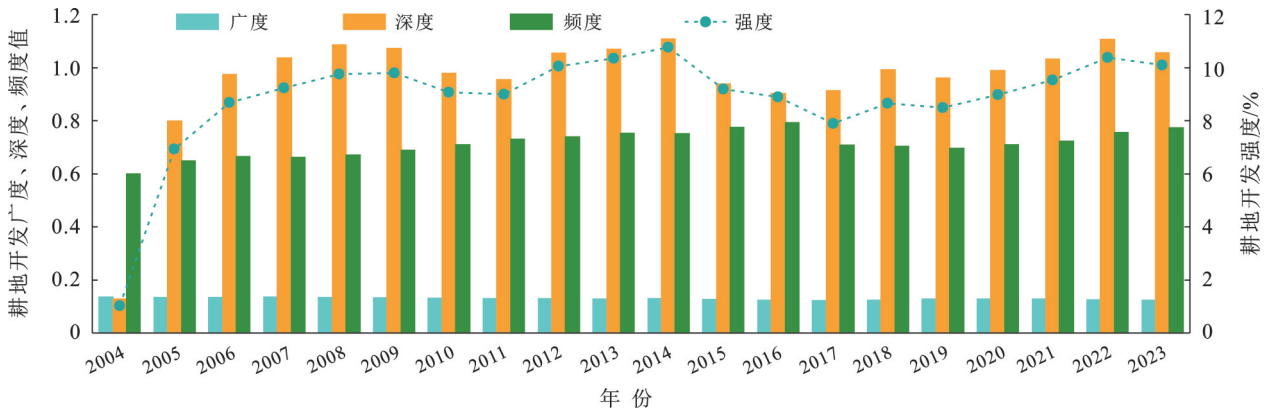


图1 甘肃省2004—2023年耕地开发强度变化

Fig.1 Change of cultivated land development intensity in Gansu Province from 2004 to 2023

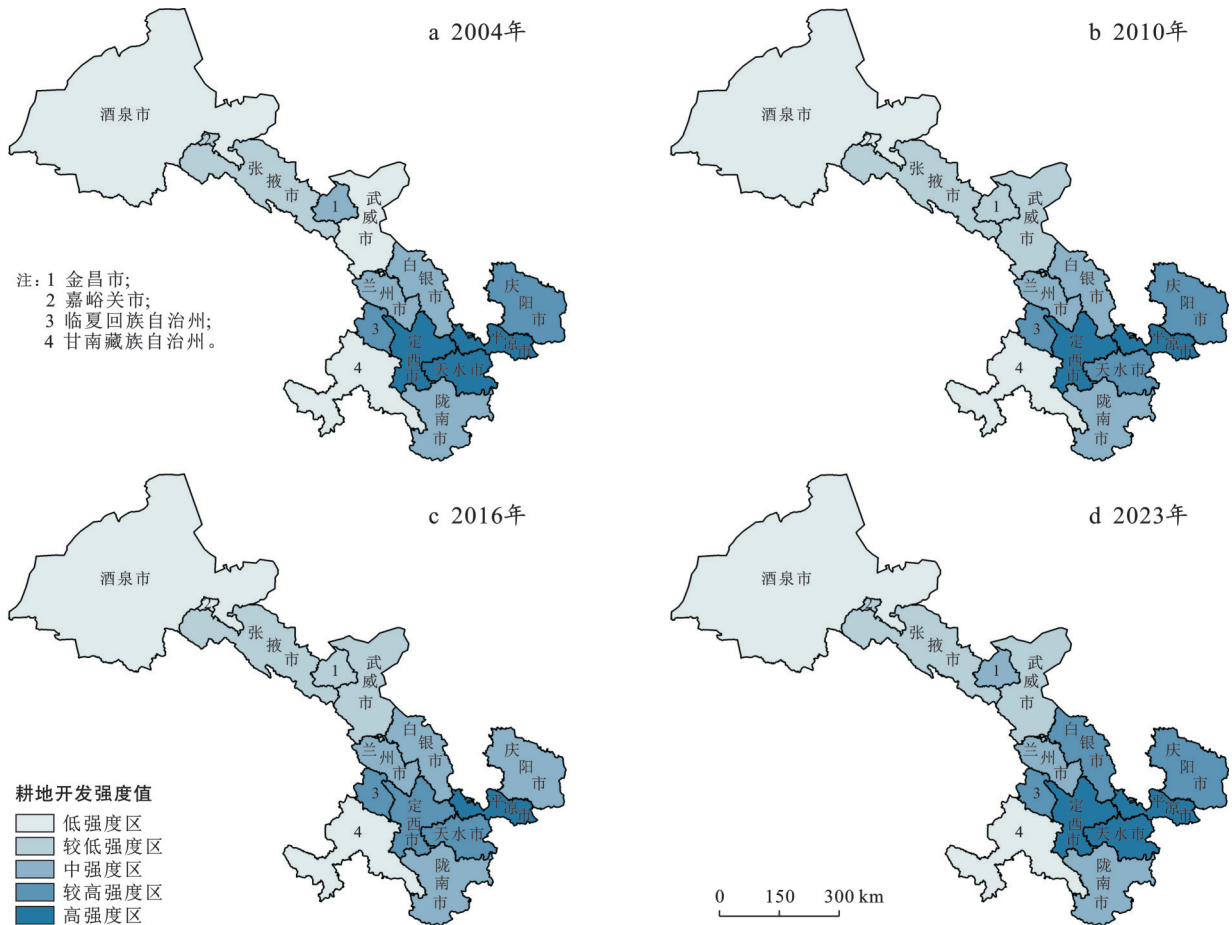


图2 甘肃省2004—2023年耕地开发强度时空分布

Fig.2 Spatiotemporal distribution of cultivated land development intensity in Gansu Province from 2004 to 2023

