

超级稻摘穗收获机沉降箱性能分析与运行参数优化*

蒋恩臣 孙占峰 潘志洋 王立军

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 为使 4ZTL-2000 型摘穗收获机收获超级稻时具有最佳清选性能,以谷物清洁率和沉降箱能耗为指标,沉降箱入口气流速度、谷物喂入量及其初速度为影响因素,采用二次正交旋转组合设计试验,利用 Design-Expert 6.0.10 进行数据处理,得出回归数学模型,通过响应曲面方法分析指标与因素间的相互作用,并对回归数学模型进行多目标优化。结果表明:沉降箱入口气流速度对沉降箱指标影响最大,谷物初速度相对小,谷物喂入量的影响最小。为使沉降箱处理超级稻(目前谷物喂入量最大为 3.78 kg/s)时具有最佳性能,通过优化获得运行参数的最佳组合为:沉降箱入口气流速度为 13.93 m/s,谷物初速度为 18.84 m/s。通过试验验证谷物清洁率达到了 90.1%,沉降箱能耗为 348.3 Pa,籽粒沉降效率为 100%。

关键词: 摘穗收获机 沉降箱 超级稻 运行参数 正交试验

中图分类号: S225 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)01-0100-06

Performance Analysis and Operational Parameters Optimization of Deposition Chamber to Clean Super Rice in Stripper Combine Harvester

Jiang Enchen Sun Zhanfeng Pan Zhiyang Wang Lijun

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

Abstract: 4ZTL-2000 rice stripper combine harvester with air suction is a feasible machine for the harvesting of super rice. Deposition chamber is a key part of combine harvester. In order to obtain the outstanding performance and optimal parameters of the deposition chamber to clean super rice, quadratic orthogonal rotational combinational design was conducted. The factors were selected as inlet airflow velocity of the deposition chamber, mass and velocity of grain fed. Cleaning rate of grain and airflow pressure drop in the deposition chamber were objective indexes. The regression models between indexes and factors were developed by using Design-Expert software. The interactions of factors on the indexes were analyzed by the response surface method. The results show that inlet airflow velocity of the deposition chamber has the most significant effect on the indexes of the chamber, followed by velocity of grain fed, then mass of grain fed. In order to make the deposition chamber reach optimum performance to clean super rice under the mass of grain fed of 3.78 kg/s in combine harvester, factors in the regression mathematical models were optimized to obtain the optimal parameters as inlet airflow velocity of deposition chamber of 13.93 m/s, velocity of grain fed of 18.84 m/s with cleaning rate of grain out of the deposition chamber of 90.26% and airflow pressure drop in the deposition chamber of 350.36 Pa. The verified experimental results were that cleaning rate of grain out of the deposition chamber of 90.1% and airflow pressure drop in the deposition chamber of 348.3 Pa, which were consistent with the optimized results. The results offer the information to improve the performance of the deposition chamber to clean super rice in stripper combine harvester.

Key words: Stripper combine harvester Deposition chamber Super rice Operational parameters Orthogonal experiment

收稿日期: 2014-02-18 修回日期: 2014-03-15

* 国家自然科学基金资助项目(51005045)

作者简介: 蒋恩臣,教授,博士生导师,主要从事生物质能利用技术与水稻生产机械化研究,E-mail: ecjiang@sina.com

通讯作者: 王立军,教授,主要从事收获机械研究,E-mail: wljszf@163.com

引言

近年来,超级稻已成为农业领域的研究热点。随着超级稻产量的增加,给收获机械的谷物分离清选能力提出了新的要求。国外对联合收获机研究比较成熟,已向智能化方向发展,Craessaerts 等采用模糊理论控制模型对联合收获机作业时的清选过程进行了实时自动监测控制^[1-2]。Hanna 等测量了联合清选旋转滚筒不同区域谷物及杂余的量^[3]。Veal 等基于质量流量感应装置对谷物联合收获机喂入室的性能进行了评估^[4]。为了收获高产麦,Ebrahimi 等利用多目标决策优化了小型联合收获机^[5]。Maertens 等建立动态谷物流动模型描述脱粒末端谷物响应流^[6]。国内对处理大喂入量的联合收获机械研究较少,李耀明等针对大喂入量联合收获机轴流脱粒清选装置进行了相关研究^[7-10]。钟挺等对 4LZ-1.0Q 型稻麦联合收获机脱粒清选部件进行了研究^[11]。廖庆喜等建立了油菜联合收获机脱出物清选试验台^[12]。尹文庆等基于 CFD 对风筛式清选装置气流场进行了优化研究^[13]。目前,蒋亦元研究的 4TZL-2000 型气吸式割前摘脱稻麦联合收获机是解决超级稻大喂入量的理想机械之一,韩豹等针对其收获超级稻的摘脱滚筒进行了试验研究^[14]。沉降箱是联合收获机的重要组成部分,其性能直接影响该联合收获机向高速、高效、高性能、高可靠性发展,但目前沉降箱对超级稻的沉降清选性能还未见研究报道,有必要进行详细研究。本文在预试验和前期研究的基础上^[15],改进沉降箱的试验台,采用二次正交旋转组合设计进行试验,考察沉降箱分离清选超级稻的性能,寻求主要参数最佳组合,为超级稻摘穗收获机沉降箱性能参数优化提供依据。

