

动态称重式果品分选机设计与试验

Design and experiment of dynamic weighing type fruit sorting machine

刘佳 杨莉玲 马文强 祝兆帅 沈晓贺

LIU Jia YANG Liling MA Wenqiang ZHU Zhaoshuai SHEN Xiaohu

(新疆农业科学院农业机械化研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091)

(Agricultural Mechanization Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences,
Urumqi, Xinjiang 830091, China)

摘要:目的:解决中国鲜果人工分选准确率低、效率低、劳动强度大和生产成本高的问题。方法:基于果品质量分类法研制一款新型动态称重式果品分选机,该机具基于高精度称重单元采集的果品质量,然后经信号处理模块和PLC协同对采集的数据进行处理并控制起弹器,根据水果质量实现果品的分级。该机具可连续实现果品(直径 ≤ 126 mm)的上料、称重、分选作业。结果:当分选效率分别为18 327, 14 400, 10 473个/h时,分选准确率平均值分别为95.31%, 96.12%, 97.13%, 损伤率分别为1.09%, 1.11%, 1.15%;水果分选速度显著影响分选的准确率,对果品损伤率影响不明显。结论:该新型动态称重式果品分选机能够在保持分选准确率 $>95\%$ 的前提下有效提升果品分选的效率且对果品损伤较小。

关键词:果品分选;动态称重;连续作业;杏子

Abstract: Objective: To solve the problems of low accuracy and low efficiency, high labor intensity and high production cost of fresh fruit manual sorting in China. **Methods:** A new dynamic weighing type fruit sorting machine was developed based on the fruit weight classification method. This machine operated by initially collecting the weight of fruit through a high-precision weighing unit. The data collected was then processed in conjunction with a signal processing module and a Programmable Logic Controller (PLC). The processed data controlled an actuator, specifically a launcher, to execute the sorting based on the fruit's weight. This machine was capable of continuously performing loading, weighing (diameter ≤ 126 mm). **Results:** When the separation efficiency was 18 327, 14 400, 10 473 PCS/h, the average separation accuracy was 95.31%, 96.12%, 97.13%, the average damage rate was 1.09%, 1.11%, 1.15%, respectively. Fruit sorting speed significantly affected the sorting accuracy, but had no significant effect on fruit damage rate. **Conclusion:** The new dynamic weighing type fruit sorting machine can effectively improve the efficiency of fruit sorting and reduce the damage to fruit under the premise of keeping the sorting accuracy $>95\%$.

Keywords: fruit sorting; dynamic weighing; continuous operation; apricot

中国的水果种植产业仅次于粮食和蔬菜,2022年中国果园面积约为 1.30×10^7 hm², 占全球总种植面积的19.5%^[1], 位居世界第一。果品分选能够有效提升水果的最终附加值,通过称重的方式对水果的质量等级进行划分是果品分选的一种有效方式^[2-4]。

目前,中国的果品称重分选主要依靠人工分选和机械分选两种方式来完成,而人工分选存在效率低、工作强度大、主观性强且准确率不稳定的问题。机械分选按照分选装置工作原理不同可以分为机械式和电子式^[5-7]。其中,机械式果品称重分选机主要依靠在翻盘装置上悬挂不同质量的砝码挑选出不同质量的水果,相邻两组翻盘装置上悬挂的砝码质量区间即为该装置的一个果品分级质量区间。由于每个翻盘装置选果需要单独称重,作业缺乏连续性导致其选果效率降低,同时也增加了设备成本和检修成本。电子式果品称重分选机大多通过压力传感器对水果的质量信息进行获取,虽然提高了称重的精度,但是其工作效率仍无法满足批量水果的质量分选需求^[8-9]。

研究拟采用高精度动态称重技术,基于实时动态检测的果品质量对其进行分级的原理,研发一款能够连续工作且同时实现水果上料、称重、分选功能的新型动态称重式果品分选机,并对整机的分选性能进行验证,以期为果品精准分选技术装备的研究提供理论支持。

基金项目:自治区科技支疆项目(编号:2021E02046);中央引导地方科技发展资金项目(编号:ZYD2023B07)

