

双吸风口振动式花生荚果清选装置设计与试验*

高连兴¹ 李献奇¹ 关萌¹ 程晋² 张旭东² 刘志侠¹

(1. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110866; 2. 辽宁省农业机械化研究所, 沈阳 110866)

摘要: 为改进花生摘果机、花生捡拾收获机的清选装置,提高花生清选性能,在花生摘果机清选物飘浮速度试验基础上,根据饱满花生荚果、空瘪果、碎茎秆、果柄和花生叶等各组分飘浮速度差异,提出了前、后2个吸风口(双吸风口)与振动筛组合式清选原理,进行了总体方案与关键部件设计并研制出5XT-2Z型花生摘果机,通过清选性能试验研究了振动筛振动频率、吸风口高度和风机转速对花生清选损失率和含杂率的影响。试验结果表明,3种饱满花生荚果飘浮速度为10.30~14.39 m/s,空瘪果、碎茎秆、花生果柄和花生飘浮速度分别为7.03~8.89 m/s、4.51~5.46 m/s、2.80~3.35 m/s、1.74~2.13 m/s;优化后的振动筛曲柄转速为200 r/min,吸风口高度为135 mm,风机转速为390 r/min,此参数下清选损失率为1.35%,含杂率为1.75%。

关键词: 花生摘果机 清选装置 气吸式 振动筛

中图分类号: S225.7⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)03-0110-08

Design and Test on Cleaning Device of Peanut Pods with Double Air-suction Inlets with Vibration Screen

Gao Lianxing¹ Li Xianqi¹ Guan Meng¹ Cheng Jin² Zhang Xudong² Liu Zhixia¹

(1. College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China

2. Agricultural Mechanization Research Institute of Liaoning Province, Shenyang 110866, China)

Abstract: For the purpose to improve the cleaning performance including reducing the losses and impurity rate of peanut picker and harvester with two-stages, based on the study results on the floating velocities of different extraction components of peanut pods, the cleaning principle and scheme with double air-suction inlets combined with vibration screen was put forward. The overall structure as well as the key parts of the proposed cleaning device was designed. And the cleaning device was developed and its performance test and study was conducted under peanut harvest production condition. The parts of pneumatic cleaning named double air-suction inlets contained the front suction inlet and the rear suction which worked separately step by step and together in two steps. The front suction inlet was close to the peanut picker which cleaned lighter materials such as the peanut fruit stalk and the peanut leaf, and the rear suction inlet was close to the discharge port which cleaned immature peanut pods and the crushed stems. The tested results showed the floating velocity of different extraction components of peanut picked gained by means of type PS-20 measuring test-bed, such as peanut pods was 10.30~14.39 m/s, the immature peanut pods was 7.03~8.89 m/s, the crushed stems was 4.51~5.46 m/s, the peanut fruit stalk was 2.80~3.35 m/s, and the peanut leaf was 1.74~2.13 m/s; and the optimal parameters of cleaning device of peanut picker with air double-suction combined vibration screen, three parameters, including rotating speed of crank, height of air suction inlet, and rotating speed of fan, were selected as

收稿日期: 2014-06-22 修回日期: 2014-09-13

* 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20122103110009)、国家自然科学基金资助项目(50775151)和辽宁省农业攻关及成果产业化资助项目(2014201007)

作者简介: 高连兴,教授,主要从事农业产品收获与加工机械研究,E-mail: lianxing_gao@126.com

通讯作者: 刘志侠,副教授,主要从事农业产品收获与加工机械研究,E-mail: liuzhixia888@163.com

input variables. The loss rate and the impurity rate as output parameters and the performance test for the cleaning device were conducted. A quadratic orthogonal rotary regressive experimental design was employed to develop the second order polynomial regression models, which explained the relationship between the input and output parameters, and then, the main parameters of the cleaning device were optimized through Design-Expert 8.0.6 software. Experimental results indicated that the most optimum combination was that: the crank rotating speed of 200 r/min, the air suction inlet height of 135 mm and the fan rotating speed of 390 r/min. The loss rate of peanut pods was 1.35% and the impurity rate was 1.75%.

