

# 喂入辊轴流滚筒组合式大豆种子脱粒机设计与试验\*

高连兴 郑世妍 陈瑞祥 杨德旭

(沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110866)

**摘要:** 针对大豆种子机械脱粒损伤率高与脱净率低等问题, 提出了对辊喂入预脱、轴流滚筒抓脱的组合式脱粒方案, 进行了滚筒脱粒元件、喂入装置和传动系统等装置和部件的结构设计并设计了脱粒样机。滚筒脱粒元件由螺旋排列的钉齿、弓齿、板齿组成, 与凹板筛构成组合式脱粒装置; 喂入装置主要由双喂入辊组成; 气力清选装置主要由振动筛和风机组成。以“辽豆10”为试验对象, 通过正交试验分析, 以下喂入辊转速、脱粒滚筒转速和凹板间隙为试验因素, 脱净率和损伤率为试验指标, 进行了优化试验研究。结果表明: 下喂入辊转速为 222 r/min、滚筒转速为 500 r/min、脱粒间隙 40 mm 时, 大豆脱粒综合指标最优, 脱净率为 98.4%, 大豆损伤率为 1.4%。

**关键词:** 大豆 脱粒机 双喂入辊 轴流滚筒

中图分类号: S226.1<sup>+</sup>2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2015)01-0112-07

## Design and Experiment on Soybean Breeding Thresher of Double Feeding Roller and Combined Threshing Cylinder

Gao Lianxing Zheng Shiyan Chen Ruixiang Yang Dexu

(College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

**Abstract:** Mechanical threshing plays an important role in the modern soybean production, which is one of key factors causing damage of soybean seeds at the same time. It can not only bring the waste of soybean seeds and economic loss, but also affect seeds germination percentages and soybean yields tremendously, especially for mechanized precision sowing technique. Facing on the problems of higher soybean damage rate and lower soybean threshing rate, the overall design and comprehensive threshing principle of double feeding rollers and combined threshing cylinder soybean breeding thresher was proposed, critical components of combined threshing cylinder, feeding device and transmission system, etc. were designed, and the prototype was developed. Combined threshing cylinder was composed of spiral arrangement of spike tooth, bow tooth, tooth and concave plate screen. The feeding device was mainly composed of double feeding roller. Pneumatic cleaning device as mainly composed of vibrating screen and fan. The main soybean varieties from Agricultural College of Shenyang Agricultural University were selected as test materials, through orthogonal experiment analysis, the three parameters: feeding gear, drum rotating speed and concave plate clearance were selected as experimental factors. Soybean threshing rate and soybean damage rate were selected as experimental indexes. The structure and working parameter of threshing performance was optimized. Experimental results indicated that feeding gear, drum rotating speed and concave plate clearance all had significant impact on soybean threshing rate and soybean damage rate. The most optimum combination region of the moisture content was 16% ~ 18%, the feeding gear was mid-gear (222 r/min), drum rotating speed was 500 r/min, the concave plate clearance was 40 mm, the soybean threshed rate was 98.4% and the soybean damaged rate was 1.4%.

**Key words:** Soybean Thresher Double feeding roller Axial cylinder

## 引言

脱粒是造成大豆种子破碎与内部损伤的重要加工环节之一,不但直接造成种子浪费、增加生产成本,而且影响大豆发芽与出苗,对大豆生产构成极大的潜在危害,特别是影响机械化精量播种技术的推广应用。

许多专家从大豆脱粒破损特别隐性损伤危害、特征与规律、大豆籽粒损伤特性和脱粒原理与设备等多方面进行了深入研究<sup>[1-13]</sup>。然而,目前尚未发现有关采用喂入辊轴流滚筒组合式大豆种子脱粒原理与装置的文献报道。本文提出一种小型喂入辊轴流滚筒组合式大豆育种脱粒机并进行初步性能试验。

