

# 基于地块面积和形状的土地整治机械旋耕效率研究

郑慧慧<sup>1</sup> 杜宁<sup>2</sup> 魏宸博<sup>1</sup> 张超<sup>1</sup> 徐艳<sup>1,3</sup>

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 中粮集团大悦城控股北京公司, 北京 100020;

3. 中国农业大学土地利用与管理中心, 北京 100193)

**摘要:** 为量化不同面积与形状的地块机械耕作效率差异, 科学评价土地整治在机械旋耕效率提升方面的潜力, 设计一套标准田块, 选取 69.83 kW 东方红 LX950 型拖拉机配套旋耕机进行耕作, 工作宽幅为 200 cm, 采用田间实验法对不同面积梯度和形状的地块进行机械旋耕效率测算, 并在此基础上, 基于区域尺度建立地块面积、形状与机械旋耕效率的耦合关系及函数模型, 修正后得到区域尺度机械旋耕效率。结果表明: 地块形状的规则程度影响机械旋耕效率, 形状越规整, 机械旋耕效率越高。在相同的面积梯度上, 矩形地块机械旋耕效率最高, 梯形地块次之, 直角三角形地块最低。随着地块面积的增大, 机械旋耕效率不断增加, 当地块面积达到一定程度时, 机械旋耕效率趋于稳定。当地块面积超过 7 000 m<sup>2</sup> 时, 机械旋耕效率基本保持不变, 矩形、梯形地块机械旋耕效率较高, 维持在 0.25 s/m<sup>2</sup>, 其他形状地块机械旋耕效率较低, 维持在 0.30 s/m<sup>2</sup> 左右。案例区地块单元水平的机械旋耕效率为 0.27 s/m<sup>2</sup>。其中, 中低效地块单元数量最少, 占比 7.10%; 高效地块单元数量最多, 占比 58.24%。案例区西部机械旋耕效率大于东部, 主要由于东部区域土地细碎化程度高于西部区域, 地块单元面积较小, 形状也不尽规则, 从而极大地降低了区域机械旋耕效率。实验结果表明, 面积大于 7 000 m<sup>2</sup> 地块是大型机械化耕作的适宜耕作规模, 地块面积与形状规则程度均影响机械旋耕效率, 土地整治工程在扩大地块面积的同时也需保证地块形状的规则化程度。

**关键词:** 机械旋耕效率; 地块面积; 地块形状; 地块单元; 土地整治

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2024)07-0232-09

OSID:



## Mechanical Tillage Efficiency of Land Consolidation Based on Plot Area and Shape

ZHENG Huihui<sup>1</sup> DU Ning<sup>2</sup> WEI Chenbo<sup>1</sup> ZHANG Chao<sup>1</sup> XU Yan<sup>1,3</sup>

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2. Grandjoy Holdings Group Co., Ltd., Beijing 100020, China

3. Land Use and Administration Research Center, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract:** In order to quantify the difference in mechanical tillage efficiency of plots with different areas and shapes, and scientifically evaluate the potential of land improvement in mechanical tillage efficiency, a set of standard plots was designed, and a 69.83 kW Dongfanghong LX950 tractor supporting rotary tiller was selected for tillage, with a working width of 200 cm. The mechanical rotary tillage efficiency of plots with different area gradients and shapes was measured by field experiment. On this basis, the coupling relationship and function model of the plot area, shape and mechanical rotary tillage efficiency were established based on regional scale, and the regional mechanical rotary tillage efficiency was modified. The results showed that the regularity of plot shape affected the mechanical rotary tillage efficiency. The more regular the shape was, the higher the mechanical rotary tillage efficiency was. In the same area gradient, the mechanical rotary tillage efficiency of rectangular plots was the highest, followed by trapezoidal plots, and triangle plots were the lowest. With the increase of the land area, the mechanical rotary tillage efficiency was increased continuously. When the land area reached a certain degree, the mechanical rotary tillage efficiency tended to be stable. When the land area exceeded 7 000 m<sup>2</sup>, the mechanical rotary tillage efficiency basically remained unchanged. The mechanical rotary tillage

收稿日期: 2023-11-17 修回日期: 2024-02-27

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项(201411009)

作者简介: 郑慧慧(1998—), 女, 博士生, 主要从事土地整治和土地利用与评价研究, E-mail: zhenghuihui@cau.edu.cn

通信作者: 徐艳(1977—), 女, 副教授, 博士生导师, 主要从事可持续土地利用管理研究, E-mail: xuyan@cau.edu.cn

efficiency of rectangular and trapezoidal plots was higher, maintaining at  $0.25 \text{ s/m}^2$ ; the mechanical rotary tillage efficiency of other shaped plots was lower, maintaining at about  $0.30 \text{ s/m}^2$ . The mechanical rotary tillage efficiency at the unit level in the case area was  $0.27 \text{ s/m}^2$ . Among them, the number of low-efficiency land units was the least, accounting for  $7.10\%$ . The number of efficient land units was the largest, accounting for  $58.24\%$ . The mechanical rotary tillage efficiency in the western part of the case area was greater than that in the eastern part of the case area, mainly because the land fragmentation degree in the eastern part was higher than that in the western part, the land unit area was smaller and the shape was not regular, which greatly reduced the regional mechanical rotary tillage efficiency value. The experimental results showed that plots with an area greater than  $7\,000 \text{ m}^2$  were suitable for large-scale mechanized farming, and both the plot area and the regularity of the shape affected the efficiency of mechanical rotary farming. While expanding the plot area, the land regulation project also needed to ensure the regularity of the plot shape.

**Key words:** mechanical tillage efficiency; plot area; plot shape; plot unit; land consolidation

0 引言

在我国耕地资源有限和保障粮食安全的背景下,提高耕地资源耕作效率与规模化生产水平显得尤为重要<sup>[1-6]</sup>。耕地资源规模经营是促进农业经济发展,提高农业竞争力的重要手段<sup>[7-8]</sup>,在保障粮食安全与农业增产增收方面发挥着极大作用<sup>[9]</sup>,是农业领域必然的发展趋势<sup>[10-11]</sup>。然而在实际生产过程,宝贵的耕地资源却被分割为很多细小的耕作单元,阻碍了现代化农业机械的使用和农业的转型,增加了农业生产成本<sup>[12-15]</sup>。近年来,各地区逐步开展土地整治工程,其核心任务是促进农业机械化、规模化发展<sup>[16]</sup>。土地整治工程的实施改变了耕作地块的面积与形状,减少了土地质量差别,在一定程度上对耕地资源利用方式与耕作规模产生了重大影响<sup>[17-18]</sup>。耕地规模经营是影响农业发展的主要因素,决定了农业机械化水平和规模效益。机械耕作效率是评价耕地规模经营的重要指标,在一定程度上反映了耕地规模经营的潜力,耕作地块是农户土地利用选择的基础单元,也是经营效率衡量的基础单位。因此有必要基于耕作地块尺度对机械耕作效率进行量化研究,为土地整治工程实施提供数据参考<sup>[19-22]</sup>。