Key words: Peanut picker Cleaning device Air-suction Vibrating sieve

引言

清选是花生收获过程的重要环节之一,清选装置是花生摘果机和收获机重要组成部分,直接影响花生荚果质量和后续加工^[1]。花生摘果机清选装置一般根据摘果机清选物几何尺寸和空气动力学特性差异,采用振动筛和气力组合清选原理^[2]。

对于农业物料空气动力学特性和气力清选装置等领域的研究,前人已做了大量工作^[3-12]: Gorial 等研究了谷物及其秸秆的飘浮速度;吴守一等用高速摄影技术研究了典型农业物料在水平气流和重力作用下的运动轨迹;马征等研究了油菜脱出物各成分飘浮速度及其风筛式清选装置;陈立等研究了油菜脱出物各成分飘浮速度与不同含水率之间的关系;高连兴等研究了花生脱壳产物、大豆脱出物飘浮速度。然而,除农业物料空气动力学特性及其影响因素外,目前研究的振动筛与气吹组合装置主要采用横流或斜流气吹式,由于气流穿过振动筛面及物料层后减弱,清选效率低、效果差,同时清选出的杂质位移小、难以收集。若采用气吸与振动筛组合清选,吸气气流将不受筛面与料层影响,不但可提高清选效率,而且可借助气流作用进行杂质的输送和旋风分离;采用前、后双吸风口分步气吸清选及其在花生摘果机上的应用研究尚未见有文献报道。

本文通过 PS-20 型物料飘浮试验台测得花生摘果机清选物飘浮速度,并在此基础上研制出采用振动筛和双气吸口气吸组合清选原理的 5XT-2Z 型花生摘果机,并进行清选试验与参数优化。

1 总体结构与原理

5XT-2Z 型花生摘果机由摘果装置与清选装置构成,其中清选装置由振动筛与气吸装置两部分构成。前者由振动筛、偏心轮传动机构、摆杆等构成;后者由传动机构、风机、前吸风口、后吸风口及吸风口调节套等构成(图 1)。

清选装置采用振动筛与气吸组合式清选原理^[13-14],其工作过程是:花生摘果产物首先落到振动筛上,振动筛使清选物料均匀输送并将小土块、石子和碎秸秆等杂质清除;靠近摘果装置的前吸风口吸除筛面上较轻、飘浮速度较小的花生叶、花生果柄等成分,靠近出料口的后吸风口吸除混杂在花生荚果中飘浮速度较大的碎秸秆、空瘪荚果等成分。由于该装置采用前、后吸风口分别清除不同成分杂质,所以称为“分步双吸”。

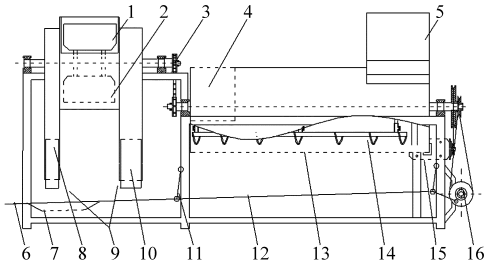


图 1 5XT-2Z 型花生摘果清选装置结构简图
Fig.1 Structure of type 5XT-2Z peanut fruit-picking cleaning testing device

- 1. 出风排杂口 2. 风机叶片 3. 链传动部分 4. 秧秆出口
- 5. 喂入槽 6. 出料口 7. 筛子砂石口 8. 后吸风口 9. 吸风口调节套
- 10. 前吸风口 11. 摆杆 12. 振动筛 13. 凹板筛
- 14. 摘果装置 15. 电动机 16. 偏心轮驱动装置

在清选过程中,振动筛在偏心传动机构驱动下按一定振幅和频率做往复运动,筛面前倾与地面呈一定角度,以利于物料向前移动;气吸装置的风机转速固定不变,吸风口处的吸气速度可通过调节吸风口调节套与筛面之间的垂直高度进行调节,以便吸气压力和气流速度适应不同品种、植株性状以及含水率状况的花生摘果清选;通过调整振动筛振动频率、振幅和倾角等参数,可以改变清选物在振动筛上的输送速度和物料的料层厚度,从而提高清选装置的适应性。

2 关键部件设计

2.1 花生摘果后各成分飘浮速度的测定

以辽宁主栽花生品种“花育 30”、“白沙 1016”

和“四粒红”为试验对象,花生起挖后以条铺状态在田间晾晒6~7 d进行摘果作业^[10],从花生摘果机作业现场随机取3种花生的饱满荚果、空瘪果、碎茎秆、果柄和花生叶各3份试样,进行飘浮速度试验。每份质量分别为:饱满荚果200 g、空瘪果100 g、碎茎秆100 g、花生果柄50 g和花生叶50 g,测定3种

花生荚果含水率分别为11.6%、10.7%和10.5%,3种花生空瘪荚果、碎茎秆、花生果柄和花生叶含水率趋于一致,分别为11.6%、9.4%、9.3%和7.5%。试验设备、方法及操作流程和结果换算公式参照文献[15-16],得出“花育30”、“白沙1016”和“四粒红”各种摘果成分的飘浮速度试验结果如表1。

