

基于 PLC 的山核桃破壳自动化生产线 控制系统研究

Research on control system of carya cathayensis shell breaking automatic production line based on PLC

赵艳莉¹ 赵 倩² 李志强³

ZHAO Yan-li¹ ZHAO Qian² LI Zhi-qiang³

(1. 郑州财税金融职业学院, 河南 郑州 450000; 2. 河南科技大学, 河南 洛阳 471000;

3. 郑州大学, 河南 郑州 450001)

(1. Zhengzhou Vocational College of Finance and Taxation, Zhengzhou, Henan 450000, China;

2. Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China;

3. Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China)

摘要:目的:解决目前山核桃破壳自动化生产线控制系统自动化水平低、效率低等问题。方法:在现有山核桃破壳自动生产线的基础上,提出一种基于 PLC 控制技术的山核桃破壳自动化生产线控制系统。以 PLC 为核心完成整个山核桃破壳自动化生产线的控制,包括破壳机、风选机、破壳分离机、色选机等设备。以直径 18~22 mm 核桃为试验对象,对样机进行了验证。结果:相比于控制系统投入前,实施控制系统后提高了山核桃破壳率和降低了核仁损伤率,直径为 18~22 mm 的山核桃,破壳率 100%,核仁损伤率 5.02%,符合生产要求。结论:基于 PLC 的控制技术符合核桃全自动生产线的要求。

关键词:山核桃;自动化生产线;PLC 控制技术;破壳率;损伤率

Abstract: Objective: In order to solve the problems of low automation level and low efficiency of the control system in the current automated production line of hickory shell breaking. Methods: On the basis of the existing automatic production line of hickory shell breaking, a control system of hickory shell breaking automatic production line based on PLC control technology is proposed. With PLC as the core, the control of the whole hickory shell breaking automatic production line was completed, including shell breaking machine, air separator, shell breaking separator, color sorter and other equipment. The feasibility of the

method was verified by testing the prototype of a walnut with a diameter of 18~22 mm. Results: Compared with that before the control system was put into operation, after the implementation of the control system, the shell breaking rate of hickory was increased and the damage rate of walnut was reduced. For hickory with a diameter of 18~22 mm, the shell breaking rate was 100%, and the damage rate of walnut was 5.02%, meeting the production requirements. Conclusion: The control technology based on PLC meets the requirements of walnut automatic production line.

Keywords: pecan; automatic production line; PLC control technology; shell breaking rate; damage rate

山核桃果壳坚硬、厚实、形状不规则,内部有多处分离,壳间间隙小,加工难度大。目前,中国山核桃的初加工技术和设备相对落后,核桃破壳取仁仍以人工为主^[1]。PLC 具有可靠性高、抗干扰能力强、操作简单、易维护等优点,作为控制器在自动化生产线中应用广泛。

目前,国内外有许多学者对山核桃破壳自动化生产线进行研究。丁冉等^[2]提出了一种敲击式核桃破壳机的新方案,并建立数学模型进行分析。结果表明,直径为 18~22 mm 核桃破壳率为 99.41%,损伤率为 6.25%。刘佳等^[3]分析了国内外核桃压榨机的结构、工作原理和特点,指出了核桃破壳机存在的问题,为解决核桃深加工技术和产业发展的瓶颈提供了依据。程国梁等^[4]提出了一种挤压破壳机的设计方案,设计了喂料机构、破壳机构、传动机构等。结果表明,该设计简单易行,核桃破壳率达到 100%,整仁率为 77.58%。石明村等^[5]提出了一种凸轮摇杆双向挤压破壳机的设计方案,设计了喂料、破壳等机构。

基金项目:河南省重点研发与推广专项支持项目(编号:20HN91405);河南省自然科学基金项目(编号:2210016)

