

耕地空间保护格局影响因素及整治规划对策

——以甘肃省平凉市崆峒区为例

景生鹏¹, 陈亚伟¹, 周孝明², 康鸿杰¹, 尤凤^{1,3}, 王丽梅¹

(1.甘肃省自然资源规划研究院, 甘肃 兰州 730001; 2.兰州理工大学
土木工程学院, 甘肃 兰州 730003; 3.兰州大学 资源与环境学院, 甘肃 兰州 730005)

摘要: [目的] 通过对耕地保护现状空间格局成因及其空间相关性分析, 划分科学的耕地整治规划分区, 为进一步优化崆峒区耕地布局, 提升耕地质量, 科学利用、保护耕地提供参考。[方法] 以甘肃省平凉市崆峒区为例, 采用景观格局指数法、多目标决策法、Spreaman 秩相关法、聚类分析法, 选取耕地坡度、耕地保护政策、城镇化影响来分析耕地景观格局现状与其在空间上存在的协同或权衡关系, 构建耕地保护格局相关性分析评价指标体系。[结果] ①研究区整体上耕地景观格局指数 2010—2022 年上升 3.55%, 耕地集聚程度大部分区域呈现下降趋势, 但在整个过程中呈现波动。区域土地利用程度整体上呈上升趋势, 各乡镇耕地布局特征及土地利用程度差异明显。②耕地保护指数 2022 年较 2010 年上升 315.30%, 2°~6°耕地增加 120.96%, 15°~25°耕地减少 32.64%, >25°耕地减少 100%, 耕地质量提升明显, 与耕地景观格局在空间上高度协同; 城镇化影响指数呈上升趋势。2010—2022 年城镇化影响指数上升 25.17%, 城镇化对耕地布局影响加大, 与耕地景观格局在空间上存在权衡关系。③划分耕地质量提升重点区、耕地质量提升一般区、耕地新增开发潜力区、耕地协调保护区等 4 个耕地整治规划单元。[结论] 甘肃省平凉市崆峒区耕地布局特征各乡镇差异性明显, 耕地整体保护成效明显。影响研究区耕地空间格局的主要因素为政策因素、城镇开发影响以及农民种植意愿和耕地保护意识等。

关键词: 耕地保护格局; 影响因素; 整治规划; 秩相关法; 崆峒区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)06-0434-11

中图分类号: F323.24

文献参数: 景生鹏, 陈亚伟, 周孝明, 等. 耕地空间保护格局影响因素及整治规划对策[J]. 水土保持通报, 2023, 43(6): 434-444. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.06.048; Jing Shengpeng, Chen Yawei, Zhou Xiaoming, et al. Influencing factors of cultivated land spatial protection pattern and countermeasures of regulation planning [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(6): 434-444.

Influencing Factors of Cultivated Land Spatial Protection Pattern and Countermeasures of Regulation Planning —Taking Kongtong District in Pingliang City of Gansu Province as an Example

Jing Shengpeng¹, Chen Yawei¹, Zhou Xiaoming², Kang Hongjie¹, You Feng^{1,3}, Wang Limei¹

(1. Gansu Academy of Natural Resources Planning, Lanzhou, Gansu 730001, China;

2. School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, Gansu 730003,

China; 3. College of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730005, China)

Abstract: [Objective] Through analyzing the causes of the current spatial pattern of cultivated land protection and its spatial correlation, the scientific zoning of cultivated land renovation planning was divided to provide reference for further optimizing the layout of cultivated land, improving the quality of cultivated land, and scientific utilization and protection of cultivated land. [Methods] Taking Kongtong District, Pingliang City, Gansu Province as an example, landscape pattern index method, multi-objective decision-making method, Spreaman rank correlation method and cluster analysis method were used to analyze the synergistic or

收稿日期: 2023-09-17

修回日期: 2023-11-15

资助项目: 甘肃省自然资源厅重点攻关项目“基于国产 GIS 平台的甘肃省自然资源多源数据融合与动态感知应用与研究”(202207); 甘肃省自然科学基金项目“黄土高原地区撂荒耕地卫星遥感自动监测关键技术研究”(21JR7RA243); 甘肃省科技计划项目(22JR5RA602); 甘肃省自然资源厅科技项目(202209)

第一作者: 景生鹏(1982—), 男(汉族), 甘肃省镇原县人, 硕士, 高级工程师, 主要从事国土空间规划方面的研究。Email: GSJSP1982@163.com。

通信作者: 陈亚伟(1970—), 男(汉族), 甘肃省兰州市人, 学士, 教授级高级工程师, 主要从事土地调查、土地规划方面的研究。Email: chenya-aw@163.com。

tradeoff relationship between the current situation of cultivated land landscape pattern and its spatial existence by selecting cultivated land slope, cultivated land protection policy and urbanization impact, and to construct the correlation analysis and evaluation index system of cultivated land protection pattern. [Results]

① As a whole, the cultivated land landscape pattern index of the study area increased by 3.55% from 2010 to 2022, and the degree of cultivated land agglomeration showed a downward trend in most regions, but it fluctuated during the whole process. The regional land use degree showed an upward trend on the whole, and the characteristics of cultivated land layout and land use degree of each township were significantly different.

② The cultivated land protection index in 2022 increased by 315.30% compared with 2010, the cultivated land on 2°—6° slope increased by 120.96%, the cultivated land on 15°—25° slope decreased by 32.64%, and the cultivated land in > 25° decreased by 100%, which was highly coordinated with the cultivated land landscape pattern in space. The urbanization impact index showed an upward trend, which increased by 25.17% from 2010 to 2022. The urbanization impact on cultivated land distribution increased, and there was a significant spatial balance between urbanization and cultivated land landscape pattern.

③ Four units of cultivated land renovation planning were divided as cultivated land quality improvement key area, cultivated land quality improvement general area, cultivated land new development potential area, cultivated land coordination protection area. [Conclusion] The distribution characteristics of cultivated land in Kongtong District of Pingliang City, Gansu Province are different among different towns, and the overall protection effect of cultivated land is obvious. The main factors affecting the spatial pattern of cultivated land in the study area are policy factors, the impact of urban development, farmers' planting willingness and cultivated land protection awareness, etc.

Keywords: cultivated land protection pattern; influencing factors; regulation planning; rank correlation method; Kongtong District; Pingliang City, Gansu Province

党的“二十大”报告提出“全方位夯实粮食安全根基,确保中国人的饭碗牢牢端在自己手中”。耕地是粮食安全的基础,是国家长治久安和国民经济持续发展的重要保障,对社会的稳定起着至关重要作用^[1-2]。随着工业化、城镇化的快速推进,土地资源低效、粗放利用造成耕地保护压力骤增^[3],城镇化发展过程中也伴随着日益突出的耕地保护和建设用地扩张的矛盾^[4],导致耕地细碎化成为当前主要的土地问题之一^[5]。分析耕地空间布局影响因素,提升耕地空间集聚度,对区域提升农业生产规模化经营和土地耕作效率,消除破碎化负面效应有着重要的理论及现实意义^[6]。近些年,由于城镇化速度加快,导致内生性的劳动力转移以及农业现代化快速推进使得不同区域的耕地利用发生巨变^[7-9],建立耕地数量与质量并重的保护体系势在必行^[10],耕地的空间集聚度是耕地质量提升的重要因素,而影响耕地空间集聚度的因素很多,包括城镇化发展、区域经济状况、人口、区位条件、土地整治工程等^[11]。有研究^[12]表明自然因子对耕地数量变化的驱动作用在快速城镇化地区、粮食主产地区和生态脆弱地区依次增强,社会经济因子的驱动作用依次减弱,政策因子是所有区域耕地数量变化的主要驱动因子。近些年来部分学者^[13-16]围绕耕地区内涵、成因,耕地细碎化程度评价、影响和解决措施展

