

4HBL-4型二垄四行半喂入自走式花生联合收获机*

王东伟 尚书旗 赵大军 朱洪军

(青岛农业大学机电工程学院, 青岛 266109)

摘要: 论述了4HBL-4型二垄四行半喂入自走式花生联合收获机结构和工作原理, 该机一次对二垄四行花生完成挖掘、去土、输送、摘果、分离、清选和集箱等作业。悬浮式仿形机构, 使机器具有更好的地面仿形效果; 花生收获双层集果清选装置, 实现了对花生果进行两次清选。经山东省农业机械试验鉴定站田间检测: 摘果率为98.9%, 总损失率为3.3%, 破损率为0.2%, 含杂率为3.1%, 纯作业生产率为0.16 hm²/h, 达到了设计和相关标准要求。

关键词: 花生 收获机 试验 设计

中图分类号: S225.7⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)10-0086-07

Type-4HBL-4 Two-ridges and Four-lines Semi-feeding Self-propelled Peanut Combine Harvester

Wang Dongwei Shang Shuqi Zhao Dajun Zhu Hongjun

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

Abstract: The structure and working principle of two-ridges and four-lines semi-feeding self-propelled peanut type-4HBL-4 combine harvester was introduced. It could completely harvest two-ridges and four-lines peanuts in one time and accomplish digging, excavation to soil, transportation, picking, separation, cleaning, collection boxes and other operations. The suspension type with square institution which had better ground-profiling effect was adopted. Collecting-fruit equipment was used to clean twice. Throughout the test in the field, it met the requirements of design and relevant standards with the picking rate of 98.9%, the total loss rate of 3.3%, breakage rate of 0.2%, impurity rate of 3.1%, and net operating-hour productive efficiency of 0.16 hm²/h, which met the design requirements and related standards.

Key words: Peanut Harvester Experiment Design

引言

近些年,我国花生机械化收获技术有了较大的发展与进步^[1~5],已经有了一些技术比较成熟的花生联合收获机,如:4HQL-2型全喂入自走式花生联合收获机、4LH-2型半喂入自走式花生联合收获机、4HB-2A型半喂入花生联合收获机、4HBL-2型半喂入自走式花生联合收获机等^[6~9]。但这些花生联合收获机多为一垄两行收获,工作效率仍然不

能满足我国花生机械化收获作业向大功率作业的要求,为此本文设计一种针对现有花生种植模式下能够完成二垄四行花生收获的大型花生联合收获机。

1 总体方案的确定

采用收获二垄四行的作业方式,如图1所示。另外,能对两侧的工作装置分别控制,可通过调节提升装置实现一垄二行的收获。该作业方式避免了对抛出花生秧的碾压,便于花生秧的晾晒、捡拾与

收稿日期: 2013-03-22 修回日期: 2013-05-22

* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B05-2)

作者简介: 王东伟,博士生,主要从事新型农业装备研究, E-mail: W88030661@163.com

通讯作者: 尚书旗,教授,博士生导师,主要从事根茎类作物机械化技术及装备研究, E-mail: sqshang@qau.edu.cn

回收。

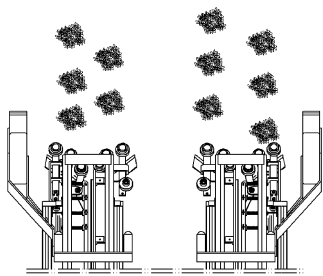


图 1 收获模式
Fig. 1 Harvest mode

采用半喂入自走式,行走系统采用橡胶履带式底盘,发动机置于机器的右侧,夹持输送等工作装置对称置于机器的两侧,驾驶室置于机器中间。收获时对行作业,可一次完成二垄四行花生的扶禾、挖掘、拨禾喂入、夹持输送、去土、摘果、提升、清选和集果等项作业,如图 2 所示。

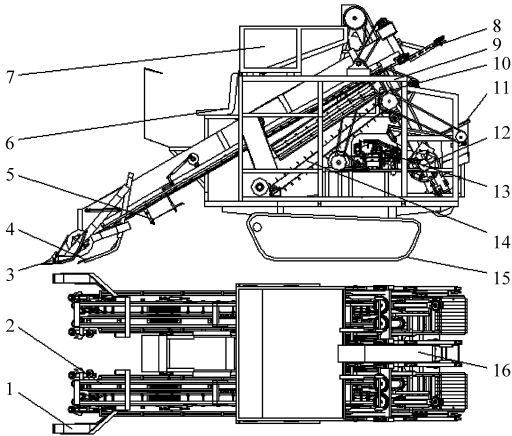


图 2 4HBL-4 型花生联合收获机结构简图
Fig. 2 Structure diagram of type-4HBL-4 peanut combine harvester

