



贾乐心, 江应星, 孙佳, 等. 基于EDEM的圆盘弹齿组合式水田平地机圆盘转辊仿真与试验[J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(6): 1406-1414.

JIA L X, JIANG Y X, SUN J, et al. EDEM-based simulation and test of disc blade rollers of disc spring tooth combination type paddy grader[J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2021, 43(6): 1406-1414.

基于EDEM的圆盘弹齿组合式水田平地机 圆盘转辊仿真与试验

贾乐心¹, 江应星^{1,2*}, 孙佳¹, 付大平^{1,2}, 姜立民³, 王景立^{1,2*}

(1. 吉林农业大学 工程技术学院, 吉林 长春 130000; 2. 吉林农业大学 农业机械工程实验室, 吉林 长春 130000; 3. 吉林农业大学 资源与环境学院, 吉林 长春 130000)

摘要:【目的】水稻秸秆全量还田是一种新的农艺技术措施, 传统的翻耕与旋耕机械因出现严重的秸秆缠绕, 导致工作阻力剧增, 作业质量变差甚至无法正常作业, 因此对水田耕整地作业机械提出了新的要求。【方法】针对水稻秸秆全量还田新农艺技术特点, 以机具作业速度、圆盘转辊转速、作业深度为试验因素, 以工作阻力和工作部件缠草率为试验指标进行试验研究, 通过EDEM离散元软件对工作阻力进行模拟仿真, 并利用田间动态遥测仪进行田间试验。【结果】各因素对机具前进阻力影响显著性由大到小分别为机具作业速度、圆盘转辊作业深度、转辊转速。【结论】最优作业条件为机具作业速度 2 km/h, 圆盘转辊作业深度 22 cm, 转辊转速 300 r/min, 田间试验前进阻力结果与仿真试验结果的相对误差率为 29.69%。

关键词: 压埋机构; 离散元; 工作阻力; 缠草率

中图分类号: S222.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2021)06-1406-09

EDEM-based Simulation and Test of Disc Blade Rollers of Disc Spring Tooth Combination Type Paddy Grader

JIA Lexin¹, JIANG Yingxing^{1,2*}, SUN Jia¹, FU Daping^{1,2},
Jiang Liming³, WANG Jingli^{1,2*}

(1. College of Engineering and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130000, China; 2. Laboratory of Agricultural Machinery Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130000, China; 3. College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130000, China)

Abstract: [Objective] With the popularization of the new agricultural technology of returning rice straw to the field, traditional tillage and rototilling machines can not work because of the serious entanglement of straw,

收稿日期: 2021-05-26 修回日期: 2021-07-26

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0501200)

Project supported by the National Key R&D Program of China(2016YFC0501200)

作者简介: 贾乐心, orcid.org/0000-0001-5657-8547, jialixinjlau@163.com; *共同第一作者; *通信作者: 王景立, 教授, 博士生导师, 主要从事保护性耕作技术与装备研究, orcid.org/0000-0002-6083-8636, wjlwy2004@sina.com。

which leads to the sharp increase of working resistance and the deterioration of working quality. All this puts forward new requirements for paddy field tillage and soil preparation machinery. [Method] According to the new agricultural technology condition of rice straw returning to the field in full quantity, this study took the working speed of the machine tool, the rotating speed of the disc knife roller and the working depth as the experimental factors, and took the working resistance and the working parts winding carelessness as the experimental indexes, the working resistance was simulated by the EDEM discrete element software, and the field experiment was carried out by the field dynamic telemetering instrument. [Result] The influences of the factors on the forward resistance of the machine tool were significant from big to small, which were the working speed of the machine tool, the working depth of the disc knife roll and the rotation speed of the knife roll. [Conclusion] The optimum working conditions were: the working speed of the machine tool 2 km/h, the working depth of the disc knife roll 22 cm, the rotating speed of knife roller 300 r/min, and the relative deviation between simulation test and field test was 29.69%.