1 沉降箱结构及工作原理

1.1 沉降箱结构参数

沉降箱主要由谷物入口、隔板、杂余出口、水平输送带、竖直输送带和排料叶轮等组成,如图 1 所示。其主要结构参数为:长 1 800 mm,宽 560 mm,高 900 mm。沉降箱入口截面与出口截面均为 400 mm × 300 mm。

1.2 沉降箱工作原理

稻穗经联合收获机摘脱滚筒摘脱后,籽粒、断穗、颖壳及短茎秆等混合物在气流作用下经过摘脱滚筒与沉降箱间倾斜输送器内的拨指助推器加速被抛至沉降箱入口,在沉降箱内,颖壳和短茎秆等较轻杂余在气流作用下被携带出沉降箱,籽粒和断穗等由沉降箱内的水平输送带和竖直输送带

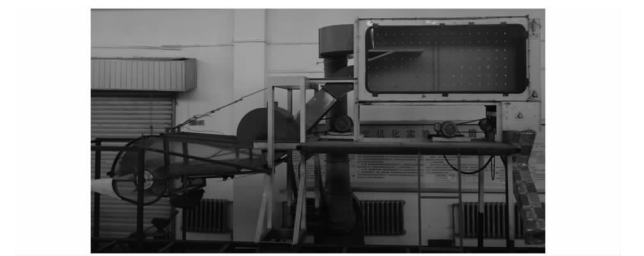


图 1 沉降箱试验系统局部图

Fig. 1 Part experimental system of deposition chamber

1. 摘脱滚筒 2. 拨指助推器 3. 杂余出口 4. 隔板 5. 竖直输送带 6. 排料叶轮 7. 集粮口 8. 水平输送带 9. 风机 10. 谷物入口

送至排料叶轮排出进而在集粮口被收集,实现谷物的初清选。

2 试验材料、方法与过程

2.1 试验材料与仪器

试验水稻为松粳 9 号。时间为 2013 年 10 月 1—5 日,水稻自然株高为 970 mm,平均穗幅差 220 mm,种植密度(行距 × 株距)300 mm × 150 mm,平均每穴 22 株,100 株平均每株籽粒数为 141 粒,籽粒千粒质量为 23.9 g。籽粒含水率为 22.32%,茎秆含水率为 60.28%。

试验方法及仪器:采用谷物干燥的方法测定谷物含水率,采用精密电子秤(型号 BS2202S,精度 0.01 g,德国 Sartorius AG)测量谷物质量,采用 EMT260D 型高精度转速表测量风机的转速,采用 L 型标准皮托管测量沉降箱出入口压力。

2.2 试验性能指标

在沉降箱内籽粒沉降效率为 100% 情况下,为考察沉降箱工作性能选取谷物清洁率 y_1 和沉降箱能耗 y_2 为评价指标。其公式为

$$y_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \times 100\% \tag{1}$$
$$y_2 = p_2 - p_1 \tag{2}$$

式中 m_1 ——集粮口处收集的籽粒质量,kg
 m_2 ——集粮口处收集的颖壳、短茎秆等杂余质量,kg
 p_1 ——沉降箱谷物入口截面平均压力,Pa
 p_2 ——沉降箱杂余出口截面平均压力,Pa

2.3 试验参数

2.3.1 沉降箱入口气流速度

利用 L 型皮托管采用等截面法测量沉降箱谷物入口与杂余出口的静压和全压。谷物入口和杂余出口截面均设 35 个测点,其测点分布如图 2 所示。根据气流平均动压可换算出入、出口截面的平均气流速度。联合收获机田间作业风机转速通常为