2.1.2 甘肃省耕地开发强度各维度时空变化

分析甘肃省各地州市耕地开发强度各维度时空分布特征可以发现(图3),耕地开发广度的空间分异特征与总体强度值较为相似,均呈现出“东高西低、南高北低”的特点。

从时序上可以看出,2004年、2010年、2016年其空间分异均没有发生明显变化,但在2023年,除酒泉、甘南、平凉、天水市外的其余各市州分区均有所

下降。耕地开发深度的高值区范围大致随时间变化由北向南过渡转移,且低值区范围在逐渐缩小,到2023年仅一个市州为低值区。耕地开发频度呈现“中部高,四周低”的空间分布特征,且各市州间的差异随时间变化逐渐增大。总体而言,耕地开发强度各维度的时空变化也具有明显的集中特性,多呈块状演化,反映出甘肃省耕地开发在空间上的不均衡性和时间上的动态调整。

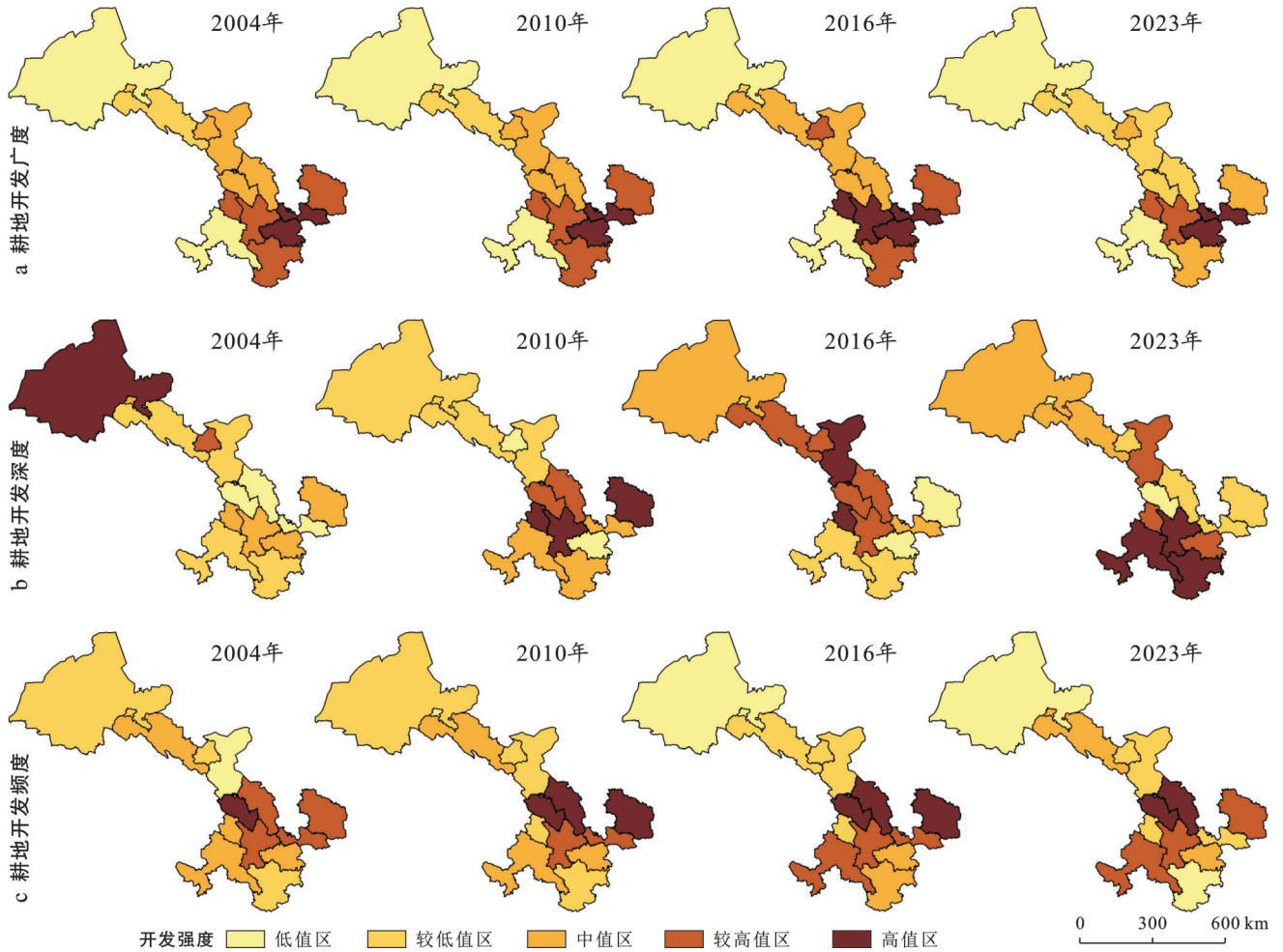


图3 甘肃省2004—2023年耕地开发强度各维度时空分布

Fig.3 Spatial and temporal distribution of cultivated land development intensity dimensions in Gansu Province from 2004 to 2023

2.1.3 甘肃省耕地开发强度重心转移

为进一步探索甘肃省耕地开发强度空间分布及演变趋势,对其进行标准差椭圆和重心迁移轨迹分析,结果如图4和表1所示。20 a间,甘肃省耕地开发强度重心大致位于 104.53° — 104.88° E, 35.71° — 35.92° N。2004年重心在相对偏东南方向,之后逐渐向西北方向转移。2004—2010年,重心向“东偏北”方向移动,经度增加 0.03° ,向东移动约3.3 km,纬度增加 0.05° ,向北移动约5.5 km。2010—2016年,重心向“西偏北”方向移动,经度减少 0.2° ,向西移动约20 km,纬度