Keywords: burial mechanism; discrete element; working resistance; rate of twining grass

【研究意义】水稻是我国重要的粮食作物,籽粒收获后往往伴随大量水稻秸秆待处理。秸秆还田有利于提升土壤肥力,改善土壤团粒结构^[1]。传统水田平地机利用打浆刀对泥土与根茬的切削作用以达到秸秆呈碎段状,泥土粘稠状。但存在作业阻力大、秸秆压埋率低、作业后大量秸秆漂浮于田面等缺陷^[2]。【前人研究进展】离散元方法广泛应用于农业机械工作部件的仿真设计中^[3-4],如排种器、旋耕刀等作业部件的作业状态仿真模拟数据与实际试验所得数据偏差较小,可作为田间试验前的理论数据参考^[5]。王金龙^[6]基于离散元法对还田刀辊总成进行优化与分析,通过对扭矩、土壤颗粒数目的田间试验与仿真分析进行对比,验证了离散元仿真可靠性。张春岭^[7]建立土壤-机具-秸秆模型分别对土壤颗粒、秸秆各方向位移以及刀片受力进行分析。邬立岩等^[8]通过构建水田机械工作部件表面与水田泥土层相接触的力学模型,对触土部件结构表面进行了减阻设计。【本研究切入点】针对水稻秸秆全量还田新农艺措施下出现的水稻秸秆吸水后韧性与抗剪切强度急剧增加,造成刀辊缠草严重,甚至无法作业的问题,设计了一种基于水稻秸秆整株压埋为特点的圆盘弹齿组合式水田平地机,用于完成田面灌水后水稻秸秆深埋与起浆作业。【拟解决的关键问题】设计了压草圆盘滚筒与弹齿滚筒组合的水田平地机,解决传统打浆刀辊缠草、作业阻力大等不适于水稻秸秆全量还田的新农艺技术要求问题。田间试验表明,该机具作业后秸秆压埋率、起浆浓度等指标均满足新农艺要求。

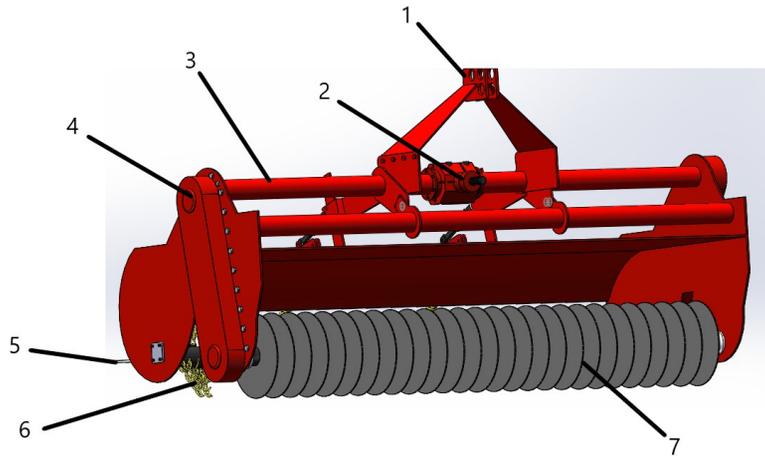
1 圆盘弹齿式水田平地机压埋机构结构设计

1.1 圆盘弹齿组合式水田平地机整机结构

秸秆还田作业时,拖拉机动力输出轴转动经由万向联轴器将动力传输至机具动力输入轴,动力输入轴经变速箱减速驱使主动轴转动,主动轴两端连接机具两端齿轮传动箱并将动力传递至圆盘转辊与弹齿转辊,圆盘转辊上安装数组压草圆盘,弹簧辊筒上分布大量弹簧弹齿,压草圆盘起秸秆压埋作用,弹簧弹齿起二次压埋与辅助起浆作用(图1)。

1.2 非驱动式与驱动式圆盘受力对比

传统非驱动式作业部件进行作业时,在拖拉机牵引作用下,作业部件依靠自身切削土壤与秸秆所受的滚切阻力进行转动。因机具水平牵引力较大且扭矩不足,导致水稻秸秆压埋效果不佳易出现壅土现象。驱动式压草圆盘受转辊驱动,压草圆盘向下主动压埋秸秆与泥土并提供旋转扭矩。使秸秆与泥浆有向下转动的趋势,将原本拥堵于机具前进方向的秸秆向土壤深处运动,实现水稻秸秆全量还田(图2)。