1. 限深机构 2. 夹持输送机构 3. 扶禾装置 4. 挖掘机构
5. 去土装置 6. 驾驶室 7. 集果机构 8. 送秧装置 9. 机架
10. 摘果机构 11. 清选筛 12. 风机 13. 发动机 14. 提升装置
15. 履带式底盘 16. 升运机构

采用分路传动系统。一路采用压轮式离合器,将发动机的动力传递到主轴,主轴将动力又分为三路,一路直接带动风机,其余两路分别为左右工作系统提供动力,经过减速后传递给摘果系统、清选系统和夹持输送机构;另一路经过变速箱将动力传递到行走系统,如图 3 所示。

2 主要工作部件设计与试验

2.1 悬浮式限深机构

悬浮式地面仿形机构如图 4 所示。通过调节长条孔的相对位置改变三角形的三边关系,达到调节挖掘深度的目的;弹簧与支架相连的位置采用预紧

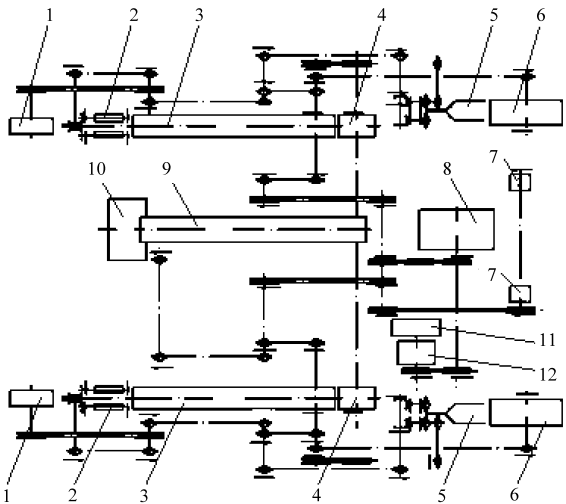


图 3 传动系统
Fig. 3 Diagram of drive system

1. 拍土装置 2. 摘果辊 3. 提升器 4. 清选筛 5. 尖齿链 6. 送秧装置
7. 风机 8. 发动机 9. 花生升运器 10. 料箱 11. 检测装置
12. 变速箱

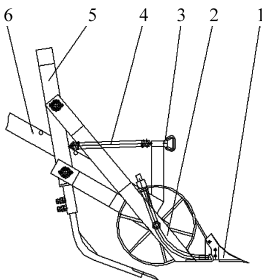


图 4 悬浮式仿形机构结构简图

Fig. 4 Structure diagram of suspension-type copy mechanism

1. 扶禾器 2. 限深轮 3. 弹簧预紧力调节装置 4. 拉伸弹簧
5. 挖掘铲 6. 限深轮长支架

力调节装置,满足并适应不同土壤的作业。
工作时,作业装置提升油缸处于悬浮状态,在计算过程中忽略油缸的工作阻力,受力分析如图 5 所示。

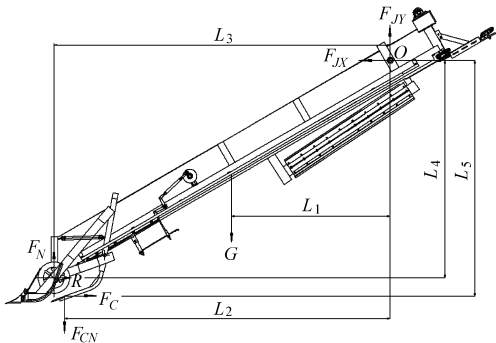


图 5 收获臂受力分析

Fig. 5 Stress analysis of harvest arm

依据扭矩平衡公式

$$M_0 = F_N L_5 - G L_1 - F_{CN} L_2 - R L_4 - F_C L_3 = 0 \quad (1)$$

可求限深轮所受的支反力为

$$F_N = \frac{GL_1 + F_{CN}L_2 + RL_4 + F_C L_3}{L_5} \tag{2}$$

其中
$$F_C = SL\rho g \tan(\alpha + \phi) + KS \tag{3}$$

$$R = \frac{KB(2n+1)}{(n+1)(1+i)^n} \left[\frac{3F_N}{KB\sqrt{D}(3-n)} \right]^{\frac{2n+2}{2n+1}} \tag{4}$$