## 1 总体方案与原理

传统的大豆脱粒机一般采用纹杆式和钉齿式脱粒滚筒<sup>[2,6-10]</sup>。纹杆式脱粒滚筒由圆周分布的带有斜纹沟槽的弧形纹杆构成,纹杆滚筒和凹板筛组成大豆脱粒机构,主要使大豆植株在脱粒区内受到纹杆的挤压、揉搓作用进行脱粒。纹杆滚筒的脱粒原理可靠、脱净率高,但因其滚筒的抓取能力较弱、喂入量适应性差,只能实现切流脱粒,脱粒效率偏低,豆粒的挤压损伤严重。钉齿式脱粒装置由钉齿滚筒和凹板组成,物料在脱粒区内靠滚筒钉齿正面冲击谷物进行脱粒,生产效率高,工作可靠,喂入

时抓取能力好,但对籽粒伤害较大,破碎率高,茎秆易缠绕。

针对上述大豆种子脱粒问题,在理论分析和试验研究基础上,提出了一种“对辊喂入预脱、组合滚筒抓脱”原理的总体方案并研制了大豆种子脱粒样机(图1)。该机主要由对辊喂入装置、喂入辊变速装置、组合式脱粒滚筒、冲孔式凹板筛、气力式清选装置、电动机与传动带装置和机架等构成。其中,对辊喂入装置由一对外槽轮辊构成,通过变速箱不同齿数的齿轮啮合实现低速、中速、高速3种速度喂入。组合脱粒滚筒为开式结构,脱粒元件焊接在筋板上可拆卸、重组部件;滚筒上交错排列着钉齿、弓齿和板齿,3种脱粒元件共同按单头螺旋排列,形成轴流式脱粒。

该机可实现以下脱粒过程:大豆植株喂入时首先经对辊挤压、拖曳、捋顺,部分豆秆受到折压,部分豆荚开裂,实现预脱粒;预脱后的大豆植株在喂入辊作用下送达主脱粒滚筒,受到脱粒滚筒上钉齿和弓齿的冲击、梳刷、挤压等机械作用,特别是弓齿与钉齿可深入硬豆秸之间进行脱粒,并使大豆植株和秸秆产生圆周轴向运动,即大豆进行轴流脱粒;脱粒后的较大秸秆在离心力和板齿作用下,从尾部的排杂口排出;脱出的大豆种子及小杂余落到凹板筛上,透过凹板筛冲孔间隙落入振动筛,在振动筛和风机气流共同作用下,大豆被收集到出料口,茎秆和豆荚被风机气流吹出机器外。

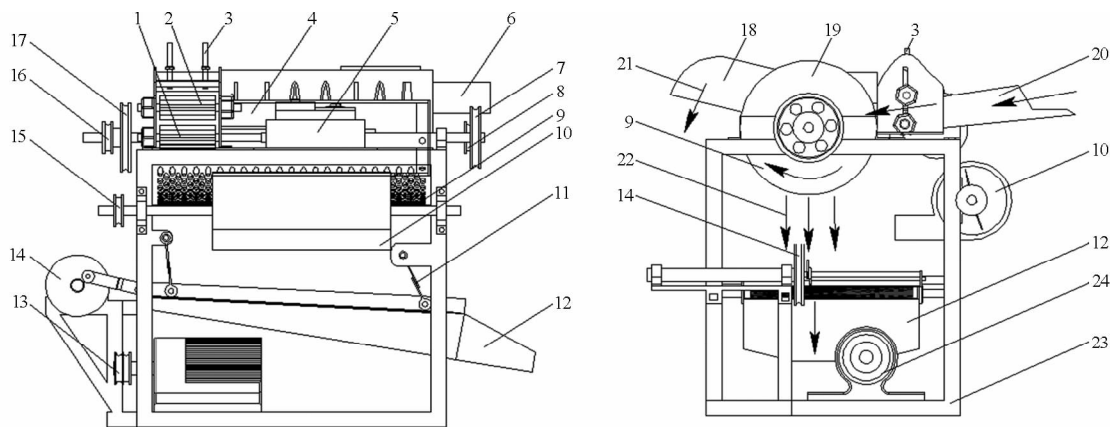


图1 大豆种子脱粒机整机结构与原理图

Fig. 1 Structural and working principle of soybean breeding thresher

1. 下喂入辊 2. 上喂入辊 3. 喂入间隙调整螺栓 4. 脱粒滚筒 5. 变速箱 6. 侧面排杂口 7. 下喂入辊带轮 8. 主轴右侧带轮 9. 凹板筛 10. 风机 11. 振动筛吊杆 12. 振动筛 13. 电动机带轮 14. 偏心轮 15. 风机带轮 16. 主轴小带轮 17. 主轴带轮 18. 后排杂口 19. 机盖 20. 喂入槽 21. 脱出的大豆茎秆及杂余 22. 脱出的大豆及部分细碎杂余 23. 机架 24. 电动机

