

水果品质分选机的研发

Research and development of fruit quality sorting machine

王文超¹ 葛凤丽² 徐文凯¹ 赵鲁海³ 李娟¹

WANG Wen-chao¹ GE Feng-li² XU Wen-kai¹ ZHAO Lu-hai³ LI Juan¹

(1. 青岛农业大学机电工程学院, 山东 青岛 266109; 2. 青岛农业大学经济管理学院,

山东 青岛 266109; 3. 山东省烟台苹果大数据有限公司, 山东 烟台 264003)

(1. Qingdao Agricultural University, College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao, Shandong 266109, China; 2. Qingdao Agricultural University, College of Economics and Management, Qingdao, Shandong 266109, China; 3. Shandong Yantai Apple Big Data Company Limited, Yantai, Shandong 264003, China)

摘要:目的:提高水果品质分选的质量和效率,降低人力成本。方法:设计一种能够对水果多种品质进行检测并分选的水果品质分选机,选用 STC8A8K64S4A12 单片机作为下位机,选用 Jetson Xavier NX 工控机作为上位机,利用人工智能的方法实现对水果损伤和糖度等品质的检测与分选。结果:该分选机对水果损伤检测准确率、糖度检测分辨率和速度分别为 99%、0.1% 和 7 200 个/h。结论:试验设备不仅可以避免因机械设备导致的水果损伤和掉果,而且操作简单、界面友好,能够满足实际水果品质分选的需要。

关键词:水果;品质;分选机;人工智能;工控机;单片机

Abstract: Objective: Improve the quality and efficiency of fruit quality sorting and reduce labor costs. Methods: A fruit quality sorting machine is designed to detect and sort for fruit quality. The sorting machine uses STC8A8K64S4A12 as the slave computer and uses Jetson Xavier NX as the master computer. The sorting machine can achieve the detection and sorting of the fruit on damage and sugar content by artificial intelligence. Results: The accuracy, resolution of sugar degree and speed of the sorter for detecting fruit were 99%, 0.1% and 7 200 h⁻¹, respectively. Conclusion: The device can not only avoid fruit damage and fruit drop caused by mechanical equipment, but also has a simple operation and friendly interface. The designed equipment can meet the requirement of fruit quality sorting.

Keywords: fruit; quality; sorting machine; artificial intelligence;

industrial personal computer; singlechip

中国市场上销售的水果大多依靠机械配合人工实现分级。然而人工分级具有劳动量大、效率低、主观性强且分选精度不稳定的缺点。目前的分选装置主要是根据水果的大小和重量进行分选,分选方式主要分为机械式和电子式^[1]。机械式分选机主要通过调整不同间隙来实现水果的分选,因此对于非球形水果,极易出现误分现象。同时,机械式水果分选机只能区分水果的大小,并不能区分水果品质差异,是一种相对粗糙的分选装置。电子式分选机则利用压力传感器,获取水果的重量信息,并对其进行判断,完成水果大小和重量的分类^[2-4]。与机械式分选机相比,电子式分选机更加快速准确,已经能够满足对水果大小和重量的分选需求。

然而,除了重量和大小外,水果的品质指标还包括颜色、光泽、表面损伤等外部品质指标和糖度、酸度、可溶性固形物、内部缺陷、病虫害等内部品质指标^[5-7]。目前这些指标研究多停留在理论上^[5]或者实验室试验阶段^[6-7],而实用化的产品较少。随着人工智能的广泛应用^[8-11],人工智能也被应用到农产品品质分级^[12-16]等领域,如利用人工智能对水果大小^[17-18]、缺陷^[19-20]等方面进行检测和分选。然而,目前国内自主研发的水果品质分选机主要是根据水果的重量进行分选,能根据损伤、糖度等内部品质进行分选的分选机基本靠国外进口或者是与国外厂商进行合作的产品。而且,目前的分选装置无水果清洗环节,同时在分选时常会出现掉果现象。试验拟研发一种新型带预处理系统结构的水果品质分选机,旨在实现水果品质分级的同时解决水果清洗问题和掉果问题,为水果生产过程全自动化提供依据。

1 机械结构设计

水果品质分选机由机械部分和电气控制部分组成。

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:32073029);山东省自然科学基金重点项目(编号:ZR2020KC027);山东省研究生教育质量提升计划项目(编号:SDYJG19134)