$$F_{CN} = R \tan \gamma \sin \alpha \tag{5}$$

式中 M_o ——点 O 处的扭矩, $N \cdot m$
 F_N ——限深轮受土壤的支反力, N
 G ——整个工作部件的重力, N
 F_{CN} ——挖掘铲受到向下的力, N
 R ——限深轮的牵引阻力, N
 F_C ——挖掘铲受到的前进方向的阻力, N
 S ——土壤沉切面积, m^2
 L ——铲的长度, m
 α ——铲的倾角, $(^\circ)$
 ϕ ——土壤间的内摩擦角, $(^\circ)$
 K ——犁沟土壤比阻, Pa
 g ——重力加速度, m/s^2
 B ——铲的宽度, mm n ——转速
 γ ——铲刃斜角, $(^\circ)$ i ——传动比
 D ——铲的截面厚度, m
 ρ ——土壤密度, kg/m^3

上述计算,弹簧的拉力作为内力,其受力分析如图 6 所示。由于悬浮式仿形机构与工作部件之间实现铰接,不考虑铰点阻力作用,此时点 O_1 处的扭矩 $M_{O1} = 0$,即

$$F_T L_1 + F_C L_4 + F_{CN} L_5 + RL_3 - F_N L_2 = 0 \tag{6}$$

解得

$$F_T = \frac{F_N L_2 - F_C L_4 - F_{CN} L_5 - RL_3}{L_1} \tag{7}$$

式中 F_T ——挖掘铲受到的水平阻力, N

依据主产区花生收获的土壤特性参数,通过上述计算得出弹簧的长度、弹性系数,选取合适的弹簧。

对试制的悬浮机构与整机在山东省日照市五莲

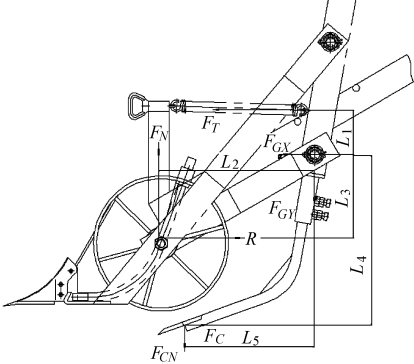


图 6 悬浮机构受力
Fig. 6 Stress of suspending mechanism

县潮河镇陈家沟村进行了田间性能试验。其中,试验地前茬作物为玉米,土壤平均硬度为 105 kPa,最终测得结果如表 1、2 所示。

表 1 入土行程的测量

位置	检测点								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
第 1 垄	45	55	42	50	47	56	39	36	42
第 2 垄	55	38	45	39	47	39	48	45	51

由表 1 可知,经计算第 1 垄的平均入土行程为 45.7 mm,第 2 垄的平均入土行程为 45.2 mm,经过试验测得该机构的入土性能良好。由表 2 知,该机构在花生收获过程中挖掘深度差异较小,工作稳定。

表 2 挖掘深度的测量

位置	检测点								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
第 1 垄	148	152	151	147	155	151	153	145	147
第 2 垄	145	153	147	149	153	151	147	148	151

2.2 清选装置

设计了一种带有集果功能的清选装置,与风机配合完成清选作业,主要结构如图 7、8 所示。机器在完成摘果作业后,脱下的果荚、断茎叶、未成熟果荚和泥土块等经提升装置收集输送到清选装置。

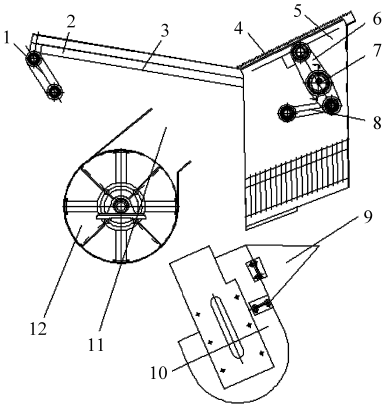


图 7 清选集果筛示意图

Fig. 7 Diagram of cleaning and collecting fruit sieve

1. 从动连杆 2. 清选筛框架 3. 栅条筛 4. 逐稿器 5. 集果筛
6. 主动杆 7. 偏心轮 8. 限位杆 9. 集果斗 10. 升运器 11. 风机口 12. 风机

