

油菜联合收获机脱出物清选试验台*

廖庆喜 陈立 李海同 韩彩锐 刘明峰

(华中农业大学工学院, 武汉 430070)

摘要: 设计了一种离心气流清选和回转筛选组合式的风筛式清选试验台, 论述了该试验台的基本结构和工作原理, 分析确定了主要结构和运行参数。试验研究了离心风机转速、清选筛转速、筛面型式和提升螺旋输送机转速等主要影响因素与清选性能指标的关系, 结果表明影响清选性能的因素主次顺序为清选筛转速、离心风机转速、筛面型式、提升螺旋输送机转速, 且在离心风机转速为 2 200 r/min, 清选筛转速为 60 r/min, 筛面体采用长对角线 6.7 mm、短对角线 4.0 mm 的菱形孔网眼筛, 提升螺旋输送机转速为 1 150 r/min 时, 清选性能指标达到最优。

关键词: 油菜 联合收获机 清选 试验台 试验

中图分类号: S225.99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)10-0080-06

Cleaning Unit Test-bed of Extraction Components for Rape Combine Harvester

Liao Qingxi Chen Li Li Haitong Han Cairui Liu Mingfeng

(College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: An air-and-screen cleaning unit test-bed combined with centrifugal air flow cleaning and rotary screening was developed. The basic structure and working principle of cleaning unit test-bed were discussed, and the main structural and operating parameters were determined. Experiments were carried out in order to find the relationship between cleaning performance and main factors, such as centrifugal fan rotating speed, screen rotating speed, screen surface type, and screw conveyor rotating speed. An orthogonal test and the method of comprehensive analysis were carried out to find primary and secondary factors affecting the cleaning performance, which were screen rotating speed, centrifugal fan rotating speed, screen surface type, and screw conveyor rotating speed. When the centrifugal fan rotating speed was 2 200 r/min, the screen rotating speed was 60 r/min, screen surface type was diamond-shaped hole mesh screen with the long diagonal of 6.7 mm, short diagonal of 4.0 mm, the screw conveyor rotating speed was 1 150 r/min, the optimum operation condition was obtained.

Key words: Rape Combine harvester Cleaning Test-bed Experiment

引言

油菜机械化收获工艺主要有分段收获和联合收获^[1]。我国对油菜联合收获机的研究主要建立在技术较为成熟的稻麦联合收获机基础上进行设计改装^[2]。清选装置是联合收获机核心工作部件, 直接

影响清洁率、损失率 and 生产率等技术指标, 提高清选性能是油菜联合收获机需要解决的主要问题之一^[3-4]。

脱出物物料特性是影响清选性能的主要因素, 清选原理主要有两类: 利用不同组成物料空气动力学特性差异采用纯气流清选^[5-6]和利用籽粒与杂余

收稿日期: 2012-11-16 修回日期: 2013-01-20

* 国家油菜产业技术体系专项资助项目(CARS-13)、“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2010BAD01B06)、中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2011PY021)和华中农业大学自主科技创新基金资助项目(2012SC17)

作者简介: 廖庆喜, 教授, 博士生导师, 主要从事油菜播种机械与高粗茎秆作物收获机械研究, E-mail: liaoqx@mail.hzau.edu.cn

物料特性差异采用气流与振动筛配合清选,后者应用较广泛。风扇式、风筛组合式和旋风式气流分选清选装置对稻麦脱出物具有良好适应性^[7-12],但油菜脱出物物料特性较复杂,清选效果并不明显。考虑油菜收获季节性强,脱出物物理机械特性的复杂性以及田间情况千差万别,田间试验诸多参数不便调整,数据获取困难,可重复性差^[13-15],难以在田间全面开展油菜联合收获机实际清选试验研究,为此本文设计一种离心气流清选与回转筛选组合式的清选试验台。

1 清选试验台设计

1.1 清选试验台组成与工作原理

试验台主要由进料斗、提升螺旋输送机、气流清选筒、吸气管道、离心风机、清选筛、排草口、集料斗等工作部件组成,如图 1 所示。气流清选筒和清选筛为关键部件。

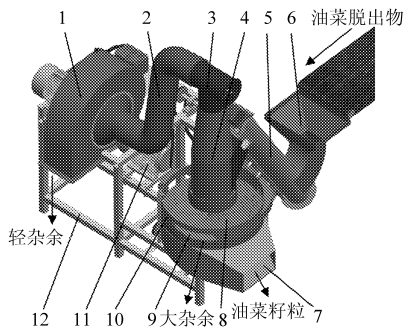


图 1 油菜联合收获机清选装置试验台结构

Fig. 1 Structure of rape combine harvester cleaning unit test-bed

1. 离心风机 2. 吸气管道 3. 三通管 4. 气流清选筒 5. 提升螺旋输送机 6. 进料斗 7. 集料斗 8. 清选筛 9. 排草口 10. 罩壳 11. 电动机 12. 机架

