

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2026.01.035; CSTR:32311.14.rswc.2026.01.035.

袁梦, 谢保鹏, 陈英, 等. 甘肃省耕地多功能对农业生产能力变化的敏感度研究[J]. 水土保持研究, 2026, 33(1):261-272.

Yuan Meng, Xie Baopeng, Chen Ying, et al. Study on sensitivity of cultivated land multifunctionality to changes in agricultural production capacity in Gansu Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2026, 33(1):261-272.

# 甘肃省耕地多功能对农业生产能力变化的敏感度研究

袁梦<sup>1</sup>, 谢保鹏<sup>1,2</sup>, 陈英<sup>1</sup>, 裴婷婷<sup>1</sup>

(1. 甘肃农业大学 管理学院, 兰州 730070;

2. 中国土地勘测规划院 自然资源部土地利用重点实验室甘肃分中心, 兰州 730070)

**摘要:** [目的] 探究耕地多功能与农业生产能力之间的动态响应, 可为协调耕地农业生产功能、生活保障功能、生态维护功能平衡, 实现耕地多功能的最优化配置以及农业可持续发展提供科学支撑。[方法] 以甘肃省 87 个县市区为研究对象, 从生产、生活和生态 3 个维度量化耕地功能水平, 利用敏感度测度模型分析 2002—2022 年甘肃省耕地多功能对农业生产能力变化的敏感性。[结果] (1) 2002—2022 年甘肃省耕地利用各子功能水平均有提升, 其中生态功能指数增长最为显著, 各县区间耕地多功能等级差异明显。(2) 2002—2022 年甘肃省耕地多功能各分区的农业生产能力差异显著, 且不同功能分区耕地多功能对农业生产能力变化的反馈关系各异。(3) 2002—2022 年甘肃省耕地多功能敏感度呈波动下降趋势, 敏感性等级由低度敏感转为不敏感; 其中生产和生活功能敏感度下降, 生态功能敏感度上升, 耕地多功能对农业生产能力变化的反馈逐渐减弱。(4) 2002—2022 年甘肃省耕地多功能对农业生产能力变化敏感度各分区内县区数量波动幅度较大, 整体趋势为低度敏感区为主转向多等级分区共存, 大部分县区耕地多功能变化与农业生产能力变化呈现同一性。[结论] 2002—2022 年甘肃省耕地多功能对农业生产能力变化的敏感度下降, 且在不同时空尺度上各子功能对农业生产能力变化的响应存在显著差异。应进一步优化耕地多功能协调程度, 基于农业生产导向的差异化配置, 对不同功能分区构建靶向性耕地利用模式, 以期形成耕地利用强度、农业生产效益与生态承载容量相协调的可持续发展格局。

**关键词:** 耕地; 多功能; 农业生产能力; 敏感度模型; 甘肃省

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2026)01-0261-12

## Study on sensitivity of cultivated land multifunctionality to changes in agricultural production capacity in Gansu Province

Yuan Meng<sup>1</sup>, Xie Baopeng<sup>1,2</sup>, Chen Ying<sup>1</sup>, Pei Tingting<sup>1</sup>

(1. School of Management, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Branch Center of Key Laboratory of Land Use of Ministry of Natural Resources, China Land Surveying and Planning Institute, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** [Objective] Investigating the dynamic response between cultivated land multifunctionality and agricultural production capacity is crucial for coordinating the balance among agricultural production, livelihood security, and ecological conservation functions of cultivated land. This study aims to provide scientific support for achieving the optimal allocation of cultivated land multifunctionality and promoting sustainable agricultural development. [Methods] Taking 87 counties and districts in Gansu Province as the research objects, the functional levels of cultivated land were quantified from production, living, and ecological dimensions. A sensitivity measurement model was employed to analyze the sensitivity of the multifunctionality of cultivated land in Gansu Province to changes in agricultural production capacity from 2002 to 2022. [Results] (1) From 2002 to 2022, the levels of various sub-functions of cultivated land use in Gansu Province improved, with the ecological

收稿日期: 2025-05-13

修回日期: 2025-05-27

接受日期: 2025-06-04

资助项目: 甘肃农业大学伏羲青年英才培育计划(Gaufx-03Y08)

第一作者: 袁梦(2001—), 女, 河南信阳人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源利用与管理。E-mail: 1459090343@qq.com

通信作者: 谢保鹏(1988—), 男, 甘肃甘谷人, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事农村土地经济与制度研究。E-mail: xiebp@gsau.edu.cn

<http://stbcyj.paperonice.org>

function indicator showing the most significant growth. Notable differences in cultivated land multifunctionality levels were observed among counties and districts. (2) From 2002 to 2022, there were significant differences in agricultural production capacity among the multifunctional zones of cultivated land in Gansu Province, and the feedback relationships between cultivated land multifunctionality and changes in agricultural production capacity varied across different functional zones. (3) The sensitivity of cultivated land multifunctionality in Gansu Province from 2002 to 2022 showed a fluctuating downward trend, with sensitivity levels shifting from low sensitivity to insensitivity. Specifically, the sensitivity of production and living functions decreased, while the sensitivity of ecological functions increased, indicating a gradual weakening of the feedback between cultivated land multifunctionality and changes in agricultural production capacity. (4) From 2002 to 2022, the number of counties and districts within each sensitivity zone of cultivated land multifunctionality to changes in agricultural production capacity in Gansu Province fluctuated significantly, with the overall trend shifting from low-sensitivity dominance to coexistence of multiple sensitivity levels. Most counties and districts demonstrated consistent dynamics between changes in cultivated land multifunctionality and agricultural production capacity. **[Conclusion]** From 2002 to 2022, the sensitivity of cultivated land multifunctionality to changes in agricultural production capacity in Gansu Province decreased, and significant differences were observed in the responses of each sub-function to changes in agricultural production capacity at different spatiotemporal scales. It is necessary to further optimize the coordination of cultivated land multifunctionality and establish targeted cultivated land use patterns for different functional zones based on the agricultural production-oriented differentiated allocation, aiming to establish a sustainable development pattern that coordinates cultivated land use intensity, agricultural production benefits, and ecological carrying capacity.

**Keywords:** cultivated land; multifunctionality; agricultural production capacity; sensitivity model; Gansu Province

耕地作为农业生产系统的核心载体,其功能特征与时空演变规律深刻影响着区域农业可持续发展、粮食安全保障及生态安全格局构建<sup>[1]</sup>。耕地功能是指耕地资源在人类农业生产活动中所表现出的、为满足生存与发展需求而提供农产品和生态服务的能力,随着人地关系研究的深化,学界对耕地功能的认知已突破单一生产维度,逐步拓展至经济支撑、社会保障、生态服务及文化传承等多维功能协同作用机制的理论探索<sup>[2]</sup>。在乡村振兴与生态文明建设双重战略驱动下,揭示耕地多功能对农业生产能力的动态响应关系,成为破解耕地资源高效利用与农业高质量发展协同难题的关键科学命题<sup>[3]</sup>。一方面,耕地生产功能作为农业系统的核心载体,通过物质投入转化效率直接决定农产品供给能力,耕地生活功能通过收入效应与就业效应形成对农业生产能力的间接影响,同时耕地通过生态调节、生物多样性维护和文化承载等多元功能为农业生产提供环境支撑,其生态系统的稳定性直接影响农业抗灾能力和可持续生产能力;另一方面,化肥施用强度、机械作业密度与技术采纳率等农业生产要素构成耕地生产功能强化的主要驱动因素,农业产业拓展催生的休闲观光、农事体验等新业态,通过提高耕地单位面积收益