该装置主要有上、下两层清选筛组成,对带有杂物的花生进行 2 次清选,上筛采用风筛组合式清选原理^[10-12],下层筛起到 2 次清选和集果的作用。由于下层筛与上层筛之间的落差较大,通过上筛的振动,在下落过程中将泥土等杂物与花生荚果进行分离,提高了清选效果。

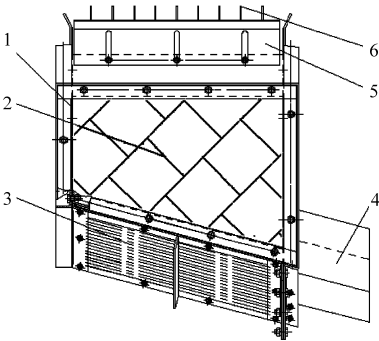


图 8 集果筛结构简图

Fig.8 Structural sketch of collecting fruit sieve

1. 筛框 2. 通气网 3. 筛条筛 4. 接果口 5. 逐稿器角度调节板 6. 逐稿器

通过多次田间试验与理论计算,得到影响花生清选效果的主要因素有清选筛振动频率、振幅和筛面的倾斜角度 3 个主要因素。为确定该清选筛的结构参数,针对 3 个主要因素进行试验,建立数学模型,分析各因素对试验指标的影响。

清选筛的振幅是通过改变偏心轮的偏心距来实现;改变末端传动皮带轮的直径以改变传动比,从而完成传动轴的转速调节,实现清选筛振动频率的变化。试验因素与水平如表 3 所示。

表 3 试验因素与水平

Tab.3 Experimental factors and levels

编码	偏心轮转速 $z_1/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	偏心距 z_2/mm	筛面角度 $z_3/(\text{ }^\circ)$
-1	360	5	8
0	460	10	10
1	560	15	12

选用三因素二次正交旋转组合设计方案,使用 SPSS 对试验结果进行分析,得到地面落果率的回归方程为

$$\hat{y}=3.324\times10^{-5}z_1^2-0.023\,3z_1+4.18\times10^{-4}z_1z_2-0.018z_2z_3+8.4\times10^{-3}z_2+0.09z_3+3.854\quad(8)$$

对试验各因素的显著性进行方差分析,结果如表 4 所示。

对式(8)求偏导,使导数等于零

$$\frac{\partial y}{\partial z_1}=0\quad\frac{\partial y}{\partial z_2}=0\quad\frac{\partial y}{\partial z_3}=0$$

即
$$\begin{cases} 6.648\times10^{-5}z_1-0.023\,3+4.18\times10^{-4}z_2=0 \\ 4.18\times10^{-3}z_1-0.018z_3+8.4\times10^{-3}=0 \\ -0.018z_2+0.09=0 \end{cases}\quad(9)$$

对式(9)求解可得,当偏心轮的转速在 375 r/min,偏心距在 8 mm,筛面角度为 10°时可得到落果率最优的试验结果。

表 4 地面落果率方差分析

Tab.4 Variance analysis of fruit abscission rate

源	Ⅲ型平方和	df	均方	F	Sig.
校正模型	0.731	13	0.056	7.658	0.002
截距	2.204	1	2.204	300.078	0
z_0	0	0			
z_1	0.357	2	0.179	24.314	0
z_2	0.035	2	0.018	2.393	0.147
z_3	0.022	2	0.011	1.485	0.277
z_1z_2	0.044	1	0.044	5.923	0.038
z_1z_3	0.003	1	0.003	0.383	0.551
z_2z_3	0.033	1	0.033	4.426	0.065
z_1^2	0.219\,2	1	0.219\,2	25.04	0
z_2^2	0.004\,1	1	0.004\,1	0.46	0.489
z_3^2	0.012\,9	1	0.012\,9	1.49	0.275
误差	0.066	9	0.007		
总计	7.440	23			
校正的总计	0.797	22			

含杂率的回归方程为

$$\hat{y}=1.044\,75\times10^{-4}z_1^2-0.218\,4z_1+0.014z_1z_3-0.5184z_2^2+0.324\,23z_2-5.25z_3+53.567\quad(10)$$