作者简介:刘佳,女,新疆农业科学院副研究员,硕士。

通信作者:沈晓贺(1987—),男,新疆农业科学院副研究员,学士。

E-mail: 307385798@qq.com

收稿日期:2023-08-10 **改回日期:**2024-03-12

1 动态称重式果品分选机的设计及工作原理

动态称重式果品分选机主要包含上料单元、输送单元、高精度称重单元和分选单元 4 个部分。其中,输送单元包括水平输送装置和单列输送装置,分选单元包括托架组件、起弹器和分选盒,机具的主要参数见表 1。

表 1 动态称重式果品分选机主要参数

Table 1 Dynamic weighing fruit sorting machine main parameters

主要技术指标	单位	数值
生产效率	个/h	10 000~18 000
称重精度	g	± 0.1
称重范围	g	1~1 000
分选误差	g	$\leq \pm 0.5$
适用果径	mm	≤ 126

由图 1 可知,上料单元通过电机驱动链传动控制一组辊筒旋转实现其功能,机器作业时水果沿着上料单元辊筒铺放的方向移至水平输送装置的传送带上,水平输送装置利用平带传动的原理将水果平行输送至单列输送装置,由于单列输送装置为 V 形设计,底部仅容水果单排通过,此时水果呈单列排布进入分选单元,上料单元和输送单元的速度配合靠分别调节相应变频器实现,由高精度称重单元进行逐个称重并将单果的质量信息传输至 PLC,高精度称重单元的入口处设置对射式红外线传感器,用于检测进入高精度称重单元的托架组件上是否承托有单果。若托架组件上承托有单果,则获取高精度称重单元质量信息;若托组件上无单果,则托架组件直接通过高精度称重单元。PLC 判定该单果质量所属的分级并在承载该果的托架组件经过盛装对应品级水果的分选盒时启动对应的起弹器翻转托架组件,将水果倒入该分选盒中完成质量分级。

2 关键工作部件设计

2.1 上料部件的设计

为实现入料口可成批快速分散和输送大量水果,上

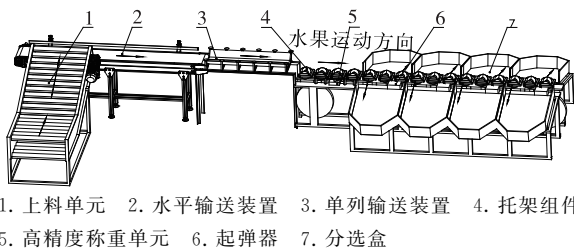
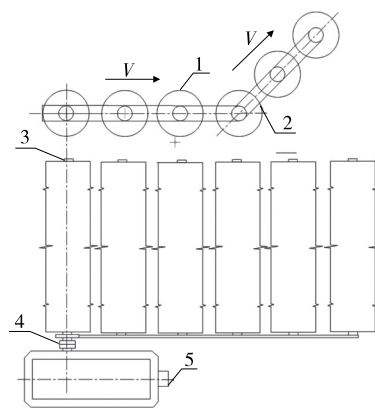


图 1 动态称重式果品分选机整机示意图

Figure 1 Schematic diagram of dynamic weighing fruit sorting machine

料单元分为水平输送段和提升输送段,水平输送段是将成批物料快速输送,提升运输段可有效离散堆叠在输送线上的水果,最终完成果品的有序连续输送作业。上料部件选用新型动力式滚筒输送结构,具有输送速度快、操作轻、运输能力大的特点,主要结构包括输送辊、链条、上料动力轮、上料传动轮和上料电机(图 2)。



1. 输送辊 2. 链条 3. 上料动力轮 4. 上料传动轮 5. 上料电机

图 2 上料部件的系统结构

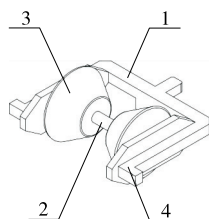
Figure 2 System structure of feeding components

