

多因素耦合驱动下黄土高原丘陵沟壑区耕地 时空演变及机制分析

——以延安市宝塔区为例

朱泽旭

重庆大学公共管理学院, 重庆

收稿日期: 2026年3月19日; 录用日期: 2026年4月20日; 发布日期: 2026年4月28日

摘要

黄土高原丘陵沟壑区是我国生态脆弱、人地矛盾突出的典型区域,厘清其耕地利用变化规律与驱动机制,对区域生态治理、粮食生产保障与农业可持续发展具有重要意义,也契合国家耕地保护与粮食生产保障的核心要求。本研究基于土地利用转型理论框架,以黄土高原“退耕还林(草)”与“治沟造地”两大工程典型示范区——延安市宝塔区为研究区,融合2000、2010、2020年三期Landsat遥感影像与2002~2020年社会经济统计数据,借助ArcGIS空间分析工具,系统解析多因素驱动下的耕地时空演变特征与内在机制。结果表明:1) 2002~2020年宝塔区耕地总量呈持续减少态势,累计净减少30,594公顷,其中新增耕地2119公顷,主要来源为荒地开垦;耕地流失32,749公顷,主导因素为生态退耕。2) 耕地变化呈现显著的两阶段特征:2002~2012年为快速缩减期,受退耕还林(草)政策与城镇化进程驱动,耕地面积大幅下降;2012~2020年为缓减稳控期,受治沟造地工程与粮食安全管控政策影响,耕地缩减趋势显著放缓。3) 以治沟造地典型示范区甘谷驿镇为例,耕地呈现由高海拔向中低海拔、陡坡向缓坡转移的空间重构特征,集中分布于900~1100米海拔区间、10°~30°坡度区间,河谷川道优质耕地受城镇建设占用影响显著。基于研究结果,从财政投入、政策引导、农业模式创新、监管机制完善四个方面提出耕地保护对策,可为黄土高原丘陵沟壑区耕地资源可持续利用提供参考。

关键词

耕地时空演变, 耕地利用转型, 治沟造地, 多因素驱动, 黄土高原, 宝塔区

Spatio-Temporal Evolution and Mechanism Analysis of Cultivated Land in Hilly and Gully Regions of the Loess Plateau under Multi-Factor Coupling Drive

—A Case Study of Baota District, Yan'an City

Zexu Zhu

School of Public Policy and Administration, Chongqing University, Chongqing

Received: March 19, 2026; accepted: April 20, 2026; published: April 28, 2026

Abstract

The hilly and gully region of the Loess Plateau is a typical area with fragile ecology and prominent human-land contradiction in China. Clarifying the change law and driving mechanism of its cultivated land use is of great significance for regional ecological governance, food security and sustainable agricultural development, and also meets the key requirements of the national cultivated land protection and food security strategy. Based on the theoretical framework of land use transition, this study takes Baota District of Yan'an City, a typical demonstration area of the "Grain for Green" project and the "Gully Land Consolidation" project on the Loess Plateau, as the research area. It integrates three phases of Landsat remote sensing images in 2000, 2010 and 2020, as well as socio-economic statistical data from 2002 to 2020, and systematically analyzes the spatio-temporal evolution characteristics and internal mechanism of cultivated land driven by the coupling of multiple factors with the help of ArcGIS spatial analysis tools. The results show that: 1) From 2002 to 2020, the total amount of cultivated land in Baota District showed a continuous decreasing trend, with a cumulative net decrease of 30,594 hectares. Among them, the newly increased cultivated land was 2119 hectares, the main source was wasteland reclamation; the lost cultivated land was 32,749 hectares, and the leading factor was ecological conversion. 2) The change of cultivated land presents significant two-stage characteristics: 2002~2012 is a rapid reduction period, driven by the Grain for Green policy and urbanization process, the area of cultivated land decreased significantly; 2012~2020 is a stable control period, affected by the Gully Land Consolidation project and food security control policy, the shrinking trend of cultivated land slowed down significantly. 3) Taking Ganguyi Town, a typical demonstration area of Gully Land Consolidation, as an example, the cultivated land presents a spatial reconstruction characteristic of shifting from high altitude to medium and low altitude, from steep slope to gentle slope, concentrated in the altitude range of 900~1100 m and the slope range of 10°~30°. The high-quality cultivated land in river valley is significantly affected by urban construction occupation. Based on the research results, countermeasures for cultivated land protection are put forward from four aspects: financial investment, policy guidance, agricultural model innovation and supervision mechanism improvement, which can provide reference for the sustainable utilization of cultivated land resources in the hilly and gully regions of the Loess Plateau.