对试验各因素的显著性进行方差分析,结果如表 5 所示。

表 5 含杂率方差分析

Tab.5 Variance analysis of impurity rate

源	Ⅲ型平方和	df	均方	F	Sig.
校正模型	4.690	10	0.469	2.681	0.054
截距	42.021	1	42.021	240.251	0
z_0	0.432	1	0.432	2.473	0.142
z_1	0.048	1	0.048	0.275	0.610
z_2	0.092	1	0.092	0.529	0.481
z_3	0.146	1	0.146	0.834	0.379
z_1z_2	0.231	1	0.231	1.322	0.273
z_1z_3	0.125	1	0.125	0.715	0.414
z_2z_3	2.179	1	2.179	12.457	0.004
z_1^2	0.770	1	0.770	4.404	0.058
z_2^2	0.127	1	0.127	0.728	0.410
z_3^2	4.690	10	0.469	2.681	0.054
误差	2.099	12	0.175		
总计	109.356	23			
校正的总计	6.789	22			

对式(10)求偏导,使导数等于零

$$\frac{\partial y}{\partial z_1}=0\quad\frac{\partial y}{\partial z_2}=0\quad\frac{\partial y}{\partial z_3}=0$$

即
$$\begin{cases} 2\times1.044\,75\times10^{-4}z_1-0.218\,4+0.014z_3=0 \\ -2\times0.518\,4z_2+0.324\,23=0 \\ 0.014z_1-5.25=0 \end{cases}\quad(11)$$

对式(11)求解可得,当偏心轮的转速在 360 r/min,

偏心距在 5 mm,筛面角度为 8.4°时可得到含杂率最优的试验结果。

含土率的回归方程为

$$\hat{y}=0.021z_2^2-0.0434z_2-8.2218\times10^{-3}z_1z_2+0.2385z_3^2-4.513z_3+8.2\times10^{-3}z_1+13.5584\tag{12}$$

对试验各因素的显著性进行方差分析,结果如表 6 所示。

表 6 含土率试验结果分析

Tab.6 Variance analysis of soil content rate

源	Ⅲ型平方和	df	均方	F	Sig.
校正模型	6.062	10	0.606	1.590	0.221
截距	14.766	1	14.766	38.721	0
z_0	0	0			
z_1	0.011	1	0.011	0.030	0.866
z_2	0.510	1	0.510	1.338	0.270
z_3	1.693	1	1.693	4.439	0.057
z_1z_2	0.186	1	0.186	0.488	0.498
z_1z_3	0.007	1	0.007	0.019	0.893
z_2z_3	0.168	1	0.168	0.441	0.519
z_1^2	0.096	1	0.096	0.253	0.624
z_2^2	1.014	1	1.014	2.659	0.129
z_3^2	2.405	1	2.405	6.306	0.027
误差	4.576	12	0.381		
总计	35.744	23			
校正的总计	10.638	22			

对式(12)求偏导,使导数等于零

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial z_1}=0 & \frac{\partial y}{\partial z_2}=0 & \frac{\partial y}{\partial z_3}=0 \\ 2\times0.021z_2-0.0434-8.2218\times10^{-3}z_1=0 \\ -8.2218\times10^{-3}z_2+8.2\times10^{-3}=0 \\ 2\times0.2385z_3-4.513=0 \end{cases}\tag{13}$$

对式(13)求解可得,当偏心轮的转速在 380 r/min,偏心距在 9.5 mm,筛面角度为 10°时可得到含土率最优的试验结果。

通过对回归方程求偏导数,求得各试验指标的因素最佳参数组合,可以看出地面落果率、含杂率和含土率因素最佳参数并不完全一致。结合规定的收获指标要求,取偏心轮转速为 360 r/min、偏心距为 10 mm、筛面角度为 10°,试验检测得到地面落果率为 2.86%,含杂率为 2.93%,含土率为 1.95%,试验指标达到联合收获机的指标要求。

2.3 波纹式摘果辊

波纹叶片对辊式摘果装置,如图 9 所示。与直板式摘果辊^[13~15]相比,波纹叶片使摘果范围与摘果长度变大,并且改变了摘果的角度,从而减小了破碎率,提高了摘净率。

