

三垄六行花生收获夹持归集装置设计与分析

高增辉, 岳丹松, 尚书旗, 王东伟, 何晓宁, 胥 南

(青岛农业大学 机电工程学院, 山东 青岛 266109)

摘 要: 基于六行三通道夹持归集过程中速度、夹持力等关键参数研究, 解析了夹持力与速度比范围。通过对夹持过程中花生植株进行动力学和运动学分析, 结合花生荚果-果柄-植株间连接点的物理特性分析, 确定花生在夹持输送过程中的受力情况, 分析计算得出机具前进速度与夹持输送速度比为 1:1.2; 由归集处花生植株的受力情况, 分析得出花生夹持输送速度与归集速度比范围为 1:(1.1~1.2), 此时花生植株在不出现夹断的情况下能够顺利归集且不拥堵。通过运动仿真最终确定速度比为 1:1.17 左右时花生植株不会再出现情况, 为提高花生收获效率, 最终确定在夹持输送速度与归集速度比为 1:1.2, 此时花生收获机械的效率最高且不会出现花生植株夹断情况。

关键词: 花生收获; 夹持归集装置; 速度比; 大喂入量; 运动仿真

中图分类号: S225.7+3; S220.3

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2023)04-0185-06

DOI:10.13427/j.cnki.njyi.2023.04.040

0 引言

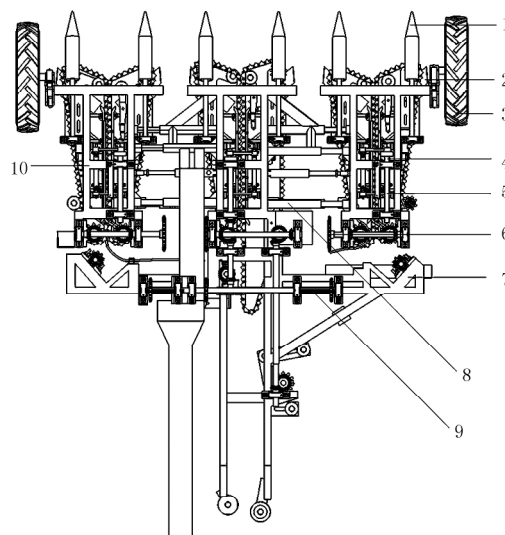
近年来,在我国大力推动花生种植及品种改善的形势下,花生的种植面积逐年增加且产量也在不断提升。我国花生种植面积近 533.3 万 hm^2 , 是世界花生种植总面积的 20% 以上,多年来稳居世界第 2 位。目前,花生种植面积在国内农作物种植面积中上升至第 7 位,总产量居第 4 位。我国地域辽阔,花生的种植区域也较为广泛,大多分布在黄淮海地区、北部地区以及东南沿海区域,主要是山东、河南、新疆、河北等地形较为平坦的地区花生种植较为广泛,且种植面积还在呈逐年上升。虽然种植面积在不断扩大,但我国整体花生收获机械水平不高,制造业大多为小规模生产,机具适应性差、标准化程度极低。多垄多行半喂入式花生联合收获机由于喂入量大,各个工作环节装置结构较为复杂,且对于运动参数的范围及与其他运动参数的匹配要求较高。普遍存在的问题是:在花生夹持输送过程中,夹持速度过慢导致收获效率低下,而夹持输送速度过快又会导致花生植株在夹持过程中受到的剪切力过大,从而造成植株断裂;同时,由于夹持输送与归集速度比不匹配也会产生拥堵的问题,导致机具出现故障。为解决上述问题,进一步提高

花生收获效率,笔者开展了相关技术与装置设计。

1 结构与工作原理

1.1 结构组成

装置主要完成扶禾、挖掘、夹持输送、拍土等工序,由 3 路平行且结构相同的扶禾装置、挖掘装置、夹持输送装置和拍土装置组成,如图 1 所示。



1.扶禾装置 2.挖掘装置 3.限深装置 4.夹持输送链条 5.去土装置
6.传动装置 7.归集装置 8.液压装置 9.垄宽调节装置 10.机架

图 1 夹持归集装置结构图

Fig.1 Structure diagram of clamping and collecting device

1.2 工作原理

机具工作时,3 对扶禾装置将待收获的花生植株扶起并聚拢到中间位置,同时挖掘铲会将花生的主根

收稿日期: 2021-04-30

基金项目: 山东省农机装备研发创新计划项目 (2018YF008-06)