开广泛的研究。有学者认为通过整治形成集中连片、高产稳定的耕地,是现代农业生产方式和经营方式相匹配^[17]。景观指数法等^[18]为主的地理空间分析和景观生态学方法转变,可用于耕地空间布局特征研究,对区域提升农业生产规模化经营和土地耕作效率,消除破碎化负面效应有着重要的理论及现实意义^[19-20]。国外更多针对耕地质量研究。国内对耕地空间布局影响因素研究大多集中在多因素的空间自相关分析,但在此基础上进一步开展整治规划对策研究相对较少。为此,本文通过对甘肃省平凉市崆峒区耕地景观格局指数进行分析,通过构建耕地格保护局相关性分析评价指标体系,重点分析各因素对研究区耕地空间格局的影响及其空间相关性,最终提出研究区耕地整治规划对策,为耕地保护空间分类施策相关研究提供思路。

1 研究区概况与数据处理

1.1 研究区概况

崆峒区地处黄土高原腹地,位于黄土高原中东部和六盘山的过渡地带,由六盘山和东部黄土高原塬梁山地、河谷平原构成。平均海拔 1 558 m,相对高差 1 145 m。境内地貌根据成因和形态特征分为河谷川地、黄土残塬、中山丘陵 3 种地貌类型,分别占全域国土总面积的 15%,18%和 67%,山地丘陵比例较大,

整体开发利用空间有限。该区下辖 17 个乡镇,土地利用地域分布表现出明显的地带性和空间差异性,耕地面积约 40% 集中分布在占全区土地总面积 15% 的河谷川地。近些年由于城镇建设速度加快,耕地保护压力增大,耕地破碎化严重,在保障粮食安全的大背景下,耕地整治力度需要进一步加大,科学高效的整治方法需要进一步研究。

1.2 数据来源及处理

由于耕地保护及整治提升决策实施以乡镇单元为主,因此研究区域按乡镇分为 17 个区块〔崆峒镇(XZ₁)、白水镇(XZ₂)、草峰镇(XZ₃)安国镇(XZ₄)、柳

湖镇(XZ₅)、四十里铺镇(XZ₆)、花所镇(XZ₇)、索罗乡(XZ₈)、香莲乡(XZ₉)、西阳乡(XZ₁₀)、大秦乡(XZ₁₁)、白庙乡(XZ₁₂)、寨河乡(XZ₁₃)、大寨乡(XZ₁₄)、上杨乡(XZ₁₅)、麻武乡(XZ₁₆)、峡门乡(XZ₁₇)〕。研究数据大部分来源于甘肃省基础地理信息平台(GIS 平台)多源融合数据,部分数据由平凉市自然资源局崆峒分局提供。所有矢量数据统一转换为 CSCG2000 坐标系统,将村级行政界限融合处理以减少对耕地地块分割,将多地类合并处理为耕地、园地、林地、草地、城乡建设用地、交通水利、其他建设用地、其他土地 8 种景观类型。具体情况详见表 1。

表 1 主要数据来源与格式
Table 1 Main data sources and formats

数据用途	数据名称及来源	数据格式
耕地格局现状分析数据	2010—2022 年度甘肃省国土变更调查数据(甘肃省基础地理中心提供)	矢量
耕地坡度指数相关分析数据	2020 年度地理国情普查数据(甘肃省基础地理中心提供)	矢量
耕地保护指数相关分析数据	平凉市自然资源局提供;2010—2020 年新增耕地范围面积;2010—2020 年高标准农田建设范围面积;2010—2020 年退耕还林还草范围面积	矢量
城镇化影响指数分析数据	2010—2022 年年土地变更数据;2010—2022 年平凉市崆峒区建设用地报批台账 2010—2022 年平凉市崆峒区统计年鉴;2022 年度地理国情普查数据(甘肃省基础地理中心提供)	矢量

2 研究方法

2.1 分析评价体系构建

分析评价体系构建中目标、指标、权重的选择需要定性 with 定量研究的科学结合^[21-24]。耕地空间布局受到多种因素的影响,尤其在旱作农业区,耕地平整度,提升耕地质量的工程项目投入,城镇化建设分散化影响等对耕地空间分布特征,集中连片程度、开发

潜力等产生不同程度影响,进而影响了耕地景观格局特征。研究区耕地空间布局受土地开发整理(土地综合整治)项目实施,快速城镇化导致的建设用地占耕以及退耕还林还草政策等因素影响较大,因此本文主要选取耕地坡度、耕地保护政策、城镇化影响来分析耕地景观格局现状与其在空间上的存在协同或权衡关系,为耕地后续的整治提升及耕地后备潜力区开发在空间落位决策上提供科学参考(表 2)。

表 2 耕地格保护格局相关性分析评价指标体系
Table 2 Correlation analysis and evaluation index system of cultivated land grid protection

目标	指标	表达式/意义	属性	权重
耕地景观格局指数(E_1)	耕地破碎度指数(FN)	通过耕地破碎化指数,判断耕地布局受各种开发利用影响程度	-	0.2
	耕地聚集度指数(A)	可以反映研究区整个土地利用布局中,耕地利用类型成分的非随机性或聚集程度	+	0.3
	耕地优势度指数(D)	可以反映研究区内土地利用布局中,耕地支配区域的土地利用程度,优势度指数越大,表示该区域耕地的主导地位越强	+	0.5
耕地坡度指数(X_1)	0°~2°比例(X_{11})	0°~2°耕地面积/耕地总面积(a_1/S)	+	0.3
	2°~6°比例(X_{12})	2°~6°耕地面积/耕地总面积(a_2/S)	+	0.3
	6°~15°比例(X_{13})	6°~15°耕地面积/耕地总面积(a_3/S)	+	0.2
	15°~25°比例(X_{14})	15°~25°耕地面积/耕地总面积(a_4/S)	+	0.1
	>25°比例(X_{16})	>25°耕地面积/耕地总面积(a_6/S)	-	0.1
耕地保护指数(X_2)	耕地质量提升率(X_{21})	耕地整理面积/耕地总面积(S_1/S)	+	0.2
	新增耕地率(X_{22})	新开发耕地面积/耕地总面积(S_2/S)	+	0.5
	退耕率(X_{23})	退耕面积/耕地总面积(S_3/S)	+	0.3
城镇化影响指数(X_3)	建设占耕率(X_{31})	建设占用耕地面积/耕地总面积(S_5/S)	-	0.4
	一产与二、三产值比(X_{32})	一产产值/二、三产产值(M_1/M_{23})	+	0.4
	单位面积农业人口(X_{33})	农业人口/耕地面积(N_{ac}/S)	+	0.2

2.2 耕地景观格局生态指数法

选择耕地破碎度 (FN_i)、聚合度 (A_i)、优势度 (D_i) 来反映研究区耕地景观格局特征,对各个指数进行叠加,用其反映耕地景观受到人类开发活动干扰的程度。

$$\text{其中: } FN = MPS(N_f - 1) / N_c \quad (1)$$

式中: MPS 为该景观类型的平均斑块面积; N_f 为区域内景观类型总数。

$$A = A_{\max} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} \cdot \ln P_{ij} \quad (2)$$

$$A_{\max} = 2 \ln n \quad (3)$$

式中: A_{\max} 为景观聚集度指数的最大值; n 为景观中斑块类型的总数; P_{ij} 为斑块类型 i 与 j 相邻的概率。

$$D = H_{\max} + \sum_{k=1}^n (P_k \cdot \ln P_k) \quad (4)$$

式中: P_k 为斑块类型 k 在景观中出现的概率 (= 通常以该类斑块在景观中所占的面积比例来估算); n 为景观中斑块类型的总数。

对 FN_i, A_i, D_i 进行归一化处理后的耕地景观格局指数可以表示为:

$$E_i = aFN_i + bA_i + cD_i \quad (5)$$

式中: E_i 为受各种因素影响的耕地景观格局指数; $i = 1, 2, 3$ 分别对应 3 个研究阶段; a, b, c 分别赋予 0.2, 0.3, 0.5 的权重。