增加 0.1° ,向北移动约11.1 km。2016—2023年,重心仍向“西偏北”方向移动,经度减少 0.15° ,向西移动约13.9 km,纬度增加 0.06° ,向北移动约6.66 km。20 a间,甘肃省耕地开发强度的标准差椭圆面积先收缩后扩张。其中,2004—2010年从 $135\ 816.83\ \text{km}^2$ 减小到 $131\ 406.76\ \text{km}^2$,2010—2016年增加到 $134\ 842.52\ \text{km}^2$,2016—2023年继续增加到 $144\ 192.68\ \text{km}^2$ 。这表明耕地开发强度的区域侧重发生变化,离散程度变大。从椭圆涵盖范围来看,甘肃省中部的兰州市、定西市、天水市、平凉市及白银市等地是主要耕地开发区。方位角由

116.91°增至 120.76°,表明椭圆整体朝顺时针方向旋转,并伴随向东南方向偏移的细微转向特征。扁率数值整

体从 0.58 上升至 0.62,表明长、短半轴方向上的差异扩大,耕地开发强度在不同方向上的离散程度差异增加。

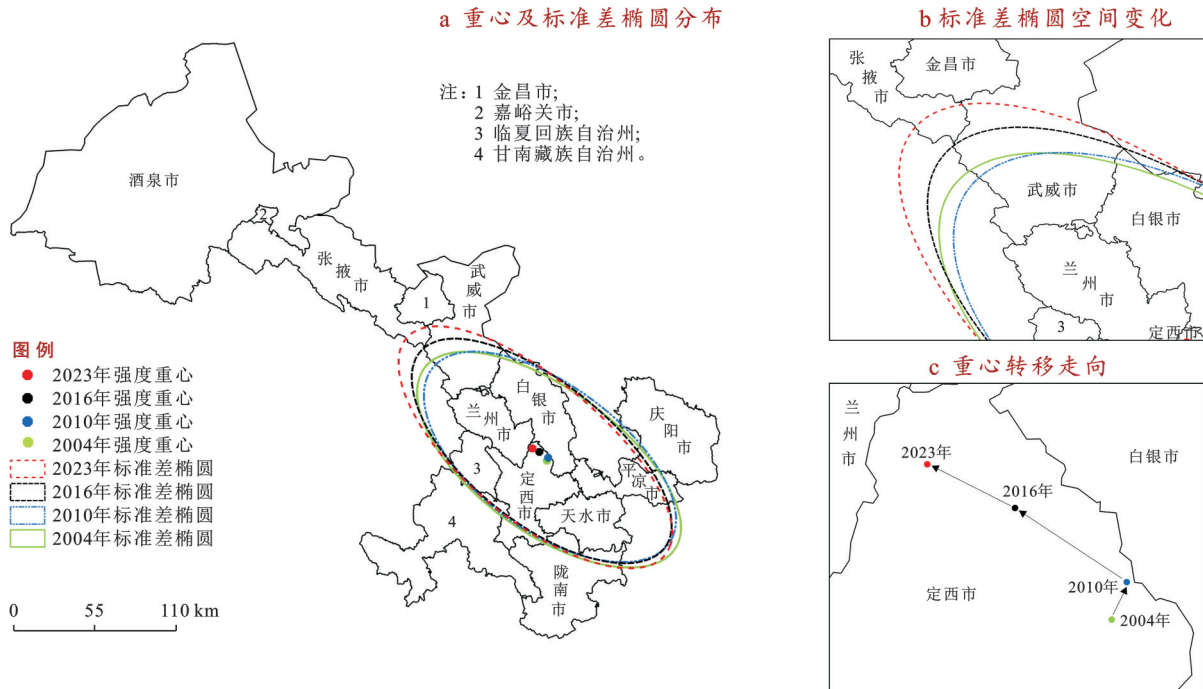


图 4 甘肃省耕地开发强度重心转移走向

Fig.4 Transfer trend of gravity center of cultivated land development intensity in Gansu Province

表 1 甘肃省耕地开发强度重心转移与标准差椭圆参数

Table 1 Gravity center transfer and standard deviational ellipse parameters of cultivated land development intensity in Gansu Province

年份	重心位置			椭圆参数		
	经度	纬度	方位	面积/km ²	扁率	方位角/(°)
2004	104°51'00"	35°42'36"	—	135 816.83	0.58	116.91
2010	104°52'48"	35°45'36"	东偏北	131 406.76	0.56	116.75
2016	104°40'48"	35°51'36"	西偏北	134 842.52	0.59	119.24
2023	104°31'48"	35°55'12"	西偏北	144 192.68	0.62	120.76

2.2 甘肃省耕地开发强度区域差异测度及分解

基于前文研究发现,甘肃省耕地开发强度具有显著的空间异质性,因此进一步利用公式(5)—(7)量化区域差异。根据泰尔指数的可分解性,将研究区总差异分解为由河西走廊、陇中地区、陇东地区、南部地区 4 大区域组成的组间差异和 4 大区域内部各地州市组成的组内差异两部分,并分别计算二者在总体差异中的比例,进而掌握各部分对区域总差异的贡献程度。由图 5a 可知,20 a 间甘肃省耕地开发强度总泰尔指数由 0.218 0(2004 年)下降到 0.168 0(2023 年),总体呈现波动下降趋势,其间,除 2009—2013 年经历短暂的连续上升外,其余年份均为“下降—回升—下降”态势。但近 3 a 该值趋向稳定(0.17)。组间差异指数从 0.163 4(2004 年)下降到 0.121 3(2023 年),其间,2013—2018 年出现连续下降态势后