作者简介:赵艳莉(1965—),女,郑州财税金融职业学院副教授,学士。E-mail: meetzyl@163.com

收稿日期:2022-07-21 **改回日期:**2022-12-15

结果表明,相比于传统方法,破壳率和露核率都得到大幅提高,破壳率为 92.36%,露核率为 84.69%。虽然自动化生产线可以实现核桃破壳,但也存在破壳率低、效率差等问题,破壳效果并不理想,适应性有待进一步提高。

在此基础上,针对山核桃破壳自动生产线,研究提出了一种基于 PLC 控制技术的山核桃破壳自动生产线控制系统。以 PLC 为核心完成整个山核桃破壳自动化生产线的控制,包括破壳机、风选机、破壳分离机、色选机等设备,通过试验进行分析,旨在为食品自动化生产提供一定的参考。

1 食品自动化生产线概述

山核桃破壳自动生产线生产流程为:破壳机→风选机 1→色选机→分离机 1→风选机 2→色选机→分离机 2 再经过分级→风选→色选,循环这一过程。山核桃破壳自动生产线控制系统输入输出需求功能如表 1 所示。

为实现上述流程设计开发的山核桃破壳自动生产线控制系统结构如图 1 所示。PLC 作为整个系统的核心控制单元,输入为开关和触摸屏,输出为接触器、继电器等硬件。基于 PLC 的山核桃破壳自动生产线控制系统主要由破壳机、风选机、破壳分离机、色选机等设备组成^[6]。核桃破壳和核桃仁分离是整个山核桃生产线的重要环节,文中通过变频器进行控制。固定在风选机和分离机上的传感器通过变送器将 0~10 V 的 A/D 输出电压信号转换到 PLC 中,PLC 采集该模拟量,通过 PID 控制器控制改变各机械模块的运动状态^[7]。分别对应变频器频率 0~50 Hz 和电机转速 0~1 500 r/min。

表 1 输入输出需求功能

Table 1 Input/Output demand function

输入输出分配	功能	输入输出分配	功能
I0.0	总停止	AIW1	风选机 1 风压采集
I0.1	破壳机启动	AIW2	分离机 2 冲击力采集
I0.2	破壳机停止	AIW3	风选机 2 风压采集
I0.3	风选机 1 启动	Q0.0	变频器 5 口分离机 1 运转
I0.4	风选机 1 停止	Q0.1	变频器 5 口风选机 1 运转
I0.5	分离机 1 启动	Q0.2	变频器 5 口分离机 2 运转
I0.6	分离机 1 停止	Q0.3	变频器 5 口风选机 2 运转
I0.7	风选机 2 启动	Q0.4	交流接触器破壳机运转
I1.0	风选机 2 停止	Q0.5	交流接触器色选机运转
I1.1	分离机 2 启动	Q1.1	交流接触器传送带启/停
I1.2	分离机 2 停止	AQW0	变频器 3/4 口分离机 1 运转
I1.3	色选机启动	AQW1	变频器 3/4 口风选机 1 运转
I1.4	色选机停止	AIQW2	变频器 3/4 口分离机 2 运转
AIW0	分离机 1 冲击力采集	AQW3	变频器 3/4 口风选机 2 运转

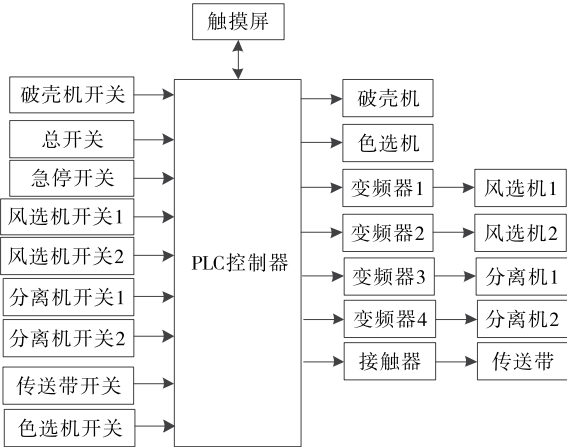


图 1 山核桃破壳自动生产线控制系统结构

Figure1 Control system structure of carya cathayensis shell breaking automatic production line