Keywords**Spatio-Temporal Evolution of Cultivated Land, Cultivated Land Use Transition, Gully Land Consolidation, Multi-Factor Drive, Loess Plateau, Baota District**

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>**Open Access****1. 引言**

黄土高原是我国典型的生态脆弱区与农牧业交错带，也是国家生态恢复工程与粮食安全保障的重点区域，生态保护与耕地保护的矛盾突出，人地关系紧张，如何实现二者协同发展是区域可持续发展的关

键科学问题[1]。

土地利用转型理论指出,区域土地利用形态会随经济社会发展、政策调控、自然环境约束等多因素驱动,发生趋势性、系统性的形态转变,包括数量形态、空间形态与功能形态的转型,其重点在于揭示土地利用变化的内在规律与驱动机制,为区域土地资源可持续利用提供理论支撑。耕地作为土地利用的重要类型,其转型过程直接反映了区域人地关系的互动模式,是土地利用转型研究的重要议题[2][3]。

进入 21 世纪,黄土高原耕地利用受两大反向强政策干预深刻影响:一是以“退耕还林(草)”工程为核心的生态保护政策,推动大规模坡耕地转为林草地,区域生态环境显著改善,但也造成耕地数量快速缩减[4];二是为缓解耕地流失压力、保障粮食生产能力,以“治沟造地”为代表的土地整治工程,通过沟道工程治理新增高标准农田,补充耕地缺口[5]。两大政策的接续实施,驱动黄土高原耕地格局发生了从坡地向沟道、高海拔向低海拔的系统性空间重构[6]。

延安市宝塔区是上述两大政策的典型示范区,其耕地演变过程与驱动机制具有典型代表性。现有研究多聚焦于退耕还林工程的生态效应评估[7],或对治沟造地工程的技术路径、社会经济影响开展定性分析[8],仍存在明显不足:一是缺乏两大政策叠加影响下,耕地“退”与“补”的动态过程、阶段性特征与空间分异的量化研究[1];二是鲜有研究将长时序遥感空间分析与统计数据结合,系统揭示耕地演变的多维度驱动机制[9]。

为此,本研究以宝塔区为研究区,基于土地利用转型理论,融合多期遥感影像与社会经济统计数据,重点回答 3 个科学问题:① 退耕还林与治沟造地政策接续影响下,宝塔区耕地数量变化呈现怎样的阶段性特征?② 不同阶段耕地增减的主导驱动因素有何差异?③ 耕地空间格局是否呈现向低海拔、缓坡区域集中的重构趋势,其具体表现如何?本研究旨在深化多因素耦合驱动下耕地演变机制的认知,为黄土高原丘陵沟壑区耕地保护与可持续利用提供数据支撑与理论参考。

2. 研究区概况

宝塔区隶属于陕西省延安市,地处黄河中游黄土高原丘陵沟壑区,是延安市政治、经济、文化中心。区域受长期流水侵蚀与切割作用,黄土层土质松软,沟壑纵横、地形破碎,塬、梁、峁地貌广泛发育,是黄土高原丘陵沟壑区的典型代表。区域平均海拔约 1200 m,地势西北高、东南低,沟道呈树枝状空间分布。

该区域是我国退耕还林(草)工程的首批试点区,也是黄土高原治沟造地工程的典型示范区,两大政策接续实施对区域土地利用格局产生了深刻影响,是开展多因素耦合驱动下耕地时空演变研究的理想样本区[3]。

3. 数据来源与研究方法

3.1. 数据来源

本研究采用的数据主要包括两类:① 遥感影像数据,选取 2000 年、2010 年、2020 年三期 Landsat TM/OLI 影像(空间分辨率 30 m, Path: 126~128, Row: 34~35, 云量 < 1%),数据来源于地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>);DEM 数字高程数据来源于该平台 30 米 GDEM 产品,用于耕地地形分异特征分析[10]。② 社会经济统计数据,包括耕地保有量、增减量及归因数据,来源于 2002~2020 年《延安市统计年鉴》及宝塔区相关统计公报。

