

# 黄河沿岸“非粮化”耕地形态特征识别与优化调控研究

关小克<sup>1</sup> 王秀丽<sup>2</sup> 赵玉领<sup>3</sup>  
(1. 郑州轻工业大学社会发展研究中心, 郑州 450002; 2. 河南农业大学资源与环境学院, 郑州 450002;  
3. 自然资源部国土整治中心, 北京 100035)

**摘要:** 以黄河沿岸的河南省孟津县为例,从利用状况与坡度分布、景观格局与空间邻接、耕作距离与道路通达、经济梯度与生态安全等方面,对孟津县“非粮化”耕地的形态特征进行了系统识别。结果表明:孟津县耕地的“非粮化”空间与优质农业生产空间高度重叠,耕地的非食物化利用倾向明显,耕地向林地调整的比重过大。由于粮作耕地和非粮作耕地在劳动生产率上存在较大的差异,导致种植经济型作物的耕地规模偏小且较为分散,无法形成规模经济。交通工具缩短了农户的耕作路途时间,耕作距离对耕地“非粮化”的影响力度在下降,交通干线附近分布数量较多的即可恢复地类,与近几年的“廊道景观工程”建设密切相关。高经济梯度区的经济型撂荒占比较大,偏远地区农户对耕地的依赖程度相对较高。生态红线是维护区域生态安全的刚性底线,在生态红线之内,应积极实施“再野化”工程。结合新时期国家黄河生态战略,以建设复合型黄河生态廊道为目标,提出了不同区位、不同类型“非粮化”耕地的恢复调整方案。

**关键词:** 孟津县; “非粮化”耕地; 形态特征; 优化

中图分类号: F301.2      文献标识码: A      文章编号: 1000-1298(2021)10-0233-10      OSID: 

## Morphological Characteristics Identification and Optimization of “Non-grain” Cultivated Land along Yellow River Basin

GUAN Xiaoke<sup>1</sup> WANG Xiuli<sup>2</sup> ZHAO Yuling<sup>3</sup>  
(1. Social Development Research Center, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China  
2. College of Resource and Environmental Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China  
3. Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China)

**Abstract:** Taking Mengjin County of Henan Province along Yellow River as an example, the morphological characteristics of “non-grain” cultivated land in Mengjin County were systematically identified from the aspects of utilization status and slope distribution, landscape pattern and spatial proximity, cultivation distance and road access, economic gradient and ecological security. The results showed that there was a high overlap between the “non-grain” space and the high-quality agricultural production space, the tendency of non-food utilization of cultivated land was obvious, and the proportion of the adjustment from cultivated land to forest land was too large. Due to the large difference in labor productivity between grain cultivated land and “non-grain” cultivated land, the scale of cultivated land for economic crops is relatively small and scattered, which can not form economies of scale. High-speed transportation shortens farmers’ travel time for farming, and the impact of farming distance on the “non-grain” of cultivated land is decreasing. There are a large number of recoverable land near traffic trunk lines, which is closely related to the construction of “corridor landscape project” in recent years. Economic abandoned land accounts for a large proportion in economic gradient areas and farmers in underdeveloped areas have a relatively high degree of dependence on cultivated land. The ecological red line is the rigid bottom line for maintaining regional ecological security. Within the red line, the

收稿日期: 2021-06-02    修回日期: 2021-06-27  
**基金项目:** 国家社科基金重大项目(19ZDA096)、教育部人文社科项目(20YJCZH037)和河南省高校科技创新人才支持计划项目(人文社科类 2021-CX-052)  
**作者简介:** 关小克(1981—),男,副教授,博士,主要从事土地可持续利用研究,E-mail: guan1014@163.com  
**通信作者:** 赵玉领(1982—),男,副研究员,主要从事土地评价与耕地保护研究,E-mail: zyl3724599@163.com

“rewilding” project should be actively implemented. Combined with the national ecological strategy of the Yellow River, and aiming at building the compound ecological corridor of the Yellow River, the restoration and adjustment schemes of different “non-grain” cultivated land in different locations and types were put forward. The research results can provide reference for the decision-making of land control work in the new period.

**Key words:** Mengjin County; “non-grain” cultivated land; morphological characteristics; optimization

## 0 引言

粮食安全是关乎国家发展的全局性、战略性问题,目前耕地保护与粮食安全的相关议题再度升级<sup>[1-2]</sup>。耕地作为土地资源的精华部分,是确保食物安全的基础资源、促进社会发展的空间载体和维系生态安全的景观基质<sup>[3-6]</sup>,针对新时期耕地保护的刚性管控与区域资源空间错配的现实矛盾,耕地保护研究者围绕耕地的质量内涵<sup>[7-10]</sup>、健康产能<sup>[11-13]</sup>、风险管控<sup>[14-17]</sup>等领域开展了重点研究,相关研究对发展新时代的健康农业、支撑健康中国做出了有益探索。近年来,我国农业产业结构不断优化,区域布局趋于合理,但是部分地区出现了耕地“非粮化”的倾向,一些地方把农业结构调整简单理解为压减粮食生产,一些经营主体违规在基本农田上种树、挖塘,一些工商资本流转耕地改种非粮食作物等,以功能衰退为表征,不少地方的耕地利用呈现出“边际化”、“撂荒”等不良趋势<sup>[18-20]</sup>,耕地“非粮化”的无序发展,必然会影响国家粮食安全<sup>[21-25]</sup>。《国务院办公厅关于防止耕地“非粮化”稳定粮食生产的意见》明确提出:把稳定粮食生产作为农业供给侧结构性改革的前提,必须将有限的耕地资源优先用于粮食生产,严格控制耕地转为林地、园地等其他类型农用地。研究者们高度关注耕地“非粮化”利用,张宗毅等<sup>[26]</sup>基于全国1740个种植业家庭农场数据,发现非粮作物与粮食作物存在显著的生产效率差异,土地经营规模较大的样本更倾向种植粮食作物;罗必良等<sup>[27]</sup>认为我国农业种植结构调整导致的“非粮化”具有阶段性的特征,保障国家粮食安全,需要发展农业社会化服务和完善农业分工体系;张藕香<sup>[28]</sup>认为,防止耕地“非粮化”需要加强土地用途管制,疏通农田水利“最后一公里”。相关研究结论对保障粮食安全、维护社会稳定做出了积极贡献。然而,耕地“非粮化”受市场需求、管理政策、农户决策、地块条件等多重因素的影响,但以往的研究大都是基于统计数据或大样本的调查数据,对“非粮化”耕地的形态特征识别还不够深入,不能有效应对耕地精细化管理的现实需要。随着人口增长、消费升级和资源环境趋紧,我国的粮食产需维持紧平衡的态势将长期存在,深入研究耕地“非粮化”的影响因