现有研究主要集中在耕作地块的土地整治规划设计、土地整治后田块耕作便利度评价以及对农户耕作效率影响等内容,所采用的方法主要是基于农户实地调查数据建立评价模型,如数据包络分析模型<sup>[23]</sup>、线性回归模型<sup>[15]</sup>以及建立综合评价指标模型<sup>[24]</sup>等。对于土地整治耕作效率测算与评价相关研究较少,刘玉等<sup>[6]</sup>采用相关分析法探究了黄淮海地区的小麦机收效率,但主要侧重于分析地块细碎化对耕作效率的影响。从耕作地块尺度上来讲,田块大小和形状对于农田的机械耕作效率有着直接影响<sup>[25-30]</sup>,文献[31]测算在  $29.4$

kW 拖拉机耕作条件下不同地块面积的机械耕作效率,该种情景仅考虑地块面积未考虑地块形状对机械耕作效率的影响,实际上耕作地块形状也对机械耕作效率有很大的影响,在面积相同情况下,地块边长越长,则回转次数越少,机械耕作效率也会更高,且文献[31]研究尺度较小,仅针对实验田区域,不具有普遍指导意义。基于此,本文以地块面积和形状为出发点,构建一套标准地块,设计 7 个面积梯度和 8 个形状类型,共 46 个标准地块,采用田间实验法研究不同形状和面积标准地块机械旋耕效率差异,在实际测算标准地块机械旋耕效率基础上,对区域内所有地块形状进行耦合、归并,根据形状确定对应的面积断点值并进行形状和面积修正,得到区域内所有地块机械旋耕效率,以期为促进地区农业规模经营提供科学依据。

1 研究方法

假定机械旋耕效率只受地块面积和形状的影响,而不考虑机械化程度、地形坡度、耕作方式、劳动力效率和气候变化等其他的影响因素,从区域尺度探究机械旋耕效率,分析面积和形状对机械旋耕效率的影响,研究路线图见图 1。在地块尺度,设计一套标准田块,通过田间实验计算机械耕作过程中单位有效面积的耕作时间,并以此来反映标准地块的机械旋耕效率。在区域尺度,在地块单元(自然因素和田间基础设施分割形成的土地单元)的基础上进行二维形状系数和一维形状系数计算,对其进行形状耦合并归并到最相近的标准地块形状。根据标准地块形状确定对应的面积断点值,套用标准地块形状对应的拟合函数,计算出对应机械旋耕效率作为标准地块的机械旋耕效率,进行形状和面积修正,最终得到区域内所有地块的机械旋耕效率,即区域尺度机械旋耕效率。

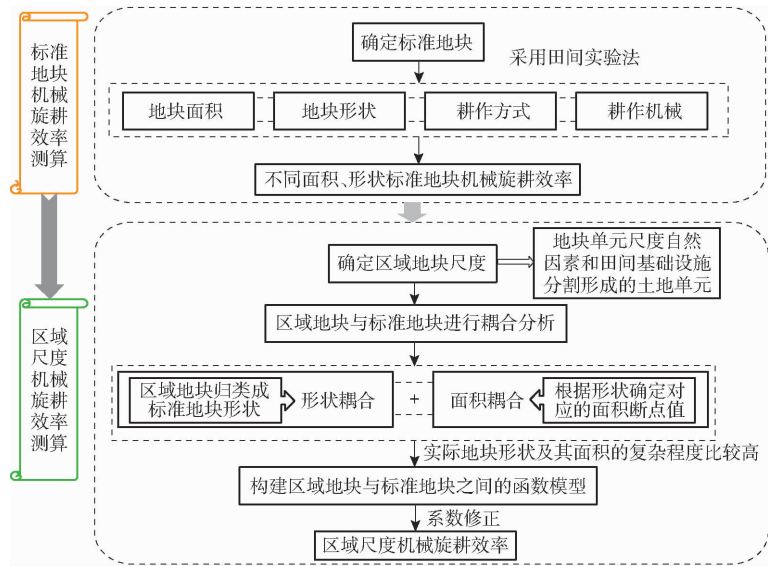


图 1 研究路线图

Fig. 1 Research framework

1.1 标准地块机械旋耕效率测算

1.1.1 实验方案

(1)实验区域选择

选择中国农业大学曲周实验站周边的农田进行实地机械旋耕效率测算,实验开展时间为春耕前。具体实验区域位于河北省邯郸市曲周县第四疃镇,详细位置如图 2 所示。该块田地地势平坦,有较强的连续性,适于开展机械耕作。

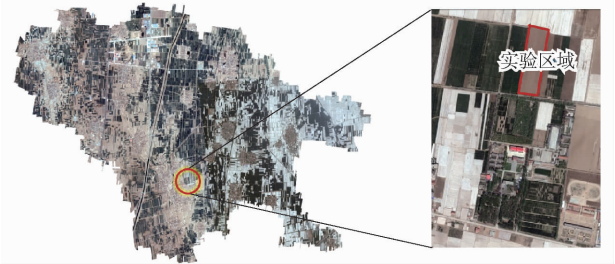


图 2 实验区域

Fig. 2 Experimental area

(2)实验地块面积和形状设计

地块面积受到土地平整、灌溉排水以及田间管理等多项因素的影响。在实际了解第四疃镇的耕地面积情况后,结合实验区农户经营耕地现状以及机械的实际可操作性,最终确定地块面积区间,并对地块面积进行梯度划分。拟将地块面积由小到大划分为 7 个梯度。同时,由于实验耕作地块条件所限等因素,形状组合分成 8 个梯度。

形状规则与否则直接影响机械作业效率与田间管理的方便程度,确定田块基本形状为矩形、梯形和三角形。以选择最优作业效率的边长比例为原则,确定标准地块。本文将矩形长宽比定为 4:1,以满足机械工作的要求。为了减少地头掉头次数和频率,所有实验组耕作方向均选择沿着较长边进行。

(3)耕作机械和方式选择

机械耕作效率涉及到旋耕、播种、收获等多个环节,选取 69.83 kW 的东方红 LX950 型拖拉机配套旋耕机进行耕地<sup>[32]</sup>,分析旋耕作业效率。该旋耕机工作幅宽为 200 cm,耕深为 12 ~ 18 cm。在实际田间实验中,为了使各组标准地块形状均达到最佳机械旋耕效率,在实验过程中结合机耕手的经验和地块形状面积的实际状况,对不同的标准地块采用了不同的旋耕方式,具体见图 3。

(4)数据测量方式

在以上条件具备及确定之后,选用技术状态良好的机械在待耕地块进行作业,且作业时地块平整,无自然障碍。在每组实验前需要划定不同面积,从最小面积开始,用卷尺量好长宽,之后用标志性竹竿固定地块角点,在划定范围内按照每个形状逐面积梯度地采用合适的耕作方法开展耕作实验。不同地块面积、形状为直接测量所得,不同地块总耕作时间、有效耕作时间为实验直接记录所得,不同地块机械旋耕效率为间接计算所得。

1.1.2 机械旋耕效率测算

通过田间实验,进行标准地块的机械旋耕效率测算。标准地块机械旋耕效率计算公式为

$$W = \frac{t}{A}$$
 (1)