作者简介:王文超,男,青岛农业大学在读硕士研究生。

通信作者:李娟(1969—),女,青岛农业大学教授,博士。

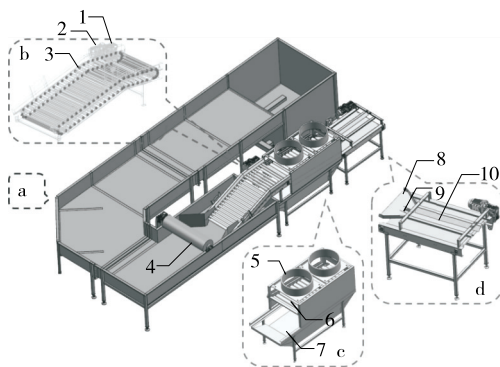
E-mail: lijuan291@sina.com

收稿日期:2022-02-22 **改回日期:**2022-06-28

机械结构部分由预处理机械部分和分选机械部分组成。

1.1 预处理机械部分

预处理装置总体结构及局部图如图 1 所示,分为 4 个模块:水洗模块、上果模块、风干擦拭模块和输送模块,其中,水洗模块的作用是对水果进行初步清洗。为节约纵向占地面积和提高单次处理水果数目,水槽设计成 U 型。在 U 型水槽的末端和深水槽区设置管道,利用离心泵带动水流循环,保证水果逐步移向上果模块。水果在移动至上果模块前,经毛刷辊 4 完成表面清洗工作。



1. 减速齿轮箱 2. 上果链电机 3. 铰链 4. 清洗毛刷辊 5. 风扇 6. 擦拭毛刷辊 7. 杂物槽 8. 梯形口 9. U 型槽 10. 输送带 a. 水洗模块 b. 上果模块 c. 风干擦拭模块 d. 输送模块

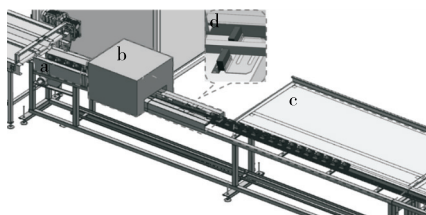
图 1 预处理装置总体结构及局部图

Figure 1 Overall structure and local diagram of pretreatment device

上果模块由减速齿轮箱 1、上果链电机 2 以及带等间隔钢管的铰链 3 组成,该部分的作用是将水洗模块中的水果输送到后续模块。其中,钢管等间隔排列,作用是固定水果且进行一定程度的沥干。风干擦拭模块的顶部安装两台 0.73 kW 的风扇 5 对水果表面进行风干。为在水果表面进行进一步清洁的同时避免水果因挤压而造成损伤,设置了一排倾斜 10° 向下的擦拭毛刷辊 6,擦拭毛刷辊沿水果运输方向顺时针旋转,使水果在其旋转及自身重力作用下匀速移向皮带输送模块。在擦拭毛刷辊排下设置杂物槽 7,用来盛放由毛刷辊清洁下来的水果表面杂物。为达成水果单列排布的目的,同时避免在该过程中对水果造成损伤,在风干擦拭模块与皮带输送模块的连接处设计一种带 U 型槽 9 的梯形口 8,利用输送带 10 和风干擦拭模块之间的速度差,将多列水果从 U 型槽处传输到输送带上使其变为单列。同时在传送带两端设置两块斜挡板。这些结构避免了多个水果同时送上传送带的现象,进一步避免了掉果现象的发生。

1.2 分选机械部分

分选机械部分结构如图 2 所示,该部分是完成水果品质检测及分选工作。按照功能和分选流程顺序,分选部分可以分为 3 个区域:上果区、品质检测区和分果区。



a. 上果区 b. 品质检测区 c. 分果区 d. 果盘计数模块

图 2 分选机械结构图

Figure 2 Sorting mechanical structure diagram

该部分使用果盘作为运输链输送水果,并在上果区将已清洗、单列化的水果平稳地送入果盘。输送链上设有暗箱,按照水果的分选需求在暗箱中设置对应环形光源、高精度相机和近红外糖度检测装置,利用计算机视觉和近红外光谱进行水果品质图像的采集工作。在暗箱前方 4 个果盘距离的位置处,设置果盘计数模块,模块由激光发射器和光电传感器构成,在两者之间的导轨处设有小孔。分果区主要由分果槽和电磁弹出装置构成,利用电磁弹出装置将水果从运输链上分选至分选槽中,实现水果的分选。

