

立式轴流大豆育种脱粒机参数优化

侯守印, 陈海涛*

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 为寻求对立式轴流大豆育种专用脱粒机的脱粒、分离与清选性能影响的结构与工作参数最优组合, 对其进行了参数优化试验。采用二次回归正交旋转中心组合优化试验方法, 以滚筒线速度、脱粒间隙、喂入量和植株体积含水率为影响因素, 含杂率、破碎率、未脱净率、夹带损失率、飞溅损失率和沉积率为目标函数, 对影响该机脱粒性能的结构与工作参数进行优化试验研究。结果表明: 当植株体积含水率 14%~20%, 滚筒线速度 6.5~8.3 m/s, 脱粒间隙为 15 mm, 喂入量为 2.4 kg/min 时, 含杂率低于 0.5%, 破碎率低于 1%, 未脱净率低于 2%, 夹带损失率低于 0.7%, 飞溅损失率与沉积率为零。该研究可为立式轴流大豆育种专用脱粒机的产品定型设计提供依据。

关键词: 试验, 优化, 育种, 立式轴流, 脱粒机, 大豆

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.05.004

中图分类号: S223.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-05-0019-07

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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(5): 19-25. (in Chinese with English abstract)

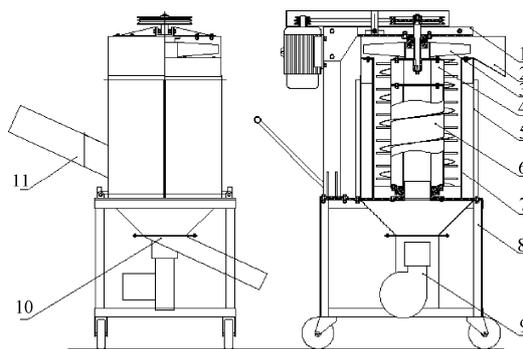
0 引言

大豆育种是保证大豆产业安全的重要手段, 同时也是耗费巨大人力与财力的农业系统工程^[1]。大豆种子脱粒是育种工作的最终环节, 同时也是最关键环节之一。大豆种子脱粒不同于大田脱粒, 每个育种小区面积小, 而且整个试验田内又包含很多试验小区和试验品种, 所以既要防止多品种收获带来的混杂, 又要提高作业效率。中国目前大豆育种脱粒仍以人工脱粒和普通脱粒机脱粒 2 种收获方式为主, 采用人工脱粒, 收获期较长, 贻误农时, 间接损失大, 试验数据可比性差。采用普通大豆脱粒机脱粒, 籽粒破碎率和夹带损失率较高, 作业结束后机器内部清理困难, 籽粒残留量大, 导致品种之间混杂, 造成试验数据可靠性较差^[2-4]。大豆育种脱粒机械化普及是解放劳动力、节约成本、缩短生产周期和提高试验精度的有效途径。因此大豆育种专用脱粒机的研发具有重要的现实意义。

研究发现, 现有育种专脱粒机普遍存在不能快速清理、易混种、结构复杂、体积庞大、机动性差、脱出物含杂率与破碎率高等问题, 制约了育种专用脱粒机的推广应用。本文通过自行研制的立式轴流大豆育种专用脱粒机进行大豆脱粒试验, 探究该机结构与工作参数的最优组合, 为立式轴流大豆育种专用脱粒机产品定型设计提供依据。

1 试验装置结构及工作原理

立式轴流大豆育种专用脱粒机样机结构和参数, 如图 1 和表 1 所示。主要由悬臂梁、排草风扇、脱粒清选滚筒总成、可视组合外罩、编织分离筛、机架、清选风机、喂料台和种子排出口组成。试验台工作时长、宽、高分别为 900、800 和 1 300 mm, 脱粒清选滚筒总成由脱粒滚筒和叶片式清选滚筒组装而成, 内设有清选风道, 由固定在机架上的悬臂梁支承。一对透明组合外罩铰接在机架两端, 可以自由开闭, 工作时通过安装在其上的锁紧机构锁紧。



1.悬臂梁 2.出口口 3.排草风扇 4.叶片式清选滚筒 5.可视化组合式外罩
6.脱粒滚筒 7.编织分离筛 8.机架 9.清选风机 10.籽粒出口 11.喂料口

图 1 立式轴流大豆育种专用脱粒机样机结构示意图
Fig.1 Structure of vertical axial flow thresher for soybean breeding

工作原理: 工作时, 大豆植株由固定在组合外罩左下端的喂料口喂入, 在旋转的脱粒滚筒作用下, 大豆植株被带入编织分离筛与脱粒滚筒之间, 通过钉齿的打击与运输分离螺旋的揉搓进行脱粒。长茎秆被运输分离螺

收稿日期: 2011-07-23 修订日期: 2011-09-27

基金项目: 国家现代大豆产业技术体系专项资金项目 (nycytx-004)

作者简介: 侯守印 (1986-), 男, 黑龙江人, 主要从事现代农业装备研究。
哈尔滨 东北农业大学工程学院, 150030。Email: houshouyin.cn@163.com

