

基于宜耕性评价的耕地利用效率分区与提升路径

王秀丽^{1,2} 李程秀¹ 刘瑜歆³ 冀正欣⁴ 李玲¹ 蔚霖¹

(1. 河南农业大学资源与环境学院, 郑州 450002;

2. 河南省土地整治与生态重建工程技术研究中心, 郑州 450002;

3. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 4. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193)

摘要: 在宜耕性的基础上,为合理提高耕地利用效率、加强生态文明建设和资源可持续利用,以原阳县为例,综合考虑耕地利用效率与宜耕性评价结果,对耕地利用效率进行分区,提出各区域耕地利用效率提升路径。结果表明:从耕地利用效率来看,原阳县耕地利用整体水平不高,其综合效率均值为0.837,纯技术效率和规模效率均有较大的提升空间;从宜耕性评价结果来看,原阳县耕地的适宜宜耕区、基本适宜宜耕区、低适宜宜耕区、流域保护区面积分别占耕地总面积的37.84%、41.36%、19.09%、1.71%,整体宜耕性较强。叠加组合耕地利用效率和宜耕性评价结果,将原阳县耕地利用效率分为保持区、提升区、调整区、保护区。从可持续利用和生态保护角度考虑,结合差异化的整治措施,保持区宜耕性和耕地利用效率均较高,应以维持现有耕地利用效率、延伸耕地的生态和经济价值为重点;提升区宜耕性强、耕地利用效率较低,应通过规模化经营最大限度地提高其有效利用效率;调整区宜耕性差,不宜提升耕地利用效率,应发展生态农业或设施水培农业,在提高耕地经济效益的同时,缓解耕地与生态保护压力;保护区内耕地应逐步退出,充分发挥其湿地功能与生态功能。本研究可为耕地资源的可持续利用提供决策参考。

关键词: 耕地利用效率分区; 提升路径; 宜耕性评价; 原阳县

中图分类号: F301.21 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2021)05-0212-07 OSID: 

Zoning and Improving Path of Cultivated Land Use Efficiency
Based on Evaluation of Cultivated Land Suitability

WANG Xiuli^{1,2} LI Chengxiu¹ LIU Yuxin³ JI Zhengxin⁴ LI Ling¹ YU Lin¹

(1. College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2. Henan Engineering Research Center of Land Consolidation and Ecological Restoration, Zhengzhou 450002, China

3. College of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

4. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to reasonably improve the efficiency of cultivated land use, strengthen the construction of ecological civilization and the sustainable use of resources on the basis of cultivated landsuitability, taking Yuanyang County as an example, the cultivated land use efficiency was divided into different regions by comprehensively considering the evaluation results of cultivated land use efficiency and suitability, and the measures for improving the cultivated land use efficiency in each region was proposed. The results showed that from the perspective of cultivated land use efficiency, the average value of cultivated land use comprehensive efficiency in Yuanyang County was 0.837, the overall level was not high, and there was a large space for improvement of pure technical efficiency and scale efficiency. According to the evaluation results of cultivated land suitability, the suitable arable area, basic suitable arable area, low suitable arable area and basin protection area accounted for 37.84%, 41.36%, 19.09% and 1.71% of the total cultivated land in Yuanyang County, respectively, and the arable ability was strong. The cultivated land use efficiency in Yuanyang County was divided into conservation area, promotion area, adjustment area and protection area by superposition of the evaluation results of cultivated land use efficiency and arable land suitability. From the perspective of sustainable

收稿日期: 2021-01-07 修回日期: 2021-02-21

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(42007003)、河南省科技攻关项目(212102310213)、河南省哲学社会科学规划项目(2019BJJ040)、河南省教育厅人文社科项目(2020-ZZJH-189)和河南省软科学项目(192400410111)

作者简介: 王秀丽(1983—),女,讲师,博士,主要从事土地整治、土地评价与规划研究,E-mail: wangxiuli0614@163.com

utilization and ecological protection, combining with differentiated remediation measures, in the conservation area, maintaining high arable land, arable land use efficiency and extending the ecological and economic value of arable land were the key points. The promotion area had strong arable and low cultivated land use efficiency. It can maximize its effective use efficiency through large-scale operation. In the adjustment area, the suitable tillage was poor, and the utilization efficiency of cultivated land should not be improved. Ecological agriculture or facility hydroponic agriculture should be developed to improve the economic benefits of cultivated land and alleviate the pressure of cultivated land and ecological protection. The cultivated land in the protected area would be withdrawn gradually, and its wetland and ecological functions would be brought into full play. The research results can provide reference for the sustainable utilization of cultivated land resources.