工作时,离心风机启动后从吸气管道吸气,气流清选筒内产生一定负压,使落入气流清选筒内的油菜脱出物疏散、旋转。其中轻杂余在气流场内旋转时离心力较小,相对集中于清选筒中心部,并且受到垂直向上的气流作用力大于自身重力,顺气流上升,被吸气流吸走并排出机外,实现气流清选;籽粒、茎秆等受到垂直向上的气流作用力小于自身重力,这部分吸不走的脱出物逆气流下落至清选筛面,随筛子回转而获得离心力,其中茎秆等大杂余沿筛面向外扩散,最终由排草口甩出,籽粒则透过筛孔落入集料斗并收集,实现筛选。

1.2 关键部件结构设计

1.2.1 气流清选筒

气流清选筒上部为小圆筒,中部为锥筒,底部为大圆筒,如图 2 所示。任一横断面处平均流速与横

截面积呈反比^[16-18]。清选筒为锥形扩散筒结构,离心风机产生的吸气流在筒内流动时速度会发生改变。大圆筒段气流速度较小,为低风速区,并与清选筛面之间敞开,有利于清选筒内有足够气流;沿锥筒向上气流因锥筒横截面变小而逐渐加速,有利于吸走轻杂余;小圆筒段气流速度则较大,为高风速区。杂余由大圆筒段上浮至锥筒段,气流速度逐渐增高,杂余被清选气流吸走并排出机外。

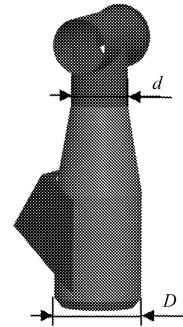


图 2 气流清选筒结构图

Fig. 2 Structure of air flow cleaning cartridge

清选筒外形结构尺寸直接影响到气流清选性能^[19]。小圆筒配置尺寸需保证杂余吸入畅通,直径 d 越小,越能吸走杂余,但 d 过小会导致输送不畅。 d 一般为 150~200 mm,取 $d = 160$ mm。油菜脱出物空气动力学特性测定试验表明:籽粒悬浮速度为 7.4~9.4 m/s,茎秆为 6.3~11.2 m/s,荚壳为 2.4~3.2 m/s,轻杂物为 1.1~3.2 m/s。根据不同成分悬浮速度差异,不考虑气流压缩性,则气流清选筒内任一横截面处气流量相等,为尽量吸走轻杂余,避免吸走油菜籽粒,大、小圆筒直径之比应满足

$$\frac{D}{d} = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} = \sqrt{\frac{v_2}{v_1}} < \sqrt{\frac{7.4}{3.2}} \approx 1.52$$

式中 D 、 d ——大、小圆筒直径, m

A_1 、 A_2 ——大、小圆筒横截面积, m^2

v_1 、 v_2 ——大、小圆筒内气流速度, m/s

$D < 1.52d = 1.52 \times 0.16 \approx 243$ mm。气流清选筒清选能力由气流量和出料口大小决定, D 过小易导致茎秆聚集堵塞,不宜小于 200 mm。因此, $200 \text{ mm} < D < 243 \text{ mm}$, D 取大值 240 mm。

1.2.2 清选筛

由筛架、筛子和驱动轴等组成,如图 3 所示。驱动轴带动筛子回转,荚壳、茎秆等杂余在筛面上由排草口甩出,籽粒则透过筛孔。为增加籽粒透筛机率,并减少籽粒在筛面上碰撞、弹跳和飞溅造成损失,保持筛选过程的稳定有效性,筛面设计成倒锥形。