2 电气控制系统设计

2.1 系统组成及工作原理

电气控制系统组成结构如图 3 所示,主要包括上位机、下位机、品质检测、计数、显示、复位和驱动 7 个模块。

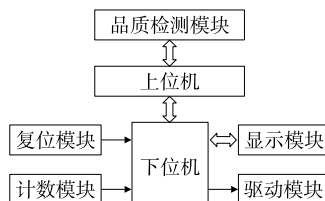


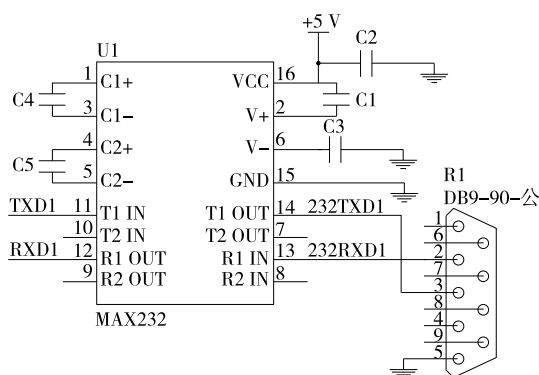
图 3 电气控制系统组成结构图

Figure 3 Block diagram of electrical control system

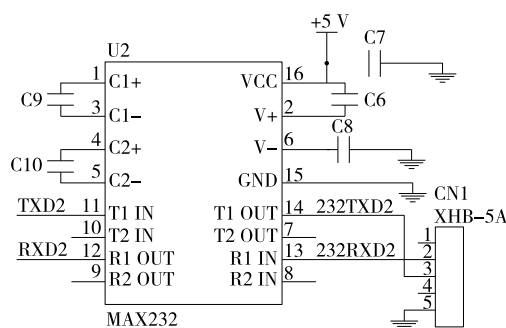
系统工作原理:系统经初始化复位后,通过品质检测模块获取水果信息,将这些信息送给上位机进行处理,给出水果的品质分类,并将分类结果送给下位机。下位机根据接收的上位机信息,利用计数模块将水果分等级计数并获取位置信息,经由下位机控制器控制电磁驱动模块实现不同品质的水果分选,并将水果输送到对应的储存区域。下位机还负责对分选结果进行显示,以及对分选的参数进行设置。

2.2 硬件控制系统设计

选用 STC8A8K64S4A12 单片机作为下位机控制器,选用 Jetson Xavier NX 工控机作为上位机控制器。品质检测模块获取的水果品质图像经交换机发送到上位机上,在上位机上进行人工智能识别后,通过 RS232 通讯模块连接下位机,实现上位机和下位机之间的数据通讯,通讯模块硬件电路图如图 4 所示。显示模块选用迪文



(a) 上位机和下位机之间通讯模块



(b) 下位机和触摸屏之间通讯模块

图 4 RS232 通讯模块硬件电路图

Figure 4 Hardware circuit diagram of RS232

DGUS 触摸显示屏,主要负责分选机运行状态的监控和分选结果的显示。触摸屏中设有虚拟按键,可以完成水果品质分类区间的设置工作。

分选驱动电路如图 5 所示, K1 连接下位机, 当 K1 获高电平信号时, 电磁铁电路导通。下位机共设有 K1~K16 引脚连接分选驱动电路, 可完成 16 个等级的水果品质分选任务。

