

山区耕地细碎化对手扶插秧机作业效率的影响

陈聪, 陈巧敏, 梁建, 曹光乔*

(农业部南京农业机械化研究所, 江苏 南京 210014)

摘要:对湖南新邵县 18 块面积为 133~667 m² 的水稻田块, 测定了手扶 4 行插秧机纯作业、转弯掉头、补秧等不同环节所需时间, 分析手扶插秧机的作业效率的变化。结果表明: 山区细碎耕地对手扶插秧机转弯掉头环节影响较大, 当田块面积小于 266.8 m² 时, 插秧机单位面积内转弯掉头时间为 270 min/hm²; 当田块面积 ≥ 266.8 m² 时, 转弯掉头时间为 150 min/hm² 以上; 当田块面积分别为 < 266.8、≥ 266.8~533.6、≥ 533.6~666.7 m² 时, 手扶插秧机的平均作业效率分别为 568、660、650 m²/h。综合分析结果, 当田块面积 ≥ 266.8 m² 时, 手扶插秧机作业效率基本稳定。鉴于手扶插秧机在山区作业的时间利用效率较低, 须优化改进插秧机的转弯性能, 提高其转弯操作方便性, 以利更好适应山区的细碎耕地, 应推动山区过于细碎耕地的集约化管理, 促进南方丘陵山区水稻机械化的发展。

关键词: 丘陵山区; 细碎耕地; 手扶插秧机; 作业效率; 湖南新邵

中图分类号: S223.91⁺2

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2015)05-0554-06

The influence of fragmentation on the work efficiency of walking transplanter in montanic farmland

Chen Cong, Chen Qiaomin, Liang Jian, Cao Guangqiao*

(Nanjing Research Institute for Agricultural Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

Abstract: The field experiment was carried out in Xinshao, Hunan province, the test field area was ranged from 133 m² to 667 m². The changes of work efficiency in different aspects, including pure planting, turning and supplying seedling etc., were measured through field trials in the arable land of different sizes. Firstly, according to the most adaptive speed of machinist, the speed of the transplanter is keeping around 0.4 m/s. When the planting clutch of rice transplanter closed and began planting operation, record the time node, whereas the planting clutch separated and transplanter stopped, also record the time node. The results showed that the fragmentation in montanic farmland mainly had a effect on the turning efficiency of walking transplanter. When the area less than 266.8 m², the turn-around time of transplanter in unit area comes to 270 minutes per hm², whereas the area is larger than 266.8 m², the turn-around time is 150 minutes/hm². When the field area is less than 266.8 m², 266.8~533.6 m² and more than 266.8 m², the average efficiency of the hand-held rice transplanter were 568 m²/h, 660 m²/h, 650 m²/h, respectively. Because of the lower operation efficiency in mountain area, it should be done to improve the planting machine turning performance, and optimize the turning operation convenience, to facilitate better adapt to the chronology of the cultivated land. Besides, we should promote the finely cultivated land intensive management to develop the rice mechanization of Southern Hilly area in China.

Keywords: hills and mountains; fragmental farmland; walking transplanter; work efficiency; Xinshao in Hunan

截至2013年, 中国水稻的耕种收综合机械化作业面积占水稻种植面积的比例已经达到73.14%, 其中机耕占机械化作业面积的为95.09%, 机收为

80.91%, 但机插仅为36.10%, 成为水稻全程机械化发展的瓶颈^[1]。通过横向对比发现, 机插水平呈现两极分化, 东北三省、长三角等平原地区机插水平

收稿日期: 2014-11-28

修回日期: 2015-07-20

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程项目(农科办(2014)216号)

作者简介: 陈聪(1986—), 男, 湖南城步人, 博士研究生, 助理研究员, 主要从事农业机械化研究, chencong520206@163.com; * 通信作者, 曹光乔, 博士, 副研究员, 主要从事农业机械化与农村发展研究, caoguangqiao@126.com

