

2BMFJ 系列免耕精量播种机清秸装置优化与试验

陈海涛 查韶辉 顿国强 从光波 李 昂 冯夷宁

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 针对 2BMFJ 系列原茬地免耕覆秸精量播种机作业过程中,清秸装置所引起的振动强度较大、功耗较大、作业速度较慢等问题,在机收后的小麦原茬地条件下,采用四因素三水平正交试验方法,选择每盘刀齿数、刀盘排布方式、作业速度、刀盘转速为影响因素,以机组通过性、振动强度、当量功耗、当量燃油消耗率为评价指标,对影响清秸装置性能的结构与作业参数进行了优化试验研究。结果表明:在每盘刀齿数 4、刀盘排布方式 3-2-3、作业速度 5.4 km/h 和刀盘转速 300 r/min 时,清秸装置未发生堵塞,振动强度为 134.48 m/s²,当量功耗为 4.58 kW,当量燃油消耗率为 159.22 mL/(kW·h)。较优化前的机具,振动强度降低 31.74%,当量功耗降低 22.11%,作业速度提高 20%。

关键词: 免耕; 精量播种机; 清秸装置; 优化; 试验

中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)07-0096-07

Optimization and Experiment of Cleaning Device of 2BMFJ Type No-till Precision Planter

Chen Haitao Zha Shaohui Dun Guoqiang Cong Guangbo Li Ang Feng Yining

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: A way of expelling straw sideways was adopted by the 2BMFJ type no-till precision planter. The planter was able to complete seedbed preparing, precision seeding, fertilization, covering, rolling, pesticide spraying, straw mulching equably and so on. The planter has become an important technical mean to achieve conversation tillage. Cleaning device of the 2BMFJ type no-till precision planter mainly completes preparing seedbed. However, there are some problems such as severe vibration, more power consuming and lower working speed on the cleaning device. So the optimization experiment was carried out. Wheat stubble fields were regarded as experiment objects. Orthogonal experiment with four factors and three levels was employed to find the optimal combination of the structure and working parameters for the cleaning device. The number of cutters per disk, cutter disks configuration, working speed and cutter disk speed were selected as factors. Pass-ability, equivalent power dissipation, equivalent fuel consumption rate and vibration intensity were selected as indexes. The optimal combination of influencing factors was obtained by the experiment; the number of cutters per disk was 4, cutter disks configuration was 3-2-3, working speed was 5.4 km/h and cutter disk speed was 300 r/min. Under this condition, the cleaning device wasn't blocked; the vibration intensity was decreased from 197 m/s² to 134.48 m/s², by 31.74%; the equivalent power dissipation was decreased from 5.88 kW to 4.58 kW, by 21.11%; and operation speed was increased from 4.5 km/h to 5.4 km/h, by 20%. The results can provide reference for the optimal design of the 2BMFJ type no-till precision planter.

Key words: no-till; precision planter; cleaning device; optimization; experiment

收稿日期: 2016-01-11 修回日期: 2016-03-10

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201303011)和现代农业产业技术体系建设专项资金项目(GARS-04)

作者简介: 陈海涛(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事农业机械装备技术研究,E-mail: htchen@neau.edu.cn

引言

国外免耕播种机,如美国 Case SDX30、澳大利亚 John Shearer 4 Bin Direct Drills 等,主要采用波纹圆盘耙进行破茬开沟完成免耕播种作业,但此类机型价格昂贵,结构重量大,无法适应国内大秸秆量的免耕作业条件。国内免耕播种机,如河南豪丰 2BXS 系列、山东大华 2BMYF 系列等,主要采用旋耕灭茬的方式实现种床整备和播种作业,由于旋耕灭茬后,秸秆和土壤混杂严重,造成种子无法理想着床,出苗率降低。2BMFJ 系列原茬地免耕覆秸精量播种机创新性地采用秸秆侧向抛出的方式,一次进地可有效完成原茬地种床整备、精量播种、侧深施肥、覆土镇压、农药喷洒和秸秆均匀覆盖等作业环节,已成为保障玉米、大豆、花生等作物实现保护性耕作播种环节的重要技术手段^[1-3]。播种作业时,2BMFJ 系列原茬地免耕覆秸精量播种机清秸装置的主要作用是种床整备,清秸装置上的刀齿旋转打击秸秆和根茬,将其运输并抛撒至播种带侧向。但其在作业过程中尚存在机架振动强度较大、功耗较大、作业速度较慢等问题,影响播种机的可靠性和经济性,制约了播种作业效率的进一步提高。为此,采用四因素三水平正交试验方法,优化 2BMFJ 系列原茬地免耕覆秸精量播种机组结构和作业参数,为 2BMFJ 系列原茬地免耕覆秸精量播种机的进一步优化设计提供参考^[4-7]。