作者简介: 高增辉(1993-),女,济南人,硕士研究生,(E-mail) 907561960@qq.com。

通讯作者: 尚书旗(1958-),男,山东青州人,教授,博士生导师,(E-mail) sqshang@qau.edu.cn。

铲断并在机具前进力的作用下使土壤松动;在扶禾装置和挖掘装置的配合下,花生植株根据惯性向后运动依次进入夹持链条;在夹持输送过程中,去土装置会对花生进行左右往复式拍打,将花生植株根上的土壤和杂质去除;之后,3 路花生会向中间一路归集并送入摘果段。

2 夹持归集装置关键装置设计

夹持归集装置主要设计要求如下:①确保花生植株顺利完成夹持输送过程,期间不出现拥堵现象;②实现夹持过程稳定、可靠,无花生根系掉果和植株夹断的情况;③链条夹持结构可以保证大喂入量情况下花生植株稳定地起秧和输送,且恶劣环境下可靠性也较高。

2.1 夹持链喂入口参数设计

夹持输送装置主要由传动链轮、张紧装置和夹持链条组成,如图 2 所示。其中, H 为夹持链最大张开长度; θ 为喂入口夹角; L 为夹持链条最前端与夹持点的距离。

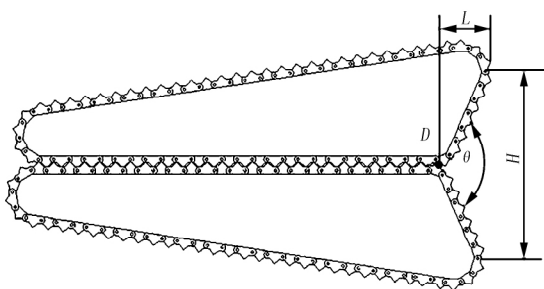


图 2 喂入端夹持链结构简图

Fig.2 The structure of the feeding end clamping chain

依据我国花生品种及种植农艺要求,1 垄花生行距约为 230 mm,花生植株的平均宽度约为 200mm。为保证能够顺利完成夹持作业,且不出现漏夹的情况,设计夹持链最大张开长度 $H=480\text{mm}$ 。夹持归集装置作业时,花生植株自喂入口处到接触夹持链夹持点时间越短,夹持效果越好;夹持点离地面距离越近,机具的适应性越强。因此,设计夹持链条最大张开角度为 170° ,由勾股定理最终获得夹持链前端离夹持点距离 L 。

2.2 夹持角度参数设计

夹持链与水平方向夹角是影响夹持效果的另一关键因素,由图 3 可得夹持链与水平方向夹角为

$$\beta = \arcsin \frac{2h \tan \frac{\theta}{2}}{H}$$

式中 β —夹持链与水平面的夹角($^\circ$);

h —夹持高度(mm);

θ —夹持链最大张开角度($^\circ$);

H —夹持链最大张开长度(mm)。

依据初步田间试验,花生植株的夹持高度、夹持链最大张开角度和最大张开长度已知,计算得出夹持链与水平方向夹角为 29° 。

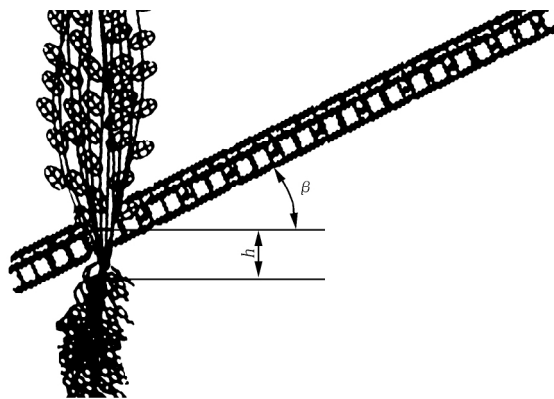


图 3 夹持链工作简图

Fig.3 Working diagram of clamping chain

3 夹持输送过程动力学及运动学分析

3.1 夹持输送过程动力学分析

花生植株受夹持输送链链条夹持力可分为两个阶段:①花生根系未脱离土壤时,花生植株受夹持链的拉力及土壤的阻力;②花生根系脱离土壤后,植株在夹持链的作用下运动,受夹持链的拉力。将夹持连对花生植株的力分为两部分进行分析,以此确定花生植株的受力情况。