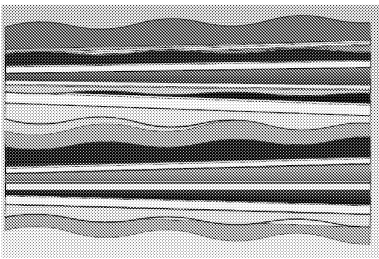


图 9 波纹式摘果叶片
Fig.9 Crimped picking leaf

通过多次试验分析与理论计算,得到影响花生摘果效果的主要因素有摘果辊长度、辊筒直径、重叠距离、摘果辊转速、夹持输送速度 5 个主要因素。试验因素及水平如表 7 所示。

表 7 试验的因素与水平

Tab.7 Experimental factors and levels

编码	摘果辊长度 z_4/mm	辊筒直径 z_5/mm	重叠距离 z_6/mm	摘果辊转速 $z_7/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	夹持输送速度 $z_8/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
-1	600	150	5	200	0.5
0	900	200	10	350	1.0
1	1200	250	15	500	1.5

为决定摘果机构的结构参数,针对以上 5 个主要因素,选取荚果破损率 y_1 和摘不净率 y_2 作为试验指标。由于试验指标与多个试验因素间的多元非线性回归关系可能为回归曲线或曲面,因而采用响应面分析法进行分析。试验采用五因素二次回归正交旋转组合试验,试验方案和结果如表 8 所示。

表 8 响应面试验方案及结果

Tab.8 Experimental design of RSM and results

试验号	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	$y_1/\%$	$y_2/\%$
1	-1	-1	-1	-1	-1	2.74	0.84
2	-1	0	0	0	0	1.57	2.07
3	-1	1	1	1	1	2.59	1.51
4	0	-1	-1	0	0	3.94	2.92
5	0	0	0	1	1	0.96	0.96
6	0	1	1	-1	-1	0.11	2.13
7	1	-1	0	-1	-1	1.08	3.02
8	1	0	1	0	0	0.18	3.14
9	1	1	-1	1	1	2.62	3.64
10	-1	-1	-1	1	0	1.36	1.96
11	-1	0	0	-1	1	3.82	2.89
12	-1	1	1	0	-1	3.08	0.98
13	0	-1	-1	1	-1	1.88	2.18
14	0	0	0	-1	0	0.57	1.27
15	0	1	1	0	1	1.29	2.23
16	1	-1	-1	0	1	2.23	1.21
17	1	0	0	1	0	1.36	3.45
18	1	1	1	-1	-1	1.97	1.43
19	0	0	0	0	0	2.89	1.32
20	0	0	0	0	0	2.87	1.34
21	0	0	0	0	0	2.88	1.33

对试验结果进行二次多项方程回归拟合,获得破损率 y_1 、摘不净率 y_2 的响应面模型,分别为

$$\hat{y}_1 = 10.5663 + 0.000462z_5 - 1.2633z_6 + 0.03656z_7 + 7.2645 \times 10^{-5}z_5z_7 + 3.4426 \times 10^{-4}z_6z_7 + 5.355z_7^2 \quad (14)$$

$$\hat{y}_2 = 15.573 - 0.000862z_4 - 0.00233z_5 + 0.03056z_7 + 2.03056z_8 + 1.245 \times 10^{-5}z_4z_7 + 0.4226 \times 10^{-4}z_7z_8 + 4.535z_7^2 \quad (15)$$

对回归方程进行优化分析,最终得到各个参数的优化值为:摘果辊长度 1 200 mm、辊筒直径 152.5 mm、辊筒重叠距离 5 mm、摘果辊转速 371 r/min 和夹持输送速度 1.025 m/s。

3 田间性能试验与检测结果

3.1 试验地点

分别在土壤特点不同的地块进行田间试验,具体为:日照市东港区河山镇程子沟村的土质为沙壤土、日照市五莲县潮河镇陈家沟村的土质为粘土。田间状况检测结果如表 9 所示。

表 9 试验条件
Tab.9 Test conditions

检测项目	试验地点	
	程子沟村	陈家沟村
试验地长、宽/m×m	60×20	50×25
土壤硬度/kPa	117	125
土壤含水率/%	14.1	16.8
种植方式	穴播、覆膜	穴播、覆膜
垄距/cm	90.0	88.3
株距/cm	20.0	21.1
植株高度/cm	55.5	48.5
结果深度/cm	9.1	10.4
结果宽度/cm	21.1	21.0
行距/cm	27.2	27.5