1 样机结构与工作原理

清秸装置试验样机结构和主要参数^[1-3]如图 1 和表 1 所示。主要由机架、动力输入轴、传动总成、刀轴、刀盘、刀齿、地轮等组成。刀齿以螺旋排布安装于刀盘上,以降低工作时装置所受的冲击载荷^[8],如图 2 所示。

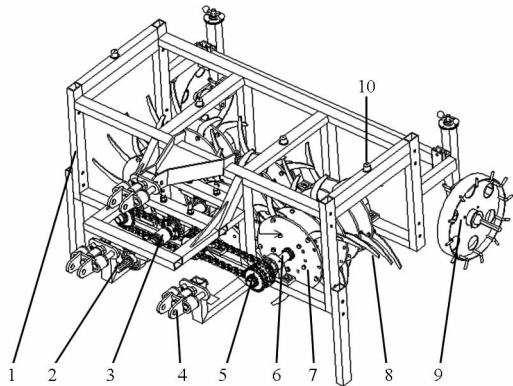


图 1 清秸装置试验样机结构示意图

Fig. 1 Structure of experiment prototype of clearing device
1. 机架 2. 动力输入轴 3. 扭矩传感器 4. 拉力传感器 5. 传动总成 6. 刀轴 7. 刀盘 8. 刀齿 9. 地轮 10. 加速度传感器

工作原理:工作时,清秸装置挂接在拖拉机后悬挂处,三点悬挂处于全浮动状态,拖拉机动力输出轴与清秸装置动力输入轴由万向节传动轴联接。机组前进时清秸装置刀轴同时旋转,螺旋刀齿循环打击秸秆和根茬,将其运输并抛撒至清秸装置侧向,完成防堵和种床整备工作。

表 1 清秸装置试验样机主要参数
Tab. 1 Main parameters of experiment prototype of clearing device

参数	数值
刀轴间距	400
刀盘间距	90
刀齿回转半径	375
刀齿入土深度	30
作业幅宽	1 200

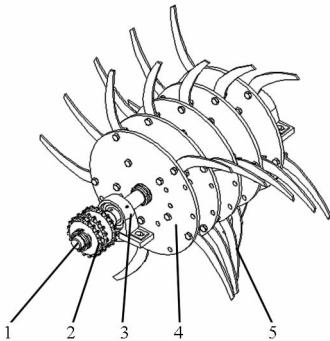


图 2 螺旋刀齿排布结构简图

Fig. 2 Structure diagram of spiral cutter assembly
1. 刀轴 2. 链轮 3. 轴承座 4. 刀盘 5. 刀齿

2 测试传感系统设计

根据试验指标,试验所需传感器包括应变式扭矩传感器、应变式拉力传感器和电荷式加速度传感器。扭矩传感器由法兰盘与动力输入轴串联连接,检测 3 根刀轴扭矩之和,结构如图 3 所示;拉力传感器嵌入其保护架中,工作方向与机组前进方向平行,结构如图 4 所示^[9-11];加速度传感器通过磁力盘吸附在机架上。各传感器安装位置如图 1 所示,试验过程中,各传感器将测得数据传输到数据采集仪,并汇总至计算机中,测试传感系统工作原理如图 5 所示。

3 试验方法

应用 Design - Expert 8. 0. 6,采用四因素三水平正交试验方法。以每盘刀齿数 x_1 、刀盘排布方式 x_2 、作业速度 x_3 、刀盘转速 x_4 为影响因素,考虑所有二阶交互作用,以机组通过性 y_1 、振动强度 y_2 、当量功耗 y_3 、当量燃油消耗率 y_4 为评价指标,共实施 27 组试验。