Key words: zoning of cultivated land use efficiency; improving path; evaluation of cultivated land suitability; Yuanyang County

0 引言

耕地利用效率是反映耕地利用过程中投入的各项资源是否实现优化配置的重要指标,宜耕性则用来评价某块土地是否适宜耕作。伴随着我国城镇化进程的推进,一方面,耕地资源不断被占用,面临着生态环境污染、后备资源紧缺、劳动力不足的窘境,如何在有限的耕地资源上提高利用效率、保障我国粮食安全,已成为当前亟需解决的问题;另一方面,在生态文明建设背景下,我国农业生产已经由解决温饱转向生产方式问题上,耕地的低效利用与过度集约均与可持续发展目标相悖。因此,需要考虑地块的宜耕性,进而制定科学合理的耕地利用效率提升措施,这对实现耕地的可持续利用、保障国家粮食安全与资源的有效供给具有重要的理论和现实意义。

目前,诸多学者基于不同方法与尺度对耕地利用效率和宜耕性评价进行了研究,以指导农业生产实践。耕地利用效率评价主要从生产要素的投入及社会、经济效益的产出过程对耕地利用效率评价指标进行选取^[1-3],运用 DEA 模型^[4]、Tobit 回归模型^[5]、SBM 模型^[6-7]等方法进行测算,尺度上更多侧重于全国、省、市。宜耕性评价多从利用的限制性角度出发,从最初的自然因素指标^[8-9]逐渐扩展到经济、社会、生态等多因素指标体系^[10-14],限制性因素法^[15-16]、极限条件法^[17]、综合指数法^[18-19]等评价方法的应用较为广泛,研究尺度从宏观到微观农户、田块均有涉及。

虽然耕地利用效率与宜耕性评价的理论、方法体系已经较为完善,但是综合考虑两者来指导提升耕地利用效率的研究相对较少,而针对具有重要粮食安全保障功能的粮食主产区的研究则更少。本文以全国粮食主产区——河南省原阳县为研究区,在测算分析耕地利用效率特征的基础上,根据耕地的宜耕性评价结果划分耕地利用效率提升区域,以期

为耕地资源的合理利用与差别化的政策制定提供参考。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

原阳县隶属于河南省新乡市,全县辖 16 个乡镇,3 个办事处,583 个行政村。截至 2018 年,原阳县共有耕地 70 467.84 hm²,占土地总面积的 79.93%。原阳县属暖温带大陆性季风气候,地处豫北的黄河冲积平原,独特的地理生长条件使其成为全国商品粮生产基地和优质水稻种植示范区。原阳县区位特殊,毗邻新欧亚大陆桥郑州站,处于米字形高铁网和中国交通京港澳与连霍高速大十字架的中心位置。作为河南省粮食主产区,从可持续发展角度,基于其宜耕性来探讨耕地利用效率的提升路径,对促进中原粮食生产、制定耕地保护战略具有较强的代表性与借鉴意义。

1.2 数据来源

(1)统计类数据,如粮食总产量、种植业总产值、农作物总播种面积、农业从业人数、农业机械总动力、化肥施用量等数据来源于《原阳县统计年鉴》(2018 年)。

(2)空间数据,如土地利用数据来源于基于二调的 2018 年变更数据库,土壤有机质含量数据来源于河南省土壤数据库(1:10 000);灌溉保证率数据来源于原阳县耕地地力评价成果;水资源利用状况来源于原阳县浅层地下水开采图。

2 研究思路与研究方法

2.1 研究思路

随着科技和农业生产技术的进步,耕地利用过程中的自然限制性因素越来越少。但在生态文明建设、资源可持续利用需求日益凸显的背景下,宜耕性需要综合考虑其自然禀赋、耕作便利性和生态保护等方面的要求,在不宜耕种的土地上,一味提升耕地