2.3 多目标决策法

多目标决策方法的运用可直观反映出研究区内耕地功能总体特征。以乡镇行政区为评价单元对现状耕地数据进行划分,根据相关计算方法,在同一个行政区内对矢量、农业、非农统计数据进行空间表达,各因素值计算公式为:

$$F_x = \sum_{i=1}^n W_i \times f_i \quad (6)$$

式中: F_x 为各影响因素值; W_i 为对应指标值; f_i 为对应权重; n 代表指标数量。

2.4 Spreman 秩相关法

相关性分析方法能简便反映出多变量之间的相互关系及线性相关的强弱程度。相关系数为正表示两种耕地功能之间存在协同关系,反之则存在权衡关系,不显著表示存在独立关系。具体计算公式为:

$$r_s = 1 - (6 \sum_{i=1}^n d_i^2) / (N^3 - N) \quad (7)$$

$$d_i = X_i - Y_i$$

式中: r_s 表示秩相关系数; x, y 为两个相关变量; d_i 为原始位置秩次 x, y 差值 (对两个变量 x, y 进行的排序,每个变量在排序之后的位置为其秩次); N 为变量数量。

3 结果与分析

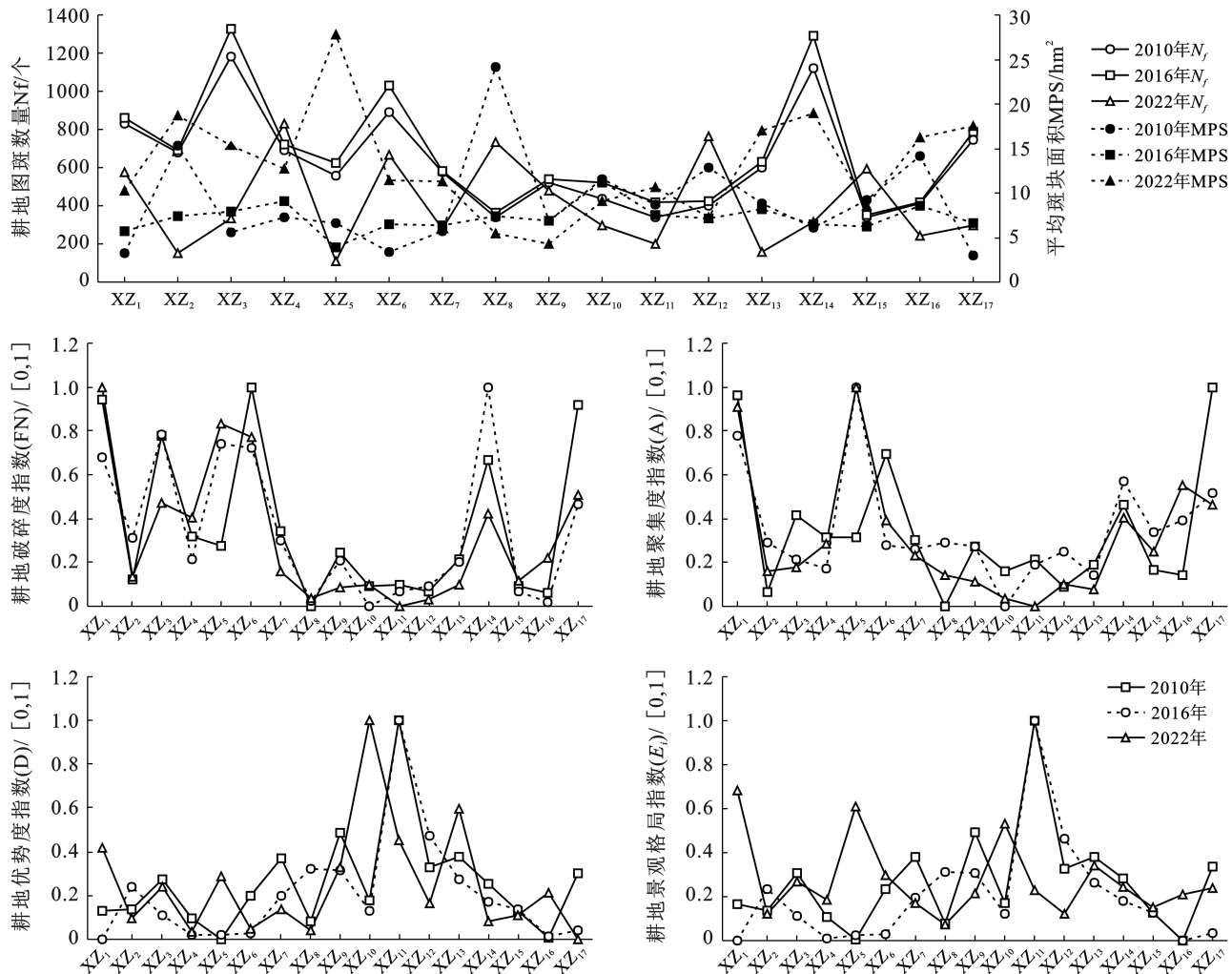
3.1 耕地保护空间格局分异性特征分析

景观格局尺度的指数分析能反映土地利用与景观格局的总体特征与趋势^[25-26]。通过计算耕地斑块的景观格局指数 (E_i),分析耕地斑块在空间尺度上的集聚、连片程度和优势度,可以判断研究区耕地空间布局的优劣,通过在不同时间段 (2010—2022 年) 耕地斑块的景观格局指数 (E_i) 对照分析,可以看出耕地保护成效变化。

从耕地斑块数量 (N_f) 和平均斑块面积 (MPS) 来看 (图 2), 自 2010—2022 年总体上耕地图斑数量减少 34.03%, 耕地平均斑块面积增加 39.18%。全区域索罗乡、香莲乡、西阳乡、白庙乡、上杨乡平均耕地斑块面积减小, 其余各乡镇均为增加。其中, 索罗乡耕地斑块数量增加最多, 平均斑块面积减少最多。柳湖镇、大寨乡、峡门乡耕地斑块平均面积增加明显。从耕地破碎度指数 (负相关)、集聚度指数 (正相关) 看, 两者趋势基本一致, 从 2010—2020 年耕地的破碎度降低 13.68%, 集聚度降低 8.19%, 但白水镇、柳湖镇、白庙乡、上杨乡、麻武乡集聚度增幅均超过 10%。从耕地优势度指数分析结果来看, 整体上耕地优势度减少 2.34%。2016 年较 2010 年减少 19.59%, 2022 年较 2016 年提升 17.24%。整体看, 崆峒镇、柳湖镇、西阳乡、寨河乡、麻武乡耕地优势度增加, 说明自 2010—2022 年崆峒区大部分乡镇土地利用类型增多, 不利于耕地的集中连片。从耕地景观格局指数分析 (图 1), 整体上耕地景观格局指数 2010—2022 年上升 3.55%, 说明耕地保护利用呈正向发展。耕地集中连片程度整体上呈现下降趋势, 区域土地利用程度整体上呈上升趋势, 但在整个过程中呈现波动。2016 年相较 2010 年耕地破碎化程度更高, 但 2022 年耕地破碎化程度相较 2016 年下降, 耕地优势度相较 2016 年提升。耕地景观格局指数总体上呈上升的乡镇有草峰镇、安国镇、柳湖镇、四十里铺镇、西阳乡、上杨乡、麻武乡, 其余乡镇均呈现下降趋势。