促进农民增收,形成“生活—生产”功能协同增值的良性循环,农业生产能力的提升还通过合理耕作制度、土壤改良技术等正向反馈于耕地质量,增强其生态服务功能。二者在良性互动中实现粮食安全与生态安全的协同,但过度追求单产可能削弱耕地的生态功能,而生态退化又会制约耕地生产、生活潜力,需通过多功能协同管理实现耕地系统的可持续发展。在此基础上,了解耕地多功能对农业生产能力变化的敏感度有助于制定科学的农业政策和措施<sup>[4]</sup>。通过对不同类型的耕地进行多功能改造,可以提高耕地的综合利用效益,从而提高农业生产能力,这对于保障国家粮食安全、促进农业可持续发展具有重要意义;此外,研究耕地多功能对农业生产能力的敏感度有助于优化农业资源配置<sup>[5]</sup>。通过优化耕地利用方式,可实现粮食产能提升与资源集约利用的协同增效。对耕地多功能改造的效果进行评估,可以为政府和农业部门提供科学依据,指导农业资源的合理配置和利用,避免资源浪费和环境破坏<sup>[6]</sup>。此外,研究耕地多功能对农业生产能力的敏感度还有助于为提高农民的种植技能和农业生产效益提供理论参考。

现有研究成果对耕地多功能的探讨主要聚焦于概念辨析<sup>[7-9]</sup>、识别分类等<sup>[10-11]</sup>,对耕地多功能评估体

系也进行了一定程度的讨论<sup>[12-14]</sup>,指标选取以农业产量、农业产值、社会保障、资源禀赋等为主<sup>[15-17]</sup>。多从省域、市域、县域尺度入手,采用灰色关联度法<sup>[18]</sup>、综合指数加权法<sup>[19]</sup>、椭圆标准差等<sup>[20]</sup>方法探究耕地多功能水平、时空变化趋势、空间异质性等特征。此外,学者们还关注到耕地功能与粮食生产间的紧密联系,已有研究表明,粮食产量的动态变化对耕地多功能性的演变具有显著的驱动作用,这种影响主要体现在粮食生产需求的波动会促使耕地利用方式、结构和强度的相应调整<sup>[5,7,21]</sup>;与此同时,不同耕地利用方式及其空间配置格局对粮食产量也呈现出差异化的作用机制,这种双向互动关系构成了耕地多功能与粮食生产协同发展的核心逻辑。具体而言,粮食产量的增长往往通过改变耕地利用的集约化程度、种植结构以及空间布局等方式,推动耕地生产功能、生态功能和生活功能的协同优化<sup>[20]</sup>;反之,耕地功能从单一生产型向多功能复合型转变,也会通过影响土地生产力、资源利用效率和生态系统服务功能等途径,对粮食产量产生显著的反馈效应<sup>[22]</sup>。这种双向作用机制不仅体现了耕地多功能性与粮食生产之间的复杂关联,也为实现耕地资源优化配置和粮食生产可持续发展提供了重要的理论依据。尽管如此,已有研究对于耕地多功能对农业生产能力变化的敏感度关注程度并不高,对于解释耕地多功能对农业生产能力的响应方面存在一定的不确定性。因此,进一步深化对耕地多功能与农业生产能力关系的认识,探索更加科学合理的评价方法,对于制定更加精准的农业政策和优化耕地利用具有重要意义。

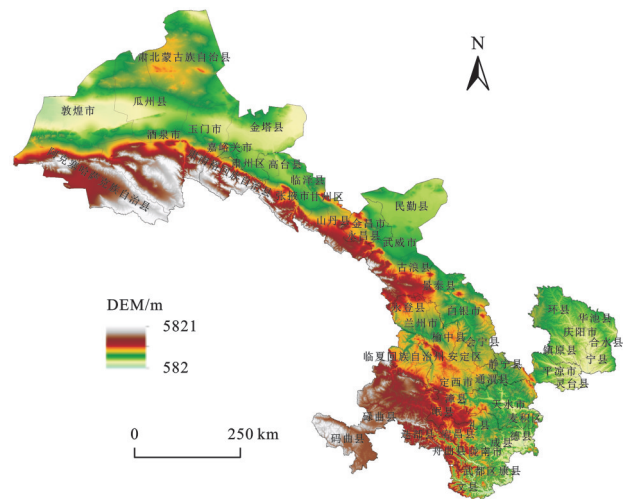
甘肃省是全国特色农业主产区之一,区域特色农业生产形式良好,但自然条件、经济基础等因素使得省内农业生产地域差异显著。近年来甘肃省打造特色农业农村发展道路,全省农业生产条件、主要农产品产量和产值实现跨越,特色农业产业链初步形成,农业生产地域差异逐渐缩小,作为农业生产的基础,耕地的多样化利用在不同维度作用于农业生产发展。基于此,本研究以甘肃省87个区县为实证单元,通过构建涵盖生产、生活与生态三大维度的耕地多功能评价体系,对甘肃省各县区耕地多功能进行评价和分区,依据不同类型功能分区进一步探究各区域农业生产能力的特点。引入敏感度模型量化不同功能维度对农业生产能力变化的响应强度,揭示其空间分异规律与特征,在此基础上进行敏感度分区,从而探究耕地多功能与农业生产能力之间的动态响应,为促进耕地资源的合理利用,协调耕地农业生产功能、生活保障功能、生态维护功能平衡,实现

耕地多功能的最优化配置以及农业可持续发展提供科学支撑。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 研究区域

甘肃省位于中国西北内陆,地理位置位于 $92^{\circ}13'—108^{\circ}46'E$ 和 $32^{\circ}11'—42^{\circ}57'N$ ,地处青藏高原、内蒙古高原和黄土高原三大高原的交汇处,属黄河上游地区,地貌复杂多样,山地、高原、平川、河谷、沙漠、戈壁交错分布,地势自西南向东北倾斜(图1)。全省以温带大陆性气候为主,降水量由东南至西北逐渐递减。辖区包括14个市州,87个县区,总面积4 547.74万 $hm^2$ ,其中耕地总面积为468.52万 $hm^2$ ,占全省国土总面积的10.3%。人均耕地面积0.18 $hm^2$ ,是典型的农业大省。耕地资源的基本特征是山地多、川(塬)地少,旱地多、水地少。水田、菜田等水地面积仅占耕地总面积的19.72%,不到全国平均水平42.55%的一半。其中,旱地416.94万 $hm^2$ ,占甘肃省耕地面积的88.99%,且大部分为坡地,质量较好的川旱地、塬旱地和梯田旱地仅占35%。截至2022年末,甘肃省常住人口达到2 949.42万人,较2021年末增加2.40万人,全省地区生产总值11 201.60亿元,比上年增长4.5%。其中,第一产业增加值1 515.30亿元,增长5.7%;第二产业增加值3 945.00亿元,增长4.2%;第三产业增加值5 741.30亿元,增长4.4%。第一产业增加值占地区生产总值比重为13.5%,第二产业增加值比重为35.2%,第三产业增加值比重为51.3%。按常住人口计算,全年人均地区生产总值44 968元,比上年增长4.7%。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号为GS(2020)4619号的标准地图制作,底图未做修改,下同。

图1 研究区概况图

Fig. 1 Overview of the study area

### 1.2 数据来源

本文采用的统计数据源于2001—2023年《中国

县域统计年鉴》《甘肃发展年鉴》《甘肃农村年鉴》和甘肃省各市县国民经济和社会发展统计公报,部分缺失数据通过线性插值法进行填补;土地利用数据源自全国地理信息资源目录服务系统,空间分辨率为 30 m;DEM 数据源自地理空间数据云,空间分辨率为 30 m;行政边界数据源自中国科学院资源环境数据中心。

### 1.3 研究方法

1.3.1 耕地多功能评价 耕地多功能体现在耕地满足人类基本生产活动外,承担的社会、经济、生态等多方面的功能<sup>[23]</sup>。本研究以综合性、地域性、层次性、科学性为原则,参考已有研究<sup>[8-11]</sup>,从耕地的生产功能、生活功能和生态功能 3 个维度选取 12 个指标(表 1)对甘肃省耕地多功能水平进行评价,对极差标准化后的数据采用熵权法进行指标赋权。耕地作为农业生产基本要素,通过有效利用实现农产品的产出及经济价值的创造体现出其生产功能<sup>[24]</sup>,本研究

