

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.01.010

基于刮削与振动原理的减粘降阻镇压装置研究

刘宏俊 赵淑红 谭贺文 杨悦乾 张先民
(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 针对镇压作业时,土壤粘附严重、牵引阻力大等问题,借鉴地面机械触土部件减粘降阻法,设计了一种机械式减粘降阻镇压装置。进行镇压装置运动过程分析、镇压轮表面脱土机理分析和刮削板脱土机理分析,为确定镇压装置减粘降阻的能力提供了理论依据,并在此基础上对镇压装置的关键机构进行了设计。为研究机械式减粘降阻镇压装置的工作性能,以弹簧刚度、前进速度和刮削角为试验因素,以牵引阻力、土壤粘附量为试验指标,在室内土槽中进行 $L_9(3^4)$ 正交试验。试验结果表明:各因素对指标影响的主次顺序为弹簧刚度、刮削角、前进速度;最优水平组合为弹簧刚度 40 N/mm、刮削角 30° 、前进速度 7 km/h。以最优水平组合进行验证试验,得到牵引阻力 39.6 N,土壤粘附量 43.24 g。与传统镇压装置的对比试验表明,机械式减粘降阻镇压装置使牵引阻力降低 17.8%,土壤粘附量降低 34.8%。

关键词: 播种机; 镇压装置; 减粘降阻; 刮削; 振动

中图分类号: S222.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)01-0086-07

Investigation on Press Device in Reducing Adhesion and Resistance Based on Scrape and Vibration Principle

LIU Hongjun ZHAO Shuhong TAN Hewen YANG Yueqian ZHANG Xianmin
(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Aiming at the problems such as serious soil adhesion, large traction resistance, a press device in mechanical type reducing adhesion and resistance was designed according to the method of terrain machines reducing adhesion and resistance. The movement process of press device was analyzed. The suppression device, scraping angle to take off the soil, and soil compaction mechanism analysis were done. The mechanism analysis can provide theoretical basis for the design of the press device, and based on that the key components of press device was designed. For the study performance of press device in mechanical type reducing adhesion and resistance, the spring stiffness coefficient, speed and scraping angle were taken as experimental factors, traction resistance, soil adhesive quality were taken as test indexes. The orthogonal test $L_9(3^4)$ was conducted in the indoor soil bin for getting test factors affecting the performance of press device work. Test results showed that the order of the various factors affecting were as follows: the spring stiffness coefficient, scraping angle and speed; the best combination: the spring stiffness coefficient was 40 N/mm, scraping angle was 30° , and speed was 7 km/h. To the optimal level combination of verification experiment: traction resistance was 39.6 N, and soil adhesive quality was 43.24 g. Compared with the traditional repressive device, the results showed that the press device based on scrape and vibration principle can reduce the traction resistance by 17.8% and the soil adhesion can be reduced by 34.8%.

Key words: planter; press device; reducing adhesion and resistance; scraping; vibration

0 引言

镇压装置是播种机的关键配套装置^[1-5],其作

业性能影响种子的生长环境^[6-10]。传统的镇压装置采用刚性镇压轮,实际镇压作业时,刚性镇压轮表面光滑易粘附土壤,影响镇压后土壤表面平整度和

收稿日期: 2017-04-19 修回日期: 2017-05-25
基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAD11B01)和黑龙江省重大科技招标项目(GA14B101-01)
作者简介: 刘宏俊(1990—),男,博士生,主要从事保护性耕作触土部件研究,E-mail: langji7tianya@163.com
通信作者: 赵淑红(1969—),女,教授,博士生导师,主要从事田间农业机械及力学特性研究,E-mail: shzh091@sina.com

牵引阻力,导致镇压作业质量大幅度下降^[11-12]。故有必要针对镇压作业时存在的问题,设计出一种减粘降阻效果较好的镇压装置,对提高播种配套装置技术水平具有重要意义。

目前机械式减粘降阻方法在农业机械设计中应用广泛^[13-14]。蒋建东等^[15]提出了一种对旋耕机具施加振动载荷进行压实土壤切削减阻的方法;邱立春等^[16]研究在土壤深松过程中深松机产生自激振动的原因及振动减阻机理;李霞等^[17]采用振动减阻原理研制了受迫振动深松机,解决深松作业机具耕作阻力大、深松深度不稳定、耕作质量不高的问题。研究人员往往仅仅采用一种机械式减粘降阻方法(振动法)提高农业机械的作业性能。而贾洪雷等^[18]将仿生学与振动、弹性等方法结合,设计出仿生弹性镇压辊减粘防滑结构,解决仿生弹性镇压辊粘附土壤和滑移率较大的问题。由上述可知,将多种机械式减粘降阻法应用到农业机械设计中,可提高农业机械作业性能。