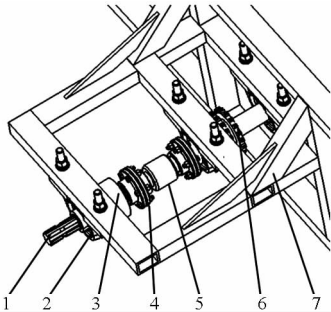


图3 扭矩传感器安装简图

Fig. 3 Installation diagram of torque sensor

1. 动力输入轴 2. 轴承座 3. 集流环 4. 法兰盘 5. 扭矩传感器 6. 链轮 7. 机架

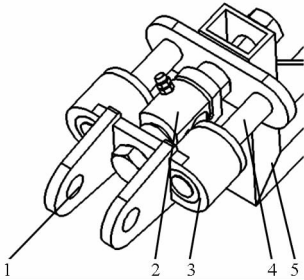


图4 拉力传感器安装简图

Fig. 4 Installation diagram of tension sensor

1. 悬挂点 2. 拉力传感器 3. 直线轴承 4. 光杠 5. 机架

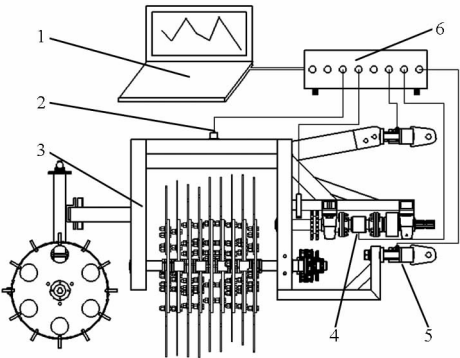


图5 测试传感系统工作原理图

Fig. 5 Principle diagram of measurement system

1. 计算机 2. 加速度传感器 3. 清秸装置 4. 扭矩传感器 5. 拉力传感器 6. 数据采集仪

3.1 因素水平确定

设置作业速度分别为 3.6、5.4、7.2 km/h。由基础试验可知每行刀盘数小于 3 时，清秸效果不理想，极易造成堵塞，每行刀盘数大于 5 时，装置纵向稳定性差，由此设置刀盘排布方式分别为 3-2-3、4-3-4、5-4-5。切茬节距是影响免耕播种机清秸效果的重要指标，切茬节距应满足

$$S = \frac{10^6 \times 60v}{3600z_1z_2n}$$
 (1)

式中 S——切茬节距,mm
v——作业速度,km/h
z₁——每盘刀齿数

z₂——每行刀盘数
n——刀盘转速,r/min

由基础试验可知当清秸刀齿打击到距小麦根茬中心 15 mm 范围内时,才可将根茬带出并清理出去^[3],故

$$S \leq 30 \text{ mm}$$
 (2)

将式(2)代入式(1)得

$$\frac{v}{z_1z_2n} \leq 1.8 \times 10^{-3}$$
 (3)

作业速度越快,每行刀盘数越少,切茬节距越大,取 v=7.2 km/h,z₂=3,代入式(3)得

$$z_1n \geq 1333$$
 (4)

秸秆能及时完成横向抛出是清秸装置不堵塞的前提,秸秆能及时横向抛出的理论条件为

$$\frac{3600z_2D}{10^6v} \frac{2\pi rn}{60} \geq L$$
 (5)

式中 D——刀盘间距,mm
L——作业幅宽,mm
r——刀齿回转半径,mm

作业速度越快,每行刀盘数越少,秸秆能及时横向抛出的难度越大,取 v=7.2 km/h,z₂=3,代入式(5)得

$$n \geq 226 \text{ r/min}$$
 (6)

则由式(4)和式(6)得刀盘转速取整分别为 300、400、500 r/min,每盘刀齿数取整分别为 3、4、5。

3.2 评价指标测定方法

机组通过性 y₁按照 NY/T 1768—2009《免耕播种机质量评价技术规范》进行测定。

振动强度 y₂由安装在机架上的加速度传感器直接测得,加速度越大,装置振动强度越大。

当量功耗 y₃为

$$y_3 = \frac{Fv + Mn}{3}$$
 (7)

式中 F——拉力传感器所测牵引力,N
M——扭矩传感器所测刀轴扭矩之和,N·m

当量燃油消耗率 y₄为

$$y_4 = \frac{V}{3y_3t}$$
 (8)

式中 V——油耗仪所测耗油量,mL
t——试验单个处理所用时间,s

综上所述,得出影响因素水平编码表如表 2 所示,试验方案与结果如表 3 所示。

4 田间试验与结果分析

4.1 试验条件与仪器设备

试验于 2015 年 9 月 11 日在哈尔滨向阳农场实

表 2 因素水平表
Tab.2 Factors and levels

水平	因素			
	每盘刀齿数	刀盘排布	作业速度 x_3 /	刀盘转速 x_4 /
	x_1 /个	方式 x_2	($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)
1	3	3-2-3	3.6	300
2	4	4-3-4	5.4	400
3	5	5-4-5	7.2	500

