

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.026

半喂入花生摘果装置优化设计与试验^{*}

胡志超 王海鸥 彭宝良 陈有庆 吴峰 张延化

(农业部南京农业机械化研究所, 南京 210014)

【摘要】 在自行设计的半喂入花生摘果试验台上对半喂入花生摘果装置结构参数和运动参数进行优化设计与试验。在摘果过程运动分析的基础上,确定花生果系在摘果段的理想位置状态和参数关系,使花生果系由底向上、渐进有序穿过最佳摘果区,摘果强度均匀。分析了摘果频率和摘果强度的影响因素及对作业性能的影响。采用摘果机理分析和试验验证相结合的方法,确定采用后倾弧形板摘果叶片,单辊配置6个叶片。通过多指标响应面综合试验,优化确定摘果装置的结构和作业参数组合为:摘果辊长度1 200 mm、链辊夹角7.2°、辊筒直径152.5 mm、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。

关键词: 花生 半喂入 摘果装置 优化设计 试验

中图分类号: S225.7⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0131-06

Optimized Design and Experiment on Semi-feeding Peanut Picking Device

Hu Zhichao Wang Haiou Peng Baoliang Chen Youqing Wu Feng Zhang Yanhua
(Nanjing Research Institute of Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

Abstract

A semi-feeding peanut picking test-bed was developed to carry out the studies on optimized design and experiment on the structural and motion parameters of semi-feeding peanut picking device. Based on the motion analysis of picking process, ideal position state and parameter relationship of pods cluster during the picking section were determined to ensure that all the pods cluster could pass through the best picking areas by bottom-up and gradual-orderly mode. Influencing factors of picking frequency and strength as well as the influence on the picking performance were analyzed. On the basis of picking mechanism analysis and the experimental verification, the picking roller employed six backward-curved blades. After the multi-criteria response surface experiments, the optimized combination of structural and operational parameters were obtained as follows: the roller length was 1 200 mm, the included angle between chain and roller was 7.2°, the roller diameter was 152.5 mm, roller overlap distance was 5 mm, roller rotate speed was 371 r/min, chain conveying speed was 1.025 m/s.

Key words Peanut, Semi-feeding, Picking device, Optimization design, Experiment

引言

我国是世界花生生产大国,但花生机械化收获技术相对滞后,严重制约了我国花生产业的发展^[1~4]。摘果是花生机械化收获中最重要的作业环节,也是花生联合收获的核心技术,摘果装置结构设

计以及作业参数选定直接决定了花生联合收获机和花生摘果机的作业性能^[5~6]。按喂入方式的不同,花生摘果装置可分为半喂入式和全喂入式,全喂入式花生摘果装置主要用于花生干摘作业,存在功耗大、摘果不净、分离不清和破碎率高等缺点;而半喂入式花生摘果装置主要用于花生鲜摘作业,具有作

收稿日期: 2012-07-12 修回日期: 2012-07-19
^{*} 现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-14-08B)和农业部2009年度公益性行业(农业)科研专项资助项目(200903053)
作者简介: 胡志超,研究员,博士,主要从事农业机械化工程及农产品加工技术装备研究,E-mail: nfzhongzi@163.com

业功耗小、破损少和秧蔓可完整回收等优点^[6]。目前我国的花生联合收获机多采用半喂入摘果装置,但相对于全喂入摘果方式而言,半喂入摘果装置结构和传动较为复杂、技术要求更高,摘果性能受摘果部件结构配置、运动参数和花生植株状态等多方面影响,作业质量难以保持稳定^[7-10]。为此,本文采用理论分析与台架试验相结合方法,对半喂入花生摘果装置结构进行优化设计和摘果性能试验研究,以期对半喂入花生联合收获机和半喂入花生摘果机的研发提供依据。

