

播种机组纯作业时间利用率与地块条件的匹配模型与试验

乔金友¹, 邵光辉¹, 李 荣¹, 陈海涛¹, 王文富²,
李文华^{3*}, 朱胜杰¹, 刘 腾¹

(1. 东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江龙门农场, 北安 164000;
3. 黑龙江省农业科学院, 哈尔滨 150086)

摘 要: 机械化播种作业是现代农业生产的重要环节, 纯作业时间利用率是衡量播种机组作业效率的重要指标。该研究依据农业机组运行机理, 在调查研究的基础上, 提出季节时间利用率概念, 确定了播种机组的作业时间构成, 建立了播种机组纯作业时间、转弯时间、加种肥时间的计算模型和 3 种加肥方式下的播种机组纯作业时间利用率计算模型, 明确各参数随地块面积、地块长度等条件变化的一般规律; 以此为基础, 在机组正常作业状态下, 采用定距离多点多设备同步跟踪测的试验方法获取 4 种典型播种机组各类作业时间数据, 并运用 3σ 原理剔除无效数据; 依据所建模型及有效试验数据, 采用 Matlab 2012b 对 4 种播种机组的纯作业时间利用率随地块条件变化规律进行模拟仿真, 并采用 Sigmaplot 12.5 软件直观表达试验结果; 进而探索了播种机组纯作业时间利用率随地块条件变化的原因, 确定了目标时间利用率条件下不同播种机组与其所适宜的作业地块面积和地块长度的定量关系: 播种机组纯作业时间利用率大于 0.6 时, 约翰迪尔 7830 机组适合作业地块面积大于等于 6 hm²、地块长度为 1 200~1 400 m; 维美德 171 机组适宜作业地块面积大于等于 6 hm²、地块长度为 1 000~1 200 m; 常发 504 机组适合作业的地块面积大于等于 1 hm²、地块长度为 500~1 500 m; 黄海 254 机组适合作业的地块面积大于等于 0.3 hm²、地块长度 200~1 500 m。研究成果可为不同地块条件的播种机组选型提供定量依据。

关键词: 机械化; 模型; 播种机组; 纯作业时间利用率; 地块条件; 加种肥方式

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.05.003

中图分类号: S233.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2020)-05-0019-10

乔金友, 邵光辉, 李 荣, 陈海涛, 王文富, 李文华, 朱胜杰, 刘 腾. 播种机组纯作业时间利用率与地块条件的匹配模型与试验[J]. 农业工程学报, 2020, 36(5): 19—28. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.05.003
<http://www.tcsae.org>

Qiao Jinyou, Shao Guanghui, Li Rong, Chen Haitao, Wang Wenfu, Li Wenhua, Zhu Shengjie, Liu teng. Matching model and experiment of net working time utilization rate of seeder unit with plot length and area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(5): 19—28. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.05.003 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

农村实行家庭联产承包责任制以后, 以户为单位经营土地使作业单元地块变得细碎化^[1-2]。后来由于婚嫁等原因土地频繁调整, 使土地细碎化状况日渐严重。随着土地流转政策的实施及流转效果的提升, 使部分细碎化土地得到一定程度整合^[3], 尤其是随着农村合作组织的发展, 土地连片经营程度逐渐提高。这种发展状态造成农业生产中多种作业单元地块规模并存且差距较大。

地块面积和地块长度等参数是影响田间作业机组时间利用率的重要地块条件因素^[4-5], 且同种农业机组在不同地块条件下作业, 其技术参数及经济效果也不同。一般规律是: 在地块面积和长度较小情况下, 运用中型或

小型拖拉机组工作有利; 地块面积和长度较大的条件下, 选用功率较大的拖拉机机组是合理的^[6]。但这仅是定性的结论, 在作业单元地块规模不等且差距较大形势下, 研究不同机组时间利用率随地块条件变化规律, 为科学选择不同经营规模条件下适用农业机组提供定量理论依据, 具有重要理论及现实意义。

国外专家对农业机械作业技术参数与地块条件的关系进行了研究。Hunt^[7]依据机组最低年度费用提出确定农机具最佳幅宽的数学模型。Henning 等^[8]以地块规模和作物种植计划作为变量, 以最小成本、机组工作效率、时间利用率作为目标建立模型确定动力机功率、作业机幅宽、机组数量。Olaoye 等^[9]发现随着作业幅宽的增加, 农业机组转弯轨迹复杂, 地头转弯时间增加, 机组时间利用率降低。Hameed 等^[10]依据农地几何形状、作业机具参数、地头转弯模式等信息, 将作业地块划分为不同的区域, 以作业消耗最小和总作业路径最短等为目标计算最优作业方向, 生成最优作业路径, 进而提高机组作业效率。

国内研究机组技术参数与地块条件关系的文献相对较多。杜兵^[11]对农业机器作业班内时间项目进行分类, 提出研究播种机组时间利用率时应纳入加种肥时间等项

收稿日期: 2019-11-11 修订日期: 2020-02-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0300505-6); 公益性行业(农业)科研专项(201303011); 国家大豆产业技术体系岗位科学家“十三五”任务(CARS-04-PS24)

作者简介: 乔金友, 博士, 副教授, 主要从事农业机械化生产与管理方向教学与科研工作。Email: qiaojinyou@163.com

*通信作者: 李文华, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事作物栽培学与耕作学方向的科研工作。Email: nkytlwh@163.com

目。黄肇先^[12]研究机组功率和地块大小对农业机组生产率的影响,但是没有给出定量规律和模型。卢林瑞等^[13]提出,做好各辅助环节衔接工作和增大种肥箱容积,可减少播种机组异常停歇时间。陈济勤^[14]提出:将小地块合并和规划成较大地块,有利于减少转弯次数和地块转移空行时间。黄小毛等^[15]利用计算机技术寻求最优农机作业调度策略,以减少农业机组地头转弯距离和时间消耗。余友泰等^[6,16]给出拖拉机功率、机组生产率以及农具工作幅宽与农场经营规模的关系曲线,得出大地块、长垄应选择大型机组,反之选择小型拖拉机有利的结论。陈丽能等^[17]指出地块长度和机组功率是影响机组生产率的主要因素,并给出对生产率影响程度的评价指标及其计算模型。魏延富等^[18]提出根据不同地区地表覆盖状况、地块大小、经济状况等选择合适的免耕播种机。孔德刚等^[19-21]分析测试机组的时间利用率和作业效率,并提出大功率农业机组合理的运用模式。乔金友等^[22-24]建立了收获机组时间利用率及技术生产率随地块条件变化模型,并比较研究不同收获机组技术生产率随地块条件变化的规律。张凯等^[25]建立了不同作业路线下收割机生产率计算模型,分析了不同型号收割机、作业路线和田块面积下收割机生产率的变化规律。

国内外文献研究涉及机组幅宽、功率等参数与地块大小的关系,并取得了重要成果,但是,大多文献仅进行定性分析,关于机组的纯时间利用率随地块条件的定量变化关系研究很少报道。结合播种机组实际作业过程,建立播种机组纯作业时间利用率随地块条件变化关系的数学模型,并通过试验探讨不同加种加肥方式下,典型播种机组纯作业时间利用率随地块条件的变化规律,进而确定不同播种机组的适宜作业地块条件,不但可以有针对性地完善农业机组运用机制,而且可为目前作业单元地块规模大小不一条件下合理选用播种机机组提供理论支撑。