1) 秧果未脱离土壤时受力情况研究。花生根系及土壤在拔起前受挖掘铲的作用被挖松且抬起,在此过程中花生的根系与土壤也进行了初步的分离。

假设在花生根系被挖掘铲抬起,脱离土壤前根系无任何损伤情况,根据花生根系在此过程中的运动特点,建立其受力分析图,如图 4 所示。

对花生植株进行受力,则

$$\begin{cases} F \sin \beta + F_n \cos \beta - G - F_f < F_d \\ F \cos \beta - F_n \sin \beta < F_q \end{cases}$$

对花生根系进行受力分析,则

$$\begin{cases} F \cos \beta + F_n \cos \beta - G - F_f < F_d' \\ F \cos \beta = F_n \sin \tau \end{cases}$$

式中 F —夹持链对花生植株的拉力(N);

β —夹持链与水平面夹角($^\circ$);

τ —挖掘铲的铲面倾角($^\circ$);

F_n —夹持链对植株的支持力(N);

G —花生植株重力(N);

F_f —根系与土壤间的摩擦力(N);
 F_d —花生植株的抗拉强度(N);
 F_q —花生植株剪切强度(N);
 F'_d —花生果柄抗拉强度(N)。

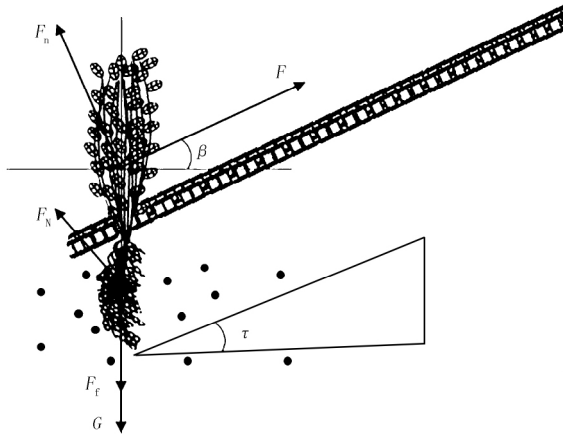


图 4 花生植株拔起时受力分析图

Fig.4 Stress analysis of peanut plants during pulling up

根据对花生植株的物理特性试验及对夹持装置结构分析,可得到花生植株的质量、夹持链与水平面夹角、根系与土壤间的摩擦力、花生植株的抗拉强度、花生植株抗剪强度及花生果柄的抗拉强度,查阅资料可知花生联合收获机挖掘铲的铲面倾角约为 20° 。由此联立方程,可以计算出夹持链对花生植株的夹持力 F 的大小。

2) 秧果脱离土壤后受力情况研究。在夹持输送过程中,花生根系脱离土壤,不再受土壤的摩擦阻力,且由于机器的前进速度和夹持链的输送速度保持不变,花生植株在此过程中做匀速运动,受力情况相对简单,如图 5 所示。

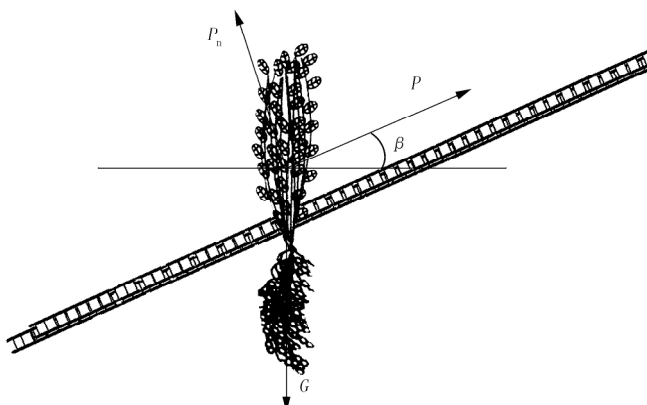


图 5 花生植株拔起后受力分析图

Fig.5 Stress analysis of peanut plants after pulling out

对花生植株进行受力分析,则

$$\begin{cases} P \sin \beta + P_n \cos \beta = G \\ P \cos \beta = P_n \sin \beta \end{cases}$$

式中 P —夹持链对花生植株的拉力(N);