上料动力轮通过链条与上料传动轮相连,上料电机通过上料动力轮驱动链条转动,从而带动多个输送辊同步旋转。相邻输送辊之间形成放置水果的排列通道,由此将成批上料的水果分成多列排布,便于逐列上料,有效避免水果间的相互挤压而造成的损伤,提高最终产品质量。此外,为降低运输过程对果品的损伤,尤其针对低硬度水果,在上料单元的出料端设置柔性挡板。柔性挡板的两端分别与上料单元的机架和水平输送带表面相连接。

工作时,将成批果品装载到输送辊入料端,输送辊可以根据需要设定输送角度和速度,使果品在滚筒上保持平稳的运行状态。当上料电动机启动时,通过减速器将电机输出的转速降低,并传递给输送辊。输送辊开始转动,将果品沿着输送线路运动,实现果品的连续上料。

2.2 托架组件的设计

托架组件(图 3)由连接架、连接轴和滚轮等组成。连接架呈 U 形,一对滚轮通过连接轴与连接架相连,滚轮位于 U 形结构内,一对滚轮与连接架形成果品的放置通道,连接架和运输链与通过底部的卡槽固定;连接架上设有一对挂耳,挂耳位于连接轴的端部,且与连接架相连,一方面便于在称重单元与引导架和称重支架相接触,保证了托架组件经过称重单元的稳定性,有利于提高电子秤获得质量信息的准确性;另一方面在分选作业时,便于起弹器将托架组件翻转的灵活性,有利于果品顺利滑落至



1. 连接架 2. 连接轴 3. 滚轮 4. 挂耳

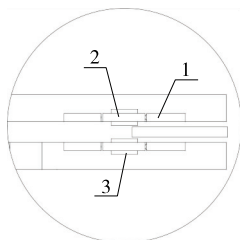
图 3 托架组件结构简图

Figure 3 Structure diagram of bracket component

相对应的分选盒中,进而提升了分选的准确性。

2.3 称重单元的设计

称重单元(图 4)由引导架、称重支架和电子秤组成。引导架沿着运输链的传输方向布设。一对引导架之间设置有供托架组件通过的滑道。引导架对托架组件的端部形成支撑。称重支架位于引导架的中部。称重支架的顶部具有支撑托架组件的第一承压端面。称重支架的底部具有与电子秤的检测端相接触的第二承压端面。电子秤称重范围为 1~1 000 g,称重精度为 0.1 g。称重单元的入口处设置有对射式红外传感器,用于检测进入称重单元的托架组件上是否有果品,若托架组件上承托有果品,则将电子秤获得的质量信息与托架组件的编号实施绑定;若托架组件上无果品,则托架组件直接通过称重单元,有利于优化质量信息与托架组件的编号绑定的处理速率。



1. 引导架 2. 称重支架 3. 电子秤

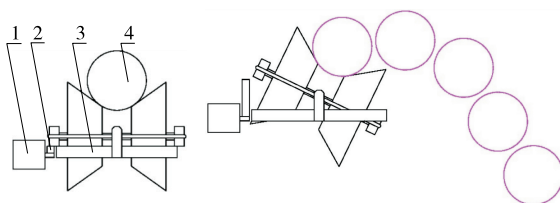
图 4 称重单元简图

Figure 4 Structure diagram of weighing unit

2.4 起弹器的设计

起弹器是机器的末端执行机构。高精度称重单元采集的果品质量,经信号处理模块和 PLC 协同对采集的数据进行处理并控制起弹器对果品进行分级。起弹器由打杆电机、拨片等组成(图 5)。

打杆电机安装在运输链的一侧,拨片与打杆电机的输出轴相连,打杆电机驱动拨片转动,从而带动托架组件翻转。打杆电机带动拨片运动实现初始位置状态和翻转位置状态转换,处于初始位置状态,拨片平行于运输链的运动方向,便于托架组件承托单果经过起弹器的上方;处于翻转位置状态,打杆电机驱动拨片转动,带动托架组件垂直于运输链的运动方向翻转,便于果品滑落至相对应



