

油菜联合收获割台落粒横流气压收集装置设计与试验

黄小毛^{1,2} 查显涛¹ 宗望远^{1,2} 陈 辉¹

(1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 湖北省现代农业装备工程技术研究中心, 武汉 430070)

摘要: 针对机播油菜提出了一种对行作业、基于横向正压气流的割台落粒在线收集方法及装置,并通过理论计算、虚拟仿真和台架试验对收集过程进行了分析和优化。首先通过理论分析,确定下落高度和气流速度2个因素为主要考察对象;然后利用Fluent-EDEM气固耦合仿真方法分析了无秸秆条件下2个因素对收集过程的影响规律并对装置结构提出了改进措施;最后利用有秸秆条件下的台架试验验证了改进措施的有效性。试验结果表明:籽粒收集率随下落高度的降低而升高,随气流速度的升高先增大后减小,且二者间交互作用影响显著;试验获得最佳参数组合为 $A_3B_3C_3$,即辅助网板安装于4号收集槽、籽粒下落高度为200 mm、变频器设置为50 Hz;增设辅助收集网板和对收集槽进行网格化处理对收集效果的提升作用明显,相同试验条件下的最佳收集率由48.02%增至70.34%,但网板安装位置及其与其他因素间的交互作用影响均不显著。

关键词: 油菜联合收获机; 割台; 横向正压气流; 收集装置; 设计; 试验

中图分类号: S225.99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0227-07

Design and Test of Transverse Positive Pressure Airflow Collection Device for Header Losses of Rape Combine Harvester

Huang Xiaomao^{1,2} Zha Xiantao¹ Zong Wangyuan^{1,2} Chen Hui¹

(1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

2. Hubei Province Research Center of Engineering Technology for Modern Agricultural Equipment, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to reduce the header splashing losses of rape combine harvester, an online collection method with its device was proposed based on the transverse positive pressure airflow for row depending rape harvester. The collection process was analyzed and optimized by theoretical calculation, virtual simulation and bench test. The falling height of rapeseeds and airflow velocity were selected as main studying factors by theoretical analysis firstly. Fluent-EDEM coupling simulation tests were carried out to analyze how these two selected factors affected the collection rate without rape stalks, and two counter measures, including addition of auxiliary collection screen and gridding the collecting grooves were put forward. Finally, the bench tests were conducted to verify whether the measures were effective. The results showed that rapeseeds collection rate was increased with the decrease of falling height, and gone down with the descending of airflow velocity. The falling height, airflow velocity and interaction between them influenced rapeseeds collection rate significantly. The location of auxiliary collection screen and its interactions between other factors were not significant. The best test combination was $A_3B_3C_3$. It was under the condition with auxiliary collection screen installed on the fourth collection grove, falling height set as 200 mm and frequency of the converter was 50 Hz. With gridded collecting grooves and auxiliary collection screen, the best collection rate was 70.34%, while without them the collection rate was sharply decreased to 48.02%, which indicated that the two improving measures were effective.

Key words: rape combine harvester; header; transverse positive pressure airflow; collecting device; design; test

引言

油菜是我国最重要的经济作物之一,其机械化收获是近年的研究热点。然而油菜生物特性特殊,其机械化收获损失居高不下,过高的损失率一直制约着我国油菜收获机械化的发展^[1-2]。

当前多数油菜联合收获的降损相关研究都侧重于脱粒分离以及清选等环节^[3-11],而专注于割台损失的研究甚少。此外,目前油菜联合收获割台大都由稻麦割台改装而来^[12-13],割台损失约占收获总损失的50%^[14]。故研究如何降低割台损失显得尤为重要。笔者课题组提出了使用气流在线收集飞溅损失籽粒的方法^[15-16]。本文基于正压气流方法提出一种横向正压气流收集装置,并采用气固耦合仿真分析方法和台架试验相结合的方式,探索装置在无秸秆或静止秸秆条件下收集效果随各因素的变化规律以及改进措施,为后续进一步研究奠定基础。

1 横向正压气流收集装置

1.1 结构及工作原理

横向正压气流收集装置主要由喷头、Y型收集槽、分流接头、高压离心风机等部件组成,如图1所示。装置与割台配合时,通过支架悬挂在割台前部,为了保证切割器正常工作,支架横梁置于切割器上方后部,如图2所示。