## 2 脱粒机关键部件及参数设计

喂入辊轴流滚筒组合式大豆种子脱粒机主要部件为传动系统、气力清选装置、变速对辊喂入装置和组合脱粒滚筒。

### 2.1 传动系统与气力清选装置

选取 Y90S-4 型三相异步电动机作为动力,其传动路线如图2所示。脱粒机传动系统分为主传动和副传动两部分,分别由电动机上双槽带轮来传动:主传动即电动机上一个带轮带动主轴带轮,使脱粒

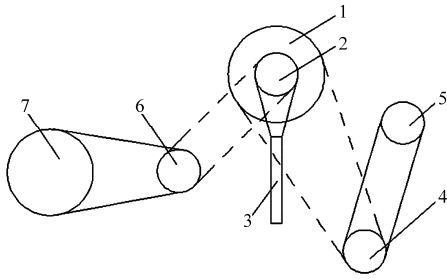


图2 传动系统示意图

Fig.2 Schematic of transmission system

1. 主轴带轮 2. 主轴小带轮 3. 振动筛偏心轮 4. 电动机带轮
5. 风机带轮 6. 主轴右侧带轮 7. 下喂入辊带轮

滚筒转动。主轴小带轮带动振动筛偏心轮转动,使

表1 传动系统参数

Tab.1 Parameters of transmission system

参数	电动机带轮	风机带轮	主滚筒带轮	振动筛带轮	下喂入辊带轮	主轴小带轮	主轴右侧带轮
直径/mm	80	80	180	160	160	80	80
转速/( $r \cdot \min^{-1}$ )	1400	1400	600	300	300	600	600

## 2.2 变速对辊喂入装置

如图3、4所示,对辊喂入装置由喂入槽、上喂入辊、下喂入辊、变速箱与调节杆、传动轴、喂入间隙调节螺栓和拉紧弹簧等构成。一对柱状的外槽轮式上、下喂入辊长度140 mm、直径64 mm,外槽轮式喂入辊周长为200 mm,其上均布5个轮齿,下喂入辊通过带有联轴器的传动轴与变速箱输出轴连接,上喂入辊为被动辊,上、下喂入辊工作时形成主、从动差速喂入;上喂入辊通过双调节螺栓和拉紧弹簧(轻质弹簧, $k$ 为500 N/m,上喂入辊浮动间距为0.02 m,弹簧预紧力为10 N)与下喂入辊靠近,形成浮动压紧喂入,实现定量连续喂入,因上下辊之间的喂入间隙可根据喂入量的大小自动调节,所以在预脱的过程中可大大减小对种子的损伤;通过变速箱内不同齿数的齿轮啮合传动,可实现下喂入辊转速的改变,即低速、中速、高速和停止4个挡位。本设计中,变速箱动力输入轴转速为300 r/min,根据3对啮合齿轮齿数的不同,下喂入辊可分别实现转速114 r/min、222 r/min和367 r/min(经过喂入辊预

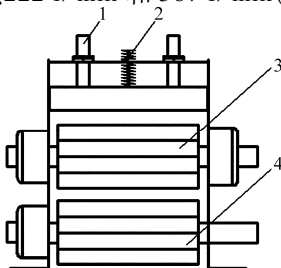


图3 对辊喂入装置结构简图

Fig.3 Structural diagram of feeding roller device

1. 喂入间隙调整螺栓 2. 拉紧弹簧 3. 上喂入辊 4. 下喂入辊

振动筛振动清选。脱粒滚筒轴另一端安装的带轮带动下喂入辊带轮,使喂入辊获得转动动力。副传动即电动机另一带轮带动脱粒机清选风机转动,进行气力清选,将秸秆、豆壳等杂质吹除。