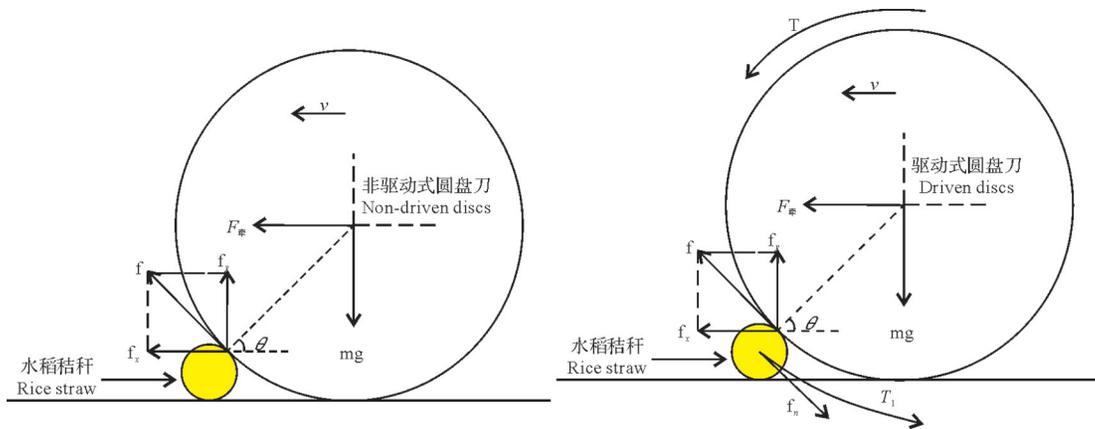


1: 上牵引悬挂点; 2: 动力输出轴; 3: 主动轴; 4: 齿轮传动箱; 5: 弹簧辊筒; 6: 弹簧弹齿; 7: 压草圆盘。

1: Upper traction suspension point; 2: Power output shaft; 3: Active shaft; 4: Gearbox; 5: Spring roller; 6: Spring popping teeth; 7: Grass press disc.

图 1 圆盘弹齿组合式水田平地机整机结构

Fig.1 Structure of paddy field grader with disc spring-tooth combination



F_e : 机具牵引力, N; f : 秸秆所受滚动摩擦阻力, N; f_v : 水平方向, 秸秆所受滚动摩擦阻力, N; f_y : 垂直方向, 秸秆所受滚动摩擦阻力, N; θ : 水稻秸秆与圆盘切割角, ($^\circ$); v : 机具作业速度, km/h; f_n : 水稻秸秆所受牵连摩擦力, N; T : 圆盘转动矩, N·m; T_1 : 水稻秸秆所受牵连转动矩, N·m。

F_e : Machine tractive force, N; f : Rolling frictional resistance to the straw, N; f_x : Rolling frictional resistance to the straw in standard, N; f_y : Rolling frictional resistance to the straw in vertical, N; θ : Rice straw and disc cutting angle, ($^\circ$); v : Machine operation speed, km/h; f_n : Implicated friction force on rice straw, N; T : Rotation moment of disc, N·m; T_1 : Moment of rotation implicated in rice straw, N·m.

图 2 非驱动式圆盘与驱动式圆盘受力分析

Fig.2 Force Diagram of non-driving disc cutter and driving disc cutter

2 离散元仿真

2.1 建立离散元模型

合适的颗粒模型可大大增加仿真效果真实性^[9]。本研究所用的是 Hertz-Mindlin with JKR 模型, 该模型通过变化颗粒之间作用力来模拟各类物料, 该模型提供吸引凝聚力, 即便颗粒之间未直接接触且适用于模拟湿颗粒, 通过将颗粒之间的凝聚力模拟液体中的粘滞力^[10]。该离散元模型通过将两种颗粒层层铺垫, 用散粒体填充模拟流体(图 3)。

2.2 仿真参数

经查阅相关资料, 泥的密度为 $2\,000\text{ kg/m}^3$, 泊松比为 0.5, 泥浆材质复杂特殊, 类属于流体, 通过虚拟试验标定法来确定其剪切模量为 $1 \times 10^8\text{ Pa}$, 其表面能为 0.15 J/m^2 ^[11] 泥土颗粒半径选用 5 mm 。秸秆颗粒建模采用球形颗粒进行拼接建模, 并对模型进行一定程度的简化。秸秆的密度为 241 kg/m^3 , 剪切模量为 $1 \times 10^6\text{ Pa}$ ^[12](表 1)。