表 1 花生摘果后各成分飘浮速度
Tab. 1 Floating speed of peanut components threshed m/s

花生品种	饱满荚果	空瘪果	碎茎秆	花生果柄	花生叶
花育 30	10.30 ~ 13.40	7.03 ~ 8.89	4.51 ~ 5.46	2.80 ~ 3.35	1.76 ~ 2.13
白沙 1016	10.50 ~ 12.32	7.20 ~ 8.83	4.81 ~ 5.36	2.80 ~ 3.25	1.75 ~ 2.12
四粒红	11.20 ~ 14.39	7.12 ~ 8.85	4.91 ~ 5.44	2.80 ~ 3.34	1.74 ~ 2.13

从表1可见,除饱满荚果飘浮速度因品种略有差异外,3种花生其他摘果成分的飘浮速度基本相同。分析得知,花生荚果大小、外形、百粒质量和均匀度存在一定差异,所以含水率相同或接近的不同品种花生荚果飘浮速度略有差异。本试验所选的“花育30”、“白沙1016”和“四粒红”3种花生,其中“四粒红”多为3粒或4粒且荚果均匀性差,因而飘浮速度偏高且变化范围略大;“白沙1016”多为2粒果、饱满度高且果形均匀,因而飘浮速度处于中等且变化范围小。目前尚未大面积推广的花生联合收获,因其挖掘、摘果与清选同步进行,鲜湿荚果含水率高达50%~55%,茎秆含水率均为70%~80%,果柄含水率为55%~65%,且泥土较多,不宜采用本研究的气吸式清选原理。现阶段最常用的分段收获,因地域不同而花生起挖后晾晒时间长短不同,摘果时花生含水率存在差异,如一年一季种植的东北等花生产区,一般花生起挖后田间晾晒5~7 d或更长时间后进行摘果作业,与两段收获时摘果情况相同或类似。

对于花生起收后需尽快腾出耕地种植下茬作物的南方花生产区,花生起收后晾晒时间相对较短即进行摘果。根据文献[15]研究结果,花生挖掘后田间晾晒3 d时,其秸秆、果柄和荚果含水率分别降至:“白沙1016”为20.99%、17.19%、14.93%，“花育30”为19.67%、13.97%、15.53%，“四粒红”为17.21%、15.67%、15.66%，相比本试验测试的含水率荚果高4%~5%、秸秆高7%~9%。因此,需要估算含水率变化对花生摘果各成分飘浮速度的影响。

收获实践表明,一定的含水率变化对花生荚果外形影响甚小。因此,可根据物料飘浮速度 v_p 计算公式估算出含水率变化后的飘浮速度

$$v'_p = K v_p$$

(1)

其中

$$v_p = \sqrt{\frac{mg}{R\rho s}}$$

(2)

式中 K ——飘浮速度变化系数
 R ——阻力系数,与物料形状、表面积和雷诺数有关
 ρ ——空气密度,kg/m³
 s ——物料迎风面积,即物料在气流方向的投影面积,m²
 m ——物料质量,kg
 g ——重力加速度

若将试验对象含水率增加量表示为 $\Delta\omega$,因含水率变化使试验对象质量从 m 增大到 $(1+\Delta\omega)m$,则含水率变化后的物料飘浮速度为

$$v'_p = \sqrt{\frac{(1+\Delta\omega)mg}{R\rho s}} = \sqrt{1+\Delta\omega} v_p$$

(3)

即飘浮速度变化系数 $K = \sqrt{1+\Delta\omega}$ 。

可见,当含水率增量 $\Delta\omega$ 为5%和10%时,飘浮速度变化系数 K 分别为1.025和1.049,即飘浮速度增大2.5%和4.9%。根据花生收获实践可知,摘果作业时花生荚果含水率变化范围一般小于5%,飘浮速度增加不大,可以通过调节吸风口高度调节吸气速度。

2.2 双吸气口与风机主要参数确定

饱满花生荚果与空瘪果、碎茎秆等清选物飘浮速度差异,是设计气吸清选系统的重要依据。吸气口处气流速度要大于空瘪果、碎秸秆等清选物飘浮速度,小于饱满花生荚果最小飘浮速度。若吸风口处气流速度过大,不仅吸除空瘪果和碎秸秆等清选物,也会吸除饱满花生荚果而造成损失;相反,若吸风口处气流速度过小,则清选不净。

本文设计的风机采用径向直叶片通用型负压双吸气口离心风机^[16](图2)。根据分步双吸清选原理,针对不同品种、不同含水率条件下的花生摘果清

选物飘浮速度差异,前吸风口吸入气流速度略小于后吸风口,即前、后吸风口处吸气速度范围分别为 1.76 ~ 3.35 m/s、4.51 ~ 8.89 m/s。出风口气流速度计算公式为^[16]