籽粒透过筛孔,对筛面上杂余发生作用的主要是筛子加速度 $\omega^2 r$,即对筛选效果影响最大的运行参数是筛子角速度 ω 。假设杂余由出料口落至清选

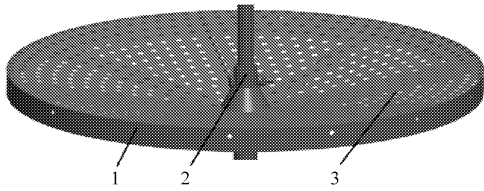


图3 清选筛结构图

Fig. 3 Structure of screen

1. 筛架 2. 驱动轴 3. 筛子

筛面后,即获得与筛子相同的回转速度。将杂余各成分的运动视为质量为 m 的点运动且不考虑各成分之间的相互作用,则杂余所受作用力^[20],如图4所示。

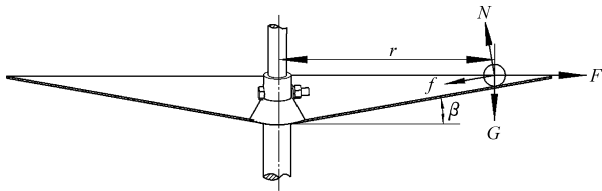


图4 大杂余在筛面上受力分析示意图

Fig. 4 Sketch of stress analysis for large impurities on screen surface

$$\text{离心力} \quad F = m\omega^2 r \quad (1)$$

$$\text{重力} \quad G = mg \quad (2)$$

$$\text{筛面反作用力} \quad N = m\omega^2 r \sin\beta + mg \cos\beta \quad (3)$$

$$\text{摩擦力} \quad f = N \tan\varphi \quad (4)$$

式中 m ——杂余质量,kg

g ——重力加速度,取 9.8 m/s^2

r ——杂余所在位置的筛子半径,m

φ ——杂余对筛面的摩擦角,华油杂62约为 28°

β ——筛面倾角, ($^\circ$)

由力学分析可知,为使杂余在筛面具有良好流动性能,保证杂余顺利由排草口甩出的必要条件为

$$m\omega^2 r \cos\beta \geq mg \sin\beta + f \quad (5)$$

将式(4)代入式(5),推导出筛子最低角速度 ω_{\min} ,即

$$\omega_{\min} \geq \sqrt{\frac{g}{r} \tan(\beta + \varphi)} \quad (6)$$

由式(6)可知,杂余顺利排出所需最低转速主要取决于筛子半径 r 及筛面倾角 β 。 β 越大,所需最低转速 ω_{\min} 越大,籽粒透过筛孔机率相应减小,且杂余易堆积于筛面。 β 一般为 $5^\circ \sim 15^\circ$,筛面倾角 β 取 10° 。 r 越小,筛子面积越小,筛面清选负荷能力和籽粒透筛机率也越小。结合本文结构设计需要,分别加工了半径为 200、250 和 300 mm,倾角均为 10° 的 3 组筛子进行试验,其中半径 r 为 300 mm 的筛子清选效果较好。将参数 $\varphi = 28^\circ$ 、 $\beta = 10^\circ$ 、 $r = 300 \text{ mm}$ 代

入式(6)得 $\omega_{\min} \approx 5.05 \text{ rad/s}$,即杂余顺利排出所需最低转速为 48.25 r/min。

2 清选性能试验

2.1 试验物料和方法

油菜适宜收获期短,本文采用人工收割自然成熟油菜,利用其后熟作用获得完熟油菜。以 1.5 kg/s 喂入量均匀连续喂送至纵轴流式脱粒分离装置脱粒,收集经凹板分离的脱出物作为试样,包含籽粒、荚壳、茎秆及轻杂物 4 种基本成分^[21]。脱出物质量占总喂入量的 55% 左右,而其中油菜籽粒比例为 45% ~ 55%,千粒质量为 4.2 g。将籽粒与杂余按质量比 1:1 的比例配制,分别称量后混合均匀铺放在输送带上。为保证试验数据有较好的适应性,由输送带以较大的清选喂入量 (0.8 kg/s) 均匀连续喂送至进料斗,最后收集集料斗中的筛下物。根据理论分析得到的油菜脱出物在清选筒内和筛面上的运动条件以及结构要求,调整主要结构和运行参数,采用单因素试验及正交试验,找出主要影响因素与清选性能指标关系以及优方案。

由于试验在室内进行,为模拟田间作业情况,对油菜脱出物作加湿还原处理,调节含水率为 15% ~ 20%^[22]。试验设备主要有:SIEMENS 变频器、数字式高精度转速表、MB45 型卤素水分测定仪、滑尺式摩擦仪、电子天平(精度为 0.1 g)等。