1 机组纯作业时间利用率概念及模型

1.1 机组纯作业时间利用率一般概念及模型

农业机组班次纯作业时间利用率是机组在作业班次内纯作业时间与班次总时间的比值。计算模型如式(1)所示。

$$\tau = \frac{T_p}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中 τ 为机组的班次纯作业时间利用率,%; T_p 为机组班次纯作业时间, s; T 为班次总时间, s。

机组纯作业时间利用率与许多因素有关,如机器的结构形式、工作可靠性等因素,作业速度、行走方式等运行因素,还有作业单元的地块面积和长度、坡度、地表状态等客观条件因素。分析机组纯作业时间利用率的目的在于尽可能地减少非工作时间,提高作业效率,并为改进机器的设计、提高制造质量、合理规划地块等工作提供科学依据^[26-28]。

1.2 作业季内纯作业时间利用率模型

由于班次时间较短,且不同地区、不同生产单位的

地块规模不同,播种机组作业过程中一些出现频率较低的时间项目(例如:地块转移、故障停歇等)在班次时间内可能观测不到,研究班次纯作业时间利用率不能客观反映机组实际作业状态,因此本文提出机组作业季节纯作业时间利用率的概念,充分考虑播种机组在整个作业季节的作业过程中所发生的各类时间项目,计算结果更客观、全面,更贴近农业生产实际。

播种机组作业季节纯作业时间利用率是播种机组在整个作业季节中,纯作业时间与作业季节总时间的比值,如式(2)所示。

$$\tau_q = \frac{T_{pq}}{T_q} = \frac{\sum_{i=1}^k T_{pi}}{\sum_{i=1}^k T_i} \quad (2)$$

式中 τ_q 为播种机组的作业季节纯作业时间利用率; T_{pq} 为作业季节内播种机组纯作业时间, s; T_q 为作业季节内播种机组消耗的总时间, s; T_{pi} 为作业季内播种机组完成第 i 个地块总的纯作业时间, s; T_i 为作业季内播种机组完成第 i 个地块的总作业时间, s; k 为作业季内播种机组完成作业的地块数量。

农业机组作业季节纯作业时间利用率的概念及计算模型中,各时间参数与作业机组的类别、地块条件以及田间作业行走方法和转弯形式无关,所定义的农业机组季节纯作业时间利用率及其计算模型具有普遍意义,研究播种机组作业季节纯作业时间利用率与地块条件的匹配关系更具实际指导意义。

2 播种机组纯作业时间利用率相关计算模型建立

2.1 播种机组作业时间构成

作业季节内播种机组完成作业任务的总时间等于机组完成各地块作业任务所消耗的总时间之和。机组在完成某个作业单元地块作业任务时所消耗的时间包括纯作业时间、地头转弯时间、加种加肥时间、地块转移时间以及因故障、维护保养、组织不当等原因产生的停车时间等^[11,27]。据此,可建立播种机组在一个作业季内消耗的总时间 T_q 的计算模型,如式(3)所示。

$$T_q = \sum_{i=1}^k T_i = \sum_{i=1}^k (T_{pi} + T_{ai} + T_{ti} + T_{li} + T_{si}) \quad (3)$$

式中 T_{ai} 为机组完成第 i 个地块作业消耗的加种加肥时间, s; T_{ti} 为机组完成第 i 个地块作业消耗的地头转弯时间, s; T_{li} 为机组完成第 i 个地块作业任务后的地块转移时间, s; T_{si} 为机组完成第 i 个地块作业过程中发生的停车时间, s。

播种机组纯作业时间和地头转弯时间是作业过程中发生频率最高的时间项目。机组作业季节总的地块转移频率随作业单元地块面积的减小而增大。当作业单元地块面积较小时,播种机组需频繁转移地块,机组的地块转移频率高,地块转移时间可能较长;当作业单元地块面积较大时,机组地块转移的次数会减少,地块转移时间会缩短。

播种机组在完成作业任务过程中发生的停歇时间除

加种加肥停歇时间外，还包括维修保养停歇时间、组织不当停歇时间等。由于播种机的种箱和肥箱容量有限，播种作业过程中需频繁停车加种或加肥，加种加肥时间是播种机组作业过程中必需的工艺性停歇时间^[11]。其他停歇时间为非工艺性停歇时间，应加强管理和控制使其最小化，以提高机组的纯作业时间利用率。

2.2 播种机组纯作业时间计算模型的建立

播种机组作业季节纯作业时间为季节内完成各作业单元地块作业任务发生的纯作业时间之和。

$$T_{pq} = \sum_{i=1}^k T_{pi} \quad (4)$$

机组开始作业行程后和驶离作业行程前存在加速和减速过程，虽然此距离较短，但为更客观准确地反应播种机组纯作业时间，设播种机组在一个作业行程中的加速作业距离为 l_{1i} ，匀速作业距离为 l_{2i} ，减速作业距离为 l_{3i} ，且 $l_{1i}=l_{3i}$ ，则播种机组在第 i 个作业单元地块的作业行程长度 L_i 如式 (5) 所示，则播种机组每个行程的作业时间包括 3 个部分：加速作业时间 t_{1i} ，匀速作业时间 t_{2i} ，减速作业时间 t_{3i} 。

$$L_i = l_{1i} + l_{2i} + l_{3i} = 2l_{1i} + l_{2i} \quad (5)$$

若播种机组进入行程和驶离行程的加速度相等，则 2 个过程消耗的时间亦相等，即 $t_{1i}=t_{3i}$ 。播种机组完成第 i 个作业单元地块的纯作业时间 t_{pi} 如式 (6) 所示。

$$t_{pi} = t_{1i} + t_{2i} + t_{3i} = 2t_{1i} + t_{2i} \quad (6)$$

播种机组完成第 i 个作业单元地块作业的作业行程数 n_i 可用式 (7) 所示。播种机组完成某地块作业的行程数是该地块宽度与播种机组作业幅宽之比，该比值的小数部分表示最后剩余的地块宽度小于机组的作业幅宽，这种情况机组仍需再作业一个行程才能完成剩余作业任务，所以该比值需向上取整。

$$n_i = \left\lceil \frac{W_i}{B_p} \right\rceil \quad (7)$$

式中 $\lceil \cdot \rceil$ 为向上取整运算符号， W_i 为第 i 个作业单元地块的宽度，m； B_p 为播种机组作业幅宽，m。

由式 (6) 和式 (7) 可知，播种机组完成第 i 个单元地块作业的纯作业时间为

$$T_{pi} = n_i \cdot t_{pi} = \left\lceil \frac{W_i}{B_p} \right\rceil (2t_{1i} + t_{2i}) \quad (8)$$

2.3 播种机组加肥时间计算模型的建立

2.3.1 加种肥时间的一般模型

一般播种机组肥料消耗量要远远大于种子消耗量，因此播种作业的加肥频率比加种频率大，单次加肥时间比单次加种时间长，可以在加肥的同时一并加种，则加肥时间计算模型即包含加种时间。