*通信作者: 陈海涛 (1962-), 男, 黑龙江, 教授, 博士生导师, 主要从事大豆设施与装备研究。哈尔滨 东北农业大学工程学院, 150030。

Email: haitao1963@yahoo.com.cn

旋推运到顶部, 通过排草风扇排出机体外。籽粒、短茎秆和颖壳等杂质在离心力作用下穿过编织分离筛的筛孔进入沉降室, 密度较小的杂质被高速旋转的排草风扇产生的吸运气流运输到顶部排出, 密度大的杂质和籽粒在重力作用下落到出料口的筛面上, 筛面下设置产生垂直气流的离心风机, 将大部分杂质吹入清选风道, 经叶片式清选滚筒和排草风扇排出。籽粒沿着种子排出口滑入收集箱。脱粒工作结束后将锁紧机构打开, 可对机体内残留物进行快速清理。脱粒工作状态可以通过组合外罩上的可视窗进行观察。

表 1 立式轴流大豆育种专用脱粒机主要参数

Table 1 Parameters of vertical axial flow thresher for soybean breeding

参数	数值
滚筒长度/mm	600
滚筒直径/mm	250
钉齿长度/mm	50~65
钉齿数	46
螺线头数	2
脱粒间隙/mm	5~25
分离筛形式	编织筛
筛孔尺寸/mm	18×18
出口风速/m·s ⁻¹	17

2 材料与方法

2.1 材料与设备

试验所用大豆品种为香坊农场 2010 年栽培的绥农 26。生长特性: 茎秆平均长度 81.5 cm, 单株平均结荚数 47.5 个, 单株平均籽粒数 96.5 个。试验使用的主要仪器设备为 YB502 电子秤 (精度 0.01 g, 上海海康电子仪器厂), ACS-30 电子计价秤 (华鹰衡器有限公司), DGG-9070AD 型电热恒温鼓风干燥箱 (上海森信实验仪器有限公司), 数码摄像机。

2.2 方法

试验于 2010 年 11 月 2 日至 2010 年 11 月 12 日在东北农业大学农业机械研究中心实施。采用四因素五水平二次回归正交旋转中心组合优化试验方法。以滚筒线速度 (x_1)、脱粒间隙 (x_2)、喂入量 (x_3)、植株体积含水率 (x_4) 为影响因素, 以破碎率 (y_1), 含杂率 (y_2)、夹带损失率 (y_3)、未脱净损失率 (y_4)、飞溅损失率 (y_5)、沉积率 (y_6) 为目标函数, 共实施 36 组试验^[5-12]。应用 Design-Expert6.0.10 进行数据处理分析^[13], 根据预备试验及轴流脱粒机生产实践确定各个因素水平, 影响因素水平编码表和试验方案, 如表 2、3 所示。

表 2 因素水平编码表

Table 2 Experimental values and coded level

编码值 x_j	因素			
	线速度 x_1 (m·s ⁻¹)	脱粒间隙 x_2 /mm	喂入量 x_3 / (kg·min ⁻¹)	含水率 x_4 /%
上星号臂 (2)	9	25	3.6	25
上水平 (+1)	8	20	3.0	22
零水平 (0)	7	15	2.4	19
下水平 (-1)	6	10	1.8	16
下星号臂 (-2)	5	5	1.2	13

各项性能指标根据国家标准 GB/T 5982-2005 脱粒机试验方法测定, 分别以 3 次重复的均值为测试结果^[14]。

3 试验结果及分析

3.1 试验结果

试验结果, 如表 3 所示。因飞溅损失率与沉积率均为零, 未列入表中。

表 3 试验设计方案与结果

Table 3 Experimental design layout and results

编号	试验因素				目标函数			
	x_1 / (m·s ⁻¹)	x_2 / mm	x_3 / (kg·min ⁻¹)	x_4 / %	y_1 / %	y_2 / %	y_3 / %	y_4 / %
1	6	10	1.8	16	3.74	4.60	0.37	0.40
2	8	10	1.8	16	1.69	4.96	1.09	0.10
3	6	20	1.8	16	3.71	3.59	0.88	0.35
4	8	20	1.8	16	0.98	6.43	2.30	0.07
5	6	10	3.0	16	2.16	3.75	0.47	0.47
6	8	10	3.0	16	1.07	5.65	0.63	0.16
7	6	20	3.0	16	3.36	3.35	0.20	0.49
8	8	20	3.0	16	1.21	7.82	1.20	0.10
9	6	10	1.8	22	3.99	3.15	0.47	0.47
10	8	10	1.8	22	1.04	5.26	0.95	0.26
11	6	20	1.8	22	6.25	2.63	0.41	0.23
12	8	20	1.8	22	2.96	7.53	0.63	0.04
13	6	10	3.0	22	6.48	3.12	0.66	0.54
14	8	10	3.0	22	1.62	6.40	1.13	0.25
15	6	20	3.0	22	4.90	3.69	0.15	0.35
16	8	20	3.0	22	3.02	6.96	0.31	0.10
17	5	15	2.4	19	6.62	3.00	0.00	0.80
18	9	15	2.4	19	1.77	11.1	0.90	0.08
19	7	5	2.4	19	2.58	2.12	0.85	0.27
20	7	25	2.4	19	4.38	5.60	0.45	0.30
21	7	15	1.2	19	2.81	5.76	0.60	0.00
22	7	15	3.6	19	1.99	7.11	0.49	0.21
23	7	15	2.4	13	0.91	3.00	1.66	0.12
24	7	15	2.4	25	7.58	5.00	0.80	0.09
25	7	15	2.4	19	4.39	3.75	0.35	0.15
26	7	15	2.4	19	3.19	4.37	0.20	0.20
27	7	15	2.4	19	4.42	3.82	0.17	0.21
28	7	15	2.4	19	4.17	3.50	0.23	0.14
29	7	15	2.4	19	2.37	4.14	0.00	0.18
30	7	15	2.4	19	3.17	5.22	0.38	0.02
31	7	15	2.4	19	2.12	3.33	0.48	0.19
32	7	15	2.4	19	1.88	3.48	0.00	0.17
33	7	15	2.4	19	1.66	3.18	0.00	0.08
34	7	15	2.4	19	2.58	5.39	0.30	0.07
35	7	15	2.4	19	2.58	5.13	0.32	0.13
36	7	15	2.4	19	1.75	5.30	0.00	0.18