回弹。而组内差异逐年变化幅度较小,变化范围在 0.02 之内。观察组间差异和组内差异对总差异贡献率,如图 5b 所示,发现组间差异贡献率始终大于组内差异贡献率,其值维持在 59.8%~70.1%,表明组间差异相对组内差异而言更能影响区域总差异的变化,即组间差异决定甘肃省耕地开发强度区域总差异大小。从图 5c 可以看出,河西走廊贡献率始终维持在 50%~60%,而陇中、陇东二区贡献率仅在 20% 以内,因此认为河西走廊是引起甘肃省耕地开发强度组间差异变化的主要成分。

2.3 耕地开发强度影响因素探究

基于上述研究发现,甘肃省各地耕地开发强度存在显著差异,这可能受多种因素共同影响。因此,本研究以甘肃省各地州市耕地开发强度为参考序列,以所选取的 10 个指标为比较序列,借助灰色关联

度模型探测影响甘肃省耕地开发强度区域差异的主要因素,结果如表 2 所示。由表 2 可知,10 个影响因子对于耕地开发强度的影响程度按从大到小排序为:降水量>地形粗糙度>人口密度>农业机械总动力>地区生产总值>农产品(种植业)生产价格指数>海拔>有效灌溉面积>城市化率>农村居民人均可支配收入。其中,降水量(0.774)是导致开发强度变化的第一影响因素,这与甘肃省东西跨度大,气候环境复杂的地理特征相吻合。同时,地形粗糙度(0.720)和人口密度(0.718)也与耕地开发强度呈现高度相关性,彰显出自然环境因素和社会经济因素对耕地开发强度的双重影响。进一步分析耕地开发强度各维度对影响因子的响应情况发现,不同维度的主导因素存在显著差异。其中,耕地开发广度主要受降水量、人口密度和地形粗糙度影响,其灰色关联度分别为 0.773,0.715 和 0.693,这与耕地开发强度

的核心影响因子一致。于耕地开发深度而言,排名前三的主要影响因子均为自然环境因素,分别为海拔、地形粗糙度和降水量,灰色关联度分别达到 0.755,0.742 和 0.741,凸显出自然地理条件对耕地开发深度的深刻影响。不同的是,相较于开发强度、广度和深度对自然环境因素的高响应性,耕地开发频度对社会经济因素的响应更为敏感,地区生产总值、农产品(种植业)生产价格指数和城市化率成为其主要影响因子,关联度值分别达到 0.795,0.730 和 0.706,这表明耕地开发频度的提升更依赖于区域经济发展水平、农业技术革新,以及农产品市场化程度的提高。从农户视角来看,出于对经济效益最大化的考量,会倾向于通过增加播种面积以获取更高收益。综上所述,自然环境因素对甘肃省耕地开发强度区域差异具有决定性作用,这种差异是以自然环境为基底,社会经济因素协同作用的结果。

