

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.S0.013

立式轴流玉米单穗种子脱粒机试验参数优化*

张翔 杨然兵 尚书旗

(青岛农业大学机电工程学院, 青岛 266109)

摘要: 采用二次正交旋转组合试验方法,取脱粒滚筒线速度、风口真空压强、果穗含水率为影响因素,破碎率、含杂率、未脱净率、吸杂误夹种率为目标函数,对影响玉米种子脱粒效果的部件尺寸和作业参数进行了试验验证和优化设计。试验分析得出:当脱粒滚筒线速度4.6~5.5 m/s、果穗含水率14.4%~15.9%、风口真空压强为6.3 MPa时,含杂率低于1.1%,破碎率低于0.86%,未脱净率低于1.1%,吸杂误夹种率低于0.44%。该试验研究可应用于立式轴流玉米单穗种子脱粒机的产品优化设计和作业参数选择。

关键词: 玉米 单穗脱粒机 试验 优化

中图分类号: S223.2⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)S0-0073-07

引言

种子脱粒机械应用于良种繁育的考种、测产前准备阶段。高性能的种子脱粒机械操作简便,自净程度高,可大幅减轻科研人员劳动强度^[1]。随着种子产业快速发展,对种子脱粒机械需求量不断加大。

有别于小麦、水稻,玉米种子脱粒机需单穗喂入,专用度高。国外玉米种子繁育因其收获植株含水率低,考种环节对果穗形态要求少,玉米种子加工多以涵盖脱粒环节的多功能装备为主,集成化程度高,与国内的玉米种子优选试验不适应。而目前国内使用的育种脱粒机械普遍存在种子破损严重、清洁困难、种子易混杂等影响试验精度现象,含杂率、破碎率、未脱净率、吸杂误夹种率中一项或几项不能达到育种试验要求。针对上述问题,根据玉米物理特性,本文对青岛农业大学开发的一种单穗玉米种子脱粒机的关键部件进行试验研究和参数优化。

1 种子试验专用脱粒机结构与脱粒原理特性

1.1 结构及脱粒原理

单穗玉米种子脱粒机主要由传动带、玉米喂入口、锥形脱粒室、板齿式脱粒滚筒、振动筛(鳞状斜筛孔)、籽粒收集装置(板)、清杂风机、锥齿轮变速箱、振动筛曲柄、机架等组成,如图1所示。

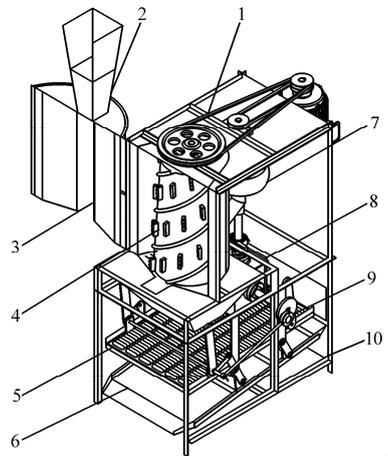


图1 单穗玉米种子脱粒机结构简图

Fig. 1 Structure diagram of single ear of corn seed threshing machine

1. 传动带 2. 玉米喂入口 3. 锥形脱粒室 4. 板齿式脱粒滚筒
5. 振动筛(鳞状斜筛孔) 6. 籽粒收集装置(板) 7. 清杂风机
8. 锥齿轮变速箱 9. 振动筛曲柄 10. 机架

采用柔性脱粒能力优良、广泛应用于收获机械的板齿式螺旋脱粒滚筒^[2],动力由胶带传动机构传递到脱粒滚筒轴和清杂风机驱动轴,通过更换从动带轮改变传动比,以此调节滚筒与风机转速。玉米果穗喂入后经斜导引板导引,在锥形脱粒室与脱粒滚筒形成的半封闭空间内,自果穗下端向上逐层脱下玉米种子,考虑到人工清选对试验有干扰,增加了振动筛清选分离玉米芯。

收稿日期: 2014-07-21 修回日期: 2014-08-29

* 农业科技成果转化资金资助项目(2012GB2C600257)、国家自然科学基金资助项目(31101090)和国家公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201203028.4)

