

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.09.017

4HBL-2型花生联合收获机复收装置设计与试验

杨然兵 范玉滨 尚书旗 刘立辉 崔功佩

(青岛农业大学机电工程学院, 青岛 266109)

摘要: 针对4HBL-2型花生联合收获机果土分离及输送中花生果实的漏果、掉果问题,设计了花生联合收获机复收装置。在花生联合收获时,对土壤中遗漏的果实和夹持输送过程中掉落的果实进行复收、清选、集果等作业。并对复收装置进行了设计与试验研究,确定了该装置的最优结构参数和工作参数:复收装置安装角度为 20° ,复收链输送速度 1.2 m/s ,复收链杆条间隙 10 mm 。在机组前进速度为 0.6 m/s 时,实现收获花生平均净果率为 90.16% ,平均漏果率为 0.12% ,提高了花生的收获质量,减少了花生二次复收的劳动强度和作业成本。

关键词: 花生联合收获机;复收装置;设计;试验

中图分类号: S223.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2016)09-0115-06

Design and Experiment of Twice-receiving Device on 4HBL-2 Peanut Combine

Yang Ranbing Fan Yubin Shang Shuqi Liu Lihui Cui Gongpei

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

Abstract: In order to solve the existing problems of the leakage and dropping of fruit in the process of peanut harvest using machine, this paper designed the twice-receiving device on 4HBL-2 peanut combine. The device is mainly composed of twice-receiving shovel, conveying device, fixed frame and transmission chain, etc. It can finish the process of twice-receiving, cleaning and gripping fruit when harvesting. Besides, this paper designed and did analysis on twice-receiving device and determined the optimal structural parameters and working parameters; the twice-receiving installation angle was 20° , the twice-receiving chain conveyor speed was 1.2 m/s , the bar was 10 mm . When the unit speed was 0.6 m/s , the peanuts average net fruit rate was 90.16% , the average leakage rate was 0.12% , improving the quality of peanut harvester, reducing the labor intensity of the peanut twice-receiving and operating costs. This equipment will give theory and technical support for the design of twice-receiving multi-function peanut combine. Others, the technical level of peanut combine in China has been greatly improved, and has developed many machines, such as: 4HB-2A, 4HBL-2 and 4HL-2, etc. Those machines can complete the work of mining, picking, soil-clearing, fruit-picking, cleaning, and collecting, etc. But the problems of leakage off of peanut fruit in the process of peanut harvesting, there is an average of $5\% \sim 8\%$ of the losing. Besides, the cost of twice-receiving of artificial is high and there is no research of twice-receiving on peanut combine in China or at abroad. The main reasons of the existing peanut combine on leakage and off are: first, because of the high maturity of peanuts, the peanut roots and fruit node relay can't meet the requirements of harvesting; second, some peanuts in the process of soil-clearing fell-off on the ground. So the research of this twice-receiving device of peanut combine has important significance.

Key words: peanut combine; twice-receiving device; design; experiment

收稿日期: 2015-12-28 修回日期: 2016-03-25

基金项目: 山东省农机装备研发创新计划项目(2015TS202-1)和山东省协同创新中心基金项目(6682215005)

作者简介: 杨然兵(1979-),男,副教授,博士,主要从事新型农业机械设计与性能试验研究,E-mail: yangranbing@163.com

通信作者: 尚书旗(1958-),男,教授,博士,主要从事农业机械装备研究,E-mail: sqshang@qau.edu.cn

引言

我国花生机械化联合收获水平近年得到了大幅提高,典型的花生联合收获机机型有:4HB-2A型、4HBL-2型、4HL-2型等,这些机型可实现花生机械化挖掘、去土、摘果、清选、集果等联合作业^[1],但都没有解决收获过程中花生漏果、掉果等问题,平均损失率在5%~8%之间,其中漏果、掉果损失为2%~4%,人工复收成本较高,4HF-1100等小型花生复收机复收效果较好,但提高了收获作业成本,综合效益不显著。国外采用分段式收获,不适应中国花生机械化收获作业要求,且未对带有复收功能的花生联合收获机进行研究。