2.2 试验因素及指标

清选效果与结构运行参数的选择及组合有着密切关系^[23]。清选性能主要取决于气流清选、筛选过程的可靠性,影响脱出物在清选筒内和筛面上运动状态的因素主要有提升螺旋输送机、离心风机、清选筛转速及筛面型式。筛面型式和几何参数如表 1 所示。

表 1 6 种筛面型式与几何参数

Tab. 1 Screen surface type and its geometric parameters

编号	筛面	筛孔几何	筛孔	孔隙
	型式	尺寸/mm	面积/mm ²	率/%
1	圆形冲孔筛	直径 2.9	6.60	18.34
2	圆形冲孔筛	直径 5.1	20.42	41.67
3	圆形冲孔筛	直径 7.9	48.99	41.24
4	菱形网眼筛	长对角线 6.7 短对角线 4.0	13.40	76.14
5	方孔编织筛	边长 2.85	8.12	75.42
6	方孔编织筛	边长 3.6	12.96	75.05

考查指标清洁率和损失率计算公式为

$$Y_q = \frac{m_2}{m_0} \times 100\% \quad (7)$$

$$Y_s = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (8)$$

式中 Y_q ——清洁率, %

Y_s ——损失率, %

m_0 ——筛下物总质量, kg

m_1 ——喂入油菜籽粒总质量, kg

m_2 ——筛下物中油菜籽粒质量, kg

3 试验结果与分析

3.1 单因素试验与结果分析

3.1.1 离心风机转速

在 1 400 ~ 2 600 r/min 之间选取 7 个水平。设定清选筛转速 80 r/min, 提升螺旋输送机转速 1 250 r/min, 筛面型式为编号 5。每个水平下重复 3 次试验, 试验前通过变频器将各工作部件转速调整到试验要求状态(下同)。

图 5 为离心风机转速与清选性能的关系曲线。由图 5 可看出, 清洁率随离心风机转速增大逐渐升高, 而损失率随转速增大先略有降低后逐渐升高。这是因为转速越大, 吸气气流速度也越大, 被吸走的杂余越多, 籽粒夹带损失减少, 损失率降低, 清洁率升高; 转速高于 2 200 r/min 时, 随着转速继续增大, 清洁率升高幅度不大, 但是较大转速产生的吸气气流也会吸走籽粒, 使损失率升高。由此可知, 转速为 1 800 ~ 2 200 r/min 时, 气流清选性能较好。

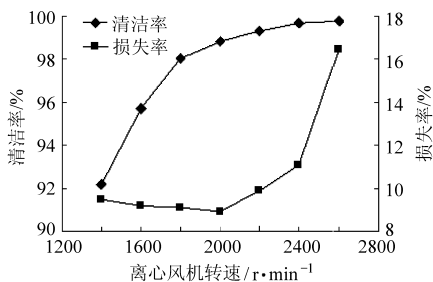


图 5 离心风机转速与清选性能的关系曲线

Fig. 5 Influence of centrifugal fan rotating speed on cleaning performance

3.1.2 清选筛转速

在 50 ~ 100 r/min 之间选取 6 个水平。设定离心风机转速 2 000 r/min, 提升螺旋输送机转速 1 250 r/min, 筛面型式为编号 5。

图 6 为清选筛转速与清选性能的关系曲线。由图 6 可看出, 清洁率随清选筛转速增大变化幅度不大, 损失率随转速增大呈总体上升趋势。分析表明, 转速越大, 筛上物所受离心力作用越大, 被甩出籽粒和杂余越多, 损失率升高; 转速高于 80 r/min 时, 随着转速继续增大, 被甩出籽粒更多, 且筛上物弹跳、碰撞和飞溅加剧, 筛选过程稳定性受到影响, 损失率