2 控制系统设计

2.1 主要器件选型

2.1.1 PLC 选型 根据自动化生产线的工艺要求,计算控制系统所需的输入输出信号总数,选择 S7-200 PLC CPU226CN 作为系统的控制中心。该型号 PLC 具有输入 24 个,输出 16 个。还可以扩展模拟输入 8 个,输出 4 个。存储容量为 16 384 b。满足该控制系统的各项指标要求^[8]。

2.1.2 触摸屏选择 选择 SMART LINE1000 触摸屏,实现人机交互。主要用于显示生产过程的运行状态,并设置报警阈值。触摸屏提供直观的图像,图像质量清晰,用于山核桃破壳生产线的信息交换和监控^[9]。

2.1.3 变频器选型 变频器需要考虑负荷和电机的额定电流。因此,综合考虑变频器额定输出电流的计算,如式(1)所示。

$$I_{CN} \geq k I_M,$$
 (1)

式中:

I_{CN} ——额定输入电流,A;

k ——修正系数;

I_M ——变频器负载电流,A。

变频器的额定功率一般为电机额定值的 1~2 倍,计算公式如式(2)所示^[10]。

$$P_{CN} \geq \frac{k P_M}{\eta \cos \varphi} = k \sqrt{3} U_M I_M \times 10^{-3},$$
 (2)

式中:

P_{CN} ——变频器的额定功率,kW;

P_M ——电机的额定输出功率,kW;

η ——电机的效率;

$\cos\varphi$ ——电机的功率因数。

根据实际运行情况,控制系统的二级低损伤离心破壳机选用 SIMENS MM440-220/3 变频器,额定功率和输出电流分别为 2.2 kW 和 5.9 A,风选机变频器选用 SIMEN MM440-150/3 变频器,额定功率和输出电流分别为 1.5 kW 和 4 A^[11]。

2.2 电动机转速控制

采用变频器控制电动机,PLC 通过模拟量控制变频器,PLC 与变频器控制原理如图 2 所示。该控制系统中使用的变频器为 SIMENS MM440^[12]。

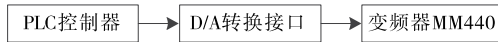


图 2 PLC 与变频器控制原理

Figure 2 PLC and converter control principle

2.3 风选机变频调速

风选机是生产线上的风选除尘设备,在风压作用下,壳灰和山核桃通过气流从出料口分离^[13]。基于该控制系统,提高了山核桃深加工过程中风机转速的自动调节、风机的工作效率和破壳质量等一系列问题。基于 PID 控制的变频调速系统实现对风选机的控制,控制系统命令数据通过数据通信传输给下位机 PLC,PLC 向 MM440 变频器的模拟控制端输出 0~10 V 电压信号,电机由变频器的输出功率控制。传感器采集电机相应模拟量,输入下位机 PLC,并通过 AD 转换实时传输到上位机,实现对风选机风速状态的实时监测^[14]。风选机控制系统如图 3 所示。选择变频器 6SE6440-2UD21-5AA1 和 Y100L1-4 电机(额定功率 2.2 kW,额定电压 380 V,转速 1 440 r/min,Y 接法)组成变频调速系统。风压检测传感器选择 PY209 传感器进行测量,PY209 传感器采用进口专用气压感压芯体,具有零点、满量程补偿,温度补偿,结构小巧等优点。PID 控制器参数:比例放大系数 0.3,积分时间常数 60,微分时间常数 15。