作者简介: 张翔,硕士生,主要从事农业机械化研究,E-mail: zhangxiangmax@163.com

通讯作者: 杨然兵,副教授,博士,主要从事农业机械化研究,E-mail: yangranbing@163.com

1.2 待脱果穗力学特性

1.2.1 种子玉米果穗不同受力测定

种子玉米果穗和籽粒与商品玉米相比有很大不同,其形状与排列均不规则,玉米籽粒是通过果柄的结合力束缚在种子玉米果穗芯上,果柄的结合力比商品玉米大,不容易脱粒^[3]。故在进行性能试验前需对玉米果穗力学特性进行分析研究。

玉米果穗力学特性的研究方法是利用 LDS 微机控制电子拉压试验机测定玉米籽粒脱下时(可能破损)的最大静压力。待测定玉米穗烘干至统一含水率,采用竖放和平放两种方式,为模拟实际脱粒状态,竖放时受力方向并排 10 粒籽粒,平放时受力方向并排 5 粒籽粒,对种子玉米穗大端、中段、小端进行压力测定。结果表明 3 处脱粒位置玉米籽粒脱下时,轴向最大静压力均在不同程度上大于径向最大静压力,在主要脱粒位置的中段压力差最大。

1.2.2 待脱果穗力学特性分析与脱粒试验改进

通过对施力过程的观测和测定结果分析得出:玉米穗受斜轴向力时,由于玉米穗纵向上籽粒与籽粒之间的接触面积大,排列紧密^[4],受到冲击作用时,密排的玉米籽粒合力作用点偏离最佳打击点(果柄),损伤率激增,如图 2a 所示。用速度传感器检测种子脱粒机不同喂入速度冲击作用发现,穗约 250 g 的玉米棒,竖直下落过程中与脱粒滚筒接触瞬时速度达到 2.6 m/s 时,出现了大面积碎种和脱不净现象,故试验脱粒机采用低喂入口,短通道,零初速度靠重力推送玉米穗的方式,保证脱粒试验所得最优值可靠。

玉米穗受斜切向力时,玉米被动自滚动对瞬时冲击力影响小,可视为瞬时静止。此状态下横行上籽粒与籽粒之间的接触面积小,排列欠紧密或不接触,滚筒板齿迹线通过最优搓擦区(果柄),籽粒脱下所需作用力的合力 F' 小(如图 2b 所示),即 $F > F'$ 。即在冲击力相同($F = F'$)的情况下,玉米穗受切向力更容易脱粒^[5]。

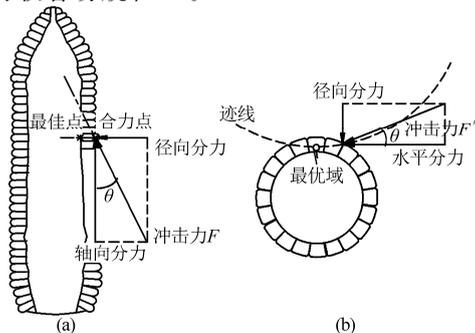


图 2 单方向冲击作用实验受力示意图

Fig. 2 Schematic diagram of single direction effect impact force

对在脱粒中起主导作用的滚筒瞬时冲击力的检测,受机器内部环境和籽粒形态影响,受力差异较大,且不易在实际应用中调整^[6],本试验通过改变滚筒转速来调整冲击作用的大小,符合农业机械的行业标准和试验要求。

玉米穗大端籽粒通常比较饱满,容易脱下;而小端较瘦小,且小端籽粒往往还受到一粒或数粒干瘪未成熟籽粒的影响,增大了脱粒难度。在有序脱粒试验时,应尽量保证玉米穗大端先喂入脱粒。

2 试验材料及方法

2.1 试验材料与仪器

试验在胶莱镇青岛农业大学杂交玉米试验田进行。试验用玉米品种为青岛农业大学 2012 年栽培的青农 105。生理特征:株高 270 cm,穗位 118 cm,果穗长筒形,穗轴白色,穗长 19.1 cm,穗粗 4.8 cm,秃顶 1.1 cm,穗行数平均 15 行,穗粒数平均 633 粒。试验所用的主要仪器设备为 SR-10002 型电子秤(精度 0.01 g,上海实润实业有限公司),BPG-9030AH 型电热恒温鼓风干燥箱(上海和呈仪器制造有限公司)。