结合地块条件及机组结构特点，播种机组在作业过程中可采取空箱加肥、地块单侧加肥、地块双侧加肥 3 种方式。空箱加肥方式是指当播种机组肥箱内的肥料耗尽后停车加肥，加肥点可在地块内任意位置；地块单侧

加肥方式指当肥箱内剩余肥量不足以往返 2 个作业行程时，播种机组停车加肥，每次加肥都在地块的同一侧地头；地块双侧加肥方式指当肥箱剩余肥量不足以继续作业 1 个行程时，播种机组即停车加肥，机组加肥点可在地块任一侧地头。

机组以某种加肥方式完成第 i 个作业单元地块作业的总加肥时间 T_{awi} 等于单次加肥时间 t_{ai} 与该加肥方式下加肥次数之积 m_{wi} ，其计算模型如 (9) 式所示。

$$T_{awi} = m_{wi} \cdot t_{ai} \quad (9)$$

式中下标 $w=0,1,2$ ，分别代表空箱加肥、地块单侧加肥和双侧加肥。

2.3.2 不同加肥方式的加肥次数

1) 空箱加肥

播种机组以空箱加肥方式作业时的加肥次数 m_{0i} 等于整个地块的总施肥量 Q_i (kg) 与播种机肥箱最大容纳量 Q_f (kg) 的比值，结果向上取整，计算如式 (10) 所示。

$$m_{0i} = \left\lceil \frac{Q_i}{Q_f} \right\rceil \quad (10)$$

第 i 个地块的总施肥量 Q_i 等于地块面积 S_i (hm²) 与单位面积施肥量 q_u (kg/hm²) 的乘积，如式 (11) 所示。

$$Q_i = S_i \cdot q_u \quad (11)$$

肥箱所能容纳的最大肥量等于肥料堆积密度 ρ_f (kg/m³) 与肥箱容积 V_f (m³) 的乘积，如式 (12) 所示。

$$Q_f = \rho_f \cdot V_f \quad (12)$$

将式 (11)、(12) 代入式 (10) 可得：

$$m_{0i} = \left\lceil \frac{Q_i}{Q_f} \right\rceil = \left\lceil \frac{S_i \cdot q_u}{\rho_f \cdot V_f} \right\rceil \quad (13)$$

由式 (13) 可知，当播种机组以空箱加肥方式作业时，整个地块的加肥次数与地块的面积、单位面积施肥量、肥料堆积密度以及肥箱容积有关，与地块长度无关。

2) 地块单侧加肥

播种机组采用单侧加肥方式作业时，整个地块的加肥次数等于该块地所需肥量 Q_i 与相邻 2 次加肥时间间隔内机组施肥量的比值，结果向上取整。因为第 i 块地的总施肥量 Q_i 等于播种机组完成整块地作业总的行程数与单行程施肥量 q_i 的乘积；相邻 2 次加肥间隔内的施肥量等于此时间内的作业行程数 n_{li} 与单行程的施肥量 q_i 之积。所以，播种机组采用单侧加肥作业时，完成整个地块作业任务的加肥次数为

$$m_{1i} = \left\lceil \frac{n_i \cdot q_i}{n_{li} \cdot q_i} \right\rceil = \left\lceil \frac{n_i}{n_{li}} \right\rceil \quad (14)$$

式中 m_{1i} 为播种机组采用单侧加肥方式完成第 i 个地块作业的加肥次数； q_i 为第 i 个地块 1 个行程的施肥量，kg； n_{li} 为播种机组满箱肥所能作业的行程数。

地块单侧加肥方式作业时，播种机组加满肥箱后所

能作业的行程数为播种机组肥箱所能容纳的最大肥量 Q_f 与往返 2 个行程所需肥量 $2q_i$ 的比值, 如式 (15) 所示。当肥箱内剩余肥量不足往返 2 个作业行程时需停车加肥, 所以比值需向下取整。

$$n_{1i} = 2 \left\lfloor \frac{Q_f}{2q_i} \right\rfloor \quad (15)$$

式中 $\lfloor \rfloor$ 为向下取整计算符号。

播种机组一个作业行程的施肥量 q_i 等于单行程作业面积与单位面积施肥量的乘积, 如式 (16) 所示。

$$q_i = 10^{-4} B_p \cdot L_i \cdot q_u \quad (16)$$

依据式 (14)、式 (7)、式 (12)、式 (15) 和式 (16), 可以得到地块单侧加肥作业方式下播种机组完成第 i 个地块作业的加肥次数, 如式 (17) 所示。

$$m_{1i} = \left\lfloor \frac{n_i}{n_{1i}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{\left\lfloor \frac{W_i}{B_p} \right\rfloor}{2 \frac{10^4 \rho_f \cdot V_f}{2B_p \cdot L_i \cdot q_u}} \right\rfloor \quad (17)$$

由式 (17) 可以看出, 地块单侧加肥方式下播种机组的加肥次数与机组作业幅宽、播种机肥箱容积等机器基本参数有关, 同时与地块宽度、地块长度等地块参数有关。地块条件直接影响单侧加肥方式下播种机组的加肥次数, 进而影响其纯作业时间利用率。

3) 地块双侧加肥

播种机组以地块双侧加肥方式作业时, 肥箱剩余肥量不足以完成 1 个作业行程时需停车加肥。这种作业方式下, 播种机组完成第 i 个地块作业的总加肥次数 m_{2i} 等于整个地块的施肥量 Q_i 与播种机组 2 次加肥间隔内的施肥量之比, 计算结果向上取整。

依据式 (14), 可得地块双侧加肥条件下播种机组完成第 i 个地块作业的加肥次数:

$$m_{2i} = \left\lceil \frac{n_i \cdot q_i}{n_{2i} \cdot q_i} \right\rceil = \left\lceil \frac{n_i}{n_{2i}} \right\rceil \quad (18)$$

式中 m_{2i} 为地块双侧加肥时播种机组完成第 i 个地块作业的总加肥次数; n_{2i} 为地块双侧加肥时播种机组一次加满肥箱后所能作业的行程数。

地块双侧加肥时播种机组一次加满肥箱后所能作业的行程数 n_{2i} 是肥箱的最大容纳量与播种机组作业 1 个行程所需肥量的比值, 当肥箱肥料余量不足以作业 1 个行程时, 播种机组要提前停车加肥, 计算结果向下取整, 如式 (19) 所示。

$$n_{2i} = \left\lfloor \frac{Q_f}{q_i} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{10^4 \rho_f \cdot V_f}{B_p \cdot L_i \cdot q_u} \right\rfloor \quad (19)$$

将式 (6)、(19) 代入式 (18), 整理可得地块双侧加肥时播种机组完成整块地作业的加肥次数, 如式 (20) 所示。

$$m_{2i} = \left\lceil \frac{n_i}{n_{2i}} \right\rceil = \left\lceil \frac{\left\lfloor \frac{W_i}{B_p} \right\rfloor}{\frac{10^4 \rho_f \cdot V_f}{B_p \cdot L_i \cdot q_u}} \right\rceil \quad (20)$$