1 950 r/min(考虑到胶带打滑转速损失后),测得沉降箱入口气流平均速度为 14 m/s,并将其作为 0 水平取值。

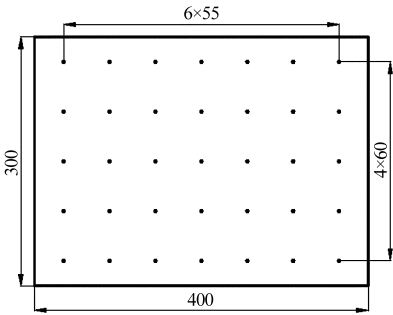


图 2 入、出口测点分布示意图

Fig. 2 Distribution of points tested in the inlet and outlet

2.3.2 谷物喂入量

我国高产水稻的产量已达到 13 500 kg/hm²。根据联合收获机田间作业行走速度 0.8 ~ 1.4 m/s,机器的幅宽是 2 m,计算获得联合收获机的谷物喂入量是 2.16 ~ 3.78 kg/s,求中间值并取整作为 0 水平值。试验时,通过计算调整台车的速度和每穴夹持水稻株数来确定谷物喂入量。谷物喂入量与水稻夹持株数的关系为

$$n = \frac{QL}{70qv}$$
 (3)

式中 Q ——谷物喂入量,kg/s
 q ——每株水稻脱出物质量,kg
 v ——台车行走速度,试验时设定最大值为 1.4 m/s
 L ——台车长度,m
 n ——每穴株数

通过预试验时绑定 70 穴水稻,收集脱出物的质量,点出 70 穴水稻共有株数,推出每株水稻的脱出物质量。

2.3.3 谷物初速度

前期基于高速摄像对沉降箱入口籽粒的运动速度进行了图像观察并分析,结果显示拨指轮指尖速度与籽粒在沉降箱入口的速度并不呈现规律性关系,平均速度差达 10 m/s 以上,而且拨指助推器使谷物加速后抛掷到沉降箱入口过程中籽粒与籽粒及壁面碰撞的能量损失无法计量,因而将沉降箱的入口选在拨指末端截面,由拨指助推器指尖线速度决定谷物初速度。通常拨指助推器转速是 600 r/min,指尖速度是 21.21 m/s,作为 0 水平值。

2.4 试验设计

为确定参数最佳组合,采用二次正交旋转组合设计试验,三因素五水平共计 23 组试验,试验因素与水平编码表如表 1 所示。

表 1 试验因素水平编码

编码	因素		
	沉降箱入口气流速度 $x_1/(m \cdot s^{-1})$	谷物喂入量 $x_2/(kg \cdot s^{-1})$	谷物初速度 $x_3/(m \cdot s^{-1})$
-1.682	10.64	2.16	18.84
-1	12	2.5	19.80
0	14	3.0	21.21
1	16	3.5	22.63
1.682	17.36	3.84	23.59

参照 GB/T 8097—2008《收获机械 联合收割机 试验方法》中相关规定进行试验。考虑到田间土壤、天气及种植模式的变化,为模拟田间收获试验真实性,水稻连根带土一起挖出,用塑料袋包裹并立即运回实验室,按照田间生长状态进行试验布置。每次试验布置两行,共 70 穴。

水稻室内试验台架上分布与田间相似,如图 3 所示。

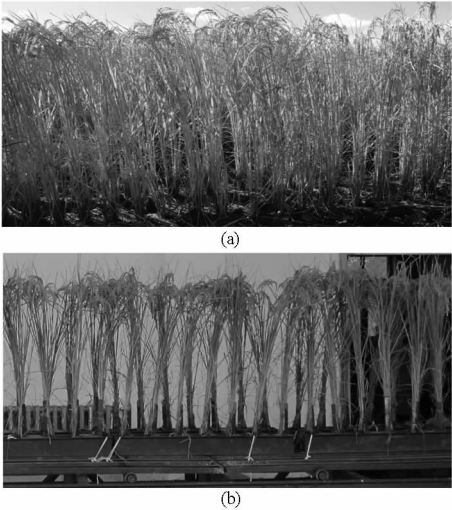


图 3 水稻分布

Fig. 3 Distributions of rice

(a) 田间分布 (b) 室内分布

3 试验结果与分析

试验方案与结果如表 2 所示,对比谷物喂入量的设计值与实际值,误差小于 2.7%,近似按谷物喂入量的设计值对结果进行分析。

3.1 谷物清洁率

3.1.1 谷物清洁率的回归结果分析

经 Design-Expert 6.0.10 软件对表 2 试验结果处理获得谷物清洁率的回归数学模型为

$$y_1 = 27.57 + 6.48x_1 - 0.71x_2 + 1.72x_3 - 0.09x_1^2 - 0.15x_1x_3 \quad (R^2 = 0.945) \quad (4)$$