注: x_1 为滚筒线速度; x_2 为脱粒间隙; x_3 为喂入量; x_4 为植株体积含水率; y_1 为破碎率; y_2 为含杂率; y_3 为夹带损失率; y_4 为未脱净损失率。

3.2 数据处理

1) 回归方程及显著性分析

经 Design-Expert6.0.10 分析, 破碎率、含杂率、夹带损失率和未脱净率的方差分析, 如表 4 所示。

表 4 方差分析

Table 4 Analysis of variance

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	临界值 F
回归	7.33	14	0.52	12.09	2.20
剩余	0.91	21	0.043		
y_1 拟合	0.59	10	0.059	2.04	2.85
误差	0.32	11	0.029		
总和	8.24	35			
回归	0.94	14	0.067	16.57	2.20
剩余	0.085	21	0.004		
y_2 拟合	0.046	10	0.0046	1.28	2.85
误差	0.039	11	0.0035		
总和	1.02	35			
回归	0.99	14	0.071	9.10	2.20
剩余	0.16	21	0.0078		
y_3 拟合	0.087	10	0.0087	1.24	2.85
误差	0.077	11	0.007		
总和	115.81	35			
回归	69.75	4	17.44	16.77	4.02
剩余	32.23	31	1.04		
y_4 拟合	20.97	20	1.05	1.02	4.10
误差	11.27	11	1.02		
总和	101.98	35			

2) 回归方程确定

对于破碎率 y_1 回归方程中各项回归系数在置信度为 0.05 下采用 F 检验, 将不显著项剔除后得其简化回归方程, 如式 (1) 所示。同理, 可得到含杂率、夹带损失率和未脱净率的简化方程, 如式 (2) ~ (4) 所示。

$$y_1 = 8.24 - 0.16x_1 + 0.28x_2 - 1.84x_3 - 0.78x_4 + 0.09x_1^2 + 4.46 \times 10^{-3}x_2^2 + 0.24x_3^2 + 0.03x_4^2 - 0.04x_1x_4 - 0.05x_2x_3 - 0.02x_2x_4 + 0.07x_3x_4 \quad (1)$$

$$y_2 = 4.69 - 1.29x_1 - 4.60 \times 10^{-3}x_2 + 0.07x_3 - 0.04x_4 + 0.08x_1^2 + 1.69 \times 10^{-3}x_2^2 + 0.24x_3^2 + 0.03x_4^2 - 2.80 \times 10^{-3}x_2x_4 + 0.07x_3x_4 \quad (2)$$

$$y_3 = 3.90 - 0.88x_1 - 0.06x_2 - 0.61x_3 + 3.58 \times 10^{-3}x_4 + 0.06x_1^2 + 0.14x_3^2 + 9.77 \times 10^{-3}x_1x_2 \quad (3)$$

$$y_4 = 5.27 - 1.28x_1 + 0.36x_4 \quad (4)$$

3) 因素贡献率

经分析计算^[12], 各因素对性能指标函数的贡献率如

表 5 所示。

表 5 各因素对性能指标函数的贡献率

Table 5 Contribution ratio of each factor to performance index

因素	贡献率			
	破碎率	含杂率	夹带损失率	未脱净率
滚筒线速度	2.51	2.2	2.43	0.97
脱粒间隙	1.93	2.22	1.28	0.63
喂入量	2.69	0.9	1.23	0
植株体积含水率	3.21	0.65	0.11	0.96

3.3 各因素对性能指标的影响分析

3.3.1 各因素对破碎率影响分析

由图 2a 可知, 随着滚筒线速度的增加, 破碎率逐渐升高。随着脱粒间隙的增加, 破碎率先降低后升高。这是由于脱粒间隙达到 15 mm 时, 继续增大脱粒间隙, 脱粒滚筒上的运输分离螺旋对被脱物的运输分离能力减弱, 使得大豆籽粒在脱粒室内滞留, 增加了钉齿对其打击机会, 破碎率升高。