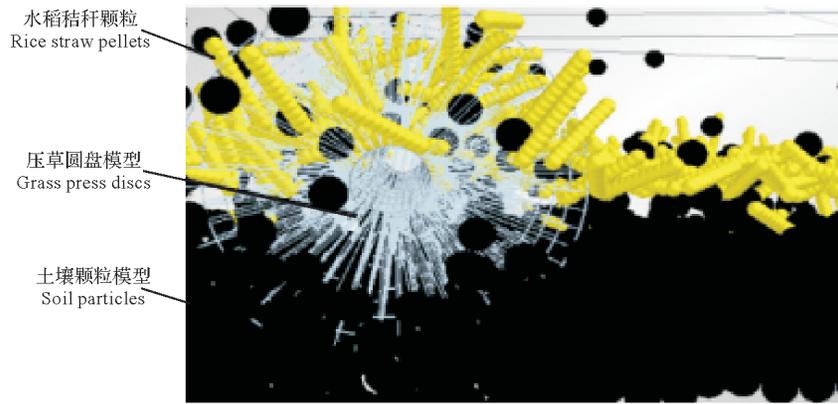


图 3 泥土-刀具-秸秆离散元模型
Fig.3 Soil-tool-straw discrete element model

表 1 不同颗粒接触参数

Tab.1 Contact parameters of different particles

颗粒接触类型 Particle contact type	数值 Value
泥-泥恢复系数 Mud-mud recovery coefficient	0.6
泥-刀具恢复系数 Mud-cutter recovery coefficient	0.6
刀具-秸秆恢复系数 Tool-straw recovery coefficient	0.3
泥-泥静摩擦系数 Mud-mud static friction system element	0.6
泥-刀具静摩擦系数 Mud-cutter static friction system coefficient	0.6
刀具-秸秆静摩擦系数 cutter-straw static friction system coefficient	0.3
泥-泥滚动摩擦系数 Mud-mud rolling friction coefficient	0.4
泥-刀具滚动摩擦系数 Mud-cutter rolling friction coefficient	0.05
刀具-秸秆滚动摩擦系数 Cutter-straw rolling friction coefficient	0.01

2.3 离散元模拟试验

本研究通过从离散颗粒添加作用力,模拟泥土之间存在的粘滞力大小。赋予圆盘转辊相应运动参数,模拟刀具秸秆压埋过程。正确、合理的仿真模拟模型一定程度上可为机具田间实验提供理论参考依据。

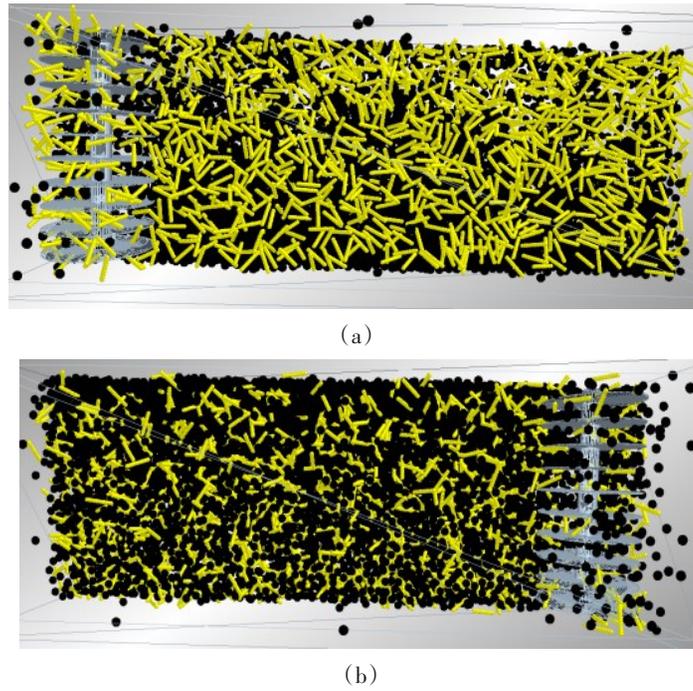
水田耕整地作业中,机具作业条件差异往往导致不同作业效果。选择合适机具作业条件成为农民关注的重点,在满足水稻种植农艺要求前提下,适当减小机具前进阻力,可延长机具使用寿命,减低机具功率消耗,一定程度上可减少农户使用成本。选用机具作业速度、压埋机构作业深度、转辊转速作为试验因素,将机具前进阻力作为试验指标,在常规作业条件中,选取一组最优作业条件。

