

半喂入花生摘果机关键工作部件的分析与试验

吕小莲^{1,2} 胡志超¹ 彭宝良¹ 王冰¹ 于昭洋¹

1.农业部南京农业机械化研究所,南京 210014; 2.滁州学院机械与汽车工程学院,滁州 239000

摘要 对自行研制的半喂入式花生摘果机的关键工作部件摘果辊的配置、摘果运动过程、摘果叶片结构参数等进行理论研究,并结合试验结果确定摘果辊及摘果叶片合理的结构形式及参数。以摘果过程中荚果破损率、摘不净率、含杂率、总损失率等为指标,通过田间试验对摘果辊的配置方式、摘果叶片结构、摘果叶片参数等进行摘果试验。结果表明:摘果辊相交平行配置破损率、含杂率均最大,相切平行配置摘不净率最大,含杂率最小,相切平行配置和渐紧夹角配置破损率均较低;圆弧型叶片的摘不净率比直板型、折弯型叶片稍高,摘果转速增大使直板型叶片和圆弧型叶片的破碎率、含杂率均增大;叶片弧度对破损率、摘不净率影响均较大,弧度越小,摘果破损率越高,摘不净率越低,当叶片弧度为70°、圆弧半径为35 mm时总损失率最低。根据理论分析及摘果性能试验,最终确定摘果辊与夹持输送链采用倾斜配置方式,摘果辊采用渐紧型夹角配置方式,摘果叶片采用后倾圆弧型,叶片弧度为70°,圆弧半径为35 mm。

关键词 花生; 花生摘果机; 半喂入式; 摘果辊; 配置形式; 结构参数

中图分类号 S 225.7⁺3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)03-0134-06

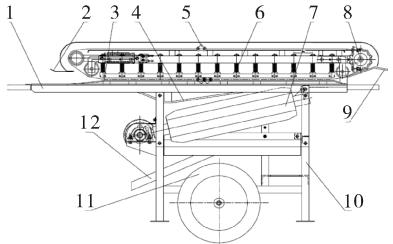
花生是我国重要的油料作物和出口创汇农产品,在我国农业种植结构中占重要地位^[1-2]。当前我国花生机械生产中,收获作业占用工量1/3以上,占生产成本1/2以上,花生机械化收获难题已日渐成为我国花生生产机械化发展的瓶颈问题。摘果是花生机械化收获中的关键环节,该装置结构设计及作业参数选定决定了花生联合收获机和花生摘果机的作业性能。摘果按喂入方式的不同,分为半喂入式和全喂入式。全喂入式花生摘果机主要用于花生干摘作业,具有喂入量大、生产率高、功耗大、摘果质量差等特点^[3-4]。半喂入式花生摘果机可用于鲜摘和干摘作业,相比而言,具有喂入量小、生产率低、功耗小、摘果质量好等特点,可以较好地满足鲜嫩花生收获要求,尤其是在我国南方花生产区具有较大的市场需求^[5-7]。但相对于全喂入摘果方式而言,花生摘果机半喂入摘果部件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、花生植株状态等多方面影响,且还存在作业性能不稳定、生产效率低等一系列问题。笔者针对自行研制开发的一种花生摘果机,对其摘果机理进行研究,并通过理论分析与实际试验分析其结构及关键部件

参数对摘果性能的影响,以期为提高该类机具的作业质量提供理论依据及技术参考。

1 材料与方法

1.1 整机结构及工作原理

半喂入式花生摘果机结构如图1,主要由机架、喂料台、导秧杆、夹持输送装置、摘果辊及传动系统等组成。



1.喂料台 Feeding platform; 2.导入杆 Import rod; 3.输送导轨 Transport track; 4.折弯杆 Seeding bending rod; 5.夹持输送链 Clamp conveyor chain; 6.夹持力调节器 Clamping force regulator; 7.摘果辊 Picking roller; 8.链轮 Sprocket; 9.导出杆 Seedling derived rod; 10.机架 Frame; 11.行走轮 Walking wheel; 12.集料斗 Material collection bin.

