

油茶果一果柄分离力测量装置设计与验证

Design and experiment of camellia oleifera fruit-stalk separation force measuring device

谢承健 曹成茂 吴佳胜 伍德林

XIE Cheng-jian CAO Cheng-mao WU Jia-sheng WU De-lin

(安徽农业大学工学院,安徽合肥 230036)

(College of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

摘要:设计一款基于LabVIEW虚拟仪器技术的油茶果一果柄分离力测量装置,该装置可以实现信号的采集、实时显示、数据存储等功能。选取3个品种油茶果为试验对象,以果柄直径、油茶果几何平均直径和成熟度为试验因素,以果柄分离力为响应值设计正交试验,利用SPSS软件对试验结果进行分析。结果表明:处于适采期的不同油茶果品种的果柄分离力约为7~17 N,各品种间有明显差异;成熟度对果柄分离力影响显著($P < 0.05$),且成熟度越高果柄分离力越小。

关键词:油茶果;分离力;测量装置;成熟度

Abstract: In this study, a set of real-time measuring device was designed based on LabVIEW virtual instrument technology to measure the fruit removal force, acquiring the signal of force, storing and displaying real-time data and etc. Wanshu 1, Changlin 1 and Dabieshan 1 were selected as experimental subjects. The diameter of the stalk and the geometric mean diameter and the degree of the ripeness of *Camellia oleifera* fruit were used as the experimental factors to design the orthogonal test. The fruit removal force of *C. oleifera* at different levels in three test factors was determined, and analyses about the relevant testing data based on SPSS software were conducted. The results showed that, there were significant differences in fruit removal force among different cultivars of camellia. The results of range and variance analysis of orthogonal test showed that degree of the ripeness was highly correlated to its fruit removal force. With the degree of the ripeness higher, the fruit removal force gradually decreased.

Keywords: *Camellia oleifera* fruit; removal force; measuring device; degree of the ripeness

油茶是一种木本油料树种,主要分布于中国南方丘陵地区,与油棕、油橄榄、椰子被誉为世界四大木本油料作物^[1-3]。茶油具有极高的保健和营养价值,受到越来越多的消费者青睐^[4-5]。随着中国对油茶产业的重视和相关政策的扶持,油茶种植面积逐年扩大,截至2016年末,中国实有油茶林面积已达到 4.01×10^6 hm²。目前油茶采摘主要是以传统的手工采摘为主,采摘困难、劳动强度大,市场还未见成熟的采摘机具^[6]。油茶果的采摘问题已经成为中国油茶产业发展的瓶颈。因此,实现油茶果的机械化收获已经成为解决此类问题的有效途径。

油茶果一果柄分离力是油茶果与果柄分离所需要的拉力^[7],其大小反映了油茶果与果柄分离的难易程度,也是油茶果收获机械研制的重要参考因素。国外学者在林果果柄分离力上做了大量的研究^[8-9],Elfving等^[10]分析了乙烯利对甜樱桃果实分离力的影响;Coppock等^[11]分析比较了不同成熟度橙子的分离力以确定甜橙的机械化收获方式;Sessiz等^[12]为了确定橄榄振动采收效果,分析了橄榄分离力与果实重量、成熟度以及化学脱落剂对分离力的影响。

中国学者对番茄^[13]、杏^[14]、蓝莓^[15]等的分离力也进行了研究,但针对油茶果一果柄分离力的研究很少。其中,冯国坤等^[16]设计了一款可用于野外测量的齿梳式油茶果测量装置,但是在野外作业时可能会受到外界环境的影响,从而影响其测量精度。本研究基于LabVIEW虚拟仪器技术设计一款测量装置用以测试油茶果一果柄分离力^[17-18],并通过正交试验对其影响因素进行研究。旨在为后期油茶果收获机的设计提供力学理论依据。

1 分离力测量装置结构及原理

1.1 测量装置结构

根据油茶果实际采摘时拉断的力学原理^[19],设计了该测量装置。该测量装置主要由机械和测试系统两部分组成,

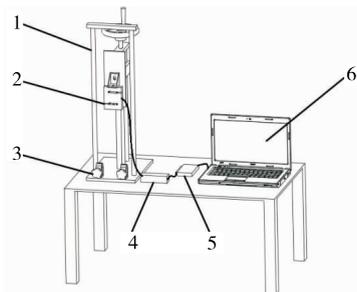
基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFD702105)