$$u = au_p \tag{4}$$

式中 a ——速度增大系数,变化范围为 1.9 ~ 3.9
 u_p ——清选物最大飘浮速度,即空瘪果最大飘浮速度

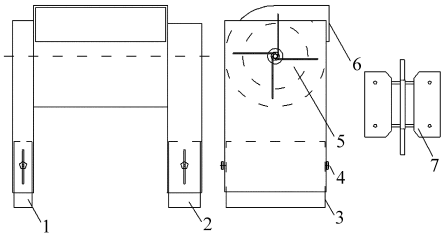


图 2 双吸口风机结构简图

Fig. 2 Structure diagram of double air-suction inlet fan

1. 后吸风口 2. 前吸风口 3. 吸风口调节套 4. 吸风口高度调节旋钮 5. 两内侧进风孔 6. 出风口 7. 叶轮

将 $u_p = 1.76 \sim 8.89 \text{ m/s}$ 、 $a = 1.9$ 代入式(2),得出风机出风口气流速度范围为 3.34 ~ 16.89 m/s;再根据风机出风口气流速度范围进行风速试验调整^[17],测得相对应的风机转速范围,圆整后为 486 ~ 500 r/min。根据前、后吸风口相关参数设计前、后吸风口尺寸(长 × 宽)分别为 552 mm × 217 mm、552 mm × 112 mm;吸风口与筛面高度为 150 mm;相应的吸风口调节套高度为 400 mm,可根据物料在筛面的料层堆积厚度、不同花生品种所需吸气速度进行适当的调节。

2.3 传动系统设计

该机采用分路传动系统,即动力从电动机输出后,经带传动传输至摘果装置,然后分两路传动:一路是经过半交叉带传动驱动偏心轮装置,为振动筛的运动提供动力;另一路通过链传动传递到风机主轴,为风机运转提供工作动力。传动系统具体结构型式、参数和配置如图 3 所示。

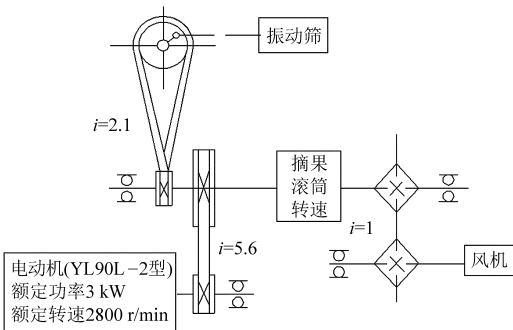


图 3 花生摘果机传动系统

Fig. 3 Transmission system schematic of peanut picker

2.4 振动筛主要参数确定

振动筛主要功能是将摘果机摘下的花生荚果和清选物形成流化物料层,向出料口方向输送;使物料层有一定抛起趋势,有利于气吸清选;振动筛的筛孔分离出碎土、小石块、细碎秸秆和果柄等杂质。如图 4 所示,振动筛主体部分为椭圆形孔的金属冲孔筛并加工成标准的棋盘式,根据多种花生最小荚果外形尺寸,并考虑不夹塞小荚果,椭圆形筛孔设计为 18 mm × 6 mm;靠近荚果出口处的部分筛面设计为纵向栅条筛,栅条间隙为 8 mm,以便分离较大杂质且不使小荚果夹持。

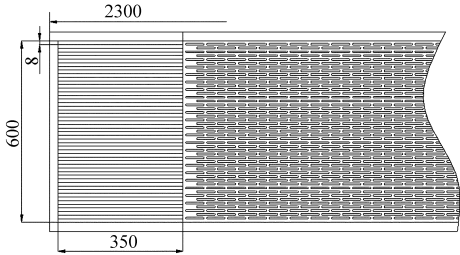


图 4 振动筛及其筛面结构简图

Fig. 4 Structure of vibration sieve and screen surface

根据花生荚果摩擦、运动特性,在试验基础上设计筛面倾角为 5°,筛子振动方向角为 3°,曲柄转速为 136 r/min,曲柄长度即筛子振幅为 16 mm。

振动筛宽度 b 与花生摘果机轴流式摘果滚筒直径相关,根据摘果滚筒的参数^[18], b 设计为 600 mm。而振动筛长度 L_0 计算公式为

$$L_0 = \frac{Q_s}{bq_s} = \frac{Q(1 - \delta k)}{bq_s} \tag{5}$$

式中 Q_s ——振动筛单位时间清选物料的质量,kg/s
 Q ——机器单位时间喂入量,kg/s
 q_s ——筛体单位面积可承担的物料喂入量,kg/m²

δ ——碎秸秆占物料总质量的百分比
 k ——脱粒装置工作性能系数,一般为 0.6 ~ 0.9

将 $Q = 1.5 \text{ kg/s}$ 、 $\delta = 40\%$ 、 $k = 0.7$ 、 $b = 600 \text{ mm}$ 和 $q_s = 0.78 \text{ kg/m}^2$ 代入式(5),得 $L_0 = 2\,300 \text{ mm}$ 。