图1 半喂入式花生摘果机结构图

Fig.1 Structure diagram of the half-feed peanut picker

收稿日期: 2015-07-11
基金项目: 国家自然科学基金项目(51375247); 安徽省自然科学基金项目(1408085ME103)
吕小莲,博士,副教授. 研究方向: 农业机械装备工程技术. E-mail: lx1500@163.com
通信作者: 胡志超,研究员. 研究方向: 农业机械化工程及农产品加工技术装备. E-mail: nfzhongzi@163.com

为降低整机成本,提高机具的使用性,选用柴油机为动力源^[8]。其传动系统具有 2 条分支,分别用来驱动夹持输送链做匀速转动和驱动摘果辊相对同速转动。机具作业时,先由人工将分段收获的花生秧整齐放在摘果机喂料台上,并连续将其水平推送至夹持输送链的喂入口处,花生秧蔓通过导入杆进入 2 个夹持输送链输送导轨间,在夹持输送链夹持输送作用下水平向前匀速运动,在折弯杆的作用下果秧夹持部位以下的果实段被折弯竖直进入摘果区,在相对转动倾斜配置的两叶片式摘果辊依次自上而下的打击、梳刷的作用下实现果秧分离,采摘下的荚果通过集料斗滑落到接料盘中,余下的花生秧

蔓在夹持输送装置的作用下继续向后输送,由机具尾部经导出杆排出机体外。

1.2 结构及参数研究

1)摘果辊的配置方式。①与夹持输送链的配置方式。半喂入摘果作业是通过夹持输送链与摘果辊配合使用进行的,摘果辊与夹持输送链成上下配置,两者配置方式对作业性能影响很大。通常夹持输送链与摘果辊有 2 种配置方式:平行配置和倾斜配置^[9],如图 2。

倾斜配置中摘果辊与夹持输送链成一定夹角(图 2),机具作业时,在摘果段夹持输送过程中,从入口到出口,花生果系与摘果区的相对位置不断发

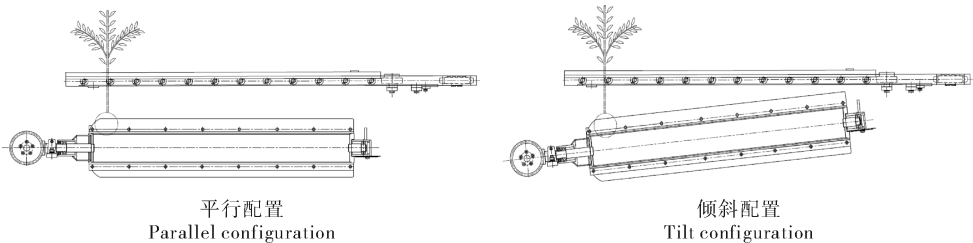


图 2 夹持输送链与摘果辊筒配置方式

Fig.2 Configuration mode of clamp conveyor chain and picking roller

生变化,这种变化因夹持高度不同而有所差异。由分析可知,倾斜配置方式有效摘果高度范围比平行配置方式要大,因此,对荚果分布空间位置要求相对较低,摘果适应性较强,可有效避免摘不净损失;在摘果作业过程中,从入口端到出口端,摘果作业是在整个摘果区域自下而上依次有序进行,相对摘果喂入量较为均匀,避免了平行配置在入口端喂入量较大造成的堵塞、摘果力较大及由于挤压造成的破损,因此,摘果过程中强度适宜,脱荚作用力小,破损较

