

刘道奇,刘 龙,孙千涛,等. 基于 EDEM 的发散带式花生荚果分级机的仿真与试验[J]. 江苏农业科学,2022,50(3):196-201.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.03.032

基于 EDEM 的发散带式花生荚果分级机的仿真与试验

刘道奇¹, 刘 龙¹, 孙千涛¹, 钱 凯¹, 靳昙昙¹, 王东伟^{1,2}, 李秀杰¹

(1. 河南省农业科学院长垣分院/河南省花生耕种收加工智能设备工程研究中心,河南长垣 453400;

2. 青岛农业大学机电工程学院,山东青岛 266109)

摘要:为满足花生荚果快速分级的需求,研究设计了一种发散带式花生荚果分级机。整个分级机主要由发散带、输送带、上料口、电机、调速器、机架等组成,发散带以发散状进行设计安装。以河南省主推花生品种豫花 37 号作为试验对象,测定其荚果物理特性,花生荚果的长、宽、厚的尺寸均值分别为 37.86、16.38、15.29 mm,确定发散带两端间隙分别为 11、19 mm。利用 EDEM 软件对分级机进行仿真分析,得到发散带运动的最佳参数为 0.75 m/s,验证试验与仿真试验结果误差较小,分级效果较好,此时试验误差最大为 1.28%,该模型拟合度较高,EDEM 模型的可靠性高,可用于发散带式花生荚果分级机的分级性能的分析与预测。

关键词:花生荚果;分级;结构设计;EDEM;发散带式

中图分类号:S226.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)03-0196-05

花生是一种商品率很高的经济作物,既可食用,又可出口创汇,是促进我国农业可持续发展的主要农产品之一^[1-3]。在花生加工和商品化过程中,花生荚果分级是一个重要环节,通过分级,可使花生荚果大小、品质等基本一致,对其后续的贮藏、深加工及提高产品档次和市场竞争力具有重要意义^[4]。在进出口贸易中,对花生荚果的质量要求较高,同时随着花生行业的发展,其产业化、规模化也对分级质量、分级效率有了更高的要求。人工分级效率低、劳动强度大,且成本很高,分级精度也难以保证,采用花生荚果分级设备可提高生产效率^[5-6]。

目前在收获过程中花生荚果中掺杂了很多杂物,以及干瘪的小果和失去外壳的花生籽仁,为了提高经济效益,相关企业等需要对花生荚果进行分级和清选。Blankenship 等发明了一种简易的发散带式花生荚果分级机,花生荚果根据它们在带上下落的位置不同分为多级,带长、带速及喂料速度不同,分级效果也各不相同^[7]。Dowell 设计了一

种花生荚果自动分级设备,该设备简化了分级方法,可以分级更大的样本^[8]。国内花生收获后主要依靠人工和捡拾收获机进行捡拾摘果,人工摘果和捡拾收获机摘果的花生荚果在清选后的清洁度均较高,但花生荚果的尺寸差异较大,为便于花生脱壳或加工生产高质量的花生食品,均需要对花生荚果按尺寸进行分级^[9-10]。目前主要有振动式分级设备和滚筒式分级设备,这 2 种设备分级机构均采用筛孔进行分级^[11-12]。由于花生种植的土壤、含水率和自身特性等多种因素,收获的同一品种荚果在外部形状方面整体一致,但在尺寸方面存在较大的差异,荚果表面主要呈网格状,表现为坑坑洼洼,并且一粒荚果大多存在大小头,在使用筛孔进行分级的过程中会出现小头进大头不出,易造成筛孔堵塞,需要定时进行清理。

为了降低研究成本,相关研究人员利用现有的 EDEM 软件对设计的设备或装置进行仿真分析,找出最佳参数,为样机加工制作提供参考。刘涛等借助 EDEM 软件对 3 种型孔结构的窝眼轮式排种器进行分析,确定最佳型孔结构和工作转速,并通过试验验证了仿真的可行性^[13]。薛然利用 EDEM 软件对花生荚果在圆筒筛分机的运动过程进行仿真研究,分析了花生荚果在分级过程中的分布情况^[14]。迟明等利用 EDEM 软件对带式输送机输送骨料的运动过程进行仿真与验证分析,表明离散元 EDEM 软件辅助研发设计带式输送机的可行性^[15]。