3 清选装置性能试验

3.1 试验材料与方法

试验在沈阳农业大学工程基础实验中心进行,以取自沈阳农业大学花生栽培研究基地的起挖后晾晒 5 d 的“花育 30”为试验材料。试验时测定荚果和茎秆含水率分别为 8% ~ 12% 和 10% ~ 13%,试验设备为研制的 5XT-2Z 型花生摘果机(图 5)、SFY-60 型红外线快速水分测定仪(深圳市冠亚电子科技有限公司)、DT-2236 数显转数表、普传 PI8100A1 变频器、双杰牌电子天平、数码相机等。



图5 摘果清选试验现场

Fig.5 Test site of picked peanut extractions separating

通过变频器改变电动机转速,以便调整风机转速和振动筛曲柄转速,通过吸风口调节套调节吸风口与筛面的高度,调节吸风口吸气气流速度。根据1.5 kg/s 喂入量、连续试验 3 min 的试验方案要求,考虑到按每秒称量的工作量过大和人工每次拾取并保持均匀喂入的可能性与方便性,试验前按每 3 s 的喂入量即 4.5 kg 称量 60 份,试验时由专人完成连续、均匀喂入的操作。

每组摘果清选试验后,收集并称量被风机吸走的花生荚果质量 W_1 、集果袋荚果总质量 W_2 、分拣并称量花生荚果中杂质质量 N_1 ,集果袋花生荚果和杂质总质量 N_2 ,记录于试验方案表并算得清选损失率和含杂率。

清选损失率 P_1 和清选含杂率 P_2 分别为

$$\begin{cases} P_1 = \frac{W_1}{W_1 + W_2} \times 100\% \\ P_2 = \frac{N_1}{N_2} \times 100\% \end{cases} \quad (6)$$

3.2 试验因素与方案设计

由初步试验发现,影响清选性能主要因素是振动筛振动频率、前、后吸风口与筛面的平行高度,风机转速。因此,以曲柄转速、吸风口高度和风机转速为试验因素,并分别以 X_1 、 X_2 和 X_3 表示编码值,采用 3 因素 3 水平 Box-Benhknen Design (BBD) 试验设计方案,对每因素水平分别以 -1、0、1 进行编码(表 2)^[19],并应用 Design-Expert 8.0.6 软件对结果优化分析。

表 2 试验因素与水平
Tab.2 Test factors and levels

编码	因素		
	曲柄转速 /(r·min ⁻¹)	吸风口 高度/mm	风机转速 /(r·min ⁻¹)
-1	136	50	286
0	187	130	393
1	238	210	500

3.3 试验结果与分析

将试验结果汇总(表 3)并应用 Design-Expert

8.0.6 软件进行数据分析,得到相应指标与各因素编码值的回归模型

$$\begin{aligned} Y_1 &= 1.05 - 0.088X_1 - 0.44X_2 + 0.77X_3 + \\ &\quad 0.088X_1X_2 + 0.013X_1X_3 - 0.073X_2X_3 + \\ &\quad 0.34X_1^2 + 0.36X_2^2 + 0.69X_3^2 \\ Y_2 &= 1.18 - 0.400X_1 - 0.43X_2 + 0.71X_3 + \\ &\quad 0.300X_1X_3 - 0.082X_2X_3 + 0.57X_1^2 + \\ &\quad 0.0029X_2^2 + 0.85X_3^2 \end{aligned}$$

表 3 试验方案与结果

Tab.3 Experimental plan and results

序号	曲柄 转速	吸风口 高度	风机 转速	损失率 $Y_1/\%$	含杂率 $Y_2/\%$
1	-1	-1	0	2.44	1.75
2	1	-1	0	1.98	1.15
3	-1	1	0	1.35	2.35
4	1	1	0	1.24	1.75
5	-1	0	-1	1.35	3.65
6	1	0	-1	1.26	3.25
7	-1	0	1	2.89	2.55
8	1	0	1	2.85	0.95
9	0	-1	-1	1.71	1.95
10	0	1	-1	1.00	3.25
11	0	-1	1	3.35	0.98
12	0	1	1	2.35	1.95
13	0	0	0	1.01	1.26
14	0	0	0	1.12	1.24
15	0	0	0	1.02	1.03

试验数据的显著性及失拟性检验(表 4)可知,所得回归模型失拟性不显著,具有良好拟合性。从两因素交互作用的显著性检验参数 p 值可知,两试验因素之间的交互作用不显著,单一试验因素对试验指标影响显著。于是通过降维分析方法将多元问题转化为一元问题,分析单一试验因素在不同水平下对清选损失率和含杂率的影响机理。