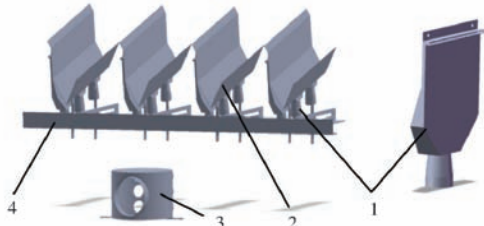


图1 横向正压气流收集装置及其喷头的三维模型
Fig.1 3D model of transverse positive pressure airflow collection device and its nozzle

1. 喷头 2. Y型收集槽 3. 分流接头 4. 支架

装置工作时,高速离心风机出口产生的高速气流依次通过连接软管、分流接头和分流软管,气流被均匀分配给各喷头,喷头喷嘴前方产生高速气流层。机器对行作业时,每2个收集槽之间有1行相对于收集装置向后运动的油菜植株。割台切割器从底部割断植株,拨禾轮将植株拨入割台内部。此过程中,果荚不可避免因振动、击打等作用而炸裂、飞溅。若飞溅籽粒进入收集区域,经过气流作用,会产生一定的横向速度,斜抛至收集槽中。收集槽轴线向后倾斜15°,籽粒滑入割台内部,实现了飞溅籽粒的在线

收集。

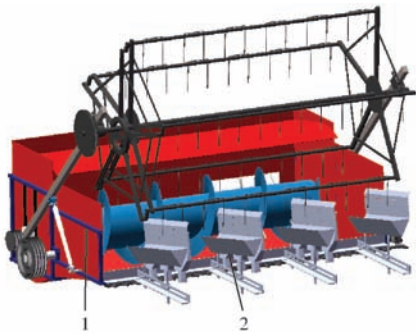


图2 横向正压气流收集装置与割台的配合
Fig.2 Matching between transverse positive pressure airflow collection device and rape harvester header
1. 油菜收获割台 2. 横向正压气流收集装置

1.2 籽粒运动过程分析

无秸秆阻拦的情况下,籽粒自O点自由下落,其后运动过程可分为图3所示3个阶段:①自由落体阶段,对应竖直位移 h_1 。②受气流场作用产生横向速度阶段,对应竖直位移 h_2 。③作斜抛运动阶段,对应竖直位移 h_3 。不考虑阻挡的情况下,籽粒在①、③两个阶段主要受重力 G 作用,在②阶段还受到气流作用力 F 作用。

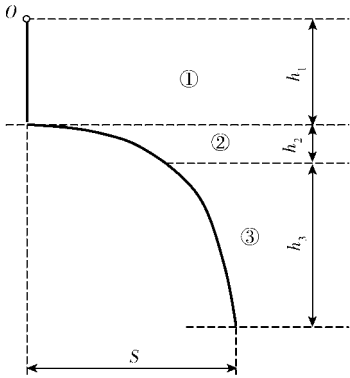


图3 籽粒下落过程分析

Fig.3 Motion analysis of falling rapeseed

设籽粒经历3个阶段的水平总位移为 S 。根据运动学公式^[15-17]得

$$S = \frac{F}{G} [2(\sqrt{(h_1 + h_2)(h_1 + h_2 + h_3)}) - \sqrt{h_1(h_1 + h_2 + h_3)}) - h_2] \tag{1}$$

其中 $G = mg = \frac{\pi}{6} g \rho_s d^3$ (2)

$$F = C \frac{\pi}{4} d^2 \rho \frac{v^2}{2} \tag{3}$$

式中 h_1 ——籽粒从开始运动到进入气流场前的竖直位移

h_2, h_3 ——常数,与装置结构参数有关

G ——单个籽粒所受重力

F ——籽粒所受的气流作用力

ρ_s ——籽粒密度
 d ——籽粒半径 ρ ——空气密度
 C ——空气阻力系数
 v ——籽粒相对于空气的速度

由式(1)~(3)可知,影响籽粒水平总位移的因素除下落高度,还有籽粒密度、气流速度和籽粒直径等。油菜籽粒密度与籽粒直径在实际作业时属不可控因素,因此下文将主要针对下落高度、气流速度对收集过程的影响规律进行研究。