采用经济作物单产、耕地垦殖率等 4 项指标来衡量生产功能:粮食单产反映耕地基础生产能力<sup>[11]</sup>;经济作物单产体现农业经济产出效能<sup>[10]</sup>;耕地垦殖率揭示耕地资源的开垦状况<sup>[5]</sup>;农业机械化水平标志农业现代化进程<sup>[9]</sup>。生活功能即耕地为社会提供就业机会、改善民众生活条件、推动区域发展等能力,本研究选取粮食自给率、地均农业产值等 4 项指标对其进行表征:地均农业产值体现耕地提升农民生活质量的作用<sup>[13]</sup>;粮食自给率彰显耕地对农民基本生活保障的贡献<sup>[10]</sup>;耕地劳动力承载量用以评估就业保障效能<sup>[5]</sup>;人均耕地面积反映耕地资源的承载限度<sup>[6]</sup>。生态功能指耕地对于维护生态平衡、改善人类居住环境的意义,本研究采用耕地固碳量、耕地景观破碎度等 4 项指标进行量化:化肥施用强度用以评估生态环境受损状况<sup>[2]</sup>;耕地固碳量代表生态净化能力<sup>[25]</sup>;农田生态系统多样性指数反映生态系统强度<sup>[26]</sup>;耕地景观破碎度代表资源供给的可持续性<sup>[7]</sup>。

表 1 耕地多功能评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system for cultivated land multifunctionality

一级指标	二级指标	指标释义及属性	权重
生产功能	粮食单产	粮食产量/耕地面积(+)	0.1974
	经济作物单产	经济作物产量/耕地面积(+)	0.1451
	耕地垦殖率	耕地面积/土地总面积(+)	0.0932
	农业机械化水平	农业机械总动力/耕地面积(-)	0.1965
生活功能	地均农业产值	农业生产总值/耕地面积(+)	0.1834
	粮食自给率	粮食产量/(常住人口×400)(kg/人)(+)	0.0359
	耕地劳动力承载量	农林牧渔业从业人员数量/耕地面积(+)	0.0036
	人均耕地面积	耕地面积/农村人口(+)	0.0666
生态功能	化肥使用强度	化肥使用量/耕地面积(-)	0.0015
	耕地固碳量	反映耕地碳汇能力(+)	0.0431
	农田生态系统多样性指数	各种作物播种面积比重乘以其自然对数并加和(+)	0.0039
	耕地景观破碎度	反映单位面积内耕地斑块的数量(-)	0.0298

1.3.2 耕地多功能分区 参考现有文献<sup>[27]</sup>,采用自然间断法对耕地生产功能、生活功能和生态功能指数进行分级,从小到大依次为低、中、高三级,通过对各子功能等级进行组合得到 7 种类型功能分区(表 2),以便探究甘肃省各县区耕地多功能水平的空间差异性。

1.3.3 农业生产能力评价 农业生产能力是在自然、社会、技术等多要素共同作用下,特定区域与时期内农业系统的综合生产及发展能力<sup>[28]</sup>。当前研究主要从投入产出角度构建多层次评价指标体系,涵盖农业生产的各个方面,如土地资源、水资源、农业科技、农业投入、农业产出等<sup>[29-30]</sup>。本研究通过计算农业生产总值、粮食总产量、主要经济作物产量 3 个直观农业产出指标的综合指数来表征甘肃省农业生产能力。

1.3.4 敏感度模型 耕地多功能对农业生产能力变化的敏感度即一定研究时段内耕地功能变化对农业生产能力变化的响应程度<sup>[5]</sup>,通常以研究期内耕地功能变化量与农业生产能力变化量的比值进行表示。计算公式已根据如下:

$$X = \frac{(F_{S+1} - F_S)/F_S}{(L_{S+1} - L_S)/L_S} \quad (1)$$

式中: $F_S$ 和 $F_{S+1}$ 为某一时期各县区期初和期末耕地功能指数; $L_S$ 和 $L_{S+1}$ 为某一时期各县区期初和期末农业生产能力; $X$ 为各县区耕地功能对农业生产能力变化的敏感度。在已有研究<sup>[5]</sup>基础上,结合甘肃省耕地多功能水平现实状况将敏感度划分为 4 个等级,即不敏感( $X \leq 0$ )、低度敏感( $0 < X \leq 5$ )、中度敏感( $5 < X \leq 10$ )和高度敏感( $X > 10$ )。

表 2 耕地多功能分区  
Table 2 Zoning of cultivated land multifunctionality

功能等级			功能分区
生产功能	生活功能	生态功能	
高	高	高	综合优势区
高	高	中/低	双功能优势区
高	中/低	高	
中/低	高	高	单功能优势区
高	中/低	中/低	
中/低	高	中/低	综合均衡区
中/低	中/低	高	
中	中	中	单功能劣势区
低	中	中	
中	低	中	双功能劣势区
中	中	低	
低	低	中	综合劣势区
低	中	低	
中	低	低	综合劣势区
低	低	低	

## 2 结果与分析

### 2.1 耕地多功能及功能分区

2.1.1 耕地多功能 2002—2022年甘肃省耕地多功能指数持续增长,由 3.72 增长至 5.89,总增长率 58.49%,耕地多功能水平不断提升。从空间尺度看,20年间广河县耕地多功能指数提升最明显,城关区最不显著;秦安县、静宁县、庄浪县耕地多功能指数始终处于较高水平,碌曲县、漳县则处于较低水平(图 2)。原因在于前者在耕地利用过程中侧重结合区域耕地资源优势,因地制宜调整农业种植结构以实现耕地资源高效利用,后者所在区域耕地资源禀赋较差,耕地利用效率不高,耕地多功能难以显化。

2002—2022年甘肃省耕地生产功能指数呈波动增长态势,由 1.62 增长为 2.38,增长率 46.91%。其中,广河县耕地生产功能指数由 2002 年的 0.01 增至 2022 年的 0.43,耕地生产功能水平提升幅度最大,可见广河县在加大农业机械化投入、促进农地增产增收等方面成效显著。此外,城关区、白银区、麦积区、秦安县等 33 个县区耕地生产功能指数呈下降趋势,其中城关区生产功能指数下降最明显,原因在于以上县区随着自身区域职能的转变,在耕地利用过程中逐渐将重心由注重农业生产转移至保障人民生活水平、维持区域生态环境上。

2002—2022年甘肃省耕地生活功能指数由 1.41 持续增长为 2.36,增长率 67.38%。从县区尺度看,2002 年崇信县耕地生活功能指数最高,临夏市最低;至 2022 年,崇信县生活功能指数略有下降,广河县成为耕地生活功能指数最高县,最低转变为安宁区。虽各县区耕地生活功能水平差异显著,但大多数县区生活功能指数呈增长趋势,仅临夏市、敦煌市、皋兰县等 11 个县区耕地生产功能指数降低,且下降幅度均不足 0.01。说明甘肃省各县区在耕地利用过程中加大了农业生产资料投入和农业产业链培育力度,提高了农业产品产值、扩大了耕地对劳动力的吸纳程度,提供了更多的生活保障功能。

2002—2022年甘肃省耕地生态功能由 0.68 波动增长至 1.15,增长率 69.12%。相较于生产功能和生活功能而言,耕地生态功能指数增长最为显著。空间尺度上,除岷县耕地生态功能指数略有下降外,其余县区生态功能指数均呈上升趋势。说明甘肃省在耕地利用过程中注重对农田生态系统多样性的维护和化肥农药的合理使用,以提高耕地生态功能水平,实现耕地生态系统可持续发展。

2.1.2 耕地多功能分区 采用自然间断法将 2022 年甘肃省 87 个县区的耕地生产功能、生活功能和生态功能分别划分为低、中、高 3 个等级(图 3),依照耕地多功能分区标准(表 2),将 2022 年甘肃省 87 个县区耕地多功能分为 6 个功能区,其中双功能优势区 6 个、单功能优势区 22 个、综合均衡区 6 个、单功能劣势区 15 个、双功能劣势区 18 个、综合劣势区 20 个,可见甘肃省各县区间耕地子功能水平差异显著。