1 半喂入花生摘果试验台设计

根据半喂入花生联合收获机和摘果机摘果部件的结构特点和作业过程,设计半喂入花生摘果试验台如图1所示。该试验台可为花生摘果机构结构参数和运动参数对摘果性能的影响进行研究,为半喂入花生摘果装置的优化设计以及作业参数优化提供试验平台。试验台采用2个相互独立的传动系统,分别驱动夹持输送装置和摘果装置。夹持输送装置采用2个回转对夹的齿形链,其动力由调速电动机通过带传动、减速器和链传动提供,调速电动机可实现夹持输送速度无级调节;摘果装置采用双辊筒、差相组配形式,其动力由调速电动机通过带传动、减速器、带传动和齿轮传动提供,2个摘果辊筒作相向、同速转动,转速可通过调速电动机实现无级调节。为试验研究的需要,试验台满足如下要求:①能够模拟花生半喂入摘果的实际作业工况。②可根据需要调节夹持输送链与摘果辊筒的相互位置,包括上、下距离和夹角大小。③可根据需要调节2个摘果辊筒之间的相互位置,摘果叶片类型和个数可更换或调整。④夹持输送速度、摘果辊筒转速可实现连续可调。

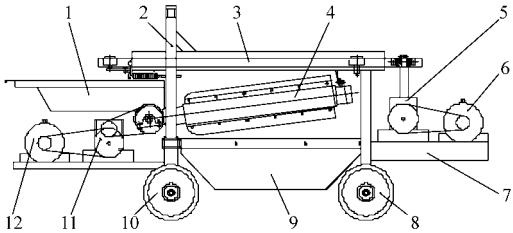


图1 摘果试验台结构示意图

Fig. 1 Structural schematic of peanut picking tester

1. 喂料槽 2. 机架 3. 夹持输送链 4. 摘果辊筒 5、11. 减速器
6、12. 调速电动机 7. 底座 8、10. 行走轮 9. 出料斗

2 摘果过程运动特性分析

花生摘果作业性能指标主要包括摘净率、荚果破损率和荚果含杂率等,这些指标不仅与花生果系

在夹持输送过程中的位置状态有关,还受摘果叶片对花生果系作用频率(摘果频率)和作用强度(摘果强度)的影响。

2.1 摘果过程中花生果系的理想运动轨迹

由于摘果辊与夹持链呈一定夹角的倾斜配置,在夹持输送摘果过程中从入口到出口,花生果系与摘果区的相对位置不断发生变化,其理想位置状态如图2所示。其中 CD 平行于夹持链, l_{BD} 为摘果辊筒的长度, l_{BF} 为花生果系高度,夹持链与摘果辊筒的夹角为 δ ,秧蔓与夹持链的夹角为 θ , $ACDE$ 为有效摘果区,即花生果只要位于该区域内,在摘果段夹持输送过程中必定会穿过最佳摘果区 $ABDE$ (即两摘果辊筒交汇重叠区)。相反,位于有效摘果区以外的花生果在摘果段会被漏摘,造成收获损失。

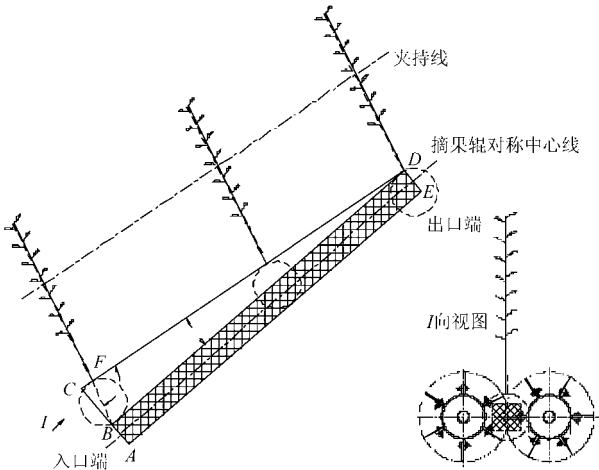


图2 花生植株在摘果段的理想位置变化

Fig. 2 Ideal position of peanut plant during picking pods

理想摘果过程为:花生植株在夹持输送过程中,花生果系顶部运动轨迹为 CD 线,花生植株运动到摘果段入口端时果系底部与最佳摘果区上沿相接,运动到出口端时果系顶部与最佳摘果区上沿相接。在整个摘果行程段,花生果系由底向上逐渐穿过最佳摘果区,从而完成整个花生果系的摘果作业,即在整个摘果段不存在无效行程、摘果作业渐进有序、摘果强度均匀、摘不净损失低、荚果破损少。