通过建立三因素三水平 BBD (Box-Behnken) 试验方案^[13-14],模拟各作业条件下机具作业状态(表 2)。由于颗粒数目与机具模型等诸多原因限制,圆盘转辊长度仅选取原长 1/3,长度为 1 m,仿真作业效果如图 4 所示。

表 2 试验因素水平表

Tab.2 Test factor level table

水平 Level	因素 Factor		
	机具作业速度/(km·h ⁻¹)	压埋机构作业深度/cm	转辊转速/(r·min ⁻¹)
	Working speed of machines and tools	Working depth of burying mechanism	Rotating speed of roller
1	2	18	220
2	2.5	20	260
3	3	22	300



(a)0 s时,压草圆盘在 3 km/h,圆盘转辊转速为 260 r/min的作业状态;(b)2.5 s时,压草圆盘在 3km/h,圆盘转辊转速为 260 r/min的作业状态。

(b)On 0 s,the working state of disc cutter is 3 km/h and the rotation speed of the cutter roller is 260 r/min;(a)On 2.5 s,the working state of disc cutter is 3 km/h and the rotation speed of the cutter roller is 260 r/min.

图4 不同试验条件下压草圆盘作业状态

Fig.4 Simulation effect of disc cutter operation under different conditions

3 田间试验

3.1 试验环境与设备

本次试验选择于吉林农业大学试验教学基地进行,田块经灌水泡田 24 h后,液面深度为 70~80 mm,地表温度为 2.2 ℃的外部环境条件下进行试验。试验设备选用久保田 M954拖拉机、田间动力遥测仪、秒表等试验设备。

3.2 试验方法

机具作业过程中,压埋机构对水稻秸秆进行压埋镇压作用,往往受到田间泥浆以及秸秆所带来的前进阻力。在满足水田耕整地及秸秆还田的农艺要求前提下,减小机器前进阻力,在一定程度上可降低机具功率消耗。拖拉机经田间机械动力学遥测仪连接试验机具,机具在作业过程中所受到的阻力大小被遥测记录,用以评定机具前进阻力效果。记录单位工作时间内,该机具压埋机构作业中所出现的缠草次数作为机具缠草现象评价指标(图6)。



图6 试验机具进行田间试验

Fig.6 Field Test of testing machine and tools

3.3 试验结果与分析

采用BBD试验设计方案,表中A、B、C分别为机具作业速度、压埋机构作业深度、圆盘转辊转速试验指标。共需进行 17组正交试验设计,经数据处理得出表3,二次回归方程为:

$$y = -2\,194.67 + 1\,049 \times A + 1\,084.63 \times B - 60.315 \times C - 101 \times A \times B - 1.3 \times A \times C + 0.353\,125 \times B \times C + 533.3 \times A^2 - 17.731\,3 \times B^2 + 0.117\,859 \times C^2;$$

阻力方差分析见表 4。

表 3 BBD 正交试验数据
Tab.3 BBD orthogonal test data

试验号 Test number	试验因素 Experimental factors			试验指标 Test index
	A/(km·h ⁻¹)	B/cm	C/(r·min ⁻¹)	机具前进阻力/N Machine forward resistance
1	3	18	260	7 296
2	2.5	20	260	6 926
3	2.5	20	260	6 857
4	2	22	260	6 206
5	2.5	22	220	7 077
6	2	18	260	5 547
7	3	20	220	7 367
8	3	22	260	7 551
9	2.5	18	220	5 873
10	3	20	300	7 620
11	2.5	20	260	6 306
12	2.5	20	260	6 498
13	2.5	20	260	6 351
14	2.5	18	300	6 277
15	2	20	300	6 504
16	2.5	22	300	7 594
17	2	20	220	6 147