2 Fluent 和 EDEM 耦合仿真试验

对装置进行的初步台架试验发现,收集效果并不理想。因此利用 Fluent 和 EDEM 软件进行耦合仿真^[16-18]分析产生的原因,并提出改进措施。以下落高度 H (籽粒投放位置到喷头出口处竖直高度,即图 3 中 h_1) 和气流速度 v 为影响因素,通过耦合仿真无秸秆条件下的油菜籽粒运动过程,以进一步分析二者对收集效果的影响规律。

2.1 耦合仿真模型及软件参数设置

如图 4 所示,为降低仿真难度,不考虑秸秆阻挡作用,以单一喷嘴、单一收集槽为仿真模型,收集槽底部与水平面呈 15° 夹角(与台架安装倾角一致)。此外,喷头模型仅保留出口,即喷嘴,也是仿真计算区域的入口。

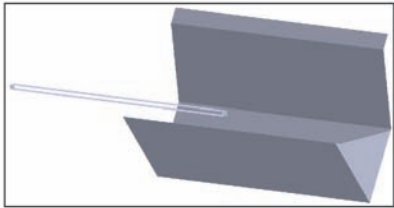


图 4 用于耦合仿真的简化模型
Fig. 4 Model for coupling simulation

仿真时,下落高度 H 分别取 800、500、200 mm,气流速度 v 分别取 80、55、30 m/s。根据气流速度的取值,仿真模型雷诺数最小为 $Re = 2.4 \times 10^4$,流体模型选择 $k-\varepsilon$ 湍流模型;耦合计算采用欧拉-拉格朗日模型;油菜籽粒简化为硬球模型,籽粒与籽粒、籽粒与装置间设置为 Hertz-Mindlin 无滑移接触模型;颗粒工厂尺寸设置为 270 mm × 10 mm,每次投放籽粒总质量 $M = 20$ g,投放速率为 10 g/s。其他主要仿真试验参数设置如表 1 所示。颗粒对模型相互作用的恢复系数通过文献[20]中恢复系数关于下落高度的回归方程 $Cr = -0.000\,000\,23H^2 - 0.000\,041\,95H + 0.609\,846\,47$ 求取,在表 1 中记作 $[Cr]$ 。下落高度分别定为 200、500、800 mm 时, $[Cr]$ 值依次取 0.592、0.530、0.429。

表 1 EDEM 中相关参数设置		
Tab.1 Parameters setting in EDEM		
对象	参数	数值
颗粒	密度 $\rho/(kg \cdot m^{-3})$	974
	弹性模量 G/Pa	1.1×10^7
	泊松比 ν	0.25
	颗粒半径 r/mm	0.95
装置模型	密度 $\rho/(kg \cdot m^{-3})$	7 800
	弹性模量 G/Pa	7.0×10^{10}
	泊松比 ν	0.3
颗粒对颗粒相互作用	静摩擦因数 μ	0.5
	恢复系数	0.3
颗粒对模型相互作用	静摩擦因数 μ	0.3
	恢复系数	$[Cr]$

2.2 仿真试验中收集率的获取

耦合仿真计算结束后,在 EDEM/Analyst 模块中建立如图 5 所示计算域以统计每次仿真试验的籽粒收集量,从而估算对应条件下仿真收集率。

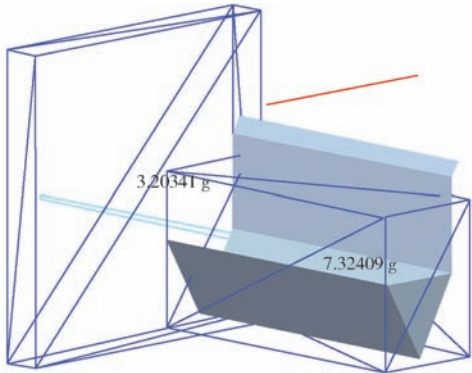


图 5 EDEM/Analyst 中的计算域
Fig. 5 Geometry bins in EDEM/Analyst

计算域由 2 个紧贴但不相交的子域组成。后方较大子域(图中统计显示约 3.20 g 的区域)设置为全时有效域,用于统计进入后方割台籽粒的质量 m_1 ;前方子域(图中约 7.32 g 的区域)设置为瞬时有有效域,用于统计仿真计算结束后仍留在收集槽中籽粒的质量 m_2 。