对谷物清洁率进行方差分析,在置信度 $\alpha = 0.05$ 下采用 F 检验,剔除模型中不显著项,所得谷

物清洁率的方差分析结果为模型显著性检验 F 值为 54.21, $p < 0.000\ 1$, 说明模型极显著, 而失拟项 $p = 0.299\ 5 > 0.05$, 残差项不显著, 说明所得的回归数学模型与实际结果拟合良好。采用贡献率法 K

可粗略判定各因素对指标 Y 影响的重要性, 经分析计算, 各因素对谷物清洁率的贡献率为: $\Delta_{x_1} = 2.37$, $\Delta_{x_2} = 0.89$, $\Delta_{x_3} = 1.44$ 。由此可得, 各因素对谷物清洁率的影响强弱顺序为: x_1 、 x_3 、 x_2 。

表 2 试验方案及结果
Tab.2 Results and design of tests

编号	沉降箱入口气流速度	设计谷物喂入量	谷物初速度	实际谷物喂入量	清洁率	能耗
	$x_1/(m \cdot s^{-1})$	$x_2/(kg \cdot s^{-1})$	$x_3/(m \cdot s^{-1})$	$/(kg \cdot s^{-1})$	$y_1/\%$	y_2/Pa
1	12	2.5	19.80	2.487	88.58	226.42
2	16	2.5	19.80	2.493	92.36	469.31
3	12	3.5	19.80	3.540	87.88	227.62
4	16	3.5	19.80	3.513	91.23	471.92
5	12	2.5	22.63	2.499	88.48	196.89
6	16	2.5	22.63	2.484	90.04	464.90
7	12	3.5	22.63	3.504	87.35	202.21
8	16	3.5	22.63	3.501	89.45	470.12
9	10.64	3.0	21.21	3.039	86.27	141.67
10	17.36	3.0	21.21	3.054	91.91	557.45
11	14	2.16	21.21	2.133	90.64	320.75
12	14	3.84	21.21	3.768	89.88	344.43
13	14	3.0	18.84	3.030	91.33	340.19
14	14	3.0	23.59	3.006	89.36	311.61
15	14	3.0	21.21	3.081	89.89	325.96
16	14	3.0	21.21	3.090	89.84	328.58
17	14	3.0	21.21	3.054	89.92	333.97
18	14	3.0	21.21	3.048	89.96	338.42
19	14	3.0	21.21	3.021	90.12	316.19
20	14	3.0	21.21	2.982	89.88	328.83
21	14	3.0	21.21	3.027	88.92	330.39
22	14	3.0	21.21	3.057	89.81	329.82
23	14	3.0	21.21	3.027	89.92	328.78

3.1.2 谷物清洁率与各参数的响应曲面分析

根据表 2 试验数据, 各因素对谷物清洁率的响应曲面如图 4 所示。
等高线的形状可反映出交互效应的强弱, 椭圆形表示两因素交互作用显著, 而圆形则与之相反。由图 4 可知, 图 4a 与图 4c 等高线平行, 说明因素之间并无交互作用, 而图 4b 等高线不平行, 说明谷物初速度和沉降箱入口气流速度存在交互作用, 这与方差分析结果一致。

由图 4a 可知, 当谷物初速度处于 0 水平时, 谷物清洁率随着沉降箱入口气流速度增大而增大, 这是因为当沉降箱入口气流速度增大时, 气流携带颖壳、短茎秆等杂余能力增强, 大部分杂余被气流携带出沉降箱, 所以谷物清洁率增大; 谷物清洁率随着谷物喂入量的增大而减小, 这是因为当谷物喂入量增大时, 短茎秆等杂余增多, 部分杂余还未来得及被气流携带出沉降箱就被排料叶轮排出, 从而导致谷物清洁率减小。