理想位置状态中, δ 与 l_{BD} 、 l_{BF} 和 θ 等参数直接有关,在 BDF 构成的三角形中,根据正弦定理

$$\frac{l_{BD}}{l_{BF}} = \frac{\sin \theta}{\sin \delta}$$

(1)

花生半喂入联合收获机作业时,花生秧蔓经扶禾器导扶和夹持链拢合夹拔起秧后,秧蔓与夹持链呈近似垂直状态被夹持输送进入摘果段^[11],半喂入摘果机作业时秧蔓与夹持链也呈类似夹持状态。通常,花生秧蔓夹持输送过程中,荚果果系高度在 150 mm 范围内。因此,式(1)中秧蔓与夹持链夹角

θ 取 90° , l_{BF} 取 150 mm, 也即 l_{BD} 与 $\sin\delta$ 乘积为恒值 150。当 l_{BD} 取 1 000 mm 时, 夹持链与摘果辊夹角 δ 为 8.5° 。

2.2 摘果频率

在上述理想摘果过程中, 假定花生果系在运动过程中均处于有效摘果区内, 且在整个摘果段均为有效行程, 即花生果系从摘果段入口到出口渐进有序完成摘果作业。为简化问题, 将花生果系作为一个整体单元来分析其在摘果段被摘果的次数, 摘果频率计算公式为^[12]

$$N_z = \frac{L_z r n \cos\delta}{30 v_2} \quad (2)$$

式中 N_z ——花生果系在摘果段受摘果叶片击打的次数, 简称摘果频率
 r ——摘果辊转速, r/min
 n ——摘果叶片个数
 L_z ——摘果辊长度, m
 v_2 ——夹持输送速度, m/s

通过式(2)可知, 花生摘果频率 N_z 与摘果辊长度 L_z 、转速 r 、摘果叶片个数 n 呈正比, 与夹持输送速度 v_2 、链辊夹角 δ 呈反比。

2.3 摘果强度

半喂入花生摘果装置是通过摘果叶片对荚果本身或果柄的作用力使得花生荚果与植株发生分离。花生摘果作用力的强度对摘净率、破损率、带柄率等指标有着较大影响, 适宜的摘果强度是获得良好摘果作业性能的重要保证。由于花生收获时荚果含水率较高, 果壳和果仁的纤维组织较嫩, 花生荚果抵御外力作用破损的能力较弱, 所以摘果过程中摘果强度过大, 荚果就容易破裂或断果, 同时也可能会将茎秆和果柄摘下, 收获后荚果含杂多; 另外, 若摘果叶片对荚果的作用力过小, 以至不足以将荚果摘下, 摘不净损失就会高。对于本结构形式的摘果部件, 摘果强度受摘果叶片形状、两摘果辊间距、摘果叶片外缘线速度等因素影响。由于本研究现有条件和分析手段限制, 目前还很难量化描述摘果强度与上述影响因素之间关系, 只能通过摘果试验测试来进行判定。

3 摘果叶片形式与个数确定

摘果叶片的结构形式决定了摘果作业机理和作业性能。为了分析摘果叶片结构形式对作业性能的影响, 将摘果叶片设计成直板型、折弯型、圆弧型 3 种, 如图 3 所示。直板型叶片宽度方向上不发生弯曲, 而折弯型叶片在宽度方向上靠外侧段进行折弯处理, 圆弧型叶片呈后倾弧形。

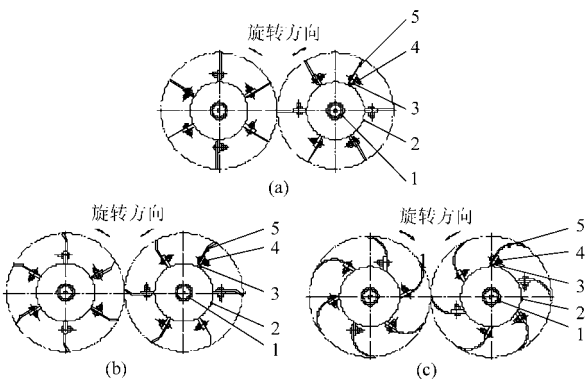


图 3 不同叶片形式的摘果辊筒
Fig.3 Picking rollers with different shapes
(a) 直板型 (b) 折弯型 (c) 圆弧型