2.2 试验参数与试验指标

试验中控制的滚筒转速、吸风口真空压强(真空度)、果穗含水率 3 种立式轴流玉米单穗脱粒机的重要作业与结构参数对性能反映准确且可检测性强,作为主要影响因素,试验的脱粒效果根据 GB/T 5982—2005《脱粒机试验方法》相关规定,以破碎率、含杂率、未脱净率、吸杂误夹种率作为评价指标^[7]。

含杂率

$$Z_z = \frac{W_{xz}}{W_{xh}} \times 100\% \quad (1)$$

破碎率

$$Z_p = \frac{W_p}{W} \times 100\% \quad (2)$$

未脱净率

$$S_z = \frac{W_w}{W} \times 100\% \quad (3)$$

吸杂误夹种率

$$S_j = \frac{W_j}{W} \times 100\% \quad (4)$$

式中 W_{xz} ——试验样本杂质质量, g
 W_{xh} ——试验样本混合籽粒质量, g
 W_p ——试验样本破碎籽粒质量, g
 W_w ——试验样本未脱净损失籽粒质量, g
 W_j ——试验样本吸风机夹带种子质量, g
 W ——试验样本籽粒总质量, g

2.3 试验方案及试验结果

预先将滚筒和风机两者之间的因素水平进行两两组合,将不同组合的水平值换算成所需转速,选配不同传动比的胶带轮组,分组放置备用。每组试验开始前换装胶带轮,根据测速仪和空气压力传感器测出的滚筒线速度和风口真空压强微调电动机频率控制转速,直至试验水平显示稳定;试验前将试验用果穗含水率烘干至5个因素水平值,测量数值无误后保存待用。

试验采用三因素五水平二次正交旋转组合试验方法,共进行23组试验,每组试验重复3次取平均值作为试验指标,试验因素及其编码表如表1所示^[8],试验方案及结果如表2所示。断穗和卡滞在试验过程中未出现,在表3中未列出。

表1 因素水平编码
Tab.1 Factors and levels

编码	滚筒线速度 $x_1/(m \cdot s^{-1})$	风口真空压强 x_2/MPa	果穗含水率 $x_3/\%$
1.682	8.00	8.00	30.00
1	6.99	7.19	25.95
0	5.50	6.00	20.00
-1	4.01	4.81	14.05
-1.682	3.00	4.00	10.00
Δ_j	1.49	1.19	5.95

表2 试验方案与结果

Tab.2 Experimental project and results

试验号	X_1	X_2	X_3	含杂率 $y_1/\%$	破碎率 $y_2/\%$	未脱净率 $y_3/\%$	吸杂误夹种率 $y_4/\%$
1	1	1	1	0.95	0.815	1.01	0.46
2	1	1	-1	0.98	0.692	0.89	0.49
3	1	-1	1	1.12	0.842	1.01	0.22
4	1	-1	-1	1.13	0.714	0.88	0.28
5	-1	1	1	0.92	0.789	1.10	0.41
6	-1	1	-1	0.93	0.646	0.99	0.43
7	-1	-1	1	1.19	0.671	1.17	0.13
8	-1	-1	-1	1.21	0.590	1.01	0.15
9	-1.682	0	0	0.96	0.617	1.15	0.24
10	1.682	0	0	1.15	0.736	0.95	0.31
11	0	-1.682	0	1.21	0.610	1.08	0.05
12	0	1.682	0	0.88	0.665	1.09	0.57
13	0	0	-1.682	1.04	0.635	0.89	0.27
14	0	0	1.682	1.01	0.710	1.21	0.26
15	0	0	0	1.06	0.610	1.08	0.32
16	0	0	0	1.10	0.668	1.10	0.29
17	0	0	0	1.09	0.660	1.11	0.28
18	0	0	0	1.10	0.690	1.07	0.31
19	0	0	0	1.07	0.638	1.05	0.28
20	0	0	0	1.06	0.638	1.08	0.29
21	0	0	0	1.08	0.610	1.06	0.27
22	0	0	0	1.03	0.660	1.09	0.28
23	0	0	0	1.01	0.670	1.06	0.31