P_n —夹持链对植株的支持力(N)。

根据对花生植株的物理特性试验及对夹持装置结构分析,可得花生植株的质量及夹持链与水平面夹角,由此联立方程可以计算出夹持链对花生植株的夹持力 P 的大小。

3.2 夹持输送过程运动学分析

运动过程中,花生植株以地面为参考时,随机具向前运动;花生植株以机架为参考时,随夹持链条向与机具前进方向相反的方向运动。将花生植株视为质点,通过所分析出的运动状态,作花生植株的速度分解图,则花生向前运动和向后运动的速度构成了花生植株实际的运动速度,即为花生的绝对速度。花生植株的速度分解图如图 6 所示。

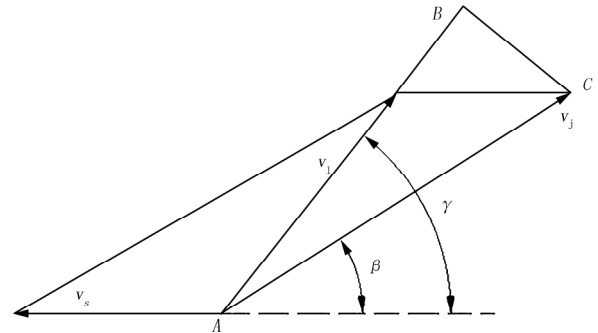


图 6 花生植株的速度分解图

Fig.6 Velocity Decomposition Diagram of Peanut Plants

对质点运动进行速度分解,可知

$$\vec{v_s} + \vec{v_j} = \vec{v_1}$$

式中 $\vec{v_s}$ —花生联合收获机前进速度(m/s);

$\vec{v_j}$ —夹持输送速度(m/s);

$\vec{v_1}$ —花生植株运动的绝对速度(m/s);

β —夹持链与水平面夹角($^\circ$);

γ —花生植株运动时与水平面夹角($^\circ$)。

由速度分析图可以得出

$$v_s \sin \gamma = v_j \sin(\gamma - \beta)$$

由公式可知:当 $v_s < v_j$ 时, $\beta > \pi/2$,花生植株运动的绝对速度方向与机具前进方向一致,不利于花生植株的夹持输送,容易造成花生植株在夹持输送过程中出现拥堵情况;当 $v_s > v_j$ 时, $\beta < \pi/2$,花生植株运动的绝对速度方向与夹持输送方向一致,与水平面夹角为 γ 。因此,机具前进速度应大于夹持输送速度。但是,并非机具前进速度越高越好,当前进速度过快时也会使得落果率升高。经过多次反复试验,已知夹持链与水平面夹角为 29° ,最终确定 $v_s = 1.2v_j$,此时夹持输送

效果最佳。

4 归集输送过程动力学及运动学分析

结合归集处花生植株受力情况,分析夹持输送速度与归集速度配比,如图 7 所示。

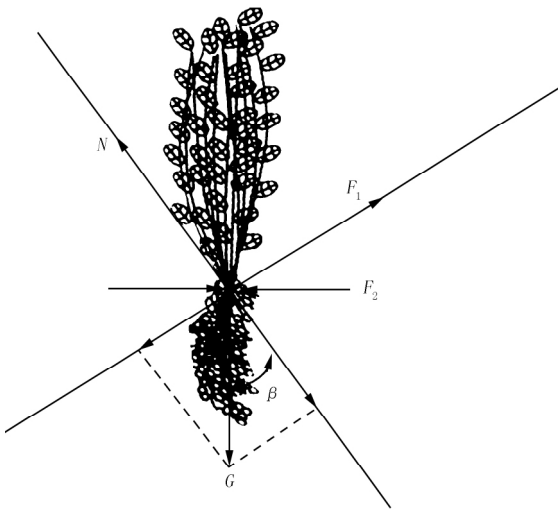


图 7 归集处花生植株受力分析

Fig.7 Stress Analysis of Peanut Plants at Collection

根据归集处花生植株的受力情况可得

$$\begin{cases} G\cos\beta = N \\ F_1 - G\sin\beta = ma \\ F_1\sin\beta - N\cos\beta = F_2 < F_q \end{cases}$$

式中 G —花生植株重力(N);
 N —夹持链对花生植株的支持力(N);
 F_1 —夹持链对花生植株的拉力(N);
 β —夹持链与水平面夹角($^{\circ}$);
 F_2 —夹持链对花生植株的剪切力(N)。