3.2 耕地空间格局影响因素特征分析

耕地空间布局影响因素众多, 包括地质要素、气候要素、工程要素^[27] 和政策要素等等。笔者认为地形坡度, 耕地保护措施、政策, 城镇化发展对区域耕地规则度^[28]、耕地连片度、耕地利用集约度有十分重要的影响, 尤其在严禁耕地“非农化”, 严控耕地“非粮化”的耕地保护大背景下, 建设占耕地和耕地开发补充都直接影响到耕地的空间布局结构。



注:图中横坐标字母为乡镇名称代码。下同。

图 1 研究区耕地空间格局分异性特征

Fig.1 Heterogeneity characteristics of cultivated land spatial pattern in research area

由表 3 分析来看,对 2010 年、2016 年、2022 年各乡镇不同坡度等级($0^{\circ}\sim 2^{\circ}$, $2^{\circ}\sim 6^{\circ}$, $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$, $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$, $>25^{\circ}$)耕地面积变化情况,经过综合得分($X_1 - F_r$),归一化处理($X_1 - [0, 1]$)、耕地坡度分级($X_1 - \text{Grade}$),分析各乡镇耕地坡度变化情况。整体来看三项分析结果与耕地坡度均为正相关,即分值、等级越高说明该乡镇耕地平整度越高。由于 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$, $>25^{\circ}$ 耕地权重较小。因此表 1 中的数据结果大小与 $0^{\circ}\sim 2^{\circ}$, $2^{\circ}\sim 6^{\circ}$, $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 耕地比例大小呈最直接的正相关。总体来看,自 2010—2022 年 $0^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 耕地减少 10.83%, $2^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 耕地增加 120.96%, $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 耕地增加 2.34%, $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 耕地减少 32.64%, $>25^{\circ}$ 耕地减少 100%,全域耕地平整度整体大幅提升。从乡镇看,峡门乡 XZ₁₇,麻武乡 XZ₁₆,草峰镇 XZ₃,香莲乡 XZ₉,上杨乡 XZ₁₅依次耕地平整度提升最快,单从耕地坡度变化看耕地质量提升明显。

由表 4 分析来看,耕地保护指数(X_2)数据值越大,表明对耕地布局正向促进作用越大,数值大小与新增耕地率(正相关)关系最大,其次是退耕率(正相关),最后是耕地整理提升率(正相关)。数据分析方法与表 3 一致。整体上看,2022 年较 2010 年全区耕地保护指数上升 315.30%,说明自 2010—2022 年耕地保护措施实施力度增大,效果明显。各乡镇除四十里铺镇呈下降趋势,这与 2014 年开始四十里铺镇定位为中心城区副中心,城镇开发速度加快有关;其他乡镇均呈现上升趋势,最为明显的乡镇有白水镇、草峰镇、柳湖镇、花所镇、麻武乡。

由表 5 可见,城镇化影响指数(X_3)数据值越大,表明城镇化对耕地景观格局负向影响越大,耕地集聚度和优势度越低。从整体上看 2010—2022 年城镇化影响指数上升 25.17%。除香莲乡、西阳乡城镇化影响指数几乎没有发生变化。这与这两个乡近 10 a 来

新增建设较少和基础设施建设涉及较少的发展现状基本一致。其他乡镇耕地布局均受到城镇化发展影响,其中崆峒镇、白水镇、四十里铺镇、花所镇、索罗

乡、寨河乡、峡门乡受到影响最为明显,主要与这些乡镇均处在平凉市中心城区扩展范围及沿泾河川城镇发展带上,城镇化开发力度较大有关。

表 3 研究区耕地坡度指数(X_1)变化趋势分析

Table 3 Analysis on change trend of cultivated land slope index (X_1) in research area

乡镇	2010 年			2016 年			2022 年		
	$X_1 - F_x$	$X_1 - [0,1]$	$X_1 - \text{Grade}$	$X_1 - F_x$	$X_1 - [0,1]$	$X_1 - \text{Grade}$	$X_1 - F_x$	$X_1 - [0,1]$	$X_1 - \text{Grade}$
XZ ₁	18.955 5	0.547 6	4	18.686 9	0.537 1	4	31.084 4	0.485 7	3
XZ ₂	23.093 2	0.848 4	5	23.050 3	0.897 5	6	37.812 3	0.595 2	4
XZ ₃	20.584 6	0.666 1	4	20.591 6	0.694 4	5	46.910 3	0.743 3	5
XZ ₄	19.271 3	0.570 6	4	19.241 9	0.582 9	4	16.023 7	0.240 4	2
XZ ₅	25.178 1	1.000 0	6	24.290 7	1.000 0	6	62.672 7	1.000 0	6
XZ ₆	23.925 7	0.909 0	6	23.564 9	0.940 0	6	15.608 5	0.233 7	2
XZ ₇	22.220 8	0.785 0	5	19.506 4	0.604 8	4	40.230 4	0.634 6	4
XZ ₈	23.100 9	0.849 0	5	23.027 4	0.895 6	6	12.406 7	0.181 5	2
XZ ₉	16.822 9	0.392 6	3	16.814 6	0.382 4	3	29.550 0	0.460 7	3
XZ ₁₀	18.209 4	0.493 4	3	18.164 9	0.494 0	3	19.227 9	0.292 6	2
XZ ₁₁	20.894 6	0.688 6	4	20.838 6	0.714 8	5	19.915 8	0.303 8	2
XZ ₁₂	22.944 8	0.837 6	5	23.032 5	0.896 1	6	24.365 9	0.376 3	3
XZ ₁₃	11.422 1	0.000 0	1	18.645 8	0.533 7	4	1.257 7	0.000 0	1
XZ ₁₄	24.773 9	0.970 6	6	15.248 8	0.253 1	2	31.782 0	0.497 0	3
XZ ₁₅	12.231 1	0.058 8	1	12.185 3	0.000 0	1	8.632 4	0.120 1	1
XZ ₁₆	14.483 0	0.222 5	2	14.486 3	0.190 1	2	33.810 5	0.530 0	4
XZ ₁₇	12.698 7	0.092 8	1	12.615 3	0.035 5	1	36.820 7	0.579 1	4

注:Grade 表示指数等级。下同。

表 4 研究区耕地保护指数(X_2)变化趋势分析

Table 4 Analysis on trends of cultivated land protection index (X_2) in research area