水果传感计数电路图如图 6 所示, 工作状态下, LED3 灯常亮, 根据果盘经过小孔时导致光电传感器电平的变化实现对果盘的计数功能。

2.3 软件控制系统设计

电气控制系统主程序流程如图 7 所示。该部分仅对水果分选、水果品质分析和显示 3 个主要模块进行介绍。

(1) 显示模块: 该模块流程图如图 8 所示, 在触摸屏上, 除显示分选结果的界面外, 还设有 2 个按键及数字键

盘。“清零”键按下后将对所有统计数据清零, “调试”键按下后系统进入区间设置模式, 修改对应分选区域的分类区间范围, 实现水果品质分类区间的设置工作。

(2) 水果品质分析模块: 该模块流程图如图 9 所示,

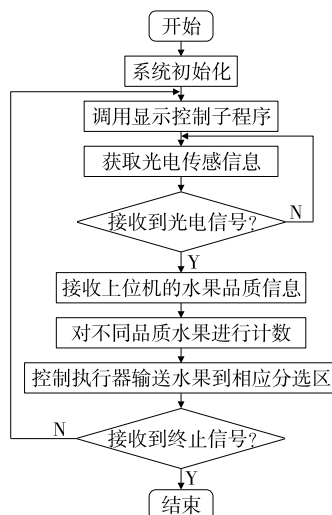


图 7 主程序流程图

Figure 7 Main flow chart

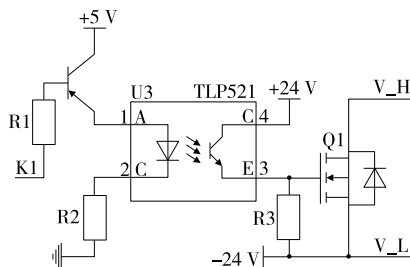


图 5 分选驱动电路图

Figure 5 Sorting drive circuit diagram

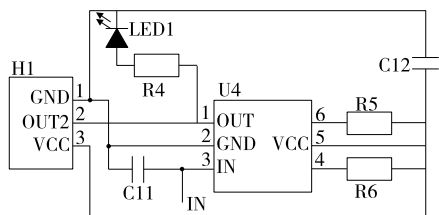


图 6 传感计数电路图

Figure 6 Sensing and counting circuit diagram

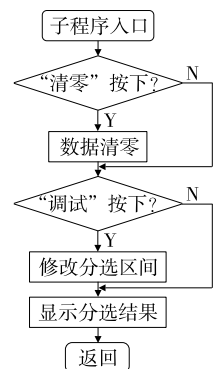


图 8 显示模块流程图

Figure 8 Flow chart of display module

先对人工采集的水果品质图像进行人工智能模型训练,获取人工智能模型,并保存到工控机中。利用品质检测模块获取水果品质图像,并实时地将图像传输到工控机,通过已训练的模型完成对水果品质的分类,并将结果返回到下位机单片机中并对不同品质水果计数,由下位机控制执行机构将不同类别的水果送至相应的储区。

(3) 分选控制模块:该模块流程图如图 10 所示。根据分选需求设置各分选区间设定值,在单片机中将水果品质信息 m 依次与设定值 $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n (n \leq 15)$ 进行比较,如果判定为是,将控制对应的继电器令电磁驱动电路导通,使对应的电磁弹出装置弹起,令水果在对应位置弹出。

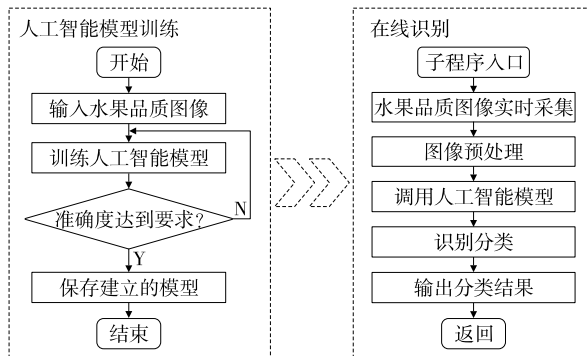


图 9 水果品质分析流程图

Figure 9 Flow chart of fruit quality analysis

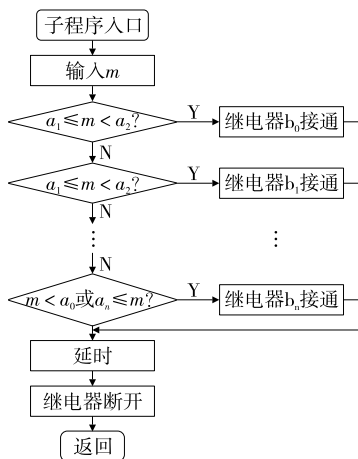


图 10 分选控制流程图

Figure 10 Control flow chart of sorting

3 实验验证

为了验证分选机的有效性,选用 11 500 个苹果进行试验,其中包括有损伤苹果 500 个,无损伤健康苹果 11 000 个。分选用时 96 min,所有损伤苹果均被分选到了坏果区中,但有 4 个无损伤苹果被误选到坏果区中。试验结果表明:苹果的外观损伤和糖度分选工作效率为 7 200 个/h;外观损伤分选的准确率达 99%;糖度检测分