低,且根系、茎秆等被摘下的几率较小,不宜阻塞,摘果作业性能相对稳定,功耗较低。综上比较分析,设计中选用摘果辊与夹持输送链成倾斜配置方式。

②双摘果辊配置方式。该机是通过 2 个相对转动的摘果辊实现摘果作业,2 个摘果辊相对配置方式对其作业质量有较大的影响。如图 3 所示,图中 L_R 为入口端摘果辊中心距, L_C 为出口端摘果辊中心距, D 为摘果辊直径大小,摘果辊相对配置方式有平行配置和夹角配置 2 种。平行配置是入口端和出

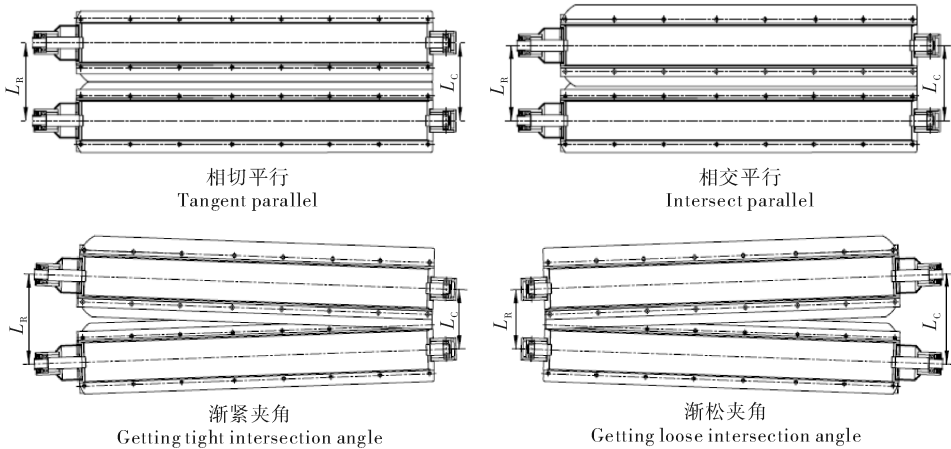


图 3 双辊筒配置方式示意图

Fig.3 Configuration mode of picking rollers

口端 2 个摘果辊中心距相等的双滚筒配置方式,当 $L_R=L_C=D$ 时,则 2 个摘果辊外径相切为相切平行配置,当 $L_R=L_C<D$ 时,则 2 个摘果辊外径相交为相交平行配置;夹角配置是使 2 个摘果辊在水平面成一定角度,当 $L_C=D<L_R$ 时,在出口端 2 个摘果辊外径相切,并沿摘果辊轴向中心距逐渐减小,为渐紧夹角配置,当 $L_R=D<L_C$ 时,在入口端 2 个摘果辊外径相切,并沿摘果辊轴向中心距逐渐增加,为渐松夹角配置。为了获得摘果辊筒配置方式对摘果作业质量的影响效果,合理选择其配置形式,需通过试验研究。

2)摘果过程的运动分析。摘果过程中果秧被夹持输送链匀速向后输送时,摘果辊相对匀速转动打击荚果区进行摘果。作业时摘果辊上安装的摘果叶片上任意一点的速度 V (图 4),可分解成 3 个方向的运动,即水平轴向运动速度 V_x 、水平径向运动速度 V_y 及垂直向下运动速度 V_z ,该值的大小为:

$$V=\sqrt{V_x^2+V_y^2+V_z^2} \tag{1}$$

由于 $V=\omega R$,根据力的分解可得:

$$V_x=V_n \sin\beta=V \cos\alpha \sin\beta=\omega R \cos\alpha \sin\beta \tag{2}$$

$$V_y=V_n \cos\beta=V \cos\alpha \cos\beta=\omega R \cos\alpha \cos\beta \tag{3}$$