继续升高。转速小于 50 r/min 时, 杂余流动不畅。由此可知, 清选筛转速为 60 ~ 80 r/min 时, 筛选性能较好。

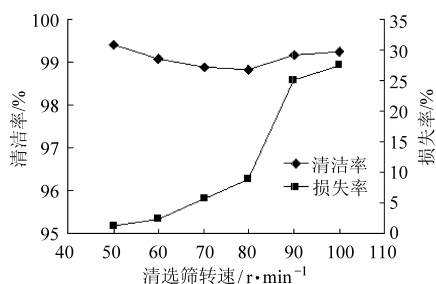


图 6 清选筛转速与清选性能的关系曲线

Fig. 6 Influence of screen rotating speed on cleaning performance

3.1.3 筛面型式

设定离心风机转速 2 000 r/min, 清选筛转速为 70 r/min, 提升螺旋输送机转速 1 250 r/min。

图 7 为筛面型式与清选性能的关系曲线。由图 7 可看出, 对于筛面型式相同的筛子, 清洁率均随单个筛孔面积增大而降低, 损失率均随孔隙率增大而降低。分析表明, 单个筛孔面积越大, 透过筛孔杂余越多, 清洁率降低; 孔隙率越大, 筛分有效面积越大, 筛漏能力越强, 损失率降低。由此可知, 2 ~ 5 号筛子筛选损失率较小, 但 3 号筛子筛选清洁率较小。

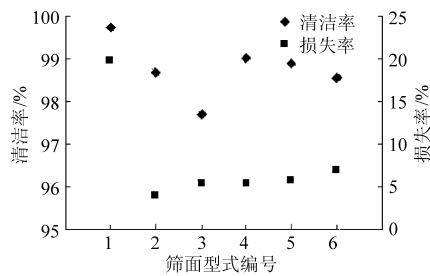


图 7 筛面型式与清选性能的关系曲线

Fig. 7 Influence of screen surface type on cleaning performance

3.1.4 提升螺旋输送机转速

提升螺旋输送机转速在 850 ~ 1 350 r/min 之间选取 6 个水平。设定离心风机转速 2 000 r/min, 清选筛转速 80 r/min, 筛面型式为编号 5。

图 8 为提升螺旋输送机转速与清选性能的关系曲线。由图 8 可看出, 清洁率随提升螺旋输送机转速增大略有降低, 损失率则随转速增大逐渐降低。分析表明, 转速越大, 单位时间内提升至气流清选筒内的脱出物增多, 清选负荷越大, 气流清选能力削弱, 被吸走籽粒减少, 使损失率有所降低; 同时, 落至筛面的脱出物也增多, 使得筛选负荷增大。由此可知, 转速为 1 150 ~ 1 350 r/min 时, 清选性能较好。

3.2 正交试验与结果分析

在单因素试验基础上, 选择合适的因素水平, 分

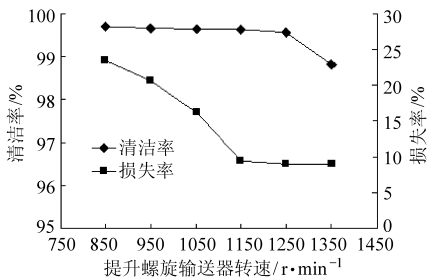


图8 提升螺旋输送机转速与清选性能的关系曲线

Fig. 8 Influence of screw conveyor rotating speed on cleaning performance

析确定影响清选的因素主次顺序以及合理的工作参数组合。选择正交表 $L_9(3^4)$ 来安排正交试验^[24],

因素水平如表2所示。清选试验结果如表3所示。

表2 正交试验因素水平
Tab.2 Levels and factors for orthogonal test

水平	因素			
	离心风机转速 $A/r \cdot \min^{-1}$	清选筛转速 $B/r \cdot \min^{-1}$	筛面型 式 C	提升螺旋 输送机转速 $D/r \cdot \min^{-1}$
1	1 800	60	C_1	1 150
2	2 000	70	C_2	1 250
3	2 200	80	C_3	1 350

注:筛面型式 C_1 为直径 5.1 mm 冲孔筛; C_2 为长对角线 6.7 mm、短对角线 4.0 mm 菱形孔编织筛; C_3 为边长 2.85 mm 方孔编织筛。