作者简介:谢承健,男,安徽农业大学在读硕士研究生。

通信作者:曹成茂(1964—),男,安徽农业大学教授,博士生导师,博士。E-mail: caochengmao@sina.com

收稿日期:2018-01-11

其结构见图1。数据采集主要由测试系统来完成,测试系统主要包括硬件和软件两部分,硬件主要由拉压传感器、变送器、NI采集卡和笔记本电脑组成,软件部分主要由LabVIEW实现。



1. 螺旋升降台 2. 拉压传感器 3. 专用夹具 4. 变送器 5. NI采集卡 6. 上位机

图1 测量装置结构示意图

Figure 1 Schematic diagram of measuring device structure

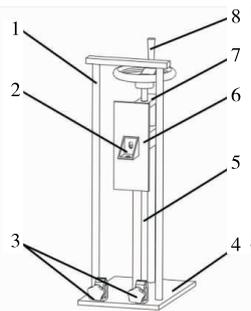
1.2 测量装置工作原理

该装置采用手动控制,利用细绳牵引拉断果柄进行测试^[20]。为保证测量精度,细绳采用细软钢丝绳,其刚性大,在受力后形变很小,对试验结果几乎没有影响。试验时将带枝的油茶果样品用专用夹具进行固定,测试时将细绳一端系于传感器上,另一端挂在油茶果上,使细绳运动方向与果实垂直。然后匀速转动手轮带动丝杠转动,丝杠带动行程板和传感器上升,达到一定高度时果柄被拉断,传感器测出分离力。该测量装置能够实时反映从开始到果实分离任意时刻拉力的变化情况。

2 测量装置的设计

2.1 机械结构的设计

为了避免拉断速度和角度误差,选取螺旋升降台作为机架。由于在油茶果牵引拉断时果枝会产生一定的形变,该形变可能会对测试结果产生一定的影响。所以,为了保证测量精度,丝杠螺纹采用细牙螺纹,使得在转动手轮时传感器能够匀速缓慢提升。同时,采用专用夹具用以固定油茶果样品。其机械结构见图2。



1. 支架 2. 角铝 3. 专用夹具 4. 底座 5. 丝杠 6. 行程板 7. 限位板 8. 手轮

图2 机械结构示意图

Figure 2 Schematic diagram of mechanical structure

2.2 测试系统的设计

2.2.1 测试硬件系统组成 该测试系统由拉压传感器、变送器、采集卡、上位机等组成,见图3。测试过程中,在油茶果与果柄从开始受到分离过程中,拉压传感器检测到拉力信号,传输至变送器,转换成0~10 V的模拟电压信号,采集卡对模拟电压信号进行模数转换后,通过USB传输至上位机进行运算处理和显示。

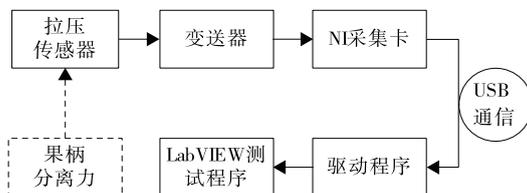


图3 测试系统结构图

Figure 3 Structure diagram of test system

2.2.2 软件系统的设计 软件系统设计中采用DAQ模块对数据采集硬件进行参数配置,DAQmx创建通道VI用于创建数据采集的物理通道,模拟量输入通道选用AI0,在DAQmx定时VI中设定采样率为10 k,采样模式为连续采样,采用单端接地的RSE模式。DAQmx读取VI用于虚拟通道中数据的读取,数值函数将采集到的电压信号进行转换,得到油茶果柄分离过程中的实际拉力(见图4),采集到的数据以TDM Streaming文件的形式存储。写操作完毕后可调用TDMS File Viewer VI函数打开TDMS文件内容浏览器,以存储的时间为文件名,方便后期的历史查询,避免数据丢失。