收集装置对籽粒的收集率 ω 可表示为

$$\omega = \frac{m_1 + m_2}{M} \times 100\% \tag{4}$$

2.3 仿真试验结果与分析

2.3.1 下落高度和气流速度对收集率的影响

不同下落高度和气流速度下的收集率(表 2)显示:气流速度一定时,籽粒收集率随下落高度的降低而升高;下落高度一定时,在一定的气流速度范围内,收集率随气流速度的升高而升高,而超过某一界限,收集率随气流速度的增加而降低;在试验取值范围内,最佳收集率为 72.35%,对应下落高度为 200 mm、气流速度为 55 m/s。

表 2 不同下落高度和气流速度下的收集率
Tab.2 Collection rate at different falling heights
and airflow velocities

试验序号	下落高度 H/mm	气流速度 $v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	收集率 $\omega/\%$
1	800	80	36.99
2	800	55	41.53
3	800	30	34.58
4	500	80	41.91
5	500	55	48.45
6	500	30	37.85
7	200	80	53.88
8	200	55	72.35
9	200	30	47.63

2.3.2 籽粒下落过程分析

分析结果发现,籽粒经由气流场作用后会出现 4 类(5 种)典型运动情形:①有效收集,即籽粒被成

功收集(图 6a)。②未吹及损失,籽粒尚未被吹到收集槽区域跌落(图 6b)。③二次损失,籽粒进入收集槽后经反弹(图 6c)或气流裹挟(图 6d)再次飞出收集槽。④直接吹出损失,籽粒经由气流场作用后直接被吹出收集范围(图 6e)。

此外,在下落高度一定时,随气流速度的增加,籽粒的未吹及损失降低,二次损失及直接吹出损失升高。原因是,下落高度一定,气流速度越大,籽粒经由气流场作用后获得的速度增量越大,籽粒越容易进入收集槽;在一定的气流速度范围内,籽粒形成有效收集,若气流速度过大,籽粒获得的速度增量过大,与收集槽壁碰撞后反弹出收集槽机率过大。过大的气流速度也会将籽粒裹挟或直接吹出收集区域,从而出现随流速增大有效收集降低、二次损失升高的情况。