素及其空间异质性,提出针对性的管控策略,促使区域耕地利用向“趋粮化”方向发展,对提高耕地利用效率、化解粮食安全挑战具有积极的现实意义。

孟津县南部与洛阳市主城区邻接,在城市扩展过程中,该区域的农业空间不断被挤占,其易变性、稳定性差的特征尤为突出;北部与黄河小浪底水库和西霞院反调节水库邻接,是黄河流域生态安全的关键核心地段之一,在生态目标优先下,区域耕地作为空间重构、生态修复的资源载体,其利用形态与格局受到了一定影响。鉴于此,本研究基于第三次全国国土调查(三调)成果,提取“非粮化”耕地的图斑信息,系统刻画“非粮化”耕地的空间形态特征,解析耕地“非粮化”利用的主控因素,以提出耕地“趋粮化”利用的调控方案,为推动黄河流域生态保护和高质量发展提供决策参考。

## 1 区域概况与数据来源

### 1.1 区域概况

孟津县位于黄土高原东南边缘,是黄河中游与下游的地理分界处。县域中西部是黄土丘陵区,区内千沟万壑、土壤贫瘠,中东部为邙岭余脉,区内地形起伏较大,土层深厚,县域东北部是黄河谷地,地势相对较为平坦。第三次全国国土调查的初步成果显示,2019年全县国土总面积为734.77 km<sup>2</sup>,耕地面积300.00 km<sup>2</sup>,约占国土总面积的40.83%。其中,水浇地面积101.72 km<sup>2</sup>,主要分布在县域中南部及北部的朝阳、送庄、常袋、平乐及会盟等乡镇;旱地面积188.57 km<sup>2</sup>,主要分布在中西部的城关、横水、白鹤及小浪底等乡镇;水田面积9.71 km<sup>2</sup>,主要分布在东北部黄河谷地的会盟镇。

### 1.2 数据来源与处理

土地利用数据来源于孟津县第三次全国国土调查成果,《孟津县生态红线划定成果》(2020),孟津县DEM数据(<http://www.resdc.cn>),《孟津县统计年鉴》。

在数据处理方面,结合研究的需要,参照GB/T 21010—2017《第三次全国土地调查土地分类》和《土地规划分类》,将研究区土地利用数据归并为耕地、园地、林地、其他农用地、城乡建设用地、交通运输及其他建设用地、自然保留地共7类。在ArcGIS

软件支持下,转换成 10 m × 10 m 的栅格数据。

2 研究思路与方法

2.1 研究思路

耕地的利用形态是乡村地区人地关系的现实反映,伴随着农户生计分化和乡村转型发展,耕地“非粮化”利用的现象日益凸显。鉴于此,本研究利用孟津县第三次全国国土调查数据,提取县域“非粮化”耕地的图斑信息,采用景观格局分析法、空间邻接分析法、缓冲区分析法等方法,从利用状况与坡度分布、景观格局与空间邻接、耕作距离与道路通达、经济梯度与生态安全等视角,系统刻画“非粮化”耕地的空间异质特征,深入探讨耕地“非粮化”利用与相关要素的作用关系,识别出影响耕地“非粮化”利用的主控因素,提出不同类型、不同区域“非粮化”耕地的优化调控方案。

2.2 研究方法

2.2.1 “非粮化”耕地提取

“非粮化”耕地是指将用于种植粮食作物的耕地调整为种植经济作物或者其他非粮食作物的耕地<sup>[25]</sup>。2019 年底国家下发了第三次全国国土调查的初步成果,“三调”以精细化国土空间治理为导向,充分满足了耕地保护和分类管理的现实需要,规定农用地的最小上图的图斑面积为 400 m<sup>2</sup>,对部分地类进行细化拆分,增加了图斑属性注记,全面掌握了耕地的利用状况,对由产业结构调整而来的园地、林地等地类,增加了工程恢复、即可恢复等属性标注,系统掌握了耕地储备资源的基本情况<sup>[29]</sup>。“三调”成果显示,孟津县耕地包括种植粮食作物、粮与非粮轮作、粮林间作、种植非粮食作物、未耕种等 5 种利用形态。基于以上分析,本研究中的“非粮化”耕地主要由两部分组成:①从“三调”中提取地

类名称为耕地,种植属性为“未耕种”、“种植非粮食作物”的地类图斑。②从“三调”中提取地类名称为园地、林地或其他农用地,种植属性标注为“工程恢复”、“即可恢复”等的可调整地类图斑。

2.2.2 景观格局分析法

耕地的景观格局指数是耕地空间格局信息的高度浓缩,能够有效反映耕地资源的结构组成和空间形态特征<sup>[30-31]</sup>,将分析地类以 10 m × 10 m 的栅格化处理后,在景观格局分析软件 Fragstats 4.2 支持下,分别计算不同利用模式下耕地的景观格局特征。

2.2.3 空间邻接分析法

斑块的功能、结构与其空间邻接的斑块类型有着密切关系<sup>[32]</sup>,通过分析对象斑块的空间邻接特征可有效诊断出对象斑块利用形态受到的潜在风险或受周边用地类型的影响程度<sup>[33-34]</sup>。通过对“非粮化”耕地斑块和全域图斑的缓冲和叠加运算,可获得“非粮化”耕地斑块的空间邻接特征。

3 “非粮化”耕地的形态特征分析

3.1 利用状况与坡度分布

3.1.1 “非粮化”耕地的利用状况

当前,人们的膳食结构呈现出主粮降低、类型多样的演化态势,加上种粮效益低、农村劳动力短缺,在多重要素的叠加之下我国耕地“非粮化”现象越来越严重。截至 2019 年底,孟津县“非粮化”土地面积为 17 637.09 hm<sup>2</sup>,约占全县国土面积的 24.00%。在地类构成上,“非粮化”耕地面积为 2 854.04 hm<sup>2</sup>,约占全县国土面积的 3.88%;可调整地类面积为 14 783.05 hm<sup>2</sup>,约占全县国土面积的 20.12%,可调整地类中,园地、林地、其他农用地面积分别为 5 080.07、8 792.46、910.52 hm<sup>2</sup>,如表 1 所示。

表 1 孟津县“非粮化”耕地的地类构成

| Tab.1 Land type composition of “non-grain” cultivated land in Mengjin County |       |          |          |          |          |        | hm <sup>2</sup> |
|------------------------------------------------------------------------------|-------|----------|----------|----------|----------|--------|-----------------|
| 类型                                                                           | 耕地    |          |          | 可调整地类    |          |        | 合计              |
|                                                                              | 水田    | 旱地       | 水浇地      | 园地       | 林地       | 其他农用地  |                 |
| 未耕种                                                                          | 6.33  | 472.11   | 238.94   |          |          |        | 717.38          |
| 种植非粮食作物                                                                      | 8.62  | 1 104.25 | 1 023.79 |          |          |        | 2 136.66        |
| 即可恢复                                                                         |       |          |          | 3 225.39 | 3 685.07 | 96.44  | 7 006.90        |
| 工程恢复                                                                         |       |          |          | 1 854.68 | 5 107.39 | 814.08 | 7 776.15        |
| 合计                                                                           | 14.95 | 1 576.36 | 1 262.73 | 5 080.07 | 8 792.46 | 910.52 | 17 637.09       |