3.2. 数据预处理与研究方法

采用 ENVI 5.3 软件对遥感影像进行预处理,主要步骤包括:① 波段组合,针对 Landsat 7 ETM 影像

采用 4、3、2 波段组合, Landsat 8 OLI 影像采用 6、5、4 波段组合, 突出植被与建设用地信息; ② 几何精校正, 采用最邻近像元法进行重采样, 校正后影像均方根误差控制在 0.5 个像元内; ③ 影像镶嵌与裁剪, 基于宝塔区行政边界矢量数据, 完成研究区影像的镶嵌与裁剪; ④ 影像增强处理, 优化影像解译精度, 完成土地利用类型遥感解译与分类[6]。

基于预处理后的遥感影像, 结合 ArcGIS 10.8 空间分析工具, 开展耕地时空变化特征、地形分异特征分析; 基于统计数据, 采用数理统计方法, 解析耕地数量变化的阶段性特征与增减驱动因素, 系统揭示多因素耦合驱动下的耕地演变机制[11]。相关多因素耦合分析的模型设计与优化思路, 也参考了多目标优化研究的经典范式[12]。

4. 结果与分析

4.1. 耕地时序变化的阶段性特征

2002~2020 年宝塔区耕地面积呈持续减少、增速放缓的总体特征, 可划分为两个阶段(见表 1、图 1)。

Table 1. Changes of cultivated land retention in Baota District from 2002 to 2020 (Unit: Hectare)

表 1. 宝塔区 2002~2020 年耕地保有量变化情况(单位: 公顷)

宝塔区	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
耕地保有量	86,768	78,925	68,330	66,294	61,062	59,868	59,074	58,565	58,374	58,226
耕地净减少量	8211	10,670	2288	5473	1392	923	579	294	197	204
减少量										
生态退耕	7994	10,667	2000	4987	933	—	—	—	—	133
农业结构退耕	—	—	—	385	250	651	368	140	80	13
建设占用	144	3	288	97	193	248	179	133	99	35
其它	73	—	—	4	16	24	32	21	8	23
耕地增加总量	368	75	252	241	198	129	70	104	48	45
增加量										
土地开荒	—	75	—	—	—	—	—	—	—	—
土地复垦	352	—	210	100	151	109	42	24	46	43
还耕地面积	13	—	42	25	20	—	5	80	—	—
其它	3	—	—	116	27	20	23	—	2	2
宝塔区	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
耕地保有量	58,066	58,358	58,102	58,068	57,961	56,717	56,532	56,249	56,174	
耕地净减少量	66	293	167	111	1292	196	282	75	36	
减少量										
生态退耕	—	230	38	38	289	—	—	—	—	
农业结构退耕	—	—	11	37	58	128	212	13	6	
建设占用	—	—	118	36	335	57	—	62	30	
其它	—	—	—	—	610	11	70	—	—	
耕地增加总量	357	37	133	3	49	10	—	—	—	
增加量										
土地开荒	—	10	123	1	2	2	—	—	—	
土地复垦	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
还耕地面积	—	27	7	—	—	—	—	—	—	
其它	—	—	—	—	47	8	—	—	—	