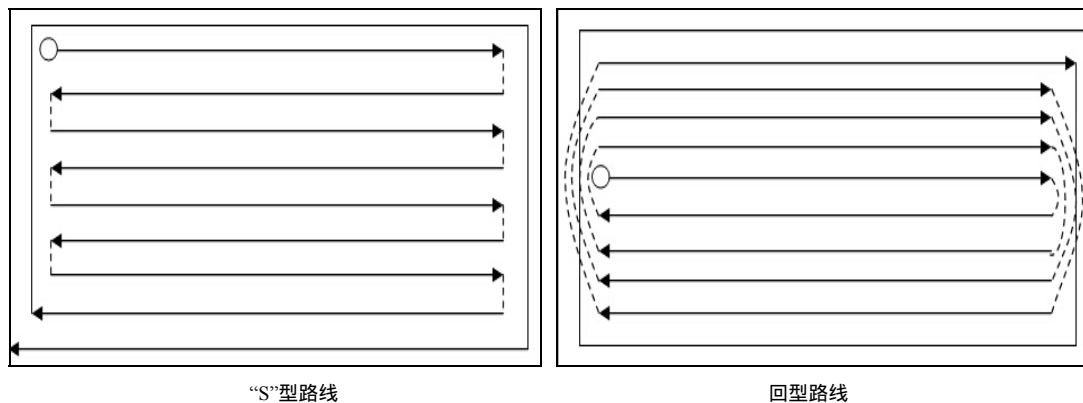
普遍高于50%，其中黑龙江已经超过90%，江苏达到了73%。而地处丘陵山区的中部与西南省份机插水平都低于20%，说明地形条件是制约机插发展的重要因素^[2-4]。

丘陵山区耕地细碎化程度高^[5-7]，水稻机插以手扶式插秧机为主。细碎化耕地条件下机械化田间作业需频繁转向、循边收获，移动较为困难^[8]。以往对农具作业效率的研究多忽略了耕地条件对机具作业效率的影响^[9-12]。笔者以山区细碎化耕地(133~667 m²)为研究对象，将插秧机作业细分成纯作业、转弯、加秧、休息故障等环节，进行手扶插秧机生产试验，测定插秧作业各环节时间与田块面积之间的关系，以期了解小地块对手扶插秧机影响最大的作业环节，以及手扶插秧机可适用的面积范围，为山区插秧机的选型与改进提供支撑。

1 细碎化耕地插秧机的作业路径和时间

1.1 作业路径

按照图1所示路线，插秧机顺着田块的长边插秧，短边掉头，但田块四周需预留可供插秧机掉头的空地，待中间部位全部插完再绕插1周^[13-15]，有漏插的地方需进行人工补秧，即完成作业。“S”型路线插秧机转弯的空走时间最少^[16](如图2所示)，但转弯方向不断左右互换，对机手的操作熟练程度要求高。按照回型路线，插秧机始终都按一个方向转弯，可更好地适应机手的选择性用手习惯，有利于机器操作，但机器转弯过程中行走的距离明显加长，必然使转弯时间增多而影响总作业效率。由于山区田块面积小，可供转弯的空间有限，多选用“S”型路线。本研究选择“S”型路线为插秧机的行走路线。