从分布区域来看,未耕种土地面积为 717.38 hm<sup>2</sup>,主要分布在麻屯、朝阳、平乐等南部乡镇,如图 1 所示,其中,未耕种的水浇地、水田等高质量耕地面积占未耕种耕地面积的 34.19%,在城镇扩张、优质耕地不断减少的时代背景下,高质量耕地被撂荒是需

要关注的重点;种植非粮食作物的耕地面积为 2 136.66 hm<sup>2</sup>,主要分布在麻屯、送庄、白鹤东部、会盟西部等优质耕地集中区,优质耕地适宜性广,既适合耕作利用也适宜花卉、苗木、药材等特色经济作物种植,因此,在种植非粮食作物的地类中,水浇地、水

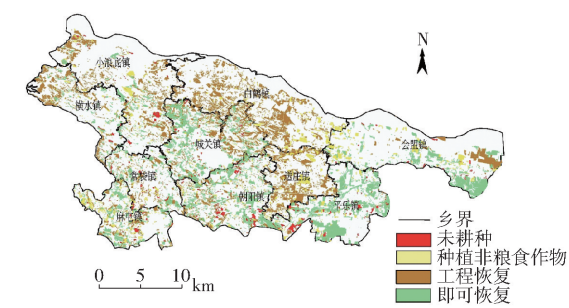


图1 孟津县“非粮化”耕地空间分布图

Fig.1 Spatial distribution map of “non-grain” cultivated land in Mengjin County

田等优质耕地面积为1 032.41 hm<sup>2</sup>,占种植非粮食作物土地面积的48.32%;即可恢复的地类面积为7 006.90 hm<sup>2</sup>,整体上,即可恢复地类的耕作层没有受到破坏,调整恢复为耕地的难度较小,主要分布在城关、朝阳、平乐和会盟等乡镇,其中,即可恢复的园地面积为3 225.39 hm<sup>2</sup>,即可恢复的林地面积为3 685.07 hm<sup>2</sup>,即可恢复的其他农用地面积为96.44 hm<sup>2</sup>,在即可恢复的地类中,林地占比最大,占比为52.59%;工程恢复的地类面积为7 776.15 hm<sup>2</sup>,该类型需要采取一定的工程措施才能恢复调整为耕地,主要分布白鹤、送庄、横水西部,该区地形起伏相对较大,主要以林地为主,林地面积约占工程恢复地

类面积的65.68%。综合分析,孟津县优质耕地的“非粮化”比重偏高,且“非粮化”耕地向林地调整的比重过大,如不对耕地“非食物化”倾向进行有效管控,必然会对粮食安全生产造成一定冲击。

3.1.2 “非粮化”耕地的坡度分布特征

坡度相对稳定且不易改变是影响耕地质量的一项重要指标,作为典型的黄土沟壑区,孟津县大于15°的坡耕地有1 620.42 hm<sup>2</sup>,其中,未耕种与种植非粮食作物的耕地面积为167.32 hm<sup>2</sup>,调整为其他地类(工程恢复、即可恢复)的面积为91.36 hm<sup>2</sup>,大于15°坡耕地的非粮化率合计为15.96%。在生态文明优先下,有序推动坡耕地的退耕还林(园),有助于降低水土流失、提高农业综合效益、促进良性生态空间的形成,但是,由于缺乏系统的规划和引导,孟津县的农业产业结构调整基本上处于散乱、自发状态,且主要分布在平原及缓坡地带,由表2可知,0°~15°是“非粮化”耕地分布较为集中的区间,该区域共有17 378.41 hm<sup>2</sup>被“非粮化”利用,约占全部“非粮化”地类的98.53%,0°~6°为孟津县优质耕地分布的核心地带,该区域“非粮化”耕地面积占全县“非粮化”耕地的77.11%，“非粮化”空间与优质农业生产空间的高度重叠,给耕地保护带来巨大压力。

表2 孟津县“非粮化”耕地的坡度分布区间

Tab.2 Slope distribution range of “non-grain” cultivated land in Mengjin County

hm<sup>2</sup>

| 类型      | 地形坡度/(°) |          |          |        |       | 合计        |
|---------|----------|----------|----------|--------|-------|-----------|
|         | 0~2      | 2~6      | 6~15     | 15~25  | >25   |           |
| 未耕种     | 246.25   | 260.45   | 122.07   | 55.97  | 32.64 | 717.38    |
| 种植非粮食作物 | 1 084.42 | 481.00   | 492.53   | 58.81  | 19.90 | 2 136.66  |
| 即可恢复    | 3 274.24 | 2 922.58 | 800.98   | 9.10   |       | 7 006.90  |
| 工程恢复    | 2 157.70 | 3 174.86 | 2 361.33 | 79.25  | 3.01  | 7 776.15  |
| 总计      | 6 762.61 | 6 838.89 | 3 776.91 | 203.13 | 55.55 | 17 637.09 |

3.2 景观格局与空间邻接

3.2.1 “非粮化”耕地的景观格局特征

不同利用模式的耕地在空间结构、分布形态等方面存在较大的差异,景观格局指数能够有效反映耕地利用形态的细部差异。运用Fragstat 4.2软件计算不同利用模式耕地的景观格局指数,选取斑块个数(NP)和平均斑块面积(AREA-MN)表征斑块的规模状况;用斑块平均最近距离(ENN-MN)和聚集度指数(AI)表征斑块破碎程度。由表3可以看出,未耕种的耕地斑块个数最少,且分布较为离散,导致斑块平均最近距离(ENN-MN)最大;种植非粮食作物和粮作耕地在劳动生产率上存在较大的差异,农户可以通过机械化实现对粮作耕地的规模化管理,但是对蔬菜、花卉、苗木、中草药等劳动力消耗大的经济作物却无法实现规模化耕种,因此,粮作耕

表3 孟津县不同利用形态耕地的景观格局指数

Tab.3 Landscape pattern index of cultivated land under different utilization patterns in Mengjin County

| 类型      | NP/个  | AREA-MN | ENN-MN    | AI       |
|---------|-------|---------|-----------|----------|
| 未耕种     | 611   | 1.174 4 | 267.430 3 | 88.419 2 |
| 种植非粮食作物 | 2 348 | 0.909 2 | 143.995 3 | 87.304 4 |
| 即可恢复    | 2 655 | 2.638 7 | 75.759 2  | 90.905 5 |
| 工程恢复    | 3 649 | 2.130 8 | 76.282 4  | 88.291 7 |
| 粮作耕地    | 4 182 | 6.322 5 | 44.099 8  | 92.659 4 |