收稿日期:2021-05-18

基金项目:河南省科技攻关项目(编号:212102110225);河南省农业科学院“四优四化”科技支撑行动计划(编号:SYSH2018-09-04)。

作者简介:刘道奇(1992—),男,河南信阳人,硕士,研究实习员,主要从事农业机械化研究。E-mail:15704485800@163.com。

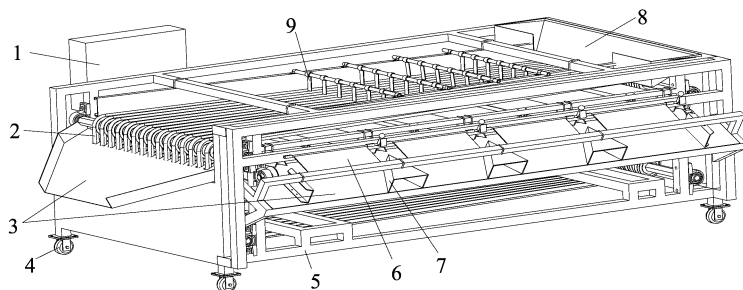
通信作者:李秀杰,博士,副研究员,主要从事作物保护研究。E-mail:lixiujie@126.com。

本研究以提高花生荚果分级质量和工作效率为目的,研究设计了一种发散带式花生荚果分级机,该分级机对花生荚果进行 5 级分级,并对分级速度参数进行试验,提高分级质量的同时提高工作效率,为花生荚果分级提供参考依据。

1 整体结构设计及工作原理

1.1 整体结构设计

从图 1 可以看出,发散带式花生荚果分级机主要由机架、控制箱、发散带、万向轮、输送带、出料挡

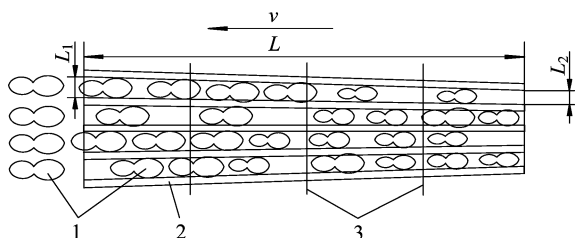


1—控制箱; 2—发散带; 3—出料口; 4—万向轮; 5—机架; 6—出料挡板;
7—分流板; 8—上料口; 9—匀料片

图1 发散带式花生荚果分级机结构示意图

1.2 工作原理

发散带的布局及花生荚果运动示意图 2, 主要包括发散带和分级板。发散带的主要作用是花生荚果的运动提供摩擦力,使其跟随发散带沿输送方向运动;随着运动方向发散带之间的间隙逐渐变大,不同尺寸的花生荚果被输送到不同位置掉落。发散带下方的分级板的主要作用是将从发散带之间分级的花生荚果进行尺寸范围分隔。分级后的花生荚果掉落在水平输送带上,由输送带运送到出料口。



1—花生荚果; 2—硅胶带; 3—分级板

图2 花生荚果分级原理示意

为了提高发散带式花生荚果分级机的工作效率,根据市场上现有的蔬果发散带式分级机的结构,该机器共设计有 15 条发散带,形成 14 个分级通道,所有的发散带均以最中间的发散带为基准,其余发散带对称分布。同时,分级机的分级设计为 5

板、上料口、出料口等组成。花生荚果分级时,分级过程共分为 3 个阶段:上料、分级和输送。上料阶段:通过可移动式输送带将花生荚果均匀输送至上料口,使花生荚果均匀地铺放在发散带上;分级阶段:发散带上的花生荚果依靠二者之间的摩擦力随发散带运动,发散带从上料口至出料口呈发散状,花生荚果由于其尺寸的不同向前输送过程中靠自重掉落在不同的分级位置,完成自动分级;输送阶段:分级后不同尺寸范围内的花生荚果通过水平输送带输送到出料口,实现整个花生荚果分级功能。

级,即 5 个出料口。

2 花生荚果物理特性参数测量与分析

花生荚果的物理参数是确定发散带式花生荚果分级机结构参数的重要依据,本研究选择河南省主要推广的花生品种豫花 37 为研究对象,研究不同品种之间几何特征(图 3)的差异性,以及分级质量的差异性。