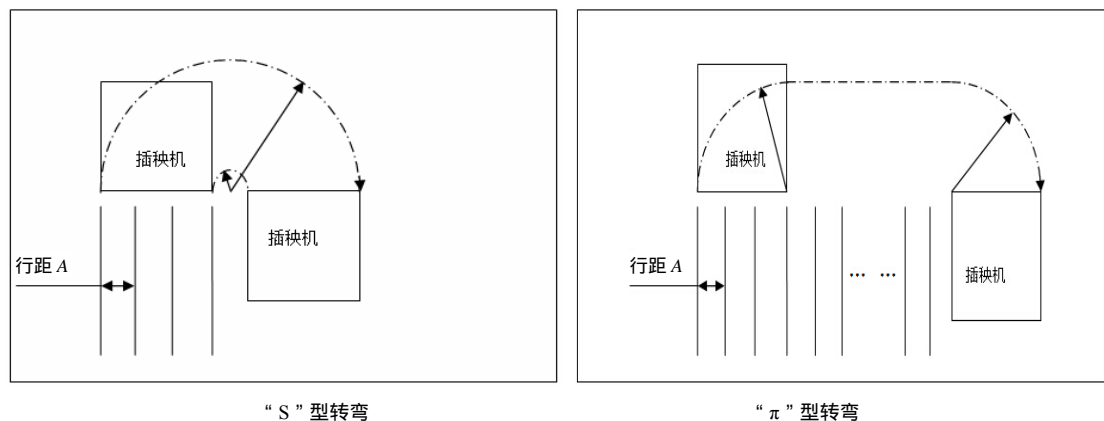


“S”型路线

回型路线

图 1 插秧机行走路线

Fig.1 Walking route diagram of transplanter



“S”型转弯

“π”型转弯

图 2 插秧机掉头的运动轨迹

Fig.2 Turning trajectory of the transplanter

1.2 作业时间

插秧机作业时间是指从插秧机进入田块开始

至结束插秧全过程的所有时间，由纯作业、转弯、加秧、机手休息、机器故障等时间组成。其中纯作

业时间为各段插秧作业中插秧离合器的启动与关闭之间的时间；转弯时间为各相邻两段插秧作业之间调整机器位置与方向的时间；加秧时间为停机加秧起始点到加秧结束止的时间；故障时间为故障发生到排除故障并重新开机止的时间。

插秧机作业速度记为 V_1 ，行走速度为 V_2 ，田块面积为 S ，田块长度记为 X ，宽度记为 Y ，理论总作业时间为 T_0 ，纯作业时间为 T_1 ，转弯掉头时间为 T_2 ，加秧时间为 T_3 ，其他时间为 T_4 ，插秧机作业行距为 A ，行数为 N 。

理论上，插秧机纯作业时间与田块面积成正比，当插秧机型号及其作业速度一定时，田块面积越大，纯作业时间越长。

$$T_1 = \frac{S}{A \times N \times V_1} \quad (1)$$

插秧机每掉一次头即转了2次 90° 的弯。将插秧机的宽度固定为所有秧爪之间的距离，插秧机完成掉头后，最右边的一个秧爪距掉头前的距离应等于插秧行距。设定插秧机以匀速圆周运动进行掉头，最左边的秧爪的速度为插秧机行走速度为 V_2 ，转弯时间应为：

$$T_2 = \frac{\pi(2N-1)(Y-N \times A)}{2N \times V_2} \quad (2)$$

插秧机的转弯时间与田块的宽度正相关，即耕地宽度越大，插秧机所需转弯时间也越长。当田块面积与转弯速度一定时，田块形状越细长，插秧机作业效率应越高。

记秧苗穴距为 L ，单穴苗株数为 M ，而行距为 A ，每盘秧的苗株数为 Z ，每公顷基本苗为 J ，所需秧盘数为 P 。假定秧苗供应及时，且秧苗均匀分布在田块短边的田埂上，则加每盘秧的时间大体相等，记每盘秧的时间为 t_3 ，则总加秧时间应与田块面积成正比，即面积越大，加秧时间越长。

$$T_3 = \frac{667S \times M}{L \times A \times Z} t_3 \quad (3)$$

除作业、转弯、加秧3大必要的环节外，作业过程中可能受各种不可控因素的影响而导致插秧机停机，将增加总的作业时间，如机具故障、机手休息、秧苗供应不及时等，由于影响因素不可控，时间也无法预知。

2 试验材料与方法

2.1 试验材料与设备

选择湖南省新邵县迎光乡车塘村为试验地点。2013年4月18—23日(早稻插秧期间)，试验机具为4行手扶步进式插秧机(章正2Z-455S)，秧苗为30 cm的毯壮苗。测试工具包括精度为0.001 s的秒表与精度为0.01 m的皮尺。机手有5年机插秧作业经验，能熟练操作机器。共18块试验田，由于水田水平度高，仅考虑试验田的面积，面积133~667 m²，均已旋耕1遍，耕整机耙平1遍，并泡田沉浆2 d，田中水深约2 cm。秧田与待插试验田距离约1 km，其中前500 m有1条不平坦的窄小泥路，可通过手推板车运秧，后500 m需要人力挑秧。