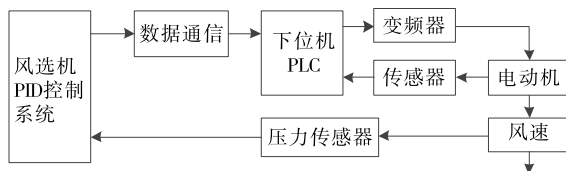


图 3 风选机控制系统

Figure 3 Control system of air separator

风选机 PID 控制系统以实际风压大小 $N(t)$ 和规定风压大小 $U(t)$ 作为输入量,以电机的电源电压频率 $u(t)$ 为输出。在该控制系统中,通过比例、积分和微分计算实际风压与所需风压的对比偏差 $e(t)$,然后生成变频器的调压频率 $u(t)$,调节电机^[15]。图 4 为 PID 控制系统的结构图。

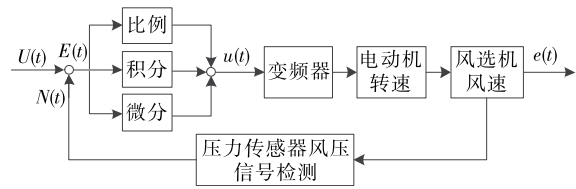


图 4 控制结构图

Figure 4 Control structure diagram

2.4 破壳分离机变频调速

破壳分离机控制系统如图 5 所示,以 PLC 为主控进行变频器和电机的控制,通过冲击力传感器检测电机在一定转速下的冲击力。经过综合对比,选择的冲击力传感器型号为 LSZ-F03A,采用上下平面,具有安装简便,抗偏载能力强,适用于冲击力试验台、撞击力测量与控制等。额定输出 (2.85 ± 0.0285) mV,安全载荷 150%,零点温漂 $\leq 0.002\%$ 额定输出。将测量值与设定值的差值输入主控制器 PLC,经过 PID 控制器的简单线性操作后,调整变频器的频率控制电机的转速。

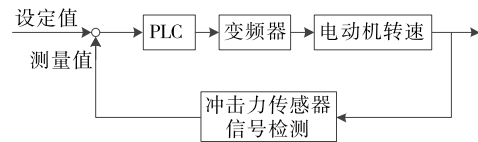


图 5 破壳分离机控制系统

Figure 5 Control system of shell breaking separator

3 试验结果与分析

3.1 试验参数

为了验证所提控制系统的可行性和实用性,选择了一定的山核桃(直径 18~22 mm)进行破壳试验,验证是否符合设计要求。采用 3 组核桃,均为 3 kg。破壳前山核桃含水量为 14.55%~16.35%。破壳后,山核桃可分为四类:第 I 类(不破壳的山核桃)、第 II 类(未完全破壳,较多核桃仁嵌入)、第 III 类(完全破壳,少量核桃仁嵌入)和第 IV 类(破壳,无核桃仁嵌入)。PC 采用 Intel i5 处理器、16 G 内存和 Win10 操作系统。设备参数见表 2。

3.2 试验分析

3.2.1 山核桃破壳率分析 自动生产控制系统将山核桃分为四类。第 I 类可以概括为未破碎的山核桃;第 II、III、IV 类可归纳为破壳山核桃。控制系统实施后的破壳率按式(3)计算。

$$D = \left(1 - \frac{M_1}{M}\right) \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

D ——破壳率,%;

M_1 ——山核桃未破壳质量,kg;

M ——山核桃总质量,kg。

表 2 设备参数

Table 2 Equipment parameters

器件	型号	数量
PLC 控制器型号	S7-200 PLC CPU226CN	1
触摸屏	SIMENS SMART LINE1000	1
分离机变频器	6SE6440-2UD22-2BA0	2
风选机变频器	6SE6440-2UD21-5AA1	2
压力传感器	PY209	2
冲击力传感器	LSZ-F03A	2
交流接触器	CJX2-0910	7
电源模供	SITOP PS207	1
模拟量输入模块	EM231CN	2
模拟量输出模块	EM232CN	2