3 试验数据结果分析

3.1 回归分析

试验结果采用DPS v7.05进行回归分析,以确定各试验指标在不同试验因素水平组合下的变化规律^[9]。

3.1.1 方差分析

首先对试验的4个目标参数进行方差分析,结果如表3所示。

通过以上方差分析,表明试验指标回归方程与

试验数据拟合较佳。

3.1.2 回归方程及显著性分析

对含杂率 y_1 的无量纲编码回归方程中各项回归系数在置信度为0.1下采用 F 检验,1%水平上选为较显著水平 ($P < 0.01$),得出 X_1 、 X_2 、 X_1X_2 较为显著,将不显著项剔除后,为探究试验指标随试验水平走势情况,需回代因素编码得其简化回归方程

$$\hat{y}_1 = 2.00 - 0.08x_1 - 0.17x_2 + 0.016x_1x_2 \quad (5)$$

对破碎率 y_2 采用相同检验方式,得出 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_1^2 、 X_3^2 、 X_1X_2 较为显著,剔除不显著项,回代因素

表3 试验结果方差分析
Tab.3 Analysis of variance

来源	平方和	df	均方	F	p	
y_1	回归	0.161 0	9	0.017 9	10.074 76	0.000 8
	剩余	0.023 1	13	0.001 8		
	失拟	0.015 5	5	0.003 1	3.258 59	0.039 9
	误差	0.007 6	8	0.001 0		
	总和	0.184 0	22			
y_2	回归	0.074 6	9	0.008 3	4.301 02	0.017 2
	剩余	0.025 0	13	0.001 9		
	失拟	0.015 8	5	0.003 2	2.752 58	0.065 6
	误差	0.009 2	8	0.001 2		
	总和	0.099 6	22			
y_3	回归	0.147 6	9	0.016 4	13.355 73	0.000 3
	剩余	0.016 0	13	0.001 2		
	失拟	0.012 8	5	0.002 6	6.494 97	0.003 1
	误差	0.003 2	8	0.000 4		
	总和	0.163 6	22			
y_4	回归	0.281 6	9	0.031 3	34.393 80	0.000 1
	剩余	0.011 8	13	0.000 9		
	失拟	0.009 5	5	0.001 9	6.432 32	0.003 2
	误差	0.002 4	8	0.000 3		
	总和	0.293 4	22			

注: $F_{0.05}(1,13) = 4.67$; $F_{0.05}(5,8) = 3.69$; $F_{0.01}(1,13) = 9.07$; $F_{0.01}(9,13) = 4.19$ 。

编码得其简化回归方程

$$\hat{y}_2 = 1.432 - 0.030x_1 - 0.113x_3 + 0.088x_2 + 0.003x_3^2 + 0.014x_1^2 - 0.016x_1x_2 \quad (6)$$

对未脱净率 y_3 采用相同检验方式, 得出 X_1 、 X_3 、 X_1^2 、 X_3^2 较为显著, 剔除不显著项, 回代因素编码得其简化回归方程

$$\hat{y}_3 = 0.5189 + 0.061x_1 - 0.0094x_1^2 + 0.0366x_3 - 0.00059x_3^2 \quad (7)$$