1. 打杆电机 2. 拨片 3. 果托 4. 果品

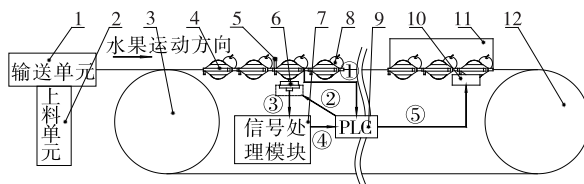
图 5 起弹器工作过程示意图

Figure 5 Schematic diagram of the working process of the launcher

的分选盒中。

2.5 控制系统的设计

动态称重式果品分选机控制系统结构如图 6 所示,其控制顺序为①→②→③→④→⑤,水果进入分选单元前,上料单元和输送单元的速度控制由变频器完成。水果进入单元后由托架组件承载其经过质量传感器,安装在高精度称重单元入口的对射式红外线传感器检测到水果通过时,向 PLC 发出信号,PLC 接收信号并控制质量传感器采集该水果的质量信息并经由信号处理模块提供给 PLC,PLC 根据设定的质量分级信息启动相应的起弹器,当承载该水果的托架组件经过起弹器时起弹器动作翻转托架组件,水果落入相应的分选盒中。



1. 输送单元 2. 上料单元 3. 主动轮 4. 托架组件 5. 对射式红外传感器 6. 质量传感器 7. 信号处理模块 8. 水果 9. PLC 10. 起弹器 11. 分选盒 12. 从动轮

图 6 动态称重式果品分选机控制系统图

Figure 6 Control system diagram of dynamic weighing fruit sorting machine

对于动态称重式果品分选机控制系统,称重是一个动态的过程,承载着水果的托架组件经过质量传感器的时间极短,因此对质量传感器的精度和抗干扰能力提出了更高要求^[10-11]。试验选用响应速度较快的压变电阻式传感器,其主要技术参数见表 2。

在对射式红外传感器取得信号、PLC 控制质量传感器开始获取质量数据时,由于试验系统为动态取样,取得的质量数据为一条不断震动的类抛物线形曲线^[12],运载水果的托架组件刚接触质量传感器时其采集到的质量信号不断增加,当托架组件与质量传感器完全接触时采集到的质量信号进入高点并趋于平稳波动,托架组件离开质量传感器时其采集到的质量信号开始下降,为了获得

表 2 质量传感器主要技术参数

Table 2 Main technical parameters of the weight sensor

主要技术指标	单位	数值
额定载荷	kN	0.1~20
综合精度	%	0.3
灵敏度	mV/V	1.0~1.5
零点输出	%	±1
工作温度	℃	-20~65
输入阻抗	Ω	380±20
输出阻抗	Ω	350±3
供桥电压	V	10

较为准确的水果质量数值,质量采集数据应选取托架组件与质量传感器完全接触的点,即质量曲线的高点趋于平稳段并取平均值。

将校准零点后的质量传感器和信号处理模块等效为一个控制系统,托架组件从开始进入到完全离开质量传感器的过程可以看作二阶阶跃函数作用于此系统的过程^[13],计算式为:

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}, \quad (1)$$

式中:

ω_n^2 ——无阻尼自然振荡频率;

ζ ——阻尼系数;

$G(s)$ ——系统的传递函数;

s ——系统对不同频率输入信号的响应。

滤波时间对阻尼系数 ζ 产生影响,当滤波时间为 0 时 $\zeta < 1$,系统阶跃响应出现震荡属欠阻尼响应,当滤波时间 > 0 时 $\zeta \geq 1$,此时系统近似等效为惯性环节^[14-15],其传递函数为:

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1}, \quad (2)$$

式中:

K ——系统增益;

T ——系统时间常数。

质量传感器采集到的质量信号上升阶段取决于系统时间常数 T 由传感器和信号处理模块响应速度及滤波时间决定^[16],托架组件与质量传感器的接触时间根据式(3)计算:

$$t = L/V_c, \quad (3)$$

式中:

t ——托架组件与质量传感器的接触时间,s;

L ——质量传感器与托架组件接触部分最大的长度,m;