地的平均斑块面积(AREA-MN)最大,约为种植非粮食作物耕地规模的6.9倍;同理,聚集度指数(AI)也是种植非粮食作物耕地的最小,粮作耕地的聚集程度最高;即可恢复和工程恢复类型,在景观格局指数的相似度较高,整体来看,即可恢复的聚集度指数(AI)和平均斑块面积(AREA-MN)略大于工

程恢复地类,这与即可恢复地类中的园地比重大有较大的关系,因为果园需要一定的规模才能产生经济效益。

3.2.2 “非粮化”耕地的空间邻接特征

斑块的空间邻接特征可从海量空间数据中发掘出空间斑块之间的空间依赖路径、相互作用强度以及共生或因果模式<sup>[35]</sup>。目标斑块与某种地类的邻接比例越高,说明目标斑块与该地类间的关联性越强,假如某种地块与耕地的邻接比例高于 50%,表示该地块大部分被耕地包围,同时也说明该地块复垦为耕地具有较高的适宜性。由表 4 可以看出,孟

津县未耕种、种植非粮食作物、即可恢复、工程恢复 4 类的“非粮化”耕地,均与耕地保持着最高程度的空间邻接,说明孟津县“非粮化”耕地调整恢复为粮作耕地均有较高的自然适宜性。由表 4 还可以看出,未耕种和种植非粮食作物的地类图斑与其他农用地和林地邻接度较高,说明该类型的耕地在“效益引线”不足的情况下,极可能调整为林地或其他农用地;即可恢复和工程恢复地类与其他农用地和城乡建设用地的邻接度较高,在农业利用效益持续低迷的情形下,受到建设占用的压力巨大。

表 4 孟津县“非粮化”耕地的空间邻接度  
Tab.4 Spatial adjacency degree of “non-grain” cultivated land in Mengjin County %

| 类型      | 耕地    | 园地    | 林地    | 其他农用地 | 城乡建设用地 | 交通运输及其他建设用地 | 自然保留地 | 合计  |
|---------|-------|-------|-------|-------|--------|-------------|-------|-----|
| 未耕种     | 34.10 | 10.70 | 17.49 | 20.56 | 11.26  | 5.52        | 0.27  | 100 |
| 种植非粮食作物 | 36.79 | 9.11  | 18.73 | 16.68 | 15.27  | 3.22        | 0.20  | 100 |
| 即可恢复    | 49.70 | 2.42  | 10.27 | 19.36 | 11.83  | 6.22        | 0.20  | 100 |
| 工程恢复    | 55.16 | 4.03  | 11.85 | 12.43 | 11.68  | 4.56        | 0.29  | 100 |

3.3 耕作距离与道路通达

3.3.1 “非粮化”耕地的耕作距离特征

农村居民点是农户的生活居住场所,耕地是农户重要的生产对象和生产资料,农村居民点与耕地存在一定的空间共生关系<sup>[36]</sup>。另外,农村居民点与耕作地块需要保持合理的耕作半径,耕作半径受区域自然条件、社会因素、经济因素以及土地利用因素的影响<sup>[37]</sup>。由表 5 可知,在 500 m 范围内,未耕种、种植非粮食作物、即可恢复、工程恢复等占其各自类型总面积的比例分别为 92.69%、90.79%、

92.69%、91.66%,即大部分的“非粮化”耕地主要分布在距离村庄较近的区域范围,而粮作耕地在居民点 500 m 缓冲范围内的面积为 21 812.98 hm<sup>2</sup>,约占全部耕地面积的 89.17%,低于所有的“非粮化”耕地,这是由于黄河滩区耕地面积大多是孟津县的粮食核心产区,滩区耕地普遍距离村庄较远,但是滩区耕地面积地块大,规模化经营程度高,产生了一定的规模经济。另外,随着摩托车、电动车、农用三轮车等交通工具的普及,缩短了农户的耕作路途时间,耕作距离对耕地“非粮化”利用的影响力度在下降。

表 5 与农村居民点不同距离下孟津县不同利用形态耕地面积

Tab.5 Cultivated land area of different utilization patterns at different distances from rural settlements in Mengjin County hm<sup>2</sup>

| 类型      | 与居民点距离/m  |             |               |               |         | 合计        |
|---------|-----------|-------------|---------------|---------------|---------|-----------|
|         | 0 ~ 500   | 500 ~ 1 000 | 1 000 ~ 1 500 | 1 500 ~ 2 000 | > 2 000 |           |
| 未耕种     | 664.95    | 35.01       | 13.15         | 4.27          |         | 717.38    |
| 种植非粮食作物 | 1 939.98  | 110.97      | 61.01         | 23.76         | 0.94    | 2 136.66  |
| 即可恢复    | 6 494.58  | 486.13      | 25.24         | 0.95          |         | 7 006.90  |
| 工程恢复    | 7 127.84  | 504.12      | 96.72         | 23.83         | 23.64   | 7 776.15  |
| 粮作耕地    | 21 812.98 | 1 832.88    | 353.75        | 281.45        | 181.47  | 24 462.53 |

3.3.2 “非粮化”耕地的道路通达特征

交通干线作为物质、信息交换的重要廊道,往往会对沿线土地利用产生较大影响。由表 6 可以看出,在距离交通干线 200 m 的范围内,未耕种的土地面积为 234.25 hm<sup>2</sup>,约占该类型耕地总面积的 32.65%;种植非粮食作物的土地面积为 534.99 hm<sup>2</sup>,约占该类型耕地总面积的 25.04%。由于交通干线附

近农户往往以便利的交通条件为依托,从事非农产业比重较大,农业收入占其家庭收入的比重较低,导致耕地被撂荒、或者被调整为种植非粮食作物(花卉、苗木)的面积较大;在距离交通干线 200 m 的区间内,即可恢复和工程恢复面积分别占其类型总面积的 29.64% 和 23.22%,其中即可恢复比重高,这与近年来大规模推行的“廊道景观工程”建设密切

相关;由于粮食生产主要与田间道、村道等生产性道路关系密切,因此,在交通干线 200 m 范围内的粮作耕地面积为 4 577.50 hm<sup>2</sup>,仅占该粮作耕地总面积的 18.71%。

表 6 与交通干线不同距离下孟津县不同利用形态耕地面积

Tab.6 Cultivated land area of different utilization pattern at different distances from main traffic lines in Mengjin County

| 类型      | 与交通干线距离/m |          |          |          |          | 合计        |
|---------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|         | 0~200     | 200~400  | 400~600  | 600~800  | >800     |           |
| 未耕种     | 234.25    | 165.72   | 99.80    | 57.14    | 160.47   | 717.38    |
| 种植非粮食作物 | 534.99    | 420.13   | 320.43   | 240.20   | 620.91   | 2 136.66  |
| 即可恢复    | 2 077.12  | 1 274.34 | 917.77   | 713.92   | 2 023.75 | 7 006.90  |
| 工程恢复    | 1 805.73  | 1 218.59 | 968.02   | 836.61   | 2 947.20 | 7 776.15  |
| 粮作耕地    | 4 577.50  | 4 312.13 | 3 570.47 | 2 875.75 | 9 126.68 | 24 462.53 |