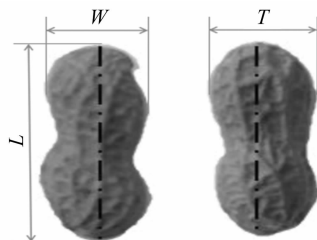


图3 花生荚果三轴尺寸测量示意

2.1 试验材料与仪器设备

随机选取该品种的花生荚果 100 个(花生荚果 2020 年收获于河南省长垣现代农业示范园)。试验所用仪器设备主要有 MB2 水分测定仪,奥豪斯仪器(常州)有限公司生产;CS-700 高速多功能粉碎机,武义海纳电器有限公司生产;数显电子游标卡尺,桂林量具刃具有限责任公司生产;电子天平,奥

豪斯仪器(常州)有限公司生产等。

2.2 花生荚果物理特性测量

从表 1 可以看出,花生荚果的三轴尺寸差异性较大,长度最大值为 51.55 mm、最小值为 27.64 mm,长度方面的标准差为 5.131 1 mm;宽度最大值为 19.93 mm、最小值为 12.25 mm,宽度方面的标准差为 1.977 6 mm;厚度最大值为 17.46 mm、最小值为 12.39 mm,长度方面的标准差为 1.956 2 mm。

在花生荚果圆筒筛分过程中花生荚果的厚度决定其最终的等级划分^[13],而在发散带式花生荚果分级机的分级过程中主要的影响因素为厚度和宽

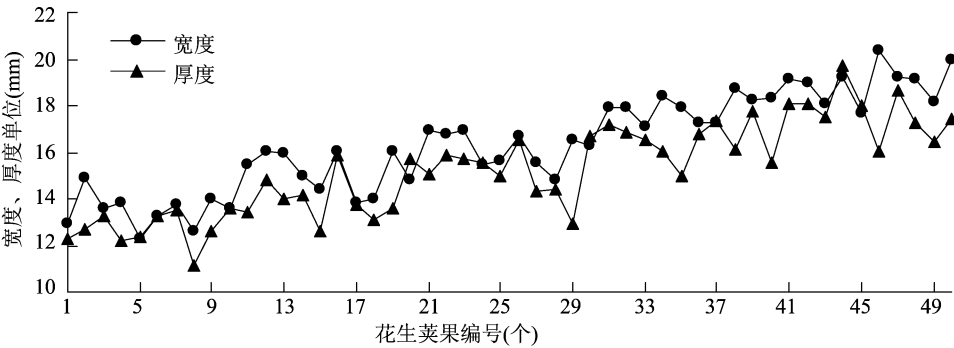


图4 花生荚果的宽度和厚度分布

2.3 分级机结构与工作参数确定

通过表 1、图 4 可知,同一个花生荚果在宽度和厚度方向上的尺寸差异性较小,并且与相关学者得到的结果^[13]相似,根据本批次的花生荚果随机取样的结果,确定以花生荚果的宽度尺寸作为分级的参考依据。

从表 1 可以看出,宽度最大值为 19.93 mm、最小值为 12.25 mm,在一定程度上将分级范围进行适宜的扩大,因此将该批花生荚果的厚度范围设定为 11~21mm,并均等分为 5 级,即将上料口一端的 2 条发散带之间的间距参数设置为 $L_2 = 11\text{ mm}$,另一端的间距参数设置为 $L_1 = 19\text{ mm}$ 。

根据 Blankenship 等对发散带式花生荚果分级机的发散带运行速度的研究^[7],结合豫花 37 花生荚果自身的特性,选取发散带工作速度为 0.25、0.50、0.75、1.00 m/s,作为豫花 37 花生荚果分级过程中的仿真与实际试验的基本参数。

3 花生荚果分级试验

3.1 离散元模拟试验

3.1.1 离散元中全局变量参数设置 在离散元仿

表 1 豫花 37 花生荚果的尺寸分析

指标	尺寸(mm)			
	最小值	最大值	均值	标准差
长	27.64	51.55	37.86	5.131 1
宽	12.25	19.93	16.38	1.977 6
厚	12.39	17.46	15.29	1.956 2