由图 2b 可知, 在滚筒线速度较高时, 随着喂入量的增大, 破碎率降低。这是由于, 喂入量增加使得待脱物料层增厚, 揉搓脱粒代替高速打击脱粒, 破碎率降低。滚筒线速度低于 7 m/s 时, 随着喂入量增大, 破碎率变化较小。

由图 2c 可知, 随着植株体积含水率的逐渐增高, 破碎率先呈减小后增大的趋势。这是因为随着植株体积含水率的增高, 大豆种子变得有韧性, 使其抗打击能力增强, 当植株体积含水率超过 19% 时, 大豆种子含水率过高, 抗打击能力减弱, 容易破碎。

由图 2d 可知, 当喂入量高于 2.4 kg/min 时, 破碎率随脱粒间隙的增大而降低, 当喂入量低于 2.4 kg/min 时, 随脱粒间隙的加大, 破碎率先降低后升高。这可能是由于在喂入量较小的情况下, 随着脱粒间隙的继续增大使得脱粒空间内物料与运输分离螺旋作用效果减弱, 使得物料在脱离空间内滞留, 被钉齿打击几率增加。当脱粒间隙高于 15 mm 时, 破碎率随着喂入量的增大而降低, 当脱粒间隙低于 15 mm 时, 破碎率随着喂入量的增大, 破碎率先降低后升高。这是由于在脱粒间隙较小的情况下, 随着喂入量的继续增加, 籽粒穿过茎秆层分离困难, 使得被脱籽粒在脱粒滚筒内滞留时间加长, 被钉齿打击几率增加。

由图 2e 可知, 当植株体积含水率高于 19% 时, 破碎率随着脱粒间隙的增大而降低, 当植株体积含水率低于零水平时, 破碎率随着脱粒间隙的增大而升高。这是由于当植株体积含水率处于较低水平时, 大豆籽粒含水率低, 随着脱粒间隙的增大, 脱粒空间内物料与运输分离螺旋的作用减弱, 大豆籽粒在脱粒室内滞留时间延长, 被钉齿打击机会增加, 破碎率升高。

由图 2f 可知, 随着植株体积含水率和喂入量的逐渐增加, 破碎率呈先降低后升高的趋势。植株体积含水率为 19% 喂入量为 2.4 kg/min 时, 破碎率达到最低。