我国现有花生联合收获机漏果、掉果主要原因有:花生成熟度过高,造成花生根茎与果实结点的连接力不能满足挖掘式联合收获要求;花生在夹持输送过程中的摆拍式去土环节造成部分花生被击打掉落^[2]。

为减少花生机械化联合收获损失、提高收净率,本文对4HBL-2型花生联合收获机加以改进,增设花生复收装置,对漏掉在土壤中的花生和掉落在地面上的花生进行复收、清选、集果等作业,以提高我国花生机械化联合收获的技术水平,减少二次复收的劳动强度和作业成本。

1 结构与工作原理

1.1 结构组成

根据花生机械化联合收获作业时花生漏果、掉果形成机理,结合现有4HBL-2型花生联合收获机的结构对复收装置结构加以设计。为实现对联合收获后埋在土壤和掉落到地面上的花生进行复收、清选、集果等功能,该复收装置主要由复收铲、复收链、固定架和传动链等组成,复收式花生联合收获机结构简图如图1所示。

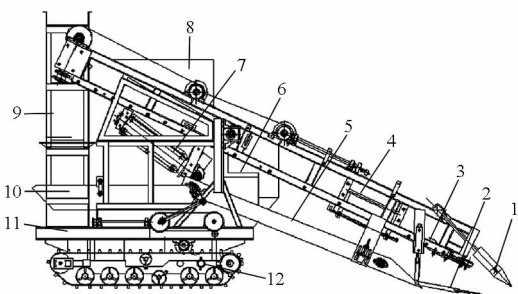


图1 复收式联合收获机结构简图

Fig.1 Sketch map of twice-receiving device of peanut combine

1. 扶禾器 2. 挖掘装置 3. 夹持输送装置 4. 摆拍去土装置
5. 复收装置 6. 驾驶室 7. 摘果装置 8. 集果箱 9. L型输送链
10. 振动筛 11. 底盘机架 12. 行走系统

1.2 工作原理

在花生联合收获机组作业过程中,挖掘铲将花生主根系铲断后由夹持输送链夹持花生植株将花生拔出,随着机组前进,复收装置的复收铲进入土壤,对埋在土壤里面的花生进行复收,然后传送到复收输送链上,进行输送清土工作;夹持链上的花生植株到达摆拍式去土装置时,摆拍去土装置的拍土杆击打花生的果实以抖动掉根系和果实上面土壤,在此过程中,被击打掉落的花生果实掉落到下方的复收链上,随复收链向后输送到振动筛内,经过振动清选和风机清选后,通过L型输送链输送进集果箱,完成整个复收工作。

2 花生机械化收获掉果机理分析

2.1 挖掘收获环节花生漏果、掉果分析

在进行花生机械化联合收获作业时,花生植株在挖掘铲和夹持输送链的综合作用下,从土壤中被挖掘出来,在以前进方向为X轴、垂直地面方向为Y轴的坐标系中其受力关系如图2所示。

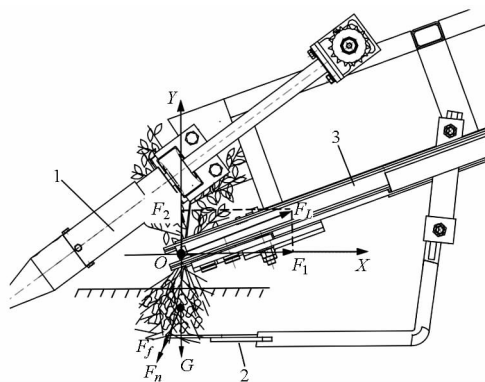


图2 挖掘环节受力分析图

Fig.2 Force analysis of dig-pulling

1. 扶禾器 2. 挖掘铲 3. 夹持输送链

由图2可看出,要想成功完成花生植株挖掘工作,其力学关系应满足

$$\begin{cases} F_L + F_n + F_f + G < F_w \\ F_L + F_n + F_f + G < F_Z \end{cases} \quad (1)$$

式中 F_L ——夹持输送链对花生植株的夹持拔力
 F_n ——土壤对花生荚果及其根系的黏结力
 F_f ——土壤对花生果实及其根系的摩擦力
 G ——夹持输送链以下部分花生植株的重力
 F_w ——花生荚果与根系分离时最大承受力
 F_Z ——花生根系被拉断时所承受最大拉力