式中  $W$ ——机械旋耕效率,即机械耕作过程中单位有效面积的耕作时间, $s/m^2$   
 $t$ ——耕作时间,即农用机械耕作完指定地块所消耗的总时间, $s$   
 $A$ ——有效面积,即有效耕作时间内耕作的地块面积, $m^2$

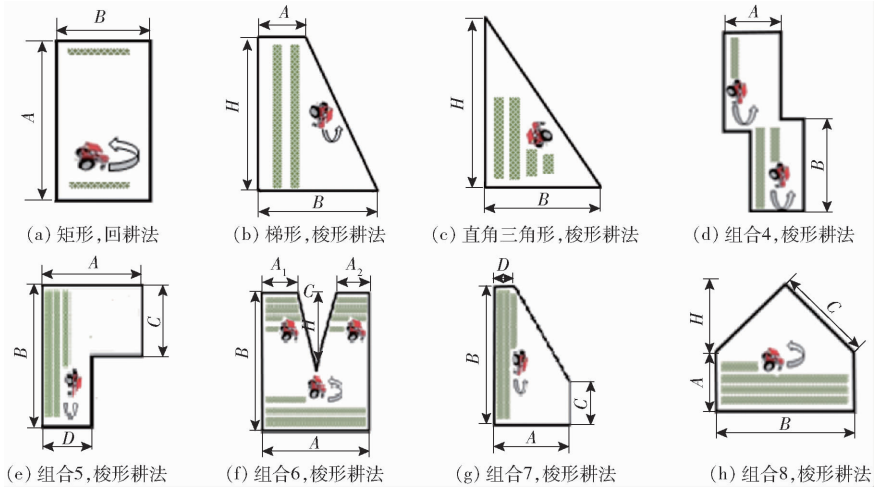


图 3 不同形状地块及其对应的旋耕方式

Fig. 3 Farming methods corresponding to plots of different shapes

1.2 区域机械旋耕效率测算

在区域尺度,将一维形状系数和二维形状系数作为识别地块形状的标准,对区域内所有地块形状进行耦合、归并。在此基础上,根据地块形状确定对应的面积断点值并进行形状和面积修正,得到区域内所有地块的机械旋耕作业效率。

1.2.1 区域地块与标准地块机械旋耕效率耦合

利用 ArcGIS 软件对曲周县第四疃镇的地块图斑进行面积、周长等属性的统计获取,并在软件中进行相应指标数据计算。

(1) 形状耦合

一维空间形状系数与景观形状系数类似,是周长与面积之间的相互关系,计算公式为

$$I_1 = \frac{0.25L}{\sqrt{A_z}} \tag{2}$$

式中  $I_1$ ——一维空间形状系数  
 $L$ ——地块图斑总长度,m  
 $A_z$ ——地块图斑总面积,m<sup>2</sup>  
二维空间形状系数指地块面积与其最小外包络

矩形面积比,反映地块相对于其最小外包络矩形的面积紧凑度,计算公式为

$$I_2 = \frac{A_p}{A_{\min\text{-ref}}} \tag{3}$$

式中  $I_2$ ——二维空间形状指数  
 $A_p$ ——地块图斑面积,m<sup>2</sup>  
 $A_{\min\text{-ref}}$ ——地块图斑最小外包络矩形面积,m<sup>2</sup>

一维形状系数将二维空间的形状信息压缩到一维空间,仅能反映一维线状特征。二维形状系数更多反映面积紧凑度,而在反映形状的周长面积比上较为欠缺<sup>[33]</sup>。两种形状系数均有各自的优缺点,其中二维形状系数能够更好地识别归并未知图形的形状,故本文主要使用二维形状系数与一维形状系数相结合的方法对地块形状进行分类。由于挑选形状时并未对此方法多做考虑,致使梯形与组合 5 的二维形状系数一致、组合 6 与组合 7 的二维形状系数一致,也就是说这几种形状与其最小外包络矩形的面积紧凑度一致,为了保证一定的区分度,故使用一维空间形状系数对其进行区分(表 1)。

表 1 标准地块空间形状系数

Tab.1 Dimension shape factor of standard shape

| 地块形状  | 一维形状系数             |                      |                      |                      |                      |                      |                       | 二维形状系数 |
|-------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|--------|
|       | 500 m <sup>2</sup> | 1 000 m <sup>2</sup> | 2 000 m <sup>2</sup> | 3 000 m <sup>2</sup> | 5 000 m <sup>2</sup> | 7 000 m <sup>2</sup> | 10 000 m <sup>2</sup> |        |
| 矩形    | 1.059 896          | 1.057 782            | 1.059 896            | 1.059 843            | 1.060 660            | 1.060 765            | 1.060 500             | 1.000  |
| 梯形    | 1.105 842          | 1.104 320            | 1.105 677            | 1.104 644            | 1.104 501            | 1.104 961            | 1.104 926             | 0.750  |
| 直角三角形 | 1.309 702          | 1.308 074            | 1.309 702            | 1.309 020            | 1.309 648            | 1.308 417            | 1.309 017             | 0.500  |
| 组合 4  | 0.751 319          | 0.749 460            | 0.751 319            | 0.750 380            | 0.750 240            |                      |                       | 0.667  |
| 组合 5  | 1.225 365          | 1.223 801            | 1.224 247            | 1.224 160            | 1.224 709            |                      |                       | 0.750  |
| 组合 6  | 0.890 188          | 0.889 948            | 0.889 397            | 0.889 475            | 0.889 751            |                      |                       | 0.875  |
| 组合 7  | 0.967 292          | 0.967 210            | 0.967 041            | 0.967 126            | 0.967 649            |                      |                       | 0.875  |
| 组合 8  | 0.987 224          | 1.008 767            | 1.081 139            | 1.082 665            | 1.081 520            |                      |                       | 0.700  |

(2) 面积耦合

根据一维形状系数和二维形状系数将地块归类

成标准地块形状,在标准地块形状的 7 个面积梯度中确定面积断点。面积断点依据在 500 ~ 10 000 m<sup>2</sup>

范围内每相邻两个面积梯度的耕作时间中点结合相应函数所求的面积点而确定。根据前期拟合所得函数

数代入相邻两梯度的耕作时间中点,求得面积断点,结果见表 2。

表 2 标准地块形状面积断点

Tab.2 Standard plot shape area break point

m<sup>2</sup>

| 地块面积/m <sup>2</sup> | 面积断点      |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                     | 矩形        | 梯形        | 直角三角形     | 组合 4      | 组合 5      | 组合 6      | 组合 7      | 组合 8      |
| 500 ~ 1 000         | 730. 68   | 660. 26   | 735. 85   | 720. 95   | 741. 10   | 672. 98   | 755. 28   | 742. 91   |
| 1 000 ~ 2 000       | 1 470. 85 | 1 616. 37 | 1 513. 68 | 1 444. 82 | 1 430. 42 | 1 322. 61 | 1 447. 64 | 1 543. 99 |
| 2 000 ~ 3 000       | 2 544. 10 | 2 693. 72 | 2 517. 14 | 2 336. 06 | 2 363. 96 | 2 136. 55 | 2 406. 58 | 2 494. 38 |
| 3 000 ~ 5 000       | 4 050. 65 | 3 987. 82 | 4 071. 74 | 3 606. 60 | 3 715. 38 | 3 169. 64 | 3 820. 07 | 3 938. 48 |
| 5 000 ~ 7 000       | 6 020. 08 | 5 864. 40 | 5 979. 15 |           |           |           |           |           |
| 7 000 ~ 10 000      | 8 564. 49 | 8 474. 30 | 8 442. 68 |           |           |           |           |           |