为了证明所述控制系统的可行性和优越性,在 3 组中分别选取 3 kg 核桃进行试验和测试。控制系统实施前后的破壳率如表 3 所示。

从表 3 可以看出,在实施控制系统之前,有一些未破壳的山核桃,3 组试验数据的平均值为 96.00%。控制系统实施后,未破碎的山核桃为 0,3 组试验数据的平均值为 100%。这是因为研究的控制系统能够利用 PLC、变频

表 3 控制系统实施前后的破壳率

Table 3 Shell breaking rate before and after control system implementation

总质量/kg	控制系统实施前		控制系统实施后	
	未破壳山核桃质量/kg	破壳率/%	未破壳山核桃质量/kg	破壳率/%
3	0.122	95.93	0	100.00
3	0.114	96.20	0	100.00
3	0.124	95.87	0	100.00
平均值		96.00		100.00

器等对生产设备的启动和停止进行控制,并根据生产流程实现自动化控制。通过变频器实现电机的平滑无级调速,将损伤降到最低,壳与仁完全分离。

3.2.2 核仁损伤率分析 按式(4)计算核仁损伤率。

$$D_1 = \frac{M_2}{M} \times 100\%,$$

(4)

式中:

D_1 ——核仁损伤率,%;

M_2 ——山核桃核仁损伤质量,kg;

M ——山核桃总质量,kg。

控制系统实施前后的损伤率如表 4 所示。

表 4 控制系统实施前后核仁损伤率

Table 4 Nucleolar damage rate before and after control system implementation

总质量/kg	控制系统实施前				控制系统实施后			
	碎仁质量/kg	1/2 粒质量/kg	1/4 粒质量/kg	损伤率/%	碎仁质量/kg	1/2 粒质量/kg	1/4 粒质量/kg	损伤率/%
1.670	0.203	0.178	1.289	12.16	0.085	0.285	1.300	5.09
1.750	0.205	0.196	1.349	11.71	0.089	0.291	1.370	5.09
1.840	0.202	0.272	1.366	10.95	0.090	0.350	1.400	4.89
平均值				11.61				5.02

从表 4 可以看出,控制系统破壳后获得的山核桃仁主要为Ⅰ类仁和Ⅱ类仁,即 1/2 粒和 1/4 粒,质量明显高于控制系统实施前完成的质量。这是因为控制系统通过 PID 调节二次离心式破壳机电机的转速,可以获得电机的理想运行速度,大大减少山核桃在二次破壳过程中的损坏。在山核桃破壳自动控制系统的控制下,核仁损伤率分别为 5.09%,5.09%,4.89%,平均破损率为 5.02%。与实施前的控制系统相比,总的核仁损伤率显著降低,破壳生产质量得到了验证。

3.2.3 山核桃加工效率分析 按式(5)计算加工效率。

$$D_2 = \frac{M_3}{T},$$

(5)

式中:

D_2 ——加工效率,g/s;

M_3 ——加工山核桃质量,kg;

T ——加工时间,s。

控制系统实施后山核桃加工效率如表 5 所示。

从表 5 可以看出,3 个试验组的处理效率分别为 15.44,14.85,14.93 g/s,平均加工效率为 15.07 g/s。表明该控制系统具有较高的加工效率,能创造更高的经济价值。

3.2.4 控制效果对比 将 PLC 控制山核桃破壳自动生产线与传统的 Ziegler-Nichols(ZN)参数整定法相比,单位阶跃输出响应和输出误差曲线对比如图 6 和图 7 所示,控制系统对比如表 6 所示。