乡镇	2010 年			2016 年			2022 年		
	$X_2 - F_x$	$X_2 - [0,1]$	$X_2 - \text{Grade}$	$X_2 - F_x$	$X_2 - [0,1]$	$X_2 - \text{Grade}$	$X_2 - F_x$	$X_2 - [0,1]$	$X_2 - \text{Grade}$
XZ ₁	0.002 2	0.001 9	1	1.490 9	0.029 8	1	31.084 4	0.485 7	3
XZ ₂	0.000 0	0.000 0	1	17.177 8	0.343 6	3	37.812 3	0.595 2	4
XZ ₃	0.000 0	0.000 0	1	28.675 4	0.573 5	4	46.910 3	0.743 3	5
XZ ₄	0.006 7	0.005 7	1	12.119 0	0.242 4	2	16.023 7	0.240 4	2
XZ ₅	0.001 1	0.001 0	1	17.079 6	0.341 6	3	62.672 7	1.000 0	6
XZ ₆	1.176 4	1.000 0	6	21.037 2	0.420 7	3	15.608 5	0.233 7	2
XZ ₇	0.000 0	0.000 0	1	1.199 8	0.024 0	1	40.230 4	0.634 6	4
XZ ₈	0.000 0	0.000 0	1	6.312 7	0.126 3	1	12.406 7	0.181 5	2
XZ ₉	0.002 0	0.001 7	1	8.661 7	0.173 2	2	29.550 0	0.460 7	3
XZ ₁₀	0.000 0	0.000 0	1	18.206 9	0.364 1	3	19.227 9	0.292 6	2
XZ ₁₁	0.000 0	0.000 0	1	50.000 0	1.000 0	6	19.915 8	0.303 8	2
XZ ₁₂	0.369 4	0.314 0	2	45.865 4	0.917 3	6	24.365 9	0.376 3	3
XZ ₁₃	0.000 0	0.000 0	1	44.447 0	0.888 9	6	1.257 7	0.000 0	1
XZ ₁₄	0.384 9	0.327 2	2	48.204 4	0.964 1	6	31.782 0	0.497 0	3
XZ ₁₅	0.000 0	0.000 0	1	0.573 0	0.011 5	1	8.632 4	0.120 1	1
XZ ₁₆	0.000 0	0.000 0	1	0.000 0	0.000 0	1	33.810 5	0.530 0	4
XZ ₁₇	0.117 7	0.100 1	1	0.000 0	0.000 0	1	36.820 7	0.579 1	4

表 5 研究区城镇化影响指数 (X_3) 变化趋势分析Table 5 Analysis on change trend of urbanization impact index (X_3) in research area

乡镇	2010 年			2016 年			2022 年		
	$X_3 - F_x$	$X_3 - [0, 1]$	$X_3 - \text{Grade}$	$X_3 - F_x$	$X_3 - [0, 1]$	$X_3 - \text{Grade}$	$X_3 - F_x$	$X_3 - [0, 1]$	$X_3 - \text{Grade}$
XZ ₁	40.174 6	0.303 4	2	42.879 4	0.505 7	4	46.402 0	0.541 6	4
XZ ₂	50.495 7	0.465 2	3	52.051 7	0.616 1	4	60.165 1	0.705 2	5
XZ ₃	51.718 3	0.484 4	3	53.989 6	0.639 4	4	57.194 7	0.669 9	5
XZ ₄	51.568 3	0.482 1	3	53.238 0	0.630 4	4	56.392 9	0.660 4	4
XZ ₅	20.819 5	0.000 0	1	0.852 5	0.000 0	1	0.852 5	0.000 0	1
XZ ₆	45.445 2	0.386 1	3	45.526 8	0.537 6	4	49.117 1	0.573 9	4
XZ ₇	49.459 7	0.449 0	3	51.282 4	0.606 9	4	55.731 2	0.652 5	4
XZ ₈	65.381 7	0.698 6	5	69.337 2	0.824 1	5	77.802 1	0.914 9	6
XZ ₉	84.606 2	1.000 0	6	83.788 3	0.998 0	6	82.232 6	0.967 6	6
XZ ₁₀	80.691 2	0.938 6	6	79.557 2	0.947 1	6	78.304 4	0.920 9	6
XZ ₁₁	61.614 7	0.639 6	4	62.670 3	0.743 9	5	66.557 2	0.781 2	5
XZ ₁₂	59.570 0	0.607 5	4	61.892 3	0.734 5	5	66.138 6	0.776 2	5
XZ ₁₃	61.642 1	0.640 0	4	64.224 5	0.762 6	5	72.784 4	0.855 3	6
XZ ₁₄	67.590 8	0.733 2	5	67.718 4	0.804 7	5	73.348 6	0.862 0	6
XZ ₁₅	57.782 9	0.579 5	4	61.446 7	0.729 2	5	52.620 8	0.615 5	4
XZ ₁₆	78.928 9	0.911 0	6	83.951 0	1.000 0	6	84.957 7	1.000 0	6
XZ ₁₇	43.200 6	0.350 9	3	47.448 2	0.560 7	4	51.794 0	0.605 7	4

3.3 耕地保护格局多因素时空协同/权衡性分析

以 2010—2022 年时间序列,分析耕地景观格局指数 (E_i) 与耕地坡度 (X_1)、耕地保护措施 (X_2)、城镇化影响 (X_3) 相关性 (r_s)。将相关系数 r_s 绝对值,查找秩相关系数临界值,当 $n=6$ 时(本文分析了其中 6 a 数

据), $-0.829 < r_s < 0.829$ ^[29],为 2010—2022 年趋势变化不显著;当 $r_s \geq 0.829$ 时,呈显著上升趋势;当 $r_s \leq -0.829$ 时,呈显著下降趋势。当 r_s 为负值时, E_i, X_i 体现权衡关系 (X_i 与 E_i 出现负相关);当 r_s 为正值时, E_i, X_i 体现协同关系 (X_i 与 E_i 出现正相关)(见表 6,图 2)。

表 6 耕地保护格局多因素时空协同/权衡性分析

Table 6 Spatial and temporal cooperation/tradeoff analysis of multi-factor cultivated land protection pattern

乡镇	X_1 级差平方和	X_2 级差平方和	X_3 级差平方和	$r_s(E_i, X_1)$	$r_s(E_i, X_2)$	$r_s(E_i, X_3)$
XZ ₁	22	9	14	0.371 4*+	0.742 9*+	0.600 0*+
XZ ₂	48	5	17	-0.371 4*-	0.857 1***	0.514 3*+
XZ ₃	21	11	11	0.400 0*+	0.685 7*+	0.685 7*+
XZ ₄	18	2	14	0.485 7*+	0.942 9***	0.600 0*+
XZ ₅	50	4	25	-0.428 6*-	0.885 7***	0.285 7*+
XZ ₆	42	29	11	-0.200 0*-	0.171 4*+	0.685 7*
XZ ₇	17	6	5	0.514 3*+	0.828 6*+	0.857 1***
XZ ₈	57	2	50	-0.628 6*-	0.942 9***	-0.428 6*-
XZ ₉	2	5	29	0.942 9***	0.857 1***	0.171 4*+
XZ ₁₀	21	21	41	0.400 0*+	0.400 0*+	-0.171 4*-
XZ ₁₁	6	29	6	0.828 6*+	0.171 4*+	0.828 6*+
XZ ₁₂	34	10	17	0.028 6*+	0.714 3*+	0.514 3*+
XZ ₁₃	12	36	11	0.657 1*+	-0.028 6*-	0.685 7*+
XZ ₁₄	17	17	22	0.514 3*+	0.514 3*+	0.371 4*+
XZ ₁₅	0	1	29	1.000 0***	0.971 4***	0.171 4*+
XZ ₁₆	11	0	54	0.685 7*+	1.000 0***	-0.542 9*-
XZ ₁₇	13	4	9	0.628 6*+	0.885 7***	0.742 9*+