1. 辊筒轴 2. 辊筒 3. 叶片固定座 4. 固定螺栓 5. 摘果叶片

试验证实, 摘果辊采用直板型和折弯型叶片时花生摘果后果荚带柄、断枝断秧现象非常严重, 荚果带柄率超过 50%, 含杂率近 20%; 而摘果辊采用后倾弧形叶片, 可明显降低荚果带柄率、含杂率和破损率。直板型和折弯型叶片在高速旋转时叶片钢板外侧端与荚果直接作用, 摘果叶片对花生荚果不仅有扯拉力, 同时还有剪切作用, 其摘果过程为刷脱式摘果, 摘果作用力强烈, 致使荚果破损率高、果荚带柄率高和断枝断秧多等问题。后倾弧形叶片摘果作业时, 摘果叶片外侧端并非最先与花生果系发生作用, 而是叶片圆弧段外侧先接触花生荚果, 对其进行连续拍击, 实现脱荚作业, 该摘果过程为击打式, 类似手工甩打摘果的方式, 摘果作业相对柔和。因此, 摘果装置的摘果叶片形式选定为后倾弧形板式。

从受力和运动平衡角度来看, 摘果叶片个数应该选取偶数; 从摘果频率来看, 应该选取叶片个数越多越好, 有利于提高作业效率和效果; 但从结构配置和摘果强度来看, 摘果叶片数过多, 花生果系在两摘果辊中所处的空间过于狭小, 摘果强度高, 会导致较高的果荚破损率和含杂率; 从制造成本和能耗方面考虑, 叶片数目也不可过多。通过试验考察, 摘果辊采用 6 个叶片可以获得较为理想的摘果性能指标。

4 摘果装置结构与作业参数综合优化

影响摘果作业性能的摘果辊筒结构参数包括: 辊筒外径 D 、辊筒长度 L_z 、链辊夹角 δ 、叶片重叠距离 x , 其中辊筒长度和链辊夹角满足 $L_z \sin\delta = d$ (d 为花生果系直径 150 mm) 的关系。影响摘果作业性能的运动参数包括: 夹持输送速度 v_2 和摘果辊转速 r 。

4.1 试验方法

试验地点为泰州市农科所试验田(试验设备运至田头)。试验用花生品种为泰花 4 号, 收获时平均植株高度 400 mm, 单穴结果范围 $\phi 150$ mm。试验

时由人工完成挖掘起秧,每穴花生植株挖起后用细线包扎作为喂入单元,并尽可能清除根须土壤和地膜,再收集运送至供试设备旁,进行人工喂秧摘果作业。

4.2 试验方案与结果

在单因素试验的基础上,根据 Box-Benhknen 试验设计原理,对摘果辊长度 L_z 、辊筒直径 D 、重叠距离 x 、摘果辊转速 r 以及夹持输送速度 v_2 5 个因素进行五因素三水平的响应面试验分析,试验中分别测定荚果破损率 Y_1 和摘不净率 Y_2 ,作为响应值。采用五因素二次回归正交旋转组合试验设计方案对影响破损率、摘不净率的 5 个主要参数组合进行优化。试验因素与水平设计如表 1 所示,试验方案和试验结果如表 2 所示,其中 $x_1 \sim x_5$ 为对应真实值, $X_1 \sim X_5$ 为对应编码值。

表 1 响应面分析因素水平与编码
Tab.1 Experimental factors and codes

因素	试验水平		
	-1	0	1
L_z/mm	600	900	1 200
D/mm	150	200	250
z/mm	5	10	15
$r/r \cdot \text{min}^{-1}$	200	350	500
$v_2/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	0.5	1.0	1.5