对吸杂误夹种率 y_4 采用相同检验方式, 得出 X_1 、 X_2 、 X_2^2 较为显著, 剔除不显著项, 回代因素编码得其简化回归方程

$$\hat{y}_4 = -0.166 + 0.022x_1 - 0.004x_2 + 0.01x_2^2 \quad (8)$$

3.2 试验指标的因素影响规律分析

为研究每两个因素的变化对单穗玉米种子脱粒机的影响, 更加直观地得出各项试验指标与各个试

验因素之间的关系, 本文利用 Matlab 软件, 将回归方程转换为形象的三维等值线图进行分析^[10], 转换结果如图 3~6 所示。

3.2.1 含杂率

由图 3 可知, 随着滚筒线速度的升高, 含杂率缓慢降低。随着风口真空压强的升高, 含杂率快速降低。在两者同时达到最大值时含杂率反向略微上升^[11]。这是由于单一因素下滚筒线速度升高, 脱粒过程变好; 在脱粒滚筒下方吸风口后, 在较高滚筒线速度下施加强风压, 果穗在半真空下停留腔室内时间缩短, 反不利于籽粒与果柄中杂质分离, 籽粒破碎率升高也提高了含杂率。含水率影响不及前两个因素, 回归方程中未出现, 可忽略^[12], $Z_{zmin}(3,8,0) = 0.81\%$ 。

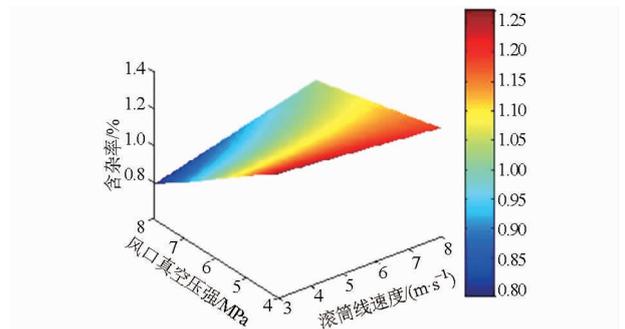


图3 滚筒线速度与风口真空压强对含杂率的影响
Fig.3 Effect of rollers linear velocity and negative pressure on impurity rate

3.2.2 破碎率

玉米籽粒的破碎率性能指标相对复杂, 因素间存在一定的交互作用^[13], 本文通过两两因素组合得出玉米种子脱粒机的破碎率指标走势。

由图 4a 可知, 随着滚筒线速度的升高, 破碎率呈指数快速升高。随着风口真空压强的升高, 破碎率缓慢升高。这是由于滚筒线速度的升高引起打击作用的增强, 籽粒更加容易崩碎形成碎种^[14], 清杂口开在脱粒滚筒后方, 高风压值增大了飞溅的种子与脱粒滚筒的接触概率, 引起二次碰撞破坏, $Z_{pmin}(3,8,0) = 1.65\%$ 。

由图 4b 可知, 随着滚筒线速度的升高, 破碎率

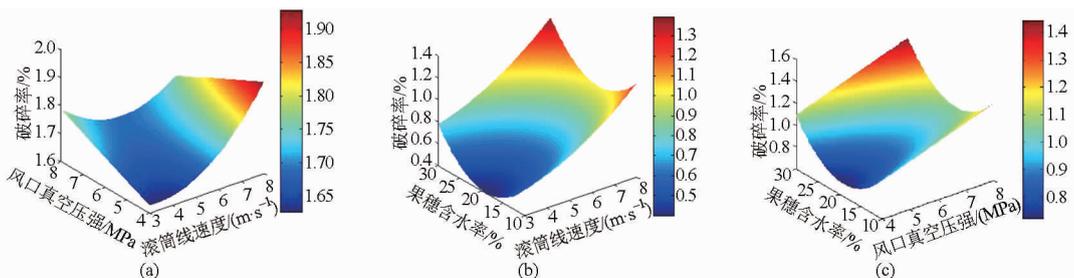


图4 两因素对破碎率的影响

Fig.4 Influence of two factors on broken rate

缓慢升高。随着果穗含水率的升高,破碎率先下降后升高。这是由于玉米籽粒在含水率极低情况下,籽粒韧性下降,脆性增加,抗冲击能力变差;在籽粒含水率较高情况下,籽粒结构较软,韧性较弱,容易打碎打粘, $Z_{pmin}(3,0,20)=0.41\%$ 。

由图 4c 可知,随着风口真空压强的升高,破碎率缓慢升高。随着果穗含水率的升高,破碎率先快速下降,在 19% 含水率处达到最低值然后极速升高。分析可得两者无相关性, $Z_{pmin}(0,4,20)=0.75\%$ 。