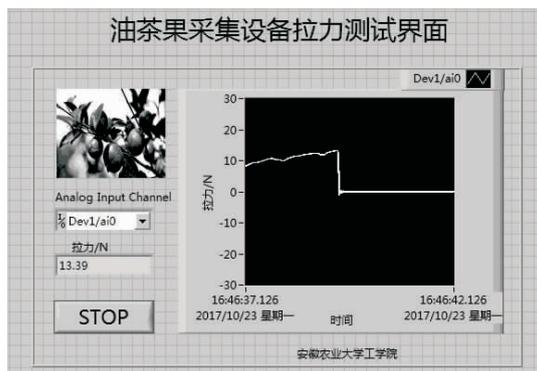


图4 用户界面

Figure 4 User interface

3 分离力测试试验

3.1 试验对象

2017年10月在安徽省舒城县德昌苗木有限公司对油茶果-果柄分离力进行了测试试验。试验对象分别为皖舒1号、长林1号、大别山1号3种油茶果品种。为了方便测量,将油茶果剪枝带回,长度为15~25 mm。为了避免果枝水分流失等原因对试验造成影响,将果枝带回后立即进行试验。油茶果相关物理性质见表1。

从表1数据可以看出,大别山1号和长林1号的果实重

表 1 油茶果物理性质

Table 1 Physical properties of camellia oleifera fruit

品种	单果重量/g			几何平均直径/mm			果柄直径/mm		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
皖舒 1 号	14.5	8.2	10.8	31.2	15.3	20.8	6.4	4.5	5.3
长林 1 号	20.7	9.7	14.9	46.1	22.6	33.5	6.3	5.2	5.9
大别山 1 号	17.2	7.3	12.3	34.9	16.7	24.6	5.9	4.3	5.2

量都较大,分别为 10.8,14.9 g,皖舒 1 号最轻;从几何平均直径上来看,大别山 1 号和长林 1 号的外形尺寸都比皖舒 1 号大;大别山 1 号和皖舒 1 号果柄直径相差不大,长林 1 号果柄直径较大。

3.2 试验方法

为减少试验次数,本试验选取果柄直径、油茶果几何平均直径以及成熟度为试验因素,每个因素取 3 个水平,以果柄分离力为试验指标设计正交试验。每组试验取 10 次数据的平均值,试验结果采用 SPSS 软件处理分析。

由于油茶果的成熟度一般是根据其开裂程度判断的,很难做出定量描述。目前常用果实颜色来衡量其成熟度^[21],通过对比也发现不同成熟度的油茶籽表面颜色区别较大,故本试验利用 RGB 分析技术来标定油茶籽成熟度。

将上述 4 组不同成熟度的油茶籽进行拍照取样(见图 5),然后利用 RGB 分析技术对其彩色图像进行像素提取。通过对比 4 组油茶籽图像 R(red)、G(green)、B(blue)3 个分量值的均值,发现 4 组不同成熟度的油茶籽图像中的 R 分量值的均值区别明显(见图 6),所以本研究中采用 R 分量的均值来标定油茶果的成熟度。选取处于适采期不同成熟度的油茶籽进行拍照取样,在所测样品中 R 分量均值的值域为 30.76~120.16,R 均值越小,表示其颜色越深成熟度越高,反之越低。

油茶果柄分离力正交试验因素与水平见表 2。

3.3 试验结果与分析

试验结果及极差分析见表 3。由表 3 可知:成熟度对指标的影响最大,其次是果柄直径,油茶果几何平均直径对果柄分离力影响最小。

对试验结果进行方差分析见表 4。在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 下,果柄直径和油茶果几何平均直径对油茶果—果柄分离力的 P 值均大于 0.05,说明果柄直径和油茶果几何平均直

径对果柄分离力没有显著性影响。3 种油茶成熟度 P 值均小于 0.05,说明成熟度对油茶果柄分离力具有显著性影响。

表 2 试验因素水平

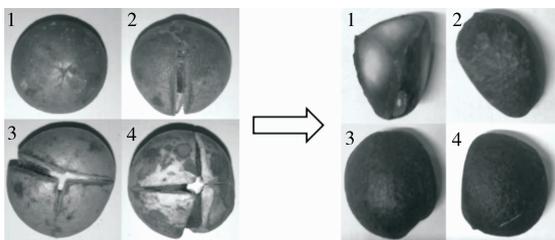
Table 2 Factors and levels of orthogonal test

品种	水平	A 果柄直径/mm	B 几何平均直径/mm	C 成熟度 (R 分量均值)
皖舒 1 号	1	4.4~5.1	15.0~21.0	30~60
	2	5.1~5.8	21.0~27.0	60~90
	3	5.8~6.5	27.0~33.0	90~110
长林 1 号	1	5.0~5.5	22.5~30.5	30~60
	2	5.5~6.0	30.5~38.5	60~90
	3	6.0~6.5	38.5~46.5	90~110
大别山 1 号	1	4.2~4.8	16.0~22.5	30~60
	2	4.8~5.4	22.5~29.0	60~90
	3	5.4~6.0	29.0~33.5	90~110