表 4 机具前进阻力响方差分析
Tab.4 Analysis of variance of resistance to work of machines and tools

方差来源 Source of variance	平方和 Sum of squares	自由度 Freedom	方差 Variance	F 值 Analysis of variance	P	显著性 Relevance
回归模型 Regression model	5.748×10 ⁶	9	6.387×10 ⁵	6.07	0.013 4	*
A	3.686×10 ⁶	1	3.686×10 ⁶	35.00	0.000 6	**
B	1.475×10 ⁶	1	1.475×10 ⁶	14.01	0.007 2	**
C	2.930×10 ⁵	1	2.930×10 ⁵	2.78	0.139 2	
残差 Residuals	7.371×10 ⁵	7	1.053×10 ⁵			
失拟项 Loss of proposed items	4.067×10 ⁵	3	1.356×10 ⁵	1.64	0.314 6	
纯误差 Error	3.304×10 ⁵	4	82 599.30			
合计 Total	6.486×10 ⁶	16				

$R^2=0.886\,3$, $Adj\,R^2=0.740\,2$, $Pred\,R^2=-0.083\,0$; 显著性: *代表差异显著, $P<0.05$; **代表差异极显著, $P<0.01$ 。

$R^2=0.886\,3$, $Adj\,R^2=0.740\,2$, $Pred\,R^2=-0.083\,0$; Significance: * represents significant difference, $P<0.05$; ** represents highly significant difference, $P<0.01$.

由表 4 方差分析结果可知,机具作业阻力受机具作业速度(A)、压埋机构作业深度(B)两因素影响极显著,各因素对机具前进阻力影响力由大到小分别为机具前进阻力>压埋机构作业深度>圆盘转辊转速。因此建立试验因素与机具前进阻力响应面,分析其因素两两之间的交互作用对机具前进阻力影响,得出图 7。

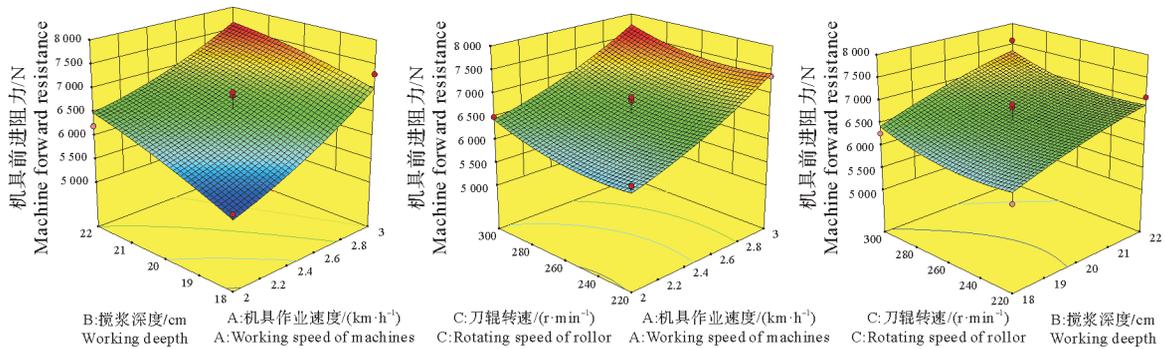


图 7 各试验因素交互作用响应面

Fig.7 Response Surface for interaction of various test factors

传统水田打浆刀进行水田耕整地作业过程,因刀身结构设计原因存在多处刀刃滑切角,水稻秸秆悬挂其中随刀体高速转动后,紧密依附于刀刃刀辊上清理困难^[15](图 8)。

本次试验缠草率通过对作业幅宽为 2.8 m 的水田旋耕部件完成 20 m 长度田块的耕整地与秸秆还田作业。作业后记录旋耕部件缠草挂草质量。经清理工作后,对秸秆稻草质量进行测量,当秸秆稻草质量大于 10 kg 时,该作业过程视为缠草严重,并进行记录。