选的分选率为 0.1%。分选机在分选过程中未造成苹果损伤且未发生掉果现象。

4 结论

将工控机作为上位机,单片机作为下位机,研发了一种水果品质分选机。结果表明,该分选机能实现对水果的损伤、糖度等内外部品质的检测要求,苹果的外观损伤和糖度分选工作效率为 7 200 个/h;外观损伤分选的准确率达 99%;糖度检测分选的分选率为 0.1%,且具有水果清洗功能,在分选后可直接包装销售。该水果品质分选机的研究尚处于起步阶段,目前只达成了水果损伤和糖度的品质检测,后续将进行其他品质如成熟度、病虫害等的检测与分选研究,进一步扩大检测对象以增强其适用性。

参考文献

- [1] 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 X H, LI L X, et al. Researching actuality and development of fruit grader[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(9): 20-23.
- [2] 王明俊, 张树才. 称重式水果分选机传感信息采集方法研究[J]. 农机化研究, 2009, 31(5): 97-99.
WANG M J, ZHANG S C. A research on sensing information sample method of the weighing type fruit grading machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(5): 97-99.
- [3] 李家学, 杨斌, 高志远. 水果分选机机械系统和称重模块的设计与实现[J]. 现代制造技术与装备, 2019(5): 74-75.
LI J X, YANG B, GAO Z Y. Application of color psychology in ship installation design[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2019(5): 74-75.
- [4] 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]. The Food Industry, 2021, 42(3): 224-226.
- [5] 窦文卿, 柴春祥, 鲁晓翔. 无损检测技术在水果品质评价中应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(24): 354-359.
DOU W Q, CHAI C X, LU X X. Research progress of non-destructive detection technique in fruit quality evaluation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(24): 354-359.
- [6] 李学军, 程红. 马铃薯品质鉴别的近红外光谱与多源信息耦合[J]. 食品与机械, 2021, 37(5): 139-143.
LI X J, CHENG H. Coupling method of near infrared spectroscopy and multi source information for potato quality identification[J]. Food & Machinery, 2021, 37(5): 139-143.
- [7] 王俊平, 徐刚. 机器视觉和电子鼻融合的番茄成熟度检测方法[J]. 食品与机械, 2022, 38(2): 148-152.
WANG J P, XU G. Research on tomato maturity detection method based on machine vision and electronic nose fusion[J]. Food & Ma-