施,试验地块为机收后小麦原茬地,如图 6 所示。土壤硬度 24.3 kg/cm^2 ,土壤湿度 33%,小麦秸秆覆盖量 1.12 kg/m^2 。设置刀齿入土深度 30 mm,施肥铲入土深度 100 mm。试验使用的主要仪器设备为 JM5937A 动态信号测试系统、JNNT-0 型应变式扭矩传感器、SFZ001 型应变式拉力传感器、A005 型电荷加速度传感器、JWY-1 型微机多功能油耗仪、CM-A 型手持电子秤、数码摄像机、卷尺等。

表 3 试验方案与结果
Tab.3 Experimental layout and results

序号	每盘刀齿数 x_1 /个	刀盘排布 方式 x_2	作业速度 x_3 / ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	刀盘转速 x_4 / ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	机组通过性 γ_1	振动强度 y_2 / ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	当量功耗 γ_3 /kW	当量燃油消耗率 y_4 / ($\text{mL}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
1	3	3-2-3	3.6	300	无堵塞	122	3.55	174.00
2	3	3-2-3	5.4	400	轻微堵塞	197	5.76	145.00
3	3	3-2-3	7.2	500	堵塞	359	9.37	186.33
4	3	4-3-4	3.6	400	无堵塞	189	5.10	163.33
5	3	4-3-4	5.4	500	无堵塞	252	6.88	151.67
6	3	4-3-4	7.2	300	轻微堵塞	182	5.57	191.67
7	3	5-4-5	3.6	500	无堵塞	235	6.75	170.67
8	3	5-4-5	5.4	300	无堵塞	134	5.88	167.00
9	3	5-4-5	7.2	400	无堵塞	228	7.06	181.33
10	4	3-2-3	3.6	400	无堵塞	189	5.10	162.67
11	4	3-2-3	5.4	500	无堵塞	252	6.82	153.67
12	4	3-2-3	7.2	300	堵塞	164	5.58	194.00
13	4	4-3-4	3.6	500	无堵塞	235	6.17	167.67
14	4	4-3-4	5.4	300	无堵塞	134	4.29	158.33
15	4	4-3-4	7.2	400	无堵塞	228	7.06	180.00
16	4	5-4-5	3.6	300	无堵塞	121	3.56	175.00
17	4	5-4-5	5.4	400	无堵塞	197	5.84	150.33
18	4	5-4-5	7.2	500	无堵塞	355	9.61	187.00
19	5	3-2-3	3.6	500	无堵塞	235	6.20	168.67
20	5	3-2-3	5.4	300	无堵塞	134	4.27	155.33
21	5	3-2-3	7.2	400	堵塞	228	7.14	178.33
22	5	4-3-4	3.6	300	无堵塞	121	3.53	173.00
23	5	4-3-4	5.4	400	无堵塞	197	5.88	149.00
24	5	4-3-4	7.2	500	无堵塞	355	9.61	185.00
25	5	5-4-5	3.6	400	无堵塞	183	5.21	163.33
26	5	5-4-5	5.4	500	无堵塞	245	7.02	153.33
27	5	5-4-5	7.2	300	无堵塞	155	5.89	193.67



图 6 田间试验
Fig.6 Field test

4.2 试验结果与分析

试验结果如表 3 所示,方差分析如表 4 所示。

4.3 各因素对性能指标的影响分析

由表 4 可知,就机组通过性而言,因素 x_2 、 x_3 对

试验结果有极显著影响,交互作用 x_2x_3 对试验结果有较显著影响,主次顺序为: $x_2(x_3)$ 、 x_2x_3 ;就装置振动强度而言,因素 x_3 、 x_4 和交互作用 x_3x_4 对试验结果有极显著影响,因素 x_1 对试验结果有较显著影响,主次顺序为: x_4 、 x_3 、 x_3x_4 、 x_1 ;就当量功耗而言,因素 x_3 、 x_4 和交互作用 x_3x_4 对试验结果有极显著影响,因素 x_2 对试验结果有较显著影响,主次顺序为: x_4 、 x_3 、 x_3x_4 、 x_2 ;就当量燃油消耗率而言,因素 x_3 、 x_4 对试验结果有极显著因素,因素 x_2 对试验结果有显著影响,主次顺序为: x_3 、 x_4 、 x_2 。