的利用效率,势必会造成生产要素的浪费甚至是生态的破坏,而在适宜耕种的土地上,由于投入产出未达到资源的最优化配置,也是一种资源的浪费。因而,耕地利用效率的提升应遵从地块的宜耕性,从而判别、制定耕地利用效率提升的方向和政策。鉴于此,本文首先基于投入产出系统,构建耕地利用效率评价指标体系,以乡镇为单元评价耕地利用效率;同时,从自然禀赋、耕作便利性、生态保护等方面构建宜耕性评价指标体系,以耕地图斑为评价单元,分析现状耕地的宜耕性;将二者评价结果叠加组合,进行耕地利用效率分区,针对各区域的特点和问题,从可持续发展和生态保护角度,结合土地整治工程措施,提出具体的实施路径,从而指导区域农业生产和黄河流域生态保护建设。

2.2 研究方法

2.2.1 耕地利用效率评价

(1)耕地利用效率评价指标体系构建

借鉴文献[20-22],基于投入产出系统,从土地、劳动力、资本等农业生产的三要素出发,选取农作物总播种面积、农业从业人数、农业机械总动力、化肥施用量、粮食总产量与种植业总产值6个指标构建耕地利用效率评价指标体系(表1)。

表1 耕地利用效率评价指标体系

Tab.1 Evaluation index system of cultivated land use efficiency		
指标属性	指标	选取依据
投入指标	农作物总播种面积 X_1 (hm ²)	耕地投入
	农业从业人数 X_2 (人)	人力投入
	农业机械总动力 X_3 (万 kW)	机械投入
	化肥施用量 X_4 (kg)	生产资料投入
产出指标	粮食总产量 X_5 (kg)	耕地产出
	种植业总产值 X_6 (万元)	经济效益产出

(2)耕地利用效率计算

数据包络分析是基于相对效率的多投入与多产出的测算分析方法,利用“投入-产出”系统确定生产前沿面以评价决策单元效率的经典模型^[23]。本文采用报酬不变模型下的投入导向型来对耕地利用综合效率进行测算,具体公式参见文献[20]。将综合效率分解为纯技术效率和规模效率。综合效率是对耕地利用投入和产出指标的相对量算,即单位面积耕地投入与其物质产出和有效成果的衡量,等于其纯技术效率与规模效率的乘积。纯技术效率反映的是在一定的生产技术水平下,耕地所有的投入要素是否充分发挥其生产潜能,规模效率则测算在农业生产过程中耕地利用的投入规模是否达到农业产出最大化的要求。借助 Deap2.1 平台,测算原阳县

各乡镇的耕地利用综合效率、纯技术效率及规模效率。

2.2.2 现状耕地宜耕性评价

(1)现状耕地宜耕性评价指标体系构建

基于整体性、代表性、可获取性和差异性原则,结合原阳县实际情况,从自然禀赋、耕作便利性、生态保护3方面选取7个指标^[24-27]构建现状耕地宜耕性评价指标体系(表2)。其中土壤有机质含量、灌溉保证率代表自然禀赋条件;耕地连片度、耕作半径、路网密度反映耕作便利性;水资源利用状况、流域保护(与黄河北岸距离)代表生态保护。采用层次分析法确定各指标的权重。

表2 原阳县现状耕地宜耕性评价指标体系与权重
Tab.2 Evaluation index system and its weight of cultivated land suitability in Yuanyang County

一级指标	二级指标	权重	选取依据
自然禀赋(0.31)	土壤有机质含量(%)	0.17	养分潜力
	灌溉保证率	0.14	引水灌溉能力
耕作便利性(0.46)	耕地连片度	0.15	机械化潜力
	耕作半径(m)	0.17	生产管理便捷度
	路网密度(km/km ²)	0.14	生产农作便利度
生态保护(0.23)	水资源利用状况	0.12	水资源的紧缺性
	与黄河北岸距离(km)	0.11	区域生态保护

(2)现状耕地宜耕性评价指标处理

土壤有机质含量、灌溉保证率、水资源利用状况分别从河南省土壤数据库、原阳县耕地地力评价成果、原阳县浅层地下水开采图中提取,水资源利用状况参照水源地分级保护标准进行缓冲区处理,流域保护以耕地到黄河沿岸距离进行缓冲区处理。其他指标计算如下。

耕地连片度:为耕地地块的集中连片程度,计算公式为

$$P = \frac{L}{A}$$
 (1)