3.4 经济梯度与生态安全

3.4.1 “非粮化”耕地经济梯度特征

由于经济发展水平存在差异性,导致区域间土地利用呈现出明显的梯度分异特征,经济梯度差异决定着农村地域类型的复杂性及发展模式的多样性。2018 年,孟津县全县农村居民人均收入为 13 771 元,分别以人均收入 116.66% (16 065 元)、83.33% (11 475 元) 为分割点,将孟津县村庄划分为 3 个经济梯度空间(图 2),通过对三次产业从业人员的修正,获取孟津县不同经济梯度区间的耕地“非粮化”特征。在区域资源条件与重大基础设施没有明显改变的情况下,经济梯度空间格局一旦形成,就容易固化<sup>[38]</sup>。

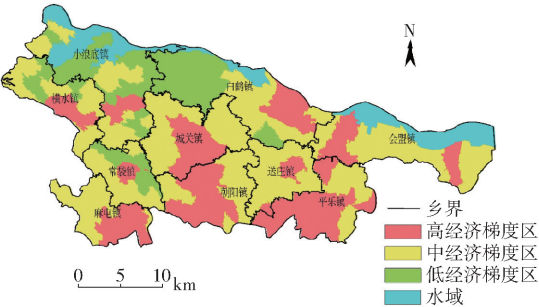


图 2 孟津县经济梯度分区图

Fig.2 Economic gradient zoning map of Mengjin County

孟津县高经济梯度区大都位于县城周边、临近洛阳城区的交通干线附近及产业集聚区周边区域,处于高经济梯度区的土地面积占国土总面积的 21.59%,高经济梯度区的农户从事非农产业比重较高,以农业劳动力析出为代表的经济型撂荒正在快速发展,区内未耕种的土地面积为 477.56 hm<sup>2</sup>,占全部未耕种耕地面积的 62.39% (表 7)。中经济梯度区大都远离城镇,发展条件一般,中经济梯度区土地面积占国土总面积的 57.44%,中经济梯度区的农户在资源信息获取和务工机会等方面,与高经济梯度区农户存在显著差距,但是区内整体的耕作条件

表 7 孟津县不同利用形态耕地在不同经济梯度区间的面积分布

Tab.7 Area distribution of cultivated land with different utilization patterns in different economic gradient intervals in Mengjin County

| 类型      | 高经济<br>梯度区 | 中经济<br>梯度区 | 低经济<br>梯度区 | 合计        |
|---------|------------|------------|------------|-----------|
| 未耕种     | 447.56     | 240.80     | 29.02      | 717.38    |
| 种植非粮食作物 | 711.65     | 1 271.21   | 153.80     | 2 136.66  |
| 即可恢复    | 2 940.70   | 3 720.00   | 346.20     | 7 006.90  |
| 工程恢复    | 1 369.82   | 4 528.00   | 1 878.33   | 7 776.15  |
| 粮作耕地    | 5 282.21   | 15 164.51  | 4 015.81   | 24 462.53 |

较为便利,农户大多数倾向粮食种植,该区域粮作耕地面积占全部粮作耕地的 61.99%,另外,区内部分农户在经济效益的驱动下,将种植结构调整经济效益较高的非粮作物,该区域种植非粮食作物的面积为 1 271.21 hm<sup>2</sup>,占全部种植非粮食作物面积的 59.50%。低经济梯度区主要分布在白鹤、小浪底、横水、常袋等乡镇,该区域地形起伏大、地块零碎,农业生产条件较差,低经济梯度区土地面积占国土总面积的 15.64%,由于低经济梯度区的位置相对较为偏远,农户收入来源有限,对耕地的依赖程度相对较高,该区域粮作耕地占全部粮作耕地的比重为 16.42%,高于区域面积占国土面积 15.64% 的比重。

3.4.2 “非粮化”耕地生态安全特征

黄河在孟津段长度为 59 km,并拥有小浪底水库、西霞院水库等大型水利枢纽工程,孟津县是黄河流域生态保护的关键节点地带<sup>[39]</sup>。生态红线是维护区域生态安全的刚性底线,孟津县划定的生态红线包括河南黄河湿地国家级自然保护区、河南孟津小浪底省级森林自然公园,以及区域内的黄河河道、水库水面等大型种子斑块,如图 3 所示。孟津县生态红线主要沿黄河呈带状分布且占国土面积比重较小,因此,落入生态红线内的“非粮化”耕地仅占“非

粮化”耕地总面积的 2.27%,见表 8。

打造“自然风光 + 黄河文化 + 慢生活”的复合型黄河生态廊道是推进黄河流域生态保护的战略举措,在生态红线之内,对于 401.28 hm<sup>2</sup>的“非粮化”耕地,应尽量降低人为干扰,积极实施生态化耕种和“再野化”工程,有序实施退耕还湿、还滩,尽力还原自然风光。对于 2025.04 hm<sup>2</sup>的粮作耕地(表 8),应引导农户进行生态化耕种,对影响黄河生态廊道建设的地块,应实施有条件的耕作退出;生态红线 1 000 m 以内的缓冲区,是生态保护的过渡区,应以

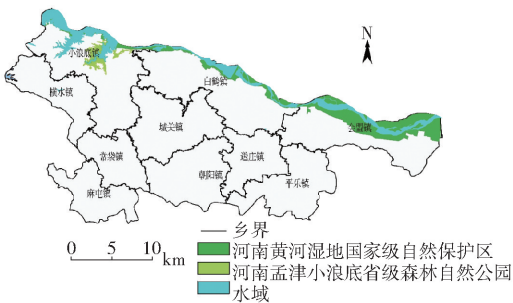


图 3 孟津县生态红线分布图

Fig.3 Distribution map of ecological red line in Mengjin County

表 8 与生态红线不同距离下孟津县不同利用形态耕地面积

| Tab.8 Cultivated land area of different utilization patterns at different distances from ecological red line in Mengjin County |          |           |               |           |           | hm <sup>2</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------------|
| 类型                                                                                                                             | 与生态红线距离  |           |               |           | 合计        |                 |
|                                                                                                                                | 生态红线内    | 0 ~ 500 m | 500 ~ 1 000 m | > 1 000 m |           |                 |
| 未耕种                                                                                                                            | 12.56    | 21.24     | 13.19         | 670.39    | 717.38    |                 |
| 种植非粮食作物                                                                                                                        | 121.82   | 138.34    | 153.17        | 1723.33   | 2 136.66  |                 |
| 即可恢复                                                                                                                           | 177.12   | 187.34    | 99.41         | 6 543.03  | 7 006.90  |                 |
| 工程恢复                                                                                                                           | 89.78    | 681.57    | 456.36        | 6 548.44  | 7 776.15  |                 |
| 粮作耕地                                                                                                                           | 2 025.04 | 1 094.29  | 961.50        | 20 381.70 | 24 462.53 |                 |