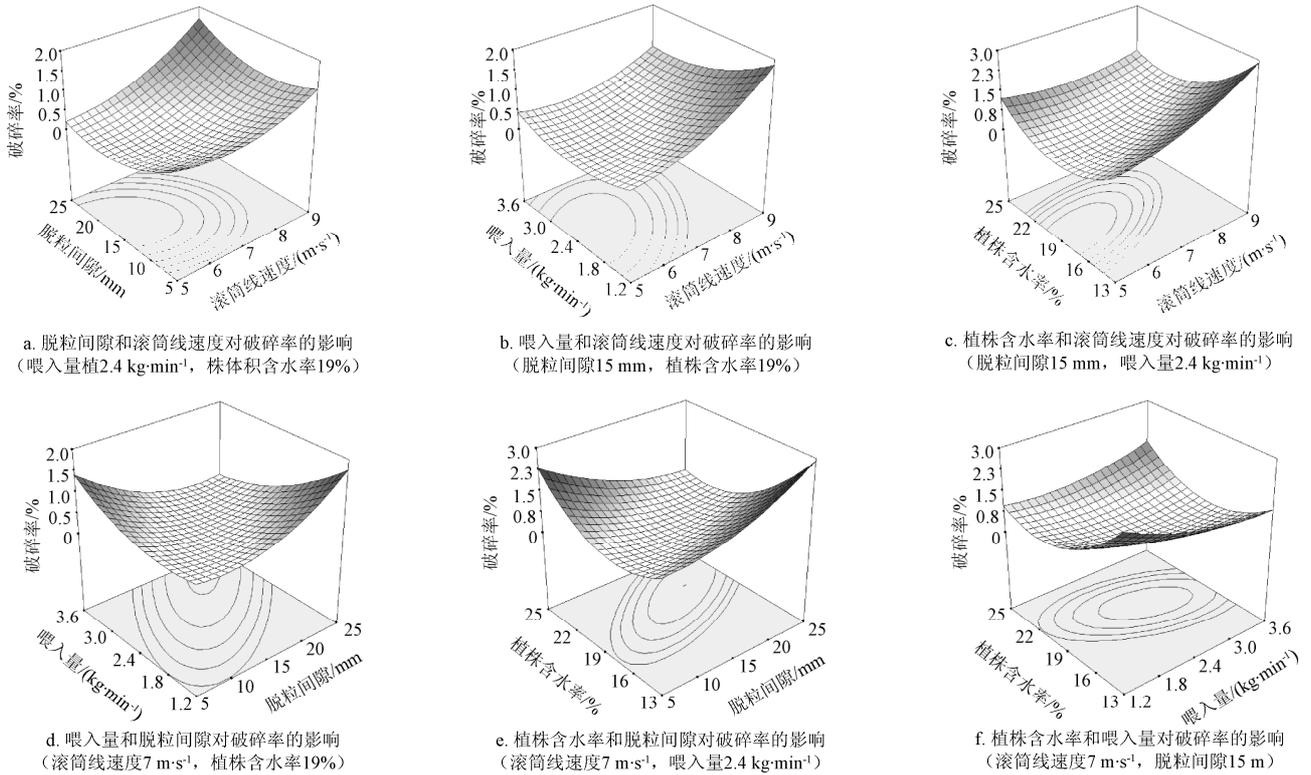


图2 四因素对破碎率影响的响应曲面图

Fig.2 Response surface of four-factor effects on cracked grains

3.3.2 各因素对含杂率影响分析

由图3a、3b、3c可知,其他3个因素分别与滚筒线速度的交互作用对中,滚筒线速度起显著作用,随着滚筒线速度的增加,含杂率呈先降低后缓慢上升的趋势。

这是因为,当滚筒转速达到 8 mm/s 时,排草风扇起负压风机的作用,清选能力加强,含杂率降低。继续增加滚筒线速度,茎秆被击打过于破碎,增加清选负荷,含杂率有升高趋势。

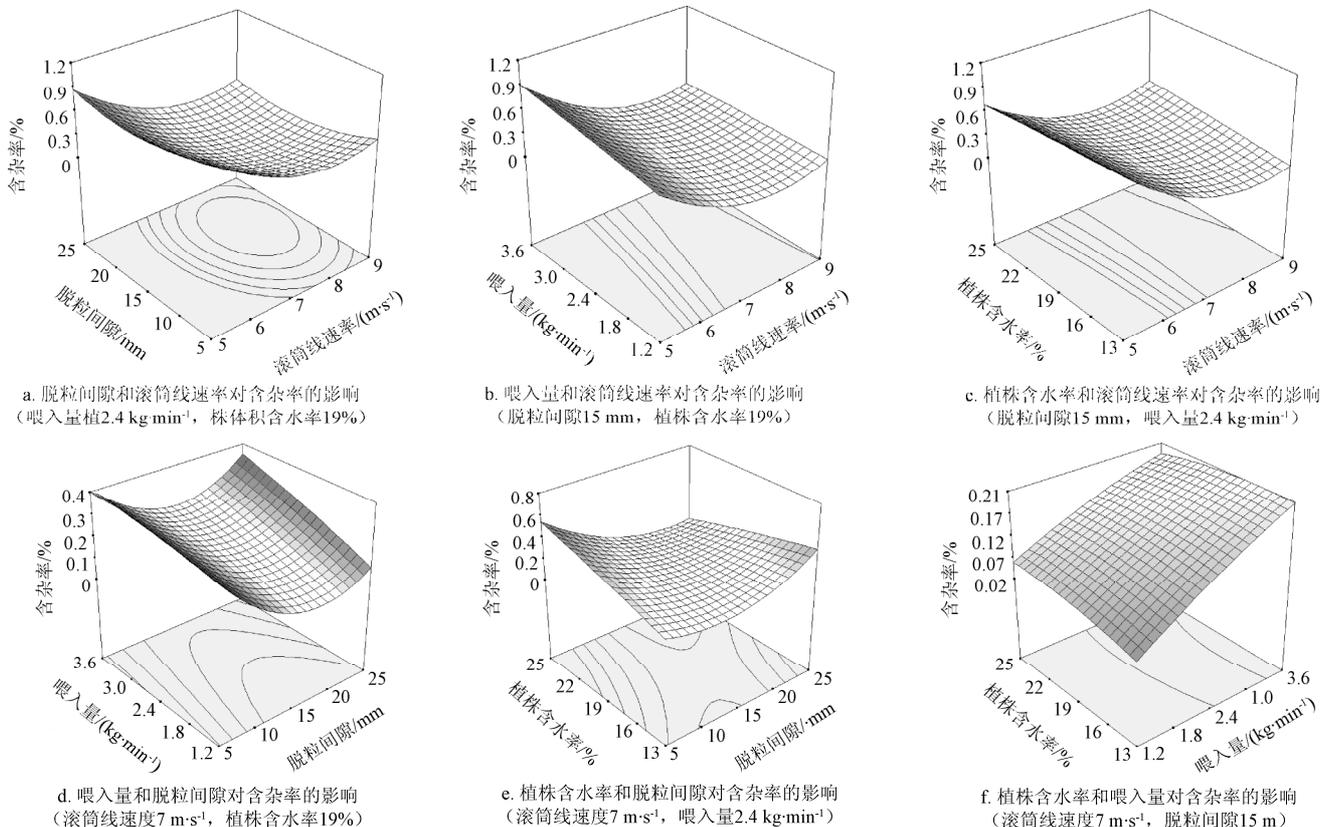


图3 四因素对含杂率影响的响应曲面图

Fig.3 Response surface of four-factor effects on impurities

由图 3e 可知，当脱粒间隙小于 15 mm 时，含杂率随植株体积含水率的增大而升高，脱粒间隙大于零水平时，含杂率随植株体积含水率的增大而升高。这主要是由于在脱粒间隙较小的情况下，钉齿将大豆茎秆击打的较碎，随着植株体积含水率的升高，被分离出来的混合物中杂质的含水率也随之升高，加大了清选负荷，含杂率升高。当植株体积含水率一定时，含杂率随脱粒间隙的增大先降低后升高，这是由于脱粒间隙增大到一定值时，运输分离螺旋的运输效果减弱，茎秆在脱粒室内滞留，钉齿对茎秆作用机会增加，茎秆破碎严重，含杂率上升。