表 5 控制系统实施后加工效率

Table 5 Processing efficiency after control system implementation

总质量/kg	加工时间/s	加工效率/(g·s ⁻¹)
3	204	15.44
3	202	14.85
3	201	14.93
平均值		15.07

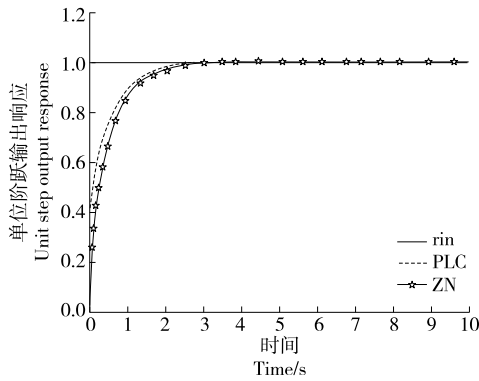


图 6 单位阶跃输出响应

Figure 6 Unit step output response

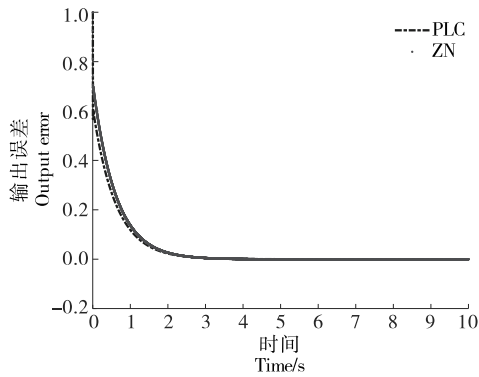


图 7 输出误差曲线

Figure 7 Output error curve

表 6 控制结果对比

Table 6 Comparison of control results

方法	调节时间/s	超调量/%
ZN	0.121 0	2.070 7
PLC	0.087 0	0.107 0

由表 6 可知,与传统的 ZN 法相比,PLC 控制的响应时间更短,而且超调量更小,使得山核桃破壳自动生产线控制可以更快地进入稳定状态,具有更高的控制品质。

4 结论

结合目前市场上破壳设备存在的问题,提出了一种基于 PLC 控制技术的山核桃破壳自动生产线控制系统。PLC 作为整个系统的核心控制单元,实时控制山核桃一次破壳机、壳仁分离机、离心破壳分离机、核仁色选机等设备。试验结果表明,通过该控制系统控制的山核桃破壳自动生产线的破壳率达到 100%,核桃仁破损率为 5.02%,加工速率为 15.07 g/s,符合核桃全自动生产线的要求。然而,研究对食品自动生产线控制系统的研究还处于初级阶段,仅对单一品种的山核桃进行破壳,后期控制系统将不断完善,提高食品自动生产线的经济效益。