度,故选取其中 50 个花生荚果的尺寸,并对同一个花生荚果的宽度和厚度进行对比分析(图 4)。

从图 4 可以看出,同一个花生荚果在宽度和厚度方面的差异较小,并且在尺寸上宽度基本上大于厚度,通过综合对比后选择以花生荚果的宽度作为发散带式花生荚果分级机的分级范围划分参数。

真软件 EDEM2.6 仿真计算时,设置颗粒与颗粒、颗粒与几何体的接触模型为 Hertz - Mindlin 和 Moving Plane,其中 Moving Plane 置于 Hertz - Mindlin 模型之上。设置发散带的材料为橡胶,研究表明,花生荚果与橡胶的泊松比、剪切模量和密度均为定值,同时可得到花生荚果与荚果之间的碰撞恢复系数、最大静摩擦系数和滚动摩擦系数,花生荚果与发散带之间的碰撞恢复系数、最大静摩擦系数和滚动摩擦系数(表 2)^[16-17]。

3.1.2 花生荚果与分级机模型的建立及参数设置

根据上述测量的花生荚果长、宽、厚的平均值,应用球面堆积构型法,在 EDEM2.6 中直接建立花生荚果模型^[18]。将设计的发散带式花生荚果分级机的三维模型作为基础,通过 Solidworks 建立其去除复杂结构的三维模型,并导入到 EDEM2.6 中(图 5)。将模型各部分重新命名,并设置相关结构的材料属性。

3.1.3 颗粒工厂的设置 创建虚拟生成区域即颗粒工厂,虚拟工厂的大小为发散带式花生荚果分级机的上料口的上部面积大小,其形状为四边形。设置颗粒为动态生成方式,颗粒数量设置需综合考虑

表 2 花生荚果基本参数

材料	参数	数值
花生荚果	泊松比	0.4
	剪切模量(Pa)	2×10^7
	密度(kg/m^3)	244
发散带	泊松比	0.48
	剪切模量(Pa)	1.2×10^9
	密度(kg/m^3)	870
荚果与荚果	碰撞恢复系数	0.5
	最大静摩擦系数	0.5
	滚动摩擦系数	0.01
荚果与发散带	碰撞恢复系数	0.42
	最大静摩擦系数	0.47
	滚动摩擦系数	0.01

几何模型上料斗的大小及生成速度,本研究中设定颗粒质量为 50 kg,生成速度随分散带的速度调整,从表 3 可以看出,颗粒尺寸大小按照实际分级过程中花生荚果尺寸模型的 0.5 ~ 1.5 倍随机分布^[13],参照表 1 设置颗粒半径的标准差(豫花 37)。从 0 s 开始,并设置颗粒下落速度为 2 m/s。设置模拟时长为 20 s,仿真过程中,设置固定时间步长为 1.305×10^{-5} 。在 5 级分级箱底部设置质量传感器,分别对每个分级箱内花生荚果的质量进行测定。

3.1.4 仿真结果与分析 以豫花 37 为离散元分级仿真研究对象,并以分级速度为因素,以不同出料口分级的花生荚果的质量为试验指标,每组进行 3 次模拟试验取其平均值。从表 3 可以看出,随着发散带转速的增大,每个级别的花生荚果的质量均增大。