2.2 试验方法

试验人员通过连续跟踪机手在不同面积的耕地中作业，测试作业时间、油耗、田块面积与宽度及人员配置等相关数据。

2.2.1 作业时间测试

插秧机作业路径选择“S”型路线，按照机手最适应速度使插秧机行进速度保持为0.4 m/s左右。

当插秧机插秧离合器闭合开始插秧作业时，记录该时间节点；当插秧离合器分离停止插秧作业时，同样记录该时间节点；当插秧机停止插秧后，将有转弯、补秧、故障、休息、加油等多种可能工序，根据观察结果标注实际工序，并记录该工序的完节点，重复记录直至完成全田作业，分别计算纯作业、转弯、加秧、其他环节的总时间。

2.2.2 其他相关数据采集

通过询问机手的方式，记录所有作业田块的面积、人员配备情况及人员工资。分别记录插秧机每日出门与结束时的油箱刻度及整日所加油容量，从而计算出整日油耗。用皮尺量取田块中部宽度，用该数据代表田块宽度。

3 结果与分析

3.1 测试结果

通过连续观测同一机手操作、同一机器在同一区域内的作业，插秧机作业速度基本保持恒定，记录插秧机在不同面积水田中的不同工作环节的时

间,得到单位面积内的纯插秧时间、转弯时间、加秧时间、总工作时间,如表1所示,表中的作业时间为顷均作业时间。

将所有田块分成3个等级,分别是小于266.8 m², 266.8~533.6 m², 533.6~666.7 m²。可以看出,田块越小,单位面积内的纯插秧、掉头、总工作时间越长,加秧时间越短。利用Excel绘制各环节消耗的时间与田块面积之间的回归曲线,如图3~6所示,其中纯插秧、总工作时间的回归R²大于0.9,但转弯时间的回归R²小于0.8。

表 1 4 行手扶插秧机在不同大小田块的作业时间
Table 1 The operation time of line 4 walking transplanter in the field with different area

作业环节	每公顷的作业时间/h		
	<266.8 m ²	266.8~533.6 m ²	533.6~666.7 m ²
纯插秧	8.50	7.28	6.54
转弯	4.48	2.76	2.59
加秧	4.63	5.11	6.26
总工作	17.61	15.15	15.39

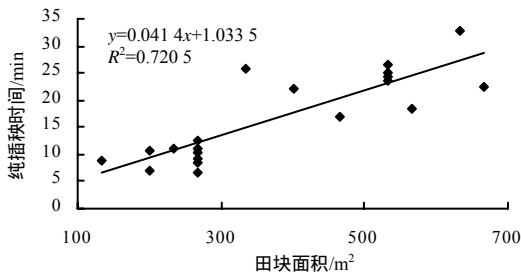


图 3 插秧机在不同面积水田中的纯插秧时间
Fig.3 Pure planting time in the field with different area

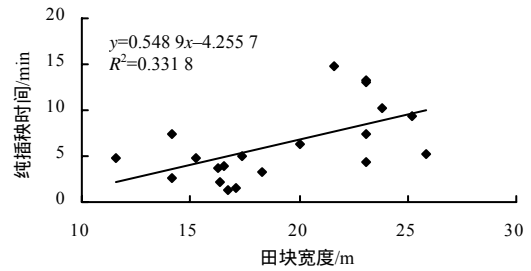


图 4 插秧机在不同宽度水田中的转弯时间
Fig.4 Turning time in the field with different width

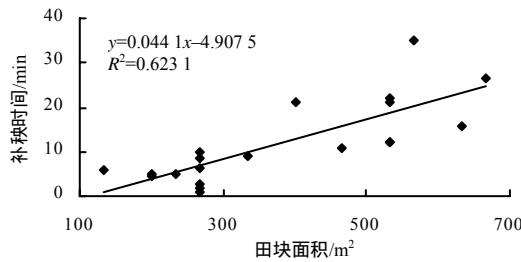


图 5 插秧机在不同面积水田中的补秧时间
Fig.5 Time of adding seedlings in the field with different width