式中 P ——耕地连片度

L ——村域内耕地周长总和,m

A ——村域内耕地面积总和,m²

耕地连片度越大,耕地被分割的程度越大;反之,耕地连片度越小,耕地被分割的程度越小。

耕作半径:耕作田块到农村居民点的距离,通过 ArcGIS 中的 Near 分析工具获取。

路网密度:为道路密集程度,按行×列(100×100)创建单元格网,计算每个格网内的路网密度,计算公式为

$$D = \frac{C}{T}$$
 (2)

式中 D ——路网密度,km/km²

C ——格网单元内道路长度, km
 T ——格网单元面积, km²

(3) 现状耕地宜耕性评价指标分级与赋值

通过借鉴相关学者的学术研究与分级结果^[25,28-30],采用分级赋值法对宜耕性评价指标进行

赋值,分值为 0~4,分值越高表示该区域耕地的宜耕性越好,反之亦然(表 3)。为突出黄河水域生态保护的重要性与河道安全性,实行生态保护重要区一票否决制,将黄河沿岸 1 km 内耕地直接划定为流域保护区,赋值为 0,不适宜耕作。

表 3 原阳县现状耕地宜耕性评价指标分级与赋值

Tab.3 Grade and assignment of cultivated land suitability evaluation index in Yuanyang County

指标	分值				
	0	1	2	3	4
土壤有机质含量/%		[0,0.6)	[0.6,1.0)	[1.0,2.0)	[2.0,+∞)
灌溉保证率			保灌区		能灌区
耕地连片度		(0.06,+∞)	(0.04,0.06]	(0.02,0.04]	(0,0.02]
耕作半径/m		[1 500,+∞)	[1 000,1 500)	[500,1 000)	[0,500)
路网密度/(km·km ⁻²)		[0,2.5)	[2.5,5)	[5,15)	[15,+∞)
水资源利用状况		浅层地下水超采区			浅层地下水未超采区
流域保护/km	[0,1]	(1,2.5]	(2.5,5]		(5,+∞)

(4) 现状耕地宜耕性评价计算

采用加权综合评价法计算各评价单元的总分值。计算方法为

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i W_i \tag{3}$$

式中 Q ——评价单元总分值
 Q_i 、 W_i ——第 i 个指标的分值、权重
 n ——评价单元数量

3 结果与分析

3.1 耕地利用效率评价结果与分析

耕地利用效率评价结果如表 4 所示,按综合效

率,将耕地利用效率的等级划分为高效率区(0.900,1](H)、中等效率区(0.837,0.900](M)、低效率区[0.657,0.837](L)。

整体来看,原阳县耕地利用综合效率均值为 0.837,高、中、低效率区乡镇的比例分别为 31%、6% 和 63%。高效率区的 5 个乡镇中,除原武镇外,其他 4 个乡镇的耕地利用效率均为 1,说明这几个乡镇在当前技术水平下,耕地资源的投入与产出都达到了前沿面的最佳状态,农业投入要素利用充分,实现了资源配置的最优化。大部分乡镇综合效率小于平均值,属于低效率区,耕地利用效率未达到最有效状态,存在不同程度的投入产出错配,仍有较大的提升空间。其中,祝楼乡、大宾镇、陡门乡投入未能充分发挥其潜力,导致纯技术效率过低,需要进一步优化资源的投入产出效率。官厂镇、路寨乡、靳堂乡受限于规模效率较低,一方面是由于耕地的细碎化导致规模效益不突出;另一方面,随着城镇化的发展,大量农业生产空间被挤压,规模化经营程度较低,应积极推广耕地的适度规模经营,以实现其规模效率的优化。

3.2 现状耕地宜耕性评价结果与分析

依据评价单元总分值,采用断点法将宜耕性等级划分成 4 个等级,即适宜宜耕区(3.09,4](H)、基本适宜宜耕区(2.79,3.09](M)、低适宜宜耕区(1.00,2.79](L)和流域保护区[0](N),得到原阳县现状耕地宜耕性等级空间分布图(图 1)。