为解决土壤粘附和牵引阻力大等问题,本文应用机械式减粘降阻方法,即刮削法和振动法^[19-20],设计一种机械式减粘降阻镇压装置,使其具有一定的减粘降阻效果,提高镇压作业质量。

1 总体结构与工作原理

机械式减粘降阻镇压装置主要由机架、横向仿形板连接板、横向支架、弹簧、调节丝杠、纵向支架、镇压轮、刮削板等组成,如图 1 所示。

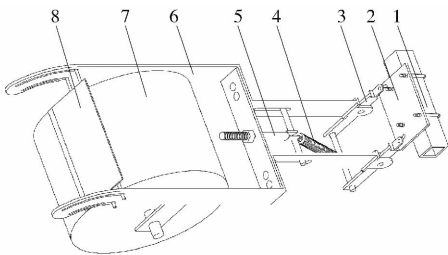


图 1 机械式减粘降阻镇压装置结构简图

Fig. 1 Schematic diagram of press device in mechanical type reducing adhesion and resistance

1. 机架 2. 横向仿形板连接板 3. 横向支架 4. 弹簧 5. 调节丝杠 6. 纵向支架 7. 镇压轮 8. 刮削板

实际作业前,需根据土壤状态和作物压实要求,改变弹簧的变形量和刮削板的刮削角,保证镇压装置镇压作业质量。作业时,在有预紧力的弹簧作用下,镇压轮接地强度能满足作物生长环境要求,同时镇压轮与土壤始终紧密接触,纵向支架与横向支架相铰接,且横向支架无纵向自由度,保证镇压装置随地形运动,即纵向仿形。镇压轮中心水平基线处的刮削板也能清除一部分粘附土壤。通过上述一系列

动作,保证镇压装置有减粘降阻的能力,提高镇压装置的作业性能。

2 作业过程与脱土机理分析

首先定量分析镇压装置的运动过程,并在此基础上对镇压轮表面脱土和刮削脱土进行机理分析,确定镇压装置作业减粘降阻能力,为机械式减粘降阻镇压机构的设计提供理论依据。

2.1 镇压装置运动过程分析

借鉴振动法^[13-14]在农业机械设计中的应用,本文在镇压装置中加入弹簧元件,使镇压装置与土壤构成动态振动系统。

作为周期激励力的土壤阻力可近似看作谐和力^[21] $R_0 + R\sin(\omega_1 t)$,其中 R_0 为波动时间平均值, R 为最大波动幅值, ω_1 为激励频率, t 为作业时间。图 2 中,土壤阻力和 OA 线垂直; θ_1 为线 AO 与线 AB

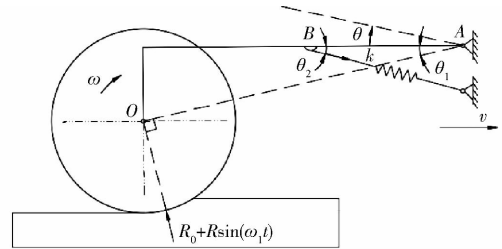


图 2 运动示意图

Fig. 2 Diagram of motion

的夹角; θ_2 为弹簧与纵向支架的夹角; P_0 为弹簧预紧力; k 为弹簧刚度。由动量矩定理得系统振动微分方程

$$J_0 \ddot{\theta} + (P_0 + kl_{AB} \theta) \sin \theta_2 l_{AB} = (R_0 + R \sin(\omega_1 t)) l_{OA} \quad (1)$$

式中 J_0 ——系统相对铰接点 A 的转动惯量

θ ——镇压轮的角摆动位移

系统平衡状态时系统振动微分方程

$$P_0 \sin \theta_2 l_{AB} = R_0 l_{OA} \quad (2)$$

由文献[22-23]可知,系统固有振动对系统影响不大,且系统频率与激励频率相同,系统振动微分方程解可近似为

$$\theta = X \sin(\omega_1 t) \quad (3)$$

式中 X ——振幅

联立式(1)~(3)得

$$\theta = \frac{Rl_{OA}}{kl_{OA}^2 \sin \theta_2 - J_0 \omega^2} \sin(\omega_1 t) \quad (4)$$

由式(4)可知,镇压作业时,镇压轮处于振动状态,这样可使触土面处土壤的水分和空气易于逸出,从而改善镇压轮表面润滑,实现减粘降阻的效果^[19]。同时还能减轻土壤对镇压轮表面粘附,即振幅越大,脱土性能越好^[23]。当结构参数和土壤特性