- chinery, 2022, 38(2): 148-152.
- [8] WU X W, SAHOO D, HOI S C H. Recent advances in deep learning for object detection[J]. *Neurocomputing*, 2020, 396: 39-64.
- [9] XU W K, ZHU Z H, GE F L, et al. Analysis of behavior trajectory based on deep learning in ammonia environment for fish [J]. *Sensors*, 2020, 20(16): 1-11.
- [10] 高辉, 马国峰, 刘伟杰. 基于机器视觉的苹果缺陷快速检测方法研究[J]. *食品与机械*, 2020, 36(10): 125-129, 148.
GAO H, MA G F, LIU W J. Research on a rapid detection of apple defects based on mechanical vision[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(10): 125-129, 148.
- [11] 王铁伟, 赵瑶, 孙宇馨, 等. 基于数据平衡深度学习的不同成熟度冬枣识别[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(S1): 457-463, 492.
WANG T W, ZHAO Y, SUN Y X, et al. Recognition approach based on data-balanced Faster R-CNN for winter jujube with different levels of maturity[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2020, 51(S1): 457-463, 492.
- [12] 王立扬, 张瑜, 沈群, 等. 基于改进型 LeNet-5 的苹果自动分级方法[J]. *中国农机化学报*, 2020, 41(7): 105-110.
WANG L Y, ZHANG Y, SHEN Q, et al. Automatic detecting and grading method of apples based on improved LeNet-5[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2020, 41(7): 105-110.
- [13] 邓立苗, 杜宏伟, 徐艳, 等. 基于机器视觉的马铃薯智能分选方法与实现[J]. *中国农机化学报*, 2015, 36(5): 145-150.
DENG L M, DU H W, XU Y, et al. Implementation of intelligent potato grading method based on computer vision[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2015, 36(5): 145-150.
- [14] 田有文, 吴伟, 卢时铅, 等. 深度学习在水果品质检测与分级分类中的应用[J]. *食品科学*, 2021, 42(19): 260-270.
- TIAN Y W, WU W, LU S Q, et al. Application of deep learning in fruit quality detection and classification[J]. *Food Science*, 2021, 42(19): 260-270.
- [15] YU J H, MIAO W J, ZHANG G B, et al. Target positioning and sorting strategy of fruit sorting robot based on image processing[J]. *Traitement du Signal*, 2021, 38(3): 797-805.
- [16] CHEN J L, ZHANG M, XU B G, et al. Artificial intelligence assisted technologies for controlling the drying of fruits and vegetables using physical fields: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 15: 251-260.
- [17] 张丽芬. 基于计算机视觉技术的樱桃自动分选系统设计[J]. *农机化研究*, 2017, 39(9): 212-214.
ZHANG L F. Design of cherry sorting system based on computer vision technology[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2017, 39(9): 212-214.
- [18] 吴捍疆, 张丰收, 张佳琪. 基于 PLC 的蜜柚分拣系统设计[J]. *包装与食品机械*, 2019, 37(4): 28-30.
WU H J, ZHANG F S, ZHANG J Q. Design of honey pomelo sorting system based on PLC[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2019, 37(4): 28-30.
- [19] 王宇杰. 基于机器视觉的水果分级系统设计[J]. *包装工程*, 2021, 42(3): 235-239.
WANG Y J. Design of fruit grading packaging system based on machine vision[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(3): 235-239.
- [20] FAN S X, LI J B, ZHANG Y H, et al. On line detection of defective apples using computer vision system combined with deep learning methods[J]. *Journal of Food Engineering*, 2020, 286: 1-10.
- (上接第 63 页)
- [18] SAMUELS T D, KUCUKAKYUZ K, RINCON-ZACHARY M. AI partitioning patterns and root growth as related to AI sensitivity and AI tolerance in wheat[J]. *Plant physiology*, 2007, 113: 527-534.
- [19] 陈庆山, 刘春燕, 刘迎雪, 等. 核酸体外扩增技术[J]. *中国生物工程杂志*, 2004, 24(5): 10-14.
CHEN Q S, LIU C Y, LIU Y X, et al. Progress of nucleic acid amplification technologies[J]. *China Biotechnology*, 2004, 24(5): 10-14.
- [20] 董旭婉. 食品中植物源性成分数字 PCR 定量检测方法研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020: 29-59.
DUNG X W. Study on quantitative detection of plant-derived components in food by digital PCR[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020: 29-59.
- [21] 兰海鸥. 大豆、核桃、花生过敏原基因三重实时荧光检测方法的建立及应用[D]. 兰州: 西北民族大学, 2020: 22-43.
LAN H O. Establishment and application of triple real-time fluorescence detection method for allergen genes in soybean, walnut and peanut [D]. Lanzhou: Northwest University for nationalities, 2020: 22-43.
- [22] ZAHRADNIK C, MARTZY R, MACH R L, et al. Detection of the food allergen celery via loop-mediated isothermal amplification technique[J]. *Anal Bio Chem*, 2014, 406(27): 6 827-6 833.
- [23] 陈云芳, 詹国辉, 高渊. 核酸恒温扩增技术的原理及其应用[J]. *西南林学院学报*, 2010, 30(S1): 30-32, 40.
CHEN Y F, ZHAN G H, GAO Y. Principle and application of isothermal DNA amplification[J]. *Journal of Southwest Forestry College*, 2010, 30(S1): 30-32, 40.
- [24] KOLLMEIER M, FELLE H H, HORST W J. Genotypical differences in aluminum resistance of maize are expressed in the distal part of the transition zone. Is reduced basipetal auxin flow involved in inhibition of root elongation by aluminum[J]. *Plant Physiology*, 2000, 122: 945-956.
- [25] BLARNEY F P C, NISHIZAWA N K, YOSHIMURA E. Timing, magnitude, and location of initial soluble aluminum injuries to mungbean roots[J]. *Soil Science & Plant Nutrition*, 2004, 50: 67-76.
- [26] ZHENG S J, YANG J L. Target sites of aluminum phytotoxicity[J]. *Biologia Plantaru*, 2005, 49: 321-331.
- [27] 任易婕, 霍胜楠, 翟清燕, 等. 膜芯片技术对牛、羊、牦牛、驴肉源食品的掺伪鉴别[J]. *肉类研究*, 2019, 33(6): 33-38.
REN Y J, HUO S N, ZHAI Q Y, et al. Identification of adulterated meat from cattle, sheep, yak and donkey by membrane chip technology[J]. *Meat Research*, 2019, 33(6): 33-38.