(1) 适宜宜耕区

面积 26 666.08 hm²,占耕地总面积的 37.84%。从空间分布看,主要分布在县城西部的原武镇、靳堂乡、葛埠口乡、祝楼乡,以及县城东北部的阳阿乡、福

表 4 原阳县各乡镇耕地利用效率

Tab.4 Cultivated land use efficiency of each township in Yuanyang County

乡镇名称	综合效率	纯技术效率	规模效率
葛埠口乡	0.827	1	0.867
福宁集镇	1	1	1
师寨镇	1	1	1
祝楼乡	0.797	0.764	0.809
桥北乡	0.762	0.925	0.925
韩董庄镇	0.832	0.859	0.759
原武镇	0.933	0.941	0.941
蒋庄乡	1	1	1
官厂镇	0.700	0.747	0.747
大宾镇	0.715	0.727	0.827
陡门乡	0.657	0.726	0.756
齐街镇	1	1	1
太平镇	0.837	0.895	0.940
路寨乡	0.728	0.810	0.712
阳阿乡	0.881	0.962	0.962
靳堂乡	0.715	0.761	0.711
均值	0.837	0.882	0.872

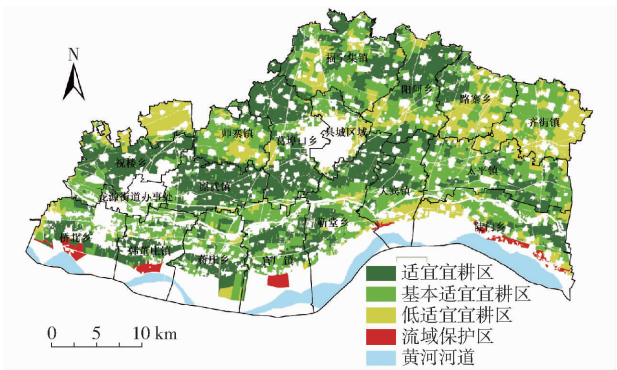


图 1 原阳县现状耕地宜耕性等级空间分布图

Fig.1 Spatial distribution of cultivated land suitability grade in Yuanyang County

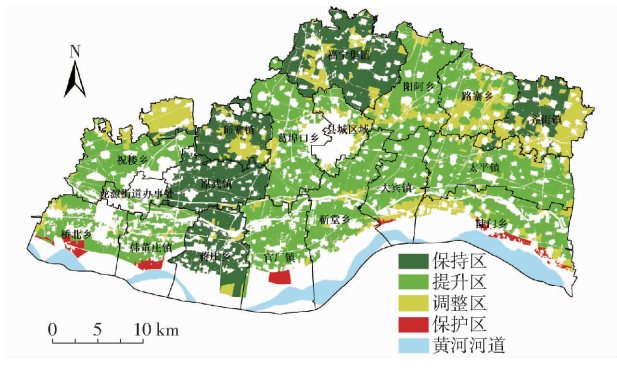


图 2 原阳县耕地利用效率提升区域空间分布图

Fig.2 Spatial distribution of cultivated land use efficiency improvement in Yuanyang County

宁集镇的部分区域。该地区土壤有机质含量高,耕地连片度高于其他乡镇,具有临近主要交通道路的区位优势,并且农田水利设施完善,能有效保证灌溉,耕作半径小,路网密度大,提高了耕作管理的便捷度。此外就生态保护上来看,该区域地下水资源状况良好,离黄河水域保护范围较远,生态环境制约小。

(2) 基本适宜宜耕区

面积 29 149. 21 hm², 占耕地总面积的 41. 36%。空间分布较散,但大体呈环绕适宜宜耕区分布的状态,包括太平镇、齐街镇、福宁集镇、陡门乡等乡镇。该区域自然禀赋条件较优越,但是交通区位条件稍差,耕作半径较大,部分区域地下水存在超采现象,生态保护受到不同程度的制约。

(3) 低适宜宜耕区

面积 13 450. 06 hm², 占耕地总面积的 19. 09%。从空间分布看,一部分位于原阳县城北部、西部的福宁集镇、师寨镇,受城区建设辐射的影响,耕地连片度较差,同时耕作半径大,浅层地下水超采,宜耕性较差。另一部分主要分布于沿黄乡镇的南部区域,受河道保护的限制,不宜进行耕地的开发利用,应着重加强生态环境的保护。

(4) 流域保护区

面积 1 202. 49 hm², 占耕地总面积的 1. 71%。主要考虑黄河流域生态环境保护与可持续发展的要求,黄河沿岸 1 km 内禁止耕作,这不仅涉及到流域河道安全性,也是保护水域与湿地生态系统功能的需要。