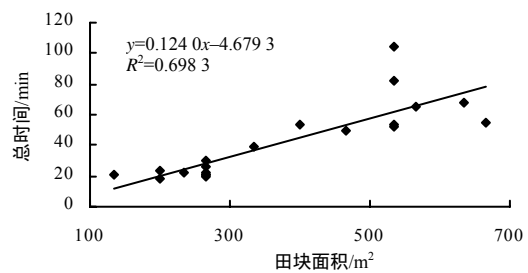


图 6 插秧机在不同面积水田中的总作业时间
Fig.6 Total working time in the field with different width

3.2 分析与讨论

3.2.1 田块面积对纯插秧效率的影响

纯插秧时间与田块面积回归方程的R²为0.72,说明该回归方程在显著性水平为0.3能通过检验,即在作业速度恒定、机具型号不变、作业要求相同的情况下,纯插秧作业时间与水田面积呈线性关系。但该回归方程的纵向截距为1.03 min,表明田块面积越小时,单位面积纯作业时间越长。

由表1可知,当田块面积小于266.8 m²时,单位面积的纯插秧时间为8.5 h/hm²,面积为266.8~533.6 m²时,为7.28 h/hm²,面积大于533.6 m²时,为6.54 h/hm²。田块面积越小,边角处也越窄,插秧作业难度越大,漏插率过高,必然会增大重插率^[17]。但3个田块等级之间的差异并不大,可见田块面积对纯

插秧环节有一定的影响。

3.2.2 田块面积对转弯效率的影响

转弯时间与田块宽度之间的回归方程R²为0.33,在显著性水平为0.4无法通过检验,说明4行手扶插秧机实际转弯时间与田块宽度不存在显著的线性关系。由于山区田块形状各异,同样宽度的田块,形状各异,难以获取准确而具有代表性的宽度数据,从而导致回归结果与理论分析出现一定偏差。在实际操作中,机手转弯根本无法套用平原地区广泛适用的“S”型路线,只能因地形条件选择易于操作的路线。同时,山区相邻水田间普遍存在高差,插秧机田埂旁掉头时,必须显著降低速度,根据需要会在经过田埂时利用倒挡多次后退转弯实现掉头。由于田块之间高差不一,对插秧机转弯

的阻碍大小不一,因此,插秧机转弯的时间存在较大的差异。此外,山区水田普遍存在尖角,转弯效率低,尖角数量与形状的差异也是导致转弯时间差异的重要因素。

尽管插秧机转弯时间与田块宽度没有直接的线性关系,但与田块大小保有一定的规律。由表1可以看出,田块面积越大,单位面积转弯时间越短,即插秧机转弯越顺畅。因为田块面积越大,边角占总面积的比例越小,对插秧机转弯的阻碍相对较少。此外,可以看出当田块面积小于 266.8 m^2 时,单位面积转弯时间显著增长,达到 4.48 h/hm^2 ;大于 266.8 m^2 时,单位面积转弯时间则基本稳定。说明4行手扶式插秧机在面积大于 266.8 m^2 的水田中作业基本能运转自如,但面积小于 266.8 m^2 时对插秧机的阻碍则变得较大。

3.2.3 田块面积对加秧效率的影响

加秧时间与田块面积之间回归方程的 R^2 为0.62,说明回归方程在显著性水平为0.4时能通过检验,即在插秧作业规范统一、插秧机型号不变、供秧及时、人工加秧速度恒定的情况下,加秧时间与田块面积呈线性关系。

但实际值与估计值仍有一定的偏差。由于手扶插秧机无存放备用秧的装置,无法按需加秧,必须在田埂边加秧。由于田块形状不一,从而导致每次加秧量与加秧次数不一,造成加秧时间不一致。此外,挑秧人员为了节约时间,都是随机堆放秧盘,导致秧堆与机器停车位置的距离大小不一,所需加秧时间也存在一定的差异。