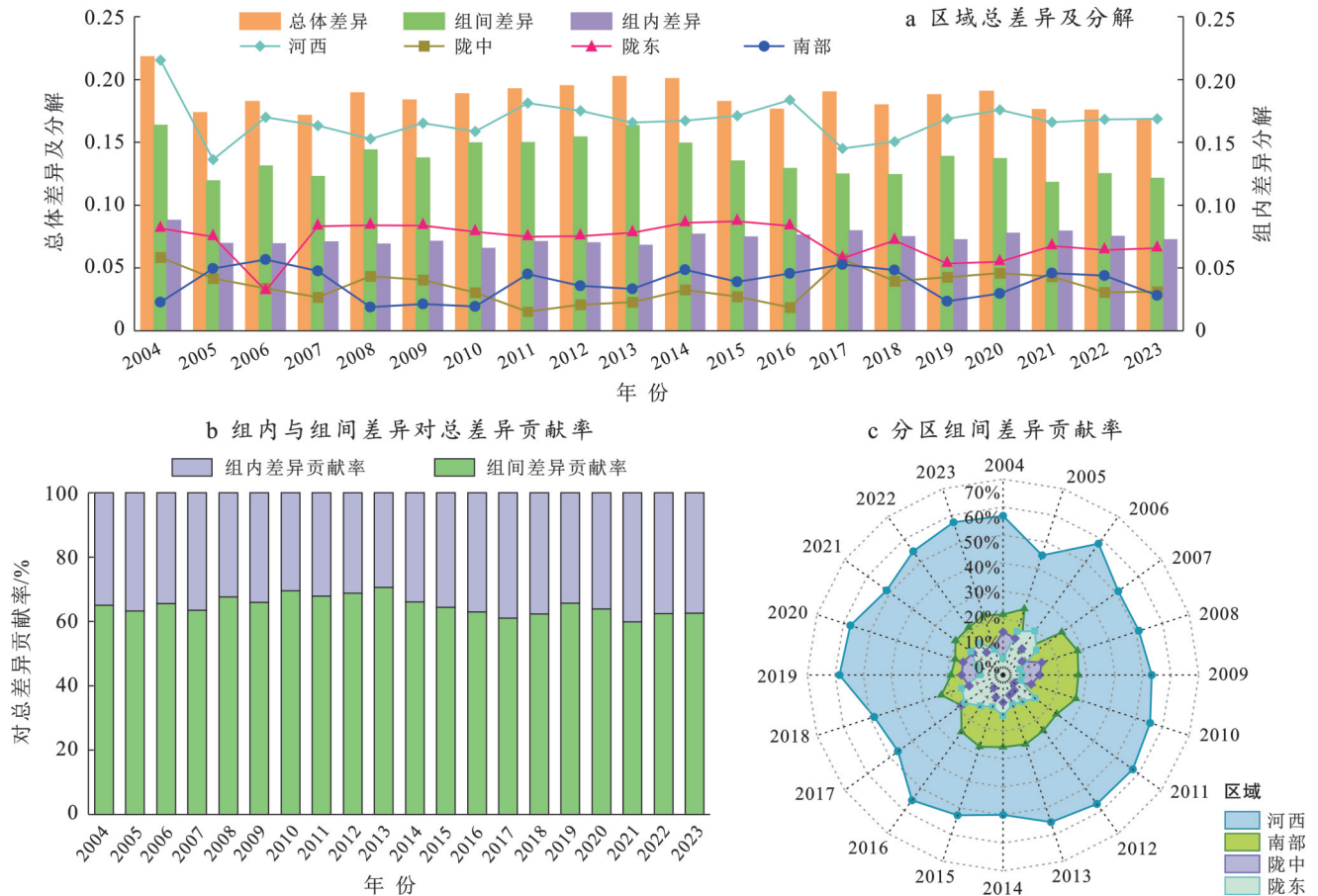


图 5 基于泰尔指数的甘肃省耕地开发强度区域差异及分解

Fig.5 Regional differences and decomposition of development intensity of cultivated land in Gansu Province based on Theil index

3 讨论

研究揭示了 2004—2023 年甘肃省耕地开发强度在自然环境因素和社会经济因素的双重影响下,呈

现出显著的空间异质性和集聚特征,并随时间变化波动降低,整体区域差异逐步缩小的时空分异特征。耕地开发强度及其各维度时序上的波动变化,反映出甘肃省耕地资源开发利用结构的对自然和社会经

济条件的适应性响应,总泰尔系数在波动变化后趋于稳定的结果也印证了这一点。

在耕地开发强度的多维度构成中,耕地开发广度成为耕地开发强度的主要基石,耕地开发频度成为构建强度的主要骨架,而耕地开发深度则在一定

程度上决定了强度所能达到的限值,这与朱吉贝等^[21]对于湖南省耕地开发强度的研究中得出的“频度决定强度限值”结果有所不同,这种差异恰恰反映出中国西北地区与南方地区在耕地开发状况上的本质区别。

表2 甘肃省耕地开发强度与影响因子的灰色关联度及排序
Table 2 Grey relational degree and ranking of cultivated land development intensity and impact factors in Gansu Province

一级指标	二级指标	灰色关联度与等级排序							
		强度	排序	广度	排序	深度	排序	频度	排序
自然环境因素	降水量	0.774	1	0.773	1	0.741	3	0.609	9
	地形粗糙度	0.720	2	0.693	3	0.742	2	0.668	6
	海拔	0.645	7	0.667	5	0.755	1	0.677	5
社会经济因素	农业机械总动力	0.669	4	0.672	4	0.728	4	0.580	10
	地区生产总值	0.664	5	0.651	6	0.624	6	0.795	1
	农产品(种植业)生产价格指数	0.648	6	0.624	7	0.576	10	0.730	2
	人口密度	0.718	3	0.715	2	0.608	7	0.686	4
	有效灌溉面积	0.608	8	0.617	8	0.656	5	0.649	7
	城市化率	0.556	9	0.583	9	0.598	8	0.706	3
	农村居民人均可支配收入	0.548	10	0.575	10	0.595	9	0.645	8

2004—2023年甘肃省耕地开发广度数值普遍较低且表现出逐年递减趋势,表明全省耕地数量普遍较少且逐年缩小,这与王立媛等^[27]的研究结果一致,该研究发现2000—2020年期间,甘肃省耕地面积呈现明显的缩减态势。一方面,受甘肃省地貌多样,耕地资源紧张的现实情况主导^[28]。另一方面,随着区域经济的持续发展,城市化进程加速推进,城市扩张对耕地的占用需求日益凸显^[29],进而挤压耕地功能。因此,尽管耕地占补平衡政策在一定程度上保障了耕地保有量的稳定,但要企图通过提升耕地面积来提高耕地产出是不现实的,鉴于此,要保障甘肃省粮食安全,或将更加依赖于耕地开发深度和频度的有效提升,宋小青等^[5]针对全国耕地开发强度的研究也得出了相似结论。

甘肃省耕地开发强度各维度的空间分异结果并非由单一因素决定的,而是多种因子相互交织、共同作用的结果,这与侯青青等^[30]的研究结果相似,体现了甘肃省耕地资源状况变化的复杂性和多维性。其中,气候因素中的降水量是影响耕地变化的核心要素,这与陈孟耀等^[31]的研究结果一致,由于降水量更丰沛的区域,耕地开发具备更优越的水分供应和作物生长条件,有效提升可耕地范围及开发潜力。另外,甘肃省高开发强度耕地主要集中在海拔较低、坡度较缓、地形粗糙度较低的区域,这与已有研究所形成的普遍共识相吻合^[32-33]。甘肃省耕地开发强度显著的空间分异格局也充分印证了自然地理要素对耕

地开发存在基础性约束作用^[34]。但研究还发现,人口密度也是一项重要影响因子,对耕地开发产生重要作用,一方面,高人口密度会致使建设用地扩张问题加剧,进而侵占耕地,使耕地数量减少;另一方面,丰富的劳动力资源以及旺盛的农产品需求,会推动耕地开发力度加大以保障粮食供应,也可能刺激人们开辟新耕地,以抵消建设用地占用带来的耕地损失。因此,在耕地开发时,不仅要考量地形对开发成本与难度的影响,还需重视人口分布引发的需求和压力,既要满足人口增长对耕地开发的合理需求,又要防止过度开发引发生态危机。