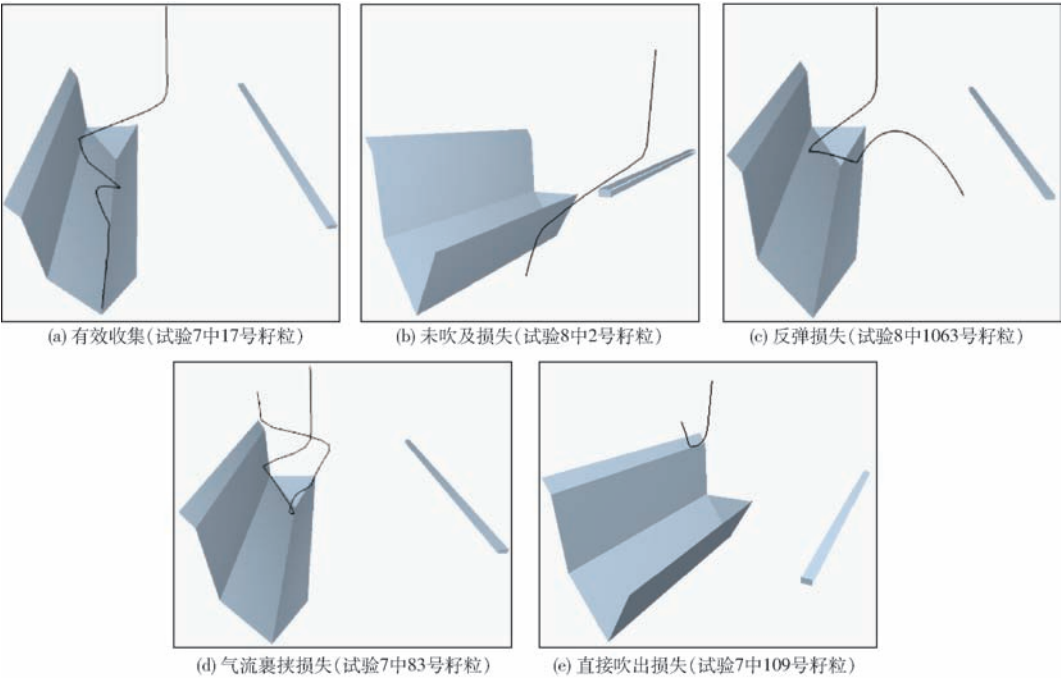


图 6 5 种典型籽粒运动轨迹
Fig.6 Moving trajectories of five typical particles

为进一步提高收集装置的收集效果,提出以下改进措施:将收集槽进行网格化处理,以减小反弹损失和部分气流裹挟损失;在收集槽上方增设网状辅助收集挡板,以减小部分气流裹挟损失和直接吹出损失。网状结构装置,难以使用软件仿真分析试验直接验证,因此改用台架试验并增加秸秆干扰条件进一步研究。

3 台架试验

3.1 材料与方法

3.1.1 试验材料

选用市购“华双 4 号”油菜籽粒若干,未经筛分等处理实测含水率约为 7.77%,千粒质量约 3.9 g,

直径范围 1.20 ~ 2.40 mm。试验前,先用自来水浸泡约 2 h,再捞出平铺于干燥通风处,待含水率达到相当于油菜田间联合收获含水率区间条件^[20]后,收拢并密封储存。试验时根据实测含水率,再进行适当加湿或晾晒处理,以保证籽粒含水率相对稳定。

试验地点位于华中农业大学工科基地农机库,时间为 2016 年 6 月 15—16 日,试验前实测含水率:6 月 15 日上午为 12.31%,6 月 15 日下午为 16.42%,6 月 16 日上午为 14.48%,6 月 16 日下午为 14.37%,皆处于 15% ± 3% 范围内。

3.1.2 试验装置

台架试验以收集装置整体为研究对象,各部件安装效果如图 7 所示。收集装置上方安装高度可调

的长漏斗以调节籽粒下落高度；通过变频器（ED3100FP-18.5 kW 型、深圳市易驱电气有限公司）调节 9-19-6.3 A 型离心风机的转速，从而达到改变气流速度的目的。

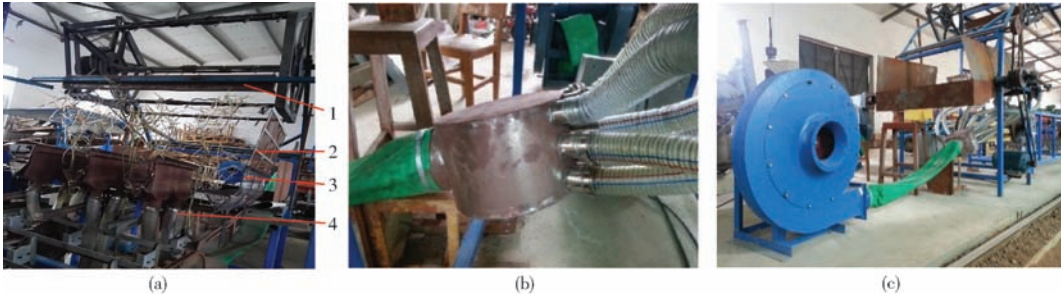


图7 试验台架

Fig. 7 Experimental bench

1.漏斗 2.辅助收集网板 3.网格化收集槽 4.静止的油菜植株

3.1.3 试验方法

台架试验在有静止秸秆阻挡的条件下进行，试验时不考虑籽粒直径、籽粒密度等难控因素的影响。以辅助收集网板的安装位置 *A*、籽粒下落高度 *B*、变频器频率 *C* 为影响因素，每个因素取 3 水平进行含交互作用的正交试验。正交试验采用 $L_{27}(3^3)$ 方案，对试验结果进行方差分析，以对各因素及其交互作用进行排序，并优选工作参数组合。最后将最优工作参数组合时的收集效果与同条件下未网格化收集槽、未增设辅助收集网板时的收集效果进行对比，从而确定改进措施的效果。