一定时,可减小弹簧刚度,增大振幅,从而提高装置脱土性能,但弹簧刚度过小,则影响装置工作稳定性。由上述可知,镇压装置具有减粘降阻效果,弹簧刚度影响镇压装置的减粘降阻性能,同时需要通过试验测试进一步确定弹簧刚度对镇压辊脱土性能的影响及最优弹簧刚度。

2.2 镇压轮表面脱土机理分析

粘附土壤随无振动的镇压轮运动的过程中会发生自然脱落,同时在地面与水平基线之间运动过程中粘附土壤脱附可能性大^[19],考虑到本文的镇压轮处于振动状态,重点分析该阶段粘附土壤运动过程中的受力,旨在找出影响脱附的主要因素。

由理论力学运动学可知,图3中的粘附土壤随着镇压轮作平面运动,即相对轮心O点的相对运动和绕着O点的平行移动。 F_{Ar} 、 F_{An} 为相对铰接点A摆动法向、切向惯性力; θ_3 为OA线和水平基线的夹角; θ_4 为粘附土壤径向位置与法向间夹角。由达朗贝尔原理^[24]及平面运动加速度分析,土壤运动过程不脱附的条件为

$$F > F_b = m \frac{v^2}{r} + G \cos \theta_4 + F_{An} \sin(\theta_4 + \theta_3) \pm F_{Ar} \cos(\theta_4 + \theta_3)$$

(5)

式中 F ——粘附力 F_b ——剥离力
 v ——工作速度 r ——镇压轮半径
 m ——刮削粘附土壤质量
 G ——重力

由系统振动方程解,可确定

$$F_{An} = m \frac{\ddot{\theta}^2}{r}$$

(6)

$$F_{Ar} = m l_{AB} \ddot{\theta}$$

(7)

联立式(4)~(7)可得

$$F > F_b = m \frac{v^2}{r} + \frac{m \omega_1^2}{r} \left(\frac{R l_{OA}}{k l_{OA}^2 \sin \theta_2 - J_0^2 \omega^2} \cos(\omega_1 t) \right)^2 \sin(\theta_4 + \theta_3) + m l_{OA} \omega_1^2 \frac{R l_{OA}}{k l_{OA}^2 \sin \theta_2 - J_0^2 \omega^2} \sin(\omega_1 t) \cos(\theta_4 + \theta_3) + G \cos \theta_4$$

(8)

由式(8)可知,在结构参数和土壤特性一定时,可控制工作速度 v 、弹簧刚度 k 来增加剥离力 F_b ,增加镇压装置的脱土性能,同时需要通过试验测试进一步确定作业速度对镇压轮脱土性能的影响及最优作业速度。

2.3 刮削板脱土机理分析

粘附土壤在首次离开水平基线后,其脱附可能性降低^[20]。在水平基线处加入刮削板,旨在进一步

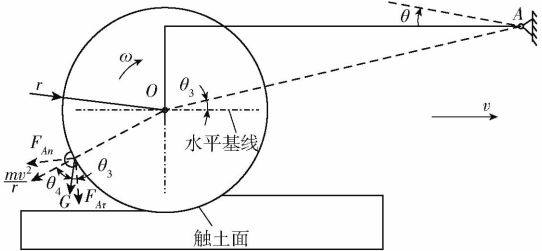


图3 粘附土壤运动受力分析图

Fig.3 Force analysis of adhesive soil movement

清除镇压轮表面粘附土壤量,如图4所示。图4中, δ 为刮削角; φ 为刮削板的刃口角; v_z 为粘附土壤的绝对速度; v_{zn} 、 $v_{z\tau}$ 为 v_z 沿刮削板刃口面的法向速度、切向速度; α 为粘附土壤速度方向与刃口面切向夹角,且 $\alpha = \delta + \varphi$;刮削板对粘附土壤作用力沿刃口面的法向分力为 F_n ,且忽略切向分力。由图4a中的放大图可知,刮削角度越大,破坏线上方的面积越大,即刮削粘附土壤质量 m 越大。刮削板与粘附土壤相互作用前后, $v_{z\tau}$ 大小、方向均不变,而 v_{zn} 变为0。力引起速度变化,故可由冲量定理^[24]求得 F_n 为

$$F_n = \frac{mv_{zn}}{t} = \frac{mv_n \sin \alpha}{t} = \frac{mv_n \sin(\varphi + \delta)}{t}$$

(9)

由式(9)可知,在切削时间 t 和粘附土壤绝对速度 v_z 一定时,刮削角 δ 越大,则 F_n 越大,而 F_n 越大,刮削板有可能发生变形,同时刮削板与粘附土壤的作用方式为刮削,则 $\delta + \varphi < 90^\circ$,故选择刮削角 δ 范围为 $0^\circ \sim 60^\circ$,同时需要通过试验测试进一步确定刮削角对镇压轮脱土性能的影响及最优刮削角。