3.2 试验方法

分别在两块试验地中随机选取并排的二垄四行

花生种植区,在试验区长度 20 m 的两端插放标杆。以机器挖掘铲进入标杆标记范围时开始计时,挖掘铲离开第 2 标杆时结束计时。在每个试验区中随机抽取 3 个 1 m 的小区进行检测,按检测数据的结果求平均值,计算出机器的各项性能指标。

3.3 试验结果

试验结果如表 10 所示,粘土地与沙土地中机器的工作效率几乎没有变化,各项技术标准均达到规定要求的标准^[16]。由试验数据可知,波纹式摘果装置在沙土地和粘土的作业效果均较好,摘净率达到 99%;含杂率受土质变化的影响较大,在粘土地作业时含杂率明显升高,损失率也有较小提高,但均达到检测标准;破碎率在两种情况下基本保持不变。

表 10 试验结果
Tab.10 Test results

检测项目	程子沟村			陈家沟村		
	1	2	3	1	2	3
纯作业生产率/hm ² ·h ⁻¹	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
摘净率/%	99.1	99.1	99.0	99.0	98.9	99.1
含杂率/%	3.1	2.9	2.9	3.3	3.5	3.5
总损失率/%	3.1	3.3	3.1	3.3	3.3	3.2
破碎率/%	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1

4 结论

- (1) 采用悬浮式限深机构使机器对地面的适应性增强,在挖掘深度均匀性与夹持高度一致性等方面有了较大的提高。
- (2) 采用带有花生集果功能的双层振动筛,并且使用风筛组合式清选方式,实现了花生果的 2 次清选。
- (3) 波纹式摘果装置,不仅在摘果距离不变的前提下能够有效地缩短摘果辊的长度,而且有效降低了破损率,提高了摘净率。

参 考 文 献

1 张智猛,胡文广,许婷婷,等. 中国花生生产的发展与优势分析[J]. 花生学报,2005,34(3):6~10.
Zhang Zhimeng, Hu Wenguang, Xu Tingting, et al. The advantage analysis and development of the peanut production of China [J]. Journal of Peanut Science, 2005,34(3):6~10. (in Chinese)

2 张吉民. 中国花生产业现状与入世后发展对策[J]. 世界农业,2003(1):25~27.

3 胡志超,王海鸥,彭宝良,等. 国内外花生收获机械化现状与发展[J]. 中国农机化,2006,27(5):40~43.
Hu Zhichao, Wang Haiou, Peng Baoliang, et al. Status and development of peanut harvesting mechanization at home and abroad [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2006,27(5):40~43. (in Chinese)

4 尚书旗,刘曙光,王方艳,等. 花生生产机械的研究现状与进展分析[J]. 农业机械学报,2005,36(3):143~147.
Shang Shuqi, Liu Shuguang, Wang Fangyan, et al. Current situation and development of peanut production machinery [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(3):143~147. (in Chinese)

5 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)

6 尚书旗,李国莹,杨然兵,等. 4HQL-2 型全喂入花生联合收获机的研制[J]. 农业工程学报,2009,25(6):125~129.

- Shang Shuqi, Li Guoying, Yang Ranbing, et al. Development of 4HQL-2 type whole-feed peanut combine [J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(6):125~129. (in Chinese)
- 7 胡志超,彭宝良,尹文庆,等. 4LH-2 型半喂入自走式花生联合收获机的研制[J]. 农业工程学报,2008,24(3):148~153.
Hu Zhichao, Peng Baoliang, Yin Wenqing, et al. Design of 4LH-2 type half-feed and self-propelled peanut combine [J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(3):148~153. (in Chinese)
- 8 徐春光,高德兴. 4HB-2A 型花生联合收获机的研发应用[J]. 农业科技推广,2011(11):53~54.
- 9 丁保江,唐殿明,付华良,等. 小型背负式花生联合收获机的设计研究[J]. 农业装备与车辆工程,2005(3):30~32.
Ding Baojiang, Tang Dianming, Fu Hualiang, et al. Design and research on small-sized backpack peanut combine harvester [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2005(3):30~32. (in Chinese)
- 10 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,2005,26(1):47~49.
Chen Shufa, Li Yaoming, Sun Xingzhao. Research design on digging parts of peanut combine harvester [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2005,26(1):47~49. (in Chinese)
- 11 王洪君,闵令强,黄保申,等. 4HD-1 型花生联合收获机[J]. 农业机械,2005(6):71.
- 12 中国农业大学. 农业机械学:下册[M]. 北京:中国农业出版社,1998.
- 13 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册:下册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- 14 耿端阳. 卧式双滚筒花生摘果装置的设计[J]. 农机化研究,2008,30(1):98~101.
Geng Duanyang. Design and study on the horizontal double rollers peanut stripper [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008,30(1):98~101. (in Chinese)
- 15 王晓燕. 半喂入式花生摘果机试验台的设计与试验研究[D]. 青岛:青岛农业大学,2006.
Wang Xiaoyan. Device and experiment research on half feeding type peanut stripping tester [D]. Qingdao: Qingdao Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 16 DB37/T 316—2002 农业机械作业质量——花生机械收获[S]. 2002.