正交试验各因素水平如表 3 所示。收集槽编号沿喷嘴气流喷出方向依次为 1~4；每个特定变频器频率对应喷嘴出口处气流速度范围均通过利用皮托管压力风速仪（EO-20KPA 型，上海亿欧仪表设备有限公司）测量得到。变频器频率为 30、40、50 Hz 时，实测喷嘴出口处气流速度分别为 (32 ± 4) m/s、 (44 ± 4) m/s 和 (57 ± 4) m/s。

试验时用精度为 0.01 g 的电子秤称取 50 g 油菜籽粒，均匀铺放于收集装置上方长漏斗内。通过拉动漏斗出口处挡板使籽粒呈瀑布状下落。称量有效收集到的籽粒质量，求得有效收集率。

表3 台架试验因素水平

Tab.3 Factors and levels of bench tests

水平	网板安装位置 <i>A</i>	下落高度 <i>B</i> /mm	变频器频率 <i>C</i> /Hz
1	2、4 号槽安装	800	30
2	3、4 号槽安装	500	40
3	4 号槽安装	200	50

3.2 台架试验结果与分析

正交试验方案及结果如表 4 所示，表中未列出第 9、10、12、13 列几个空列。每次试验的平均收集量均通过 3 次重复试验求取平均值得到。

经方差分析（表 5），各因素影响及其交互作用影响主次为： $C > B > BC > A > AB > AC$ ；下落高度和

变频器频率对籽粒收集效果的影响非常显著，后者显著性强于前者，二者交互作用影响显著；网板安装位置及其与其他因素间交互作用影响均不显著。

各因素对收集效果的影响显著性均高于其与其他因素间交互作用，因此进行方案优选时可不考虑交互作用，绘制图 8 所示各因素影响趋势图。趋势图显示最佳参数组合为 $A_3B_3C_3$ ，即辅助网板安装于 4 号收集槽、籽粒下落高度为 200 mm、变频器频率设置为 50 Hz，对应收集率为 70.34%。

3.2.1 气流速度对装置收集效果的影响

气流速度，即变频器频率在所有影响因素中对装置收集效果影响最为显著。网板安装位置和下落高度一定时，收集效果随气流速度的增大而增加。气流速度越大，籽粒在流场中受到的平均作用力越大，经由气流场作用之后的水平位移越大，越容易进入收集槽，从而有效收集率越高。

3.2.2 下落高度对装置收集效果的影响

下落高度对装置收集效果的影响仅次于气流速度。其他条件相同时，籽粒有效收集率随着下落高度减小而升高。由于网板安装位置及气流速度一定时，籽粒投放位置越低，籽粒进入流场时的初速度越小，籽粒穿过流场所需时间越长，经由气流场作用后的水平位移越大，越容易进入收集槽，从而有效收集率越高。

3.2.3 辅助网板安装位置对装置收集效果的影响

3 个影响因素中，若不考虑交互作用，仅有辅助网板安装位置的影响不显著。正交试验结果表明，仅在 4 号收集槽安装辅助收集网板时，装置收集效果最好。

3.3 收集装置结构的优化与验证

为验证收集槽网格化处理及增设辅助收集网板措施的效果，进行最佳参数组合 $A_3B_3C_3$ 条件下的对比试验。去掉辅助收集网板，并使用未经过网格化处理的收集槽，得到收集率为 48.02%。正交试验