由表1可以看出,单位面积加秧时间随田块面积的增大而加长。由于田块面积越大,停机位置距田埂距离较远的几率也较大,单次加秧时间也越长。插秧机每次加秧量基本恒定,单位面积加秧次数也基本不变,所以单次时间越长则总时间也越长。

3.2.4 作业总时间构成比例与田块面积的关系

机器故障是由机器本身的性能状态决定的,与田块关系不大,因此在分析耕地对作业时间的影响时不能包括故障排除时间。正常情况下,机手都要连续作业几块田才休息,无法反映出耕地对休息时间带来的影响。缺秧情况的出现与送秧人员有关,与田块本身没有关系。按照理想状况,假定机手作业过程无休息,秧苗供应及时,机具性能状态优良

无故障,总作业时间只包括纯作业时间、转弯时间、加秧时间。插秧作业总时间与田块面积呈线性关系,4行手扶插秧机在不同面积田块中作业效率没有显著差异。但在不同面积田块中,总作业时间的构成比例存在较大差异。田块面积小于 266.8 m^2 与大于 $266.8\sim 533.6\text{ m}^2$ 时,纯插秧时间占总时间的比例均为48%,而面积大于 533.6 m^2 时,该比例却降至42%,主要是由于加秧时间占比增长所致,加秧时间占比从30%左右增至41%。掉头时间占总作业时间的比例不大,尤其是当田块面积大于 266.8 m^2 时,其比例值仅17%~18%。

3.2.5 效率与经济性分析

手扶插秧机纯作业、转弯与加秧环节的效率均受田块面积的影响。虽然转弯环节同时受田块形状影响,但由于山区田块形状过于复杂,难以获取准确的田块长宽度数据,无法定量描述田块性状因素对插秧机效率的影响,而当某区域地形变化不大时,田块长宽比也维持在一个合理的小区间内,田块宽度亦可以用面积来表示,因此,本研究以田块面积为参照来描述耕地细碎化对插秧机作业效率的影响程度。3个不同面积区间内的平均作业效率分别为 568 、 660 、 $650\text{ m}^2/\text{h}$ 。机插秧的经济效益与其作业效率息息相关,效率越高,收益也越大,推广机插秧的经济性制约越小。机插秧作业成本应包含人员工资、购机成本、油耗等。调研发现,由于新邵县机插秧处于起步阶段,农机主管部门为了推动机插秧发展,以购机补贴与机插秧推广项目资金等经费予以双重扶持,农民基本可免费用机,因此不考虑购机成本。人员配置方面需1名机手(工资200元/d)、2名挑秧人员与2名补秧人员(工资150元/d),工资成本800元/d。插秧机每天工作10h,油耗为4L汽油(7.6元/L),油耗成本为30元/d。因为插秧机在不同面积中作业效率差异不大,所以人员配置与油耗基本保持不变。计算得到4行手扶插秧机在不同面积田块中的作业成本,详见表2。

表2 不同面积机插秧作业成本对照

Table 2 Mechanical planting costs in the field with different area compared with the artificial planting

田块面积/ m^2	作业成本/ $(\text{元}\cdot\text{hm}^{-2})$
< 266.8	1 456
266.8~533.6	1 258
533.6~666.7	1 277

据调研,经验较丰富的农民进行手工插秧,田块面积小于 266.8 m^2 时,其作业成本比其他面积范围高 $200\text{元}/\text{hm}^2$ 左右,但总体而言,山区机插秧相对人工作业能节约成本 $700\sim 900\text{元}/\text{hm}^2$,节约成本 $30\%\sim 45\%$ 。此外,机插秧效率远高于人工作业,对于经营规模较大的种粮大户抢种早晚稻,从而规避因极端天气而减产具有重要的作用。

4 讨论

山区细碎耕地对4行手扶式插秧机的转弯灵便性影响最大。插秧机在面积小于 266.8 m^2 田块中的顷均转弯时间达到面积大于 266.8 m^2 的2倍,而转弯是整个工作工程中对机手操作技能要求最高且劳动强度最大的环节,当田块小于 266.8 m^2 无疑会加大机插秧的推广难度。需对插秧机的转向系统进行优化,提升其转向灵便性及操作方便性,同时可通过农田整治工程将面积小于 266.8 m^2 的田块合并扩大,从而降低机插秧的推广难度。