1.2.2 机械旋耕效率测算

(1)系数修正

在实际情况中,地块形状及其面积的复杂程度比较高,因此在确定面积区间后,以实验所得标准地块机械旋耕效率为基础,对第四幢镇耕作地块的机械旋耕效率进行形状和面积修正。由数据分析可以看出,大于 10 000 m<sup>2</sup>耕作地块,随着面积增大机械旋耕效率基本保持不变。因此,面积小于 10 000 m<sup>2</sup>的耕作地块,系数修正包括面积修正和形状修正两部分;而对面积超过 10 000 m<sup>2</sup>的耕作地块,只进行形状修正。

形状修正系数计算公式为

$$a_1 = \frac{L_c / \sqrt{A_c}}{L^* / \sqrt{A^*}}$$

(4)

式中  $a_1$ ——形状修正系数

$L_c$ ——待测耕作地块周长,m

$A_c$ ——待测耕作地块面积,m<sup>2</sup>

$L^*$ ——对应标准地块形状耕作地块周长,m

$A^*$ ——对应标准地块形状耕作地块面积,m<sup>2</sup>

面积修正系数计算公式为

$$b_1 = \frac{A_c}{A^*}$$

(5)

式中  $b_1$ ——面积修正系数

(2)区域机械旋耕效率

区域机械旋耕效率指区域所有地块机械旋耕效率平均值,计算公式为

$$W_p = \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{n}$$

(6)

其中

$$W_i = \frac{a_1 + b_1}{2} W_i^*$$

(7)

式中  $W_p$ ——整个区域机械旋耕效率

$n$ ——区域内所有耕作地块总数

$W_i$ ——第  $i$  个地块机械旋耕效率

$W_i^*$ ——第  $i$  个地块对应标准地块的机械旋

耕效率

根据数据可知,机械旋耕效率以 2 000、3 000、7 000、10 000 m<sup>2</sup>作为划分效率等级的面积标准(衍生组合缺少大于 5 000 m<sup>2</sup>的实验数据,故以矩形的实验数据代替),以 0 ~ 2 000 m<sup>2</sup>、2 000 ~ 3 000 m<sup>2</sup>、3 000 ~ 7 000 m<sup>2</sup>、7 000 ~ 10 000 m<sup>2</sup>、10 000 m<sup>2</sup> ~ + ∞ 为区间,对应各标准地块形状机械旋耕效率作为各地块单元机械旋耕效率等级划分标准,见表 3。

表 3 标准地块形状效率等级划分

Tab.3 Efficiency of standard plot shape grading

s/m<sup>2</sup>

| 地块形状  | 0 ~ 2 000 m <sup>2</sup> | 2 000 ~ 3 000 m <sup>2</sup> | 3 000 ~ 7 000 m <sup>2</sup> | 7 000 ~ 10 000 m <sup>2</sup> | 10 000 m <sup>2</sup> ~ + ∞ |
|-------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|       | (低效)                     | (中低效)                        | (中效)                         | (中高效)                         | (高效)                        |
| 矩形    | 0. 315                   | 0. 305                       | 0. 263                       | 0. 249                        |                             |
| 梯形    | 0. 390                   | 0. 326                       | 0. 266                       | 0. 256                        |                             |
| 直角三角形 | 0. 404                   | 0. 358                       | 0. 290                       | 0. 282                        |                             |
| 组合 4  | 0. 354                   | 0. 315                       | 0. 263                       | 0. 249                        |                             |
| 组合 5  | 0. 331                   | 0. 313                       | 0. 263                       | 0. 249                        |                             |
| 组合 6  | 0. 903                   | 0. 507                       | 0. 263                       | 0. 249                        |                             |
| 组合 7  | 0. 343                   | 0. 335                       | 0. 263                       | 0. 249                        |                             |
| 组合 8  | 0. 404                   | 0. 335                       | 0. 263                       | 0. 249                        |                             |

2 结果与分析

2.1 实验结果

对实地实验的结果所获取的数据进行记录和测算,最终结果如表 4 所示。

2.2 标准地块机械旋耕效率

根据实验数据及式(1),计算得出不同面积、不同标准地块形状组合的机械旋耕效率(表 5)。

分析表 5 可知,在相同面积梯度上,矩形、梯形的机械旋耕效率远高于其它标准地块形状,其中矩形的机械旋耕效率最高,直角三角形的机械旋耕效率最低,在 5 个衍生形状组合中,组合 6 的机械旋耕效率最低,其它 4 组衍生标准地块形状组合的机

表 4 实验数据汇总

Tab.4 Experimental data summary

| 地块形状  | 参数               | 500 m <sup>2</sup> | 1 000 m <sup>2</sup> | 2 000 m <sup>2</sup> | 3 000 m <sup>2</sup> | 5 000 m <sup>2</sup> | 7 000 m <sup>2</sup> | 10 000 m <sup>2</sup> |
|-------|------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 矩形    | t/s              | 158.29             | 278.31               | 570.85               | 845.55               | 1 315.47             | 1 745.77             | 2 382.55              |
|       | A/m <sup>2</sup> | 405.92             | 867.28               | 1 811.87             | 2 769.84             | 4 702.64             | 6 648.88             | 9 580.00              |
| 梯形    | t/s              | 112.50             | 266.13               | 597.79               | 790.66               | 1 200.89             | 1 625.93             | 2 292.36              |
|       | A/m <sup>2</sup> | 264.80             | 664.00               | 1 529.13             | 2 421.83             | 4 258.20             | 6 122.52             | 8 950.00              |
| 直角三角形 | t/s              | 179.34             | 318.12               | 555.73               | 800.19               | 1 294.98             | 1 695.04             | 2 431.77              |
|       | A/m <sup>2</sup> | 178.52             | 552.87               | 1 374.68             | 2 238.15             | 4 021.3              | 5 845.5              | 8 623.21              |
| 组合 4  | t/s              | 201.05             | 337.40               | 607.72               | 837.41               | 1 317.92             |                      |                       |
|       | A/m <sup>2</sup> | 358.88             | 800.92               | 1 717.76             | 2 654.76             | 4 553.96             |                      |                       |
| 组合 5  | t/s              | 195.21             | 329.05               | 560.45               | 822.01               | 1 270.69             |                      |                       |
|       | A/m <sup>2</sup> | 346.28             | 783.28               | 1 693.40             | 2 624.52             | 4 515.32             |                      |                       |
| 组合 6  | t/s              | 232.60             | 332.95               | 646.37               | 846.07               | 1 289.44             |                      |                       |
|       | A/m <sup>2</sup> | 257.66             | 657.28               | 151.32               | 2 406.34             | 4 232.83             |                      |                       |
| 组合 7  | t/s              | 173.88             | 319.95               | 558.76               | 851.66               | 1 339.67             |                      |                       |
|       | A/m <sup>2</sup> | 313.87             | 737.09               | 1 628.34             | 2 544.78             | 4 412.03             |                      |                       |
| 组合 8  | t/s              | 151.04             | 322.12               | 603.15               | 796.49               | 1 236.42             |                      |                       |
|       | A/m <sup>2</sup> | 292.52             | 640.48               | 1 491.80             | 2 375.88             | 4 196.12             |                      |                       |