(上接第 56 页)

参 考 文 献

- 1 封俊,顾世康,曾爱军,等. 导苗管式栽植机的试验研究(Ⅱ)栽植机的性能评价指标与检测方法[J]. 农业工程学报,1998,14(2):73~77.
Feng Jun, Gu Shikang, Zeng Aijun, et al. Study on transplanter with chute and seedling aid springs (part Ⅱ) judging-targets system for transplanters[J]. Transactions of the CSAE, 1998,14(2):73~77. (in Chinese)
- 2 张波屏. 现代种植机械工程学[M]. 北京:机械工业出版社,1997:275~285.
- 3 金诚谦,吴崇友,袁文胜. 链夹式移栽机栽植作业质量影响因素分析[J]. 农业机械学报,2008,39(9):196~198.
- 4 胡军,封俊,曾爱军. 大葱移栽机的设计与试验研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2006,18(2):42~45.
Hu Jun, Feng Jun, Zeng Aijun. Design and experimental research of scallion transplanter[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2006,18(2):42~45. (in Chinese)
- 5 孙荣国,李成华,张伟. 挠性夹盘式移栽机移栽过程中钵苗运动分析[J]. 农机化研究,2006,28(2):45~47.
Sun Rongguo, Li Chenghua, Zhang Wei. Seedling kinematical analysis of soft disc-type transplanter[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006,28(2):45~47. (in Chinese)
- 6 耿端阳,董锋,汪遵元. 2ZG-2 型钵苗移栽机栽直率研究[J]. 现代化农业,1999(8):28~29.
- 7 顾世康,封俊,曾爱军,等. 导苗管式栽植机的试验研究(Ⅲ)导苗管式栽植机的改进设计与试验[J]. 农业工程学报,1998,14(3):123~128.
Gu Shikang, Feng Jun, Zeng Aijun, et al. Study on transplanter with chute and seedling aid springs (part Ⅲ) improvement and performance of transplanter with chute [J]. Transactions of the CSAE, 1998,14(3):123~128. (in Chinese)
- 8 王文明,窦卫国,王春光,等. 2ZT-2 型甜菜移栽机栽植系统的参数分析[J]. 农业机械学报,2009,40(1):69~73.
Wang Wenming, Dou Weiguo, Wang Chunguang, et al. Parameter analysis of the planting process of 2ZT-2 beet transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(1):69~73. (in Chinese)
- 9 陈建能,黄前泽,王英,等. 钵苗移栽机椭圆齿轮行星系植苗机构运动学建模与分析[J]. 农业工程学报,2012,28(5):6~12.
Chen Jianneng, Huang Qianze, Wang Ying, et al. Kinematics modeling and analysis of transplanting mechanism with planetary elliptic gears for pot seedling transplanter[J]. Transactions of the CSAE, 2012,28(5):6~12. (in Chinese)
- 10 陈建能,黄前泽,赵雄,等. 一种钵苗移栽机旋转式移栽装置:中国,ZL 201020238733. 6[P]. 2011-05-18.
- 11 李福生. 非圆齿轮[M]. 北京:机械工业出版社,1977:116~134.
- 12 赵匀,黄巨明,张国凤,等. 变形椭圆齿轮分插机构运动分析与优化[J]. 农业机械学报,2011,42(4):48~52,61.
Zhao Yun, Huang Juming, Zhang Guofeng, et al. Kinematic analysis and optimization of transplanting mechanism with deformable elliptic gears transmission[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(4):48~52,61. (in Chinese)