参考文献

- [1] 许梦洋, 贾晓东, 罗会婷, 等. 6 个薄壳山核桃品种的果实发育过程及果实结构和性状变化[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(2): 46-54.
- [2] 丁冉, 曹成茂, 詹超, 等. 仿生敲击式山核桃破壳机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(2): 257-264.
- [3] 刘佳, 沈晓贺, 杨莉玲, 等. 核桃破壳技术与装备研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(9): 223-227, 232.
- [4] 程国梁, 郑甲红, 王超. 二次挤压式核桃破壳机[J]. 食品与机械, 2022, 38(2): 64-67.
- [5] 石明村, 刘明政, 李长河, 等. 凸轮摇杆双向挤压核桃破壳装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2022, 53(1): 140-150.
- [6] 刘明政, 李长河, 曹成茂, 等. 核桃分级破壳取仁及壳仁分离关键技术与装置研究进展[J]. 农业工程学报, 2020, 36(20): 294-310.
- [7] 王晓峰, 李醒, 王建辉. 基于无模型自适应的外骨骼式上肢康复机器人主动交互训练控制方法[J]. 自动化学报, 2016, 42(12): 1 899-1 914.
- [8] 宋海涛, 何文浩, 原魁. 一种基于 SIFT 特征的机器人环境感知双目立体视觉系统[J]. 控制与决策, 2019, 34(7): 1 545-1 552.
- [9] 苏婷婷, 张好剑, 王云宽, 等. 基于费拉里法的 Delta 机器人动态目标抓取算法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(6): 128-132, 110.
- [10] XU M Y, JIA X D, LUO H T, et al. Fruit development process, fruit structure and character changes of 6 thin shell hickory varieties[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2020, 29(2): 46-54.
- [11] DING R, CAO C M, ZHAN C, et al. Design and test of bionic knock type hickory shell breaker[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(2): 257-264.
- [12] LIU J, SHEN X H, YANG L L, et al. Research progress in walnut shell breaking technology and equipment[J]. Food & Machinery, 2020, 36(9): 223-227, 232.
- [13] CHENG G L, ZHENG J H, WANG C. Double extrusion walnut shell breaker[J]. Food & Machinery, 2022, 38(2): 64-67.
- [14] SHI M C, LIU M Z, LI C H, et al. Design and test of a device for breaking walnut shell by two-way extrusion with cam rocker[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2022, 53(1): 140-150.
- [15] LIU M Z, LI C H, CAO C M, et al. Research progress on the key technologies and devices of walnut shell breaking and kernel separation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(20): 294-310.
- [16] WANG X F, LI X, WANG J J. Active interactive training control method for exoskeleton upper limb rehabilitation robot based on model-free adaptation [J]. Journal of Automation, 2016, 42(12): 1 899-1 914.
- [17] SONG H T, HE W H, YUAN K. A binocular stereo vision system for robot environment perception based on SIFT feature[J]. Control and Decision Making, 2019, 34(7): 1 545-1 552.
- [18] SU T T, ZHANG H J, WANG Y K, et al. Delta robot dynamic target grasping algorithm based on Ferrari method [J]. Journal of Huazhong University of science and Technology (Natural Science Edition), 2018, 46(6): 128-132, 110.

(下转第 194 页)