黄河流域生态保护为重心,进行适当的生态基础设施建设,以维持区域生态安全的稳定。

4 不同耕地利用类型的优化调控

虽然孟津县的“非粮化”耕地调整恢复为耕地具有较高的自然适宜性,但在现有耕地不断被“边际化”利用的背景下,如果不加分类、“一刀切”地将“非粮化”耕地恢复调整为耕地,不仅会使政策执行效果大打折扣,而且还会造成反复的“过程性”浪费。在黄河流域生态保护日益凸显的今天,孟津县“非粮化”耕地的调整利用,要充分对接国家黄河战略,结合区域的生态红线、农户的发展需求、调整的难易程度等,分区、分类实施。

4.1 未耕种耕地

经济型撂荒是当前孟津县耕地撂荒的主要原因,确保优质耕地的粮作、粮用是防止耕地“非粮化”的核心要务。对位于生态红线内 12.56 hm<sup>2</sup>的未耕种耕地,应顺势引导,按照还原自然风光的建设目标,在保证农户效益不受损失的基础上,对生态红线内的未耕种土地实施生态化耕种或“野化”利用;对位于其他区域的未耕种土地,积极引导土地流转,通过发展家庭农场、农民合作社形式,发展粮食适度规模经营,大力发展代耕代种、土地托管等农业生产社会化服务,提高种粮规模效益。

4.2 种植非粮食作物耕地

在经济效益的驱使下,部分农户将粮作耕地调

整为种植非粮食作物,但是种植非粮食作物的用工量远高于粮食作物,从而导致种植非粮食作物耕地的平均斑块面积偏小,聚集程度偏低,无法产生规模经济。对于生态红线内 121.82 hm<sup>2</sup>的种植非粮食作物耕地,应按照生态红线内的管制规则,引导耕地的生态化耕种,严格控制化肥、农药的使用,按照以水定地的原则,控制农业用水总量,逐步压缩水稻种植面积;对于生态红线之外种植非粮食作物的耕地,应进一步完善产业布局规划,结合非粮作物的类型,引导经济作物种植的集聚效应,加快丘陵山区农田宜机化改造,支持粮食加工设施建设,延长产业链条,实施规模化、品牌化工程,提高粮食经营效益。

4.3 即可恢复地类

即可恢复地类中,由于调整为林地、园地或其他农用地的时间较短,仅需要简单的处理就能恢复为耕地。对于生态红线内的即可恢复地类,应最大程度减少人为干扰,有条件引导其“野化”利用。孟津县的即可恢复地类与交通干线的关系密切,在交通干线 400 m 的范围内分布着 47.83% 的即可恢复地类,对即可恢复地类中的园地,应承认其存在的合理性,对于在基本农田上种树等“非食物化”的地块,应及时恢复调整为耕地,防止调整不及时,从即可恢复“成长”为工程恢复。

4.4 工程恢复地类

孟津县工程恢复地类中,林地占比为 65.68%,且主要分布在小浪底、白鹤西部地形起伏较大的区

域,对待工程恢复地类,应尽量维持其现状,防止不当的工程施工对区域生态环境造成破坏。

## 5 结论

(1)由于缺乏系统性的规划和布局,孟津县的产业结构调整基本处于散乱、自发状态,在调整过程中,优质耕地的“非粮化”比重偏高,且“非粮化”耕地向林地调整的比重过大。“非粮化”耕地主要分布在 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的坡度区间,“非粮化”集中区与优质农业生产区高度重叠;“非粮化”耕地的平均斑块面积(AREA - MN)、聚集度指数(AI)均小于粮作耕地。从空间邻接情况来看,孟津县“非粮化”耕地调整恢复为粮作耕地具有较高的自然适宜性;随着交通工具在农村的普及,耕作距离对耕地“非粮化”利用的影响力度在下降。交通干线附近的即可恢复地类比重高;以农业劳动力析出为代表的经济型撂荒在高经济梯度区分布比重较大,中经济梯度区农户倾向粮食种植,低经济梯度区农户收入对耕地的依赖程度相对较高。落入生态红线内的“非粮化”耕地仅占“非粮化”耕地总面积的2.27%,对生态红线

内的“非粮化”耕地,应有序实施退耕还湿、还滩,尽力还原滩区自然风光。

(2)在现有耕地不断被“边际化”、“撂荒”利用的背景下,如果“一刀切”地将“非粮化”耕地恢复调整为耕地,容易造成“过程性”浪费。孟津县“非粮化”耕地的调整利用,应充分对接国家黄河战略,结合区域的生态红线、农户的发展需求、调整的难易程度等,分区、分类实施。在生态红线之内,应尽量减少人为干扰,积极实施生态化耕种和“再野化”工程。在生态红线之外,对于未耕种土地,应积极引导土地流转,通过发展家庭农场、代耕代种等农业生产社会化服务,提高种粮规模效益;对于种植非粮食作物耕地,应进一步完善产业布局规划,引导经济作物种植的集聚效应,加快丘陵山区农田宜机化改造,实施规模化、品牌化工程,进一步提高粮食经营效益;对于即可恢复地类中的园地,应承认其存在的合理性,对于在基本农田上种树等“非食物化”的地类,应及时调整,避免从即可恢复“成长”为工程恢复;对于工程恢复地类,应尽量维持其现状,防止不当的工程施工对区域生态环境造成破坏。