3.3 耕地利用效率分区与提升路径

以宜耕性为分区前提,按照宜耕性评价结果与耕地利用综合效率的叠加组合关系,将原阳县耕地利用效率分为保持区、提升区、调整区、保护区 4 个区域(图 2)。

(1) 保持区(H-H/M-H)

面积 16 862. 95 hm², 占耕地总面积的 23. 93%。主要集中分布在师寨镇、原武镇、蒋庄乡、福宁集镇、

齐街镇 5 个乡镇。此区域耕地的宜耕性较高,除原武镇外,其他 4 个乡镇的耕地利用效率均达到最高点,提升空间不大,若再增加投入,边际效应反而会下降。因此,本区域应维持现有生产效率,以高新农业工程技术为支撑,通过农田整治,优化用地结构布局,提高耕地质量和连片度,重点发展生态农业和休闲观光农业,改善农田生产条件和生态景观,并配备必要的服务设施,释放农田的观赏价值与潜力,进而提高其生态和经济价值,实现农业经济的发展和农民增收。

(2) 提升区(H-L/M-L/M-H-M)

面积 38 952. 38 hm², 占耕地总面积的 55. 28%。主要分布在祝楼乡、韩董庄镇、桥北乡、官厂镇、葛埠口乡、靳堂乡、大宾镇、路寨乡、太平镇、阳阿乡等乡镇。就该区域而言,耕地自然禀赋条件优越、社会经济条件优势明显,具备较高的宜耕性,但是耕地利用效率处于中等、低水平,提升潜力空间较大。因此,应采取耕地纯技术效率与规模效率并抓的方式来提高耕地利用综合效率:一方面,要重视农业生产经营过程中科学技术的投入,有条件地通过改良生产经营手段与更新机器设备、种植技术;另一方面,通过流转适度扩大规模效益;此外,重点开展土地整治工程项目,在改善农业生产条件的同时,推进权属调整,在不改变农民承包地面积的基础上,通过调整地块位置的方式建设集中连片的高标准农田,提高耕地的集中规模化经营,避免农业机械等投入要素的冗余,提高耕地的利用效率。

(3) 调整区(L-H/L-M/L-L)

面积 13 450. 02 hm², 占耕地总面积的 19. 08%。零散分布于各乡镇中,以葛埠口乡、师寨镇、福宁集镇、齐街镇、陡门乡分布较为集中。该区域耕地连片度较差、耕作便捷度不高,加之部分区域地下水存在超采现象,因此耕地的宜耕性较差,过度的耕地利用会对生态环境造成危害。因此,利用效率高的区域应适当降低耕地利用强度,减少农药、化肥要素的投

入,调整作物种植结构,宣传并推广旱作、节水等生态农业种植模式,积极推进农村土地综合整治,完善道路交通等农业生产所需的基础设施,提高农业机械化效率。此外,可以发展设施水培农业,只占其地,不用其土,并合理发展科技示范、观光休闲等延伸产业,不仅能够提高经济效益,也可缓解地方耕地保护压力。

(4)保护区(流域保护区N)

面积1 202.49 hm²,占耕地总面积的1.71%。主要分布在黄河沿岸的各乡镇,该区域应以生态环境保护和生态系统服务功能提升为导向,重点发挥黄河流域湿地的生态功能和休闲观光功能,有计划地引导耕地逐步退出。将黄河景观生态廊道的建设和湿地旅游相结合,辐射带动周边耕地休闲娱乐产业的发展,也有助于沿黄湿地的生态保护。

4 结论

(1)原阳县耕地综合利用效率整体水平不高,

除部分乡镇耕地利用效率达到较为有效状态外,大部分乡镇处于平均值以下水平,无论是纯技术效率还是规模效率都有较大的提升空间。

(2)从自然禀赋、耕作便利性、生态保护3方面构建现状耕地的宜耕性评价体系,结果显示,原阳县耕地以适宜宜耕区、基本适宜宜耕区为主,低适宜宜耕区主要受耕地连片度差,耕作半径和生态保护压力大的限制,由于生态保护的需求,流域保护区不适宜耕作。

(3)在农业可持续发展与生态保护的背景下,耕地利用效率的提升仍应顾及土地宜耕性。针对不同耕地利用效率提升区域,采取差别化的整治措施,从而实现耕地的可持续利用。在宜耕性强的地区,应最大限度地提高现有耕地利用效率;在宜耕性差的地区,要转变耕地利用方式,突出其生态保护的重要性,结合区位优势,发展生态农业,适度发展设施水培农业;在流域保护区,应逐步引导耕地退出,发挥其湿地与生态功能。