4.3 结果分析

4.3.1 响应面模型与因素重要性

利用 Design-Expert 7.0 软件对表 2 中的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

$$Y_1 = 11.232\,05 - 0.025\,872x_2 - 0.124\,3x_3 - 0.059\,118x_4 + 9.333 \times 10^{-5}x_2x_4 + 5.67 \times 10^{-4}x_3x_4 + 7.016\,7 \times 10^{-5}x_4^2$$
$$Y_2 = 14.074\,4 - 0.005\,722x_1 - 0.005\,75x_2 - 0.047\,68x_4 + 2.875x_5 + 1.277\,8 \times 10^{-5}x_1x_4 - 0.006x_4x_5 + 4.407\,4 \times 10^{-5}x_4^2$$

因素显著性和重要性分析结果如表 3 所示,即 5 个因素对破损率影响重要性顺序为:摘果辊转速 X_4 、重叠距离 X_3 、辊筒直径 X_2 、摘果辊长度 X_1 、夹持输送速度 X_5 ;对摘不净率影响重要性顺序为:摘果辊转速 X_4 、夹持输送速度 X_5 、摘果辊长度 X_1 、辊筒直径 X_2 、重叠距离 X_3 。

4.3.2 因素影响效应分析

针对上述建立的两个指标响应面模型,按照因素显著性和重要性顺序,分别选取 3 个最为重要影

表 2 响应面试验方案及结果
Tab.2 Experimental design of RSM and results

试验号	变量编码					响应值	
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$Y_1/\%$	$Y_2/\%$
1	1	0	0	0	-1	1.2	0.7
2	-1	0	0	0	1	1.4	2.3
3	0	0	0	0	0	1.0	1.2
4	0	0	0	-1	-1	0.6	3.4
5	0	0	-1	0	-1	1.3	1.0
6	0	0	0	1	1	4.4	0.8
7	0	0	1	0	1	1.6	1.5
8	0	0	0	0	0	1.2	1.1
9	0	0	0	0	0	1.2	1.2
10	0	-1	0	0	1	0.9	1.6
11	-1	1	0	0	0	1.5	1.1
12	1	-1	0	0	0	0.9	1.2
13	0	-1	1	0	0	2.1	1.0
14	-1	0	1	0	0	1.9	1.4
15	0	0	1	-1	0	0.8	3.9
16	0	-1	0	0	-1	1.0	1.2
17	1	0	1	0	0	1.3	1.0
18	0	0	0	0	0	1.2	1.3
19	0	-1	0	-1	0	0.4	4.6
20	0	0	0	0	0	1.2	1.3
21	-1	0	0	1	0	4.6	0.6
22	0	-1	-1	0	0	0.9	1.6
23	0	0	0	1	-1	4.7	0.3
24	1	0	0	-1	0	0.6	2.9
25	-1	0	-1	0	0	1.1	1.7
26	0	0	-1	1	0	4.1	0.6
27	0	1	0	-1	0	1.1	2.7
28	0	1	0	1	0	7.4	0.1
29	0	0	-1	0	1	1.0	1.5
30	0	0	1	1	0	6.1	0.8
31	1	0	-1	0	0	0.9	1.1
32	0	1	0	0	1	1.3	1.2
33	0	1	1	0	0	1.5	1.3
34	-1	-1	0	0	0	1.0	1.9
35	0	0	0	0	0	1.1	1.3
36	0	-1	0	1	0	3.9	1.0
37	1	0	0	1	0	4.5	0.4
38	1	1	0	0	0	1.4	0.9
39	0	0	1	0	-1	1.5	1.1
40	-1	0	0	0	-1	1.3	1.2
41	-1	0	0	-1	0	0.7	5.4
42	0	0	0	-1	1	0.7	5.7
43	0	1	-1	0	0	1.1	1.3
44	0	1	0	0	-1	1.2	0.9
45	0	0	-1	-1	0	0.5	3.2
46	1	0	0	0	1	1.0	1.4