## 参 考 文 献

- [1] 王国敏,侯守杰.新冠肺炎疫情背景下中国粮食安全:矛盾诊断及破解路径[J].新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2021,42(1):120-133.  
WANG Guomin, HOU Shoujie. Ensuring China's food security in the global COVID-19 crisis: contradictions and resolutions [J]. Journal of Xinjiang Normal University (Philosophy and Social Sciences), 2021, 42(1): 120-133. (in Chinese)
- [2] 孔祥斌.制止耕地“非农化”须提升协同治理能力[J].中国党政干部论坛,2020(10):81-82.
- [3] 宋小青,欧阳竹.中国耕地多功能管理的实践路径探讨[J].自然资源学报,2012,27(4):540-551.  
SONG Xiaoqing, OUYANG Zhu. Route of multifunctional cultivated land management in China [J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(4): 540-551. (in Chinese)
- [4] 孙瑞,金晓斌,赵庆利,等.集成“质量-格局-功能”的中国耕地整治潜力综合分区[J].农业工程学报,2020,36(7):264-275.  
SUN Rui, JIN Xiaobin, ZHAO Qingli, et al. Comprehensive zoning of cultivated land consolidation potential integrating “quality - pattern - function” in China [J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(7): 264-275. (in Chinese)
- [5] GUO B, JIN X, YANG X, et al. Determining the effects of land consolidation on the multifunctionality of the cropland production system in China using a SPA-fuzzy assessment model [J]. European Journal of Agronomy, 2015, 63: 12-26.
- [6] 刘慧芳,毕如田,郭永龙,等.基于形态-结构-功能多维评价体系的耕地保护分区研究[J/OL].农业机械学报,2021,52(2):168-177,354.  
LIU Huifang, BI Rutian, GUO Yonglong, et al. Protection zoning of cultivated land based on form - structure - function multidimensional evaluation system [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(2): 168-177, 354. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20210215&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20210215&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2021.02.015. (in Chinese)
- [7] 温良友,孔祥斌,辛芸娜,等.对耕地质量内涵的再认识[J].中国农业大学学报,2019,24(3):156-164.  
WEN Liangyou, KONG Xiangbin, XIN Yunna, et al. Evolution of cultivated land quality connotation and its recognition [J]. Journal of China Agricultural University, 2019, 24(3): 156-164. (in Chinese)
- [8] 孔祥斌,张蚌蚌,温良友,等.基于要素-过程-功能的耕地质量理论认识及其研究趋势[J].中国土地科学,2018,32(9):14-20.  
KONG Xiangbin, ZHANG Bangbang, WEN Liangyou, et al. Theoretical framework and research trends of cultivated land quality based on elements - process - function [J]. China Land Science, 2018, 32(9): 14-20. (in Chinese)
- [9] 吕晓,牛善栋,谷国政,等.“新三农”视域下中国耕地利用的可持续集约化:概念认知与研究框架[J].自然资源学报,2020,35(9):2029-2043.  
LÜ Xiao, NIU Shandong, GU Guozheng, et al. Conceptual cognition and research framework on sustainable intensification of cultivated land use in China from the perspective of the “New Agriculture, Countryside and Peasants” [J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(9): 2029-2043. (in Chinese)
- [10] 冯丹玥,刘晶,单薇,等.面向多功能复合的耕地保护内涵拓展与管理模式初探[J].土地经济研究,2019(1):149-164.  
FENG Danyue, LIU Jing, SHAN Wei, et al. Preliminary study on connotation extension and management mode of multi-

- functional and compound cultivated land protection[J]. *Journal of Land Economics*, 2019(1):149–164. (in Chinese)
- [11] 张小丹,吴克宁,杨洪钧,等. 耕地健康产能内涵及评价指标体系研究进展[J]. *土壤通报*, 2020, 51(1):245–252.  
ZHANG Xiaodan, WU Kening, YANG Qijun, et al. Progress on connotation and evaluation index system of cultivated land healthy productivity[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2020, 51(1):245–252. (in Chinese)
- [12] 温良友,张青璞,孔祥斌,等. 基于产能与健康综合评价的北京大兴区耕地整治分区[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(22):79–89.  
WEN Liangyou, ZHANG Qingpu, KONG Xiangbin, et al. Arable land consolidation zoning based on comprehensive evaluation of capacity and health[J]. *Transactions of the CSAE*, 2019, 35(22):79–89. (in Chinese)
- [13] 高涵,陈伟强,郎文聚. 耕地健康及其管理问题探讨[J]. *中国土地*, 2018(12):23–25.
- [14] 唐健,魏西云,戴劲. 国土空间视角下差别化耕地保护政策的选择[J]. *中国土地*, 2020(8):4–9.
- [15] 赵馨,周忠发,朱孟,等. 基于景观格局的西南山区耕地生态风险研究[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(6):362–369, 376.  
ZHAO Xin, ZHOU Zhongfa, ZHU Meng, et al. Research on ecological risk of Karst rocky desertification cultivated land based on landscape pattern[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2020, 27(6):362–369, 376. (in Chinese)
- [16] 关小克,王秀丽,陈伟强. 县域耕地边际化风险评价与验证[J/OL]. *农业机械学报*, 2020, 51(2):153–160.  
GUAN Xiaoke, WANG Xiuli, CHEN Weiqiang. Risk evaluation and verification of marginalization of farmland in county area [J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2020, 51(2):153–160. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=2002017&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2002017&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.02.017. (in Chinese)
- [17] 高延雷,王志刚. 城镇化是否带来了耕地压力的增加?——来自中国的经验证据[J]. *中国农村经济*, 2020(9):65–85.  
GAO Yanlei, WANG Zhigang. Does urbanization increase the pressure of cultivated land? Evidence based on interprovincial panel data in China[J]. *Chinese Rural Economy*, 2020(9):65–85. (in Chinese)
- [18] 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.  
LI Shengfa, LI Xiubin. Progress and prospect on farmland abandonment[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(3):370–389. (in Chinese)
- [19] XIN Liangjie, LI Xiubin. China should not massively reclaim new farmland[J]. *Land Use Policy*, 2018, 72(34):12–15.
- [20] 邵景安,张仕超,李秀彬. 山区耕地边际化特征及其动因与政策含义[J]. *地理学报*, 2014, 69(2):227–242.  
SHAO Jing'an, ZHANG Shichao, LI Xiubin. Farmland marginalization in the mountainous areas: characteristics, influencing factors and policy implications[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(2):227–242. (in Chinese)
- [21] 李娅娅,赵小凤. 基于PVAR的农民收入结构对耕地非粮化影响的实证研究[J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(8):210–214.  
LI Yaya, ZHAO Xiaofeng. Empirical study on the impact of farmers' income structure on non-grain farmland based on PVAR [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59(8):210–214. (in Chinese)
- [22] 宋戈,武晋伊. 土地承包经营权流转“非粮化”原因剖析及政策调控[J]. *学术交流*, 2016(7):122–126.
- [23] 武舜臣,于海龙,储怡菲. 农业规模经营下耕地“非粮化”研究的局限与突破[J]. *西北农林科技大学学报(社会科学版)*, 2019, 19(3):142–151.  
WU Shunchen, YU Hailong, CHU Yifei. Limitation and breakthroughs in the study of “non grain” in cultivated land under agricultural scale management[J]. *Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition)*, 2019, 19(3):142–151. (in Chinese)
- [24] 易小燕,陈印军. 农户转入耕地及其“非粮化”种植行为与规模的影响因素分析——基于浙江、河北两省的农户调查数据[J]. *中国农村观察*, 2010(6):2–10, 21.
- [25] 薛选登,张一方. 产粮大县耕地“非粮化”现象及其防控[J]. *中州学刊*, 2017(8):40–45.  
XUE Xuandeng, ZHANG Yifang. Current situation, causes and countermeasures regarding non-grain growing of farmland in major grain-producing counties[J]. *Academic Journal of Zhongzhou*, 2017(8):40–45. (in Chinese)
- [26] 张宗毅,杜志雄. 土地流转一定会导致“非粮化”吗?——基于全国1740个种植业家庭农场监测数据的实证分析[J]. *经济动态*, 2015(9):63–69.
- [27] 罗必良,仇童伟. 中国农业种植结构调整:“非粮化”抑或“趋粮化”[J]. *社会科学战线*, 2018(2):39–51, 2.
- [28] 张藕香. 农户分化视角下防止流转土地“非粮化”对策研究[J]. *中州学刊*, 2016(4):49–54.  
ZHANG Ouxiang. Research on countermeasures of preventing circulation-land “non-grain” under the perspective of peasant households differentiation[J]. *Academic Journal of Zhongzhou*, 2016(4):49–54. (in Chinese)
- [29] 隋玉亭,徐樑. 由“三调”技术调整透视国土空间治理的政策导向[J]. *中国土地*, 2019(12):24–27.
- [30] 王晶晶,孙玲,王志明,等. 基于GF-2影像的江苏耕地破碎地区景观格局空间粒度效应分析[J]. *江苏农业学报*, 2020, 36(3):606–612.  
WANG Jingjing, SUN Ling, WANG Zhiming, et al. Effect analysis of spatial grain size on cultivated landscape pattern in fragmented agricultural landscapes in Jiangsu Province based on GF-2 imagery[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 36(3):606–612. (in Chinese)
- [31] 罗志军,赵越,赵杰,等. 基于景观格局与空间自相关的永久基本农田划定研究[J/OL]. *农业机械学报*, 2018, 49(10):195–204.  
LUO Zhijun, ZHAO Yue, ZHAO Jie, et al. Defining of permanent basic farmland based on landscape pattern and spatial autocorrelation[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018, 49(10):195–204. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20181022&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20181022&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.10.022. (in Chinese)
- [32] 角媛梅,肖笃宁. 绿洲景观空间邻接特征与生态安全分析[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(1):31–35.  
JIAO Yuanmei, XIAO Duning. Spatial neighboring characteristics among patch types in oasis and its ecological security[J].

- Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(1): 31–35. (in Chinese)
- [33] 汤萃文, 张忠明, 苏研科, 等. 石羊河上游林区景观空间邻接特征及生态安全分析[J]. 干旱区地理, 2013, 36(2): 311–317.  
TANG Cuiwen, ZHANG Zhongming, SU Yanke, et al. Spatial neighboring characteristics among forest landscape types patches on the upper reaches of Shiyang River Basin and its ecological security[J]. Arid Land Geography, 2013, 36(2): 311–317. (in Chinese)
- [34] 关小克, 王秀丽, 张凤荣, 等. 生态刚性约束下的山区农村居民点整治与调控——以北京市门头沟区为例[J]. 资源科学, 2017, 39(2): 220–230.  
GUAN Xiaoke, WANG Xiuli, ZHANG Fengrong, et al. Rehabilitation and adjustment of rural residences in mountainous areas under rigid ecological constraints[J]. Resources Science, 2017, 39(2): 220–230. (in Chinese)
- [35] 吴洁璇, 陈振杰, 李满春, 等. 基于邻接关系的土地利用变化空间关联规则研究[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(9): 1537–1544.  
WU Jiexuan, CHEN Zhenjie, LI Manchun, et al. Research on spatial association rules of land use change based on the spatial adjacency relations[J]. Resources and Environment in the Yangze Basin, 2015, 24(9): 1537–1544. (in Chinese)
- [36] 张伯林, 蔡为民, 张凤荣, 等. 隋朝至1949年山东省沂源县农村居民点的时空格局及驱动力[J]. 地理研究, 2016, 35(6): 1141–1150.  
ZHANG Bailin, CAI Weimin, ZHANG Fengrong, et al. Spatio-temporal evolution of rural settlements and its driving forces in Yishui County, Shandong Province from Sui Dynasty to 1949[J]. Geographical Research, 2016, 35(6): 1141–1150. (in Chinese)
- [37] 唐丽静, 王冬艳, 王霖琳. 基于耕作半径合理布局居民点研究——以山东省沂源县城乡建设用地增减挂钩项目区为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(6): 59–64.  
TANG Lijing, WANG Dongyan, WANG Linlin, et al. Rational distribution of rural settlements based on farming radius—a case study in rural-urban construction land in Yiyuan County, Shandong Province[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(6): 59–64. (in Chinese)
- [38] 关小克, 王秀丽, 张伯林, 等. 不同经济梯度区典型农村居民点形态特征识别与调控[J]. 经济地理, 2018, 38(10): 190–200.  
GUAN Xiaoke, WANG Xiuli, ZHANG Bailin, et al. Morphological characteristics identification and adjustment of typical rural settlements based on different economic gradient regions[J]. Economic Geography, 2018, 38(10): 190–200. (in Chinese)
- [39] 关小克, 王秀丽, 任圆圆, 等. 黄河沿岸不同生态功能区耕地整治与优化调控研究[J/OL]. 农业机械学报, 2020, 51(12): 175–183, 237.  
GUAN Xiaoke, WANG Xiuli, REN Yuanyuan, et al. Regulation and optimization of cultivated land in different ecological function areas along Yellow River[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(12): 175–183, 237. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20201219&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20201219&flag=1). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2020.12.019. (in Chinese)

#### (上接第108页)

- [25] 冯俊小, 林佳, 李十中, 等. 秸秆固态发酵回转筒内颗粒混合状态离散元参数标定[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 208–213.  
FENG Junxiao, LIN Jia, LI Shizhong, et al. Calibration of discrete element parameters of particle in rotary solid state fermenters[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 208–213. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20150330&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150330&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.03.030. (in Chinese)
- [26] 廖宜涛, 王在腾, 廖庆喜, 等. 果菜初期饲料油菜茎秆离散元接触模型参数标定[J]. 农业机械学报, 2020, 51(增刊1): 236–243.  
LIAO Yitao, WANG Zaiteng, LIAO Qingxi, et al. Calibration of discrete element model parameters of forage rape stalk at early pod stage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(Suppl. 1): 236–243. (in Chinese)
- [27] 贾富国, 韩燕龙, 刘扬, 等. 稻谷颗粒物料堆积角模拟预测方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11): 254–260.  
JIA Fuguo, HAN Yanlong, LIU Yang, et al. Simulation prediction method of repose angle for rice particle materials[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(11): 254–260. (in Chinese)
- [28] 武涛, 黄伟凤, 陈学深, 等. 考虑颗粒间黏结力的黏性土壤离散元模型参数标定[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(3): 93–98.  
WU Tao, HUANG Weifeng, CHEN Xueshen, et al. Calibration of discrete element model parameters of cohesive soil considering the cohesion between particles[J]. Journal of South China Agricultural University, 2017, 38(3): 93–98. (in Chinese)
- [29] SUN Jianfeng, CHEN Huaming, WANG Zaiman, et al. Study on plowing performance of EDEM low-resistance animal bionic device based on red soil[J]. Soil and Tillage Research, 2020, 196: 104336.
- [30] 贾洪雷, 刘行, 余海波, 等. 免耕播种机凹面爪式清茬机构仿真与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(11): 60–69.  
JIA Honglei, LIU Hang, YU Haibo, et al. Simulation and experiment on stubble clearance mechanism with concave claw-type for no tillage planter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(11): 60–69. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20181108&flag=1&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20181108&flag=1&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.11.008. (in Chinese)