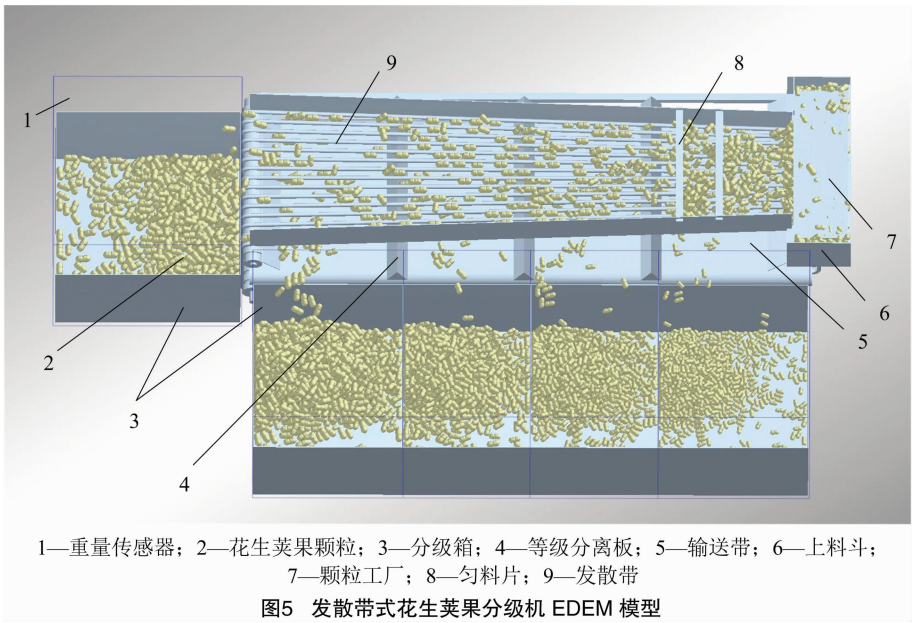


表 3 仿真试验结果

发散带速度 (m/s)	输送带速度 (m/s)	颗粒生成速度 (kg/s)	质量均值(kg)				
			1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
0.25	0.25	0.1	0.142	0.185	0.233	0.329	0.137
0.50	0.50	0.2	0.348	0.416	0.620	0.968	0.536
0.75	0.75	0.3	0.512	0.736	0.971	1.585	0.964
1.00	1.00	0.4	0.573	0.883	1.243	1.965	1.586

从图 6 可以看出,在不同发散带分级速度下每个等级花生荚果质量的百分比所呈现的规律相似。以 0.25 m/s 的分级速度为例,第 5 级的花生荚果所占百分比最低;而随着速度的增大,第 5 级花生荚果所占比例也随之增加。通过对 4 个不同分级速

度所得花生荚果在不同级别所占比例进行对比,随着分级速度增大,前 3 个级别的花生荚果质量所占比例均有所降低,而第 5 级的差异性明显变大,速度越大第 5 级的花生荚果所占比例越大,分级效果越差,而速度为 0.75 m/s 与 0.50 m/s 分级后的结果十分接近,综合分选效率,故在机器实际工作过程中发散带的分级速度选取 0.75 m/s。

3.2 验证试验

按仿真模型参数确定了发散带速度的最佳参数为 0.75 m/s,2021 年 3 月 25 日,在河南省农业科学院长垣分院花生机械研究室自制的发散带式花生荚果分级机上进行试验(图 7),试验选取仿真得到的最佳参数,花生选用同一批次收获的豫花 37

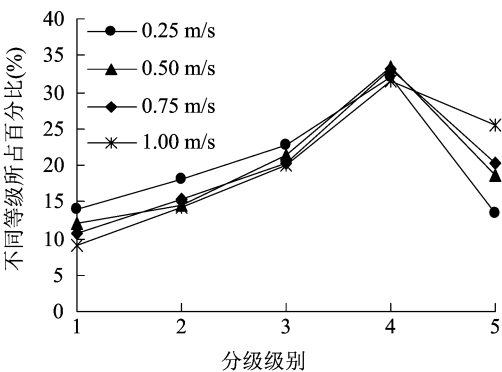


图6 在不同分级速度下不同级别的花生荚果质量百分比



图7 发散带式花生荚果分级机试验效果

(试验使用 100 kg 花生荚果)。验证试验进行 3 次重复,对每级花生荚果随机选取 20 粒进行几何尺寸测量,并取每级花生荚果质量的平均值作为百分比的基数进行计算。

从表 4 可以看出,分级后的花生荚果在长、宽、厚 3 个方向上尺寸均呈现递增趋势,花生荚果从 1 级到 5 级质量分布先增大后降低。

表 4 花生荚果分级试验结果

分级	长 (mm)	宽 (mm)	厚 (mm)	质量百分比 (%)
1 级	31.46	13.79	12.78	10.21
2 级	34.50	15.14	14.07	16.72
3 级	38.69	16.21	15.40	21.55
4 级	40.32	18.02	16.57	32.34
5 级	44.36	18.76	17.66	19.18