V_c ——托架组件线速度,m/s。

托架组件底座与质量传感器完全接触的时间为:

$$t_w = L/V - 2d/V_c, \quad (4)$$

式中:

d ——托架组件的底座长度,m;

t_w ——托架组件底座与质量传感器完全接触的时间,s。

最多可采样次数按式(5)计算:

$$N = \frac{\frac{L}{V_c} - \frac{2d}{V_c}}{t_s}, \quad (5)$$

式中:

t_s ——采样周期;

N ——最多可采样次数。

根据式(5)可以看出,采样周期固定时,果品分选速度越快可供 PLC 采样的点数越少,质量传感器采集的数据准确度越低,即高精度称重单元的整体精度降低,当高精度称重单元的精度下降到一定值则出现分选错误,影响分选准确率。

3 分选性能试验与分析

3.1 材料与方法

试验材料选用 2023 年 7 月 1 日当天采摘于新疆维吾尔自治区的成熟杏子,于 2023 年 7 月 3 日在新疆维吾尔自治区西南部喀什地区英吉沙县喀什神恋有机食品有限公司进行试验。试验器材包括高精度电子秤(精度为 0.1 g)和计时器。根据生产需要将配方设置为图 7 所示的 6 个级别分别对应分选盒 1~6。

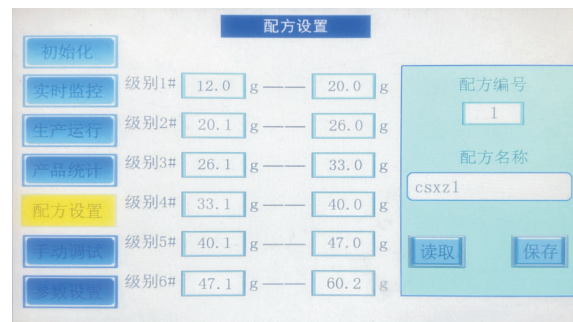


图 7 配方设置

Figure 7 Control program interface

将托架组件线速度调至 1.4, 1.1, 0.8 m/s 进行试验,将计时器设定为 1 min 在第一颗杏子经过输送单元开始进入高精度称重单元时开启计时器,动态称重式果品分选机开始工作,计时器停止时按下急停按钮,清点分选盒内的杏子并利用高精度电子秤进行称量,计算分选准确率,称量时对表皮受到损伤的杏子单独计数计算损伤率,试验重复 3 次。

3.2 试验因素和指标

将分选准确率、损伤率作为试验指标,针对同一批杏

子设置不同的分选速度进行果品分选试验,并按式(6)计算水果分选速度。

$$V=\frac{3\ 600}{L_c/V_c}\times n,$$
 (6)

式中:

V ——水果分选速度,个/h;

L_c ——托架组件有效行程(从水果进入托架组件至水果脱离托架组件的最远距离),m;

n ——有效行程内托架组件数量。

选取可控变量 V_c 的数值为 1.4,1.1,0.8 m/s,根据机器设计参数得到 $L_c=3.3\text{ m}$, $n=12$,计算得到水果分选速度分别为 18 327,14 400,10 473 个/h。

分选准确率和损伤率分别按式(7)、式(8)计算。

$$A_1=\frac{n_1}{n_f}\times 100\%,$$
 (7)

$$A_2=\frac{n_d}{n_f}\times 100\%,$$
 (8)

式中:

A_1 ——水果分选准确率,%;

n_1 ——分选正确的水果数量;

n_f ——分选水果数量;

A_2 ——水果分选损伤率,%;

n_d ——分选过程中损伤的水果数量。

3.3 结果与分析

由表 3 可知,水果分选速度对分选准确率影响较为显著,水果分选速度越快,分选准确率越低;水果分选速度对分选损伤率影响不显著,不同水果分选速度下分选损伤率稳定在 1.12%左右,在合理的分选速度下分选损伤率与机器的机械结构和水果自身的特性有关。