注: * 表示不显著, ** 表示显著; - 表示权衡关系, + 表示协同关系。

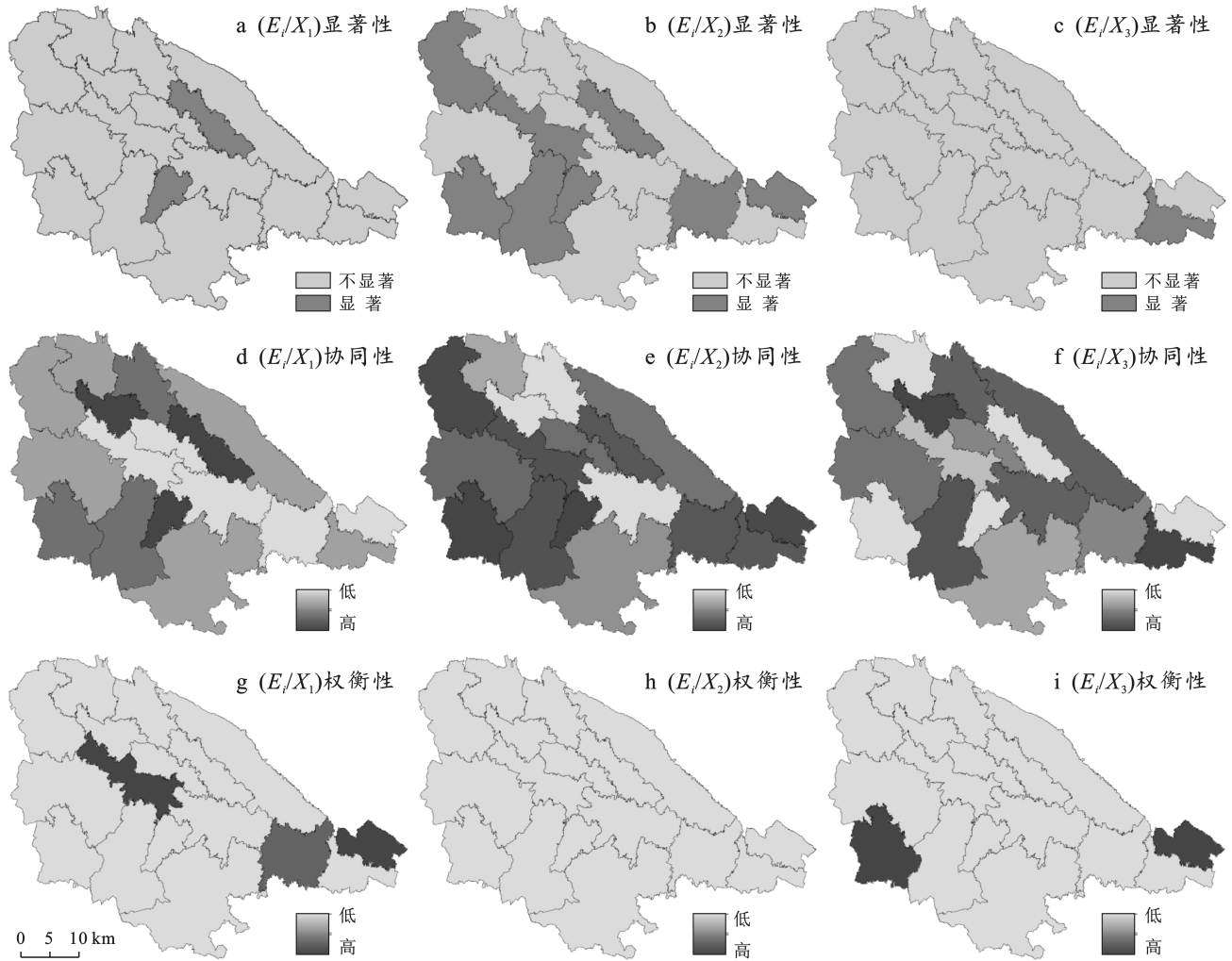


图2 耕地保护格局多因素空间协同/权衡性分析

Fig.2 Multi-factor spatial coordination/tradeoff analysis of cultivated land protection pattern

由表6和图2可知:①从 E_i-X_i 显著性来看,2010—2022年,耕地坡度变化与耕地景观格局相关性变化趋势整体不显著,但香莲乡、上杨乡两个乡耕地坡度变化对耕地景观格局的影响明显,其原因是2018和2020年上杨乡,香莲乡坡改梯项目投放较多, $>25^\circ$ 耕地退耕较多;耕地保护措施变化与耕地景观格局相关性(E_i, X_2)变化趋势整体显著,其中白水镇、安国镇、柳湖镇、索罗乡、香莲乡、麻武乡、峡门乡显著,这与崆峒区2016—2022年在以上乡镇大规模实施土地开发整理项目以及退耕还林还草项目有关,其他乡镇不显著;城镇化与耕地景观格局相关性(E_i, X_3)变化趋势整体上不显著,但花所镇显著,与其2018年后开始城镇建设规模、速度加快,建设占耕加大,农业人口变化等有关。②从 E_i-X_i 空间协同性来看,耕地坡度变化与耕地景观格局变化整体呈现促进协同关系,主要由于2010—2022年, $15^\circ\sim 25^\circ$, $>25^\circ$ 耕地比例逐年下降, $2^\circ\sim 6^\circ$, $6^\circ\sim 15^\circ$ 耕地比例上升,其中(E_i, X_1)协同性最高的乡镇香莲乡、大秦乡、上

杨乡,其次为寨河乡、麻武乡、峡门乡;耕地保护措施与耕地景观格局变化(E_i, X_2)协同程度较高,这说明2010—2022年,东部大面积土地开发整理项目、土地综合整治项目等实施对新增耕地,提升耕地集中连片程度效果明显。自2014年开始实施退耕还林还草, $>25^\circ$ 坡耕地逐步退耕,减少了耕地破碎度,减少了地类空间交叉切割,提升了耕地优势度,其中协同程度最高的安国镇、麻武乡主要是靠近南部浅山区及太统一崆峒山自然保护区,是主要的退耕还林还草区域,索罗乡、上杨乡、峡门乡是土地整理项目主要投放区,大量坡改梯项目实施区,柳湖镇、香莲乡是土地开发项目重点实施区新增耕地量较大;城镇化与耕地景观格局变化(E_i, X_3)在城镇化发展水平较高乡镇协同程度较高,花所镇、大秦乡、峡门乡,主要是大秦乡是中心城区西扩的主要区域,花所镇是崆峒区与泾川县连接处重要乡镇物流商贸发达,峡门乡是绿色建材产业集中区,由于建设规模大、速度快,导致建设占耕面积大,由于“占补平衡”的耕地保护政策,以及相对

充裕的资金支撑,直接促进了该区域土地开发整理项目的大量实施,促进了耕地布局的优化。

从 $E_i - X_i$ 空间权衡性来看,白水镇、柳湖镇、索罗乡耕地坡度指数增大,耕地景观格局指数减少,即耕地平整度增加但耕地集中连片程度减小。耕地坡度与耕地景观格局(E_i, X_1)在空间上呈现权衡关系,主要原因是白水镇为泾河川沿川城镇带重要节点城镇,中部平坦川区城镇化发展、基础设施建设导致耕地占用、割裂破碎度增加,同时北部属于残塬沟壑区,南部属于浅山丘陵区,坡耕连片程度高面积大。随着退耕力度加大,一定程度上降低了耕地的集中连片程度。柳湖镇属于中心城区所在地,耕地整治力度大,但同时城镇化速度加快,建设开发导致耕地破碎程度加大。索罗乡全域位于残塬沟壑区,坡改梯实施使耕地坡度指数增加,但同时大面积的退耕降低了耕地集中程度。耕地保护与耕地景观格局(E_i, X_2)在空间上无明显权衡关系。城镇化与耕地景观格局(E_i, X_3)在空间上,整体看权衡关系不明显,城镇化发展

更多促进了耕地的集中布局,但索罗乡、麻武乡正好相反,权衡关系明显,这两个乡镇城镇化影响指数降低、景观格局指数升高,主要由于麻武乡处于太统—崆峒山自然保护区,索罗乡全部位于残塬沟壑区,自2016—2022年两个乡镇退耕、土地整理力度大,使得耕地景观指数逐步提高,由于农业人口减少,城镇建设速度慢,规模相对较小使得整体上城镇化影响指数减小,因此权衡关系明显。