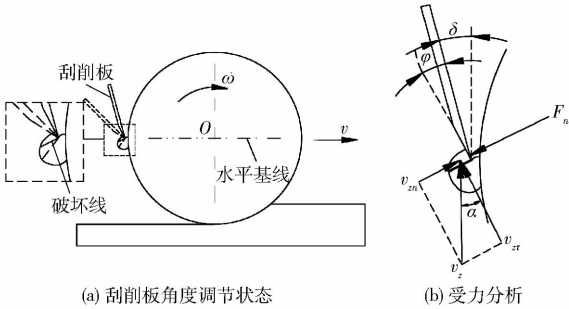


图4 刮削脱土机理分析图

Fig.4 Mechanism analysis diagram of soil scraping

3 关键机构设计及参数确定

刮削角、预紧力和纵向仿形调节机构是机械式减粘降阻镇压装置的关键机构。由镇压装置运动过程分析和脱土机理分析可知,装置的结构尺寸和弹簧刚度等对镇压装置作业性能影响较大,故有必要进行合理设计,以期保证镇压作业性能。

3.1 刮削角调节机构

刮削机构在田间农业机械中应用广泛,其可很好的清除粘附土壤,但刮削机构刚性地固定在轮轴

或机架上,不能根据土壤墒情进行调节。在现有刮削机构的基础上,本文设计出刮削角调节机构,该结构简单且紧凑,不影响镇压装置正常运行,属于理想减粘降阻的机构^[20]。

刮削角可调节机构由刮削板、刮削固定板、连接轴等组成,如图 5 所示。刮削板是机构的核心部件,主要结构参数为:刮削板厚度,刮削板厚度过大,易造成材料浪费,反之,易发生刮削板变形,由预试验确定刮削板厚为 5 mm;同时最大刮削角(60°)和刃口角之和越小越好,且最大不能超过 90°,同时保证刃口角不小于土壤内摩擦角 23°,由此确定刃口角为 23°。考虑到镇压轮表面有焊缝和刃口与轮边缘土壤堵塞问题,由预实验确定刮削板安装刃口与轮边缘间的间隙长度 L_4 为 5 mm,如图 5a 中局部放大图所示;为了保证刮削板工作稳定性,由加工经验确定连接轴的间距 L_3 为 30 mm。为了保证作业时刮削板不发生移动,需要先将内侧螺母拧至自然状态时刮削固定板内侧面,再拧外侧螺母直至刮削固定板外侧面,如图 5b 所示。

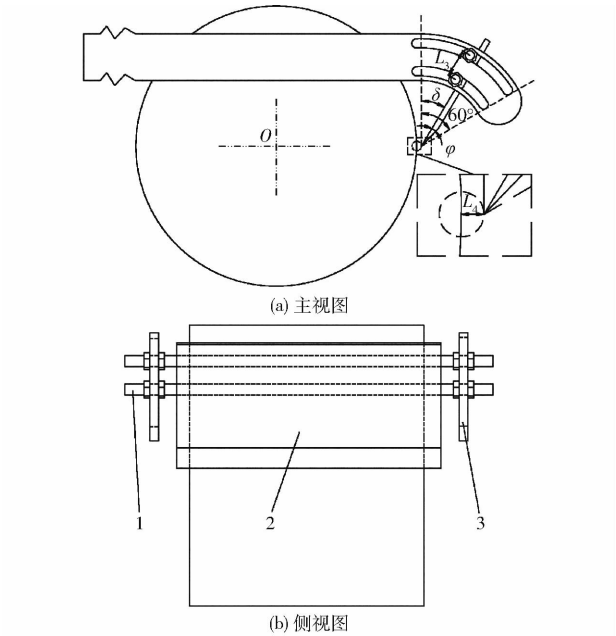


图 5 刮削角调节机构示意图

Fig. 5 Diagrams of scraping angle adjusting mechanism

1. 连接轴 2. 刮削板 3. 刮削固定板

3.2 预紧力调节机构

预紧力调节机构由调节丝杠、调节螺母、调节板、调节销轴等组成,如图 6 所示。弹簧预紧力的调节通过扭转调节螺母来控制调节丝杠水平移动,带动调节销轴在凹槽内移动,改变弹簧拉伸量。同时调节丝杠还可以限制弹簧横向移动,保证镇压均匀。