表 5 不同面积、不同标准地块形状组合的机械旋耕效率

Tab.5 Mechanical rotary tillage efficiency of different area and different standard plot shape combination

| 面积/<br>m <sup>2</sup> | 机械旋耕效率/(s·m <sup>-2</sup> ) |       |           |         |         |         |         |         |
|-----------------------|-----------------------------|-------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                       | 矩形                          | 梯形    | 直角<br>三角形 | 组合<br>4 | 组合<br>5 | 组合<br>6 | 组合<br>7 | 组合<br>8 |
| 500                   | 0.390                       | 0.425 | 1.005     | 0.560   | 0.564   | 0.903   | 0.554   | 0.516   |
| 1 000                 | 0.321                       | 0.401 | 0.575     | 0.421   | 0.420   | 0.507   | 0.434   | 0.503   |
| 2 000                 | 0.315                       | 0.390 | 0.404     | 0.354   | 0.331   | 0.427   | 0.343   | 0.404   |
| 3 000                 | 0.305                       | 0.326 | 0.358     | 0.315   | 0.313   | 0.352   | 0.335   | 0.335   |
| 5 000                 | 0.280                       | 0.282 | 0.322     | 0.289   | 0.281   | 0.305   | 0.304   | 0.295   |
| 7 000                 | 0.263                       | 0.266 | 0.290     |         |         |         |         |         |
| 10 000                | 0.249                       | 0.256 | 0.282     |         |         |         |         |         |

械旋耕效率处于相同的水平,这表明形状越规整,拐点越少,转弯角度越大,机械旋耕效率越高,说明不规则的形状会降低工作机组的机械旋耕效率。

为了构建不同地块形状的机械旋耕效率模型,通过 Matlab 7.0 软件进行曲线拟合,得到不同标准地块形状的机械旋耕效率率曲线公式,具体如下:

(1)矩形地块:根据旋耕效率曲线(图 4),大致看出图形的走势符合指数函数或幂函数的曲线规律,分别选择这 2 种模型进行曲线拟合。根据拟合结果,指数函数和方差(SSE)为 0.000 135 2,均方根误差(RMSE)为 0.006 173 s/m<sup>2</sup>,决定系数 R<sup>2</sup> = 0.989 7,幂函数的 SSE 为 0.000 758 9, RMSE 为 0.013 77 s/m<sup>2</sup>,R<sup>2</sup> = 0.942。SSE 和 RMSE 越趋近于 0,说明数据预测越成功,R<sup>2</sup>越接近 1,数据拟合得就越好。由此可知,指数函数的拟合度优于幂函数,其中指数函数拟合参数中:a = 0.511 3,b = -0.004 078,

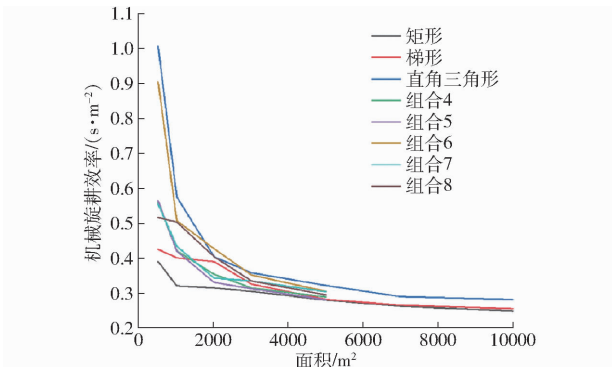


图 4 不同标准地块形状的机械旋耕效率曲线

Fig.4 Curves of mechanical rotary tillage efficiency for different standard plot shapes

$c = 0.327\ 4, d = -0.000\ 029$ , 因此矩形地块机械旋耕效率函数公式为

$$W = 0.551\ 3e^{-0.004\ 078A} + 0.327\ 4e^{-0.000\ 029A} \quad (8)$$

(2)梯形地块:根据旋耕效率曲线(图 4),大致看出图形的走势符合指数函数或幂函数,分别用这 2 种模型函数进行曲线拟合。根据拟合结果,指数函数的 SSE 为 0.002 803 7, RMSE 为 0.030 57 s/m<sup>2</sup>, R<sup>2</sup> = 0.904 5,而幂函数的 SSE 为 0.002 401 9, RMSE 为 0.024 5 s/m<sup>2</sup>, R<sup>2</sup> = 0.918 2。由此可知,幂函数拟合度均比指数函数好,其中幂函数拟合参数中:a = 1.302,b = -0.136 4,c = -0.112,因此梯形地块机械旋耕效率函数为

$$W = 1.302A^{-0.136\ 4} - 0.112 \quad (9)$$

(3)用同样的方法处理其他 5 种形状,得到标准地块形状的旋耕效率函数曲线分别为:

直角三角形

$$W = 1.893e^{-0.002\ 264} + 0.399\ 6e^{-0.000\ 039A} \quad (10)$$

组合 4

$$W=0.521\,8e^{-0.001\,918A}+0.366\,9e^{-0.000\,047\,46A}\quad(11)$$

组合 5

$$W=0.555\,7e^{-0.001\,762A}+0.338\,6e^{-0.000\,035\,14A}\quad(12)$$

组合 6

$$W=2.954e^{-0.003\,865A}+0.338\,6e^{-0.000\,101A}\quad(13)$$

组合 7

$$W=0.478\,3e^{-0.001\,709A}+0.356\,3e^{-0.000\,030\,91A}\quad(14)$$

组合 8

$$W=0.580\,6e^{-0.000\,194\,7A}+0.002\,558e^{-0.000\,673\,8A}\quad(15)$$

由图 4 可知,随着地块面积的增大,机械旋耕效率不断提高,当地块面积达到一定程度时,机械旋耕效率的提升速度变慢,机械旋耕效率曲线趋于平稳。

地块面积处于 500 ~ 3 000 m<sup>2</sup> 区间时,随着地块面积的不断 增加,不同形状地块的机械旋耕效率提升较快;地块面积处于 3 000 ~ 7 000 m<sup>2</sup> 区间时,随着地块面积的不断 增加,不同形状地块的机械旋耕效率提升较为平稳;地块面积处于 7 000 ~ 10 000 m<sup>2</sup> 区间时,随着地块面积的不断 增加,不同形状地块的机械旋耕效率提升幅度不大,矩形、梯形地块机械旋耕效率较高,维持在 0.25 s/m<sup>2</sup>,其他形状地块机械旋耕效率较低,维持在 0.30 s/m<sup>2</sup> 左右;地块面积超过 10 000 m<sup>2</sup> 时,机械旋耕效率基本保持不变。因此,对于 69.83 kW 机械而言,地块面积在 500 ~ 7 000 m<sup>2</sup> 区间时,其效率未达到理想状态,不适宜进行机械化耕作;地块面积在 7 000 m<sup>2</sup> 以上时,机械旋耕效率较稳定,是该功率机械耕作的适宜规模面积。