4 耕地整治规划对策建议

聚类分析是定量研究地理事物分类问题和地理分区问题的重要方法^[30],可将具有相似特征的数据点划分为一个簇集,从而实现了对数据的分类(表7)。为更精确规划耕地整治分区,本文运用聚类分析法,利用研究区2010—2022年耕地景观格局及其不同影响因素的空间变化,及其不同因素与耕地景观格局在时空上的权衡/协同^[31]关系研究,在空间上识别并规划划定不同的土地整治分区。

表 7 不同因素的空间特征分析
Table 7 Analysis on significant characteristics of different factors

因素	特征分析	主要区域
耕地景观格局指数(E_i)	景观格局指数呈现上升趋势;耕地越来越集聚;区域景观比较,耕地景观优势度变大	草峰镇、安国镇、柳湖镇、四十里铺镇、西阳乡、上杨乡、麻武乡
耕地坡度指数($X_1 - F_x$)	耕地坡度指数增长明显;2°~6°,6°~15°耕地增幅明显,15°~25°, >25°耕地减幅度明显;耕地平整度提升快	峡门乡、麻武乡、草峰镇、香莲乡、上杨乡
耕地保护指数($X_2 - F_x$)	耕地保护指数增长明显;耕地整理率、新增耕地率、退耕率最为明显 耕地保护指数减少,耕地整理、开发效率降低	白水镇、草峰镇、柳湖镇、花所镇、麻武乡 四十里铺镇
城镇化影响指数($X_3 - F_x$)	城镇化影响指数增加最为明显;建设占耕面积呈上升趋势;农业人口呈减少趋势 城镇化影响最不明显,建设速度慢、规模小,耕地布局、农业人口相对稳定	崆峒镇、白水镇、四十里铺镇、花所镇、索罗乡、寨河乡、峡门乡 香莲乡、西阳乡
空间相关性(E_i, X_1)	耕地坡度指数、耕地保护指数、城镇化影响指数与耕地景观格局指数呈现协同关系且均为明显协同 耕地坡度指数、城镇化影响指数与耕地景观格局指数呈现权衡关系	安国镇、柳湖镇、花所镇、索罗乡、香莲乡、大秦乡、寨河乡、上杨乡、峡门乡 白水镇、柳湖镇、索罗乡、麻武乡、峡门乡

根据各项因素分析结果,对不同空间单元按照最为显著的空间特征进行叠加分析(表7),综合各项指数及空间相关性最为显著的乡镇,分析其优势及短板基础上在空间上分类分区,提出不同的整治对策建议。按照分析结果,可分为4个类型:①耕地质量提升重点区,主要是空间协同性较高,耕地景观优势度明显区域及耕地保护指数增长明显、坡度指数提升较快的区域;②耕地质量提升一般区,主要是除重点区以外的其他区域;③耕地新增开发潜力区,主要是城镇化影响较小,农业人口相对稳定区域;④耕地协调保护区,主要是耕地坡度指数、城镇化影响指数与耕

地景观格局指数呈现权衡关系区域(图3)。

(1) 耕地质量提升重点区。主要是草峰镇、上杨乡、麻武乡,是集中了空间协同性高、耕地景观优势度、耕地保护指数增长明显,城镇化影响较小的区域。这说明耕地聚集程度、集中开发潜力大,耕地保护政策及项目投放相对较多,同时城镇化发展有效促进了耕地的集中布局,间接地提升了耕地质量,也说明该区域空间规划(土地利用总体规划、城市规划)制定的更加科学合理。因此,该区域应该作为耕地质量提升重点区,建议对15°以下耕地分批次实施高标准农田建设,加大对15°~25°耕地改造力度,在崆峒区级国

土空间规划中将其主体功能定位为农产品主产区,最大限度地争取农业产业及耕地整治政策及项目、资金投入;衔接省市项目布局在该区域谋划一批耕地整治修复类项目,积极争取农业配水指标。

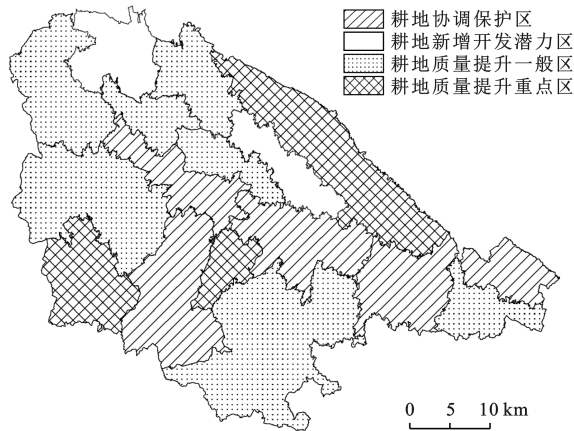


图3 研究区耕地整治规划分区图

Fig.3 Zoning map of cultivated land consolidation planning in research area

(2) 耕地质量提升一般区。主要是崆峒镇、安国镇、花所镇、大秦乡、白庙乡、寨河乡、大秦乡等乡镇,均属于多因素空间协同性区域,建议持续保护耕地整治成果,按照规划要求开展耕地综合整治。

(3) 耕地新增开发潜力区。主要是香莲乡和西阳乡,由于该区域城镇化影响指数相对最小,农业人口相对最稳定,同时香莲乡耕地坡度指数增加,西阳乡耕地景观优势度趋势变大,但耕地保护指数变化不明显。这说明该区域具备开发耕地的基础条件,可作为崆峒区内耕地补充,尤其是跨乡镇耕地“占补平衡”协调补充的重要区域,建议区级国土空间规划对土地开发类项目布局适当向这两个乡镇倾斜,同时对该区域除耕地之外的农用地从土地质量等级、抗逆性、开发耕地潜力等方面进行评价,划分评价等级区域为实现耕地“进出平衡”做好储备。

(4) 耕地协调保护区。主要是白水镇、柳湖镇、四十里铺镇、索罗乡、峡门乡,其中柳湖镇是耕地坡度与耕地景观格局在空间上存在权衡关系,说明耕地整治力度大但耕地集聚程度却下降。针对该区域建议从规划层面上,科学划定城镇建设规划范围,严格控制建设范围(科学设定工业园区范围,工业项目坚决出城入园),规划线性工程项目廊道,严格划定永久基本农田保护区,保证城镇发展与耕地保护相协调。针对白水镇、索罗乡是城镇化影响与耕地景观格局(E_i , X_3)在空间上存在权衡关系,主要是城镇化导致的农业人口减少,同时退耕率增大产生的耕地撂荒(2 a 以上无人耕种)现象突出,针对该区域,建议在工程层面

上加大耕地撂荒监测,进一步集中提升耕地质量增加耕地产值;政策层面,一方面市区政府积极引导农业产业和种植结构调整,提升农业产业比重,指导粮油菜轮作最大限度增加农民收益,另一方面加大包括种子、化肥农药、薄膜等种植资金补贴力度,争取农产品主产区政策叠加效应,降低农业种植成本提升农民种植积极性。