弹簧刚度参数影响镇压装置作业性能,在预试验的基础上,本文选择 3 种相同材料(65Mn)的圆钩螺旋拉伸弹簧,其具体参数如表 1 所示。

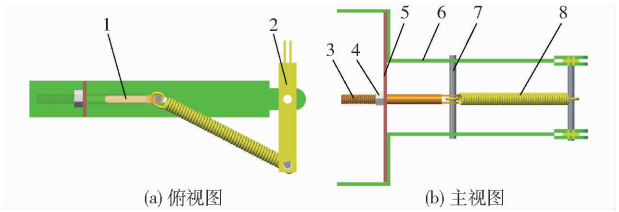


图 6 弹簧调节机构三维图

Fig. 6 Diagrams of spring adjusting device

1. 凹槽 2. 横向支架 3. 调节丝杠 4. 调节螺母 5. 固定板 6. 纵向支架 7. 调节销轴 8. 弹簧

表 1 弹簧参数

Tab. 1 Parameters of spring

序号	材料直径/ mm	弹簧中径/ mm	弹簧刚度/ (N·mm ⁻¹)	圈数
1	4	12.3	30	45
2	5	17.0	35	36
3	6	22.0	40	30

3.3 纵向仿形调节机构

纵向仿形调节机构主要由横向支架和纵向支架组成。运动过程中,纵向支架绕铰接点 A 转动,使镇压机构随地形上下运动,实现仿形。由图 7 可知,铰接点 A 与边 MN 的距离为 l_1 ,其与仿形角 θ_4 正相关, l_1 越长,仿形角 θ_4 越大。考虑到结构紧凑,为保证工作重心低,进而增加作业稳定性,本文取上下仿形角范围在 $-30^\circ \sim 30^\circ$ 之间。

$$l_1 = 25 \tan \theta_4 + \frac{15}{\cos \theta_4} \tag{10}$$

当 $\theta_4 = 30^\circ$ 时, l_1 为 32 mm。

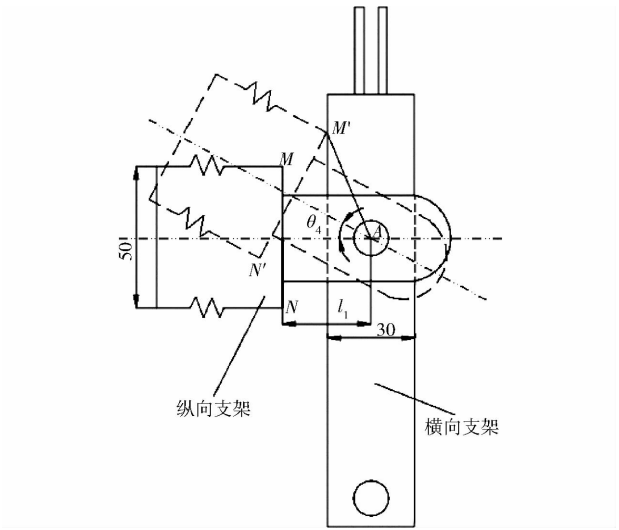


图 7 仿形运动分析及结构参数示意图

Fig. 7 Diagram of profiling motion analysis and structural parameters

4 试验材料与方法

4.1 试验设备及条件

2016 年 10 月在黑龙江省农业机械工程科学研

究院的室内土槽中进行试验,如图 8 所示。



图 8 土槽试验
Fig. 8 Soil bin test

试验设备:TCC-3 型土槽试验车(0~8 km/h);土槽(长 70 m、宽 3 m、土壤厚度 1 m);六分力测试装置;SC-900 型土壤坚实度仪;环刀组件(容积 100 cm³);JD1000-2 型电子天平;干燥箱。

试验条件:土壤为典型东北黑土;土壤容重为 1.23 kg/m³;土壤平均含水率为 17%;土壤内摩擦角为 15°。

4.2 正交试验设计

由镇压装置作业过程与脱土机理分析可知,需要通过试验测试进一步确定弹簧刚度、前进速度和刮削角对镇压辊脱土性能的影响及最优水平组合。选择弹簧刚度、前进速度和刮削角作为试验因素,因素水平如表 2 所示。选择牵引阻力和土壤粘附量来衡量镇压装置作业性能,并且试验指标值越小越好。选择 L₉(3⁴) 正交表来安排试验,为了控制试验误差,保证试验精度,每次试验前镇压强度相同,进行 9 组试验,结果如表 3 所示。A、B、C 为因素水平值。