图 8 传统打浆刀试验过程缠草效果

Fig.8 Effect of traditional beating knife on winding grass

压草圆盘完成水田耕整地作业后,仅转辊处悬挂些许秸秆且易清理,二者作业过程缠草效果对比如表 5 所示。

由上述数据分析得,机具作业速度对机具前进阻力大小的影响程度比压埋机构作业深度更显著,圆盘转辊转速影响程度居最末。随着试验水平参数逐步提高,机具前进阻力也随之增加,因此在满足农艺要求下,经综合分析得最佳机具作业条件 A₁B₂C₃,即机具作业速度为 2 km/h,压埋机构作业深度为 20 cm,圆盘转辊转速为 300 r/min 时既满足农艺要求同时实现机具前进阻力最小。压草圆盘相比于传统打浆刀缠草率降低了 79.5%,显著提高了机具作业效率^[15]。

表 5 两刀具缠草率对比
Tab.5 Comparison of twining rate between two cutting tools

刀具名称 Type of cutter	缠草率/% Rate of twining grass
传统打浆刀 Traditional beater	87.4
压草圆盘 Straw pressing disc	7.9

3.4 离散元仿真与田间试验结果拟合度分析

通过构建离散元田间模型,导入刀具模型并赋予相关运动参数从而在一定程度上模拟刀具田间作业过程。EDEM 软件后处理部分,可直接得出仿真过程中水平方向上刀具所受合力,可近似看做机具前进阻力。田间试验中,田间机械动力参数遥测仪通过连接于上下悬挂点的力学传感器,获取水平方向三点合力,可近似看作机具前进阻力。将离散元仿真试验数据与田间试验数据进行拟合比对,得出机具前进阻力随时间变化图(图 9)。经计算分析得,离散元仿真试验结果与田间试验结果相对偏差率为 29.69%,验证了离散元仿真试验在一定程度上可实现田间试验的模拟仿真作业。

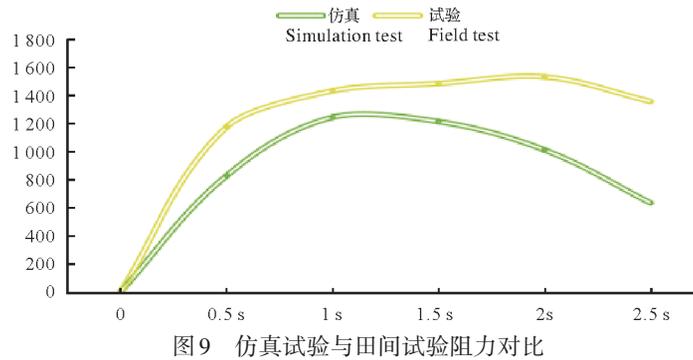


图9 仿真试验与田间试验阻力对比

Fig.9 Comparison of resistance between simulation test and field test

4 结 论

(1) 本文使用离散元软件给予圆盘弹齿组合式水田平地机压埋机构运动参数,模拟机构水田秸秆压埋作业过程。

(2) 选取机具作业速度、压埋机构作业深度、圆盘转辊转速作为试验因素。经田间试验验证,机具作业速度对机具前进阻力的影响程度比压埋机构作业深度更显著,圆盘转辊转速对机具前进阻力的影响程度居最末,综合分析得,最优作业条件参数组合为机具作业速度 2 km/h,压埋机构作业深度 22 cm,圆盘转辊转速 300 r/min。压草圆盘转辊缠草率降低了 79.5%。

(3) 机具前进阻力田间试验结果与离散元仿真相对误差率为 29.69%,验证了离散元仿真试验一定程度上可为田间试验提供理论参考。

参考文献 References:

- [1] 闫雷,李思莹,孟庆峰,等. 秸秆还田与有机肥对黑土区土壤团聚性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2019, 50(12): 58-67.
YAN L, LI S Y, MENG Q F, et al. Effect of straw returning and organic manure on soil aggregate in black soil area [J]. Journal of northeast agricultural university, 2019, 50(12): 58-67.
- [2] 孙妮娜,王晓燕,李洪文,等. 水稻秸秆直接还田技术配套机具研究进展[J]. 农机化研究, 2019, 41(7): 1-7.
SUN N N, WANG X Y, LI H W, et al. Study on the technology and equipment of rice straw direct returning [J]. Journal of agricultural mechanization research, 2019, 41(7): 1-7.
- [3] 贺一鸣,吴明亮,向伟,等. 离散元法在农业工程领域的应用进展[J]. 中国农学通报, 2017, 33(20): 133-137.
HE Y M, WU M L, XIANG W, et al. Application progress of discrete element method in agricultural engineering [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2017, 33(20): 133-137.
- [4] UCGUL M, FIELKE J M, SAUNDERS C. Defining the effect of sweep tillage tool cutting edge geometry on tillage forces using 3D discrete element modelling [J]. Information processing in agriculture. 2015, 2(2): 130-141
- [5] 刘振宇. 基于离散元法的精密排种器分析设计软件开发研究[D]. 长春: 吉林大学, 2004.
LIU Z Y. The development and research of analysis and design software for precision seed metering device based on discrete element method [D]. Changchun: Jilin university, 2004.
- [6] 王金龙. 基于离散元法的稻秆深埋还田刀辊总成优化设计与试验[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
WANG J L. Optimum design and experimental of rice straw deep-buried roller assembly based on discrete element method [D]. Harbin: Northeast agricultural university, 2019.
- [7] 张春岭. 六头螺旋秸秆还田耕整机关键部件设计与试验[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
ZHANG C L. Design and experiment of key components of six-head spiral straw returning cultivator [D]. Wuhan: Huazhong agricultural university, 2019.
- [8] 邬立岩,齐胜,宋玉秋,等. 水田作业机械仿生表面减阻机理的离散元研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2017, 48(1): 55-62.

- WU L Y, QI S, SONG Y Q, et al. A DEM analysis on drag reduction characteristics of paddy field machinery surface with bi-ionic microarchitectures[J]. Journal of Shenyang agricultural university, 2017, 48(1): 55-62.
- [9] 王曦成, 郑丁科, 黄燕娟, 等. 基于 EDEM 的南方水田秸秆处理压草刀具的仿真与试验[J]. 现代农业装备, 2020, 41(4): 39-43.
- WANG X C, ZHENG D K, HUANG Y J, et al. Simulation and experiment of straw pressing tool for southern paddy field based on EDEM[J]. Modern agricultural equipment, 2020, 41(4): 39-43.
- [10] 张珂, 于天行, 于文达, 等. 基于 JKR 黏结模型的混凝土离散元参数标定[J]. 混凝土, 2020, 42(8): 46-50.
- ZHANG K, YU T X, YU W D, et al. Calibration of concrete discrete element parameters based on JKR bond model[J]. Concrete, 2020, 42(8): 46-50.
- [11] 李俊伟, 佟金, 胡斌, 王虎彪, 毛春昱, 马云海. 不同含水率黏重黑土与触土部件互作的离散元仿真参数标定[J]. 农业工程学报, 2019, 35(6): 130-140.
- LI J W, TONG J, HU B, et al. Calibration of parameters of interaction between clayey black soil with different moisture content and soil-engaging component in northeast China[J]. Transactions of the Chinese society of agricultural engineering, 2019, 35(6): 130-140.
- [12] 赵吉坤, 宋武斌, 李晶晶. 基于 EDEM 的水稻秸秆建模及力学性能分析[J]. 土壤通报, 2020, 51(5): 1086-1093.
- ZHAO J K, SONG W B, LI J J, et al. Modeling and mechanical analysis of rice straw based on discrete element mechanical model[J]. Chinese journal of soil science, 2020, 51(5): 1086-1093.
- [13] 陶厚永, 曹伟. 多项式回归与响应面分析的原理及应用[J]. 统计与决策, 2020, 36(8): 36-40.
- TAO H Y, CAO W. Layered disassembly and application of multi-attribute uncertainty model[J]. Statistics & decision, 2020, 36(8): 36-40.
- [14] EDWARDS J R, ROTHBARD N P. Work and family stress and well-being: an examination of person-environment fit in the work and family domains[J]. Organizational behavior and human decision processes, 1999, 77(2): 85-129.
- [15] 罗海峰, 汤楚宙, 邹冬生, 等. 龙须草茎秆往复式切割试验研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 13-17.
- LUO L F, TANG C Z, ZHOU D S, et al. Experiment on reciprocating cutting of eulaliopsis binata stem[J]. Transactions of the Chinese society of agricultural engineering, 2012, 28(2): 13-17.