将 EDEM 仿真试验在不同参数设置下的试验结果与同样设置下 (0.75 m/s) 的验证试验结果进行对比。从图 8 可以看出,仿真试验结果与验证试验结果误差较小。通过计算得出,仿真试验结果与验证试验结果误差最大为 1.28%。产生误差的原因可能是由于在仿真过程中不存在机器的振动,而实际分级过程中由于电机的转动、发散带运动的振动在一定程度上会使分级机产生振动,从而对分级过程和结果造成一定影响。

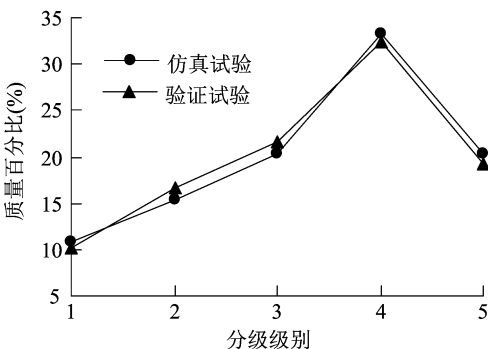


图8 仿真试验与验证试验结果对比

4 讨论与结论

本研究结果表明,仿真试验与验证试验从 1 级至 5 级花生荚果的分布比均呈现先增大后降低,其中在发散带速度为 0.75 m/s 时效果分级最好,且二者之间的差异也最小。仿真试验预测值与验证试验相接近,说明该模型拟合度较高,EDEM 模型的可靠性高,可用于发散带式花生荚果分级机的分级性能试验的分析与预测,该结果与薛然利用 EDEM 仿真试验对花生荚果圆筒筛分过程中颗粒分布情况结果^[14]相似。结果表明,该理论模型可以应用于花生荚果分级参数选取及优化。本研究中发散带式花生荚果分选机的分级效果较好,且不存在筛孔堵塞问题,适应于小批量生产使用。

本研究设计了一种发散带式花生荚果分级机,主要由发散带、输送带、上料口、机架、电机、调速器等组成。

通过对河南省主要推广的花生品种豫花 37 的物理特性进行测定,花生荚果的长、宽、厚的尺寸均值分别为 37.86、16.38、15.29 mm,在 3 个方向上的标准差分别为 5.131 1、1.977 6、1.956 2 mm。发散带两端的间隙分别为 11、19mm。

利用 EDEM 软件对设计的发散带式花生荚果分级机进行仿真研究,得到发散带最佳运动速度为 0.75 m/s 时效果分级最好,且二者之间的差异也最小,此时仿真试验结果与验证试验结果误差最大为 1.28%,该模型拟合度较高,EDEM 模型的可靠性高,可用于发散带式花生荚果分级机的分级性能试验的分析与预测。

参考文献:

[1] 汤松,禹山林,廖伯寿,等. 我国花生产业现状、存在问题及发展对策[J]. 花生学报,2010,39(3):35-38.

高梦圆,马双宝,董玉婕,等. 基于实例分割苹果采摘机器人视觉定位与检测[J]. 江苏农业科学,2022,50(3):201-208.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.03.033

基于实例分割苹果采摘机器人视觉定位与检测

高梦圆,马双宝,董玉婕,林巍,何毅

(武汉纺织大学机械工程与自动化学院,湖北武汉 430073)

摘要:为了实现采摘机器人对复杂环境中的苹果进行精准的视觉检测与定位,提出了一种基于 Mask RCNN 实例分割模型检测果园苹果的方法。为了降低模型的参数数量并提升检测的速度,将主干特征提取网络由 Resnet101 网络替换为轻量化 Mobilenetv3 网络。该网络结构采用深度可分离卷积代替普通卷积,能有效降低模型参数量。并采用空间金字塔池化(spatial pyramid pooling,简称 SPP)模块,对输出网络进行语义增强,利用空洞卷积掩码特征图增加感受野。模型的参数量相较于 Resnet101 下降了 62.03%,检测速度由 5 帧/s 提高到 9 帧/s,检测速度提高 80%。检测结果准确率为 93.75%,召回率为 89.99%,平均检测精度(mAP)为 93.75%。试验证明,该算法能够对不同场景的苹果边缘位置信息以及类别进行有效的视觉识别检测,可为自动化采摘苹果机器人的视觉系统提供有力的技术支撑。