表 2 正交试验因素水平

水平	试验因素		
	弹簧刚度/(N·mm ⁻¹)	作业速度/(km·h ⁻¹)	刮削角/(°)
1	30	3	0
2	35	5	30
3	40	7	60

5 试验结果与分析

5.1 试验因素对作业性能的影响

通过对试验结果的极差分析,得到影响牵引阻力的主次顺序为 A、C、B,各因素的最优水平分别为 A₃、B₂、C₂,则最优组合为 A₃B₂C₂。同理,影响土壤粘附量的主次顺序为 A、C、B,各因素的最优水平分别为 A₃、B₃、C₂,则最优组合为 A₃B₃C₂。

表 3 正交试验结果与极差分析
Tab. 3 Results of orthography experiment and range analysis

序号	因素			牵引阻力/N	土壤粘附量/g
	A	B	C		
1	1	1	1	83.8	93.24
2	3	1	2	40.5	49.23
3	3	2	3	52.3	61.47
4	2	1	3	69.5	74.58
5	3	3	1	47.4	58.65
6	2	2	1	55.6	79.05
7	1	2	2	61.4	81.21
8	2	3	2	43.2	62.20
9	1	3	3	79.2	87.56
牵引阻力	k ₁	74.8	64.6	62.3	
	k ₂	56.1	56.4	48.4	
	k ₃	46.7	56.6	67.0	
	R	28.1	8.2	18.7	
	较优水平	A ₃	B ₂	C ₂	
	主次因素	A > C > B			
土壤粘附量	k ₁	87.33	72.35	76.98	
	k ₂	71.94	73.91	64.21	
	k ₃	56.45	69.47	75.53	
	R	30.88	4.44	12.77	
	较优水平	A ₃	B ₃	C ₂	
	主次因素	A > C > B			

通过方差分析,对各因素影响牵引阻力和土壤粘附量进行显著性检验,如表 4 和表 5 所示。

表 4 牵引阻力方差分析
Tab. 4 Variance analysis of traction resistance

方差来源	平方和	自由度	均方	F	F 临界值	显著性
A	1 226.4	2	613.2	382.2	F _{0.05} (2,2)=19	***
B	131.8	2	65.9	41.1	F _{0.01} (2,2)=99	**
C	561.6	2	280.8	175.0		***
误差	3.2	2	1.6			
总和	1923.1	8				

注:***表示极为显著,**表示显著,下同。

表 5 土壤粘附量方差分析
Tab. 5 Variance analysis of soil adhesive quality

方差来源	平方和	自由度	均方	F	F 临界值	显著性
A	1 430.9	2	715.5	1 398.9	F _{0.05} (2,2)=19	***
B	30.4	2	15.2	29.7	F _{0.01} (2,2)=99	**
C	275.5	2	137.8	269.3		***
误差	1.0	2	0.5			
总和	1 737.9	8				

由表 4、5 可知,弹簧刚度和刮削角对牵引阻力和土壤粘附量影响均极为显著;前进速度对牵引阻力和土壤粘附量影响均显著;这与极差分析的主次因素结论一致。因此,对于牵引阻力和土壤粘附量

而言,弹簧刚度和刮削角的选择至关重要。

5.2 试验因素的综合优化

(1) 标准化处理

由表 3 可知,2 个试验指标的度量单位不同,在综合加权分析前,需要对试验指标值进行标准化,标准化公式为

$$R_{in} = \frac{T_{in} - T_{id}}{T_{iM} - T_{iN}}$$
 (11)

式中 R_{in} ——第 i 项指标的第 n 次试验标准值

T_{in} ——第 i 项指标的第 n 次试验值

T_{id} ——第 i 项指标的均值

T_{iM} 、 T_{iN} ——第 i 项指标的最大、最小值

由式(11)可得到各指标对应的标准值,如表 6 所示,由其构成的关系矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & \cdots & R_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ R_{n1} & \cdots & R_{nn} \end{bmatrix}$$
 (12)

(2) 各指标权重

在镇压作业过程中,牵引力并不是主要考虑因素,但土壤粘附量对作业质量会产生明显的影响,根据专家经验法^[25],确定 2 项指标的主权重分别为 $U_1 = [0.3, 0.7]$ 。由公式 $Y = UR$ 得最后的综合评分见表 6。可得各指标的综合评分值中分值越小越好。

表 6 综合评分值

Tab.6 Value of comprehensive evaluation

序号	R_{1n}	R_{2n}	Y
1	0.57	0.48	0.51
2	-0.43	-0.52	-0.49
3	-0.16	-0.24	-0.22
4	0.24	0.06	0.11
5	-0.27	-0.3	-0.29
6	-0.09	0.16	0.08
7	0.05	0.21	0.16
8	-0.37	-0.22	-0.26
9	0.46	0.36	0.39