表 3 正交试验结果及极差分析

Table 3 Design and results of experiments

试验号	A	B	C	分离力/N		
				皖舒 1 号	长林 1 号	大别山 1 号
1	1	1	1	8.2	9.7	9.1
2	1	2	2	10.8	10.5	11.6
3	1	3	3	11.6	12.2	12.3
4	2	1	2	13.5	11.6	11.1
5	2	2	3	16.9	13.4	10.2
6	2	3	1	10.4	8.7	7.4
7	3	1	3	16.8	13.8	10.6
8	3	2	1	8.1	9.4	8.3
9	3	3	2	12.6	12.7	12.4
	K_1	10.2	12.8	8.9		
皖舒 1 号	K_2	13.6	11.9	12.3		
	K_3	12.5	11.5	15.1		
	R	3.4	1.3	6.2		
长林 1 号	K_1	10.8	11.7	9.3		
	K_2	11.2	11.1	11.6		
	K_3	12.0	11.2	13.1		
	R	1.2	0.6	3.9		
大别山 1 号	K_1	11.0	10.3	8.3		
	K_2	9.6	10.0	11.7		
	K_3	10.4	10.7	11.0		
	R	1.4	0.7	3.4		



(a) 油茶果

(b) 油茶籽

图 5 不同成熟度的油茶果

Figure 5 Different maturity of camellia oleifera fruit

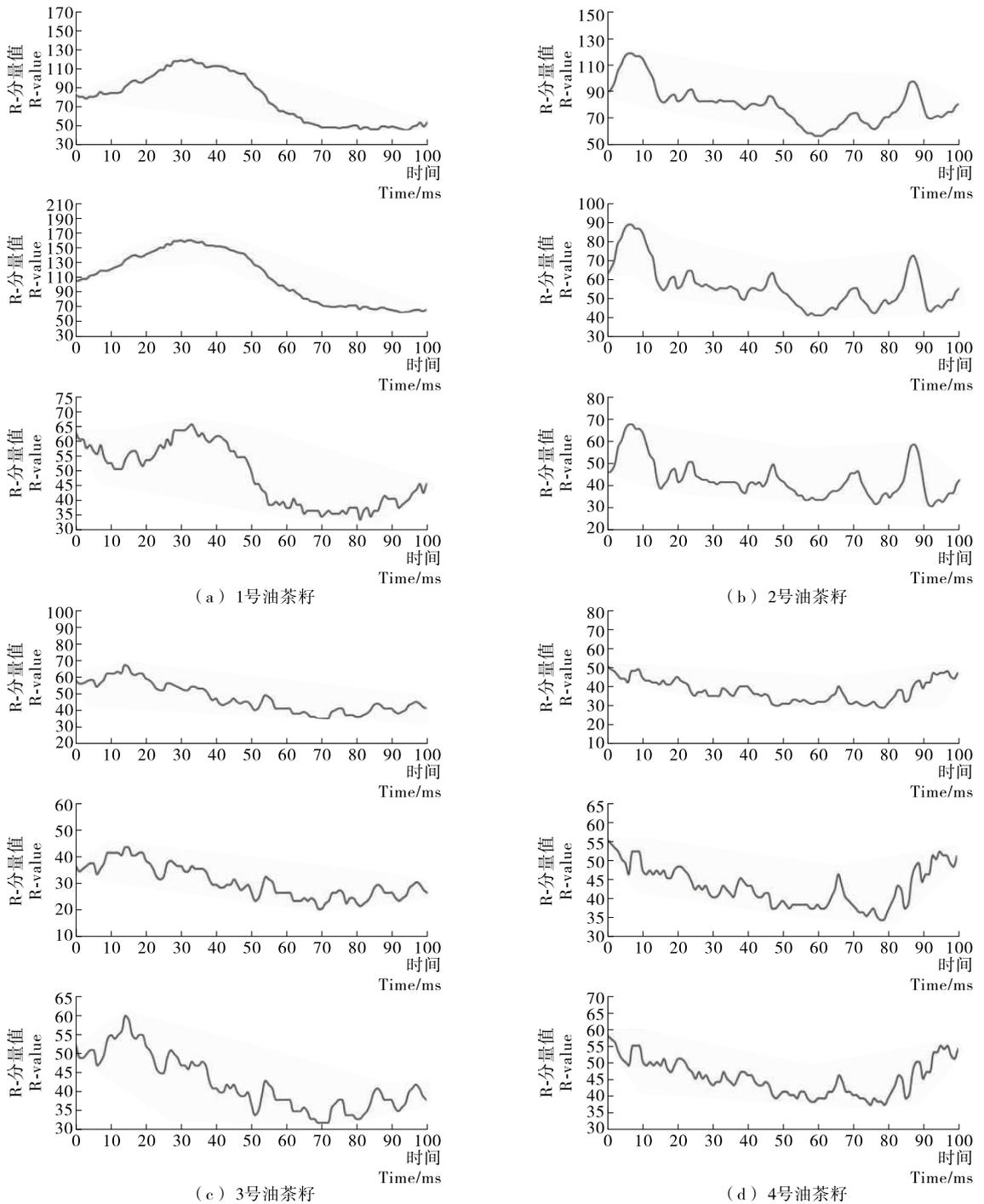


图6 RGB分析分量值

Figure 6 component value of RGB analyzes

4 结论

(1) 本研究基于虚拟仪器技术设计了一款油茶果—果柄分离力测量装置,该测量装置主要由螺旋升降台、拉压传感器以及NI采集卡组成,依托LabVIEW软件编写了数据采集程序。

(2) 处于适采期的不同油茶果品种的果柄分离力约为7~17 N,各品种间的果柄分离力有明显差异,其中,皖舒1

号果柄分离力最大,长林1号次之,大别山1号果柄分离力最小。

(3) 通过正交试验结果分析,果柄直径、油茶果几何平均直径和成熟度对油茶果—果柄分离的影响程度不同。成熟度是影响果柄分离力的主要因素,而油茶果几何平均直径和果柄直径对分离力影响较小。

(4) 不同成熟度的油茶果—果柄分离力差别较大,成熟度越高其果柄分离力越小,所需的采摘力越小。成熟度越低

表 4 方差分析[†]
Table 4 Variance analysis

品种	来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
皖舒 1 号	A	18.060	2	9.030	0.829	0.481
	B	2.660	2	1.330	0.099	0.907
	C	57.840	2	28.920	6.794	0.029
	误差	4.820	2			