本研究系统揭示了甘肃省的长时间序列耕地开发强度时空演变特征及协调程度,将关注点拓展到西北地区,并深入探讨了耕地开发强度影响因素,在机理层面补充了现有研究的不足,为耕地合理开发提供了较清晰的量化结果和影响因子框架。后续在制定耕地开发政策时,应基于不同维度影响因素,因地制宜施策,重视耕地开发区域协调性,促进耕地绿色持续发展^[35]。但研究还存在一定不足,在指标体系构建上不够完整,且对于影响的正负性不够明确,在后续研究中会尝试建立更全面的指标评价体系,深入剖析各因素间的交互作用,为制定精准有效的耕地开发保护政策提供更坚实的理论支撑。

4 结论

(1) 近20 a间,甘肃省耕地开发强度时间上呈波

动上升趋势,且具有明显的空间异质性,即“东高西低、南高北低”格局。高强度区集中于黄河流域,前期极高值区为平凉市(均值40.65%),后期转变为天水市(均值33.68%)。低强度区分布在西南部和西部,极低值区维持为酒泉市(均值1.13%)。

(2) 耕地开发强度各维度的时空变化,共同反映甘肃省耕地开发在空间上的不均衡性和时间上的动态调整。其中,耕地开发广度呈“东高西低,南高北低”的空间格局,且在时序上表现为先升后降趋势。耕地开发深度高值区由北向南过渡,同时低值区范围逐渐缩小。耕地开发频度呈“中部高,四周低”的分布格局,且不同市州间差异逐渐拉大。

(3) 近20 a来,甘肃省耕地开发强度形成了较为稳定的空间集聚特征,其重心大致位于 104.53° — 104.88° E, 35.71° — 35.92° N,整体朝西北方向微移,但仍处于中部地区。标准差椭圆面积从 $135\ 816.83\ \text{km}^2$ 增加到 $144\ 192.68\ \text{km}^2$,表明耕地开发强度在不同方向上的离散程度差异增加。

(4) 近20 a间,甘肃省耕地开发强度总泰尔系数表现出小幅波动下降趋势(从0.218 0降至0.168 0),表明区域总差异有所缩小。其中,组间差异贡献率始终高于组内,维持在59.83%~70.56%,主导区域总差异。河西走廊对组间差异的贡献率在45.02%~58.50%,是引发甘肃省耕地开发强度差异变化的主要部分。

(5) 甘肃省耕地开发强度值的分异情况不是由单一因子决定的,而是由多种因子共同驱动,且自然环境因素>社会经济因素。其中,自然因素对甘肃省耕地开发强度、广度及深度起决定性作用,社会经济因素对频度起决定性作用,体现了耕地开发强度不同维度对自然与社会经济因素的差异化响应。

参考文献(References)

- [1] 申海建,郭荣中.湖南省耕地资源动态变化及其驱动力[J].水土保持通报,2016,36(4):309-314.
Shen Haijian, Guo Rongzhong. Change of cultivated land and its driving force in Hu'nan Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2016,36(4):309-314.
- [2] 王世磊,金晓斌,洪步庭,等.新时期耕地保护规划的内在逻辑与战略构想[J].地理研究,2025,44(3):638-655.
Wang Shilei, Jin Xiaobin, Hong Buting, et al. The internal logic and strategic conception of cultivated land protection planning in the new period [J]. Geographical Research, 2025,44(3):638-655.
- [3] 谢花林,曾宏琛,陈倩茹.梯田利用效率的农户差异及其影响因素:基于赣湘闽三省1 107份农户调查[J].地理研究,2024,43(8):2010-2024.
Xie Hualin, Zeng Hongchen, Chen Qianru. Study on the differences in terrace utilization efficiency among farmers and its influencing factors: A case study of 1 107 households in Jiangxi, Hunan, and Fujian [J]. Geographical Research, 2024,43(8):2010-2024.
- [4] 宋宇,谭天,董勇,等.农业产业组织对农户保护耕地质量行为的影响[J].河南农业大学学报,2024,58(6):1043-1053.
Song Yu, Tan Tian, Dong Yong, et al. Effect of agricultural industrial organization on farmers' behavior of protecting cultivated land quality [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2024,58(6):1043-1053.
- [5] 宋小青,欧阳竹,柏林川.中国耕地资源开发强度及其演化阶段[J].地理科学,2013,33(2):135-142.
Song Xiaoqing, Ouyang Zhu, Bai Linchuan. Evaluation and evolution of exploitative intensity of cultivated land resources in China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2013,33(2):135-142.
- [6] 李惠敏,陈子文,张亦弛,等.大食物观视域下耕地“非粮化”治理:逻辑、挑战与策略[J].自然资源学报,2025,40(5):1194-1211.
Li Huimin, Chen Ziwen, Zhang Yichi, et al. The governance of “non-grain conversion” of cultivated land from the perspective of the greater food approach: Logic, challenges and strategies [J]. Journal of Natural Resources, 2025,40(5):1194-1211.
- [7] 宁嘉晨,张平宇,杨奇峰,等.多目标协同视角下东北地区农户耕地经营规模与耕地利用效率的关系[J].地理科学,2025,45(4):744-755.
Ning Jiachen, Zhang Pingyu, Yang Qifeng, et al. Relationship between peasant household's cultivated land management scale and cultivated land use efficiency in Northeast China from perspective of multi-objective collaboration [J]. Geographical Science, 2025, 45 (4) : 744-755.
- [8] 张启岚,吕晓.“双碳”目标下如何提升农户耕地绿色利用效率:要因探索与路径分析[J].中国土地科学,2025,39(3):70-79.
Zhang Qilan, Lyu Xiao. Improving farmers' cultivated land green use efficiency under the “dual carbon” target: Key factors and configuration paths [J]. China Land Science, 2025,39(3):70-79.
- [9] 刘豫,韩英帅,李妍均,等.西南地区耕地低碳利用效率变化与驱动因素[J].环境科学与技术,2025,48(3):36-46.
Liu Yu, Han Yingshuai, Li Yanjun, et al. Changes and drivers of low carbon utilization efficiency of cropland in southwest China [J]. Environmental Science & Technology, 2025,48(3):36-46.
- [10] 杨君,刘畅,袁淑君,等.不同空间尺度耕地利用转型碳排放及其影响因素:以湖南省为例[J].水土保持通报,2025,45(1):264-275.