3.2.3 未脱净率

如图 5 所示,随着滚筒线速度的增加,未脱净率随着滚筒线速度呈指数性递减;随着果穗含水率的增加,未脱净率随着果穗含水率近似呈斜抛物线上升趋势。风口真空压强在回归方程中相比前两个因素影响不显著,可忽略, $S_{wmin}(8,0,30)=0.73\%$ 。

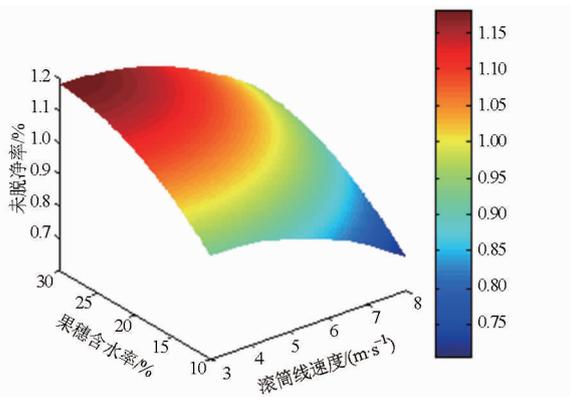


图 5 滚筒线速度与果穗含水率对未脱净率的影响
Fig. 5 Effect of rollers linear velocity and grain moisture content on loss of entrapped grains

3.2.4 吸杂误夹种率

如图 6 所示,随着滚筒线速度的增加,吸出杂质中夹带种子的概率呈缓慢上升趋势;随着风口真空压强的增加,吸出杂质中夹带种子的概率呈缓慢上升趋势。经观察口观察及分析得出,除风机风压影

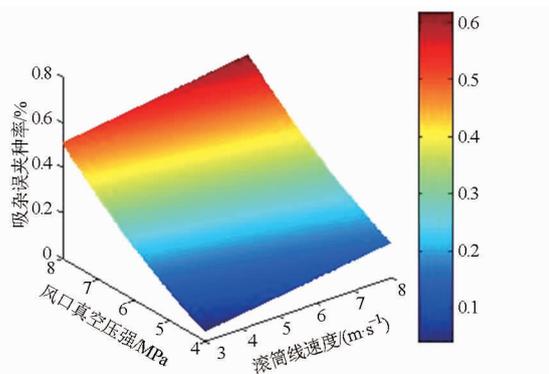


图 6 滚筒线速度与风口真空压强对吸杂误夹种率的影响
Fig. 6 Effect of rollers linear velocity and fan pressure values on miscellaneous clip of error rate

响外,滚筒的高速转动增加了玉米籽粒不规则运动反弹进入吸风口的概率,导致夹种情况更加频繁, $S_{jmin}(3,4,0)=0.04\%$ 。

排种器作业过程中应保证含杂率、破碎率、未脱净率和吸杂误夹种率最小,对破碎率和未脱净率进行加权^[15],创建目标函数,将所求回归方程代入目标函数,根据育种试验机械性能指标和拟定的本机预达到的性能要求,含杂率 $y_1 \leq 0.9\%$,破碎率 $y_2 \leq 0.8\%$,未脱净率 $y_3 \leq 1.1\%$,吸杂误夹种率 $y_4 \leq 0.3\%$ 。规划的目标函数及约束条件为:

$$\text{约束条件} \quad \begin{cases} 3 \leq x_1 \leq 8 \\ 4 \leq x_2 \leq 8 \\ 10 \leq x_3 \leq 30 \end{cases}$$

$$\text{目标函数} \quad F_{\min} = y_1 + 1.5y_2 + 1.3y_3 + y_4 \quad (9)$$

在 Matlab 中将未加权的 $y_1 + y_2 + y_3 + y_4$ 和已加权的 $y_1 + 1.5y_2 + 1.3y_3 + y_4$ 单独做成 M 函数 Y_1, Y_2 , 优化程序如下

$$x_0 = [5.5; 6; 20];$$

$$A = [1 \ 0 \ 0; -1 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0; 0 \ -1 \ 0; 0 \ 0 \ 1; 0 \ 0 \ -1];$$

$$b = [8; -3; 8; -4; 30; -10];$$

$$[x, fval] = \text{fmincon}('Y', x_0, A, b, @Y)$$

Matlab 最终参数优化结果如表 4 所示^[16]。

表 4 参数优化结果

Tab. 4 Optimization result of parameters

因素	滚筒线速度/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	风口真空压强/ MPa	果穗含水率/ %
未加权	5.476 1	6.325 7	14.368 5
已加权	4.588 3	5.986 3	15.854 7