	总计	83.380	8			
长林 1 号	A	2.087	2	1.043	0.250	0.786
	B	0.620	2	0.310	0.070	0.933
	C	22.747	2	11.373	15.748	0.004
	误差	1.626	2			
	总计	27.080	8			
大别山 1 号	A	3.127	2	1.563	0.435	0.666
	B	0.687	2	0.343	0.086	0.919
	C	19.887	2	9.943	12.446	0.007
	误差	0.979	2			
	总计	24.680	8			

[†] 均值差的显著性水平为 0.05。

分离力越大,所需的采摘力越大。

参考文献

- [1] 饶洪辉. 便携式油茶果实采收机构设计[J]. 中国农机化学报, 2012(5): 72-73.
- [2] 庄瑞林. 中国油茶[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008: 3-4.
- [3] 李好, 钟海雁, 方学智, 等. 油茶籽成熟过程中抗氧化物质的变化规律[J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 6-9.
- [4] 刘肖丽, 吴雪辉. 不同提取方法对茶油品质的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(24): 307-310.
- [5] 杨建远, 陈芳, 宋沥文, 等. 油茶籽油提取技术研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 183-187.
- [6] 冯国坤, 饶洪辉, 许朋, 等. 油茶果机械采摘装备与技术研究现状[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(5): 125-127.

(上接第 88 页)

(2) 由于滑块速度均匀性的改善,其加速度均匀性也得到很好的改善,从而有效降低了原动机的力矩突变,能源消耗明显降低。

(3) 该方法可推广至其他四杆机构以及复杂机构中。

参考文献

- [1] 蔡玉强, 朱东升, 吴楠. 基于 Matlab/Simulink 的高速压力机曲柄滑块机构的动力学研究[J]. 机械设计与制造, 2018(1): 192-194.
- [2] 陶德华, 王英, 陈建能, 等. 脉动血流发生器非圆齿轮-曲柄滑块式驱动机构设计与分析[J]. 中国机械工程, 2018, 28(16): 1 914-1 920, 1 927.
- [3] 王华杰. 基于非线性瞬态动力学的曲柄滑块机构冲击强度仿真分析[J]. 机械传动, 2015, 39(1): 139-144.
- [4] 刘勇, 王卫华, 李志刚, 等. 基于 simulink 的偏置曲柄滑块机构运动学和动力学分析[J]. 机械传动, 2014, 14(1): 186-191.