$$V_z=V \sin\alpha=\omega R \sin\alpha \tag{4}$$

式中: ω 为摘果辊角速度; R 为摘果叶片上 M 点与摘果辊轴心的距离; α 为叶片转过的角度; β 为摘果辊水平转过的角度。

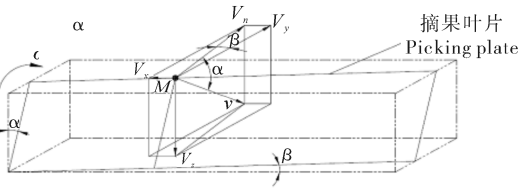


图 4 摘果运动分析简图

Fig.4 Analysis diagram of picking movement

分析可知,叶片打击力的大小与摘果辊转速及距辊轴中心的距离有关。在一定转速下,叶片上离轴心越远速度越大;叶片上任意一点作用力的大小与该点速度大小有关,速度越大作用力越大。由图 4 可知,叶片上任意一点的速度 V 可分解 3 个分速度,水平轴向运动速度 V_x ,作业中阻碍荚果向后运动及轴向打击荚果,水平径向运动速度 V_y ,作业中径向打击荚果,垂直向下运动速度 V_z ,作业中对荚果起梳刷作用;由(2)、(3)、(4)式可知,3 个分速度均受到摘果辊角速度 ω 及摘果叶片旋转角度 α 的影响,随 ω 值的增大而增大,随 α 增大 V_x 、 V_y 逐渐减

小, V_z 逐渐加大,即当 ω 越大叶片的打击及梳刷作用越强,受夹持输送链运动速度的影响越大,打击越强,摘净率、破损率均越大,且花生根系、茎秆、果柄等也会被大量摘下,果荚含杂率高,随 α 增大,打击作用降低,梳刷作用增强,摘净率、破损率均降低,夹持输送链运动速度对摘果质量的影响也降低;此外,当 β 增大, V_x 增大、 V_y 减小,即当 β 越大时轴向打击力越大,径向打击力越小,夹持输送速度对摘果质量的影响越大, β 越大影响越大,当摘果辊平行配置时,夹持输送链速度对摘果破损率几乎无影响。

3)摘果叶片结构形式。由摘果原理可知,摘果辊高速旋转,在其上叶片打击、梳刷作用下完成摘果作业,因此,摘果叶片的结构形式决定了摘果机具的作业性能^[10]。设计中,初步确定摘果叶片结构为直板型、折弯型、圆弧型 3 种(图 5)。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,圆弧型叶片除安装座部分外均为圆弧型,并呈后倾状态。实际花生摘果作业过程较为复杂,摘果辊结构形式和参数的确定需通过试验进行深入研究。

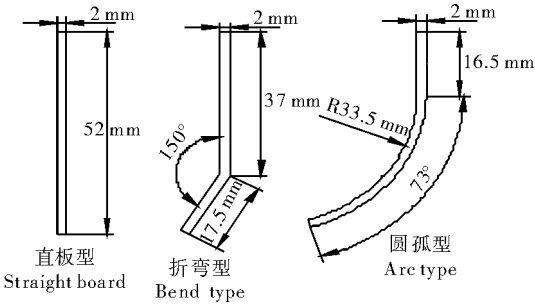


图 5 摘果叶片结构及参数

Fig.5 Shape and dimension of picking plate

1.3 试验条件与方法

1)试验条件。试验摘果叶片长度 1 000 mm,单辊叶片个数为 6,辊最大外径 230 mm,夹持输送链与摘果辊夹角为 8.5° ,夹持输送速度为 1.2 m/s,摘果辊转速可调,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。

2)试验方法。试验用花生秧由人工挖掘,每穴植株作为喂入单元。每种条件下摘果试验重复 3 次,每次试验人工连续喂秧 20 株,并对脱下物分拣,测定破损荚果质量、完好荚果质量及根、茎、叶等杂物质量,同时测定秧蔓上的未摘净荚果质量,计算出相应的荚果破损率、摘不净率、含杂率、总损失率,

测试结果取平均值^[11-12]。其中,破损率=破损果质量/(未摘净果质量+破损果质量+完好果质量)×100%;摘不净率=未摘净果质量/(未摘净果质量+破损果质量+完好果质量)×100%;含杂率=杂质质量/(未摘净果质量+破损果质量+完好果质量+杂质质量)×100%;总损失率=100%×(破损果质量+未摘净果质量)/(未摘净果质量+破损果质量+完好果质量)×100%。