表 3 分选机具性能试验结果
Table 3 Experimental results

水果分选速度/ (个·h ⁻¹)	分选完成的 杏子总数	分选正确的 杏子数量	分选准确 率/%	分选准确率 平均值/%	分选过程中损 伤的杏子数量	分选损伤 率/%	分选损伤率 平均值/%
18 327	304	287	94.41	95.31	4	1.31	1.09
	306	298	97.39		3	0.98	
	307	289	94.14		3	0.98	
14 400	240	231	96.25	96.12	3	1.25	1.11
	242	233	96.28		3	1.24	
	239	229	95.82		2	0.84	
10 473	176	171	97.16	97.13	3	1.70	1.15
	173	167	96.53		1	0.58	
	173	169	97.69		2	1.16	

4 结论

将高精度称重单元采集的数据经信号处理模块处理后作为输入数据,PLC 作为数据处理单元,起弹器作为执行机构设计了一款动态称重式果品分选机。结果表明,将该动态称重式果品分选机分选新疆维吾尔自治区收获的杏子,当分选速度为 18 327,14 400,10 473 个/h 时,分选准确率平均值分别为 95.31%,96.12%,97.13%,分选损伤率平均值分别为 1.09%,1.11%,1.15%,分选效率较高,分选准确率和分选损伤率均满足生产需要。后续应从机具托架组件的结构优化方面予以考虑,以减少分选损伤率,可以考虑使用精度更高、反应速度更快的称重单元和信号处理模块以增加分选准确率。

参考文献

[1] 国家统计局. 中国统计年鉴: 2023[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023: 12.

National Bureau of Statistics. China statistical yearbook: 2023[M]. Beijing: China Statistics Press, 2023: 12.

[2] 李光梅, 魏新华, 李陆星, 等. 水果分选机的研究现状与发展状况[J]. 农机化研究, 2007(9): 20-23.

LI G M, WEI G H, LI L X, et al. Researching actuality and development of fruit grader [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(9): 20-23.

[3] NANDI C S, TUDU B, KOLEY C. An automated machine vision based system for fruit sorting and grading [C]// 2012 Sixth International Conference on Sensing Technology (ICST). Tunisia: IEEE, 2012: 195-200.

[4] 葛经帅, 赵春江, 黄文倩, 等. 基于智能称重的水果分级生产线设计[J]. 农机化研究, 2012, 34(1): 126-130.

GE J S, ZHAO C J, HUANG W Q, et al. Study on the production line for the fruit grading based on intelligent weighting[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(1): 126-130.

[5] FARZAND AHMADI V, ZIYAE P, BAZYAR P, et al. Development and testing of a low-cost belt-and-roller machine for