为改善宽度较大风扇出口气流速度的均匀性,风机由2个叶片对称焊接在风机轴上,叶片形状为矩形切角,以提供足够的风力。同时,风机口垂直对着振动筛且与振动筛的垂直距离可调,提高清选质量与清选效率。

根据传动需要和经济性原则选取Y90S-4型三相异步电动机。考虑传动平稳、造价低廉以及缓冲吸振等,选用V带传动。传动系统参数见表1。

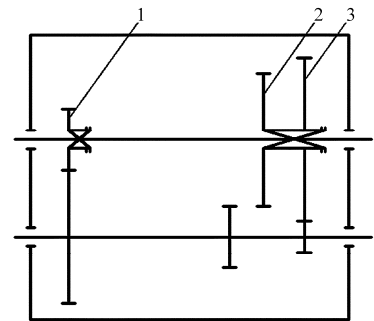


图4 喂入装置变速箱原理图

Fig.4 Structural diagram of gearbox of feeding device

1. 短位齿轮 2. 中位齿轮 3. 长位齿轮

脱后进入轴流滚筒的物料速度与喂入辊的转速呈正比)。该对辊喂入装置的工作过程如下:大豆植株喂入过程中受到上、下喂入辊挤压、揉搓和拖带作用,同时将部分茎秆折弯、破裂并捋顺,使部分豆荚开裂,形成预脱粒;大豆植株在喂入辊夹持状态下形成的料层被均匀地喂入脱粒滚筒,从而减小了脱粒滚筒喂入不均、茎秆缠绕问题,提高了脱粒效果并减轻了主滚筒的脱粒负担;同时,可根据植株粗细和含水率等状况调节下喂入辊转速,以改变喂入速度即脱粒机喂入量,使脱粒机处于最佳工作状态,减轻脱粒损伤,提高脱粒质量与效率。

## 2.3 脱粒滚筒结构与参数

脱粒装置对大豆种子脱粒破碎与损伤、脱净率和脱粒效率起决定作用。本文研制的脱粒滚筒主体部分由交错排列的钉齿和弓齿构成,滚筒后端有部分板齿(图5),3种脱粒元件组合形成单头螺旋,螺旋的旋向与主滚筒转动方向一致,以使物料在脱粒的同时能沿着滚筒轴向运动。脱粒滚筒为开式结

构,为方便脱粒部件的更换、方便清理除杂,脱粒元件焊接在筋板上,筋板用螺栓固定在滚筒两段的端盖上;脱粒元件沿轴向等间距排列,前部为钉齿,中部均为弓齿,最后部分为板齿,弓齿与母线呈 75°角,板齿与母线呈 60°角。大豆茎秆通过喂入装置进入脱粒装置后,前 3 列钉齿抓取植株,在进行梳刷的同时开始打击脱粒,并与凹板筛进行揉搓,实现初

步脱粒;未脱净的植株在螺旋脱粒元件轴向推力作用下继续沿脱粒装置轴向运动,到达弓齿脱粒区时,由于弓齿打击面积较大、可深入茎秆之间,将隐藏在茎秆间的豆荚脱粒;脱粒完成后,粗茎秆较大杂余由最后一列板齿通过排杂口排出;脱出的豆粒和碎秸秆、碎壳等通过凹板筛落到振动筛上,在振动筛和风机气流的共同作用下排出。