由图 4b 可知, 沉降箱入口气流速度和谷物初速

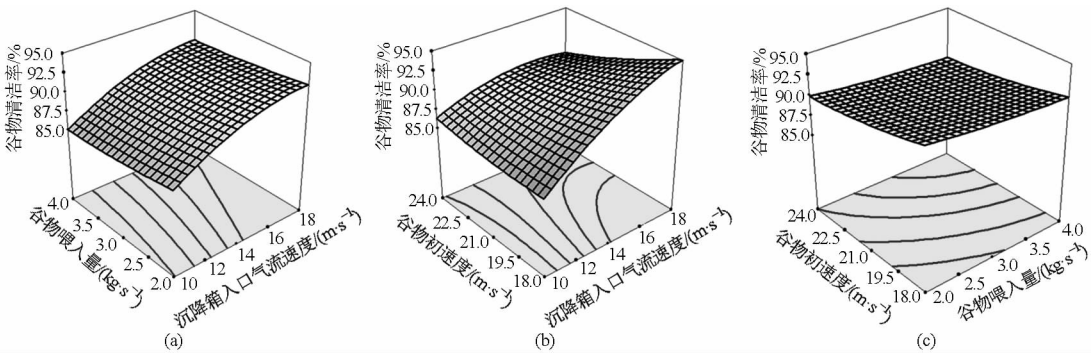


图 4 各因素对谷物清洁率影响的响应曲面
Fig.4 Response surfaces of all factors on the cleaning rate of grain

度存在交互作用,在谷物喂入量处于0水平时,当沉降箱入口气流速度处于低水平时,谷物清洁率随着谷物初速度的增加而基本保持不变。当沉降箱入口气流速度处在高水平时,谷物清洁率随着谷物初速度的增加而减小。这是因为随着谷物初速度的增加,部分短茎秆等杂余还未来得及被气流携带出沉降箱,就撞到沉降箱后壁竖直输送带,在竖直输送带的作用下,杂余落入排料叶轮内随着籽粒一起被排出,从而导致清洁率降低。由图4b响应曲面可以看出,沉降箱入口气流速度越大,谷物初速度越小,谷物清洁率越大。

由图4c可知,当沉降箱入口气流速度处于0水平时,谷物清洁率随着谷物喂入量和初速度的增加而减小。这是因为随着谷物喂入量和初速度的增加,短时间内短茎秆等杂余增多,部分杂余未来得及被气流携带出沉降箱而随籽粒一起被排料叶轮排出,从而导致谷物清洁率降低。

从图4中响应曲面可以看出,当沉降箱入口气流速度变化时,谷物清洁率的变化区间较大,当谷物喂入量和谷物初速度变化时,谷物清洁率的变化区间不明显,这说明沉降箱入口气流速度是影响谷物清洁率的主要因素,而谷物喂入量和谷物初速度是次要因素,这与贡献率分析结果相一致。

3.2 沉降箱能耗

3.2.1 沉降箱能耗的回归结果分析

同理获得沉降箱能耗的回归数学模型为

$$y_2 = 586.38 - 40.27x_1 + 7.93x_2 - 35.79x_3 + 2.05x_1^2 + 2.15x_1x_2 \quad (R^2 = 0.99) \quad (5)$$

沉降箱能耗的方差分析为模型显著性检验 F

值为1 239.83, $p < 0.0001$,说明模型极显著,而失拟项 $p = 0.5284 > 0.05$,残差项不显著,说明所得的回归数学模型与实际结果拟合良好。经分析计算,各因素对沉降箱能耗的贡献率为: $\Delta_{x_1} = 2.41$, $\Delta_{x_2} = 0.83$, $\Delta_{x_3} = 1.39$ 。由此可得,各因素对沉降箱能耗影响强弱顺序为: x_1 、 x_3 、 x_2 。

3.2.2 沉降箱能耗的响应曲面分析

根据试验数据,各因素对沉降箱能耗的响应曲面如图5所示。

由图5a可知,当谷物初速度处于0水平时,沉降箱能耗随着沉降箱入口气流速度的增加而增加,随着谷物喂入量的增加而增加。这是因为当气流速度增加时,谷物在水平带后部沉降,谷物在气流作用下时间变长,能耗增加;谷物喂入量增大时,气流单位时间内携带更多的谷物运动,从而能耗增加。