表3 清选性能影响因素正交试验

Tab.3 Orthogonal test of influence factors on cleaning performance

试验号	因素				性能指标		清洁率隶属度 Y'_q	损失率隶属度 Y'_s	综合分 Y
	$A/r \cdot \min^{-1}$	$B/r \cdot \min^{-1}$	C	$D/r \cdot \min^{-1}$	清洁率 $Y_q/\%$	损失率 $Y_s/\%$			
1	1 800	60	C_1	1 150	97.74	4.80	0.55	0.23	0.30
2	1 800	70	C_2	1 250	95.66	2.92	0.00	0.04	0.37
3	1 800	80	C_3	1 350	96.41	9.55	0.20	0.71	0.74
4	2 000	60	C_2	1 350	97.97	2.55	0.62	0.00	0.13
5	2 000	70	C_3	1 150	98.69	5.88	0.81	0.34	0.29
6	2 000	80	C_1	1 250	98.19	12.43	0.67	1.00	0.76
7	2 200	60	C_3	1 250	98.70	4.20	0.81	0.17	0.17
8	2 200	70	C_1	1 350	99.31	6.25	0.97	0.37	0.25
9	2 200	80	C_2	1 150	99.41	10.63	1.00	0.82	0.53
K_1	1.42	0.61	1.32	1.12					
K_2	1.18	0.91	1.04	1.31					
K_3	0.96	2.04	1.20	1.13					
R	0.46	1.42	0.28	0.19					

采用综合评分法寻求适合油菜脱出物清选的合理工作参数组合。农业生产实践中,清洁率和损失率重要程度不一致,需优先保证损失率低,其次才是清洁率高(或含杂率低)。若拟定损失率权重 0.65 略为清洁率权重 0.35 的 2 倍,求加权和作为该号试验的综合分。

每个试验的综合分为 $Y = 0.35(1 - Y'_q) + 0.65Y'_s$ 。以因素水平为横坐标,各因素水平的综合分 K_1 、 K_2 、 K_3 为纵坐标,各因素对清选性能影响的趋势图如图9所示。

极差分析表明,对清选性能影响的因素主次顺序为: B 、 A 、 C 、 D 。试验中,清洁率越高越好,损失率

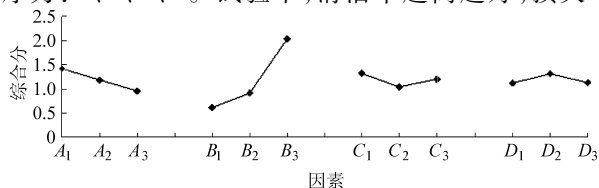


图9 各因素对清选性能的影响趋势图

Fig. 9 Influence of factors on cleaning performance

越小越好,所以综合分越低越好,宜选取各因素的 K_i 中最小值对应的那个水平。从图9中可以看出,离心风机转速越高,清选筛转速越低,清选性能越好,合适的筛面型式也有利于提高清选性能。 B 、 A 、 C 3个主要因素按综合分最小的要求选取,而最次要的因素 D 不是越高越好,从降低功耗的角度考虑,宜选取较低转速,由此确定优方案为: $A_3B_1C_2D_1$ 。验证试验发现方案 $A_3B_1C_2D_1$ 的效果优于已做过的9组试验中任一试验方案。

4 结论

(1) 所设计的风筛式清选试验台结合油菜脱出物不同组成物料空气动力学特性和几何形态特征差异,采用离心气流清选并结合回转筛子分离,实现油菜脱出物清选。

(2) 单因素试验分别得到了离心风机转速、清选筛转速、筛面型式和提升螺旋输送机转速等因素对清选性能的影响规律。对比可知,离心风机转速

为 1 800 ~ 2 200 r/min, 清选筛转速为 60 ~ 80 r/min, 筛子选择直径 5.1 mm 的冲孔筛、长对角线 6.7 mm、短对角线 4.0 mm 的菱形网眼筛、边长 2.85 mm 的方孔编织筛, 提升螺旋输送机转速为 1 150 ~ 1 350 r/min 时, 清选性能较好。

(3) 正交试验结果表明, 影响清选性能的因素

主次顺序为清选筛转速、离心风机转速、筛面型式、提升螺旋输送机转速, 且在离心风机转速为 2 200 r/min, 清选筛转速为 60 r/min, 筛面型式为长对角线 6.7 mm、短对角线 4.0 mm 的菱形网眼筛, 提升螺旋输送机转速为 1 150 r/min 时, 清选性能指标达到最优。