4.3.1 各因素对机组通过性的影响分析

由图 7a 可知(每盘刀齿数 3,刀盘转速 300 r/min),当刀盘排布增多时,机组通过性增强。这是因为刀

表 4 方差分析
Tab.4 ANOVA analysis

指标	变异来源	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
机组通过性	x_1	0.3	2	0.15	2.15	0.15
	x_2	0.96	2	0.48	7	0.007 8 **
	x_3	0.96	2	0.48	7	0.007 8 **
	x_4	0.074	2	0.037	0.54	0.595 3
	$x_2 x_3$	0.81	4	0.2	2.96	0.057 6 (*)
	误差	0.96	14	0.069		
	总和	4.07	26			
振动强度	x_1	112.52	2	56.26	3.27	0.068 4 (*)
	x_2	92.52	2	46.26	2.69	0.102 8
	x_3	24 594.96	2	12 297.48	714.49	<0.000 1 **
	x_4	87 898.74	2	43 949.37	2 553.47	<0.000 1 **
	$x_3 x_4$	7 796.59	4	1 949.15	113.25	<0.000 1 **
	误差	240.96	14	17.21		
	总和	120 700	26			
当量功耗	x_1	0.20	2	0.10	1.14	0.348 6
	x_2	0.62	2	0.31	3.48	0.059 2 (*)
	x_3	27.06	2	13.53	152.72	<0.000 1 **
	x_4	38.55	2	19.28	217.84	<0.000 1 **
	$x_3 x_4$	2.84	4	0.71	8.00	0.001 4 **
	误差	1.24	14	0.089		
	总和	70.52	26			
当量燃油消耗率	x_1	7.97	2	3.99	1.05	0.369 9
	x_2	38.75	2	19.37	5.11	0.017 5 *
	x_3	4 802.17	2	2 401.09	633.57	<0.000 1 **
	x_4	657.17	2	328.59	86.70	<0.000 1 **
	误差	68.22	18	3.79		
	总和	5 574.27	26			

注：* * 为极显著，* 为显著，(*) 较显著。

盘排布增多,螺旋刀齿遗漏秸秆量减少,机组通过性增强。当作业速度加快时,机组通过性减弱,这是因为作业速度加快,导致秸秆侧向输送不及时,机组通过性减弱^[12-13]。

4.3.2 各因素对振动强度的影响分析

由图 7b 可知(刀盘排布方式 5-4-5,作业速度 7.2 km/h,刀盘转速 400 r/min),当每盘刀齿数增多时,振动强度有少量减小,这是因为每盘刀齿数增多,同时入土的刀齿数增多,振动强度减小。由图 7c(每盘刀齿数 4,刀盘排布方式 4-3-4)得,当作业速度和刀盘转速加大时,装置振动强度显著增大。这是因为当刀盘转速加大时,刀齿打击土壤的力度增大,同时,当作业速度加快时,清秸装置未作业土壤保有量增加,土壤硬度较大,装置振动强度增大。

4.3.3 各因素对当量功耗的影响分析

由图 7d 可知(每盘刀齿数 3,作业速度 54 km/h,刀盘转速 400 r/min),当刀盘排布增多时,当量功耗有少量增加,但不明显。这是因为机组当量功耗主

要包括牵引功耗和旋转功耗,牵引功耗主要来自装置后方施肥铲,旋转功耗主要来自刀齿对土壤的打击切削^[14],当作业速度和刀盘转速一定时,牵引功耗相对稳定,增加刀盘排布后,装置前端刀齿已将土壤打击切削至松软,后端刀齿作业所需额外功耗较少,当量功耗增加较少。

由图 7e(每盘刀齿数 4,刀盘排布方式 4-3-4)可知,当作业速度和刀盘转速加大时,当量功耗显著增大。这是因为当作业速度和刀盘转速加大时,牵引功耗增大,同时清秸装置未作业土壤保有量增加,刀轴旋转阻力增大,旋转功耗增大,机组作业总功耗增大^[15],当量功耗增大。

4.3.4 各因素对当量燃油消耗率的影响分析

由图 7f(每盘刀齿数 3,作业速度 3.6 km/h,刀盘转速 300 r/min)可知,当刀盘排布增多时,当量燃油消耗率随之有少量增大。由图 7g(每盘刀齿数 3,刀盘排布方式 3-2-3,刀盘转速 300 r/min)得,当作业速度由 3.6 km/h 上升至 5.4 km/h 时,当量燃油消耗率降低了 8.6%,当作业速度上升至 7.2 km/h