表 4 正交试验设计及结果
Tab.4 Design and results of orthogonal tests

试验序号	因素									平均收	收集率/
	A	B	(AB) ₁	(AB) ₂	C	(AC) ₁	(AC) ₂	(BC) ₁	(BC) ₂	集量/g	%
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20.34	40.68
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	25.90	51.80
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	26.84	53.67
4	1	2	2	2	1	1	1	2	3	24.23	48.45
5	1	2	2	2	2	2	2	3	1	28.72	57.44
6	1	2	2	2	3	3	3	1	2	33.34	66.68
7	1	3	3	3	1	1	1	3	2	25.23	50.45
8	1	3	3	3	2	2	2	1	3	29.07	58.13
9	1	3	3	3	3	3	3	2	1	34.30	68.59
10	2	1	2	3	1	2	3	1	1	21.39	42.78
11	2	1	2	3	2	3	1	2	2	24.45	48.89
12	2	1	2	3	3	1	2	3	3	28.55	57.09
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	24.48	48.95
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	27.23	54.45
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	32.23	64.46
16	2	3	1	2	1	2	3	3	2	23.94	47.88
17	2	3	1	2	2	3	1	1	3	29.10	58.19
18	2	3	1	2	3	1	2	2	1	33.56	67.11
19	3	1	3	2	1	3	2	1	1	21.78	43.55
20	3	1	3	2	2	1	3	2	2	25.15	50.30
21	3	1	3	2	3	2	1	3	3	27.15	54.29
22	3	2	1	3	1	3	2	2	3	26.88	53.76
23	3	2	1	3	2	1	3	3	1	28.52	57.04
24	3	2	1	3	3	2	1	1	2	31.85	63.69
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	26.33	52.65
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	29.99	59.97
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	35.17	70.34

表 5 方差分析
Tab.5 Variance analysis

差异源	SS	df	MS	F	临界值	显著水平
A	14.09	2	7.05	2.98	$F_{0.05}(2,20) =$	
B	505.57	2	252.78	106.89	3.49	**
C	1039.35	2	519.68	219.75	$F_{0.05}(4,20) =$	
AB	11.03	4	2.757	1.17	2.87	**
AC	17.35	4	4.337	1.83	$F_{0.1}(2,20) =$	
BC	35.17	4	8.791	3.72	2.59	*
残差 e	18.92	8	2.365		$F_{0.1}(4,20) =$	
总和	1641.48	26		2.25		

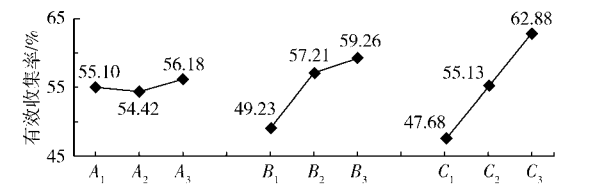


图 8 各因素对籽粒有效收集率的影响趋势

Fig.8 Trends of factors impact on effective collection rate

中,网格化处理收集槽和增设辅助收集网板之后,最佳参数组合 $A_3B_3C_3$ 条件下,装置对籽粒的收集率为 70.34%。这表明两项优化措施能够切实提升横向正压气流装置的收集效果。

4 结论

(1)影响装置收集效果的影响因素主要有籽粒下落高度、气流速度等。仿真试验结果显示,籽粒收集率随下落高度的降低而升高;籽粒收集率在一定的气流速度范围内随着气流速度的升高而升高,但超过某一界限后,籽粒收集率随气流速度的增加反而降低。

(2)台架试验结果显示,下落高度和变频器频率(气流速度)对籽粒收集的影响非常显著,且变频器频率显著性强于下落高度;而网板安装位置及其与其他因素间交互作用影响不显著。收集槽网格化处理和增设辅助收集网板两项措施均对装置收集效果的提升作用明显。

参 考 文 献

1 黄小毛,宗望远. 油菜联合收获的研究现状及发展趋势[J]. 农业工程,2012,2(1):14-19.
HUANG Xiaomao, ZONG Wangyuan. Research status and development trend of rape combine harvester[J]. Agricultural Engineering, 2012, 2(1): 14-19. (in Chinese)

2 李耀明. 我国油菜联合收割机的现状与展望[J]. 农机质量监督,2005(1):40-42.
LI Yaoming. Status and prospect of rape combine harvester[J]. Agricultural Quality and Supervision, 2005(1):40-42. (in Chinese)