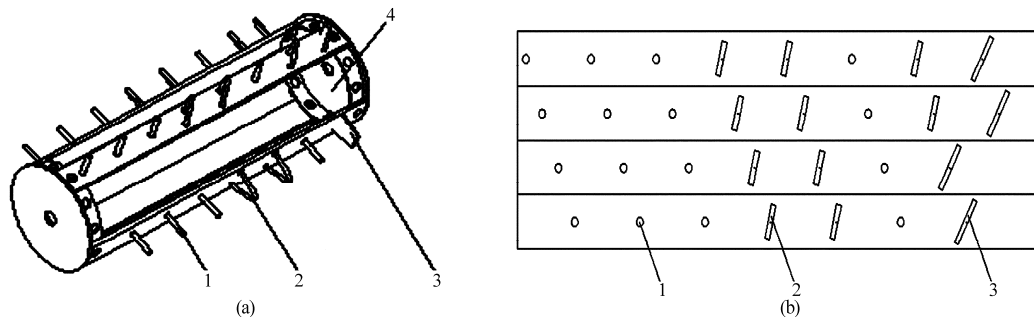


图 5 脱粒滚筒结构简图

Fig.5 Structural diagram of roller device

(a) 脱粒滚筒结构简图 (b) 脱粒原件排列展开图

1. 钉齿 2. 弓齿 3. 板齿 4. 滚筒侧板

这种组合式滚筒既能利用钉齿抓取物料,又能利用弓齿增大脱粒面积,形成深度脱粒,提高脱净率;还可以减轻纯钉齿滚筒对大豆种子的打击损伤,减低损伤率。

根据脱粒滚筒直径、转速和脱粒部件线速度之间的关系

$$n = 60v / (\pi D) \quad (1)$$

式中  $n$ ——滚筒转速, r/min

$v$ ——滚筒外缘线速度, m/s

$D$ ——滚筒直径, m

并根据大豆脱粒滚筒线速度不超过 13 m/s 的普遍

经验,设定脱粒线速度为 6 m/s 时,对应的脱粒滚筒转速为 382 r/min;当线速度取 8 m/s 时,主滚筒转速为 510 r/min;当线速度取 10 m/s 时,主滚筒转速为 634 r/min。考虑到大豆种子脱粒机脱粒工作量较小、机动性较好等因素,确定取主滚筒理论转速为 600 r/min。在初步试验基础上,确定起始脱粒间隙为 20 mm,凹板筛由双吊耳直接固定在机架上,吊耳均铣长孔,由螺栓固定,两对双吊耳结构可实现脱粒间隙的方便可调,能针对不同品种的大豆改变凹板筛间隙的大小。脱粒装置参数如表 2 所示。

表 2 脱粒装置配置参数

Tab.2 Parameter of shelling device

参数	长 × 宽 × 高/ (mm × mm × mm)	滚筒直径 /mm	滚筒长度 /mm	滚筒转速 /(r · min <sup>-1</sup> )	凹板间隙 /mm	振动筛频 率/Hz	喂入辊直径 /mm	喂入辊长度 /mm
数值	770 × 570 × 720	300	658	600	20	5	64	140

### 3 脱粒机性能试验

研制的大豆种子脱粒机如图 6 所示,其性能试验在沈阳农业大学农学院试验基地进行,选取分段收获并去除杂草后的“辽豆 10”大豆为试验材料,大豆种子含水率为 16% ~ 18%<sup>[14]</sup>、秸秆含水率为 13.8% ~ 17.5%,草谷比为 1.275。根据对脱粒性能主要影响参数的分析,选取下喂入辊转速、滚筒转速和凹板间隙为试验因素,以大豆种子损伤率和脱净率为试验指标,进行正交试验(表 3)<sup>[15]</sup>。试验过程中实测并记录含水率、脱粒滚筒实际转速、下喂入辊转速和凹板间隙及其试验指标,计算结果平均值。



图 6 大豆种子脱粒样机

Fig.6 Prototype of soybean breeding thresher

选用正交表  $L_9(3^4)$  来安排试验,取 3 因素 3 水平,排除其他因素的干扰,便于所取得的试验数据能进一步与其他大豆脱粒机进行对比研究。

所得试验结果见表 4。 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  为试验因素 A、B、C 的编码值。

表 3 试验因素与水平

Tab.3 Factors and levels of test

水平	因素		
	下喂入辊转速	滚筒转速	凹板间隙
	$A/(r \cdot \min^{-1})$	$B/(r \cdot \min^{-1})$	$C/\text{mm}$
1	114	500	20
2	222	550	30
3	367	600	40

表 4 试验结果

Tab.4 Test results

试验号	$X_1$	$X_2$	空列	$X_3$	试验指标(平均值)	
					损伤率/%	脱净率/%
1	1	1	1	1	6.5	97.9
2	1	2	2	2	6.9	98.2
3	1	3	3	3	7.8	98.0
4	2	1	2	3	1.4	98.4
5	2	2	3	1	4.0	98.9
6	2	3	1	2	2.2	98.5
7	3	1	3	2	4.7	97.7
8	3	2	1	1	3.5	97.9
9	3	3	2	3	4.5	98.4