### 2.2 农业生产能力

根据研究期内甘肃省耕地各功能分区的农业生产能力(图 4)可知,单功能优势区平均农业生产能力最高,其次分别为双功能劣势区、单功能劣势区、双功能优势区、综合均衡区,综合劣势区平均农业生产能力最低。2002—2022 年甘肃省耕地单功能优势区平均农业生产能力最高,主要由于以灌溉农业为主的河西地区多位于该分区,农业灌溉播种面积和农作物产量较大,农业机械化水平较高,保障了该分区农业生产综合实力。综合劣势区主要包含甘肃省甘南高原和祁连山地等县区,如碌曲县、舟曲县、阿克塞哈萨克族自治县等,主要原因在于以上县区地形多山,地势起伏显著,耕地资源禀赋不突出,农业生产综合实力有待提升。综上可知,甘肃省不同类型耕地功能分区的农业生产能力差异显著,耕地利用侧重差异会对农业生产能力变化产生异质性反馈效果,耕地多功能对农业生产能力的响应关系有待进一步探究。

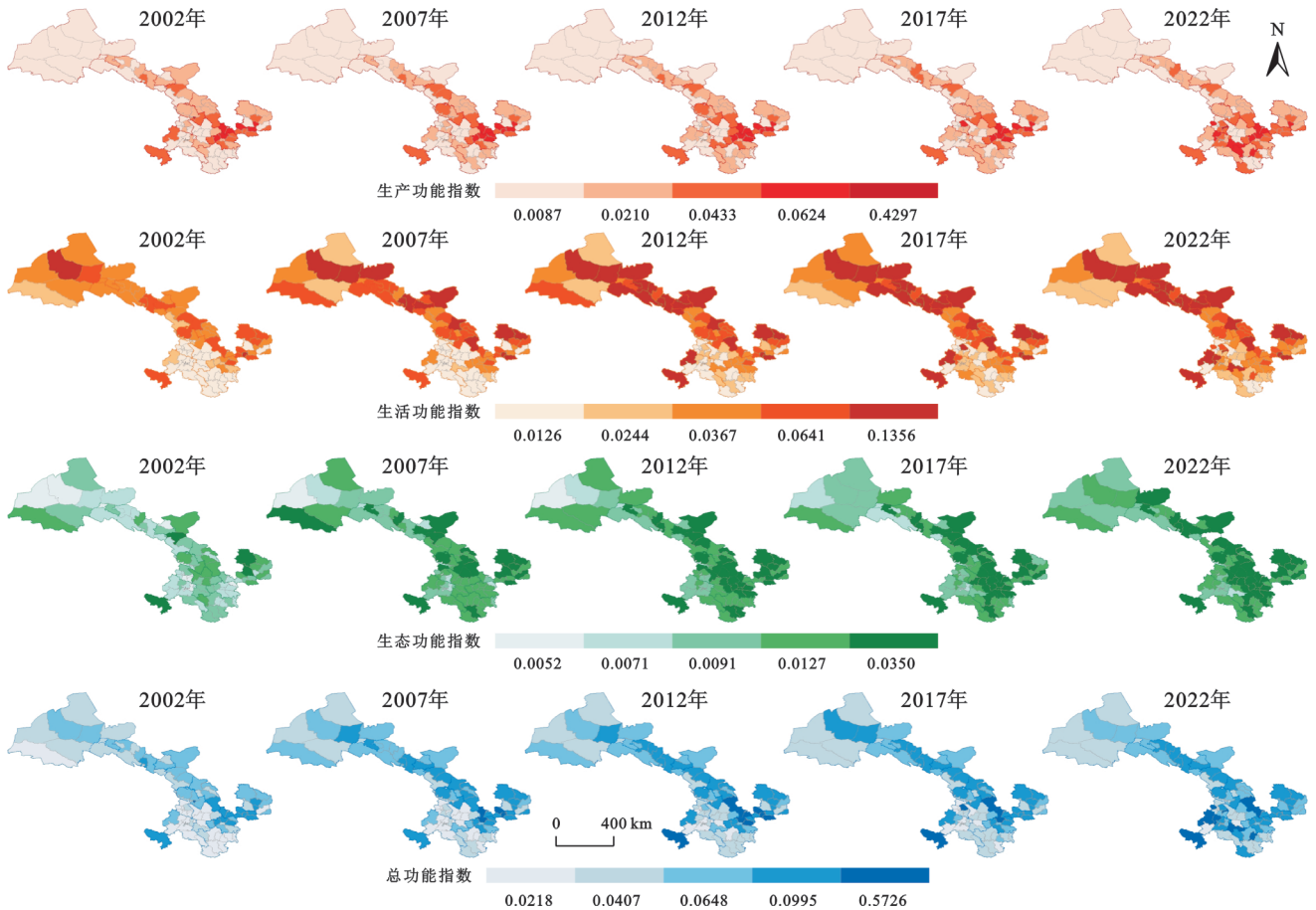


图 2 2002—2022 年甘肃省各县区耕地多功能指数

Fig. 2 Multifunctionality indicators of cultivated land in counties and districts of Gansu Province (2002—2022)

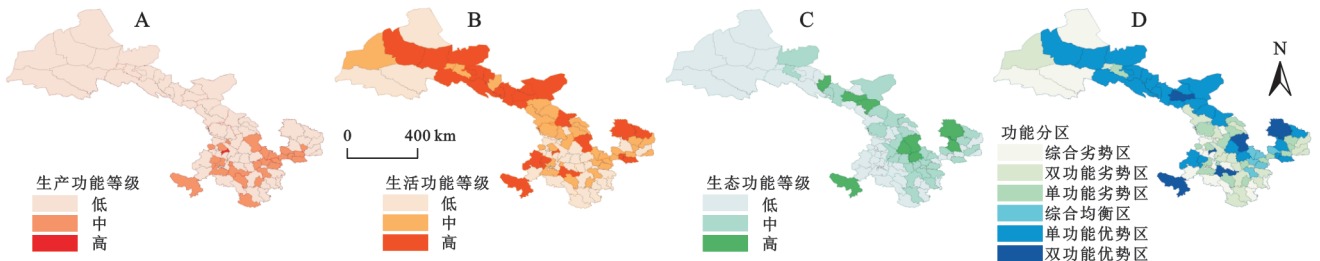


图 3 2022 年甘肃省耕地多功能等级空间分布及功能分区

Fig. 3 Spatial distribution and functional zoning of cultivated land multifunctionality levels in Gansu Province in 2022

### 2.3 耕地多功能对农业生产能力变化的敏感度及分区

2.3.1 耕地多功能对农业生产能力变化的敏感度  
 2002—2007年、2007—2012年、2012—2017年、2017—2022年甘肃省耕地多功能对农业生产能力的敏感度波动程度较大(表3)。2002—2022年甘肃省耕地多功能敏感度呈下降趋势,敏感等级由低度敏感转为不敏感,主要由于城镇化步伐加快使农村劳动力流失,大量农田转化为建设用地。同时农药化肥的不合理利用对耕地的自然生态构成了威胁,导致耕地多功能水平降低,对农业生产能力变化不再敏感。空间尺度上,除天水市、张掖市、庆阳市总体耕地多功能敏感度有增长外,其余地级市敏感度均呈负增

长状态;区县视角上,礼县、积石山保安族东乡族撒拉族自治县、宕昌县敏感度增长率位于研究区前三,敏感等级由低度敏感变为高度敏感,农业生产能力变化与耕地多功能水平波动呈现同质性趋势,通过高效利用耕地提高农业生产能力的措施成效显著;广河县、西和县、岷县耕地多功能敏感度下降最明显,敏感等级由低度敏感变为不敏感,耕地多功能对农业生产能力变化的响应不再敏锐,农业生产技术革新、农业生产要素投入量增加使得农业产量、产值对耕地资源禀赋的依赖性大幅降低。

从耕地生产功能对农业生产能力的敏感度来看,2002—2012年甘肃省耕地生产功能敏感度呈增长趋势,说明甘肃省通过优化耕地利用结构实现了

农产品产量的增加和农业产值的提升;空间尺度上,2002—2012年碌曲县、岷县、合作市耕地生产功能敏感度增长最为显著,城关区、成县、迭部县敏感度降低最为突出。2012—2022年甘肃省耕地生产功能敏感度明显下降,农业现代化进程的推进以及农业技术的广泛应用使得耕地生产功能对农业生产能力的敏感度有所弱化;县域尺度上,礼县、积石山保安族东乡族撒拉族自治县耕地生产功能敏感度增长最多,敏感等级由低度敏感升为高度敏感,西和县和广河县生产功能敏感度下降最显著,耕地生产功能对农业生产能力变化敏感等级由低度敏感降为不敏感。