优化计算得出最佳参数为:脱粒滚筒线速度 4.6 ~ 5.5 m/s,果穗含水率 14.4% ~ 15.9%,风口真空压强 6.0 ~ 6.3 MPa,风口真空压强主要影响含杂率和吸杂误夹种率,应取定风口真空度最优值为未加权数值 6.3 MPa。验证试验选用与正交旋转组合试验同批的青 105 玉米种烘干至待验证含水率。脱粒机空载运行 10 min 测得因素水平稳定后,在最优参数下进行 3 次独立重复试验,样品选取与试验数据处理按照《脱粒机试验方法》进行,取 3 次平均值,结果如表 5 所示^[17]。结果表明,在最佳试验参数作用下,试验结果与理论结果吻合性较好。

表 5 最佳试验参数及试验结果

Tab. 5 Optimal parameters and test results %

	y_1	y_2	y_3	y_4	F_{\min}
理论值	1.056 4	0.821 7	1.086 3	0.438 5	3.402 9
试验值	1.042 2	0.851 0	1.092 7	0.412 1	3.398 0

4 结论

(1) 立式轴流玉米单穗脱粒机在可开机清种的基础上配备了玉米芯筛除装置,对清杂效果提升明显。

(2) 滚筒线速度、风口真空压强、果穗含水率作为自变量,含杂率、破碎率、未脱净率和吸杂误夹种率为目标函数,进行三因素二次通用正交旋转组合设计试验分析,确定了立式轴流玉米单穗脱粒机的工作参数及结构参数与脱粒性能指标的影响关系。

(3) 由回归方程和走势分析得出,滚筒线速度、风口真空压强以及果穗含水率对于玉米种子脱粒的

含杂率、破碎率、未脱净率和吸杂误夹种率的影响主次顺序不同。含杂率影响主次顺序为:风口真空压强、滚筒线速度、果穗含水率;破碎率影响主次顺序为:滚筒线速度、果穗含水率、风口真空压强;未脱净率影响主次顺序为:滚筒线速度、果穗含水率、风口真空压强;吸杂误夹种率影响主次顺序为:风口真空压强、滚筒线速度、果穗含水率。

(4) 当脱粒滚筒线速度 4.6 ~ 5.5 m/s、果穗含水率 14.4% ~ 15.9%、风口真空压强为 6.3 MPa 时,含杂率低于 1.1%,破碎率低于 0.86%,未脱净率低于 1.1%,吸杂误夹种率低于 0.44%,立式轴流玉米单穗脱粒机的综合性能达到最优。