细碎化田块的纯插秧时间占整个作业时间不足 50% ,加秧等辅助作业环节耗时长,尤其当田块面积大于 533.6 m^2 时,加秧时间占比高达 41% ,无法发挥大面积地块利于机器转弯掉头的优势。应提高育秧质量,使秧苗始终保持良好的形态,提高加秧速度。此外,可适当增加机器载秧量以减少加秧次数。

当田块面积大于 266.8 m^2 时,手扶插秧机的适用性较高。田块面积大于 266.8 m^2 时,4行手扶插秧机在田间转弯掉头已经不受限制,其作业效率将不再随田块面积增大而提高,基本保持为 $650\text{ m}^2/\text{h}$ 左右,远高于人工作业,相对人工作业能节约作业成本约 $900\text{元}/\text{hm}^2$ 。可见,田块处于该面积范围内,机插秧具有良好的适用性。面积小于 266.8 m^2 时,转弯时间占比达到 26% ,既增大了机手的劳动强度,又降低了整机作业效率,提高了作业成本,因此,田块处于该面积范围内可通过土地整治工程实现小田改大田,提高机插秧效率与效益。

参考文献:

[1] 曹曙明. 2013 年中国农业机械化年鉴[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2013.
[2] 易中懿, 曹光乔, 张宗毅. 我国南方丘陵山区农业机

械化宏观影响因素分析[J]. 农机化研究, 2010(8): 229-233.

- [3] 胡志超, 张慧娟, 钟挺, 等. 推进南方丘陵山区农业机械化发展思考[J]. 中国农机化, 2011(5): 16-18.
[4] 宋建武, 刘恒新. 加快突破丘陵山区农业机械化的发展瓶颈[J]. 中国农机化, 2010(2): 16-19.
[5] 谭淑豪, Heerink N, 曲福田. 土地细碎化对中国东南部水稻小农户技术效率的影响[J]. 中国农业科学, 2006, 39(12): 2467-2473.
[6] 刘涛, 曲福田, 金晶, 等. 土地细碎化、土地流转对农户土地利用效率的影响[J]. 资源科学, 2008, 30(10): 1511-1516.
[7] 王忠群, 梁建, 曹光乔, 等. 科学适度发展南方丘陵山地农机户[J]. 中国农机化, 2011(2): 3-8.
[8] 丁启朔, 丁为民, 杨伟, 等. 耕地细碎化条件的机械化特征——小型收割机的田间作业行为调查[J]. 浙江农业学报, 2013, 25(6): 1397-1403.
[9] 杨印生, 舒坤良, 郭鸿鹏. 农机服务组织作业效率影响因素的实证分析[J]. 数理统计与管理, 2008, 27(1): 62-69.
[10] 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.
[11] 孔德刚, 张帅, 杨明东, 等. 大功率拖拉机播种作业效率与经济性的测试分析[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(4): 7-13.
[12] 王新, 付函, 王书茂, 等. 收割机作业速度多目标控制模型的鲁棒优化设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(20): 27-33.
[13] 黄沛琛, 罗锡文, 张智刚. 改进纯追踪模型的农业机械地头转向控制方法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(21): 216-219.
[14] Bochtis D D, Vougioukas S G. Minimising the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern[J]. Biosystems Engineering, 2008, 101: 1-12.
[15] Hansen A C, Zhang Q, Wilcox T A. Modeling and analysis of row crop harvesting patterns by combines[J]. Transactions of the ASABE, 2007, 50(1): 5-12.
[16] 黄小毛, 付正坤, 丁幼春, 等. 矩形边界条件下农机作业方向平行路径的排序优化[J]. 华中农业大学学报, 2014, 33(4): 130-136.
[17] 刘卉, 孟志军, 付卫强. 基于 GPS 轨迹的农机垄间作业重叠与遗漏评价[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 149-154.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 吴志立