- 3 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)
- 4 许江平. 油菜脱粒分离装置的研究及参数优化[D]. 镇江:江苏大学,2007.
XU Jiangping. Research and parameters optimization on threshing and separating device of rape [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2007. (in Chinese)
- 5 宗望远. 油菜联合收获纵轴流脱粒系统研究[D]. 武汉:华中农业大学,2013.
ZONG Wangyuan. Research on the longitude axial flow threshing and separating unit of rape combine harvester[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- 6 江涛,吴崇友,伍德林. 油菜联合收获风筛选的研究动态及发展趋势[J]. 中国农机化学报,2014,35(5):288-291.
JIANG Tao, WU Chongyou, WU Delin. Research trends and prospects on air-screen cleaning of rape combine harvest[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(5):288-291. (in Chinese)
- 7 李耀明,孙韬,徐立章. 油菜多滚筒脱粒分离装置的性能试验与分析[J]. 农业工程学报,2013,29(8):36-43.
LI Yaoming, SUN Tao, XU Lizhang. Performance test and analysis of rape multi-cylinder threshing and separating device[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(8): 36-43. (in Chinese)
- 8 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 mechanism of rape combined harvester[J]. Agricultural Mechanization Research, 2006(6):62-64. (in Chinese)
- 9 宗望远,廖庆喜,陈立,等. 完熟期油菜果荚不同脱粒方式的脱粒效果[J]. 农业工程学报,2012,28(9):29-34.
ZONG Wangyuan, LIAO Qingxi, CHEN Li, et al. Threshing effect of ripe rape by different methods[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(9): 29-34. (in Chinese)
- 10 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)
- 11 李耀明,李洪昌,徐立章,等. 短纹杆-板齿轴流脱粒分离装置性能试验[J]. 农业机械学报,2009,40(7):88-92.
LI Yaoming, LI Hongchang, XU Lizhang, et al. Performance test of short-rasp-bar of axial flow threshing and separating unit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7): 88-92. (in Chinese)
- 12 陈翠英,王新忠,何增富. 谷物联合收获机油菜收获割台的设计[J]. 农业机械学报,2003,34(5):54-56.
CHEN Cuiying, WANG Xinzong, HE Zengfu. Design of header for rape harvesting using grain combine harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2003, 34(5): 54-56. (in Chinese)
- 13 李海同,廖庆喜,李平,等. 油菜联合收获机分体组合式割台的设计[J]. 华中农业大学学报,2014,33(5):111-116.
LI Haitong, LIAO Qingxi, LI Ping, et al. Design on separating-combined header of rape combine harvester [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2014, 33(5):111-116. (in Chinese)
- 14 徐振兴. 浅析油菜收获机械化发展现状、问题及对策[J]. 基层农技推广,2013(9):28-30.
- 15 宗望远,黄小毛,潘海兵,等. 下落油菜籽粒在无秸秆正压纵向气流场中的漂移特性 [J]. 农业工程学报,2015,31(3):70-76.
ZONG Wangyuan, HUANG Xiaomao, PAN Haibing, et al. Drifting property of falling oil rape seeds in longitudinal positive pressure airflow field without stalks [J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(3): 70-76. (in Chinese)
- 16 潘海兵,王廷钰,黄小毛,等. 油菜籽粒在割台纵向正压气流场中漂移运动的数值模拟[J]. 华中农业大学学报,2015,34(3):117-123.
PAN Haibing, WANG Tingting, HUANG Xiaomao, et al. Numerical simulation of drifting process of oil rape seeds in a longitudinal positive airflow field of the cutting platform[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2015,34(3): 117-123. (in Chinese)
- 17 宗望远,廖庆喜,黄鹏,等. 组合式油菜脱粒装置设计与物料运动轨迹分析[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊2):41-46.
ZONG Wangyuan, LIAO Qingxi, HUANG Peng, et al. Design of combined rape threshing device and analysis of rape cane movement trail[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp.2): 41-46. (in Chinese)
- 18 李洪昌,李耀明,唐忠,等. 基于 EDEM 的振动筛分数值模拟与分析[J]. 农业工程学报,2011,27(5):117-121.
LI Hongchang, LI Yaoming, TANG Zhong, et al. Numerical simulation and analysis of vibration screening based on EDEM[J]. Transactions of the CSAE, 2011,27(5): 117-121. (in Chinese)
- 19 黄小毛,查显涛,潘海兵,等. 油菜籽粒点面接触碰撞中恢复系数的测定及分析[J]. 农业工程学报,2014,30(24):22-29.
HUANG Xiaomao, ZHA Xiantao, PAN Haibing, et al. Measurement and analysis of rapeseeds' restitution coefficient in point-to-plate collision model[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(24): 22-29. (in Chinese)
- 20 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)