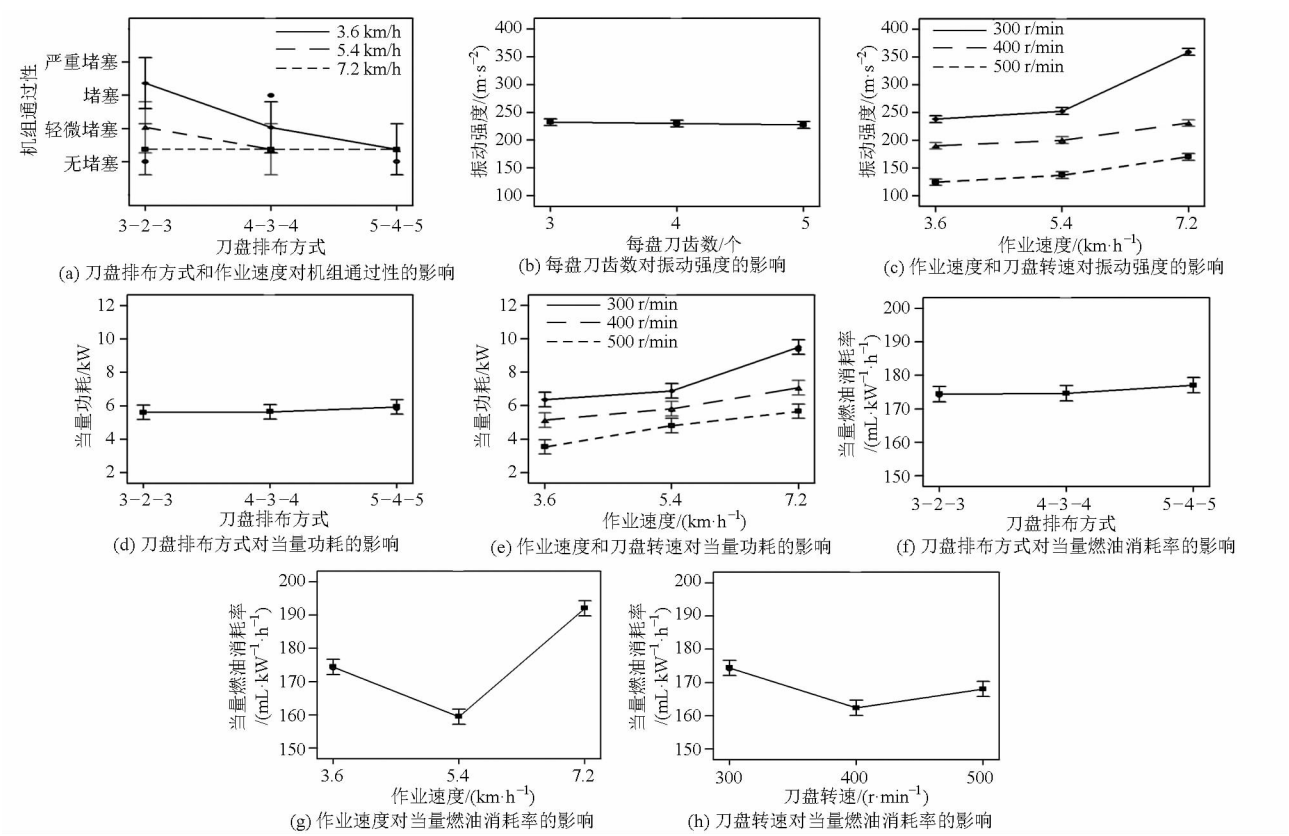


图 7 各因素对性能指标的影响
Fig. 7 Effects of factors on indexes

时,当量燃油消耗率增加了 20.5%。由图 7h(每盘刀齿数 3,刀盘排布方式 3-2-3,作业速度 3.6 km/h)得,当刀盘转速由 300 r/min 提高至 400 r/min 时,当量燃油消耗率降低了 6.8%,当刀盘转速上升至 500 r/min 时,当量燃油消耗率增加了 3.4%。