在此过程中,花生成熟度过高、土壤板结或压实等因素会造成部分花生荚果与根系结点之间的连接力或花生根系拉断力小于挖掘力 F_L 与土壤对果实的黏结力 F_n 等的合力^[3-4],即

$$F_L + F_n + F_f + G > F_w \quad (2)$$

或 $F_L + F_n + F_f + G > F_z \quad (3)$

当上述方程其中一个成立时,花生荚果便不能顺利从土壤中挖掘出来,造成漏果、掉果现象。

2.2 摆拍式去土环节花生掉果分析

如图3所示,在拍土装置试验台上(主要由电动机、传动系统、摆拍式去土装置和固定机架等组成),摆拍式去土装置偏心轮转速为300 r/min,当花生植株随夹持输送链沿方向A以1.2 m/s运动到左右摆拍式去土装置时,摆拍式去土装置的拍土杆将沿垂直于方向A的BC方向往复式击打花生植株的根系和荚果部位,带动根系及荚果沿垂直于花生植株运动方向A的BC方向往复式抖动去土。

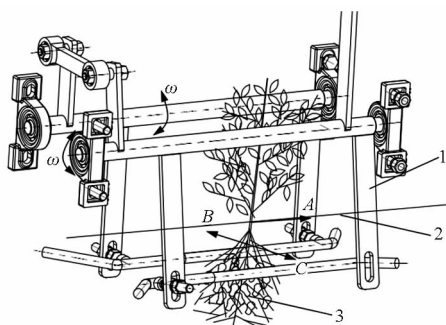


图3 拍土环节受力分析图

Fig.3 Force analysis of soil linking

1. 摆拍式去土装置 2. 夹持输送链 3. 花生植株

在此过程中,部分花生荚果会被击打或抖落到地面上,造成机械落果损失。在平行于输送槽垂直于夹持链运动方向上花生荚果与根系运动的位移随时间变化曲线如图4所示。

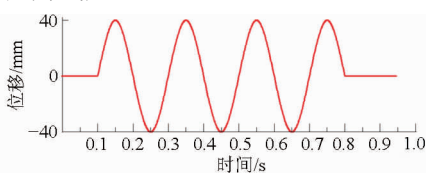


图4 位移-时间关系曲线

Fig.4 Relationship of displacement and time

3 主要参数设计

3.1 复收装置整体方案确定

埋在土壤中的花生经花生复收铲挖掘后,由复收链对花生和土壤进行分离。复收装置一方面对埋在土壤中的花生进行收集,另一方面对拍土清选时击掉落落的花生进行收集输送。其分离输送链的后端连接到花生联合收获机的分离清选装置上端,花生经分离输送链分离后,输送到分离输送链的末端,掉落到分离清选装置中,进行花生及短秧、茎叶等的分离,最后经L型输送装置进入到集果箱,完成整个花生的复收联合收获工作。复收装置结构布置示意图如图5所示。

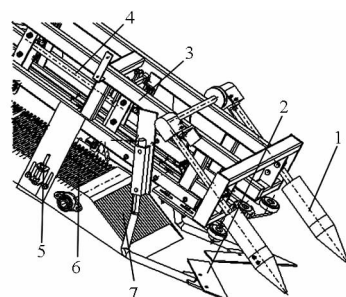


图5 复收装置结构示意图

Fig.5 Structure of twice-receiving device

1. 扶禾器 2. 挖掘装置 3. 夹持输送装置 4. 摆拍式去土装置
5. 调节装置 6. 复收链 7. 复收铲

3.2 安装角度分析

花生复收装置安装在花生联合收获机夹持输送链下方,并与地面呈一定的工作角度 α ,以速度 v 输送花生到后方的清选分离装置中。对复收链上的花生进行受力分析,花生受力包括自身重力 G 、输送链杆对花生的支持力 F_{n1} 、 F_{n2} 、摩擦力 F_f 等,受力分析如图6所示(理想化的花生荚果取值为长40 mm,直径12 mm,则花生荚果截面中心与两链杆截面中心构成底角为 44° 的等腰三角形)。