参 考 文 献

- 尚书旗,杨然兵,殷元元,等. 国际田间试验机械的发展现状及展望[J]. 农业工程学报,2010,26(增刊1):5-8.
Shang Shuqi, Yang Ranbing, Yin Yuanyuan, et al. Current situation and development trend of mechanization of field experiments [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(Supp.1): 5-8. (in Chinese)
- 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-rop-bar tooth cylinder and spike tooth cylinder [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3): 139-142. (in Chinese)
- 李心平,高连兴,马福丽. 玉米种子脱粒特性的试验研究[J]. 农机化研究,2007,29(2):156-158.
Li Xinping, Gao Lianxing, Ma Fuli. Experimental research of seed corn on the threshing property [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, 29(2): 156-158. (in Chinese)
- 李心平. 种子玉米脱粒损伤机理及 5TYZ-1 型定向喂入式脱粒机研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2007.
Li Xinping. Study on threshing-damage mechanism and 5TYZ-1 type directional-feeding thresher of seed corn [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- 衣淑娟,汪春,毛欣,等. 轴流滚筒脱粒后自由籽粒空间运动规律的观察与分析[J]. 农业工程学报,2008,24(5):136-139.
Yi Shujuan, Wang Chun, Mao Xin, et al. Observation and analysis of motion rule of free kernel in threshing and separating space [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(5): 136-139. (in Chinese)
- 万霖,衣淑娟. 纵置单轴流钉齿滚筒功耗性能的试验研究[J]. 农机化研究,2005,27(9):108-109.
Wan Lin, Yi Shujuan. Experimental study on longitudinal single axial flow threshing and separating unit power consumption performance [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005, 27(9): 108-109. (in Chinese)
- GB/T 5982—2005 脱粒机试验方法[S]. 2005.
- 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)
- 衣淑娟,陶桂香,毛欣. 两种轴流脱粒分离装置脱出物分布规律对比试验研究[J]. 农业工程学报,2008,24(6):154-156.
Yi Shujuan, Tao Guixiang, Mao Xin. Comparative experiment on the distribution regularities of threshed mixtures for two types of axial flow threshing and separating installation [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(6): 154-156. (in Chinese)
- 李耀明,乔明光,徐立章,等. 纵轴流复脱分离装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2009,40(11):50-54.
Li Yaoming, Qiao Mingguang, Xu Lizhang, et al. Development and performance experiments on axia-l rethreshing with axial feeding [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(11): 50-54. (in Chinese)
- 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)
- 孙大尉,衣淑娟,厉锐. 轴流脱粒与分离装置的单因素试验研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2010,22(1):36-39.
Sun Dawei, Yi Shujuan, Li Rui, et al. The experiment research of single-parameter of the axial flow threshing and separating unit [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2010, 22(1): 36-39. (in Chinese)
- 杨方飞,阎楚良. 谷物在纵向轴流滚筒脱粒空间中的运动状态分析[J]. 农业机械学报,2008,39(11):48-50.
Yang Fangfei, Yan Chuliang. Movement analysis of cereal in axial flow threshing roller space [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(11): 48-50. (in Chinese)
- 王岳,马骥. 轴流装置脱粒和茎叶破碎机理的研究[J]. 农业机械学报,1987,18(1):81-90.
Wang Yue, Ma Ji. Research on principle of grain threshing and straw breaking in the axial-flow threshing apparatus [J].

- Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1987, 18(1): 81 - 90. (in Chinese)
- 15 陶桂香. 组合式轴流装置仿真与试验研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2008.
Tao Guixiang. Study on assembled axial flow device simulating and experiment[D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 16 张认成, 桑正中. 轴流脱粒空间谷物运动仿真研究[J]. 农业机械学报, 2000, 31(1): 55 - 57.
Zhang Rencheng, Sang Zhengzhong. Simulation research on the motion of cereal in axial threshing space[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000, 31(1): 55 - 57. (in Chinese)
- 17 Chen Haitao, Iwasaki M, Takeda H. Development of a baker's garlic seed bulb cluster separator using response surface methodology[C]// ASAE/CSAE Annual International Meeting, ASAE Paper 041086, 2004.

Experimental Parameter Optimization of Vertical Axial-flow Single Panicle Thresher for Corn

Zhang Xiang Yang Ranbing Shang Shuqi

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: Three structure and operation parameters which had effect on vertical axial-flow corn single panicle thresher were optimized. The quadratic rotary orthogonal experiments were carried out. Taking linear velocity of threshing cylinder, negative pressure value of fan, moisture content of cluster as effect factors, and broken rate, impurities, loss of entrapped grains, gettering drift loss as objective function, the structure size and operation parameters were experimented and optimized design. The result showed that when the linear velocity of threshing cylinder was 4.6 ~ 5.5 m/s, the moisture content of cluster was 14.4% ~ 15.9%, the negative pressure value of fan was 6.3 MPa, the broken rate was less than 1.1%, impurities rate was less than 0.86%, loss rate of entrapped grains was less than 1.1%, and gettering drift loss rate was less than 0.44%. This experiment's analysis could provide theory basis for the optimization design and operation parameter selection for the vertical axial single panicle threshing corn product.

Key words: Corn Single grain thresher Experiment Optimization