5 讨论与结论

5.1 讨论

根据数据分析结果来看自2010—2022年由于城镇化脚步加快,尤其是2016年以后,崆峒区城镇建设,公路、铁路、管线等基础设施建设速度明显提升,生产建设占用耕地,基础设施建设分割耕地布局,同时耕地整治增加了农业生产道路,对原来大斑块耕地产生分割,一定程度上导致部分区域耕地集聚程度下降。城镇建设同时也促进了耕地的连片整治、连片开发项目的实施,加之2014年以后响应国家政策大规模实施退耕还林还草,一定程度上减少了与林地、草地等其他地类嵌套的耕地图斑数量,提升了耕地集聚度和优势度。分析结果表明,崆峒区在耕地保护方面整体效果显著,但同时在分区域、分乡镇分类施策方面还是明显不足,欠缺针对性的措施进一步提升耕地保护质量。需要进一步指出的是,影响耕地布局的因素很多,但笔者认为地形地貌、耕地保护政策以及城镇化建设影像是核心因素,但不排除其他因素(如气候因素、水资源约束、地质灾害等等)。因此,耕地布局影响研究还要进一步结合其他因素进行。同时本文未进一步对相关影响因素的空间自相关进行分析,耕地在地理空间上肯定有规律性^[32],在空间上聚集和离散可采用空间自相关来分析^[17],还有以乡镇行政区为单元研究有利于针对施策,但对耕地的空间集聚度研究分析不如精细非均质网格准确^[33]。

5.2 结论

(1) 从耕地的空间布局特征来看,崆峒区耕地集聚程度大部分区域呈现下降趋势,但在整个过程中呈现波动,2010—2016年呈下降趋势,2016—2022年呈上升趋势;区域土地利用程度整体上呈上升趋势,各乡镇耕地布局特征及土地利用程度差异明显。

(2) 从影响因素来看,耕地坡度指数($X_1 - F_x$)、耕地保护指数($X_2 - F_x$)呈上升趋势,耕地保护成效明显,耕地质量提升明显,与耕地景观格局在空间上高度协同;城镇化影响指数($X_3 - F_x$)呈上升趋势,城镇化对耕地布局影响加大,与耕地景观格局在空间上存在权衡关系。

(3) 根据分析结果,划分 4 个耕地整治规划单元,耕地质量提升重点区、耕地质量提升一般区、耕地新增开发潜力区、耕地协调保护区,并针对性提出整治规划对策建议,为进一步优化崆峒区耕地布局,提升耕地质量,科学利用、保护耕地提供参考。

[参 考 文 献]

- [1] Long Hualou, Zhou Jian. Grain production driven by variations in farmland use in China: an analysis of security patterns [J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2010, 1(1): 60-67.
- [2] 赵晓丽,张增祥,汪潇,等.中国近 30 年耕地变化时空特征及其主要原因分析[J].*农业工程学报*, 2014, 30(3): 1-11.
- [3] 郭贵成,仲济香,陈会广.经济新常态下产业转型引致土地利用管理的新矛盾及其应对:基于“经济新常态下产业转型与土地利用管理改革”研讨会的思考[J].*中国土地科学*, 2016, 30(1): 75-81.
- [4] 肖丽群,邓群钊,林永钦,等.新型城镇化背景下耕地保护与建设用地集约利用协同发展研究[J].*中国农业资源与区划*, 2021, 40(5): 109-117.
- [5] 高璇,毕如田,刘慧芳,等.耕地优劣度分值的计算与承包经营权互换:耕地集中连片经营的思考[J].*中国农业资源与区划*, 2019, 40(5): 109-117.
- [6] 李云路,崔文刚,陆清平,等.山区耕地破碎化时空演化分析:以贵州省为例[J].*水土保持研究*, 2022, 29(5): 302-309.
- [7] 程名望,阮青松.资本投入、耕地保护、技术进步与农村剩余劳动力转移[J].*中国人口·资源与环境*, 2010, 20(8): 27-32.
- [8] 钟水映,李强谊,徐飞.中国农业现代化发展水平的空间非均衡及动态演进[J].*中国人口·资源与环境*, 2016, 26(7): 145-152.
- [9] 李升发,李秀彬.耕地撂荒研究进展与展望[J].*地理学报*, 2016, 71(3): 370-389.
- [10] 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.
- [11] 杨桂山.长江三角洲近 50 年耕地数量变化的过程与驱动机制研究[J].*自然资源学报*, 2001, 16(2): 121-127.
- [12] 王文旭,曹银贵,苏锐清,等.我国耕地变化驱动力研究进展:驱动因子与驱动机理[J].*中国农业资源与区划*, 2020, 41(7): 21-30.
- [13] 梁小青.耕地细碎化—家庭联产承包责任制的“阿喀琉斯之踵”[J].*荆楚理工学院学报*, 2012, 27(5): 22-26.
- [14] 李茜,毕如田.替代生计对农民可持续生计影响的研究:以山西西北四县为例[J].*农业与技术*, 2008, 28(1): 141-145.
- [15] 孙欣,毕如田,刘慧芳,等.贫困山区耕地细碎化对农户生计策略的影响:以左权县清漳河流域 87 个村为例[J].*中国土地科学*, 2018, 32(2): 40-47.
- [16] 王昕,毕如田,赵杰.基于 GWR 的耕地经营细碎化影响因素研究:以山西省太谷县东贾村为例[J].*山西农业大学学报*, 2016, 36(2): 133-138.
- [17] 田惠文,张欣欣,毕如田,等.非均匀网格环境下基于耕地质量与集中连片度的基本农田划定[J].*农业工程学报*, 2020, 36(3): 254-262.
- [18] 台晓丽,肖武,张建勇,等.基于景观指数的巢湖流域各县区耕地细碎化研究[J].*水土保持研究*, 2016, 26(4): 94-98.
- [19] 李云路,崔文刚,陆清平,等.山区耕地破碎化时空演化分析:以贵州省为例[J].*水土保持研究*, 2022, 29(5): 301-309.
- [20] Hulshoff R M. Landscape indices describing a Dutch landscape [J]. *Landscape Ecology*, 1995, 10(2): 101-111.
- [21] 钱凤魁,王秋兵,李娜.基于耕地质量与立地条件综合评价的高标准基本农田划定[J].*农业工程学报*, 2015, 31(18): 225-232.
- [22] 赵小娟,叶云,周晋皓,等.珠三角丘陵区耕地质量综合评价及指标权重敏感性分析[J].*农业工程学报*, 2017, 33(8): 226-235.
- [23] 孔祥斌,刘灵伟,秦静,等.基于农户行为的耕地质量评价指标体系构建的理论与方法[J].*地理科学进展*, 2007, 26(4): 75-85.
- [24] 金晓斌,张鸿辉,周寅康.农用地定级综合评价中权重系数确定方法探讨[J].*南京大学学报*, 2008, 44(4): 116-125.
- [25] 刘吉平,赵丹丹,田学智,等.1954—2010 年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力[J].*生态学报*, 2014, 34(12): 3234-3244.
- [26] 黄厅厅,卢德彬,杨建.基于 GIS 的省级耕地质量综合评价及时空演变分析:以贵州省为例[J].*水土保持研究*, 2017, 24(3): 253.
- [27] 朱道林.正确把握耕地质量内涵[J].*中国国土资源报*, 2011, 12(7): 1-2.
- [28] 侯现慧,王占岐,杨俊.富硒区耕地质量评价及利用分区研究:以福建省三元区为例[J].*资源科学*, 2015, 37(7): 1367-1375.
- [30] 赵荣钦,黄贤金,钟太洋,等.聚类分析在江苏沿海地区土地利用分区中的应用[J].*农业工程学报*, 2010, 26(6): 310-314.
- [31] 张燕,徐建华,曾刚,等.中国区域发展潜力与资源环境承载力的空间关系分析[J].*资源科学*, 2009, 31(8): 1328-1334.
- [32] 熊昌盛,谭荣,岳文泽.基于局部空间自相关的高标准基本农田建设分区[J].*农业工程学报*, 2015, 31(22): 276-284.
- [33] 王鹏,毕如田,徐振,等.多尺度格网的耕地信息无损提取与表达:以山西省芮城县为例[J].*生态环境学报*, 2018, 27(4): 706-713.