由表 7 可知,在 95% 和 99% 的置信度下,A 和 C 对镇压作业性能影响极显著,B 对镇压作业性能影响较显著。

对表 6 的综合评分值进行图形化处理,研究单独考虑 3 个试验因素时,各个水平下试验因素对工作性能的影响,见图 9。由图 9 可知, $A_3B_3C_2$ 综合评分值最小,即工作性能最优,该结果与表 8 的极差分析结果相同,进一步证明最优水平组合为 $A_3B_3C_2$,弹簧刚度为 40 N/mm、前进速度为 7 km/h、刮削角为 30°。

5.3 验证及对比试验

由于综合优化的最优水平组合并不在正交试验方案中,为了验证该组合对镇压装置的实际工作性

表 7 综合评分方差分析

Tab.7 Variance analysis of comprehensive scores

方差来源	平方和	自由度	均方	F	F 临界值	显著性
A	0.709	2	0.355	1 277	$F_{0.05}(2,2) = 19$	***
B	0.014	2	0.007	25	$F_{0.01}(2,2) = 99$	**
C	0.172	2	0.086	309		***
误差	0.001	2	0			
总和	0.896	8				

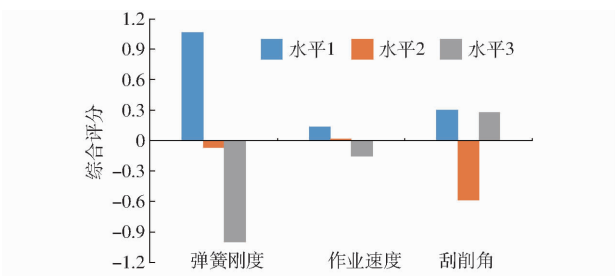


图 9 试验因素与综合加权评分值的关系

Fig.9 Relationship of test factors and comprehensive weighted score value

表 8 综合评分极差分析

Tab.8 Range analysis of comprehensive scores

综合加权值	A	B	C
k_1	0.35	0.04	0.10
k_2	-0.02	0.00	-0.19
k_3	-0.33	-0.05	0.10
R	0.68	0.09	0.29
主次因素	$A > C > B$		
最优水平	A_3	B_3	C_2

能的影响情况,同时进行与传统镇压装置的的对比试验,将最优组合 $A_3B_3C_2$ 进行 3 次重复试验,试验结果见表 9。将机械式减粘降阻镇压装置的试验结果与正交试验结果对比可知,镇压装置采用 $A_3B_3C_2$ 组合作业性能最优,故最优水平组合:弹簧刚度为 40 N/mm、前进速度为 7 km/h、刮削角为 30°。根据对比结果发现,传统镇压装置的牵引阻力和土壤粘附量均高于机械式减粘降阻镇压装置,且牵引阻力和土壤粘附量分别降低了 17.8% 和 34.8%,由此可知机械式减粘降阻机构有减粘降阻的作用。

表 9 验证及对比试验结果

Tab.9 Validation and comparison tests results

类型	牵引阻力/N	土壤粘附量/g
机械式减粘降阻镇压装置	39.6	43.24
传统镇压装置	48.2	66.37

6 结论

(1) 借鉴地面机械触土部件减粘降阻法,设计了一种机械式减粘降阻镇压装置,其具有减粘降阻的能力,满足作物镇压作业要求。

(2)利用统计分析软件对正交试验结果进行分析,得到:弹簧刚度和刮削角对牵引阻力和土壤粘附量影响均极为显著,前进速度对牵引阻力和土壤粘附量影响均显著。

(3)由综合加权评分法确定机械式减粘降阻镇

压装置的最优水平组合为:弹簧刚度为40 N/mm,前进速度为7 km/h,刮削角为30°,并进行试验验证,得到牵引阻力为39.6 N,土壤粘附量为43.24 g。通过与传统镇压装置进行对比,验证了镇压装置减粘降阻的能力。