从耕地生活功能对农业生产能力的敏感度来看,2002—2012年甘肃省耕地生活功能敏感度略有提升,说明农业机械化水平的提升在提高耕地生活功能指数的同时也增强了农业生产能力;空间上,2002—2012年镇原县、岷县、夏河县耕地生活功能敏感度增长最为显著,碌曲县、迭部县生活功能敏感度降低最明显。2012—2022年甘肃省耕地生活功能敏

感度显著降低,原因在于农业技术改进增加了农业生产成本,农民收入降低,耕地生活功能指数下降,但农业生产能力变化相对稳定;县域视角上,礼县、积石山保安族东乡族撒拉族自治县耕地生活功能敏感度增长幅度最大,西和县、广河县生活功能敏感度下降最多,耕地生活功能对农业生产能力变化不再敏感。

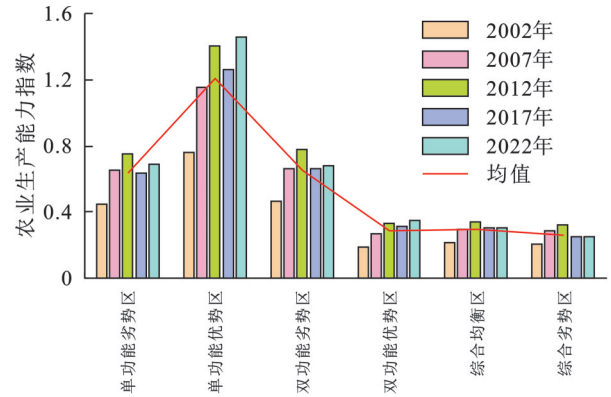


图 4 2002—2022 年甘肃省耕地多功能分区农业生产能力变化

Fig. 4 Changes in agricultural production capacity of multifunctional zones of cultivated land in Gansu Province (2002—2022)

表 3 甘肃省耕地多功能对农业生产能力变化的敏感度

Table 3 Sensitivity of cultivated land multifunctionality to changes in agricultural production capacity in Gansu Province

地级市	总功能敏感度				生产功能敏感度				生活功能敏感度				生态功能敏感度				IV
	2002—2007年	2007—2012年	2012—2017年	2017—2022年	2002—2007年	2007—2012年	2012—2017年	2017—2022年	2002—2007年	2007—2012年	2012—2017年	2017—2022年	2002—2007年	2007—2012年	2012—2017年	2017—2022年	
兰州市	6.81	0.85	1.84	3.71	7.74	0.81	2.61	6.70	3.85	2.73	0.38	0.73	-1.09	1.88	2.92	10.36	
嘉峪关市	0.48	0.11	0.65	0.11	0.41	-0.08	1.30	0.80	0.44	0.11	0.52	0.38	0.69	0.23	0.93	-1.16	
金昌市	1.58	1.83	-0.69	-0.26	1.46	1.53	1.63	-0.66	1.61	1.91	-0.42	-0.54	1.59	1.68	-4.83	1.35	
白银市	2.21	0.31	-5.22	-0.33	1.70	-1.19	-0.12	-0.58	1.89	0.93	-3.56	-0.24	4.31	1.23	-12.82	0.40	
天水市	3.70	1.45	3.09	5.17	3.04	-1.13	7.76	7.93	3.53	1.85	2.19	9.19	7.79	13.18	-13.42	-6.01	
武威市	2.96	0.66	1.53	0.11	0.45	-0.48	-3.10	-3.71	3.46	1.13	3.24	-0.84	5.31	1.18	3.50	5.56	
张掖市	-1.53	5.53	-3.96	-0.01	-2.73	6.25	-3.42	-0.81	-1.69	6.04	-3.05	-0.45	2.65	3.81	-9.31	3.20	
平凉市	3.18	0.93	1.72	-15.03	2.61	-1.44	0.12	-25.31	2.91	1.41	2.18	-12.61	7.30	10.83	10.82	24.19	
酒泉市	4.70	0.12	-14.17	0.18	1.34	3.01	-1.12	-7.85	5.48	0.19	-17.57	2.20	4.92	-0.27	-15.60	-6.04	
庆阳市	4.36	13.58	3.88	17.73	4.76	9.77	3.48	56.64	4.11	15.63	0.69	17.90	5.14	29.02	9.85	-9.07	
定西市	5.94	22.04	6.58	-116.62	5.86	26.04	-7.38	-221.14	10.71	28.94	15.83	-76.27	5.11	9.20	1.69	7.34	
陇南市	15.00	19.25	-195.59	-18464.28	9.73	30.24	-27.66	-41155.17	14.67	27.81	-140.53	-14950.63	18.72	7.82	-240.53	123.35	
临夏回族自治州	8.06	19.76	-65.29	-14881.35	3.40	25.32	-78.73	-30512.11	11.61	26.72	-78.48	-11991.86	11.77	9.85	-13.15	89.98	
甘南藏族自治州	6.71	18.28	-11.60	-13.06	-2.03	56.61	19.13	-6.38	18.45	21.62	-37.72	-13.96	14.64	1.49	9.42	-5.07	

从耕地生态功能对农业生产能力的敏感度来看,2002—2012年甘肃省耕地生态功能敏感度略有增加,表明多种类作物种植使得农田生态系统多样性指数提升,耕地生态功能增强,对农业生产能力变化更加敏感;空间上,2002—2012年镇原县、西峰区耕地生态功能敏感度增长最多,两当县、夏河县生态功能敏感度下降最多。2012—2022年甘肃省耕地生

态功能敏感度大幅提升,说明甘肃省耕地生态系统保护及改善工作效果突出,耕地生态功能水平显著提高,其对农业生产能力变化的响应程度进一步提升;县域视角上,正宁县、秦州区生态功能敏感度降幅最显著,礼县、西和县耕地生态功能敏感度增幅最大,耕地生态系统更加稳定,生态功能对农业生产能力变化更加敏感。

2.3.2 耕地多功能对农业生产能力变化的敏感度分区 根据敏感度等级划分标准将 2002—2022 年甘肃省各县区耕地多功能对农业生产能力变化的敏感度进行分区(图 5)。从耕地多功能敏感度分区可以看出,2002—2007 年除安宁区、肃南裕固族自治县和临潭县 3 个县区处于不敏感区外,甘肃省其余县区均处于低敏感区;2007—2012 年不敏感区县区个数增加了 11 个,但有 5 个县区敏感等级有提高,其中岷县、康乐县、合作市和夏河县敏感等级变为中度敏感,镇原县敏感等级升为高度敏感;2012—2017 年不敏感区县区数量持续增加,包括红古区、金川区、永昌县等 31 个县区,高度敏感区变为康乐县和迭部县 2 个;2017—2022 年甘肃省耕地生产功能敏感度等级提升明显,中度敏感区增至秦州区、正宁县等 6 个县区,高度敏感区增至宕昌县、礼县等 5 个县区。总体上,2002—2022 年甘肃省耕地多功能对农业生产能力变化敏感度各分区内县区数量波动幅度较大,但整体趋势为低度敏感区为主转向多种类分区共存,说明甘肃省耕地多功能对农业生产能力变化的响应差异呈现显著的空间分异特征,技术投入、发展水平、区位特征等因素导致各县区农业生产活动对耕地功能性依赖程度各异。