2.3 区域机械旋耕效率

第四疃镇的地块单元等级图以曲周县 2018 年比例尺 1:50 000 的土地利用现状图为底图,对第四疃镇进行单独切割分离。根据区域机械旋耕效率的测算方法,研究区基于地块单元的机械耕作效率为 0.27 s/m<sup>2</sup>。其中,中低效地块单元数量最少,占比 7.10%;高效地块单元数量最多,占比 58.24%(表 6)。

表 6 研究区机械旋耕效率等级占比

Tab.6 Efficiency grade of mechanical rotary tillage in study area

| 参数                     | 低效    | 中低效  | 中效    | 中高效  | 高效    |
|------------------------|-------|------|-------|------|-------|
| 地块单元数                  | 80    | 43   | 8     | 45   | 353   |
| 地块单元数占比/%              | 13.20 | 7.10 | 14.03 | 7.43 | 58.24 |
| 地块单元面积/km <sup>2</sup> | 1.28  | 0.89 | 12.90 | 3.66 | 55.39 |
| 地块单元面积占比/%             | 1.73  | 1.20 | 17.40 | 4.94 | 74.73 |

将第四疃镇的机械旋耕效率计算结果进行空间化(图 5),从该区域地块单元机械旋耕效率来看,主路东侧区域的土地细碎化程度高于西侧区域,因此

第四疃镇主路西侧的区域高效地块数量多于主路东侧区域。其中围绕在居民点附近的地块单元受居民活动的极大影响,细碎化程度远高于远离居民点的地块单元,这些地块单元受道路、居民点、末级渠道等的影响较大,面积较小,形状也不尽规则,极大地降低了区域机械旋耕效率。这说明形状的规则程度极大地影响机械旋耕效率。



图 5 第四疃镇机械旋耕效率等级分布

Fig.5 Mechanical tillage efficiency grade distribution map of the Fourth Township

3 讨论

本文实验是在标准的华北平原地区实施,选取 69.83 kW 拖拉机进行耕作,与 29.4 kW 拖拉机耕作条件下不同地块面积的机械旋耕效率相比,大型机械的机械旋耕效率更高。以矩形地块为例,使用 29.4 kW 小型机械进行耕作时,当地块面积大于 3 600 m<sup>2</sup> 时,机械旋耕效率趋于稳定,保持在 1.017 s/m<sup>2</sup>;使用 69.83 kW 大型机械进行耕作时,地块面积大于 7 000 m<sup>2</sup> 时,机械旋耕效率较为稳定,维持在 0.25 s/m<sup>2</sup>。因此,对于地形平坦、耕地连片等有条件进行规模化生产的区域,可以适当扩大耕作地块面积,达到大型机械进行农业生产的适宜规模,有效提高规模效益。但对于丘陵、山地地区,地块大小受到自然因素限制,可以适当选择中小型机械,达到中小型机械耕作的理想旋耕效率。丘陵、山地地区的地块面积虽然受限,但可以提高地块的规则化程度,进而提高机械旋耕效率。

本文假定机械耕作效率只受地块面积和形状影响,只讨论了地块形状和面积对区域机械旋耕效率的影响,在实际中,机械耕作效率还会受到其他因素影响,如受到人口数量的约束,还会受到当地政府对未来经济相关规划的影响。同时机械旋耕效率还与当地机械化程度、机耕手耕作熟练程度、机械耕作方式、机械型号、当地农田土壤的易耕程度有很大的关系。在同一地区机耕手旋耕作业熟练程度、耕作方式的选择也会影响到机械旋耕效率。同时,本文主要是针对大型机械旋耕作业实验数据开展机械旋耕

效率分析,该旋耕机械工作宽幅为 200 cm,实际上农机耕作效率涉及到旋耕、播种、收获等环节,而这些作业环节的作业效率与动力机械、农机幅宽等密切相关,因此,未来土地整治要充分考虑以上因素,综合确定耕作田块规模。

受到实验条件、实验时间和其他一些因素的限制,几组组合面积只在实验中测算到 5 000 m<sup>2</sup>,未能达到通常土地整理中典型地块的面积,致使本文在分析标准地块形状对机械旋耕效率影响和评价时有一定的缺憾,应在未来的测算研究工作中弥补。

## 4 结论

(1)旋耕机作业效率受地块形状影响程度较大。地块形状的规则程度影响机械旋耕效率,形状越规整,拐点越少,转弯角度越大,机械旋耕效率越高。在相同的面积梯度上,矩形、梯形比其他形状的机械旋耕效率要高,其中矩形的机械旋耕效率最高,直角三角形的机械旋耕效率最低,在 5 个形状组合

中,组合 6 的机械旋耕效率最低,其他 4 组形状组合机械旋耕效率处于较为一致的水平。

(2)面积大于 7 000 m<sup>2</sup>地块是大型机械旋耕作业的适宜规模。随着地块面积的增大,机械旋耕效率不断增加,当地块面积超过 7 000 m<sup>2</sup>时,机械旋耕效率基本保持不变,矩形、梯形地块机械旋耕效率较高,维持在 0.25 s/m<sup>2</sup>,其他形状地块机械旋耕效率较低,维持在 0.30 s/m<sup>2</sup>左右。

(3)案例区地块单元水平机械旋耕效率为 0.27 s/m<sup>2</sup>。其中,中低效地块单元数量最少,占比 7.10%;高效地块单元数量最多,占比 58.24%。主路东侧区域的土地细碎化程度高于西侧区域,地块单元面积较小,形状也不尽规则,从而极大地降低了区域机械旋耕效率,因此第四疃镇主路西侧的区域高效地块数量多于主路东侧区域,说明形状规则程度对机械旋耕效率有很大的影响。因此,在土地整治过程中不能盲目追求耕作地块面积扩大化,在扩大面积的同时更要保证形状规则化程度。

## 参 考 文 献

[1] 伍骏骞,方师乐,李谷成,等. 中国农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应分析——基于跨区作业的视角[J]. 中国农村经济, 2017(6):44-57.  
WU Junqian, FANG Shile, LI Gucheng, et al. The spillover effect of agricultural mechanization on grain output in China: from the perspective of cross-regional mechanization service[J]. Chinese Rural Economy, 2017(6):44-57. (in Chinese)

[2] 陈艳林,韩博,金晓斌,等. 长江经济带耕地产能变化及土地整治影响分析[J]. 农业工程学报, 2023,39(2):182-193.  
CHEN Yanlin, HAN Bo, JIN Xiaobin, et al. Analysis of the cropland productivity change and the impact of land consolidation in the Yangtze River Economic Zone[J]. Transactions of the CSAE, 2023,39(2):182-193. (in Chinese)