对试验结果进行极差分析,结果见表 5、表 6。

根据表 5、表 6 所示的极差分析结果可以看出,影响脱粒机脱粒损伤率的主次顺序为 A、B、C,即下喂入辊转速、滚筒转速和凹板间隙。A 因素中最小的  $k$  值是  $k_2 = 2.53$ ,故  $A_2$  为优水平;同理, $B_1$  为优水平, $C_3$  为优水平,分析所得最优处理组合为  $A_2B_1C_3$ ,而 9 次试验中的最优处理组合是  $A_2B_1C_3$ ,说明最优处理组合在这 9 组试验之中,即  $A_2B_1C_3$ 。同理得出影响脱净率因素的主次顺序为 A、B、C,即下喂入辊转速、滚筒转速和凹板间隙,分析所得最优处理组合为  $A_2B_2C_1$ 。各因素影响大豆脱粒损伤率和脱净率的趋势如图 7 所示。

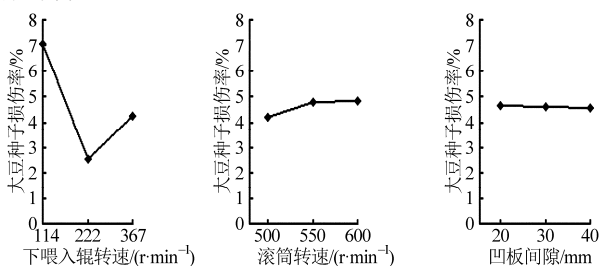


图 7 大豆种子脱粒损伤率与脱净率变化趋势

Fig.7 Trend charts of damage rate and threshed rate of soybean seeds

表 5 损伤率试验的极差分析

Tab.5 Results of range analysis on damage rate

	下喂入辊转速	滚筒转速	空列	凹板间隙
	A	B		C
$K_1$	21.2	12.6	12.2	14
$K_2$	7.6	14.4	12.8	13.8
$K_3$	12.7	14.5	16.5	13.7
$k_1$	7.07	4.2	4.07	4.67
$k_2$	2.53	4.8	4.27	4.6
$k_3$	4.23	4.83	5.5	4.57
R	4.54	0.63	1.43	0.1
优水平	$A_2$	$B_1$		$C_3$

表 6 脱净率试验的极差分析

Tab.6 Results of range analysis on thresh rate

	下喂入辊转速	滚筒转速	空列	凹板间隙
	A	B		C
$K_1$	294.1	294.0	294.3	295.2
$K_2$	295.8	295.0	295.0	294.4
$K_3$	294.0	294.9	294.8	294.3
$k_1$	98.03	98.00	98.10	98.40
$k_2$	98.60	98.33	98.33	98.13
$k_3$	98.00	98.30	98.27	98.10
R	0.6	0.33	0.23	0.3
优水平	$A_2$	$B_2$		$C_1$

由图 7 可以看出,3 种试验因素对大豆脱粒效果的总体影响趋势如下:

(1) 下喂入辊转速由 114 r/min 增到 222 r/min 时,大豆籽粒损伤率下降,而脱净率上升;当下喂入辊转速在 222 r/min 时,大豆籽粒损伤率最小,而脱净率最大;当下喂入辊转速从 222 r/min 增大到 367 r/min 时,大豆籽粒损伤率有所增大,而大豆脱净率则有所下降。分析出现上述趋势的原因发现,下喂入辊转速对大豆脱粒损伤率与脱净率影响机理在于喂入辊预脱效果:当下喂入辊转速过低时,不但其预脱作用减弱,而且脱粒滚筒的脱粒过程接近于传统脱粒,因而脱粒损伤率上升、脱净率下降;相反,当下喂入辊转速高时,因其预脱作用过强造成预脱过程中的大豆损伤,同时,脱粒滚筒的循环喂入量增大,脱粒滚筒对大豆植株脱粒作用的均匀性下降,部