从耕地生产功能敏感度分区可以看出,2002—2007 年生产功能敏感度分区以低度敏感区为主,其中包括 73 个低度敏感县区,此外包含 1 个中度敏感县区和 13 个不敏感县区;2007—2012 年甘肃省耕地功能敏感等级有所波动,不敏感县区变为 34 个、低度敏感县区减少为 45 个,中度敏感县区包括镇原县、文县、宕昌县等 5 个县区,高度敏感县区包括岷县、合作市和碌曲县 3 个县区;2012—2017 年不敏感县区减少至 26 个,低度敏感县区回升至 59 个,高度敏感县区变为康乐县和迭部县;2017—2022 年不敏感县区增至 52 个,低度敏感县区大幅减少至 21 个,中度敏感区包括红古区和临夏县 2 个县区,高度敏感区则增至秦州区、正宁县、宁县等 12 个县区。总体上,2002—2022 年甘肃省耕地生产功能对农业生产能力变化敏感度分区变化显著,中高度敏感区扩大表明部分县区农业生产条件的改善、农业现代化进程的深入使农作物产量、农民农业收入等得以增加,耕地生产功能与农业生产能力变化呈现出同一性特征。

从耕地生活功能敏感度分区可以看出,2002—2007 年甘肃省主要生活功能敏感度分区为低度敏感区,包含肃南裕固族自治县和肃北蒙古族自治县 2 个不敏感县区;2007—2012 年甘肃省耕地生活功能敏感分区仍以低度敏感区为主,此外不敏感县区增至 10 个,增加了宕昌县、东乡族自治县和临潭县 3 个中

度敏感县区以及镇原县、岷县、合作市和夏河县 4 个高度敏感县区;2012—2017 年不敏感县区数量增为 36 个,低度敏感县区数量减少为 47 个,中度敏感县区变为渭源县和漳县,高度敏感县区变为康乐县和迭部县;2017—2022 年不敏感县区持续增为 49 个,低度敏感县区减少为 27 个,中度敏感区变为敦煌市、镇原县、徽县和临潭县 4 个县区,高度敏感区增至秦州区、正宁县等 7 个县区。总体上,2002—2022 年甘肃省耕地生活功能对农业生产能力变化敏感度分区呈波动变化状态,不同年份敏感度分区差异显著,低敏感区向不敏感区和中高敏感区转变说明甘肃省耕地生活功能对农业生产能力变化的敏感度趋向复杂化状态,不同县区由于农业生产条件、农业产业活力、农产品产值等因素的差异,导致耕地生产功能变化与农业生产能力变化存在多样化的相对趋势。

从耕地生态功能敏感度分区可以看出,2002—2007 年甘肃省生态功能敏感度分区包括 83 个低敏感县区,城关区、安宁区和肃南裕固族自治县 3 个不敏感县区以及两当县 1 个中度敏感区;2007—2012 年生态功能敏感分区包含七里河区、红古区等 69 个低敏感县区,城关区、宕昌县等 16 个不敏感县区,镇原县 1 个中度敏感区和西峰区 1 个高度敏感区。2012—2017 年敏感度分区中仅包含低度敏感区和中度敏感区,其中低度敏感县区 85 个,中度敏感县区为庄浪县和玛曲县;2017—2022 年不敏感县区增至 29 个,低度敏感县区减少为 47 个,新增红古区、静宁县等 6 个中度敏感县区和泾川县、华池县等 5 个高度敏感县区。总体上,2002—2022 年甘肃省耕地生态功能对农业生产能力变化敏感度分区状态起伏较大,受不同时期化肥农药的使用、农业作物种植的丰富程度、耕地地块的聚集程度等因素的影响,甘肃省各县区耕地生态功能指数波动显著,致使不同时期耕地生态功能对农业生产能力变化敏感度分区呈现不同组合形式。

## 2.4 讨论

作为农业生产的重要载体,耕地在农作物生产、农民收入、土地生态维护等多维度发挥着关键作用<sup>[14-15]</sup>,对耕地资源进行优化配置及多样化利用,增加农业产出、维护生态平衡、增进社会福祉,不仅能够有效促进农民增收、改善农村居民的整体生活质量,还有助于显化耕地多功能属性,推动耕地利用可持续发展<sup>[17]</sup>。基于此,本研究从县域尺度对 2002—2022 年甘肃省耕地多功能水平进行测算及分区,根据各功能分区测度农业生产能力变化情况,并系统评估耕地多功能对农业生产能力变化的敏感度,以期对甘肃省耕地多功能利用优化以及农业生产能力

提升提供理论参考。研究结果显示,2002—2022年甘肃省耕地多功能水平明显提升,且存在显著空间异质性,说明10年间甘肃省在优化耕地资源配置及利用方式、提高耕地利用效率、实现耕地多功能协同增效等方面工作成效显著,但区域耕地利用水平不平衡,需结合区域资源禀赋优化功能配置,因地制宜显化耕地多功能属性;其次,不同耕地多功能分区的农业生产能力差异显著,说明耕地利用侧重差异会对农业生产能力变化产生异质性反馈效果,可针对

不同农业生产侧重点制定相应功能导向的耕地利用政策,以实现耕地利用、农业生产可持续发展;此外,研究发现2002—2022年甘肃省耕地生态功能对农业生产能力变化的敏感度大幅提升,而生产、生活功能敏感度下降,说明退耕还林还草、轮作休耕等政策成效显著,促使耕地利用从“生产优先”转向“生态—生产协同”,同时,农业技术的进步降低了农业生产能力对耕地自然肥力的依赖,农村劳动力外流与农业兼业化削弱了耕地对农民生计的直接支撑。

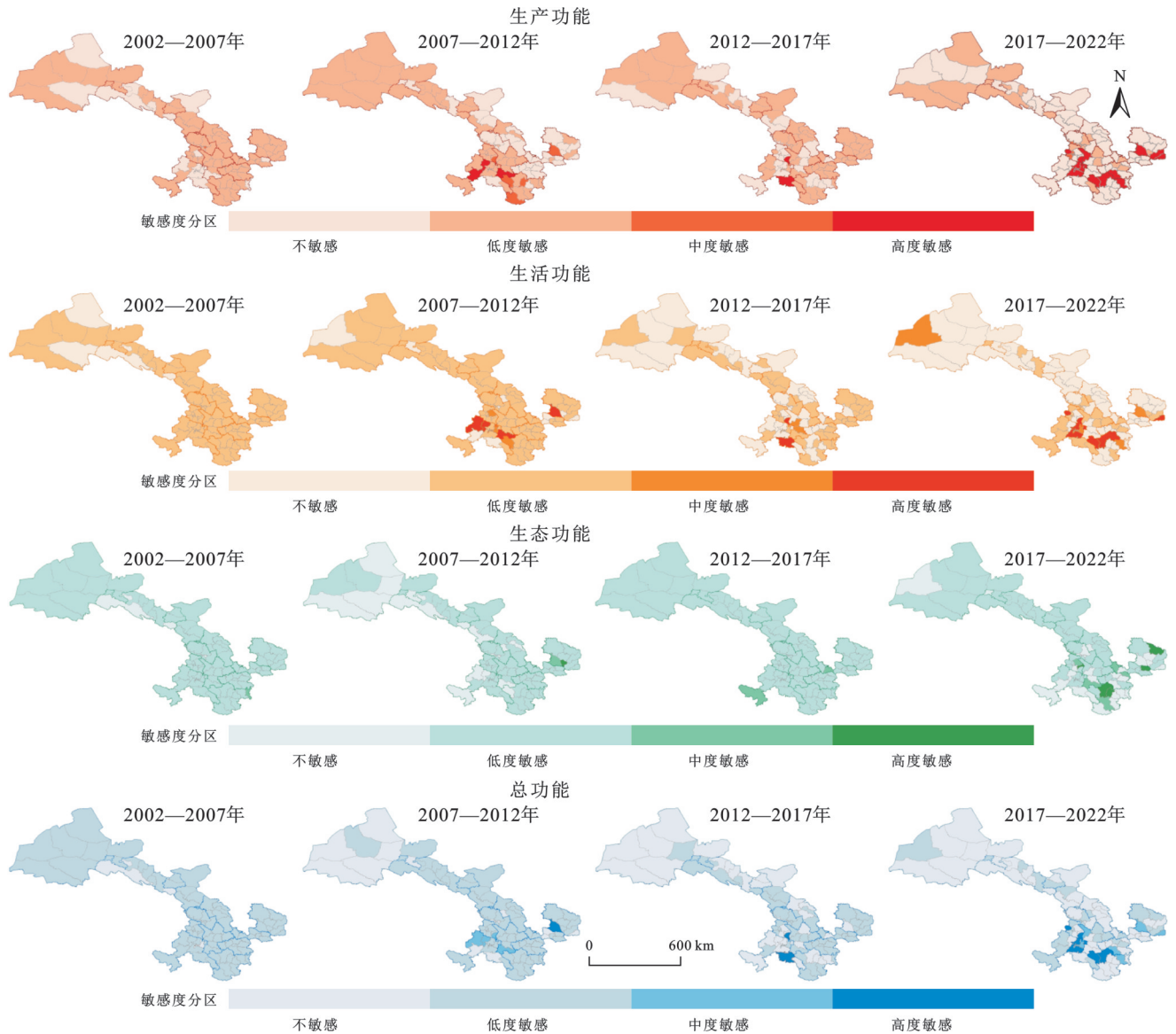


图 5 甘肃省耕地多功能对农业生产能力变化的敏感度分区

Fig. 5 Sensitivity zoning of cultivated land multifunctionality to changes in agricultural production capacity in Gansu Province