- Yang Jun, Liu Chang, Yuan Shujun, et al. Carbon emissions of cultivated land use transformation and influencing factors at different spatial scales: A case study in Hunan Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2025, 45(1):264-275.
- [11] 杨清可,段学军,金志丰,等.长三角地区城市土地开发强度时空分异与影响机理[J].*资源科学*,2020,42(4):723-734.
- Yang Qingke, Duan Xuejun, Jin Zhifeng, et al. Spatio-temporal differentiation and influencing mechanism of urban land development intensity in the Yangtze River delta [J]. *Resources Science*, 2020, 42(4):723-734.
- [12] 谭少军,邵景安,邓华,等.三峡库区土地利用驱动力评价及机制分析[J].*中国农业资源与区划*,2017,38(11):122-129.
- Tan Shaojun, Shao Jing'an, Deng Hua, et al. Assessment of land use driving force and mechanism in Three Gorges reservoir area [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2017, 38(11):122-129.
- [13] 袁晓玲,郭一霖,王恒旭.中国城市发展质量的时空分异及其驱动因素[J].*人文地理*,2022,37(6):129-138.
- Yuan Xiaoling, Guo Yilin, Wang Hengxu. The spatial and temporal differentiation of urban development quality in China and its driving factors [J]. *Human Geography*, 2022, 37(6):129-138.
- [14] Armengot L, José-Maria L, Blanco-Moreno J M, et al. A novel index of land use intensity for organic and conventional farming of Mediterranean cereal fields [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2011, 31(4):699-707.
- [15] 周传龙,李莹莹,李丁一,等.陕西省耕地利用强度分化特征及其影响因素研究[J].*干旱地区农业研究*,2024,42(5):226-234.
- Zhou Chuanlong, Li Yingying, Li Dingyi, et al. Differentiation characteristics and influencing factors of cultivated land utilization intensity in Shaanxi Province [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2024, 42(5):226-234.
- [16] 李佳玲,侯兰金,朱吉贝,等.近20年湖南省耕地开发强度时空分异研究[J].*中国农业资源与区划*,2021,42(11):199-207.
- Li Jialing, Hou Lanjin, Zhu Jibei, et al. Study on the spatial and temporal variation of cultivated land development intensity in Hunan Province in the past 20 years [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(11):199-207.
- [17] 高飞,崔增团,贾蕊鸿,等.甘肃省休耕试点区域主要技术模式及实施效果[J].*中国农学通报*,2021,37(20):93-97.
- Gao Fei, Cui Zengtu, Jia Ruihong, et al. Main technical models and their implementation effects in fallow pilot areas of Gansu Province [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, 37(20):93-97.
- [18] 杨斐,肖玲,张玲,等.甘肃省耕地资源势态演变及驱动机制研究[J].*水土保持通报*,2010,30(4):214-218.
- Yang Fei, Xiao Ling, Zhang Ling, et al. Situational development and dynamic mechanisms of cultivated land resource in Gansu Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2010, 30(4):214-218.
- [19] 张文斌,张志斌,董建红,等.多尺度视角下耕地利用功能转型及驱动力分析:以甘肃省为例[J].*地理科学*,2021,41(5):900-910.
- Zhang Wenbin, Zhang Zhibin, Dong Jianhong, et al. Transformation and driving forces of cultivated land utilization function from a multi-scale perspective in Gansu Province [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(5):900-910.
- [20] Yang Jie, Huang Xin. 30 m annual land cover and its dynamics in China from 1990 to 2019 [J]. *Earth System Science Data Discussions*, 2021, 13(8):3907-3925.
- [21] 朱吉贝,刘庆,粟增增.湖南省区域耕地开发强度时空演变结构分析[J].*上海国土资源*,2022,43(1):28-33.
- Zhu Jibei, Liu Qing, Su Zengzeng. Spatial-temporal evolution structure analysis of regional cultivated land development intensity in Hunan Province [J]. *Shanghai Land & Resources*, 2022, 43(1):28-33.
- [22] 尹碧波,郑佳琦,孙泽萱,等.“双碳”目标下中国降碳减污扩绿增长协同:效应测度、空间联系与区域差异[J].*环境科学研究*,2025,38(4):713-723.
- Yin Bibo, Zheng Jiaqi, Sun Zexuan, et al. Synergistic growth of pollution reduction, carbon reduction, green expansion, and economic growth in China under the 'dual carbon' goal: Effect measurement, spatial connection, and regional differences [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2025, 38(4):713-723.
- [23] 刘丙章,高建华,彭宝玉,等.基于POI数据的苏州市金融服务业空间格局及细分行业分布[J].*河南大学学报(自然科学版)*,2021,51(1):29-39.
- Liu Bingzhang, Gao Jianhua, Peng Baoyu, et al. Spatial pattern and subdividing industry distribution of financial services in Suzhou based on POI data [J]. *Journal of Henan University (Natural Science)*, 2021, 51(1):29-39.
- [24] 赵平,谢保鹏.基于灰色关联度的甘肃省农业现代化发展对耕地产出率的影响分析[J].*国土与自然资源研究*,2022(6):34-37.
- Zhao Ping, Xie Baopeng. The influence of agricultural modernization development on cultivated land yield in Gansu Province based on grey correlation degree [J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2022(6):34-37.
- [25] Deng Julong. Introduction to grey system theory [J].