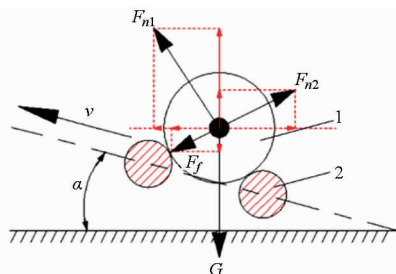


图6 力学分析图

Fig.6 Mechanics analysis diagram

1. 输送链杆 2. 花生荚果

花生随复收链一起往后输送,在水平方向上有

$$F_{n2} \cos(44 - \alpha) = F_{n1} \sin(46 - \alpha) + F_f \sin(46 - \alpha) \quad (4)$$

在垂直方向上有

$$G = F_{n1} \cos(46 - \alpha) + F_{n2} \sin(44 - \alpha) - F_f \cos(44 - \alpha) \quad (5)$$

其中

$$F_f = F_{n1} \zeta$$

式中 ζ ——摩擦因数

3.3 复收铲设计

复收铲具有铲入土壤、将埋在土壤里面的花生挖掘输送到复收链上的作用,由于在复收铲工作前,挖掘铲已经将土壤进行了破碎松散,复收铲工作时土壤阻力大大减小,故采用平铲结构,为增加铲后梳土,避免机前壅土^[5-7],在复收铲的后面增设梳土栅条,以形成漏土缝隙。设计的复收铲结构形式如图7所示。

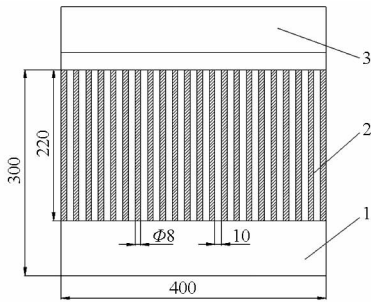


图7 复收铲结构

Fig. 7 Structure of twice-receiving shovel

1. 入土平铲 2. 梳土栅条 3. 固定板

4HBL-2型花生联合收获机为一垄两行收获机,根据一垄两行花生种植垄宽和花生果实在地下的分布范围,确定该复收铲的工作幅宽为400 mm。

3.4 复收分离输送链设计

复收分离输送链采用链杆结构形式,通过链轮带动链条驱动其运动工作,其中复收链的输送速度、复收链两相邻链杆之间的杆条间隙是影响花生荚果与土壤分离效果的关键^[8-11]。复收链输送速度过快,会将没有来得及下漏的土壤一起进行输送,使果土分离不清;而工作转速过慢又会使果土不能及时输送,造成机前壅土问题。

而杆条间隙过小,不利于土壤下漏;杆条间隙过大,容易造成花生荚果卡在两杆条之间,阻碍与土壤的分离和下漏,并造成花生漏果。

因此为确定复收链的最佳传动速度和最佳杆条间隙,以达到最佳复收效果,进行田间试验。

3.5 试验方案与结果

试验地为青岛农业大学花生机械化收获莱西示范基地,土壤硬度为115 kPa,土壤含水率13.7%,花生品种为莱农26号,单垄双行种植模式,花生秧高平均40.3 cm,单株结果数平均为21个,花生平均行距为240 mm,花生荚果平均长40 mm,宽12 mm^[12-13]。

试验时以复收装置复收得到的净果率 y_1 (%) 和漏果率 y_2 (%)为指标,试验因素选为复收链输送速度 x_1 、杆条间隙 x_2 、机器前进速度 x_3 。试验因素及其编码如表1所示,试验方案及性能指标如表2所示。其中净果率

$$y_1 = \frac{m}{M} \times 100\% \quad (6)$$

式中 m ——试验样本中纯花生荚果的总质量

M ——试验样本中花生荚果与土的总质量

采用三因素二次旋转正交组合设计进行试验研究,每次试验重复3次求平均值作为试验结果^[14],试验结果见表2,表中 X_1 、 X_2 、 X_3 为因素编码值。

表1 试验因素编码

Tab. 1 Factors and level codes

编码	输送速度 $x_1 / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	杆条间隙 x_2 / mm	前进速度 $x_3 / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
1. 682	1.40	11.00	0.70
1	1.32	10.59	0.66
0	1.20	10.00	0.60
-1	1.08	9.41	0.54
-1.682	1.00	9.00	0.50