以上发现不仅丰富了耕地多功能性与农业生产能力之间关系的理论框架,还为理解耕地利用变化对农业生产能力的动态响应提供了新的视角。甘肃省作为特色农业产区,耕地资源分布广泛、类型多样,为农业生产提供了重要支撑,但耕地质量不高、生产能力分布失衡等问题依旧突出,耕地资源利用效率有待

提高<sup>[18]</sup>。要实现耕地多功能与农业生产能力同步推进,需要在投入农业生产资料、改进农业生产技术等以提高农业生产能力的同时,侧重于促进耕地生产功能、生活功能、生态功能协同增效,提高耕地利用综合效率,提升耕地多功能水平。同时应基于资源禀赋、区位条件及农业生产导向的差异化配置,对不同功能

分区构建靶向性耕地利用模式,以期形成耕地利用强度、农业生产效益与生态承载容量相协调的可持续发展格局。研究对象、区位差异、资源禀赋、评价指标选取等因素导致耕地子功能对农业生产能力变化敏感度的测度结果与相关研究<sup>[5,7]</sup>相比存在差异,但在耕地总功能敏感度变化趋势上仍有相似之处。此外,本研究对于耕地多功能和农业生产能力的评价指标选取仍需进一步完善,未来的研究应更加深入地探索耕地多功能性的内涵和外延,以及其与农业生产能力之间的具体作用机制。同时,鉴于耕地利用系统的日益复杂性,还需进一步探究影响耕地子功能与农业生产能力响应关系的关键因素,为制定更加精准的耕地利用政策提供理论支撑。

### 3 结论

本研究对甘肃省2002—2022年耕地多功能指数进行了测算并分区,基于功能分区对研究区农业生产能力进行了系统评价,并在此基础上计算了耕地多功能对农业生产能力变化的敏感度,对敏感度进行分区。研究表明,2002—2022年甘肃省耕地生产功能、生活功能和生态功能指数均呈增长态势,各县区间耕地子功能等级差异显著。这一发现为制定差异化的耕地利用政策提供了科学依据。其次,研究揭示了不同功能区耕地多功能对农业生产能力变化存在差异化的反馈关系。这一发现强调了在制定农业政策时需要考虑区域功能特征的差异性。最后,研究发现2002—2022年甘肃省耕地多功能对农业生产能力的敏感度表现为生产功能敏感度明显下降,生活功能敏感度显著降低,而生态功能敏感度大幅提升。这一变化趋势强调了生态保护力度增强对耕地功能及农业生产能力的影响,从生态维度上为优化耕地利用结构提供了重要参考。

(1) 2002—2022年甘肃省耕地多功能水平不断提升,20年间耕地生产功能指数、生活功能指数和生态功能指数均有增长,依照功能分区标准将2022年甘肃省耕地多功能分为双功能优势区、单功能优势区、综合均衡区、单功能劣势区、双功能劣势区和综合劣势区6个功能区,各县区间耕地子功能等级差异显著。

(2) 2002—2022年甘肃省耕地多功能分区的农业生产能力差异显著,平均农业生产能力由高到低依次为单功能优势区、双功能劣势区、单功能劣势区、双功能优势区、综合均衡区、综合劣势区,说明甘肃省不同功能区耕地多功能对农业生产能力变化存在不同的反馈关系。

(3) 2002—2022年甘肃省耕地多功能对农业生

产能力的敏感度呈波动下降趋势,敏感等级由低度敏感转为不敏感且空间差异较为突出;20年间耕地生产功能敏感度明显下降,耕地生产功能对农业生产能力的敏感度有所弱化;耕地生活功能敏感度显著降低,农业技术改进使农业生产成本增加,农民收入降低,耕地生活功能指数下降,对农业生产能力变化的反馈降级;耕地生态功能敏感度大幅提升,耕地生态功能对农业生产能力变化的响应程度提升。

(4) 2002—2022年甘肃省耕地多功能对农业生产能力变化敏感度各分区县数量波动幅度较大,整体趋势为低度敏感区为主转向多等级分区共存,大部分敏感区耕地各子功能与农业生产能力呈现同向变化趋势。

#### 参考文献(References):

- [1] 武子豪,郝晋珉,陈航,等.河北省耕地多功能评价与关键权衡协同分析[J].农业工程学报,2024,40(14):199-209.  
Wu Z H, Hao J M, Chen H, et al. Multifunctional evaluation and key trade-offs and synergy relationships of cultivated land in Hebei Province of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024, 40(14):199-209.
- [2] 杜国明,郭凯,于凤荣.黑龙江省垦区耕地利用功能转型与调控建议[J].农业现代化研究,2021,42(4):589-599.  
Du G M, Guo K, Yu F R. Suggestions on the transition and regulation of farmland utilization function in Heilongjiang Province[J]. Research of Agricultural Modernization, 2021, 42(4):589-599.
- [3] 申格,刘航,余强毅,等.基于粮食安全视角的南方冬季耕地资源利用潜力空间布局及优化:以鄱阳湖平原为例[J].中国土地科学,2024,38(7):133-144.  
Shen G, Liu H, Yu Q Y, et al. Spatial distribution and optimization of cultivated land use potential in winter of Southern China from the perspective of food security: a case study of Poyang Lake Plain[J]. China Land Science, 2024, 38(7):133-144.
- [4] 宋戈,张红梅,高佳,等.东北粮食主产区农地社会保障功能替代程度对农地流转的影响研究[J].农业现代化研究,2017,38(1):60-66.  
Song G, Zhang H M, Gao J, et al. The influence of substitution degree of farmland social security function on farmland circulation in the main grain producing areas of Northeast China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2017, 38(1):60-66.
- [5] 高佳,赵荣荣,王盼盼.耕地多功能对粮食生产能力变化的敏感度研究[J].自然资源学报,2024,39(6):1434-1449.  
Gao J, Zhao R R, Wang P P. Study on the sensitivity of cultivated land multifunction to the changes of grain productivity capacity[J]. Journal of Natural Resources,