根据花生植株的物理特性、田间试验各项参数以及试验得出归集处夹持链对花生植株的拉力范围,可以计算出花生植株在归集处的加速度范围。植株运动到归集点时,存在夹持输送链条所给的初速度,结合受力分析计算在该点花生植株的速度,由公式可得

$$v_g = v_j + at$$

式中 v_g —归集输送速度(m/s);
 v_j —夹持输送速度(m/s);
 a —归集处花生植株所受加速度(m/s^2);
 t —由夹持链到归集的时间(s)。

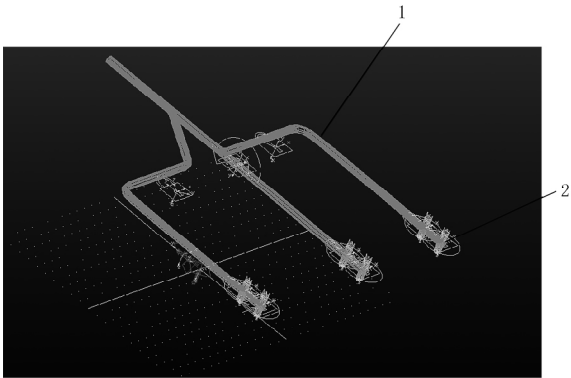
花生夹持速度已知,经过多次试验可以测得花生植株由夹持到归集的时间,最终可以确定在该速度范围内可以有效避免花生植株出现拥堵情况。通过试验发现,在夹持链条速度比归集链条速度大于 1:1.2 时花生秧蔓会出现剪断情况,因此速度比最终确定为 $v_g =$

(1.1~1.2) v_j 。

5 夹持与归集速度比仿真分析

5.1 仿真方案

运用 ADAMS 软件进行仿真建模时,为了简化模型结构,建模时将花生植株简化为一个圆柱形质点,将夹持输送链条和归集链条简化成一个与实际链条长度、轨迹一致的部件,将其余不重要的部件进行剔除。仿真分析过程中,花生植株在夹持输送链的夹持下被提升并向后输送,当 3 路花生均到达汇集点时,通过调节花生植株质点的速度来保证大喂入量条件下花生植株的运动情况。通过运动曲线判断其拥堵情况,生成仿真图如图 8 所示。



1.夹持归集轨道 2.花生植株质点

图 8 ADAMS 软件中虚拟链条模型图

Fig.8 Virtual Chain Model Diagram in ADAMS Software

根据花生联合收获机的前进速度范围及机具前进速度与夹持输送速度比,确定花生夹持输送速度范围为 0.48~0.84m/s。设定仿真速度参数如表 1 所示。

表 1 仿真速度组设定
Table 1 Simulation speed set

	夹持输送速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$		归集速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$		
试验组	0.48	0.53	0.54	0.55	0.56
	0.49	0.55	0.56	0.57	—
	0.50	0.56	0.57	0.58	0.59
	0.51	0.58	0.59	0.60	—
	0.52	0.59	0.60	0.61	—
验证组	0.71	0.82	0.84	—	—
	0.82	0.95	0.97	—	—

在该范围内以 0.01m/s 为速度差进行试验,根据夹持输送速度与归集输送速度比,通过曲线图观察花生植株质点拥堵情况。

5.2 仿真结果与分析

在虚拟模型中,ADAMS 默认夹持输送链条和归集链条作为固定副,将花生植株质点建立移动副,通过调节花生植株的运动速度,观察花生植株运动过程中所呈现出的曲线图,在同一时间花生植株曲线交于 0 点时花生出现拥堵情况。

通过观察花生植株的运动位移-时间曲线发现:当夹持输送速度为 0.48m/s 时,根据速度比归集处初始速度应为 0.53m/s 。经过仿真结果可以得出:花生植株质点在 $0.53\sim 0.55\text{m/s}$ 之间时,花生植株均出现了同一时间位移为 0 的情况;而在 0.56m/s 时不再出现该情况,即夹持输送速度在 0.48m/s 时归集速度的最佳对应值在 $0.55\sim 0.56\text{m/s}$ 之间。按照该方式观察每组试验结果,最终得出结论为:夹持输送速度为 0.49m/s 时,归集速度在 $0.56\sim 0.57\text{m/s}$ 之间;夹持输送速度为 0.50m/s 时,归集速度在 $0.58\sim 0.59\text{m/s}$ 之间;夹持输送速度为 0.51m/s 时,归集速度在 $0.59\sim 0.60\text{m/s}$ 之间;夹持输送速度为 0.52m/s 时,归集速度在 $0.60\sim 0.61\text{m/s}$ 之间。以其中 1 组试验仿真曲线为例,仿真结果如图 9 所示。