- spheroid fruits or ting[J]. Agri Engineering, 2020, 2(4): 596-606.
- [6] 徐玉恒. 油茶果动态称重及其尺寸实时测量技术研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2020: 2-6.
- XU Y H. Research on dynamic weighing of camellia fruit and its real-time measurement technology logy [D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2020: 2-6.
- [7] 毛华先, 莫建灿, 方连发, 等. 水果品质智能化实时检测和分级系统研究[J]. 农机化研究, 2010, 32(10): 95-97.
- MAO H X, MO J C, FANG L F, et al. Research on an intelligent real-time system for fruits quality inspection and sorting[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(10): 95-97.
- [8] ZHOU Z, ZAHID U, MAJEED Y, et al. Advance mentin artificial intelligence for on-farm fruits or ting and transportation [J]. Frontiersin Plant Science, 2023, 14: 1082860.
- [9] CHAKRABORTY S K, SUBEESH A, POTDAR R, et al. AI-enabled farm-friendly automatic machine for washing, image-based sorting, and weight grading of citrus fruits: Design optimization, performance evaluation, and ergonomic assessment[J]. Journal of Field Robotics, 2023, 120(4): 105826.
- [10] 蔡文. 水果动态称重与自动分选控制系统研究与开发[D]. 杭州: 浙江大学, 2011: 25-28.
- CAI W. Research and development of the control system for fruit dynamic weighing and automatic sorting lines [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011: 25-28.
- [11] 武海军. 水果食品称重分选机控制系统设计[J]. 食品工业, 2021, 42(3): 224-226.
- WU H J. Design of control system for fruit food weighing and sorting machine[J]. Food Industry, 2021, 42(3): 224-246.
- [12] GOLPIRA H, GOLPIRA H. Application of signal processing technique for the modification of a fruit sorting machine [J]. International Journal of Advanced Mechatronic Systems, 2013, 5(2): 122-128.
- [13] 张剑一. 动态称重数据处理算法及其在禽蛋和类球形水果分选中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017: 92-95.
- ZHANG J Y. Dynamic weighing data processing algorithm and its applications to poultry egg and spherical fruits sorting [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017: 92-95.
- [14] 韩乔生, 芦金石, 陶学恒, 等. 高效高精度动态静态组合块状食品称重分选系统[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 89-93.
- HAN Q S, LU J S, TAO X H, et al. Efficient high-precision dynamic and static combination of bulk food weighing sorting system[J]. Food & Machinery, 2016, 32(10): 89-93.
- [15] 赵卓. 全自动水果分拣系统的设计与开发[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2020: 46-50.
- ZHAO Z. Design and development of automatic fruit sorting system[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2020: 46-50.
- [16] 黄珏. PLC 自动控制技术的应用[J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(2): 96-98.
- HUANG Y. The application of PLC automatic control technology [J]. Papermaking Equipment and Materials, 2023, 52(2): 96-98.
-
- (上接第 33 页)
- [24] KROEHNKE J, SZADZINSKA J, RADZIEWSKA-KUBZDELA E, et al. Osmotic dehydration and convective drying of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*)-The influence of ultrasound on process kinetics and product quality[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2021, 71: 105377.
- [25] 张振亚, 韩磊丛, 金听祥, 等. 超声预处理对热泵干燥菠萝品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(12): 111-116.
- ZHANG Z Y, HAN L C, JIN T X, et al. Experimental study the effect of ultrasonic pretreatment on the quality of pineapple dried by heat pump[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(12): 111-116.
- [26] ALLAHADAD Z, NASIRI M, VARIDI M, et al. Effect of sonication on osmotic dehydration and subsequent air-drying of pomegranate arils[J]. Journal of Food Engineering, 2019, 244: 202-211.
- [27] 李卓豪, 毕金峰, 易建勇, 等. 不同小分子糖渗透草莓的传质动力学及对真空冷冻干燥草莓品质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(17): 95-104.
- LI Z H, BI J F, YI J Y, et al. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of strawberries with various small molecule sugars and their effect on the quality of freeze-dried strawberries[J]. Food Science, 2022, 43(17): 95-104.
- [28] 陈腊梅, 金鑫, 毕金峰, 等. 超声辅助糖液渗透处理对真空冷冻干燥桃脆片干制品品质及吸湿性的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(17): 117-123.
- CHEN L M, JIN X, BI J F, et al. Effect of ultrasonic-assisted sugar osmotic pretreatment on quality and hygroscopicity of vacuum freeze-dried peach chips[J]. Food Science, 2022, 43(17): 117-123.
- [29] 高原军, 张亚晓, 周婧琦, 等. 抗氧化剂处理对秋葵微波干燥过程中 V_c 变化的影响[J]. 食品科技, 2015, 40(2): 333-336.
- GAO Y J, ZHANG Y X, ZHOU J Q, et al. Effect of antioxidants on the V_c of okra in microwave drying [J]. Food Science and Technology, 2015, 40(2): 333-336.
- [30] SUVARNAKUTA P, CHAWEEERUNGRAT C, DEVAHASTIN S. Effects of drying methods on assay and antioxidant activity of xanthenes in mangosteen rind[J]. Food Chemistry, 2011, 125(1): 240-247.
- [31] 张莉会, 廖李, 汪超, 等. 超声和渗透预处理对干燥草莓片品质及抗氧化活性影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(12): 196-203.
- ZHANG L H, LIAO L, WANG C, et al. Effects of ultrasonic and osmotic pretreatment on quality and antioxidant activity of dried strawberry slices[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(12): 196-203.