表 4 影响因子系数估计和显著性分析

Tab.4 Analysis of variance and significant

影响 因子	系数估计		显著性 P	
	Y_1	Y_2	损失率 Y_1	含杂率 Y_2
X_1	-0.088	-0.40	0.032 9 *	0.011 1 *
X_2	-0.44	0.43	<0.000 1 **	0.008 0 **
X_3	0.77	-0.71	<0.000 1 **	0.000 9 **
X_1X_2	0.088	0	0.093 6	1.000 0
X_1X_3	0.013	-0.30	0.779 7	0.091 8
X_2X_3	-0.073	-0.08 2	0.1475	0.5917
X_1^2	0.34	0.57	0.000 6 **	0.012 6 *
X_2^2	0.36	0.002 9	0.000 5 **	0.985 2
X_3^2	0.69	0.85	<0.000 1 **	0.002 3 **
模型	1.05	1.18	<0.000 1 **	0.004 4 **
失拟性			0.293 0	0.115 0

注:**为极显著($p < 0.01$),*为显著($p < 0.05$)。

3.4 单因素对清选损失率和含杂率影响分析

3.4.1 振动筛振动频率

振动筛振动频率即曲柄转速对花生清选损失率和含杂率的影响曲线如图 6 所示。在振动频率试验水平范围内,清选损失率随着曲柄转速的增大开始下降,然后又上升,曲柄转速接近 187 r/min 时清选损失率最小;含杂率随曲柄转速的增大总体趋势是先不断下降,然后又有所上升。上述情况主要与振动筛参数有关,其决定了筛面上物料输送速度、料层厚度、抛起和物料之间松散等状况。当振动频率较低时,物料输送速度低、料层厚度大,料层距吸风口高度减小,一方面饱满花生荚果容易被吸风口吸出,另一方面物料之间松散度下降导致料层内部的空瘪果、碎茎秆等难以吸出,因而花生荚果损失率和含杂率略高。当振动筛振动频率过大时,输送速度加大、料层厚度减小、松散度提高,但因物料抛起高度增大,一方面饱满花生荚果容易随碎茎秆等杂质一同吸出,同时因物料移动过快而导致其经过吸风口区域的时间过短,降低了碎茎秆等杂质被吸出的机会,增大了清选含杂率。

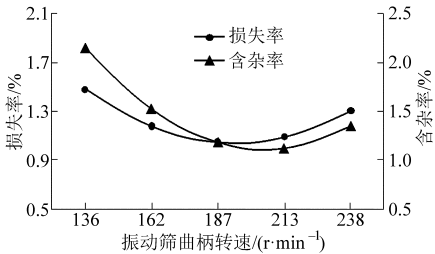


图 6 损失率、含杂率随曲柄转速的变化曲线
Fig. 6 Curves of cleaning performance index with rank rotate speed

3.4.2 风机吸风口高度

风机吸风口高度对花生清选损失率和含杂率的影响如图 7 所示,在试验水平范围内,随着吸风口距离筛面的高度增大,清选损失率总体呈现不断降低的趋势,而含杂率则不断增大;当吸风口高度从 150 mm 到 210 mm 时,花生清选损失率基本不变。当吸风口距离筛面高度过大时,吸风口下方的气流分布区域变大、筛面上物料的吸气负压减弱,部分空瘪果和碎茎秆未能吸出,造成花生清选含杂率上升。当吸风口距离筛面高度过小时,吸风口下方的气流分布区域变小、筛面上物料的吸气负压增强,部分饱满花生荚果随同空瘪果和碎茎秆吸出,花生清选损失率上升。

3.4.3 风机转速

风机转速对花生清选损失率和含杂率的影响如图 8 所示。随着风机转速增大,清选损失率先略有降低后又不断上升趋势,花生清选含杂率则随风机

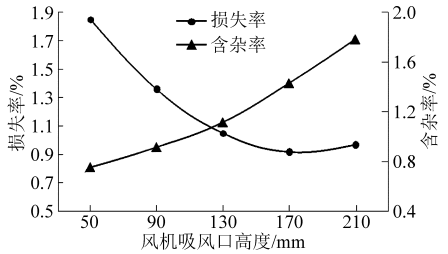


图 7 损失率、含杂率随吸风口高度的变化曲线
Fig. 7 Curves of cleaning performance index with air suction height

转速的增大而不断降低。由于风机转速大小决定了吸风口处的气流速度高低,当吸风口处气流速度过大,饱满花生荚果会随同碎秸秆等被吸出;当吸风口处气流速度过小,部分碎秸秆等不能吸出,清选含杂率上升。因此,从花生清选损失率和含杂率兼顾来考虑,将风机转速定为 395 r/min 左右为宜。

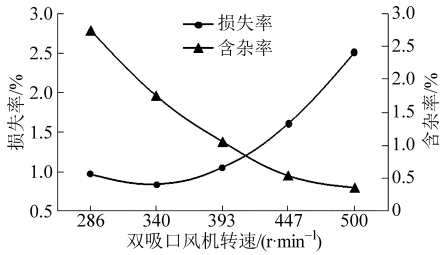


图 8 损失率、含杂率随风机转速的变化曲线
Fig. 8 Curves of cleaning performance index with fan rotate speed