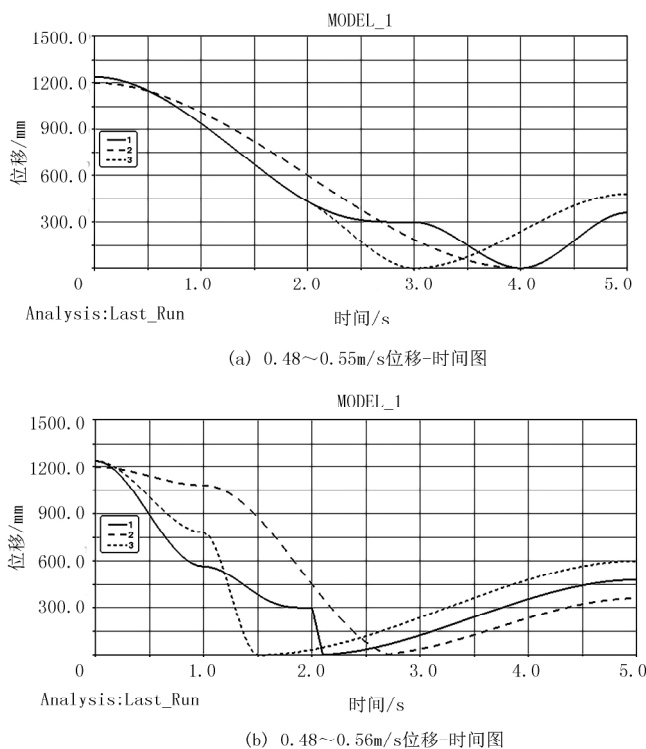


图 9 仿真结果位移时间图

Fig.9 Ratio of Clamping Transportation Speed to Collection Speed

通过以上 5 组仿真,基本可以得出夹持输送速度与归集速度比值在 1.17 左右上下浮动,此时花生植株质点归集时不会出现拥堵,且此时花生收获效率可以达到最优。仿真结果验证如图 10 所示。

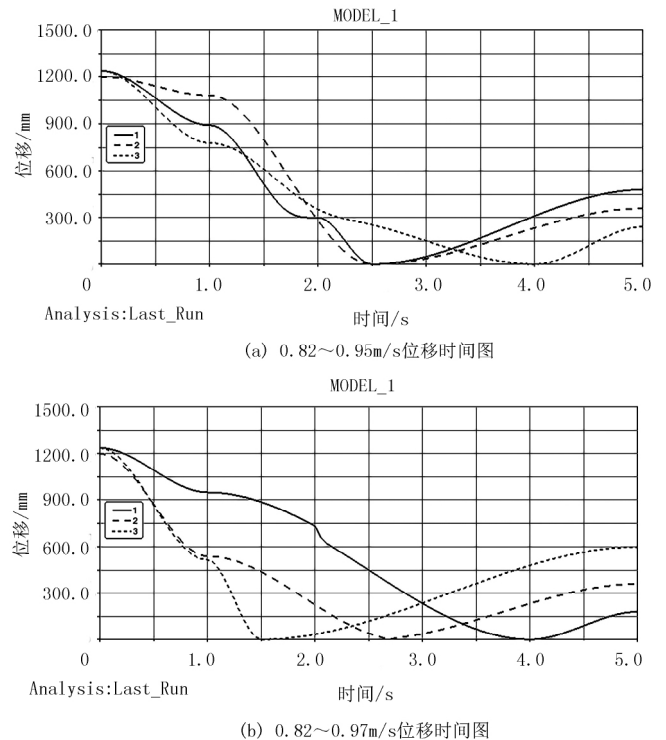


图 10 仿真结果验证位移时间图

Fig.10 Simulation results verify the displacement time diagram

试验验证表明:理想状态下,夹持输送速度大于 1.17 倍归集速度时,花生植株则不会出现拥堵情况。

6 结论

1) 根据我国花生种植模式及花生植株的生物特性,研究了花生联合收获机喂入口夹持链条的结构参数,分析了夹持链条在整机装配时与地面的水平夹角,并对 3 行同时喂入夹持链条结构及参数进行设计。