参 考 文 献

- 1 吴崇友, 丁为民, 张敏, 等. 油菜分段收获脱粒清选试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(8): 70 ~ 76.
Wu Chongyou, Ding Weimin, Zhang Min, et al. Experiment on threshing and cleaning in two-stage harvesting for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(8): 70 ~ 76. (in Chinese)
- 2 李耀明, 徐立章, 陆林. 油菜脱出物清选性能的试验[J]. 农业机械学报, 2006, 37(11): 63 ~ 66.
Li Yaoming, Xu Lizhang, Lu Lin. Cleaning experiment of rape extractions[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(11): 63 ~ 66. (in Chinese)
- 3 钟挺, 胡志超, 顾峰玮, 等. 4LZ-1.0Q 型稻麦联合收获机脱粒清选部件试验与优化[J]. 农业机械学报, 2012, 43(10): 76 ~ 81.
Zhong Ting, Hu Zhichao, Gu Fengwei, et al. Optimization and experiment for threshing and cleaning parts of 4LZ-1.0Q cereal combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(10): 76 ~ 81. (in Chinese)
- 4 徐立章, 李耀明, 李洪昌, 等. 纵轴流脱粒分离-清选试验台设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 76 ~ 79.
Xu Lizhang, Li Yaoming, Li Hongchang, et al. Development on test-bed of longitudinal axial threshing-separating-cleaning unit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 76 ~ 79. (in Chinese)
- 5 Gorial B Y, O'Callaghan J R. Separation of grain from straw in a vertical air stream[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1991, 48: 111 ~ 122.
- 6 Gorial B Y, O'Callaghan J R. Aerodynamic properties of grain/straw materials[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1990, 46: 275 ~ 290.
- 7 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- 8 Hobson R N, Bruce D M B. Seed loss when cutting a standing crop of oilseed rape with two types of combine harvester header[J]. Biosystems Engineering, 2002, 81(3): 281 ~ 286.
- 9 陈翠英, 王志华, 李青林. 油菜脱出物在气流中的运动分析[J]. 农业机械学报, 2004, 35(5): 90 ~ 93.
Chen Cuiying, Wang Zhihua, Li Qinglin. Aerodynamic properties of corn germ and grits[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(5): 90 ~ 93. (in Chinese)
- 10 李耀明, 王志华, 徐立章, 等. 油菜脱出物振动筛分运动分析及试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 111 ~ 114.
Li Yaoming, Wang Zhihua, Xu Lizhang, et al. Motion analysis and experiment research of rape extractions on vibration sieve[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(9): 111 ~ 114. (in Chinese)
- 11 李耀明. 水稻梳脱混合物复脱分离、清选特性的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2004.
Li Yaoming. Study on separation of rethreshed stripped mixtures and their cleaning characteristics for rice[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- 12 李耀明, 邓玲黎, 丁为民. 小型联合收割机清选装置的技术分析[J]. 农机化研究, 2004(3): 55 ~ 56.
Li Yaoming, Deng Lingli, Ding Weimin. Analysis and improvement design on the cleaning unit of small grain combine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2004(3): 55 ~ 56. (in Chinese)
- 13 陈立, 廖庆喜, 宗望远, 等. 油菜联合收获机脱出物空气动力学特性测定[J]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊): 125 ~ 130.
Chen Li, Liao Qingxi, Zong Wangyuan, et al. Aerodynamic characteristics measurement of extraction components for rape combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 125 ~ 130. (in Chinese)
- 14 徐立章, 李耀明, 张立功, 等. 轴流式脱粒-清选装置试验台的设计[J]. 农业机械学报, 2007, 38(12): 85 ~ 88.
Xu Lizhang, Li Yaoming, Zhang Ligong, et al. Development on test-bed of axial threshing and cleaning unit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(12): 85 ~ 88. (in Chinese)
- 15 陈翠英, 王志华, 李青林. 油菜脱出物物理机械特性及振动筛参数优化[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 60 ~ 63.
Chen Cuiying, Wang Zhihua, Li Qinglin. Mechanophysical properties of rape extractives and parametrical optimization of vibration sieve[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3): 60 ~ 63. (in Chinese)
- 16 蔡增基, 龙天渝. 流体力学泵与风机[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- 17 Song H, Litchfield J B. Predicting method of terminal velocity for grains[J]. Transactions of the ASAE, 1991, 34(1): 437 ~ 444.