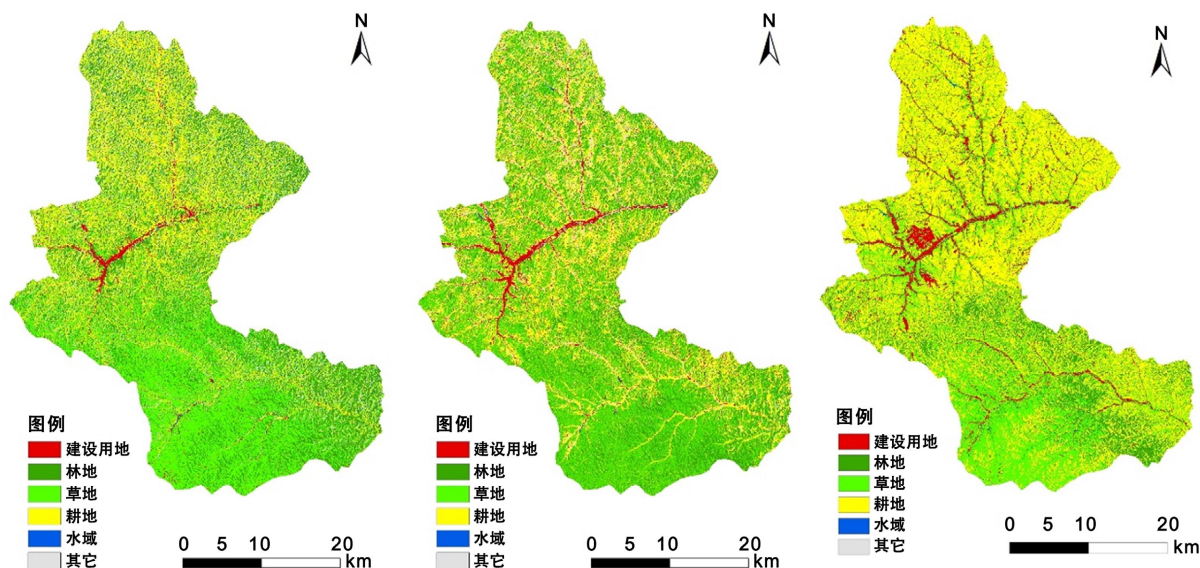


Figure 1. Distribution of land use types in Baota District in 2000 (left), 2010 (middle) and 2020 (right)

图 1. 2000 年(左)、2010 年(中)、2020 年(右)宝塔区土地利用类型分布图

第一阶段为快速缩减期(2002~2007 年),耕地面积从 86,768 公顷降至 59,868 公顷,5 年净减少 26,900 公顷,占研究期内总减少量的 87.92%。其中 2003 年净减少量达 10,670 公顷,为研究期内峰值,首要驱动因素为退耕还林(草)政策的大规模集中实施。

第二阶段为缓减稳控期(2007~2020 年),耕地面积从 59,868 公顷降至 56,174 公顷,13 年净减少 3694 公顷,缩减幅度显著下降。该阶段受双重因素影响:一方面延安新区建设推进,城镇建设占用持续造成耕地流失;另一方面 2012 年起治沟造地工程全面实施,通过沟道整治补充了部分耕地,有效遏制了耕地快速缩减的趋势,实现了耕地总量的稳控[5] [8]。

4.2. 耕地增减的驱动因素分析

4.2.1. 耕地新增特征

2002~2020 年,宝塔区累计新增耕地 2119 公顷,主要来源为荒地开垦(826 公顷,占比 38.98%),其次为土地复垦(464 公顷,占比 21.89%)、农业结构调整还耕(219 公顷,占比 10.34%)(见表 2)。

从时序变化来看,2012 年以前新增耕地以荒地开垦为主,是退耕还林政策背景下农户补充耕地的主要方式;2012 年治沟造地工程实施后,工程新增耕地成为耕地补充的主要来源,荒地开垦规模大幅下降,政策导向对耕地补充模式的驱动作用显著[5] [13]。

Table 2. Structure of newly increased cultivated land in Baota District from 2002 to 2020 (Unit: Hectare)

表 2. 宝塔区 2002~2020 年新增耕地结构(单位:公顷)

年份	耕地增加总量	土地开荒	土地复垦	还耕地面积	其它
2002	368	352	-	13	3
2003	75	75	-	-	-
2004	252	140	70	42	-
2005	241	-	100	25	116
2006	198	90	61	20	27
2007	129	31	78	-	20

续表

2008	70	-	42	5	23
2009	104	-	24	80	-
2010	48	-	46	-	2
2011	45	-	43	-	2
2012	357	-	-	-	-
2013	37	10	-	27	-
2014	133	123	-	7	-
2015	3	1	-	-	-
2016	49	2	-	-	47
2017	10	2	-	-	8
2018	-	-	-	-	-
2019	-	-	-	-	-
2020	-	-	-	-	-
总计	2119	826	464	219	248