分植株部位的豆荚受力过大而容易出现损伤,而部分夹杂在粗大茎秆间的豆荚难以脱粒干净,因而脱净率降低。

(2) 滚筒转速总体影响趋势为: 滚筒转速由 500 r/min 增大到 550 r/min 时, 在脱净率提高的同时, 损伤率也略有增大; 滚筒转速由 550 r/min 变到 600 r/min 时, 脱净率变化不大, 约下降了 0.5%, 而大豆脱粒损伤率也基本没有显著上升。

表 7 损伤率方差分析

Tab. 7 Variance analysis of damage rate

方差来源	偏差平方和	自由度	方差	F 值	临界值 $F_{\alpha}$	显著性
下喂入辊转速 A	31.47	2	15.73	349.6	$F_{0.05}(2,2) = 19$	**
滚筒转速 B	4.15	2	2.075	46.1	$F_{0.01}(2,2) = 99$	*
凹板间隙 C	0.27	2	0.135			
误差 e	0.09	2	0.045			
总和	35.98	8				

表 8 脱净率方差分析

Tab. 8 Variance analysis of thresh rate

方差来源	偏差平方和	自由度	方差	F 值	临界值 $F_{\alpha}$	显著性
下喂入辊转速 A	0.68	2	0.34	8.5	$F_{0.05}(2,2) = 19$	
滚筒转速 B	0.20	2	0.10	2.5	$F_{0.01}(2,2) = 99$	
凹板间隙 C	0.16	2	0.08			
误差 e	0.08	2	0.04			
总和	1.12	8				

损伤率方差分析结果表明, 下喂入辊转速对损伤率的影响极显著, 滚筒转速影响显著, 而脱粒间隙影响并不显著。各因素影响损伤率的主次顺序为  $A > B > C$ 。同理, 从脱净率方差分析结果(表 8)可知, 各因素对脱净率均有一定影响, 但影响均未达到显著水平。

综合以上试验结果可知: 3 个因素对试验指标影响大小顺序依次为 A、B、C, 即下喂入辊转速、滚筒转速和凹板间隙。凹板间隙的极差均是较小的, 是影响最小的因素, 设计时在 20 ~ 40 mm 内可, 但取凹板间隙为 30 ~ 40 mm 时相对较好; 下喂入辊转速的极差均是最大的, 即是影响最大的因素, 喂入速度对脱粒性能(损伤率、脱净率)的影响很大, 且对于损伤率的影响明显大于脱净率。普通机械脱粒的大豆种子籽粒普遍存在严重的机械损伤问题, 其中外部损伤率(含破碎)为 9% ~ 12%、内部损伤率为 5% ~ 9%<sup>[1]</sup>。本研究的最佳损伤率明显优于以上研究数据。

(3) 凹板间隙从 20 mm 变化 40 mm 时, 大豆脱粒损伤率逐渐变小, 但变化幅度不大; 随着凹板间隙从 20 cm 增大到 30 cm, 脱净率显著下降, 但凹板间隙从 30 cm 增大到 40 cm 时, 脱净率下降幅度不大。

通过以上分析得出各试验因素对试验指标(损伤率、脱净率)影响的最优组合, 再通过方差分析, 分别对影响大豆种子损伤率和脱净率各因素进行显著性检验, 结果如表 7 和表 8 所示。

## 4 结论

(1) 设计了喂入辊轴流滚筒组合式大豆种子脱粒机, 该机充分利用一对喂入辊预脱和钉齿、弓齿与板齿相结合的脱粒方式, 实现了分步脱粒和碾压、冲击、梳刷等脱粒机理相结合的原理。

(2) 研制的可变速对辊喂入装置可实现 3 种速度的差速喂入, 有效地解决了粗茎秆之间夹杂的豆荚脱粒、滚筒茎秆缠绕等问题, 同时减轻了脱粒负担。

(3) 对样机进行了脱粒性能试验, 结果表明, 喂入辊轴流滚筒组合式大豆种子脱粒机在大豆植株喂入量 0.5 kg/s、下喂入辊转速 222 r/min 条件下, 大豆种子含水率为 16% ~ 18%、秸秆含水率为 13.8% ~ 17.5%、大豆草谷比 1.275、脱粒间隙 40 mm、滚筒转速为 500 r/min 时, 大豆脱粒综合指标最优, 即大豆脱净率为 98.4%, 大豆损伤率为 1.4%, 优于同类大豆脱粒机。