由式 (20) 可以看出, 地块双侧加肥条件下, 地块客观条件是播种机组加肥次数的影响因素之一。

2.4 播种机组其他作业时间的计算模型

2.4.1 地头转弯时间

播种机组地头转弯时间是地头转弯次数与单次转弯时间之积。由于机组完成整个地块的最后一个作业行程后无需转弯, 而是转移至下一地块。因此, 机组完成第 i 个地块作业任务的转弯次数比完成该地块作业的行程数少 1, 所以播种机组完成第 i 块地作业任务消耗的地头转弯时间为

$$T_{ti} = n_{ti} \cdot t_{ti} = \left(\left\lfloor \frac{W_i}{B_p} \right\rfloor - 1 \right) t_{ti} \quad (21)$$

式中 n_{ti} 为播种机组完成第 i 个地块作业时的地头转弯次数; t_{ti} 为播种机组完成第 i 个地块作业时的单次地头转弯时间, s。

2.4.2 地块转移时间

机组每完成一个作业单元地块的作业任务就会发生一次地块转移, 机组从第 i 个地块转移到第 $i+1$ 个地块所需时间如式 (22) 所示, 作业季内地块转移时间如式 (23) 所示。

$$T_{li} = t_{li} = \frac{L_{li}}{v_{li}} \quad (22)$$

$$T_L = \sum_{i=1}^k T_{li} \quad (23)$$

式中 t_{li} 为播种机组从第 i 个地块到第 $i+1$ 个地块的转移时间, s; L_{li} 为播种机组从第 i 个地块到第 $i+1$ 个地块的转移距离, m; v_{li} 为播种机组的地块转移速度, m/s; T_L 为作业季节内地块转移总时间, s。

由式 (22) 和 (23) 可知, 机组的地块转移时间与地块间距离有关, 作业季内地块转移总时间与地块转移次数有关, 而转移次数与地块大小有关。

2.4.3 停车时间

由于机组设备故障、技术维护、驾驶员换班等原因, 播种机组在作业过程中会出现除加种加肥外的停车, 其所占用时间为非工艺性停歇时间。播种机组在完成第 i 个地块作业中的总非工艺停歇时间为每次非加种加肥停歇时间之和, 如式 (24) 所示。

$$T_{si} = \sum_{j=1}^{m_s} t_{sij} \quad (24)$$

式中 t_{sij} 为播种机组完成第 i 个地块作业时的第 j 次停歇时间, s; m_s 为播种机组完成第 i 个地块作业的总停歇次数。

2.5 播种机组纯作业时间利用率与地块条件的匹配模型

设整个作业季内播种机组可作业 k 个地块, 已知第 i 个地块长度 L_i , 宽度 W_i , 播种机组的作业幅宽 B_p , 根据

式(2)及前述分析,可得播种机组作业季内的纯作业时间利用率为

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^k T_{pi}}{\sum_{i=1}^k (T_{pi} + T_{ai} + T_{ti} + T_{li} + T_{si})} \quad (25)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^k n_i \cdot t_{pi}}{\sum_{i=1}^k (n_i \cdot t_{pi} + m_{wi} \cdot t_{ai} + n_{ti} \cdot t_{ti} + t_{li} + \sum_{j=1}^{m_s} t_{sij})}$$

将前述各加肥方式的对应参数分别代入式(25),可得不同加肥方式下播种机组作用季节的纯作业时间利用率计算模型:

1) 空箱加肥

$$\tau_0 = \frac{\sum_{i=1}^k \left[\frac{W_i}{B_p} \right] \cdot t_{pi}}{\sum_{i=1}^k \left(\left[\frac{W_i}{B_p} \right] \cdot t_{pi} + \left[\frac{S_i \cdot q_u}{\rho_f \cdot V_f} \right] \cdot t_{ai} + \left(\left[\frac{W_i}{B_p} \right] - 1 \right) \cdot t_{ti} + t_{li} + \sum_{j=1}^{m_s} t_{sij} \right)} \quad (26)$$

2) 地块单侧加肥

$$\tau_1 = \frac{\sum_{i=1}^k \left[\frac{W_i}{B_p} \right] \cdot t_{pi}}{\sum_{i=1}^k \left(\left[\frac{W_i}{B_p} \right] \cdot t_{pi} + \left[\frac{\frac{W_i}{B_p}}{2 \left[\frac{10^4 \rho_f \cdot V_f}{2B_p \cdot q_u \cdot L_t} \right]} \right] \cdot t_{ai} + \left(\left[\frac{W_i}{B_p} \right] - 1 \right) \cdot t_{ti} + t_{li} + \sum_{j=1}^{m_s} t_{sij} \right)} \quad (27)$$

3) 地块双侧加肥

$$\tau_2 = \frac{\sum_{i=1}^k \left[\frac{W_i}{B_p} \right] \cdot t_{pi}}{\sum_{i=1}^k \left(\left[\frac{W_i}{B_p} \right] \cdot t_{pi} + \left[\frac{\frac{W_i}{B_p}}{\frac{10^4 \rho_f \cdot V_f}{B_p \cdot q_u \cdot L_t}} \right] \cdot t_{ai} + \left(\left[\frac{W_i}{B_p} \right] - 1 \right) \cdot t_{ti} + t_{li} + \sum_{j=1}^{m_s} t_{sij} \right)} \quad (28)$$

式中 τ_0 、 τ_1 、 τ_2 分别为地块空箱加肥、单侧加肥和双侧加肥的时间利用率。

由式(26)~(28)可知,播种机组作业季节的纯作业时间利用率与机组加种加肥方式、地块条件有关,同时也与机组作业幅宽、肥箱容积等机组结构参数相关,与播种机组作业的行走方法及地头转弯形式无关。

3 模型应用试验

依据实际生产状况,通过设计合理试验方案,在不影响机组正常作业情况下测试并获取各作业时间数据,并将测取的各时间数据代入所建立的模型,探索典型播种机组时间利用率随地块条件变化规律。

3.1 试验对象及仪器设备

综合考虑单元地块规模及测试机组的普适性,分别选择大型、中型和小型共 4 种典型大豆播种机组为测试对象,所选的 2 种大型机组结构相同,但功率不同。测试机组基本参数如表 1 所示。采用 UG801 手持终端(BD+GPS)、秒表、CANAN POWERSHOT SX60 数码相机(4 608×3 456 DPI)、100 m 皮尺等设备测量播种机组正常播种作业时的各项时间消耗、作业轨迹,并拍摄作业视频。

表 1 测试机组基本参数

Table 1 Basic parameters of tested seeding machinery units

序号 No.	动力机 Power machine	作业机 Operating machine	类型 Type	额定功率 Power/kW	作业幅宽 Operating width/m	种箱容积 Volume of seed box/m ³	肥箱容积 Volume of fertilizer box/m ³
1	约翰迪尔 7830	大平原播种机	大型	151	6.6	0.234 4	0.96
2	维美德 171	十方满胜播种机	大型	132	6.6	0.228 4	0.86
3	常发 504	2BTG-4 精量播种机	中型	37	2.6	0.050 8	0.42
4	黄海 254	2BFJM-2 精量播种机	小型	18.4	1.3	0.025 4	0.21