- [7] 黄国伟, 毕新胜, 肖彬彬, 等. 番茄果实与茎秆分离力的影响因素分析[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 187-190.
- [8] CRISOSTO C H, NAGAO M A. Evaluation of fruit removal force of coffee cultivars[J]. Horti-Science, Alexandria, 1991, 26(2): 210-230.
- [9] IBRAHIM A A, AL-JALIL H F, AL-DURI S M. Fruit detachment force and selective harvest of Zahdi date variety[J]. J Agric Water Reso Res, 1986, 5(2): 81-96.
- [10] ELFVING D C, AUVIL T D, CASTILLO F, et al. Effects of preharvest applications of ethephon and 1-MCP to 'Bing' sweet cherry on fruit removal force and fruit quality[J]. Journal-American Pomological Society, 2009, 63(3): 84-100.
- [11] COPPOCK G E. Properties of young and mature 'valencia' oranges related to selective harvest by mechanical means[J]. Transactions of the ASAE, 1972, 15(2): 235-238.
- [12] SESSIZ A, OZCAN M T. Olive removal with pneumatic branch shaker and abscission chemical [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76(2): 148-153.
- [13] 张进, 毕新胜, 肖彬彬, 等. 加工番茄果茎分离力研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(8): 5 051-5 053.
- [14] 散懿龙, 刘旋峰, 牛长河, 等. 杏果实成熟度特性参数与果柄分离力的相关性分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 62-68.
- [15] 孔德刚, 刘魏, 霍俊伟, 等. 蓝莓成熟期结合力变化规律的测试与分析[J]. 东北农业大学学报, 2014(4): 99-106.
- [16] 冯国坤, 饶洪辉, 许朋, 等. 油茶果生物力学特性便携式测试系统[J]. 农机化研究, 2015(8): 128-130.
- [17] 沈晓红, 仇立波, 鲁延峰. 基于虚拟仪器的无损探伤在食品生产设备中的应用研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(1): 109-111.
- [18] 杨慧斌, 闫娟. 基于 LabVIEW 的食品包装喷码视觉检测方法[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 123-126.
- [19] 张慧, 侯加林, 郎需强, 等. 便携式农作物茎秆剪切力测试仪的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 131-135.
- [20] 李怡, 张国忠, 周勇, 等. 棉秆田间起拔力测量系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(18): 43-50.
- [21] 毕智健, 张若宇, 齐妍杰, 等. 基于机器视觉的番茄成熟度颜色判别[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 133-136.

- [5] 郑艳, 吴成军, 吴娅楠. 双刀交替式连续剥馅机的设计[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 94-96.
- [6] 潘鸣宇. 基于 ADAMS 的对心曲柄滑块机构的运动学分析[J]. 机械工程与自动化, 2015(3): 78-80.
- [7] 高朝祥, 王充. 基于粒子群算法的曲柄滑块机构优化设计[J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 101-103.
- [8] SAVERIO Bolognani, LUCA Peretti, MAURO Zigiliotto. Combined speed and current model predictive control with inherent field-weakening features for PMSM drive[J]. IEEE Trans. Ind. Appl., 2008, 10(5): 472-478.
- [9] 王伟光. 滑模控制方法在电机转速控制中的应用[J]. 机电信息, 2014(30): 119-120.
- [10] 刘会英, 丁效华, 于春生. 曲柄滑块机构中滑块匀速运动的实现[J]. 机械设计与制造, 1997(3): 33-34.
- [11] 皮嘉立, 张世富, 杨建勇. 软质管线自动收卷机头展收机构研究[J]. 后勤工程学院学报, 2016, 32(1): 58-63.
- [12] 孙健, 张豪, 杨青. 基于 SolidWorks Motion 的平面四杆机构运动分析[J]. 机械工程与自动化, 2018(1): 96-97.