- 2024,39(6):1434-1449.
- [6] 黄馨慧,王志强,卢诗月.海南省耕地利用与粮食生产耦合协调发展研究[J].江西农业学报,2024,36(1):69-75. Huang X H, Wang Z Q, Lu S Y. Study on coupling coordination development between cultivated land use and food production in Hainan Province[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2024,36(1):69-75.
- [7] 李贤,王浩阳,牛文浩,等.黄河流域耕地利用转型时空演变及其对粮食生产的影响[J].中国农业大学学报,2024,29(10):85-96. Li X, Wang H Y, Niu W H, et al. Spatial-temporal evolution of cultivated land use transition and its impact on grain production in the Yellow River Basin[J]. Journal of China Agricultural University, 2024,29(10):85-96.
- [8] 唐莹,孙玉晶.粮食安全视角下东北地区耕地利用功能转型特征研究[J].农业现代化研究,2024,45(2):210-220. Tang Y, Sun Y J. Study on the functional transformation characteristics of farmland utilization in Northeast China from the perspective of grain security [J]. Research of Agricultural Modernization, 2024,45(2):210-220.
- [9] 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.
- [10] 杨凤妍子,胡伟艳,刘恬,等.耕地多功能权衡与协同关系的尺度效应:以武汉城市圈为例[J].浙江农业学报,2022,34(1):184-195. Yang F, Hu W Y, Liu T, et al. Scale effects of trade-offs and synergies of multifunction of cultivated land: evidence from Wuhan Metropolitan Area[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2022,34(1):184-195.
- [11] 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.
- [12] 宋小青,李心怡.区域耕地利用功能转型的理论解释与实证[J].地理学报,2019,74(5):992-1010. Song X Q, Li X Y. Theoretical explanation and case study of regional cultivated land use function transition [J]. Acta Geographica Sinica, 2019,74(5):992-1010.
- [13] 张悦,吴克宁,李晓亮,等.河北省县域土地利用多功能性时空分异与耦合协调度研究[J].中国农业资源与区划,2024,45(8):150-161. Zhang Y, Wu K N, Li X L, et al. Study on spatial-temporal differentiation and coupling coordination degree of multi-functionality of county land use in Hebei Province [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2024,45(8):150-161.
- [14] 朱庆莹,王玉琳,陈坤,等.主体功能区视角下湖北省耕地利用转型时空分异特征[J].农业工程学报,2024,40(15):222-232. Zhu Q Y, Wang Y L, Chen K, et al. Spatial-temporal divergence of cultivated land use transformation in Hubei Province from the perspective of main functional zones[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024,40(15):222-232.
- [15] Ge D Z, Long H L, Zhang Y N, et al. Farmland transition and its influences on grain production in China[J]. Land Use Policy, 2018,70:94-105.
- [16] Ge K, Wang Y, Liu X Y, et al. Impacts and threshold effects of urban-rural integration on the transition of arable land use functions [J]. Ecological Indicators, 2024,166:112595.
- [17] Lu D, Wang Z P, Su K C, et al. Understanding the impact of cultivated land-use changes on China's grain production potential and policy implications: A perspective of non-agriculturalization, non-grainization, and marginalization [J]. Journal of Cleaner Production, 2024,436:140647.
- [18] 张利国,王占岐,柴季,等.湖北省耕地多功能地区差异及综合分区研究[J].地域研究与开发,2019,38(5):125-130. Zhang L G, Wang Z Q, Chai J, et al. Multifunction spatial differentiation and comprehensive zoning of cultivated land in Hubei Province [J]. Areal Research and Development, 2019,38(5):125-130.
- [19] 张子晴,张道军,陈亮,等.黄河流域城镇化与耕地利用生态效率的耦合协调度评价、时空特征及驱动因素[J].农业工程学报,2024,40(16):240-250. Zhang Z Q, Zhang D J, Chen L, et al. Coupling coordination evaluation, spatiotemporal characteristics and driving factors between urbanization and cultivated land use ecological efficiency in the Yellow River Basin [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024,40(16):240-250.
- [20] Wang M C, Huang X J. Inhibit or promote: Spatial impacts of multifunctional farmland use transition on grain production from the perspective of major function-oriented zoning [J]. Habitat International, 2024, 152: 103172.
- [21] Cao X F, Han J Q, Li X Y. Analysis of the impact of land use change on grain production in Jiangsu Province, China[J]. Land, 2024,13(1):20.
- [22] Li F, Qin Z X, Liu X L, et al. Grain production space reconstruction and land system function tradeoffs in China [J]. Geography and Sustainability, 2021, 2(1): 22-30.

- [23] 杨晓帆,刘瑛,蔡海生,等.大南昌都市圈耕地利用的多功能权衡与协同关系演变[J].水土保持通报,2024,44(3):241-251,262.  
Yang X F, Liu Y, Cai H S, et al. Evolvement of multi-function balance and synergistic relationship of cultivated land use in great Nanchang metropolitan area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(3): 241-251, 262.
- [24] 程鹏,柳可,张杨,等.碳排放约束下耕地利用推动粮食生产的逻辑关联、现实矛盾与路径优化[J].农业工程学报,2024,40(12):246-254.  
Cheng P, Liu K, Zhang Y, et al. Logical correlation, realistic contradictions and path optimization for promoting grain production through cultivated land utilization under carbon emission constraints [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024, 40(12):246-254.
- [25] 陈丽,郝晋珉,王峰,等.基于碳循环的黄淮海平原耕地固碳功能研究[J].资源科学,2016,38(6):1039-1053.  
Chen L, Hao J M, Wang F, et al. Carbon sequestration function of cultivated land use system based on the carbon cycle for the Huang-Huai-Hai Plain[J]. Resources Science, 2016, 38(6):1039-1053.
- [26] 廖钟淇,范业婷,王君儒,等.长三角耕地生态系统服务功能时空演变及其驱动机制[J].环境科学,2025,46(6):3681-3692.  
Liao Z Q, Fan Y T, Wang J X, et al. Spatiotemporal evolution of cultivated land ecosystem service functions in the Yangtze River Delta and its driving mechanism [J]. Environmental Science, 2025, 46(6):3681-3692.
- [27] 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.
- [28] 陈志峰,杨国永.福建丘陵山区县域农业生产能力评价及空间特征分析:基于熵权TOPSIS模型的实证研究[J].中国农业大学学报,2024,29(11):297-310.  
Chen Z F, Yang G Y. County-level agricultural productivity and spatial characteristics in hilly and mountainous areas of Fujian Province: an empirical study based on entropy weighted TOPSIS modeling [J]. Journal of China Agricultural University, 2024, 29(11):297-310.
- [29] 郭燕.粮食安全视角下西部省份农业综合生产能力提升路径研究[J].安徽农业大学学报:社会科学版,2023,32(1):53-58.  
Guo Y. Research on the approach to improving comprehensive agricultural production capacity in western provinces from the perspective of food security [J]. Journal of Anhui Agricultural University: Soc Sci, 2023, 32(1):53-58.
- [30] 王东,罗红云.中国农业综合生产能力地区差异及动态演进[J].统计与决策,2023,39(10):55-58.  
Wang D, Luo H Y. Regional differences and dynamic evolution of comprehensive agricultural production capacity in China [J]. Statistics & Decision, 2023, 39(10):55-58.

(上接第260页)

- [25] 徐铭璟,冯强,吕萌.生态系统服务权衡及其影响因素:以黄河流域山西段为例[J].干旱区研究,2024,41(3):467-479.  
Xu M J, Feng Q, Lyu M. Tradeoffs of ecosystem services and their influencing factors: A case study of the Shanxi Section of the Yellow River Basin [J]. Arid Zone Research, 2024, 41(3):467-479.
- [26] 王鹭,高建恩,龙韶博,等.延河流域典型治理阶段的土壤保持功能时空变化及驱动因素分析[J].水土保持研究,2023,30(3):94-102.  
Wang L, Gao J E, Long S B, et al. Temporal and spatial variation of soil conservation function and its driving factors in typical reclamation stage in Yanhe River Basin [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(3):94-102.
- [27] Wu J, Guo X, Zhu Q, et al. Threshold effects and supply-demand ratios should be considered in the mechanisms driving ecosystem services [J]. Ecological Indicators, 2022, 142:109281.
- [28] 刘晓燕,党素珍,高云飞,等.黄土丘陵沟壑区林草变化对流域产沙影响的规律及阈值[J].水利学报,2020,51(5):505-518.  
Liu X Y, Dang S Z, Gao Y F, et al. The rule and threshold of the effect of vegetation change on sediment yield in the Loess Hilly Region, China [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2020, 51(5):505-518.
- [29] Zhao X Q, Xu Y F, Pu J W, et al. Achieving the supply-demand balance of ecosystem services through zoning regulation based on land use thresholds [J]. Land Use Policy, 2024, 139:107056.
- [30] Lin Y Y, Xu X B, Tan Y, et al. Identifying ecosystem supply-demand response thresholds for land use optimization: a case study of the Taihu Lake Basin, China [J]. Ecological Indicators, 2025, 175:113569.