由图 3f 可知，随着喂入量的增大，含杂率急剧升高。这是由于喂入量增大，清选负荷增加，含杂率升高。

3.3.3 各因素对夹带损失率影响分析

由图 4a 可知，随着滚筒线速度升高，夹带损失率呈先缓慢降低后急剧升高趋势。这是由于低速度的钉齿对被脱物打击较弱，初始脱粒较少，没有被脱的大豆籽粒随着茎秆被螺旋排布的钉齿搅拌输送，后半脱粒行程中被脱籽粒没有时间分离而随茎秆排出机体外，夹带损失较高。当脱粒滚筒速度较高时，被脱物在初始阶段脱粒，

但是由于滚筒高速旋转，部分籽粒没有时间分离而被运输分离螺旋将其和茎秆一起排出机体外。

由图 4b 可知，随着滚筒线速度和喂入量的增加，夹带损失率先降低后升高。这是由于随着喂入量的增加，揉搓脱离能力加强，脱粒迅速，分离时间增加，夹带损失率降低，继续增加喂入量，茎秆层变厚，籽粒分离困难，夹带损失率升高。随着滚筒线速度增加，钉齿脱粒能力里增强，脱粒完成较早，分离时间较长，夹带损失率降低。滚筒线速度继续增加，脱离滚筒上的运输分离螺旋对被脱物料运输加快，分离时间缩短，夹带损失率升高。

由图 4c 可知，随着植株体积含水率的升高，夹带损失率有缓慢上升的趋势。这是由于植株体积含水率升高，被脱物料难脱，被脱籽粒分离时间较短，随茎秆一起排出机体外，夹带损失率升高。

由图 4d 可知，随着脱粒间隙的增大，夹带损失率逐渐升高。这是由于脱粒间隙增大，脱离装置脱粒能力减弱，被脱籽粒分离时间缩短，随茎秆一起排出机体外，夹带损失率升高。