表2 试验方案与结果

Tab. 2 Experimental project and results

试验号	输送速度 X_1	杆条间隙 X_2	前进速度 X_3	净果率 $y_1 / \%$	漏果率 $y_2 / \%$
1	1	1	1	90.16	0.45
2	1	1	-1	90.78	0.48
3	1	-1	1	87.47	0.43
4	1	-1	-1	87.63	0.45
5	-1	1	1	87.92	0.35
6	-1	1	-1	88.01	0.29
7	-1	-1	1	87.13	0.36
8	-1	-1	-1	87.27	0.40
9	-1.682	0	0	87.65	0.38
10	1.682	0	0	88.72	0.43
11	0	-1.682	0	86.93	0.35
12	0	1.682	0	89.37	0.41
13	0	0	-1.682	91.02	0.15
14	0	0	1.682	90.89	0.09
15	0	0	0	91.15	0.14
16	0	0	0	90.32	0.13
17	0	0	0	90.85	0.10
18	0	0	0	91.11	0.15
19	0	0	0	91.37	0.16
20	0	0	0	90.85	0.12
21	0	0	0	90.74	0.09
22	0	0	0	91.12	0.13
23	0	0	0	91.08	0.12

试验结果采用DPS v 7.05数据处理系统进行回归分析,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^[15]。通过分析知,净果率试验指标回归方程与试验数据拟合较好,得到的净果率无量纲的因素编码回归方程为

$$y_1 = 90.96926 + 0.54987X_1 + 0.84013X_2 - 0.08996X_3 - 1.12175X_1^2 - 1.13412X_2^2 - 0.14241X_3^2 + 0.53875X_1X_2 - 0.06875X_1X_3 - 0.05125X_2X_3 \quad (7)$$

由回归方程系数可知各试验因素对净果率影响大小次序为:杆条间隙、复收链输送速度、机组前进速度。且 X_1 、 X_2 、 X_1^2 、 X_2^2 、 X_1X_2 较为显著,其他因素在不同程度上不显著,将不显著的因素去掉得到净果

率无量纲因素编码回归方程为

$$y_1 = 90.96926 + 0.54987X_1 + 0.84013X_2 - 1.12175X_1^2 - 1.13412X_2^2 + 0.53875X_1X_2 \quad (8)$$

采用消元法, 利用 Matlab 软件绘制空间影响模型图, 分析杆条间隙和复收链输送速度对净果率试验指标的影响, 如图 8 所示。

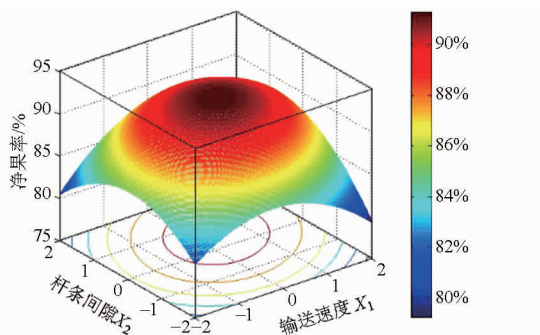


图 8 因素对净果率的影响效应

Fig. 8 Influence of factors on fruit rate

通过图 8 可知, 净果率随着杆条间隙的增大, 呈先增大后减小的趋势; 随着输送速度的增大, 呈先增大后减小的趋势, 并且在杆条间隙和输送速度水平都为零时, 即复收链工作输送速度为 1.2 m/s、杆条间隙为 10 mm, 净果率最高。

通过分析知, 漏果率试验指标回归方程与试验数据拟合较好, 得到的漏果率无量纲的因素编码回归方程为

$$y_2 = 0.12475 + 0.03618X_1 + 0.00226X_2 - 0.00959X_3 + 0.11685X_1^2 + 0.10801X_2^2 + 0.01609X_3^2 + 0.02125X_1X_2 - 0.00875X_1X_3 + 0.01125X_2X_3 \quad (9)$$