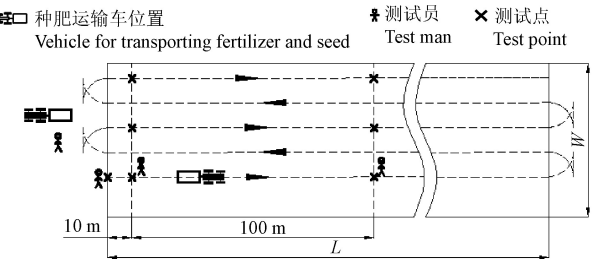
为保证试验效率和效果,测试地点选择在黑龙江垦区红星农场,于 2017 年 4 月 28 日至 5 月 15 日完成测试试验。红星农场位于黑龙江省北安市境内,耕地面积 $3 \times 10^4 \text{ hm}^2$,自然地块规模 $30 \sim 50 \text{ hm}^2$,地块长度 $700 \sim 1\,200 \text{ m}$,地头运输道路宽 6 m 。播种机组采用常用梭行法作业,以减少空行距离;由于大型播种机组纵向较长,采用鱼尾型地头转弯方式,而中小型机组可依据其纵向长度采用平坦型或半圆型转弯方式,以消除地头漏播,提高机组时间利用率,保证试验具有普遍意义。

对于地头需作业的小地块及非矩形地块,可以根据

具体地块条件选择适宜的作业方法,亦可按此试验方法分别测试机组实际作业过程中的各项时间。

3.2 试验方案

在不影响播种机组正常作业情况下,采用定距离多点设备同步跟踪测量大豆播种机组作业过程各类时间消耗。试验划定 2 个作业测试区,地头 $0 \sim 10 \text{ m}$ 为第一作业测区,测取机组进出作业区时的加、减速作业时间;地头向里 $10 \sim 110 \text{ m}$ 为第二测区,测试机组正常作业过程各项时间消耗。在同侧地头测量机组转弯、加种加肥等时间消耗。试验区划如图 1 所示。



注: L 为地块长度, m; W 为地块幅宽, m。
Note: L is plot length, m; W is plot width, m.

图 1 试验地块区划与时间测试点分布示意图

Fig.1 Schematic diagram of experiment plot planning and time testing point distribution

表 2 各类时间项目测试数据均值
Table 2 Average data of tested time items

机型 Machinery type	0~10 m 作业时间 0-10 m operating time t_{10}/s	10~110 m 作业时间 10-110 m operating time t_{100}/s	转弯时间 Turning time t_t/s	加种加肥时间 Adding seed and fertilizer time t_f/s	转移时间 Transfer time between plots t_l/s	单次停歇时间 Single stop time t_s/s
约翰迪尔 7830 John Deere 7830	8.4	39	53.5	433	268	52
维美德 171 Valtra 171	9.2	42	57.8	408	232	58
常发 504 Changfa 504	9.9	43	41.0	306	255	118
黄海 254 Huanghai 254	9.0	37	16.0	198	205	125

3.3.1 不同加肥方式下机组纯作业时间利用率

依据试验测试数据,结合农业生产中的实际地块面积及长度,设定地块面积从 0.1~10 hm²、地块长度从 100~3 000 m 等步长变化。采用 Matlab 2012b 对各播种机组纯作业时间利用率随地块条件的变化规律进行模拟分析。依据分析结果,利用 Sigmaplot 12.5 绘制不同播种机组纯作业时间利用率随块条件变化的等值线图,如图 2 所示。

分析图 2 可知,当地块长度一定时,播种机组纯作业时间利用率随地块面积增大而增大;当地块面积一定,纯时间利用率随地块长度增大而增加。空箱加肥时纯作业时间利用率随地块条件变化的趋势较为平缓,而地块单侧和双侧加肥方式下的播种机组纯作业时间利用率随地块长度增加在一定范围内波动,地块越长波动幅度越大,当地块长度增加到一定数值后纯作业时间利用率开始平稳上升。

当地块宽度小于机组作业幅宽时,该类型机组不适合在这种地块条件下作业。如图 2c 所示,当地块面积为 0.1 hm²,当地块长度增加到 800 m 时,地块宽度为 1.25 m,而黄海 254 播种机组的作业幅宽为 1.3 m,此时该机组无法作业,纯作业时间利用率为 0。因此,判定黄海 254 播种机组不适合在面积低于 0.1 hm²、且长度大于 800 m 的地块条件下作业。其他机型亦有类似规律。

对于某一机组来说,当地块长度增加至某一数值时,由于肥箱(种箱)容积的限制,肥箱(种箱)加满后不能完成一个作业行程(地块双侧加肥)或往返 2 个作业行程(地块单侧加肥),这时该机组无法在此地块条件下作业,其纯作业时间利用率为 0。如图 2b,播种机组地块单侧加肥方式作业时,当地块长度达到 1 300 m 时,维美德 171 机组的纯作业时间利用率骤降为 0;图 2c 中,地块双侧加肥方式下,当地块长度达到 2 600 m 时,维美

德 171 播种机组时间利用率亦为 0。

试验过程中,采用秒表、UG801 手持终端、数码像机等同步记录大豆播种机组通过试验测区时的各项时间消耗,获取同一试验点的多组记录,结果取平均值。试验重复次数为机组单地块测试的作业行程数与作业季内该机组作业的地块数量之积。多设备多点同步跟踪测试可以消除单一设备测试的人为误差,分析录制的作业过程视频,区分机组各测试状态、提取相关信息,可以更准确划定各时间项目的起止点及具体数值。

3.3 试验结果与分析

为了提高测试数据的可靠性,采用 3 σ 原则判断并剔除异常试验数据^[29-30],剔除处理后的大豆播种机组作业过程中消耗的各类时间平均值如表 2 所示。

3.3.2 不同地块条件的加肥次数

播种机组纯作业时间利用率随地块条件出现波动变化的原因可能是由于加肥时间等指标变化造成的,而加肥时间与加肥次数有关。

地块单侧或双侧加肥方式下,播种机组停车加肥时肥箱可能有剩余肥料。剩余肥量 Q_{swi} 计算模型如为式(29)所示。

$$Q_{swi} = Q_f - n_{wi} \cdot q_i \tag{29}$$

为研究方便,设约翰迪尔 7830 和维美德 171 机组作业地块面积为 10 hm²,常发 504 和黄海 254 机组作业地块面积为 5 hm²,以加肥时剩余肥量的可作业距离间接表示剩余肥量。采用 Matlab 2012b 对各机组加肥次数随地块长度的变化情况进行模拟仿真,利用 Sigmaplot 12.5 绘制不同播种机组加肥次数、加肥时剩余作业距离随块条件的变化曲线,如图 3 所示。

由图 3 可知,各机组剩余肥量的作业距离和加肥次数都具有相同的变化规律。播种机组以空箱加肥方式作业,加肥时肥箱内无剩余肥量,当地块面积一定时,加肥次数与地块长度无关;而地块单侧和双侧加肥方式作业时,播种机组的加肥次数和加肥时的剩余作业距离都随地块长度增加呈波动变化,且波峰值随着地块长度的增加而逐渐增加,相同加肥方式下,加肥次数与剩余作业距离的波动频率相同。在一次加肥量为固定值时,加肥时剩余肥量越多,说明一次加肥后实际施用肥量越少,即相应完成的作业面积越小,则完成相同作业面积的加肥次数越多,这也证明播种机组的加肥次数和剩余肥量的作业距离随地块长度变化具有相同的变化规律。