由图5b可知,当谷物喂入量处在0水平时,沉降箱能耗随着沉降箱入口气流速度的增大而增加。无论沉降箱入口气流速度处于低水平或高水平时,沉降箱能耗随着谷物初速度的增大基本保持不变,这是因为谷物初速度(即便谷物之间发生碰撞导致初速度变小)始终大于气流速度,不需要消耗气流的能量输送谷物,因而不会造成气流能耗的增加或者减少。与图5c的规律一致。

从图5中响应曲面可以看出,当沉降箱入口气流速度变化时,能耗的变化区间比较大,当谷物喂入量和谷物初速度变化时,能耗的变化区间不大,这说明沉降箱入口气流速度是影响沉降箱能耗的主要因素,谷物喂入量和谷物初速度是次要因素,这与贡献率分析结果相一致。

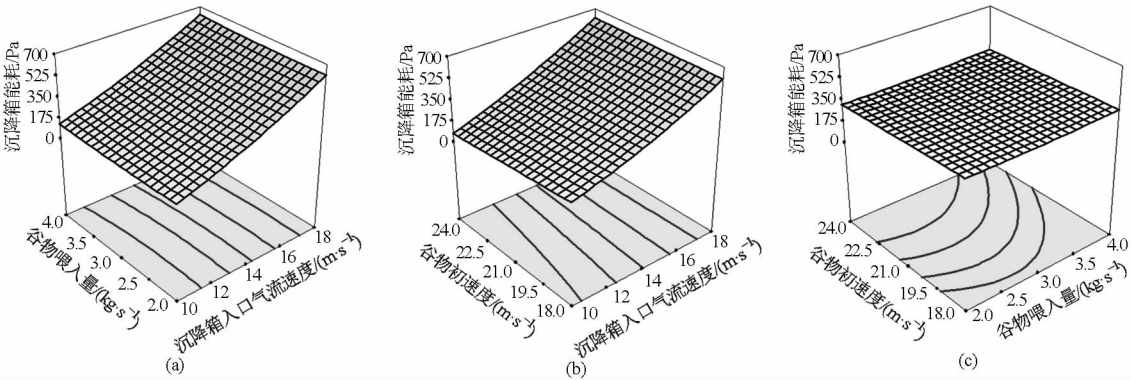


图5 各因素对沉降箱能耗影响的响应曲面

Fig. 5 Response surfaces of all factors on the airflow pressure drop of the deposition chamber

4 参数优化

通过上述分析知,谷物清洁率越高说明沉降箱对超级稻的清选性能越好。当谷物喂入量达到最大时(3.78 kg/s),为了考察沉降箱对超级稻的处理性能,建立其数学模型

$$\begin{cases} \max y_1 \\ \min y_2 \\ \text{s. t. } 10.64 \leq x_1 \leq 17.36 \\ \quad \quad x_2 = 3.78 \text{ kg/s} \\ \quad \quad 18.84 \leq x_3 \leq 23.59 \end{cases} \quad (6)$$

当谷物喂入量高达 3.84 kg/s, 最优解为: $x_1 = 13.93$ m/s, $x_3 = 18.84$ m/s, 此时谷物清洁率和沉降箱能耗分别为 90.26% 和 350.36 Pa。2013 年 10 月 17 日, 根据优化结果选定沉降箱入口气流速度为 13.93 m/s, 谷物喂入量为 3.78 kg/s, 谷物初速度为 18.84 m/s, 进行试验验证, 谷物清洁率达到了 90.1%, 沉降箱能耗为 348.3 Pa, 此时的割前摘脱总损失为 1.64%, 回收率为 0.553%, 籽粒沉降效率为 100%。与优化结果基本一致, 验证了沉降箱满足超级稻摘脱后的沉降初清选要求。基于上述结果, 联合收获机田间收获超级稻时最佳工作参数调整为: 风机转速 1 853 r/min, 摘脱滚筒转速 841 r/min (拨指助推器转速 533 r/min)。

5 结论

(1) 采用二次正交旋转组合设计试验, 建立了沉降箱沉降清选性能指标与影响参数间的数学模型。沉降箱入口气流速度对其收集谷物清洁率和能耗的影响最大, 谷物初速度相对小, 谷物喂入量的影响最小。

(2) 为使沉降箱处理喂入量为 2.16 ~ 3.84 kg/s 超级稻时具有高性能, 通过优化得到了谷物喂入量最高达 3.78 kg/s 时, 运行参数最佳组合为: 沉降箱入口气流速度 13.93 m/s、谷物初速度 18.84 m/s。