关键词:Mask RCNN;苹果识别;Mobilenetv3;SPP;空洞卷积

中图分类号:TP391.41;TP242.6⁺2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)03-0201-08

苹果营养丰富,含有大量矿物质、维生素以及膳食纤维,深受人们喜爱。因此,华北、西北地区以及更多地区成为了苹果的主产区。在农业生产中,由于苹果采摘过程的复杂性,采摘作业需要耗费大

量劳动人力,苹果的采摘工作约占据整个生产工作量的 40%^[1]。为了加快农业生产的高效快速发展,推动苹果生产的智能化发展,利用苹果采摘机器人来代替人工采摘具有重大的现实意义和广阔的应用前景^[2-5]。

苹果采摘机器人主要由视觉检测模块、机械结构设计和运动控制 3 个部分组成,主要采用机械臂对其进行采摘^[6-7]。如何快速准确对果园的苹果进行检测是苹果采摘机器人的技术关键。对果园中苹果的视觉检测效果受诸多因素的影响:现场环境的光照变化剧烈;果实之间的差异性较大;果实之

收稿日期:2021-07-22

基金项目:国家自然科学基金(编号:61271008);湖北省数字化纺织装备重点实验室公开项目(编号:DTL2019020)。

作者简介:高梦圆(1995—),男,湖北襄阳人,硕士研究生,主要从事视觉检测与控制。E-mail:2535204189@qq.com。

通信作者:马双宝,博士,副教授,主要从事人工智能技术在农业机器人感知与控制研究。E-mail:2006118@wtu.edu.cn。

[2]邓源喜,张姚瑶,董晓雪,等.花生营养保健价值及在饮料工业中的应用进展[J].保鲜与加工,2018,18(6):166-169,174.

[3]刘娟,汤丰收,张俊,等.国内花生生产技术现状及发展趋势研究[J].中国农学通报,2017,33(22):13-18.

[4]薛然,谢焕雄,胡志超,等.花生荚果分级机械研究现状与发展建议[J].江苏农业科学,2015,43(9):426-428.

[5]陈善峰,王俊.农产品分级技术及品质检测设备的现状与发展趋势[J].粮油加工与食品机械,2000(4):8-10.

[6]毛鹏军,杜东亮,符丽君,等.我国农产品分级的现状、问题及对策[J].农业机械,2006(10):110-111.

[7]Blankenship P D,Dowell F E. A diverging belt screen for farmer stock Peanuts I[J]. Peanut Science,1997,24(1):37-41.

[8]Dowell F E. An automated cleaning, pod sizing, shelling, and kernel sizing system for grading farmers stock Peanuts I [J]. Peanut Science,1996,23(1):46-54.

[9]刘道奇,刘龙,孙千涛,等.河南省花生机械化收获的现状、存在的问题及对策[J].农业开发与装备,2020(10):29-31.

[10]谢焕雄,王建楠,胡志超,等.我国种用花生机械化脱壳技术路线[J].花生学报,2012,41(2):32-36.

[11]薛然,谢焕雄,胡志超,等.花生荚果圆筒筛分试验研究[J].中国农机化学报,2016,37(2):101-104.

[12]冯金有.一种花生果筛选机:CN2597104[P].2004-01-07.

[13]刘涛,何瑞银,陆静,等.基于 EDEM 的窝眼轮式油菜排种器排种性能仿真与试验[J].华南农业大学学报,2016,37(3):126-132.

[14]薛然.花生荚果圆筒筛分特性研究与参数优化[D].北京:中国农业科学院,2015.

[15]迟明,宋鸿,许杰,等.基于 EDEM 对带式输送机系统的改造与分析[J].起重运输机械,2020(4):86-90.

[16]侯俊铭,杨勇,董帅,等.典型花生种子脱壳特性试验及有限元仿真研究[J].东北农业大学学报,2017,48(11):74-85.

[17]张强,张旭,孙绍安.基于 EDEM 的家用榨油机压榨腔工作性能仿真研究[J].农业工程学报,2018,34(24):283-291.

[18]顿国强,杨永振,郭艳玲,等.不同品种大豆种子充填特性的 EDEM 仿真分析[J].河南农业大学学报,2019,53(1):93-98.