4.2.2. 耕地流失特征

2002~2020年, 宝塔区累计流失耕地 32,749 公顷, 首要驱动因素为生态退耕(27,309 公顷, 占比 83.39%), 其次为农业结构调整(2352 公顷, 占比 7.18%)、建设占用(2057 公顷, 占比 6.28%) (表 3)。

Table 3. Structure of cultivated land loss in Baota District from 2002 to 2020 (Unit: Hectare)

表 3. 宝塔区 2002~2020 年耕地流失结构(单位: 公顷)

年份	耕地减少量	生态退耕	农业结构调整	建设占用	其它
2002	8211	7994	-	144	73
2003	10,670	10,667	-	3	-
2004	2288	2000	-	288	-
2005	5473	4987	385	97	4
2006	1392	933	250	193	16
2007	923	-	651	248	24
2008	579	-	368	179	32
2009	294	-	140	133	21
2010	197	-	80	99	8
2011	204	133	13	35	23
2012	66	-	-	-	-
2013	293	230	-	-	-
2014	167	38	11	118	-
2015	111	38	37	36	-
2016	1292	289	58	335	610
2017	196	-	128	57	11
2018	282	-	212	-	70
2019	75	-	13	62	-
2020	36	7994	6	30	73
总计	32,749	27,309	2352	2057	892

从时序变化来看,2002~2011年生态退耕是耕地流失的主要原因,占该阶段耕地流失总量的81.47%;2012年以后,生态退耕规模大幅下降,建设占用与农业结构调整成为耕地流失的主要因素,耕地流失总量显著降低,政策转向是耕地流失规模与结构变化的驱动力[1][14]。

4.3. 耕地空间格局与地形分异特征

以治沟造地工程典型示范区甘谷驿镇为例,开展耕地空间格局与地形分异分析(如图2),结果显示,甘谷驿镇耕地变化趋势与宝塔区整体高度一致:2000~2010年耕地面积减少2.45%,2010~2020年受治沟造地工程影响,耕地面积小幅回升0.4%。

结合DEM数据的空间分析结果显示,甘谷驿镇耕地呈现显著的空间重构特征:①海拔分异上,耕地逐步由高海拔向中低海拔转移,集中分布于900~1100米的河谷川道与缓坡区,1200米以上高海拔区域耕地规模持续下降;②坡度分异上,耕地向缓坡集中,分布于10°~30°的坡度区间,15°以上陡坡耕地规模持续下降,与治沟造地工程“沟道造田、坡地退耕”的实施逻辑高度契合。同时,河谷川道区优质耕地受城镇建设占用影响变化最为显著,是该区域耕地流失的重要点位。