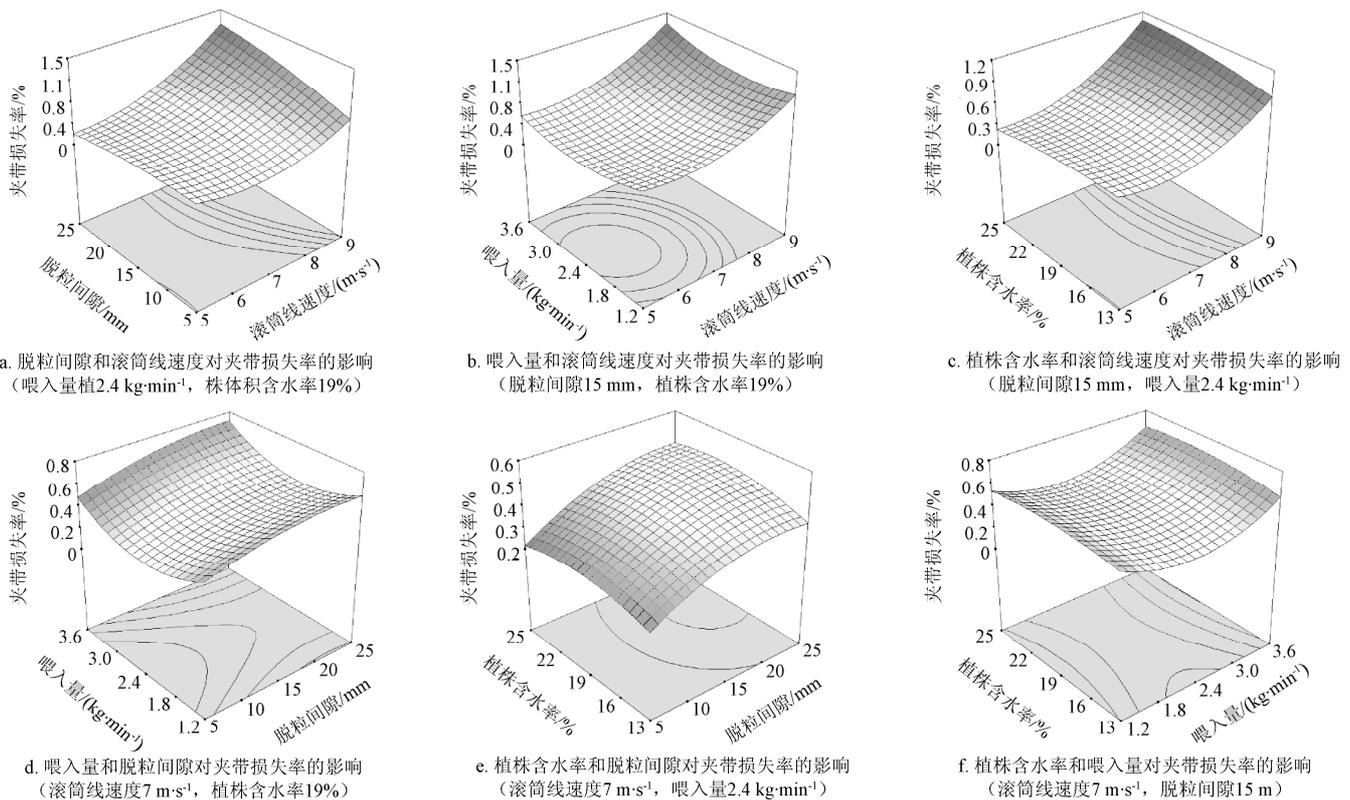


图 4 四因素对夹带损失率影响的响应曲面图

Fig.4 Response surface of four-factor effects on loss of entrapped grains

3.3.4 各因素对未脱净率影响分析

由图 5a 可知，未脱净率与滚筒线速度呈负相关，这主要是由于钉齿的打击脱粒能力增强，脱净率升高。

由图 5b 可知，未脱净率与脱粒间隙呈正相关，这主要是由于钉齿的打击与搅拌能力减弱，未脱净率升高。

由图 5c 可知，未脱净率与喂入量近似负相关，对未脱净率影响效果不明显。

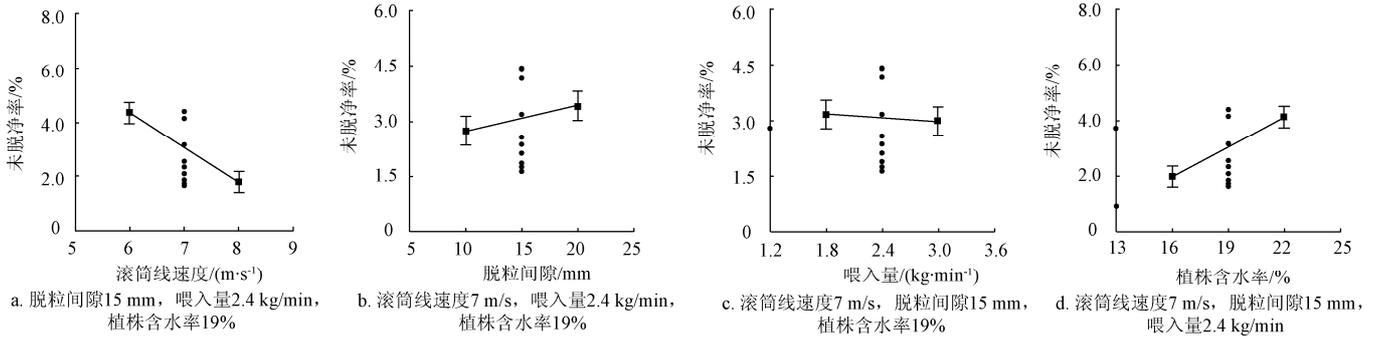
由图 5d 可知，未脱净率与植株体积含水率呈正相关，这主要是由于植株体积含水率高的作物比较难脱。

3.3.5 优化分析

按照零沉积率、低含杂率、低破碎率和低损失率的原则，以各因子水平区间为约束条件，优化结果如图 6 所示。当参数组合为：植株体积含水率 14%~20%，滚筒线速度 6.5~8.3 m/s，脱粒间隙 15 mm，喂入量 2.4 kg/min

时, 飞溅损失率与沉积率为零, 含杂率低于 0.5%, 破碎

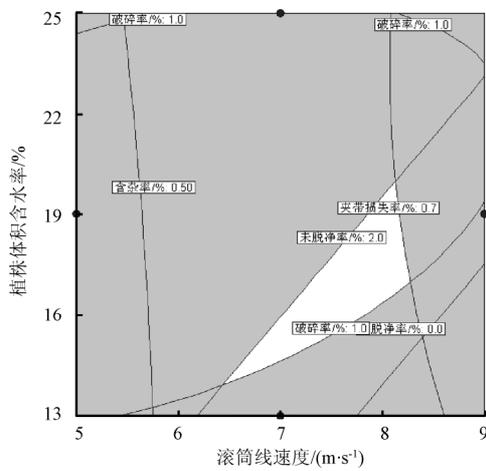
率低于 1%, 未脱净率低于 2%, 夹带损失率低于 0.7%。



注: 图中的点表示中心点试验重复次数。

图5 4种因素对未脱净率的影响

Fig.5 Effects of four factors on loss of unthreshed grain



注: 该图表示脱粒间隙 15 mm, 喂入量 2.4 kg/min 时, 优化区域内植株体积含水率和滚筒线速度的所有组合试验都满足目标函数的技术要求。

图6 参数优化分析图

Fig.6 Parameters optimum analysis chart

在优化的最佳工况范围内, 选取滚筒线速度 8 m/s, 脱粒间隙 15 mm, 喂入量 2.4 kg/min, 植株体积含水率 19% 时进行验证试验。结果为: 飞溅损失率与沉积率为 0, 含杂率 0.65%, 破碎率 0.42%, 未脱净率 1.8%, 夹带损失率 0.57%。验证试验结果在优化性能指标区间内, 表明优化结果是可信的。