2) 根据花生植株的力学特性试验分析花生在挖掘夹持过程中的受力情况,对将花生植株的挖掘夹持分为两个过程,分别对未脱离土壤时夹持状态的花生植株进行受力分析,并已脱离土壤时花生植株的受力情况进行分析,根据分析结果确定花生在挖掘夹持过程中所受夹持力的范围大小,通过对花生进行运动分析,最终确定机具前进速度与夹持归集速度比为 1:1.2。花生经过 3 行夹持链条归集到一处时,对花生植株进行受力分析确定花生归集时的夹持力,并通过运动方程确定花生夹持输送速度与归集速度比为 1:(1.1~1.2)。

3) 通过 5 组仿真结果可知:规律为夹持输送速度与归集速度比为 1:1.17 时,夹持归集过程几乎不再出现拥堵情况。通过两组试验进行验证,验证结果符合所得出的规律。为提高花生收获效率,最终确定在夹

持输送速度与归集速度比为 1:1.2 时,花生收获机械的效率最高且不会出现花生植株夹断情况。

参考文献:

- [1] 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):125-130.
- [2] 陈智锴,吴惠昌,张延化,等.半喂入四行花生联合收获机自动限深系统研制[J].农业工程学报,2018,34(15):10-18.
- [3] 崔军,钟志堂,王成文,等.六行履带式大蒜联合收获机设计[J].农业开发与装备,2021(1):138-139.
- [4] 栾贵东,孙庆卫,王延耀,等.2 垄 4 行花生联合收获机夹持归集装置的设计与试验[J].农机化研究,2014(1):132-135.
- [5] 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.
- [6] 栾贵东,孙庆卫,王延耀,等.2 垄 4 行花生联合收获机夹持归集装置的设计与试验[J].农机化研究,2014,36(1):132-135.
- [7] 吕小荣,吕小莲,王庭钰,等.半喂入式花生摘果机虚拟仿真分析与试验研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(1):190-196.
- [8] 南飞飞,卢泽民,李彦明,等.半喂入式花生联合收获机关键工作参数试验与优化[J].农机化研究,2018,40(2):170-173,178.
- [9] 尚书旗.4HQL-2 型挖拔组合式全喂入花生联合收获机的研制[D].青岛:青岛农业大学,2008.
- [10] 田连祥.花生有序条铺收获机理研究[D].青岛:青岛农业大学,2017.
- [11] 王东伟,尚书旗,韩坤.4HJL-2 型花生捡拾摘果联合收获机的设计与试验[J].农业工程学报,2013,29(11):27-36,294.
- [12] 王东伟.花生联合收获机关键装置的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2013.
- [13] WANG DONGWEI, SHANG SHUQI, HAN KUN. Design and test of 4HJL-2 harvester for peanut picking-up and fruit-picking[J]. 农业工程学报, 2013, 29(11): 27-36.

Design and Analysis of Three Ridges and Six Rows Peanut Harvest Clamping and Gathering Device

Gao Zenghui, Yue Dansong, Shang Shuqi, Wang Dongwei, He Xiaoning, Xu Nan

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

Abstract: Based on the study of key parameters such as speed and clamping force in the process of six-line and three-channel clamping aggregation, the range of clamping force to speed ratio is analyzed. Through the dynamics and kinematics analysis of peanut plants in the process of clamping, combined with the physical characteristics analysis of peanut pod-stem-plant connection point, the force of peanut in the process of clamping and conveying was determined, and the forward speed of the machine and the clamping and conveying speed ratio was 1:1.2. According to the force of peanut plants at the gathering place, the ratio of peanut clamping and conveying speed to the gathering speed was 1:1.1~1.2. At this time, the peanut plants could be successfully gathered without clamping and congestion. Through the motion simulation, it is determined that when the speed ratio is about 1:1.17, peanut plants will not appear again. In order to improve the efficiency of peanut harvesting, it is finally determined that when the ratio of clamping and conveying speed and collection speed is 1:1.2, the efficiency of peanut harvesting machinery is the highest and peanut plants will not be clipped.

Key words: peanuts; three ridges and six rows; combine harvester; harvest