2 结果与分析

2.1 双摘果辊配置试验

摘果辊转速为 300 r/min,双摘果辊配置形式为:(1)相切平行配置:摘果辊中心线相平行,中心距 $L_d=230\text{ mm}$;(2)相交平行配置:摘果辊中心线相平行,中心距 $L_d=220\text{ mm}$;(3)渐紧夹角配置:入口

端摘果辊中心距 $L_{d1}=230\text{ mm}$,出口端摘果辊中心距 $L_{d2}=220\text{ mm}$;(4)渐松夹角配置:入口端摘果辊中心距 $L_{d1}=220\text{ mm}$,出口端摘果辊中心距 $L_{d2}=230\text{ mm}$ 。测试摘果辊不同配置条件下,荚果破损率、含杂率、摘不净率,试验结果如表 1。

由试验结果可知,相交平行方式的破损率最大,渐松夹角方式次之,而相切平行配置和渐紧夹角配置均较低;相切平行配置摘不净率最大,达到 2.4%,而其他 3 种方式相当,约 1.1%;相交平行配置方式含杂率最大,相切平行配置方式最小。

2.2 摘果叶片结构对比试验

制作直板型、折弯型、圆弧型 3 种摘果叶片,结构尺寸如图 5,当摘果辊转速分别为 300、400 r/min 时,分别测试 3 种叶片的破损率、摘不净率、含杂率。试验结果如表 2。

表 1 辊筒配置方式对摘果质量的影响

Table 1 Effect of roller configuration mode on picking quality %

指标 Index	配置方式 Configuration mode			
	相切平行	相交平行	渐紧夹角	渐松夹角
	Tangent parallel	Intersect parallel	Getting tight intersection angle	Getting loose intersection angle
破损率 Breakage rate	0.7	1.4	0.7	1.0
摘不净率 Unpicking rate	2.4	1.1	1.0	1.1
含杂率 Impurity rate	4.8	8.3	5.9	6.2

表 2 叶片形状对摘果质量的影响

Table 2 Effect of plate shape on picking quality %

指标 Index	摘果辊转速/(r/min) Picking roller rotate speed	叶片形状 Plate shape		
		直板型	折弯型	圆弧形
		Straight board type	Bend type	Arc type
破损率 Breakage rate	300	1.9	1.6	0.8
	400	3.6	2.5	1.2
摘不净率 Unpicking rate	300	0.7	0.9	1.1
	400	0.5	0.6	0.7
含杂率 Impurity rate	300	13.8	12.7	8.5
	400	20.2	18.7	12.4

由试验结果可知,直板型、折弯型叶片摘果作业时花生果秧断枝、断秧现象严重,荚果破碎率高,后倾圆弧型叶片能有效减少摘果破损,降低对秧蔓的拉扯,减少断枝断秧。试验中直板型、折弯型叶片的摘不净率均小于 1%,圆弧型叶片的摘不净率相对稍高,但仍处于较低水平。当摘果辊转速不同时,不同叶片形状对摘果性能的影响也有所不同,转速为 400 r/min 时,摘果破碎率、含杂率均明显高于转速 300 r/min 时,且摘果转速越大,直板型叶片对果秧的打击力越大,荚果的破碎作用越强,同时直板型叶片和圆弧型叶片的破碎率、含杂率等指标差异越显著。

2.3 摘果叶片结构参数试验

当叶片圆弧起点所在圆周的半径和摘果辊筒半径确定后,叶片圆弧段半径大小决定了叶片后倾弧度及作业质量。为确定合理的叶片圆弧半径,制作出 5 种结构尺寸的圆弧型叶片,如表 3。摘果辊转