参 考 文 献

- [1] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498–509.
- [2] 姜晗,杨皓然,吴群. 东部沿海经济区耕地利用效率的时空格局分异及影响因素研究[J]. *农业现代化研究*, 2020, 41(2): 321–330.
- [3] LUO Xiang, AO Xinhe, ZHANG Zuo, et al. Spatiotemporal variations of cultivated land use efficiency in the Yangtze River Economic Belt based on carbon emission constraints [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2020, 30(2): 535–552.
- [4] 张荣天,焦华富. 中国省际耕地利用效率时空格局分异与机制分析[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(2): 277–287. ZHANG Rongtian, JIAO Huafu. Spatial-temporal pattern differentiation and its mechanism analysis of using efficiency for provincial cultivated land in China[J]. *Transactions of the CSAE*, 2015, 31(2): 277–287. (in Chinese)
- [5] 卢新海,匡兵,李菁. 碳排放约束下耕地利用效率的区域差异及其影响因素[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(4): 657–668. LU Xinhai, KUANG Bing, LI Jing. Regional differences and its influencing factors of cultivated land use efficiency under carbon emission constraint[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(4): 657–668. (in Chinese)
- [6] 经阳,叶长盛. 基于DEA的江西省耕地利用效率及影响因素分析[J]. *水土保持研究*, 2015, 22(1): 257–261.
- [7] 王良健,李辉. 中国耕地利用效率及其影响因素的区域差异——基于281个市的面板数据与随机前沿生产函数方法[J]. *地理研究*, 2014, 33(11): 1995–2004.
- [8] FAO. A framework for land evaluation[R]. Rome: FAO Soils Bulletin 32, 1976.
- [9] FAO. Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture[C]//FAO Soils Bulletin 52, Rome, 1983.
- [10] MADDAHI Z, JALALIAN A, KHEIRKHAH Z M M, et al. Land suitability analysis for rice cultivation using a GIS-based fuzzy multi-criteria decision making approach: central part of Amol District, Iran[J]. *Soil and Water Research*, 2017, 12(1): 29–38.
- [11] 陈百明. 区域土地可持续利用指标体系框架的构建与评价[J]. *地理科学进展*, 2002, 21(3): 204–215. CHEN Baiming. Design and evaluation of indicator system of regional land for sustainable use[J]. *Progress in Geography*, 2002, 21(3): 204–215. (in Chinese)
- [12] 张凤荣,郭力娜,关小克,等. 生态安全观下耕地后备资源评价指标体系探讨[J]. *中国土地科学*, 2009, 23(9): 4–8.
- [13] 周丁扬,李抒函,文雯,等. 基于供需视角的河南省耕地多功能评价与优化[J/OL]. *农业机械学报*, 2020, 51(11): 272–281. ZHOU Dingyang, LI Shuhan, WEN Wen, et al. Multi-function evaluation and optimization of cultivated land in Henan Province based on perspective of demand and supply[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2020, 51(11): 272–281. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20201130&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2020.11.030. (in Chinese)
- [14] 周建,张凤荣,徐艳,等. 基于生态生产生活视角的北方农牧交错区土地宜耕性评价[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(6): 253–260. ZHOU Jian, ZHANG Fengrong, XU Yan, et al. Land cultivation suitability evaluation of agro-pastoral ecotone in northern China based on aspects of ecology, production and life[J]. *Transactions of the CSAE*, 2019, 35(6): 253–260. (in Chinese)
- [15] 唐秀美,任艳敏,潘瑜春. 基于景观格局与限制性因素分析的土地整治规划设计[J]. *北京大学学报(自然科学版)*,