由回归方程系数可知各试验因素对漏果率影响大小次序为: 复收链输送速度、杆条间隙、机组前进速度。且 X_1^2 、 X_2^2 、 X_1X_2 较为显著, 其他因素在不同程度上不显著, 将不显著的因素去掉得到漏果率无量纲因素编码回归方程为

$$y_2 = 0.12475 + 0.11685X_1^2 + 0.10801X_2^2 + 0.02125X_1X_2 \quad (10)$$

采用消元法, 利用 Matlab 软件绘制空间影响模型图, 分析杆条间隙和复收链输送速度对漏果率试验指标的影响, 如图 9 所示。

通过图 9 可知, 漏果率随着杆条间隙的增大, 呈先减小后增大的趋势; 随着输送速度的增大, 呈先减小后增大的趋势, 并且在杆条间隙和输送速度水平都为零时, 即杆条间隙为 10 mm, 复收链工作输送速度为 1.2 m/s, 漏果率最低, 复收效果最好。

为进一步确定杆条间隙单一因素对净果率的影响, 采用机组常规最佳收获速度 0.6 m/s, 在其他工

作参数为最优的条件下针对杆条间隙做单一因素验证性试验。试验结果如表 3 所示。

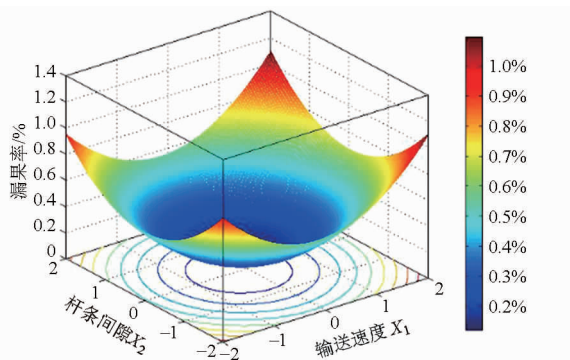


图 9 因素对漏果率的影响效应

Fig. 9 Influence of factors on losing rate

表 3 杆条间隙对净果率影响试验结果

Tab. 3 Impact of peanut bar clearance on net rate

序号	杆条间隙/mm			
	8.0	9.0	10.0	11.0
1	85.4	87.5	91.2	90.7
2	84.9	87.4	90.4	89.8
3	85.3	86.9	91.3	89.5
4	85.9	87.2	90.8	90.0
5	84.7	86.7	91.0	90.3
6	85.1	87.9	90.7	89.7
7	84.3	87.5	89.4	89.5
8	84.8	87.8	89.6	90.8
9	85.2	87.5	90.6	89.6
10	85.3	86.8	89.2	90.5
平均	85.09	87.32	90.42	90.04

对表中数据进行可视化处理, 形成直观折线图如图 10 所示。

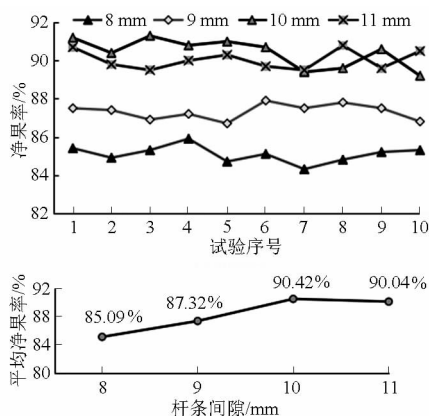


图 10 杆条间隙对净果率的影响

Fig. 10 Impact of peanut bar clearance on net rate

由表 3 中数据和图 10 可知, 当杆条间隙为 10 mm 时净果率最高, 与三因素二次旋转正交组合设计试验结果一致, 故最终确定杆条间隙为 10 mm。

4 田间对比试验

为进一步确定该花生复收装置的复收效果,针对漏果率、净果率等试验指标,对改进后的复收式花生联合收获机和4HBL-2型花生联合收获机进行对比性田间试验^[16]。试验结果如表4所示。