表 3 不同结构参数的摘果叶片

Table 3 Picking plates with different structural parameters

叶片类型 Plate type	叶片圆弧半径/mm Plate arc radius	叶片后倾弧度/(°) Plate backward radian
I	30	90
II	35	70
III	40	50
IV	50	40
V	60	30

表 4 叶片后倾弧度对摘果质量的影响

Table 4 Effect of plate backward radian on picking quality %

指标 Index	摘果辊转速/(r/min) Picking roller rotate speed	叶片后倾弧度 Plate backward radian				
		30°	40°	50°	70°	90°
破损率 Breakage rate	300	1.6	1.4	1.1	0.8	0.7
	400	2.4	2.1	1.6	1.1	1.0
摘不净率 Unpicking rate	300	0.8	0.8	1.1	1.2	1.4
	400	0.5	0.6	0.7	0.7	0.9
总损失率 Total loss rate	300	2.4	2.2	2.2	2.0	2.1
	400	2.9	2.7	2.3	1.8	1.9

速分别为 300、400 r/min 时,分别测试不同后倾弧度的摘果叶片摘果时荚果破损率、摘不净率、总损失率,试验结果如表 4。

试验结果表明,叶片后倾弧度对破损率、摘不净率均有较大影响,叶片圆弧半径越大,后倾弧度越小,摘果破损率越高,叶片后倾弧度对摘不净率的影响呈现相反的趋势,叶片弧度越小,摘不净率越低;在不同摘果辊转速下叶片后倾弧度对摘果质量的影响不同,随着转速增大,荚果破损率增大,摘不净率减小,当叶片弧度为 30°、圆弧半径为 60 mm 时,在 300、400 r/min 2 种转速下的摘果破损分别为 1.6%、2.4%,摘不净率分别为 0.8%、0.5%;在摘果段总损失方面,叶片弧度为 70°、圆弧半径为 35 mm 时总损失率最低。

3 讨 论

试验结果表明,相交平行方式的破损率最大,渐松夹角方式次之,而相切平行配置和渐紧夹角配置均较低;相切平行配置摘不净率最大,达到 2.4%,而其他 3 种方式相当,约 1.1%;相交平行配置方式含杂率最大,相切平行配置方式最小。这是由于摘果作业是沿摘果辊长度方向渐进完成,从入口端到出口端,所摘荚果数量逐渐减少,相切平行配置时,入口端摘果空间相对拥挤,摘果作用力较大且挤压严重,使荚果破损率较高,且花生根系、茎秆、果柄等也会被大量摘下,荚果含杂率也较高;相交平行配置时,摘果空间相对较大,摘果作用力较小,摘不净率较高,且含杂率较低;渐紧夹角配置时,沿轴向滚筒中心距逐渐减小,摘果辊水平摘果空间也逐渐减小,摘果强度由入口到出口逐渐增强,而花生荚果数量却逐渐减小,使得摘果强度逐渐减弱,整个摘果过程摘果强度相对均衡,摘果作业平稳、功耗低且不易阻塞。综合考虑摘果辊采用渐紧夹角配置方式。