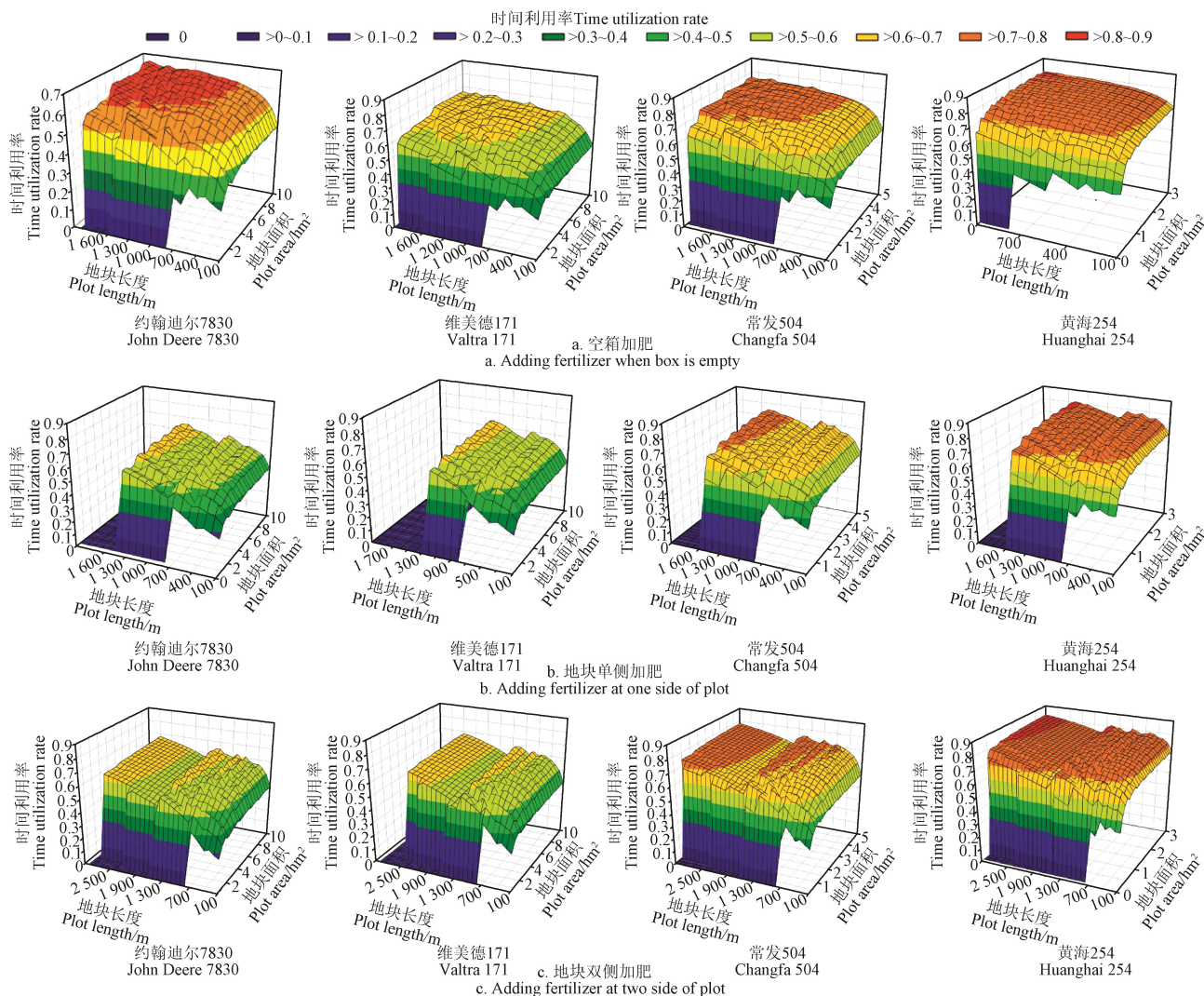


图2 播种机组时间利用率随地块条件变化规律

Fig.2 Time utilization rate of seeding machinery unit varies with plot conditions

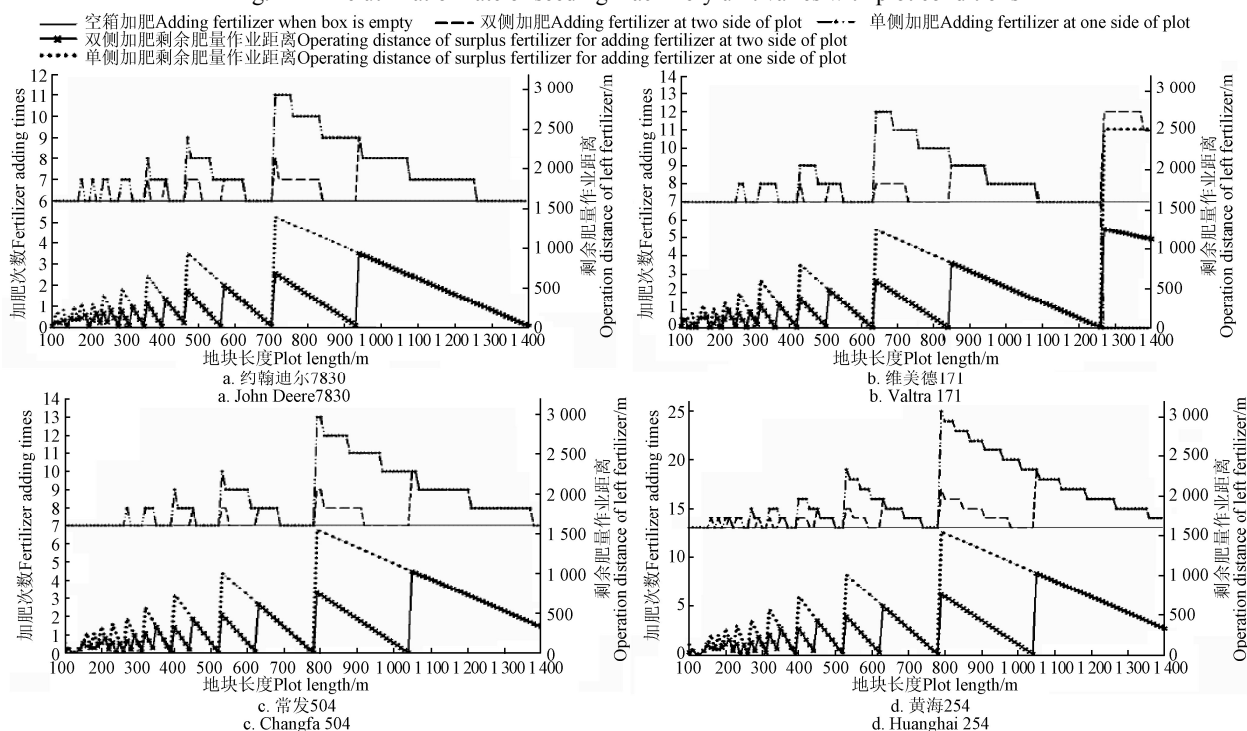


图3 不同播种机组加肥次数、剩余肥量随地块长度的变化规律

Fig.3 Fertilizer adding times and operation distance of surplus fertilizer varying with plot length