参 考 文 献

- 贾洪雷,姜鑫铭,郭明卓,等.2BH-3型玉米行间播种机设计与试验[J/OL].农业机械学报,2015,46(3):83-89. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150312&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.03.012.
- JIA Honglei, JIANG Xinming, GUO Mingzhuo, et al. Design and experiment of type 2BH-3 inter-row seeder[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 83-89. (in Chinese)
- 赵佳乐. 留茬行间交替耕作模式配套播种机关键技术研究[D]. 长春:吉林大学, 2015.
- 白晓虎. 免耕播种机关键部件及其参数化设计方法研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2012.
- 郭慧. 行间耕播机弹性镇压装置研究与试验[D]. 长春:吉林大学, 2014.
- 贾铭钰. 免耕播种机镇压装置的试验研究及计算机辅助设计[D]. 北京:中国农业大学, 2000.
- JIA Mingyu. Study on press-device of no-tillage seeder and CAD[D]. Beijing: China Agricultural University, 2000. (in Chinese)
- ALTİKAT S, CELİK A. The effects of tillage and intra-row compaction on seedbed properties and red lentil emergence under dry land conditions[J]. Soil and Tillage Research, 2011, 114(1): 1-8.
- TONG J, ZHANG Q, GUO L, et al. Compaction performance of biomimetic press roller to soil[J]. Journal of Bionic Engineering, 2015, 12(1): 152-159.
- TASER O F, KARA O. Silage maize (*Zea mays* L.) seedlings emergence as influenced by soil compaction treatments and contact pressures[J]. Plant, Soil and Environment, 2005, 51(7): 289-295.
- 刘庆福, 梁光辉. 垄上镇压式玉米精密播种机保墒抗旱播种试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(4): 197-198.
- 于希臣, 孙占祥, 郑家明, 等. 不同镇压方式对玉米生长发育及产量的影响[J]. 杂粮作物, 2002, 22(5): 271-273.
- 佟金, 张清珠, 常原, 等. 肋条型仿生镇压辊减粘降阻试验[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(4): 135-140. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20140421&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.04.021.
- TONG Jin, ZHANG Qingzhu, CHANG Yuan, et al. Reduction of soil adhesion and traction resistance of ridged bionic press rollers[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(4): 135-140. (in Chinese)
- 佟金, 张清珠, 常原, 等. 仿生镇压辊减粘降阻的有限元分析与试验验证[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 85-92. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20140714&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.07.014.
- TONG Jin, ZHANG Qingzhu, CHANG Yuan, et al. Finite element analysis and experimental verification of bionic press roller in reducing adhesion and resistance[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7): 85-92. (in Chinese)
- 张军昌, 闫小丽, 林泽坤, 等. 自激式振动深松整地机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(9): 44-49. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160907&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.09.007.
- ZHANG Junchang, YAN Xiaoli, LIN Zekun, et al. Design and experiment of self-exciting vibration deep-loosening and sub-soiling machine[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(9): 44-49. (in Chinese)
- 崔涛, 史智栋, 杨丽, 等. 弹簧预紧力可调式振动深松机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(增刊): 96-102. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2016s015&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.S0.015.
- CUI Tao, SHI Zhidong, YANG Li, et al. Design and experiment of vibration subsoiler with adjustable spring pre-tightening force[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(Suppl.): 96-102. (in Chinese)
- 蒋建东, 高洁, 赵颖娣, 等. 土壤旋切振动减阻的有限元分析[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(1): 58-62. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20120112&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.01.012.
- JIANG Jiandong, GAO Jie, ZHAO Yingdi, et al. Finite element simulation and analysis on soil rotary tillage with external vibration excitation[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(1): 58-62. (in Chinese)
- 邱立春, 李宝筏. 自激振动深松机减阻试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(6): 72-76.
- QIU Lichun, LI Baofa. Experiment study on the self-excited vibration subsoiler for reducing draft force[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(6): 72-76. (in Chinese)
- 李霞, 付俊峰, 张东兴, 等. 基于振动减阻原理的深松机牵引阻力的试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 32-36.
- LI Xia, FU Junfeng, ZHANG Dongxing, et al. Experiment analysis on traction resistance of vibration subsoiler[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 32-36. (in Chinese)
- 贾洪雷, 王文君, 庄健, 等. 仿形弹性镇压辊减粘防滑结构设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(6): 20-27. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150604&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.06.004.
- JIA Honglei, WANG Wenjun, ZHUANG Jian, et al. Design and experiment on reducing soil adhesion and anti-slip structure of profiling elastic press roller[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(6): 20-27. (in Chinese)
- 任露泉. 土壤粘附力学[M]. 北京:机械工业出版社, 2011.
- 陈秉聪. 车辆行走机构形态学及仿生减粘脱土理论[M]. 北京:机械工业出版社, 2001.
- 卢里耶 A B, 格罗姆切夫斯基 A A. 农业机械的设计和计算[M]. 袁佳平, 汪裕安, 顾永康, 译. 北京:农业机械出版社, 1983.
- 陈滨. 分析动力学[M]. 北京:北京大学出版社, 1987.
- 张义民, 李鹤. 机械振动学基础[M]. 北京:高等教育出版社, 2010.
- 周又和. 理论力学[M]. 北京:高等教育出版社, 2015.
- 杜强, 贾丽艳. SPSS 统计分析从入门到精通[M]. 北京:人民邮电出版社, 2009.