表 3 影响因素的显著性和重要性分析

Tab.3 Significance analysis of influencing factors

影响 因素	显著性 p		均方 MS	
	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
X_1	0.341 0	0.000 7***	0.181 0	2.250
X_2	0.004 9**	0.006 7**	1.823 0	1.323
X_3	0.002 5**	1.000 0	2.176 0	0
X_4	0.000 1***	0.000 1***	73.531 0	46.240
X_5	0.778 0	0.000 5***	0.015 6	2.403

注：*** $p < 0.001$ (极显著)，** $p < 0.01$ (很显著)。

响因素,利用 Matlab 图形设计技术绘制四维切片图来直观描述因素对指标的影响效应。摘果辊转速、辊筒直径、重叠距离 3 个因素与破损率影响效应如图 4 所示。总体影响趋势为:摘果辊转速越高、辊筒直径越大、重叠距离越大,则荚果破损率越高;反之则破损率低。摘果辊转速、夹持输送速度、摘果辊长度 3 个因素与摘不净率的影响效应如图 5 所示。总体影响趋势为:辊筒转速越低、辊筒长度越小、夹持输送速度越高,则摘不净损失越大;辊筒转速高的区域,摘不净率均较低,辊筒转速低的区域,摘不净率相对较高;从图中切片颜色分布可判断,辊筒转速对切片颜色变化影响较大,即对摘不净率影响程度大。

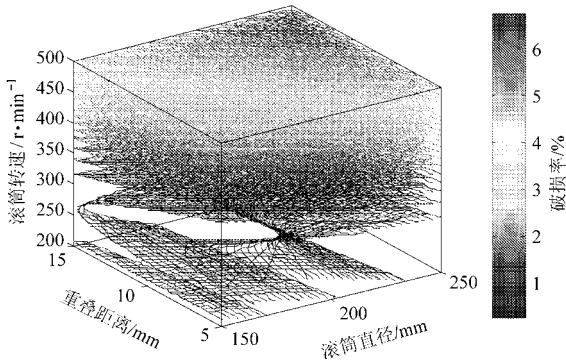


图 4 破损率与摘果辊转速、辊筒直径、重叠距离的四维切片图

Fig.4 4-D chip figure of breakage rate with roller rotate speed, diameter and overlap distance

4.3.3 各因素的最优参数组合

上述分析表明,所考查的 5 个因素对破损率和摘不净率的影响趋势不尽相同,所以应对两个性能指标进行综合考虑,优化确定参数组合。

通过 Design-Expert 软件优化求解器对上述建立的破损率、摘不净率全因子二次回归模型进行优化求解,优化约束条件为目标函数: $\min Y_1(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$; $\min Y_2(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$ 。变量区间: $-1 \leq X_1 \leq 1$, $-1 \leq X_2 \leq 1$, $-1 \leq X_3 \leq 1$, $-1 \leq X_4 \leq 1$, $-1 \leq X_5 \leq 1$ 。

优化得到的最佳参数组合如表 4 所示。

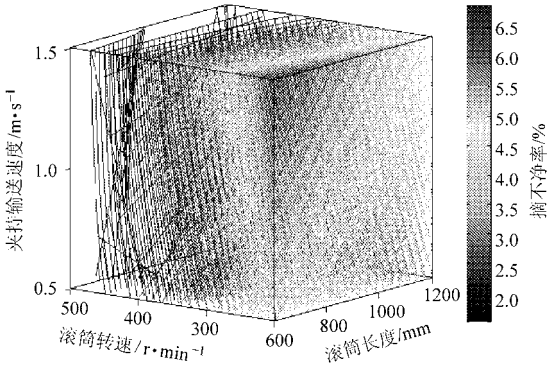


图 5 摘不净率与辊筒转速、辊筒长度、夹持输送速度的四维切片图

Fig.5 4-D chip figure of unpicked peanut content with roller rotate speed, length and clamp chain speed

表 4 组合参数优化

Tab.4 Optimized parameters

因素	编码值	实际值	理论 优化值	验证值
摘果辊长度 L_2 /mm	1	1 200		
辊筒直径 D /mm	-0.95	152.5	$Y_1 = 0.695\%$	$Y_1 = 0.969\%$
重叠距离 z /mm	-1	5		
摘果辊转速 r /r·min ⁻¹	0.14	371	$Y_2 = 0.752\%$	$Y_2 = 0.986\%$
夹持输送速度 v_2 /m·s ⁻¹	0.05	1.025		