- 2015,51(4):677-684.
TANG Xiumei, REN Yanmin, PAN Yuchun. Planning and design modes of land consolidation based on analysis of landscape pattern and restrictive factors[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2015, 51(4): 677-684. (in Chinese)
- [16] 徐伟芳,胡月明,陈飞香,等. 青海省耕地后备资源特征及限制开发利用的因素分析[J]. 中国农业资源与区划,2019,40(11):42-47.
XU Weifang, HU Yueming, CHEN Feixiang, et al. Characteristics of cultivated land reserve resources and factor analysis for limiting their utilization in Qinghai Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(11):42-47. (in Chinese)
- [17] 董光龙,张文信,杨忠学,等. 山东省耕地后备资源宜耕性评价[J]. 中国农业大学学报,2018,23(8):160-170.
DONG Guanglong, ZHANG Wenxin, YANG Zhongxue, et al. Suitability assessment of reserve cultivated land resources in Shandong Province[J]. Journal of China Agricultural University, 2018,23(8):160-170. (in Chinese)
- [18] 关小克,张凤荣,李乐,等. 北京市耕地后备资源开发适宜性评价[J]. 农业工程学报,2010,26(12):304-310,431.
- [19] 孙超,潘瑜春,刘玉,等. 县域“旱改水”项目遴选布局方法与实证研究[J/OL]. 农业机械学报,2018,49(1):203-210.
SUN Chao, PAN Yuchun, LIU Yu, et al. Method and empirical research on reclaiming dryland field into paddy construction zoning and project site selection at county scale[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(1):203-210. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20180125&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.01.025. (in Chinese)
- [20] 张立新,朱道林,谢保鹏,等. 中国粮食主产区耕地利用效率时空格局演变及影响因素——基于180个地级市的实证研究[J]. 资源科学,2017,39(4):608-619.
ZHANG Lixin, ZHU Daolin, XIE Baopeng, et al. Spatiotemporal pattern evolvement and driving factors of cultivated land utilization efficiency of the major grain producing area in China[J]. Resources Science, 2017, 39(4):608-619. (in Chinese)
- [21] 吴冬林,何伟,李政,等. 基于 DEA-ESDA 的四川省耕地利用效率时空分异及影响因素研究[J]. 四川师范大学学报(自然科学版),2020,43(2):270-276.
WU Donglin, HE Wei, LI Zheng, et al. Spatial-temporal difference and influencing factors of cultivated land use efficiency of Sichuan province based on DEA-ESDA[J]. Journal of Sichuan Normal University(Natural Science), 2020,43(2):270-276. (in Chinese)
- [22] 邹秀清,王英,武婷燕,等. 江西省农业人口转移对耕地利用效率影响的门槛效应[J]. 资源科学,2019,41(8):1576-1588.
ZOU Xiuqing, WANG Ying, WU Tingyan, et al. Threshold effect of agricultural population transfer on cultivated land use efficiency in Jiangxi Province[J]. Resources Science, 2019,41(8):1576-1588. (in Chinese)
- [23] 王海力,韩光中,谢贤健. 基于 DEA 模型的西南地区耕地利用效率时空格局演变及影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境,2018,27(12):2784-2795.
- [24] 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.
QIAN Fengkui, WANG Qiubing, LI Na. High-standard prime farmland planning based on evaluation of farmland quality and site conditions[J]. Transactions of the CSAE, 2015,31(18):225-232. (in Chinese)
- [25] 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. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.02.017. (in Chinese)
- [26] 王玉军,刘琼,欧名豪. 基于地质环境适宜性的基本农田布局优化研究[J]. 农业工程学报,2019,35(14):252-260.
WANG Yujun, LIU Qiong, OU Minghao. Optimization of prime farmland layout on basis of geological environment suitability[J]. Transactions of the CSAE, 2019,35(14):252-260. (in Chinese)
- [27] 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. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2021.02.015. (in Chinese)
- [28] 姜蓝齐,张丽娟,赵慧颖,等. 松嫩平原自然宜垦性及耕地后备资源开发潜力[J]. 中国农业资源与区划,2019,40(10):15-25.
JIANG Lanqi, ZHANG Lijuan, ZHAO Huiying, et al. Physical suitability evaluation and potential development of reserve cultivated land resources in Songnen Plain[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(10):15-25. (in Chinese)
- [29] 张忠,雷国平,张慧,等. 黑龙江省八五三农场高标准基本农田建设时序分析[J]. 经济地理,2014,34(6):155-161.
- [30] 张慧,隋虹均,苏航,等. 黑龙江垦区农村居民点与田块间适宜耕作半径及影响因素[J]. 农业工程学报,2018,34(11):217-224.
ZHANG Hui, SUI Hongjun, SU Hang, et al. Suitable farming radius and its influencing factors in rural residential areas in Heilongjiang Province[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(11):217-224. (in Chinese)