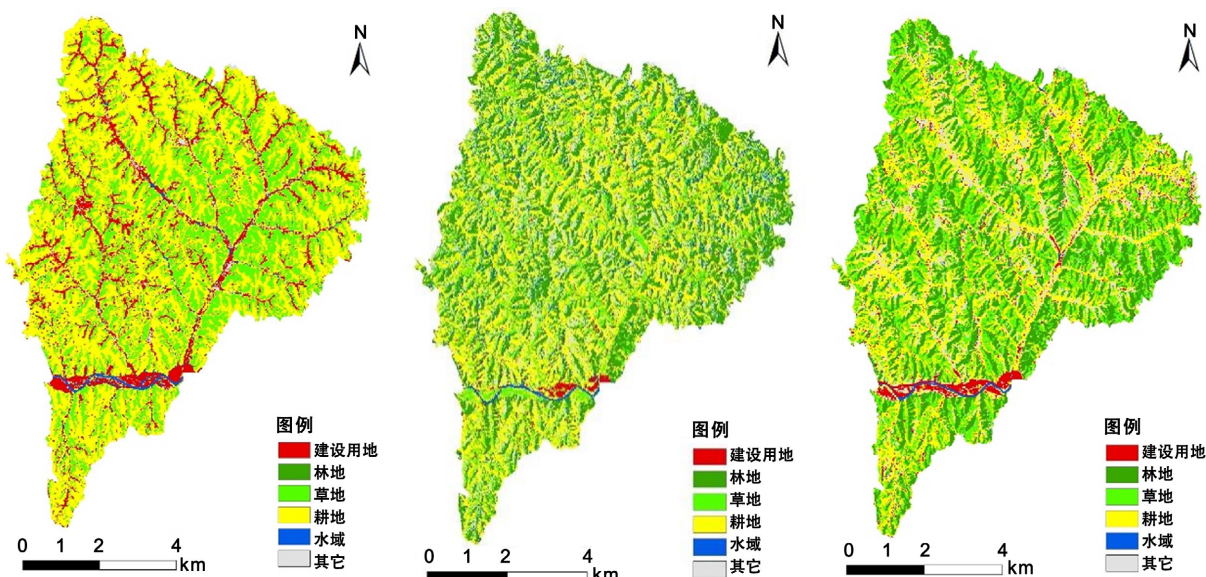


Figure 2. Distribution of land use types in Ganguyi Town in 2000 (left), 2010 (middle) and 2020 (right)

图2. 2000年(左)、2010年(中)、2020年(右)甘谷驿镇土地利用类型分布图

5. 讨论

本研究基于土地利用转型理论,系统解析了宝塔区耕地的数量与空间转型过程,研究发现,退耕还林(草)与治沟造地两大工程的接续实施,分别主导了耕地的快速缩减与稳控过程,这与璩路路等学者关于黄土高原沟道耕地转型的研究结论一致,也印证了土地利用转型理论中“政策调控与经济社会发展共同决定土地利用转型节奏”的观点[1][2]。

与现有单一政策影响的研究相比,本研究的主要创新点在于,将两大反向政策纳入统一分析框架,量化揭示了政策叠加影响下耕地“退坡入沟”的空间置换模式,深化了复合多因素耦合下土地利用变化机制的认知。现有研究多聚焦于退耕还林工程的生态效应,或治沟造地工程的技术模式,本研究则通过长时序数据,厘清了两大政策接续实施下耕地“退”与“补”的动态平衡关系,证实了治沟造地工程在缓解耕地流失、保障粮食安全方面的积极作用[4]。

同时,本研究也发现,宝塔区河谷川道优质耕地受城镇建设占用的影响显著,而新增耕地多为沟道新造地,耕地占补的质量平衡问题需重点关注,这也是后续研究需要深化的方向[5][8]。此外,本研究主要聚焦于多因素耦合下的耕地数量与空间格局变化,后续可结合土壤采样数据,开展耕地质量变化与产能评估,同时借助地理探测器等模型,解析自然、政策、社会经济等多因素的耦合驱动机制,进一步完善相关研究[15]-[17]。土地利用转型的相关国际研究也表明,多因素的交互作用是区域土地利用格局变化的核心驱动力,这也与本研究的结论形成了相互印证[18][19]。

6. 结论与政策建议

6.1. 主要结论

本研究以延安市宝塔区为研究区,系统解析了2002~2020年多因素耦合驱动下的耕地时空演变特征与机制,主要得出以下结论:

1) 2002~2020年宝塔区耕地总量呈持续减少态势,累计净减少30,594公顷,其中新增耕地2119公顷,主要来源为荒地开垦;耕地流失32,749公顷,主要驱动因素为生态退耕。

2) 耕地变化呈现显著的两阶段特征:2002~2012年为快速缩减期,受退耕还林(草)政策与城镇化驱动,耕地面积大幅下降;2012~2020年为缓减稳控期,受治沟造地工程与粮食安全管控政策影响,耕地缩减趋势显著放缓。

3) 宝塔区耕地呈现显著的“退坡入沟”空间重构特征,以甘谷驿镇为例,耕地逐步由高海拔向中低海拔、陡坡向缓坡转移,集中分布于900~1100米海拔区间、10°~30°坡度区间,河谷川道优质耕地受城镇建设占用影响显著。

6.2. 政策建议

基于研究结果,结合黄土高原丘陵沟壑区实际,提出以下耕地保护与可持续利用对策:

1) 强化财政投入保障,加大对治沟造地高标准农田建设、耕地质量提升的资金支持,重点开展沟道新增耕地的土壤改良与配套设施建设,补齐耕地占补的质量短板。

2) 优化国土空间布局,严控城镇建设对河谷川道优质耕地的占用,划定永久基本农田保护红线,推动坡耕地退耕与沟道造田的协同推进,实现生态保护与耕地保护的统筹协调与良性平衡。