由于优化得到的最佳参数组合未出现在响应面设计方案的试验中,为了对优化结果和预测模型进行验证,采用上述最佳参数组合在摘果试验台上进行 3 次重复试验,测定破损率和摘不净率,取平均值为试验验证值。可见, Y_1 、 Y_2 的理论优化值与验证值的差异很小,这种差异在实际作业过程中可以忽略。因此在机具设计时推荐采用该最优组合,即摘果辊长度 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。其中链辊夹角 δ 按照 $L_2 \sin \delta = d$ 计算为 7.2° 。

在上述优化的结构配置和参数组合下,通过计算理论摘果频率为 86 次,摘果叶片的最大线速度为 5.93 m/s。同样利用软件预测摘果性能最差条件下的参数组合,计算理论摘果频率为 17 次,摘果叶片最大线速度为 1.57 m/s。摘果叶片最大线速度在一定程度上决定了摘果强度。在整个响应面优化试验中,最优参数组合下的理论摘果频率处于较高水平,而摘果叶片最大线速度为适中水平,但两者均远高于最差参数组合下的计算值。因此,为了获得较好的摘果性能(低破损率、低摘不净率),本摘果部件适宜采用较高摘果频率,适中的摘果强度。

5 结 论

(1) 设计了半喂入花生摘果试验台,为花生摘果装置的结构参数和运动参数优化提供试验平台。

(2) 通过摘果过程运动分析,确定花生果系在摘果段的理想位置状态和参数关系,花生果系由底向上、渐进有序穿过最佳摘果区,摘果强度均匀。

(3) 采用摘果机理分析和试验验证相结合的方

法,确定叶片型式为后倾弧形板摘果叶片,单辊配置6个叶片。

(4) 通过多指标响应面综合试验,优化确定摘果装置的结构和作业参数组合为:摘果辊长度1 200 mm、链辊夹角 7.2° 、辊筒直径152.5 mm、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。

参 考 文 献

- 1 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)
- 2 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)
- 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(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(5):40~43. (in Chinese)
- 4 王伯凯,吴努,胡志超,等.国内外花生收获机械发展历程与发展思路[J].中国农机化,2011(4):6~9.
Wang Bokai, Wu Nu, Hu Zhichao, et al. Experience and thought of development of peanut harvesting mechanization at home and abroad[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2011(4):6~9. (in Chinese)
- 5 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)
- 6 王晓燕,梁洁,尚书旗,等.半喂入式花生摘果试验装置的设计与试验[J].农业工程学报,2008,24(9):94~98.
Wang Xiaoyan, Liang Jie, Shang Shuqi, et al. Design and experiment of half feeding type peanut picker[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(9):94~98. (in Chinese)
- 7 胡志超,彭宝良,尹文庆,等.4LH2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 4LH2 type half-feed and self-propelled peanut combine[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3):148~153. (in Chinese)
- 8 胡志超,彭宝良,尹文庆,等.多功能根茎类作物联合收获机设计与试验[J].农业机械学报,2008,39(8):58~61.
Hu Zhichao, Peng Baoliang, Yin Wenqing, et al. Design and experiment of multifunctional root-tuber crops combine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8):58~61. (in Chinese)
- 9 胡志超,王海鸥,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)
- 10 胡志超,王海鸥,彭宝良,等.4HLB-2型花生联合收获机清土机构运动分析与试验[J].农业机械学报,2011,42(增刊):142~146.
Hu Zhichao, Wang Haiou, Peng Baoliang, et al. Motion analysis and experiment on clod cleaner of 4HLB-2 type peanut combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(Supp.):142~146. (in Chinese)
- 11 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)
- 12 胡志超.半喂入花生联合收获机关键技术研究[D].南京:南京农业大学,2011.
Hu Zhichao. Study on key technologies of half-feed peanut combine harvester[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011. (in Chinese)