- The Journal of grey system, 1989, 1(1):1-24.
- [26] 崔岚,蔡为民.2005—2019年甘肃省耕地资源变化及其影响因素分析:基于灰色关联度模型[J].东南大学学报(哲学社会科学版),2021,23(S1):23-26.
Cui Lan, Cai Weimin. Analysis of cultivated land resources change and its influencing factors in Gansu Province from 2005 to 2019 [J]. Journal of Southeast University (Philosophy and Social Science), 2021, 23 (S1):23-26.
- [27] 王立媛,张勇.甘肃省土地利用转型时空格局演化及多情景模拟[J].干旱区研究,2025,42(4):695-707.
Wang Liyuan, Zhang Yong. Evolution of spatiotemporal patterns and multisenario simulation of land use transition in Gansu Province [J]. Arid Zone Research, 2025, 42(4):695-707.
- [28] 鲍娟娟,吕剑平.甘肃省新型城镇化与耕地集约利用协调发展的时空演变[J].自然资源情报,2022(8):42-50.
Bao Juanjuan, Lv Jianping. Temporal and spatial evolution of coordinated development between new urbanization and intensive use of cultivated land in Gansu [J]. Natural Resources Information, 2022(8):42-50.
- [29] 白宇拓.西安市近二十年耕地“非农化”时空演变特征及影响因素[J].北京测绘,2025,39(4):484-489.
Bai Yutuo. Spatial-temporal evolution characteristics and influencing factors of “nonagriculturalization” of arable land in Xi’an over the past two decades [J]. Beijing Surveying and Mapping, 2025, 39(4):484-489.
- [30] 侯青青,陈英,裴婷婷,等.近 25 a 来甘肃省耕地资源时空变化及其影响因子[J].干旱区研究,2022,39(3):955-967.
Hou Qingqing, Chen Ying, Pei Tingting, et al. Analysis of cultivated land’s spatio-temporal changes and influencing factors in Gansu Province in recent 25 years [J]. Arid Zone Research, 2022, 39(3):955-967.
- [31] 陈孟耀,刘啸歌,黄达沧,等.基于地理探测器模型的福建省耕地土壤有机碳影响因素研究[J].福建农业学报,2024,39(6):738-751.
Chen Mengyao, Liu Xiaoge, Huang Dacang, et al. Factors affecting soil organic carbon on farmland in Fujian analyzed by geodetector model [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2024, 39(6):738-751.
- [32] 安祥生,徐勇,汤青.中国适垦耕地空间分异特征研究[J].地理与地理信息科学,2011,27(3):54-57.
An Xiangsheng, Xu Yong, Tang Qing. Spatial differentiation of arable cultivated land in China [J]. Geography and Geo-Information Science, 2011, 27(3):54-57.
- [33] 李士成,高等,赵志龙,等.过去千年加拿大耕地面积与空间格局重建[J].中国科学(地球科学),2025,55(5):1671-1682.
Li Shicheng, Gao Deng, Zhao Zhilong, et al. Reconstruction of cultivated land area and spatial pattern in Canada in the past Millennium [J]. Scientia Sinica (Terrae), 2025, 55(5):1671-1682.
- [34] Wang Ximeng, Zhou Dingyang, Jiang Guanghui, et al. How can the sustainable goal of cultivated land use in the Qinghai-Tibet Plateau be realized? : Based on a research framework of cultivated land use patterns [J]. Frontiers in Environmental Science, 2023, 11:1134136.
- [35] 熊昌盛,张永蕾,王雅娟,等.中国耕地多功能评价及分区管控[J].中国土地科学,2021,35(10):104-114.
Xiong Changsheng, Zhang Yonglei, Wang Yajuan, et al. Multi-function evaluation and zoning control of cultivated land in China [J]. China Land Science, 2021, 35 (10):104-114.

(上接第 315 页)

- [17] 张亚连,张启航,梁旭文.碳中和愿景下林业碳汇经济价值评估及效率测算[J].中南林业科技大学学报(社会科学版),2024,18(1):71-81.
Zhang Yalian, Zhang Qihang, Liang Xuwen. Economic value evaluation and efficiency measurement of forestry carbon sink under the vision of carbon neutrality [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology (Social Sciences), 2024, 18(1):71-81.
- [18] 榆林市市场管理局.沙柳灌木林平茬复壮技术规程:DB6108/T 49-2023[S].中国标准出版社,2020.
Yulin Market Management Bureau. Technical Regulations for Pruning and Revitalization of Salix Shrubs: DB6108/T 49-2023 [S]. Beijing: China Standard Press, 2020.
- [19] 中华人民共和国住房和城乡建设部.光伏电站设计标准(2024年版):GB 50797—2012[S].北京:中国计划出版社,2012.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People’s Republic of China. Code for design of photovoltaic power station: GB 50797—2012 [S]. Beijing: China Planning Press, 2012.
- [20] 王娟婷,焦雷.太阳能光伏光热集热器应用效益分析[J].中国建筑金属结构,2023(2):168-170.
Wang Juanting, Jiao Lei. Analysis of application benefit of solar photovoltaic photothermal collector [J]. China Construction Metal Structure, 2023(2):168-170.