由图 3 可知,当地块长度较大时,播种机组的加肥次数波动变化周期变长,波动频率降低,在一定地块长度范围内使纯作业时间利用率处于较平稳的变化状态,这一结论也证明图 2 所呈现的播种机组纯时间利用率随地块长度呈波动变化是由加肥次数的变化引起的。

由此可得出,依据地块条件设计合适的播种机肥箱容积,使实际作业时的加肥次数避开波峰而趋近波谷,可有效降低加肥等辅助作业时间,提高播种机组的纯作业时间利用率和作业效率。

3.3.3 典型播种机组的适宜作业地块面积和长度

不同机组的纯作业时间利用率随地块条件的变化规律不同。地块条件不变时,小型播种机组由于机动性较好,转弯灵活方便,作业时间利用率较高;而大型播种

机组的辅助作业时间长,纯作业时间利用率相对较低。基于图 2、图 3,以确定的时间利用率截取不同播种机组以不同加肥方式作业的纯作业时间利用率曲面,可得到各机组以不同加肥方式作业时的适宜地块面积和地块长度。以机组纯作业时间利用率最小值为 0.6 时,4 种典型机组的适宜地块条件如表 3 所示。

由表 3 可知,在时间利用率相等或相近条件下,小型播种机组的适宜作业地块长度或地块面积相对较小,而大型播种机组对应的地块长度和地块面积相对较大,此规律与一般认知相同^[11,14,16-17],本文针对具体机组给出了定量的地块条件,依据表 3,在确定的目标纯作业时间利用率下,已知地块长度和地块面积可以选择与之配套的机器型号或机组功率范围。

表 3 不同加肥方式下典型播种机组的适宜作业地块面积和长度
Table 3 Suitable plot area and length for each seeder unit under different fertilizer adding modes

机型 Machinery type	空箱加肥		地块单侧加肥		地块双侧加肥	
	Adding fertilizer when box is empty		Adding fertilizer at one side of plot		Adding fertilizer at two side of plot	
	地块面积 Plot area/hm ²	地块长度 Plot length/m	地块面积 Plot area/hm ²	地块长度 Plot length/m	地块面积 Plot area/hm ²	地块长度 Plot length /m
约翰迪尔 7830 John Deere 7830	≥5	≥800	≥6	1 200≤L≤1 400	≥6	1 200≤L≤1 400
					2≤S<6	2 300≤L≤2 800
维美德 171 Valtra 171	≥5	≥800	≥6	1 000≤L≤1 200	≥6	1 000≤L≤1 200
					3≤S<6	1 900≤L≤2 500
常发 504 Changfa 504	≥1	≥500	≥1	500≤L≤1 500	≥1	500≤L≤3 000
黄海 254 Huanghai 254	≥0.3	≥150	≥0.3	200≤L≤1 500	≥0.3	200≤L≤3 000

由表 3 还可看出,播种机组以地块单侧加肥和双侧加肥方式作业时,适宜作业的地块长度有上限。这是因为受机组肥箱(种箱)容积限制,一次加肥机组最大作业距离是确定的,地块双侧加肥时,只有当单行程作业距离小于等于一次加肥机组可作业的最大距离时,机组才能正常作业,而地块单侧加肥时,只有当双行程作业距离小于等一次加肥机组可作业的最大距离时,机组才可作业。

由表 3 还可以看出,一些播种机组以某种加肥方式作业时,其适宜的地块长度存在多个范围。由图 2、图 3 可知,这是因为当播种机组以地块双侧加肥方式作业时,受加肥次数随地块长度波动变化的影响,在地块面积不变时,在固定纯作业时间利用率下可能会出现 2 段或多段不同的适宜地块长度范围。

4 结 论

1) 提出播种机组作业季节纯作业时间利用率的概念,明确各时间构成并建立相应的计算模型;建立了 3 种加种肥方式下播种机组纯作业时间利用率与地块条件的匹配模型,完善了不同地块规模下播种机组纯作业时间利用率的计算方法。

2) 明确了空箱加种加肥、地块单侧和双侧加种肥 3 种方式下 4 种典型播种机组的纯作业时间利用率随地块条件的变化规律:地块面积不变时,纯作业时间利用率随地块长度增加而增加,其增加速度渐缓且有微小波动,地块

长度不变时,纯作业时间利用率随地块面积呈相同规律变化;地块长度变化导致加肥次数及加肥时剩余肥量不同是导致纯作业时间利用率波动变化的原因。

3) 确定了目标纯作业时间利用率条件下 4 种典型播种机组在地块单侧加肥和双侧加肥 2 种方式下的适宜作业地块长度和面积范围:约翰迪尔 7830 机组适合在面积大于等于 6 hm²、长度 1 200~1400 m 的地块上作业,维美德 171 机组的适宜作业地块面积应大于等于 6 hm²、地块长度为 1 000~1 200 m,常发 504 机组的适宜作业地块面积应大于等于 1 hm²、地块长度约 500~1 500 m,黄海 254 机组的适宜作业地块面积应大于等于 0.3 hm²、地块长度为 200~1 500 m。明确不同播种机组与其适宜作业地块条件的定量关系,填补了相关理论空白,可为不同地块条件的播种机组选型提供理论依据。

【参 考 文 献】

[1] 罗锡文. 对加速我国农业机械化发展的思考[J]. 农业工程, 2011, 1(4): 1—8, 56.
Luo Xiwen. Thoughts on accelerating the development of agricultural mechanization in China[J]. Agricultural Engineering, 2011, 1(4): 1—8, 56. (in Chinese with English abstract)
[2] 罗锡文, 廖娟, 胡炼, 等. 提高农业机械化水平促进农业可持续发展[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 1—11.
Luo Xiwen, Liao Juan, Hu Lian, et al. Improving agricultural mechanization level to promote agricultural sustainable development[J]. Transactions of the Chinese Society of

- Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(1): 1—11. (in Chinese with English abstract)
- [3] 谢江平. 农业机械化对土地整合的影响[J]. 山西农业科学, 2015, 43(4): 486—488.
Xie Jiangping. Influence of agricultural mechanization on land integration[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2015, 43(4): 486—488. (in Chinese with English abstract)
- [4] 陈丽能. 拖拉机田间作业机组的生产率及其可发挥性评价指标的研究[J]. 浙江农村技术师专学报, 1990(1): 3—9.
- [5] 陈丽能. 拖拉机田间作业的最佳功率[J]. 农业机械学报, 1986, 17(2): 41—44.
Chen Lineng. The best power of the tractor field work[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1986, 17(2): 41—44. (in Chinese with English abstract)
- [6] 余友泰. 农业机械化工程[M]. 北京: 中国展望出版社, 1987.
- [7] Hunt D. Farm Power and Machinery Management[M]. Iowa State: Iowa State University Press, 1983.
- [8] Henning T Sogaard, Claus G Sørensen. A model for optimal selection of machinery sizes within the farm machinery system[J]. Biosystems Engineering, 2004, 89(1): 13—28.
- [9] Olaoye J O, Rotimi A O. Measurement of agricultural mechanization index and analysis of agricultural productivity of farm settlements in Southwest Nigeria[C]//Agric Eng Int: CIGR Journal, March, 2010, 125—134.
- [10] Hameed I A, Bochtis D D, Sørensen C G. An object-oriented model for simulating agricultural in-field machinery activities[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 81: 24—32.
- [11] 杜兵. 农机作业班时间构成项目分类的分析及改进[J]. 北京农业工程大学学报, 1995(1): 64—68.
Du Bing. Analysis and improvement of current classification of time in shift[J]. Journal of Beijing Agricultural Engineering University, 1992(1): 64—68. (in Chinese with English abstract)
- [12] 黄肇先. 田块大小和机械化的经济性[J]. 农业工程技术: 农产品加工, 1980(3): 2—6.
- [13] 卢林瑞, 王庆喜, 刘斌, 等. 田间移动机组的生产率[J]. 吉林农业大学学报, 1992, 14(2): 69—73.
- [14] 陈济勤. 农业机械运用管理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [15] 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.
Huang Xiaomao, Fu Zhenkun, Ding Youchun, et al. Sequence optimization of direction parallel path for the agricultural vehicles in field of rectangle boundary[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2014, 33(4): 130—136. (in Chinese with English abstract)
- [16] 李宝筏, 张东兴. 农业装备系统优化[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2005.
- [17] 陈丽能, 马广. 拖拉机田间作业机组的生产率及其影响因素的研究[J]. 农业机械学报, 2001, 32(2): 99—102, 117.
Chen Lineng, Ma Guang. Study on productivity of a field-working tractor-implement unit and its influencing factors[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(2): 99—102, 117. (in Chinese with English abstract)
- [18] 魏延富, 高焕文, 李洪文. 三种一年两熟地区小麦免耕播种机适应性试验与分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 97—101.
Wei Yanfu, Gao Huanwen, Li Hongwen. Experiment and analyses of the adaptabilities of three wheat no-tillage drills on corn stubble in the areas with two ripe crops a year[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(1): 97—101. (in Chinese with English abstract)
- [19] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(8): 143—146. (in Chinese with English abstract)
- [20] 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.
Kong Degang, Zhang Shuai, Yang Mingdong, et al. Study on work efficiency and economy of import large power tractor in sowing work[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2008, 39(4): 7—13. (in Chinese with English abstract)
- [21] 孔德刚, 常晓慧, 张帅. 大马力拖拉机作业机组故障的调查分析[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(10): 109—114.
Kong Degang, Chang Xiaohui, Zhang Shuai. Investigation and analysis on fault of large horsepower tractor operating units[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2009, 40(10): 109—114. (in Chinese with English abstract)
- [22] 乔金友, 韩兆桢, 李传磊, 等. 收获机组作业时间分析与建模[J]. 农机化研究, 2016, 38(9): 69—73.
Qiao Jinyou, Han Zhaozhen, Li Chuanlei, et al. Analysis and modeling of operation time items and times utilization rate of harvest unit[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(9): 69—73. (in Chinese with English abstract)
- [23] 乔金友, 韩兆桢, 李传磊, 等. 不同收获机组时间利用率规律的比较研究[J]. 农机化研究, 2016, 38(10): 133—138.
Qiao Jinyou, Han Zhaozhen, Li Chuanlei, et al. Comparative research on the regularities of time utilization rate of different combines[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(10): 133—138. (in Chinese with English abstract)
- [24] 乔金友, 韩兆桢, 洪魁, 等. 收获机组技术生产率随地块条件的变化规律试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(7): 43—50.
Qiao Jinyou, Han Zhaozhen, Hong Kui, et al. Variation of technology productivity of harvesting outfit along with site conditions[J]. Transactions of the Chinese Society of

- Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(7): 43—50. (in Chinese with English abstract)
- [25] 张凯, 白美健, 李益农, 等. 联合收割机生产率计算模型与适宜作业路线分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(18): 37—43.
Zhang Kai, Bai Meijian, Li Yinong, et al. Combine harvester productivity calculation model and analysis of suitable operation route[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(18): 37—43. (in Chinese with English abstract)
- [26] 韩兆桢. 收获机组技术生产率随地块条件变化规律试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
Han zhaozhen. Experimental Study on the Variation of Technical Productivity of Harvesting Units Along with Land Conditions[D]. Harbin: Northeast agricultural university, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [27] 李洪文. 农业机械化生产学(上册)(第二版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- [28] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(3): 1—8. (in Chinese with English abstract)
- [29] 王福林, 石光辉, 王吉权. 拖拉机技术经济指标的获取与处理方法[J]. 农业机械学报, 2006, 37(6): 76—78.
Wang Fulin, Shi Guanghui, Wang Jiquan. Study on the method of getting and dealing with some technical and economic indexes of tractor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6): 76—78. (in Chinese with English abstract)
- [30] 盛骤. 概率论与数理统计: 第四版[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014.

Matching model and experiment of net working time utilization rate of seeder unit with plot length and area

Qiao Jinyou¹, Shao Guanghui¹, Li Rong¹, Chen Haitao¹, Wang Wenfu², Li Wenhua^{3*}, Zhu Shengjie¹, Liu teng¹

(1. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Heilongjiang Longmen Farm, Beian 164000, China; 3. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: The mechanized seeding operation is an important part in modern agricultural production, and the **net operating** time utilization rate of the seeder is an important indicator to impact the efficiency of seeder unit. According to machinery unit application principle, the new term of seasonal net time utilization rate was determined in this paper, each consumed time items of seeder unit was distinguished and relevant mathematic models were established based on mechanized seeding practice and sufficient survey, such as net operating time, turning time and time of adding fertilizer and seeds and so on. Based on this, three mathematical models of net operating time utilization rate of seeding machinery units were established according to different adding fertilizer and seed ways. The experiment scheme was designed, which uses the method of multi-point synchronous tracking measurement to test the time items in the seeding process without disturbing the normal seeding process. Data of each time items of 4 typical seeding machinery units were obtained during the experiments. The statistic principle of 3σ was used to distinguish and eliminate invalid experiment data. Based on the models established and effective tested data, Matlab 2012b was used to analysis the net operating time utilization rate of the 4 seeding machinery units changing with plot length and area under 3 different ways to add fertilizer and seed, the test results were expressed using Sigmaplot 12.5 software, and the quantitative correspondence between the different typical seeding machinery units and suitable operating plot area and length under the aimed net operating time utilization rate were determined. The results showed that when the aimed net operating time utilization rate of seeding machinery units is greater than 0.6, the John Deere 7 830 unit is suitable for the plots with areas no less than 6 hm² and the plot length is 1 200-1 400 m. The Valtra 171 unit is suitable for the plots with area no less than 6 hm² and the plot length is 1 000-1 200 m. The suitable plots for Changfa 504 unit are that area is no less than 1 hm² and the plot length is 500-1 500 m. The plots with area no less than 0.3 hm² and the plot length is 200-1 500 m are suitable for Huanghai 254 unit. The results can provide scientific accordance to select seeding machinery units for different plots.

Keywords: mechanization; models; seeder unit; net operating time utilization rate; plot conditions; adding ways of fertilizer and seed