参 考 文 献

- 1 祁力钧,傅泽田,史岩. 化学农药施用技术与粮食安全[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6):203~206.
Qi Lijun, Fu Zetian, Shi Yan. Technology of pesticide application and food security[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(6): 203~206. (in Chinese)
- 2 Lin Jianzhong, Qian Lijuan, Xiong Hongbin, et al. Effects of operating conditions on droplet deposition onto surface of atomization impinging spray[J]. Surface & Coatings Technology, 2009, 203(12):1 733~1 740.
- 3 朱金文,吴慧明,朱国念. 雾滴大小与施药液量对草甘膦在空心莲子草叶片沉积的影响[J]. 农药学学报, 2004, 6(1): 63~66.
Zhu Jinwen, Wu Huiming, Zhu Guonian. Influence of droplet size and spray volume on deposition of glyphosate on alligator weed leaves[J]. Journal of Pesticide Science, 2004, 6(1):63~66. (in Chinese)
- 4 Wise J C, Jenkins P E, Schilder A M C, et al. Sprayer type and water volume influence pesticide deposition and control of insect pests and diseases in juice grapes[J]. Crop Protection, 2010, 29(4):378~385.
- 5 吕晓兰,傅锡敏,吴萍,等. 喷雾技术参数对雾滴沉积分布影响试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6):71~75.
Lü Xiaolan, Fu Ximin, Wu Ping, et al. Influence of spray operating parameters on droplet deposition[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6):71~75. (in Chinese)
- 6 Maski D, Durairaj D. Effects of charging voltage, application speed, target height, and orientation upon charged spray deposition on leaf abaxial and adaxial surfaces[J]. Crop Protection, 2010, 29(2):134~141.
- 7 Yu Y, Zhu H, Ozkan H E, et al. Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and spray additions on hydrophilic, hydrophobic, and leaf surfaces[J]. Transactions of the ASABE, 2009, 52(1):39~49.
- 8 Xu Linyun, Zhu Heping, Ozkan H E. Surfactant droplet evaporation and deposition patterns on waxy leaf surface [C] // 2009 ASABE Annual International Meeting, ASABE Paper 096671. Nevada: Reno, 2009.
- 9 袁会珠. 农药雾滴沉积流失规律以及降低容量喷雾技术研究[D]. 北京:中国农业大学, 2000.
Yuan Huizhu. Studies on the deposition and run-off of pesticide droplets on crop leaves and pesticide application by reduced spray volume rate[D]. Beijing: China Agricultural University, 2000. (in Chinese)
- 10 祁力钧,王沛,张建华,等. 杂草叶片表面结构对雾滴铺展和蒸发的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2012, 30(3):335~340.
Qi Lijun, Wang Pei, Zhang Jianhua, et al. Influence of weed leaves surface structures on droplet spread and evaporation[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2012, 30(3):335~340. (in Chinese)
- 11 陆军,贾卫东,邱白晶,等. 黄瓜叶片喷雾药液持留量试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(4):60~64.
Lu Jun, Jia Weidong, Qiu Baijing, et al. Experiment on retention of spray liquid on cucumber leaves[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4):60~64. (in Chinese)

(上接第 85 页)

- 18 马征,李耀明,徐立章. 油菜脱出物漂浮速度及摩擦与浸润特性的测定与分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9):13~17.
Ma Zheng, Li Yaoming, Xu Lizhang. Testing and analysis on rape excursion components characteristics in floating, friction and wettability[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(9): 13~17. (in Chinese)
- 19 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册:下册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2007.
- 20 廖庆喜,张宁,张朋玲,等. 一器多行离心式油菜排种器[J]. 农业机械学报, 2012, 43(2):48~51.
Liao Qingxi, Zhang Ning, Zhang Pengling, et al. Centrifugal metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 48~51. (in Chinese)
- 21 李耀明,马征,徐立章. 油菜联合收获机粘附物摩擦特性[J]. 农业机械学报, 2010, 41(12):54~57.
Li Yaoming, Ma Zheng, Xu Lizhang. Tribological characteristics of adhesive materials on cleaning sieve of rape combine harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 54~57. (in Chinese)
- 22 刘德军,赵秀荣,高连兴,等. 不同收获方式含水率对油菜收获物流损失的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10):339~342.
Liu Dejun, Zhao Xiurong, Gao Lianxing, et al. Effect of moisture content on rape harvest logistics losses under different harvest methods[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(10): 339~342. (in Chinese)
- 23 孙进,李耀明,徐立章. 油菜联合收割机清选装置研究动态和技术分析[J]. 农机化研究, 2006(6):62~64.
Sun Jin, Li Yaoming, Xu Lizhang. Technique analysis on the research of cleaning unit of rape combined harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(6):62~64. (in Chinese)
- 24 李云雁,胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社, 2008.