表4 对比试验结果

Tab.4 Experimental results of comparative test %

试验 序号	复收式花生联合收获机		4HBL-2型花生联合收获机	
	净果率 y_1	漏果率 y_2	净果率 y'_1	漏果率 y'_2
1	90.4	0.15	90.1	2.29
2	90.5	0.12	89.7	2.25
3	89.8	0.18	90.4	1.93
4	90.7	0.12	90.5	1.97
5	89.7	0.16	89.8	2.13
6	90.1	0.09	90.5	1.91
7	90.1	0.03	89.7	2.50
8	90.3	0.11	90.3	2.20
9	89.9	0.10	89.7	2.33
10	90.1	0.15	90.7	1.82
平均值	90.16	0.12	90.14	2.13

由上述试验结果可以看出:复收式花生联合收

获机净果率为90.16%,和4HBL-2型花生联合收获机的净果率90.14%相比差别不大,但在降低漏果率方面效果明显,因此该复收装置具有良好的复收减漏效果。

复收比例 z 为

$$z = \frac{y'_1 - y_2}{y'_2} \times 100\% = \frac{2.13 - 0.12}{2.13} \times 100\% = 94.37\% \quad (11)$$

5 结束语

花生机械化联合收获过程中的漏果、掉果现象是当前花生联合收获机普遍存在的技术难题,本文通过对4HBL-2型花生联合收获机进行改进,设计了花生复收装置。该花生联合收获机复收装置可实现花生机械化联合收获过程中的复收、清选、集果等作业,与4HBL-2型花生联合收获机相比,减少了收获损失,漏果率由2.13%减少至0.12%。

针对山东花生主产区花生品种和种植模式设计的4HBL-2型花生联合收获机复收装置,复收链工作输送速度1.2 m/s,杆条间隙10 mm,净果率最高,漏果率最低,复收效果最佳。

参 考 文 献

- 尚书旗,王方艳,刘曙光,等.花生收获机械的研究现状与发展趋势[J].农业工程学报,2004,20(1):20-25.
SHANG Shuqi, WANG Fangyan, LIU Shuguang, et al. Research situation and development trend on peanut harvesting machinery [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1): 20-25. (in Chinese)
- 陈有庆,王海鸥,胡志超.半喂入花生联合收获损失成因与控制对策研析[J].中国农机化,2011(1):72-77.
CHEN Youqing, WANG Haiou, HU Zhichao. Research and analysis on harvest loss causes and control strategies of half-feeding peanut combine harvester[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2011(1): 72-77. (in Chinese)
- 杨然兵,徐玉凤.花生机械收获中根、茎、果节点的力学试验与分析[J].农业工程学报,2009,25(9):127-132.
YANG Ranbing, XU Yufeng. Tests and analyses of mechanical properties of peanut root stem and nut node in mechanical harvest [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(9): 127-132. (in Chinese)
- 孙同珍.花生联合收获机摘果及清选部件的设计与试验研究[D].青岛:青岛农业大学,2009.
SUN Tongzhen. Research and test on peanut combine stripping and cleaning device [D]. Qingdao: Qingdao Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- 陈书法,李耀明,孙星钊.花生联合收获机挖掘装置的设计研究[J].中国农机化,2005(1):47-49.
CHEN Shufa, LI Yaoming, SUN Xingzhao. Research design on digging parts of peanut combine harvester [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2005(1): 47-49. (in Chinese)
- 陈书法,李耀明,孙星钊.花生挖掘铲动力学分析与试验[J].农业机械学报,2005,36(11):65-69.
CHEN Shufa, LI Yaoming, SUN Xingzhao. Dynamic performance analysis and experiment on peanut digging shovel [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 65-69. (in Chinese)
- 胡志超,王海欧,王建楠,等.4HLB-2型半喂入花生联合收获机试验[J].农业机械学报,2010,41(4):79-84.
HU Zhichao, WANG Haiou, WANG Jiannan, et al. Experiment on 4HLB-2 type half feed peanut combine harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 79-84. (in Chinese)
- 胡志超,彭宝良,谢焕雄,等.升运链式花生收获机的设计与试验[J].农业机械学报,2008,39(11):220-222.
HU Zhichao, PENG Baoliang, XIE Huanxiong, et al. Design and experiment research on elevating-chain type peanut harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(11): 220-222. (in Chinese)
- 徐继康,杨然兵,李瑞川,等.半喂入花生收获机除膜摘果装置设计与试验[J].农业机械学报,2014,45(增刊):88-93.
XU Jikang, YANG Ranbing, LI Ruichuan, et al. Design and experiment of film removing and peanut picking device for half-feeding harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(Supp.): 88-93. (in Chinese)