- CEN C A, WANG S L, WU X S. Research progress on determination methods of trace iron content in chemical products and food[J]. Technology & Development of Chemical Industry, 2021, 50(8): 39-43.
- [20] 樊琴, 邓功成, 张娟, 等. 蛹虫草发酵酸奶研制试验[J]. 现代农业科技, 2015(11): 307-309.
- FAN Q, DENG G C, ZHANG J, et al. Research on fermentation yogurt of *Cordyceps militaris*[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2015(11): 307-309.
- [21] 邓功成, 赵洪. 红汁乳酸菌酸奶发酵条件优化研究[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(3): 85-87.
- DENG G C, ZHAO H. Optimization processing condition of *Lactarius hatsudake* yogurt[J]. Food Research and Development, 2009, 30(3): 85-87.
- [22] 宫俊峰, 陈亚峰, 蔡宇, 等. 白鸡腿蘑功能性酸奶的初试[J]. 山西农业科学, 2019, 47(2): 272-274, 278.
- GONG J F, CHEN Y F, CAI Y, et al. The preliminary test of *Coprinus comatus* functional yogurt [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2019, 47(2): 272-274, 278.
- [23] 郝静, 杨晨芝, 丁霄, 等. 杏鲍菇多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(11): 177-180.
- HAO J, YANG C Z, DING X, et al. Effect of polysaccharides from *Pleurotus eryngii* on fermentation of lactic acid bacteria and quality of yogurt[J]. The Food Industry, 2020, 41(11): 177-180.
- [24] 张岩, 李键, 刘鲁蜀, 等. 松茸多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(1): 156-160.
- ZHANG Y, LI J, LIU L S, et al. Effect of *Tricholoma matsutake* polysaccharide on the fermentation characteristics of lactic acid bacteria and the texture of yogurt[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(1): 156-160.
- [25] 朱维红, 苗晓燕, 张筱梅. 猴头保健酸奶研制及其相关因子研究[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(4): 93-95, 99.
- ZHU W H, MIAO X Y, ZHANG X M. Development of *Heriium erinaeus* health yogurt and study of correlation factors[J]. Food Research and Development, 2012, 33(4): 93-95, 99.
- [26] 康林芝, 吴居雄, 唐惠妍, 等. 金耳发酵液酸奶制作及品质分析研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(11): 141-146.
- KANG L Z, WU J X, TANG H Y, et al. Study on liquid fermentation of *Tremella aurantialba* yoghurt and quality analysis [J]. Food Research and Development, 2020, 41(11): 141-146.
- [27] 李靖, 陈伟, 程芳, 等. 灵芝—白灵菇酸奶配方的优化及其营养成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(6): 122-127.
- LI J, CHEN W, CHENG F, et al. Optimization of formula of the *Ganoderma lucidum*-*Pleurotus* yogurt by response surface methodology and nutrient analysis [J]. Food and Fermentation Industry, 2012, 38(6): 122-127.
- [28] 杨晨芝, 郝静, 丁霄, 等. 桦褐孔菌多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J]. 中国乳品工业, 2020, 48(11): 22-25.
- YANG C Z, HAO J, DING X, et al. Effect of polysaccharides from *Inonotus obliquus* on fermentation of lactic acid bacteria and quality of yogurt[J]. Food and Nutrition in China, 2020, 48(11): 22-25.
- [29] ABD-RABOU H S, SHEHATA M G, EL SOHAIFY S A, et al. Functional probiotic quinoa camel milk kishk[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(9): e14681.
- [30] XIONG H, GUAN Q L, GONG M F, et al. Fermentation properties of yogurt with fermented broth of *Paecilomyces cicadae* [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 559(1): 012013.
- [31] 张凤琴, 查振中, 任雅馨. 香菇菌液制备香菇酸奶的研究[J]. 巢湖学院学报, 2015, 17(6): 50-54.
- ZHANG F Q, ZHA Z Z, REN Y X. A study on yogurt prepared from shiitake mushroom bacteria liquid [J]. Journal of ChaoHu University, 2015, 17(6): 50-54.
-
- (上接第 115 页)
- [10] 郝大孝, 舒志兵, 孙学. 基于机器视觉的 Delta 机器人分拣与跟踪系统设计[J]. 机床与液压, 2019, 47(17): 36-42.
- HAO D X, SHU Z B, SUN X. Design of delta robot sorting and tracking system based on machine vision[J]. Machine Tools and Hydraulics, 2019, 47(17): 36-42.
- [11] 陈志伟, 徐世许, 刘云鹏. 基于视觉筛选的并联机器人平面抓取系统设计[J]. 制造业自动化, 2018, 40(5): 44-47.
- CHEN Z W, XU S X, LIU Y P. Design of parallel robot plane grasping system based on visual screening [J]. Manufacturing Automation, 2018, 40(5): 44-47.
- [12] 胡斐, 李维嘉, 汪潇. 基于视觉引导的 Delta 型并联机器人运动优化[J]. 机械与电子, 2018, 36(6): 71-75.
- HU F, LI W J, WANG X. Motion optimization of Delta parallel robot based on vision guidance [J]. Machinery and Electronics, 2018, 36(6): 71-75.
- [13] 董腾, 秦腾飞, 张如如, 等. 基于机器视觉的水果分拣系统[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2017, 30(1): 93-96.
- DONG T, QIN T F, ZHANG R R, et al. Fruit sorting system based on machine vision[J]. Journal of Liaocheng University (Natural Science Edition), 2017, 30(1): 93-96.
- [14] 周伟, 徐颖若. 基于 PLC 和图像处理的水果分类智能控制系统[J]. 农机化研究, 2021, 12(5): 235-239.
- ZHOU W, XU Y R. Intelligent control system of fruit classification based on PLC and image processing[J]. Agricultural Mechanization Research, 2021, 12(5): 235-239.
- [15] CAETANO C E F, LIMA A B, PAULINO J O S, et al. A conductor arrangement that overcomes the effective length issue in transmission line grounding[J]. Electric Power Systems Research, 2018, 46(5): 159-162.