4.4 试验结果优化原则

在保证机组不发生堵塞的前提下,提高作业效率,降低振动强度、功耗和燃油消耗率,同时兼顾清

秸装置的经济性和纵向稳定性^[16-18]。经济性主要以总刀齿数为优化依据,总刀齿数越少成本越低,机具的经济性越优;纵向稳定性主要以刀盘数为优化依据,刀盘数越少,机具纵向尺寸越小,质量转移越少,机具纵向稳定性越好。

4.5 优化结果

根据优化原则,运用 Design-Expert 8.0.6 进行优化,得出清秸装置优化结果如表 5 所示。

表 5 优化结果
Tab.5 Optimized result

序号	每盘刀齿数 $x_1/\text{个}$	刀盘排布 方式 x_2	作业速度 $x_3/$ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	刀盘转速 $x_4/$ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	机组通过性 y_1	振动强度 $y_2/$ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	当量功耗 $y_3/$ kW	当量燃油消耗率 $y_4/$ ($\text{mL}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
1	4	3-2-3	5.4	300	无堵塞	134.48	4.58	159.22
2	4	4-3-4	7.2	400	无堵塞	229.93	6.90	179.96

与优化前的机具相比(如表 3 处理 23 所示)^[1-2],优化结果 1 的振动强度降低了 31.74%,当量功耗降低了 22.11%,作业速度提高了 20%,刀盘数更少,机组作业纵向稳定性更好;优化结果 2 的作业速度提高了 60%,但振动强度增大了 16.72%,当量功耗增大了 17.35%,当量燃油消耗率增大了 20.78%,同时,优化结果 2 的刀盘数较多,机具纵向尺寸较大,运输过程中拖拉机前方翘头严重。故选择优化结果 1 为优化参数组合。

4.6 优化结果验证

按照优化参数组合进行田间验证试验,试验重复 5 次取平均值,结果为清秸装置未发生堵塞,振动强度 134.48 m/s^2 ,当量功耗 4.58 kW,当量燃油消耗率 159.22 $\text{mL}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,各指标值与优化结果相吻合,优化结果可信。

5 结论

(1)在土壤硬度 24.3 kg/cm^2 、土壤湿度 33%、

秸秆覆盖量 1.12 kg/m^2 的机收后小麦原茬地上,当刀齿入土深度 30 mm ,施肥铲入土深度 100 mm 时,2BMFJ 系列原茬地免耕覆秸精量播种机清秸装置的最佳结构与作业参数组合为:每盘刀齿数 4,刀盘排布方式 $3-2-3$,作业速度 5.4 km/h ,刀盘转速 300 r/min ,此时清秸装置未发生堵塞,振动强度 134.48 m/s^2 ,当量功耗 4.58 kW ,当量燃油消耗率

$159.22 \text{ mL}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,较优化前的机具^[1-2],振动强度降低了 31.74% ,当量功耗降低了 22.11% ,作业速度提高了 20% 。

(2) 秸秆覆盖量会随种植方式和秸秆种类的变化而有较大变化,当秸秆覆盖量较小时,可适当提高作业速度,以提高作业效率,当秸秆覆盖量较大时,可通过增大刀盘转速提高装置清秸防堵效果。