3) 完善耕地保护激励机制,落实种粮农户补贴政策,提升农户耕地保护与种粮积极性,推广绿色农业、生态循环农业等新型模式,提高耕地利用效率与农业生产效益。

4) 健全耕地保护全流程监管机制,利用遥感技术建立耕地动态监测体系,实时管控耕地“非粮化”“非农化”行为,确保耕地保护政策落地见效。

参考文献

- [1] 璩路路,李裕瑞,董世杰,等.黄土高原沟道耕作转型时空特征及启示——以延安黄土丘陵沟壑区为例[J].资源科学,2022,44(5):955-967.
- [2] 龙花楼,马历,周贵鹏.中国土地利用转型研究进展与展望[J].地理学报,2025,80(8):1993-2015.
- [3] Long, H. and Li, T. (2012) The Coupling Characteristics and Mechanism of Farmland and Rural Housing Land Transition in China. *Journal of Geographical Sciences*, 22, 548-562. <https://doi.org/10.1007/s11442-012-0946-x>
- [4] 谢怡凡,姚顺波,邓元杰,等.延安市退耕还林(草)工程对生境质量时空格局的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2020,28(4):575-586.
- [5] 贺春雄.延安治沟造地工程的现状、特点及作用[J].地球环境学报,2015,6(4):255-260.
- [6] 璩路路,王永生,李裕瑞,等.黄土丘陵沟壑区沟道农业生产功能空间演变特征及其启示[J].农业工程学报,

- 2021, 37(21): 259-268.
- [7] 杨致远, 刘琪璟, 秦立厚, 等. 延安市退耕还林工程生态效益评价[J]. 西北林学院学报, 2022, 37(1): 259-266.
- [8] 王晓晨, 许强, 赵宽耀, 等. 延安市宝塔区治沟造地工程的分布规律[J]. 水土保持通报, 2019, 39(2): 141-148.
- [9] 周维, 段建南, 李萍. 中国耕地变化研究的知识图谱分析[J]. 土壤通报, 2019, 50(5): 1085-1090.
- [10] 中国科学院计算机网络信息中心. 地理空间数据云[EB/OL]. <http://www.gscloud.cn/>, 2025-04-28.
- [11] 曲胜秋, 刘艳芳, 银超慧, 等. 1990-2015 年福建省耕地变化的空间格局分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(4): 587-598.
- [12] Yetkin Ekren, B. (2021) A Multi-Objective Optimisation Study for the Design of an AVS/RS Warehouse. *International Journal of Production Research*, **59**, 1107-1126. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1720927>
- [13] 郭子豪. 黄土丘陵沟壑区典型沟道土地整治工程对水系平衡影响研究[D]: [博士学位论文]. 咸阳: 中国科学院大学(中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心), 2021.
- [14] 邓元杰, 姚顺波, 侯孟阳, 等. 退耕还林还草工程对生态系统碳储存服务的影响——以黄土高原丘陵沟壑区子长县为例[J]. 自然资源学报, 2020, 35(4): 826-844.
- [15] 谭林, 陈岚. 乡村空间重构与土地利用转型耦合机制及路径分析[J]. 自然资源学报, 2022, 37(7): 1829-1847.
- [16] 吕立刚, 撒旭, 龙花楼, 等. 耕地多功能供需匹配研究进展与展望[J]. 资源科学, 2023, 45(7): 1351-1365.
- [17] 刘彦随, 李裕瑞. 中国县域耕地与农业劳动力变化的时空耦合关系[J]. 地理学报, 2010, 65(12): 1602-1612.
- [18] Verburg, P.H., Crossman, N., Ellis, E.C., Heinimann, A., Hostert, P., Mertz, O., *et al.* (2015) Land System Science and Sustainable Development of the Earth System: A Global Land Project Perspective. *Anthropocene*, **12**, 29-41. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2015.09.004>
- [19] Lambin, E.F. and Meyfroidt, P. (2009) Land Use Transitions: Socio-Ecological Feedback versus Socio-Economic Change. *Land Use Policy*, **27**, 108-118. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.09.003>