[3] 邹秀清,谢美辉,于少康,等. 农村劳动力转移对耕地利用生态效率的空间溢出效应[J]. 中国土地科学, 2023, 37(1):59-69.  
ZOU Xiuqing, XIE Meihui, YU Shaokang, et al. The spatial spillover effect of rural labor transfer on ecological efficiency of cultivated land use[J]. China Land Science, 2023,37(1):59-69. (in Chinese)

[4] 严金明,夏方舟,马梅. 中国土地整治转型发展战略导向研究[J]. 中国土地科学, 2016,30(2):3-10.  
YAN Jinming, XIA Fangzhou, MA Mei. Strategy orientations of transformation development: land consolidation in the new period of China[J]. China Land Science, 2016,30(2):3-10. (in Chinese)

[5] 韩博,金晓斌,孙瑞,等. 土地整治项目区耕地资源优化配置研究[J]. 自然资源学报, 2019,34(4):718-731.  
HAN Bo, JIN Xiaobin, SUN Rui, et al. Optimized allocation of cultivated land in land consolidation project area based on multi-objective linear programming[J]. Journal of Natural Resources, 2019,34(4):718-731. (in Chinese)

[6] 刘玉,刘巧芹,唐秀美,等. 平原区耕作单元地块细碎化对小麦机收效率的影响分析[J]. 农业机械学报, 2018, 49(2):225-231.  
LIU Yu, LIU Qiaoqin, TANG Xiumei, et al. Effects of fragmentation of cultivated land unit on mechanical harvesting efficiency of wheat in plain area[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018,49(2):225-231. (in Chinese)

[7] MIN M, MIAO C, DUAN X, et al. Formation mechanisms and general characteristics of cultivated land use patterns in the Chaohu Lake Basin, China[J]. Land Use Policy, 2022,117:106093.

[8] QIU T W, CHOY S, LI Y F, et al. Farmers' exit from land operation in rural China: does the price of agricultural mechanization services matter[J]. China & World Economy, 2021,29(2):99-122.

[9] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1):3-14.  
LIU Jiyuan, KUANG Wenhui, ZHANG Zengxiang, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s[J]. Journal of Geographical Sciences, 2014,69(1):3-14. (in Chinese)

[10] 许庆,尹荣梁. 中国农地适度规模经营问题研究综述[J]. 中国土地科学, 2010,24(4):73-75.  
XU Qing, YIN Rongliang. Literature review on the issues of proper scale management of farmland in China[J]. China Land Science, 2010,24(4):73-75. (in Chinese)

[11] 陈秧分,孙炜琳,薛桂霞. 粮食适度经营规模的文献评述与理论思考[J]. 中国土地科学, 2015,29(5):8-15.

- CHEN Yangfen, SUN Weilin, XUE Guixia. Literature comment and theoretical study on the optimum management scale of farmland[J]. China Land Science, 2015,29(5):8–15. (in Chinese)
- [12] 周应堂,王思明. 中国土地零碎化问题研究[J]. 中国土地科学, 2008,22(11):63–67, 71.  
ZHOU Yingtang, WANG Siming. Study on the fragmentariness of land in China[J]. China Land Science, 2008,22(11):63–67, 71. (in Chinese)
- [13] 吕晓,黄贤金,钟太洋,等. 中国农地细碎化问题研究进展[J]. 自然资源学报, 2011,26(3):530–540.  
LÜ Xiao, HUANG Xianjin, ZHONG Taiyang, et al. Review on the research of farmland fragmentation in China[J]. Journal of Natural Resources, 2011,26(3):530–540. (in Chinese)
- [14] 陈培勇,陈风波. 土地细碎化的起因及其影响的研究综述[J]. 中国土地科学, 2011,25(9):90–96.  
CHEN Peiyong, CHEN Fengbo. Literature review on the causes of land fragmentation and its effects[J]. China Land Science, 2011,25(9):90–96. (in Chinese)
- [15] 吕振宇. 耕地细碎化的评价、效应及整治研究[D]. 北京:中国农业大学, 2015.  
LÜ Zhenyu. Study on the evaluation, effects, and consolidation of cultivated land fragmentation[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- [16] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴[J]. 地理学报, 2018,73(4):637–650.  
LIU Yansui. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2018,73(4):637–650. (in Chinese)
- [17] 李寒冰,金晓斌,孙瑞,等. “强-弱可持续”视角下土地整治对区域脱贫的贡献度[J]. 自然资源学报, 2023,38(3):642–657.  
LI Hanbing, JIN Xiaobin, SUN Rui, et al. Contribution of land consolidation to poverty alleviation from the perspective of “strong–weak sustainability”[J]. Journal of Natural Resources, 2023,38(3):642–657. (in Chinese)
- [18] 张正峰,杨红,谷晓坤. 土地整治对平原区及丘陵区田块利用的影响[J]. 农业工程学报, 2013,29(3):1–8.  
ZHANG Zhengfeng, YANG Hong, GU Xiaokun. Effects of land consolidation in plains and hills on plots use[J]. Transactions of the CSAE, 2013,29(3):1–8. (in Chinese)
- [19] GÓNZALEZ X P, MAREY M F, ÁLVAREZ C J. Evaluation of productive rural land patterns with joint regard to the size, shape and dispersion of plots[J]. Agricultural Systems, 2007,92(1):52–62.
- [20] GONZALEZ X P, ALVAREZ C J, CRECENTE R. Evaluation of land distributions with joint regard to plot size and shape[J]. Agricultural Systems, 2004,82(1):31–43.
- [21] WANG Y, LI X, LU D, et al. Evaluating the impact of land fragmentation on the cost of agricultural operation in the southwest mountainous areas of China[J]. Land Use Policy, 2020,99:105099.
- [22] LI B, SHEN Y. Effects of land transfer quality on the application of organic fertilizer by large-scale farmers in China[J]. Land Use Policy, 2021,100:105124.
- [23] 许玉光,杨钢桥,文高辉. 耕地细碎化对耕地利用效率的影响——基于不同经营规模农户的实证分析[J]. 农业现代化研究, 2017,38(4):688–695.  
XU Yuguang, YANG Gangqiao, WEN Gaohui. Impacts of arable land fragmentation on land use efficiency: an empirical analysis based on farms of different scales[J]. Research of Agricultural Modernization, 2017,38(4):688–695. (in Chinese)
- [24] 任艳敏,刘玉,潘瑜春,等. 华北平原农田耕作便利度评价研究[J]. 农业机械学报, 2018,49(12):165–171.  
REN Yanmin, LIU Yu, PAN Yuchun, et al. Evaluation of farming convenience degree in North China Plain[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018,49(12):165–171. (in Chinese)
- [25] 李鑫,欧名豪,马贤磊. 基于景观指数的细碎化对耕地利用效率影响研究——以扬州市里下河区域为例[J]. 自然资源学报, 2011,26(10):1758–1767.  
LI Xin, OU Minghao, MA Xianlei. Analysis on impact of fragmentation based on landscape index to cultivated land use efficiency—a case on Lixiahe District in Yangzhou City[J]. Journal of Natural Resources, 2011,26(10):1758–1767. (in Chinese)
- [26] 张海鑫,杨钢桥. 耕地细碎化及其对粮食生产技术效率的影响——基于超越对数随机前沿生产函数与农户微观数据[J]. 资源科学, 2012,34(5):903–910.  
ZHANG Haixin, YANG Gangqiao. The effects of land fragmentation on technical efficiency of food production: an empirical analysis based on stochastic frontier production function and micro-data of households[J]. Resources Science, 2012,34(5):903–910. (in Chinese)
- [27] 刘鹏伟,杨敏丽,张小军,等. 基于高质高效的西南丘陵山区机械化生产模式评价[J]. 农业机械学报, 2022,53(增刊1):140–149.  
LIU Pengwei, YANG Minli, ZHANG Xiaojun, et al. Evaluation of mechanized production model based on high quality and high efficiency in southwest hilly and mountainous areas[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022,53(Supp. 1):140–149. (in Chinese)
- [28] 陈文广,廖宇波,孔祥斌,等. 基于地块尺度的永久基本农田非粮化特征、驱动与管控[J]. 农业机械学报, 2023,54(6):114–124.  
CHEN Wenguang, LIAO Yubo, KONG Xiangbin, et al. Characteristics, drivers and control of non-grain production on permanent basic farmland based on plot scale[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023,54(6):114–124. (in Chinese)