参考文献

- 1 王汉羊,陈海涛,纪文义. 2BMFJ-3 型麦茬地免耕精播机防堵装置[J]. 农业机械学报,2013,44(4):64-70.
WANG Hanyang, CHEN Haitao, JI Wenyi. Anti-locking mechanism of type 2BMFJ-3 no-till precision planter for wheat stubble fields[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(4):64-70. (in Chinese)
- 2 王汉羊. 2BMFJ-3 型麦茬地免耕覆秸大豆精密播种机的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2013.
WANG Hanyang. Study on 2BMFJ-3 type no-till soybean precision planter with straw-covering in wheat stubble fields [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- 3 吴广伟. $51.5 \sim 73.5 \text{ kW}$ 拖拉机配套麦茬地免耕大豆精量播种机的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2014.
WU Guangwei. Study on no-tillage soybean precision planter matched to $51.5 \sim 73.5 \text{ kW}$ tractor in a wheat stubble field [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- 4 吴子岳,高焕文,张晋国. 玉米秸秆切断速度和切断功耗的试验研究[J]. 农业机械学报,2001,32(2):38-41.
WU Ziyue, GAO Huanwen, ZHANG Jinguo. Study on cutting velocity and power requirement in a maize stalk chopping process [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001,32(2):38-41. (in Chinese)
- 5 姚宗路,高焕文,王晓燕,等. 2BMX-5 型小麦-玉米免耕播种机设计[J]. 农业机械学报,2008,39(12):64-68.
YAO Zonglu, GAO Huanwen, WANG Xiaoyan, et al. Design and experiment on 2BMX-5 no-till wheat-maize seeder [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(12):64-68. (in Chinese)
- 6 朱思洪,徐刚,袁加奇,等. 农具质量对拖拉机悬挂农具系统振动特性的影响[J]. 农业工程学报,2014,30(24):30-37.
ZHU Sihong, XU Gang, YUAN Jiaqi, et al. Influence of implement's mass on vibration characteristics of tractor-implement system [J]. Transactions of the CSAE, 2014,30(24):30-37. (in Chinese)
- 7 顾庆. 非道路用柴油机燃油消耗率分析及预测[J]. 内燃机工程,2010,31(5):7-10.
GU Qing. Analysis and prediction of fuel consumption rate for non-road diesel engine [J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2010,31(5):7-10. (in Chinese)
- 8 裴克良,孔凡增,王文生. 农业机械的振动问题与减振方法的研究[J]. 农机化研究,2006,28(5):79-80,83.
PEI Keliang, KONG Fanzeng, WANG Wensheng. Disquisition on the agricultural machine's vibration problem and decrease vibration's method [J]. Agricultural Mechanization Research, 2006,28(5):79-80,83. (in Chinese)
- 9 尹彦鑫,郑永军,成智华,等. 少免耕播种机牵引阻力远程监测系统[J]. 农业工程学报,2014,30(6):1-8.
YIN Yanxin, ZHENG Yongjun, CHENG Zhihua, et al. Tractive resistance remote monitor system for no-tillage seeder [J]. Transactions of the CSAE, 2014,30(6):1-8. (in Chinese)
- 10 张居敏,贺小伟,夏俊芳,等. 高茬秸秆还田耕整机功耗检测系统设计与试验[J]. 农业工程学报,2014,30(18):38-46.
ZHANG Jumin, HE Xiaowei, XIA Junfang, et al. Design and field experiment of power consumption measurement system for high stubble returning and tillage machine [J]. Transactions of the CSAE, 2014,30(18):38-46. (in Chinese)
- 11 彭卓敏,袁栋,朱继平,等. 农机具田间作业功耗实时遥测技术及装备的研究开发[J]. 现代科学仪器,2010,4(2):24-29,37.
- 12 王建政. 小麦免耕播种机通过性能分析[J]. 农业机械学报,2005,36(8):151-153.
- 13 张喜瑞,李洪文,何进,等. 小麦免耕播种机防堵装置性能对比试验[J]. 农业机械学报,2010,41(2):73-77.
ZHANG Xirui, LI Hongwen, HE Jin, et al. Comparative experiment on anti-blocking mechanism for wheat no-till planter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(2):73-77. (in Chinese)
- 14 胡少兴,马旭,马成林,等. 根茬粉碎还田机除茬刀滚功耗模型的建立[J]. 农业机械学报,2000,31(3):35-38.
HU Shaoming, MA Xu, MA Chenglin, et al. A rotary power dissipation model of the machine for chopping and returning stubble into soil [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000,31(3):35-38. (in Chinese)
- 15 田华. 影响旋耕机作业质量和功耗的主要因素[J]. 当代农机,2010(5):74-75.
- 16 孙伟,吴建民,黄晓鹏,等. 2BFM-5 型山地免耕播种机的设计与试验[J]. 农业工程学报,2011,27(11):26-31.
SUN Wei, WU Jianmin, HUANG Xiaopeng, et al. Design and field experiments of 2BFM-5 hilly no-tillage seeder [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(11):26-31. (in Chinese)
- 17 王庆杰,何进,李洪文,等. 免耕播种机开沟防堵单元体设计与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(1):27-31.
WANG Qingjie, HE Jin, LI Hongwen, et al. Design and experiment on furrowing and anti-blocking unit for no-till planter [J]. Transactions of the CSAE, 2012,28(1):27-31. (in Chinese)
- 18 杨自栋,刘宁宁,耿端阳,等. 2BYM-12 型折叠式动力防堵免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊1):46-50.
YANG Zidong, LIU Ningning, GENG Duanyang, et al. Design and experiment on type 2BYM-12 folding and dynamic anti-locking no-ill planter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 1):46-50. (in Chinese)