4 参数优化与试验验证

根据上述试验结果,在各试验因素水平约束条件下,将损失率和含杂率最小值作为优化指标,建立性能指标全因子二次回归方程,进行双目标优化:

目标函数
$$\min G(X) = \begin{cases} Y_1(X_1, X_2, X_3) \\ Y_2(X_1, X_2, X_3) \end{cases} \quad (7)$$

变量区间
$$\begin{cases} -1 \leq X_1 \leq 1 \\ -1 \leq X_2 \leq 1 \\ -1 \leq X_3 \leq 1 \end{cases}$$

目标约束
$$\begin{cases} 0 \leq Y_1 \leq 5\% \\ 0 \leq Y_2 \leq 5\% \end{cases}$$

花生清选损失率 Y_1 和含杂率 Y_2 的约束条件根据花生清选作业标准确定。利用软件 Design-Expert 8.0.6 中的优化求解器,并设损失率 Y_1 和含杂率 Y_2 加权因子为 0.6 与 0.4,对上述全因子二次回归方程进行求解,得到优化试验指标为花生清选损失率 1.0%、含杂率 1.167%,最佳参数组合为曲柄转速 199.8 r/min、吸风口高度 135.2 mm 和风机转速为 389.6 r/min。

对所得的理论优化值进行取整并在相同的试验

条件下进行花生摘果清选试验,结果见表 5。参数优化后的验证试验结果表明,试验结果与优化后的理论值比较接近。考虑到实际花生摘果试验的环境影响,可以判定优化后的参数理论值具有可信度,且能够满足要求。

表 5 参数优化值与试验结果

Tab.5 Results of sampling test from optimized parameters

参数	曲柄转速	吸风口	风机转速	损失率	含杂率
	$/(r \cdot \min^{-1})$	高度/mm	$/(r \cdot \min^{-1})$	$Y_1/\%$	$Y_2/\%$
优化值	199.8	135.2	389.6	1.00	1.17
圆整值	200	135	390	1.35	1.75

5 结论

(1) 针对双风口气吸清选装置设计要求,测得了“花育 30”、“白沙 1016”和“四粒红”3 种饱满花生荚果的飘浮速度分别为 10.30 ~ 13.40 m/s、10.50 ~ 12.32 m/s 和 11.20 ~ 14.39 m/s;3 种花生的空瘪

果、碎茎秆、花生果柄和花生叶含水率和飘浮速度差异不大,飘浮速度分别为 7.03 ~ 8.89 m/s、4.51 ~ 5.46 m/s、2.80 ~ 3.35 m/s 和 1.74 ~ 2.13 m/s。

(2) 运用振动筛与双风口气吸组合式清选原理,设计出一种花生摘果机样机,其清选装置主要参数:振动筛倾角为 5°,振动方向角为 3°,曲柄转速为 136 r/min,曲柄长度即筛子振幅为 16 mm;径向直叶片通用型双吸气口离心风机转速 500 r/min;前、后吸风口长、宽分别为 552 mm × 217 mm、552 mm × 112 mm,吸风口距筛面高度为 150 mm,吸风口调节套高度为 400 mm。

(3) 以振动筛曲柄转速、吸风口高度和风机转速为试验因素,清选损失率和含杂率为试验指标,进行了性能试验和优化,优化后的振动筛曲柄转速为 200 r/min,风机吸风口高度为 135 mm,风机转速为 390 r/min,该清选装置使花生摘果清选损失率和含杂率分别为 1.35%、1.75%。

参 考 文 献

1 高连兴,刘新,梁明,等. 辽西地区花生生产及机械化现状与技术对策研究[J]. 中国农机化,2012(3):15-19.
Gao Lianxing, Liu Xin, Liang Ming, et al. Current situation and technology measure of peanut production and mechanization of west of Liaoning[J]. Chinese Agricultural Mechanization,2012(3):15-19. (in Chinese)

2 汤庆,吴崇友,王素珍,等. 谷物清选装置研究现状及发展趋势[J]. 农机化研究,2013(12):225-228.
Tang Qing, Wu Chongyou, Wang Suzhen, et al. Research advances and prospects in cleaning device of grain[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2013(12):225-228. (in Chinese)

3 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.

4 Gorial B Y, O'Callaghan J R. Aerodynamic properties of grain/straw materials [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1990, 46:275-290.