4 结论

1) 立式轴流大豆育种专用脱粒试验台的最佳结构及工作参数组合为: 植株体积含水率 14%~20%, 滚筒线速度 6.5~8.3 m/s, 脱粒间隙 15 mm, 喂入量 2.4 kg/min, 此时含杂率低于 0.5%, 破碎率低于 1%, 未脱净率低于 2%, 夹带损失率低于 0.7%, 飞溅损失率与沉积率为 0。

2) 四因素对破碎率影响的主次关系: 植株体积含水率、喂入量、滚筒线速度和脱粒间隙。对含杂率影响的主次关系: 脱粒间隙、滚筒线速度、含水率和喂入量。对夹带损失率影响的主次关系: 滚筒线速度、脱粒间隙、

喂入量和植株体积含水率。对未脱净率影响的主次关系: 滚筒线速度、植株体积含水率、脱粒间隙和喂入量。

3) 作业完成后对机体内的残留物清理方便, 有效地解决了混种问题, 同时提高了生产效率。

[参 考 文 献]

- [1] 张海军, 韩正晟, 王丽维. 小区种子收获机械的研究现状与发展[J]. 湖南农业科学, 2008, 139(6): 102-104. Zhang Haijun, Han Zhengsheng, Wang Liwei. Present researching status and development of pot seed harvesting machinery[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2008, 139(6): 102-104. (in Chinese with English abstract)
- [2] 郭佩玉, 尚书祺, 汪裕安. 普及和提高田间育种机械化水平[J]. 农业工程学报, 2003, 19: 53-55. Guo Peiyu, Shang Shuqi, Wang Yu'an. Popularizing and increasing the level of mechanization filed breeding equipment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2003, 19: 16-19. (in Chinese with English abstract)
- [3] 郭佩玉, 汪裕安. 努力建成中国的育种机械化体系[J]. 农业工程学报, 1999, 15(增刊): 52-55. Guo Peiyu, Wang Yu'an. Strive to build China's breeding mechanization system [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1999, 15(Supp.): 52-55. (in Chinese with English abstract)
- [4] 王长春. 田间育种试验机械化的发展[J]. 世界农业, 2001(4): 43-44. Wang Changchun. The development of the breeding experiment mechanization[J]. World Agriculture, 2001(4): 43-44. (in Chinese with English abstract)
- [5] 李耀明, 李洪昌, 徐立章, 等. 短纹杆-板齿式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 with English abstract)

- [6] 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 axial-rethreshing with axial feeding[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(11): 50—54. (in Chinese with English abstract)
- [7] 徐立章, 李耀明, 李洪昌. 水稻谷粒脱粒损伤的影响因素分析[J]. 农业机械学报, 2008, 39(12): 55—59.
Xu Lizhang, Li Yaoming, Li Hongchang. Analysis on factors affecting performance of rice kernel damage during threshing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(12): 55—59. (in Chinese with English abstract)
- [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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(8): 16—19. (in Chinese with English abstract)
- [9] 万霖, 衣淑娟, 马永财. 纵置单轴流滚筒脱粒与分离装置功耗性能试验研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005, 17(2): 56—58.
Wang Lin, Yi Shujuan, Ma Yongcai. Study on power consumption of single axial flow threshing and separating unit of paddy[J]. J. of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2005, 17(2): 56—58. (in Chinese with English abstract)
- [10] 万霖, 衣淑娟, 张波, 等. 水稻单轴流脱粒滚筒合理工艺参数的试验研究[J]. 农机化研究, 2007(8): 113—114.
Wan Lin, Yi Shujuan, Zhang Bo, et al. Study on reasonable technology parameter of axial flow threshing unit of paddy[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(8): 113—114. (in Chinese with English abstract)
- [11] 孙大尉, 衣淑娟, 历锐. 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]. J. of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2010, 22(1): 36—39. (in Chinese with English abstract)
- [12] 徐中儒. 回归分析与试验设计[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [13] Chen Haitao. Development of a baker's garlic seed bulb cluster separator using response surface methodology[C]// ASAE/CSAE Annual International Meeting, 1-4 August 2004.
- [14] GB/T 5982-2005, 脱粒机试验方法[S].

Parameters optimization of vertical axial flow thresher for soybean breeding

Hou Shouyin, Chen Haitao*

(College of Engineering, Northeast Agriculture University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to find the optimal combination of the structure and working parameters of the vertical axial-flow soybean breeding thresher, and experiments were conducted to study the effect of the structure and working parameters for threshing, separating and cleaning. The structure and working principle were introduced. A central composite rotatable orthogonal experimental design of response surface methodology was employed for finding the optimum combination effecting on the working properties. The four parameters: linear velocity, concave clearance, feeding rate and moisture content were selected as input variables. Cracked grains, impurities, loss of entrapped grains, loss of unthreshed grains, spattered grains and residual grains were selected as response functions. Experimental results indicated that the most optimum combination region of the moisture content was 14%-20%, the linear velocity was 6.5-8.3 m/s, the concave clearance was 15 mm, the feeding rate was 2.4 kg/min, the cracked grains were less than 1%, impurities were less than 0.5%, loss of unthreshed grains were less than 2% and loss of entrapped grains were less than 0.7%. Spattered grains and residual grains were zero.

Key words: experiments, optimization, seed, vertical axial, threshing machine, soybean