## 参 考 文 献

- 高连兴, 李晓峰, 接鑫, 等. 大豆机械脱粒损伤特征及损伤率研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(1): 55-58.  
Gao Lianxing, Li Xiaofeng, Jie Xin, et al. Study on characteristics and ratio of kernel mechanical damage [J]. Journal of

- Shenyang Agricultural University, 2010, 41(1): 55 - 58. (in Chinese)
- 2 侯守印,陈海涛. 立式轴流大豆育种脱粒机参数优化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 19 - 25.  
Hou Shouyin, Chen Haitao. Parameters optimization of vertical axial flow thresher for soybean breeding[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(5): 19 - 25. (in Chinese)
  - 3 高连兴,赵学观,杨德旭,等. 大豆脱粒机气力清选循环装置研制与性能试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 22 - 27.  
Gao Lianxing, Zhao Xueguan, Yang Dexu, et al. Development and performance test on pneumatic cleaning-circulatory device of soybean thresher[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(24): 22 - 27. (in Chinese)
  - 4 高连兴,杜鑫,张文,等. 双滚筒气力循环式花生脱壳机设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(10): 68 - 73.  
Gao Lianxing, Du Xin, Zhang Wen, et al. Double-roller peanut sheller with pneumatic circulating[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(10): 68 - 73. (in Chinese)
  - 5 赵学观. 大豆脱粒机组合式分离清选系统研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2012.  
Zhao Xueguan. Study on soybean thresher combined separating cleaning system[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2012. (in Chinese)
  - 6 李心平,马福丽,高连兴. 差速式玉米种子脱粒机的设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 192 - 195.  
Li Xinping, Ma Fuli, Gao Lianxing. Design on seed corn thresher with different speeds threshing parts[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 192 - 195. (in Chinese)
  - 7 李心平,高连兴. 差速式玉米种子脱粒机的性能试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 102 - 106.  
Li Xinping, Gao Lianxing. Performance test on corn thresher with different-speed threshing parts[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 102 - 106. (in Chinese)
  - 8 王显仁,李耀明,徐立章. 水稻脱粒破碎率与脱粒元件速度关系研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 16 - 19.  
Wang Xianren, Li Yaoming, Xu Lizhang. Relationship between thresher velocities and rice grain broken rate[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(8): 16 - 19. (in Chinese)
  - 9 李耀明,徐立章,杨秀景,等. 油菜轴流脱粒滚筒性能对比试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(8): 86 - 89.  
Li Yaoming, Xu Lizhang, Yang Xiujing, et al. Comparative experiment on axial threshing cylinder of rape[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(8): 86 - 89. (in Chinese)
  - 10 徐立章,李耀明,马朝兴,等. 横轴流双滚筒脱粒分离装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(11): 55 - 58.  
Xu Lizhang, Li Yaoming, Ma Chaoxing, et al. Design and experiment of threshing and separating unit with double axial cylinder [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(11): 55 - 58. (in Chinese)
  - 11 李耀明,李洪昌,徐立章. 短纹杆-板齿与钉齿脱粒滚筒的脱粒对比试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 139 - 142.  
Li Yaoming, Li Hongchang, Xu Lizhang. Comparative experiments on threshing performance between short-rasp-bar tooth cylinder and spike tooth cylinder[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3): 139 - 142. (in Chinese)
  - 12 Fernando S, Hanna M, Mesquita C. Soybean threshing mechanism development and testing[J]. Transactions of the ASAE, 2004, 47(3): 599 - 605.
  - 13 宋学娟. 双滚筒大豆种子脱粒机设计研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2013.  
Song Xuejuan. Design and study on thresher of soybean seed with double-drum[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2013. (in Chinese)
  - 14 高连兴,焦维鹏,杨德旭,等. 含水率对大豆静压机械特性的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 40 - 44.  
Gao Lianxing, Jiao Weipeng, Yang Dexu, et al. Effect of moisture content on mechanical properties of soybean seed under static pressure[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(15): 40 - 44. (in Chinese)
  - 15 李云雁,胡传荣. 实验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社, 2011: 134.