- eliminating non-physiological stresses[J]. *The Crop Journal*, 2022,10(5):1284–1291.
- [19] LIU X, LIU L. Improving chlorophyll fluorescence retrieval using reflectance reconstruction based on principal components analysis[J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2015,12(8):1645–1649.
- [20] 田定方, 范闻捷, 任华忠. 植被光合有效辐射吸收比率遥感研究进展[J]. *遥感学报*, 2020,24(11):1307–1324. TIAN Dingfang, FAN Wenjie, REN Huazhong. Progress of fraction of absorbed photosynthetically active radiation retrieval from remote sensing data[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2020,24(11):1307–1324. (in Chinese)
- [21] CHEN Siyuan, LIU Liangyun, ZHANG Xiao, et al. Retrieval of the fraction of radiation absorbed by photosynthetic components (FAPARgreen) for forest using a triple-source leaf-wood-soil layer approach[J]. *Remote Sensing*, 2019,11(21):rs11212471.
- [22] 梁守真, 隋学艳, 侯学会, 等. 落叶阔叶林冠层光合有效辐射分量的遥感模拟与分析[J]. *生态学报*, 2017,37(10):3415–3424. LIANG Shouzheng, SUI Xueyan, HOU Xuehui, et al. Simulation and analysis on green fraction of absorbed photosynthetically active radiation of deciduous broadleaved forests canopy through remote sensing model[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017,37(10):3415–3424. (in Chinese)
- [23] GITELSON A. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2004,161(2):165–173.
- [24] VIÑA A, GITELSON A. New developments in the remote estimation of the fraction of absorbed photosynthetically active radiation in crops[J]. *Geophysical Research Letters*, 2005,32(17):L17403.
- [25] CAO Y, LI G L, LUO Y K, et al. Monitoring of sugar beet growth indicators using wide-dynamic-range vegetation index (WDRVI) derived from UAV multispectral images[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2020, 171: 105331.
- [26] GITELSON A A. Remote estimation of fraction of radiation absorbed by photosynthetically active vegetation: generic algorithm for maize and soybean[J]. *Remote Sensing Letters*, 2019, 10(3): 283–291.
- [27] GUZINSKI R. Comparison of vegetation indices to determine their accuracy in predicting spring phenology of Swedish ecosystems[C]//Lunds Universitets Naturgeografiska Institution-Seminarieuppsatser, 2010.
- [28] 赵叶, 竞霞, 黄文江, 等. 日光诱导叶绿素荧光与反射率光谱数据监测小麦条锈病严重度的对比分析[J]. *光谱学与光谱分析*, 2019,39(9):2739–2745. ZHAO Ye, JING Xia, HUANG Wenjiang, et al. Comparison of sun-induced chlorophyll fluorescence and reflectance data on estimating severity of wheat stripe rust[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2019,39(9):2739–2745. (in Chinese)
- [29] 竞霞, 邹琴, 白宗璠, 等. 基于反射光谱和叶绿素荧光数据的作物病害遥感监测研究进展[J]. *作物学报*, 2021,47(11):2067–2079. JING Xia, ZOU Qin, BAI Zongfan, et al. Research progress of crop diseases monitoring based on reflectance and chlorophyll fluorescence data[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2021,47(11):2067–2079. (in Chinese)
- [30] BADGLEY G, FIELD C B, BERRY J A. Canopy near-infrared reflectance and terrestrial photosynthesis[J]. *Science Advances*, 2017,3:e1602244.
- [31] ZENG Y, BADGLEY G, DECHANT B, et al. A practical approach for estimating the escape ratio of near-infrared solar-induced chlorophyll fluorescence[J/OL]. *Remote Sensing of Environment*, 2019,232. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.05.028>.
- [32] SHI Yue, HUANG Wenjiang, LUO Juhua, et al. Detection and discrimination of pests and diseases in winter wheat based on spectral indices and kernel discriminant analysis[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2017,141:171–180.
- [33] JING Xia, LI Bingyu, YE Qixing, et al. Integrate the canopy SIF and its derived structural and physiological components for wheat stripe rust stressmonitoring[J]. *Remote Sensing*, 2022,14(14): 14143427.

(上接第 240 页)

- [29] SONG W, WU K, ZHAO H, et al. Arrangement of high-standard basic farmland construction based on village-region cultivated land quality uniformity[J]. *Chinese Geographical Science*, 2019,29(2):325–340.
- [30] DI FALCO S, PENOV I, ALEKSIEV A, et al. Agrobiodiversity, farm profits and land fragmentation: evidence from Bulgaria[J]. *Land Use Policy*, 2010,27(3):763–771.
- [31] 罗丹, 徐艳, 王跃朋, 等. 基于地块面积的土地整理耕作效率测算方法研究[J]. *中国土地科学*, 2013,27(6):73–78. LUO Dan, XU Yan, WANG Yuepeng, et al. Study on the method of measuring the scale efficiency of land consolidation in terms of plot size[J]. *China Land Science*, 2013,27(6):73–78. (in Chinese)
- [32] 孔德刚, 赵永超, 刘立意, 等. 大功率农机作业效率与机组合理运用模式的研究[J]. *农业工程学报*, 2008,24(8):143–146. KONG Degang, ZHAO Yongchao, LIU Liyi, et al. Investigation of work efficiency of high-power agricultural machinery and reasonable application pattern of tractor-implement units[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008,24(8):143–146. (in Chinese)
- [33] 毛亮, 李满春, 刘永学, 等. 一种基于面积紧凑度的二维空间形状指数及其应用[J]. *地理与地理信息科学*, 2005,21(5):11–14. MAO Liang, LI Manchun, LIU Yongxue, et al. A 2-dimensional shape index based on area compactness and its applications[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2005,21(5):11–14. (in Chinese)