- ZHANG Yanbin, LIU Yang, LIU Mingzheng. Design and experimental study of a walnut decorticating and kernel taking out machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014(4):132-136. (in Chinese)
- 8 刘明政,李长河,张彦彬,等. 柔性带剪切挤压核桃破壳机理分析与性能试验[J]. 农业机械学报,2016,47(7):266-273.
LIU Mingzheng, LI Changhe, ZHANG Yanbin, et al. Flexible-belt shearing extrusion walnut shell crushing mechanism analysis and performance test[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(7):266-273. (in Chinese)
- 9 刘明政,李长河,张彦彬. 核桃剪切挤压破壳柔性锤击取仁设备:中国,201320779979.8[P]. 2014-05-14.
- 10 王丽宇. 木材裂纹扩展及其断裂行为的研究[D]. 北京:北京林业大学,2002.
WANG Liyu. Study on wood crack propagation and facture behavior[D]. Beijing: Beijing Forestry University,2002. (in Chinese)
- 11 刘慧. 核桃品种介绍与评述[J]. 西北园艺:果树,2012(1):34-36.
LIU Hui. Introduction and review of walnut varieties[J]. Northwest Horticulture, 2012(1):34-36. (in Chinese)
- 12 孙艳,罗宏亮. 发动机皮带张紧力检测仪[J]. 汽车工艺与材料,2003(1):24-26.
SUN Yan, LUO Hongliang. Engine belt tensiometer[J]. Automobile Technology and Material, 2003(1):24-26. (in Chinese)
- 13 程尧舜. 弹性力学基础[M]. 上海:同济大学出版社,2009.
- 14 何义川,史建新. 核桃壳力学特性分析与试验[J]. 新疆农业大学学报,2009,32(6):70-75.
HE Yichuan, SHI Jianxin. Analysis and experiment on mechanical characteristic of walnut shell [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2009, 32(6):70-75. (in Chinese)
- 15 任露泉. 试验优化设计与分析[M]. 北京:高等教育出版社,2003.

~~~~~

(上接第120页)

- 10 杨然兵,柴恒辉,尚书旗. 花生联合收获机弹齿式去土装置设计与性能试验[J]. 农业机械学报,2014,45(8):66-71,92.  
YANG Ranbing, CHAI Henghui, SHANG Shuqi. Design and parameters analyses of automatic height profiling device of quadrabale baler pickup [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(8):66-71,92. (in Chinese)
- 11 王东伟,尚书旗,赵大军,等. 4HBL-4型二垄四行半喂入自走式花生联合收获机[J]. 农业机械学报,2013,44(10):86-92.  
WANG Dongwei, SHANG Shuqi, ZHAO Dajun, et al. Type 4HBL-4 two-ridges and four-lines semi-feeding self-propelled peanut combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(10):86-92. (in Chinese)
- 12 GB/T 5262—2008 农业机械试验条件 测定方法的一般规定[S]. 2008.
- 13 杨然兵. 4HQL-2型花生联合收获机主要装置的设计与试验研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2009.  
YANG Ranbing. 4HQL-2 type peanut combine the design of main device and experiment research [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- 14 胡志超,王海鸥,彭宝良,等. 4HLB-2型花生联合收获机起秧装置性能分析与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(6):26-31.  
HU Zhichao, WANG Haiou, PENG Baoliang, et al. Performance analysis and experiment on operation process of plant lifting device in 4HLB-2 type peanut combine harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(6):26-31. (in Chinese)
- 15 张宏梅,陆明. 正交回归法在机械优化设计中的应用[J]. 解放军理工大学学报,2002,3(4):50-53.  
ZHANG Hongmei, LU Ming. Orthogonal regression method application in mechanical optimal design [J]. Journal of PLA University of Science and Technology, 2002, 3(4):50-53. (in Chinese)
- 16 NY/T 502—2002 花生收获机作业质量[S]. 2002.