直板型、折弯型叶片在高速旋转时,摘果作用力强烈,花生摘净率高,但荚果破损率提高,断枝、断秧

现象严重,荚果破碎率高;圆弧型叶片在高速旋转时,圆弧面沿径向方向依次进入荚果区,打击力减弱,梳刷作用增强,相对直板型、折弯型叶片有效减少了荚果破损及断枝、断秧现象,但花生摘净率有所降低。直板型叶片摘果作业时,叶片外端最先接触荚果区域,有效工作区域集中在叶片外缘,打击力较大,梳刷力相对较小,花生摘净率高,同时荚果破损率、断枝断秧严重;折弯型叶片摘果作业时,叶片由折弯处依次进入荚果区域,叶片有效工作区域为折弯部,打击力相对直板型叶片有所降低,梳刷力增强,有效工作区域增大,花生摘净率较高,同时也存在荚果破损率、断枝断秧较多等问题;后倾圆弧型叶片摘果作业时,摘果叶片沿弧形面上最凸出部位依次进入荚果区域,接触荚果面积加大,打击力减弱,梳刷力增强,荚果破损率及断枝、断秧等问题均有较大改善。此外,叶片圆弧段半径大小决定了叶片后倾弧度,叶片后倾弧度对破损率、摘不净率等均有较大影响,圆弧半径越小,叶片弧度越大,则叶片有效摘果段越长,接触荚果面积越大,摘果作用柔和,圆弧半径越大,叶片弧度越小,摘果作用力越大,摘果破损率越高,摘不净率越低,当叶片弧度为 70°、圆弧半径为 35 mm 时总损失率最低。综合考虑选择叶片弧度为 70°、圆弧半径为 35 mm 的后倾圆弧型摘果叶片。

参 考 文 献

[1] 陈艳君.2007 年花生及花生油市场分析[J].粮食与油脂,2008 (3):34-35.

[2] 马涛,毕建杰,王琦.山东省花生生产发展趋势与对策[J].安徽农学通报,2007,13(16):118-119.

[3] 吕小莲,王海鸥,张会娟,等.花生摘果技术及其设备的现状与分析[J].湖北农业科学,2012,51(18):4116-4118.

[4] 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.

[5] 于向涛,胡志超,顾峰玮.花生摘果机械的概况与发展[J].中国

农机化,2011(3):10-12.

[6] 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.

[7] 胡志超,王海鸥,胡良龙.我国花生生产机械化技术[J].农机化研究,2010(5):240-243.

[8] 吕小莲,胡志超,张延化,等.半喂入式花生摘果机的设计与性能测试[J].华中农业大学学报,2015,34(3):124-129.

[9] 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.

[10] LÜ X L, HU Z C, PENG B L. Analysis and research on the picking roller of the half-feed peanut combine harvester [J]. Applied mechanics and materials, 2014, 597: 502-506.

[11] 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(9):94-98.

[12] 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.

Analysis and testing research of key working parts of the half-feed peanut picker

LYU Xiaolian^{1,2} HU Zhichao¹ PENG Baoliang¹ WANG Bing¹ YU Zhaoyang¹

1.Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization,
Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China;

2.College of Machinery and Automotive Engineering, Chuzhou University,
Chuzhou 239000, China

Abstract To self-develop half-feed peanut picker, the composition and working principle of the picker, the configuration mode of the picking roller, picking movement process and the structural parameters of the picking plate was introduced. The reasonable structure and parameters of picking roller and picking plate was confirmed by theory and experiment. Using peanut breakage rate, unpicking rate, impurity rate, and total loss rate as the index, the configuration mode of picking roller, structure and parameters of picking plate was studied. Results showed that when the picking roller was the intersection and parallel configuration, the breakage rate and impurity rate were the maximum. When the picking roller was the tangent and parallel configuration, the unpicking rate was the maximum and the impurity rate was the minimum. When picking roller was the tangent and parallel configuration or gradually tight angle configuration, the breakage rate was lower. The unpicking rate of the arc plate was a little higher than that of the straight board plate and bend plate. The bigger the rotational speed of the picking roller, the greater the breakage rate and impurity rate to the straight board plate, bend plate. The radian of the plate obviously affected the breakage rate and impurity rate. The smaller the radian, the higher the breakage rate and the lower the unpicking rate. When the plate radian is 70 ° and the arc radius is 35 mm, the total loss rate is the minimum. By theoretical analysis and picking performance test, the tilt configuration method is adopted on picking roller to clamping chain. The gradually tight type angle configuration method is adopted between the double picking rollers. The picking plate is adopted in the backward-arc type with the plate radian of 70 ° and the arc radius of 35 mm.

Keywords peanut; peanut picker; half-feed type; picking roller; configuration mode; structure parameters

(责任编辑:陆文昌)