5 吴守一,郭永宏. 农业物料空气动力特性的研究-用频闪摄影测定阻力参数[J]. 农业机械学报,1986,17(1):62-72.
Wu Shouyi, Guo Yonghong. Study of aerodynamic behavior of agricultural materials-measure the drag parameter with frequent flash photograph[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1986,17(1):62-72. (in Chinese)

6 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)

7 陈立,廖庆喜,宗望远,等. 油菜联合收获机各成分脱出物空气动力学特性研究[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)

8 高连兴,张文,杜鑫,等. 花生脱壳机脱出物的漂浮系数试验[J]. 农业工程学报,2012,28(2):289-292.
Gao Lianxing, Zhang Wen, Du Xin, et al. Experiment on aerodynamic characteristics of threshed mixtures of peanut shelling machine[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(2):289-292. (in Chinese)

9 高连兴,赵学观,杨德旭,等. 大豆脱粒机气力清选循环装置研制与性能试验[J]. 农业工程学报,2012,28(24):22-27.
Gao Lianxing, Zhao Xueguan, Yang Dexu, et al. Development and performance test on pneumatic clearing-circulatory device of soybean thresh[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(24):22-27. (in Chinese)

10 张日红,朱立学. 花生联合收获机清选系统振动筛运动仿真分析[J]. 仲恺农业工程学院学报,2010,23(4):39-41.
Zhang Rihong, Zhu Lixue. A kinematics simulation analysis on vibration screen of peanut combine harvester cleaning system[J]. Journal of Zhongkai University of Agricultural and Engineering,2010, 23(4): 39-41. (in Chinese)

11 陈进,李耀明. 气吸振动式播种试验台内种子运动规律的研究[J]. 农业机械学报,2002,33(1):47-50.
Chen Jin, Li Yaoming. Study on seeds movement law in sowing test stand with suction and vibration[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2002,33(1):47-50. (in Chinese)

12 黄登红,陈承曦,章易程,等. 基于流场仿真的真空清扫车吸尘口的参数化分析[J]. 机械设计, 2013, 30(7):73-76.

Huang Denghong, Chen Chengxi, Zhang Yicheng, et al. Parametric analysis of dust sucking mouth for vacuum sweeper based on flow field simulation[J]. Journal of Machine Design,2013, 30(7):73 – 76. (in Chinese)

13 关萌,沈永哲,高连兴,等. 花生起挖晾晒后的果柄机械特性[J]. 农业工程学报,2014,30(2):87 – 93.
Guan Meng, Shen Yongzhe, Gao Lianxing, et al. Mechanical properties of peanut peg after digging and drying[J]. Transactions of the CSAE,2014,30(2):87 – 93. (in Chinese)

14 赵宝权. 全喂入花生摘果试验台试验研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2014.

15 梁明. 4H-2 型花生起收机去土与放铺装置研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2013.

16 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.

17 刘艳艳. 风筛式清选装置中离心风机的试验研究及仿真分析[D]. 镇江:江苏大学, 2009.
Liu Yanyan. Test study and simulation ansys of less-vane fan of cleaning device [D]. Zhenjiang:Jiangsu University, 2009. (in Chinese)

18 杨静. 花生摘果特性与螺旋弓齿式全喂入花生摘果装置研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2012.
Yang Jing. Study on peanuts picking characteristic and full-feeding spiral bow teeth type peanut picker[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University,2012. (in Chinese)

19 王云雁,胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 2 版. 北京:化学工业出版社,2008.

~~~~~

(上接第 179 页)

14 张川,廖强,朱恂,等. 环流型光纤生物膜制氢反应器的连续产氢性能[J]. 化工学报, 2011,62(11): 3248 – 3255.  
Zhang Chuan, Liao Qiang, Zhu Xun, et al. Performance of continuous hydrogen production in annular fiber-illuminating biofilm reator[J]. CIESC Journal,2011,62(11):3248 – 3255. (in Chinese)

15 Nath K, Muthukumar M, Kumar A, et al. Kinetics of two-stage fermentation process for the process for the production of hydrogen [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2008,33:1195 – 1203.

16 Xie G J, Liu B F, Ren N Q, et al. The kinetic characterization of photofermentative bacterium *Rhodopseudomonas faecalis* RLD – 53 and its application for enhancing continuous hydrogen production [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2012,37: 13718 – 13724.

17 Mudliar Sandeep, Banerjee Saumita, Vaidya Atul,et al. Steady state model for evaluation of external and internal mass transfer effects in an immobilized biofilm [J]. Bioresources Technology, 2008, 99: 3468 – 3474.

18 Levin D B, Pitt L, Love M, Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2004,29:173 – 185.

19 廖强,王永忠,朱恂,等. 初始底物浓度对序批式培养光合细菌产氢动力学影响[J]. 中国生物工程杂志, 2007,27(11): 51 – 56.  
Liao Qiang, Wang Yongzhong, Zhu Xun, et al. Effect of initial substrate concentration on kinetics of hydrogen production by photosynthetic bacteria in batch culture[J]. China Biotechnology,2007,27(11):51 – 56. (in Chinese)