(3) 验证试验结果与优化结果基本一致。室内试验研究结果有待进行田间试验验证。

参 考 文 献

- 1 Geert Craessaerts, Josse de Baerdemaeker, Bart Missotten, et al. Fuzzy control of the cleaning process on a combine harvester [J]. Biosystems Engineering, 2010, 106(2): 103 - 111.
- 2 Geert Craessaerts, Wouter Saeys, Bart Missotten, et al. Identification of the cleaning process on combine harvesters, part II: a fuzzy model for prediction of the sieve losses [J]. Biosystems Engineering, 2010, 106(2): 97 - 102.
- 3 Hanna H M, Jarboe D H, Quick G R. Grain residuals and time requirements for combine cleaning [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2009, 25(6): 851 - 861.
- 4 Veal M W, Shearer S A, Fulton J P. Development and performance assessment of a grain combine feeder house-based mass flow sensing device [J]. Transactions of the ASABE, 2010, 53(2): 339 - 348.
- 5 Ebrahimi Nik M A, Khademolhosseini N, Abbaspour-Fard M H, et al. Optimum utilisation of low-capacity combine harvesters in high-yielding wheat farms using multi-criteria decision making [J]. Biosystems Engineering, 2009, 103(3): 382 - 388.
- 6 Maertens K, de Baerdemaeker J, Ramon H, et al. PA—precision agriculture: an analytical grain flow model for a combine harvester, part II: analysis and application of the model [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2001, 79(2): 187 - 193.
- 7 Li Yaoming, Chen Yi. Monitoring method and device of attachment loss in combine harvester [J]. International Agricultural Engineering Journal, 2011, 20(2): 14 - 19.
- 8 李耀明, 唐忠, 徐立章, 等. 纵轴流脱粒分离装置功耗分析与试验 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 93 - 97.
- 9 Li Yaoming, Tang Zhong, Xu Lizhang, et al. Power analysis and experiment on longitudinal axial-threshing unit test-bed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 93 - 97. (in Chinese)
- 9 李耀明, 陈义, 赵湛, 等. 联合收获机清选损失监测方法与装置 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊 2): 7 - 11.
- 10 Li Yaoming, Chen Yi, Zhao Zhan, et al. Test and analysis of wheat entrainment loss for tangential-longitudinal-axial combine harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Sup. 2): 7 - 11. (in Chinese)
- 10 李洪昌, 李耀明, 唐忠, 等. 风筛式清选装置振动筛上物料运动 CFD-DEM 数值模拟 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 79 - 84.
- 11 Li Hongchang, Li Yaoming, Tang Zhong, et al. Numerical simulation of material motion on vibrating screen of air-and-screen cleaning device based on CFD-DEM [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 79 - 84. (in Chinese)
- 11 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.
- 12 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)
- 12 廖庆喜, 陈立, 李海同, 等. 油菜联合收获机脱出物清选试验台 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(10): 80 - 85, 79.
- 13 Liao Qingxi, Chen Li, Li Haitong, et al. Cleaning unit test-bed of extraction components for rape combine harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(10): 80 - 85, 79. (in Chinese)
- 13 李骅, 张美娜, 尹文庆, 等. 基于 CFD 的风筛式清选装置气流场优化 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊 2): 12 - 16.
- 14 Li Hua, Zhang Meina, Yin Wenqing, et al. Optimization of airflow field on air-and-screen cleaning device based on CFD [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Sup. 2): 12 - 16. (in Chinese)
- 14 韩豹, 蒋亦元, 吴文福. 倒伏超级稻割前摘脱台试验 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 90 - 94.
- 15 Han Bao, Jiang Yiyuan, Wu Wenfu. Experiments on stripping header for harvesting lodging super rice [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(6): 90 - 94. (in Chinese)
- 15 蒋恩臣, 孙占峰, 潘志洋, 等. 基于 CFD - DEM 的收获机分离室内谷物运动模拟与试验 [J]. 农业机械学报, 2014, 45(4): 117 - 122.
- 16 Jiang Enchen, Sun Zhanfeng, Pan Zhiyang, et al. Numerical simulation based on CFD - DEM and experiment of grain moving laws in inertia separation chamber [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(4): 117 - 122. (in Chinese)