

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241012003

引用格式: 罗婧文, 陈超, 王辉, 等. 不同品种甘薯真空油炸加工适宜性评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(1): 216–222.

LUO JW, CHEN C, WANG H, et al. Suitability evaluation of different varieties of *Dioscorea esculenta* vacuum frying processing [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(1): 216–222. (in Chinese with English abstract).

不同品种甘薯真空油炸加工适宜性评价

罗婧文^{1,2}, 陈 超^{1,2}, 王 辉^{1,2*}, 龙明秀³, 王 梅^{1,2}, 陈中爱^{1,2},
陈朝军^{1,2}, 李 云^{1,2}

(1. 贵州省农科院食品加工研究所, 贵阳 550025; 2. 贵州省农业生物技术重点实验室, 贵阳 550025;
3. 贵州省现代农业发展研究所, 贵阳 550025)

摘 要: 目的 研究不同品种甘薯真空油炸的适宜性。**方法** 本研究以国内广泛种植的 19 个品种的甘薯为原料, 测定油炸薯片的 6 个品质指标即成品率、感官评分、破裂力、黏附性、色差、含油量及风味, 并做差异性分析, 应用相关性分析、主成分分析、逐步回归分析方法, 探究模型拟合度以及回归模型显著性, K-means 聚类分析法对 19 个甘薯品种加工适宜性进行初步划分。**结果** 19 个甘薯品种油炸甘薯片形状、大小和色泽均存在差异, 指标间有相关性, 以甘薯成品率(X_1)、色差值 L^* (X_2)、感官评分(X_3)、破裂力(X_4)、黏附性(X_5)以及含油量(X_6)为初始自变量, 可进行主成分分析并构建油炸甘薯片品质评价模型, 为 $Y=1.02-3.37X_1-0.19X_2+0.16X_3+0.18X_4+3.01X_5+2.43X_6$ 。在 19 种品种中, 湛薯 12、绵紫 12、白薯、川紫薯 6 号、317 适宜做薯片; 渝薯 27、徐渝 31 号、黔紫薯 1 号、万薯 5 号、湘薯 98、渝薯 17、紫云红薯、渝薯 198、黔薯 8 号、商薯 19、烤薯、豫薯 9 号、龙薯 9 号基本适宜做薯片; 而铜薯 2 号不适宜做薯片。**结论** 研究结果可为中国甘薯产业选择特定薯片加工品种提供参考和借鉴。

关键词: 甘薯; 品种; 真空油炸; 适宜性

Suitability evaluation of different varieties of *Dioscorea esculenta* vacuum frying processing

LUO Jing-Wen^{1,2}, CHEN Chao^{1,2}, WANG Hui^{1,2*}, LONG Ming-Xiu³, WANG Mei^{1,2},
CHEN Zhong-Ai^{1,2}, CHEN Zhao-Jun^{1,2}, LI Yun^{1,2}

(1. Institute of Food Processing Technology, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550025, China;
2. Guizhou Key Laboratory of Agricultural Biotechnology, Guiyang 550025, China;
3. Insitute of Integrated Agricultural Development, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: Objective To study the suitability of different varieties of *Dioscorea esculenta* for vacuum frying. **Methods** Nineteen varieties of *Dioscorea esculenta* widely cultivated in China were taken as raw materials. Six quality indexes of fried *Dioscorea esculenta* chips, namely the yield rate, sensory score, breaking force, adhesiveness,

收稿日期: 2024-10-12

基金项目: 贵州省科技厅科技支撑项目(黔科合支撑[2018] 2309 号); 贵州省科技厅 2023 年度贵州省基础 Research 计划项目(黔科合基础-ZK[2023]—一般 184); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-10-SYZ19); 国家重点研发计划项目(2022YFD1100302)

第一作者: 罗婧文(1995—), 女, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为食品加工。E-mail: 2876483669@qq.com

*通信作者: 王辉(1989—), 男, 副研究员, 主要研究方向为食品功能与营养。E-mail: wanghui880101@163.com

color difference, oil content and flavor, were measured, and difference analysis was carried out. Correlation analysis, principal component analysis, stepwise regression analysis methods were applied to explore the model fitting degree and the significance of the regression model. K-means clustering analysis method was used to preliminarily divide the processing suitability of the 19 *Dioscorea esculenta* varieties. **Results** Differences were found in the shape, size and color of fried *Dioscorea esculenta* chips among the 19 *Dioscorea esculenta* varieties, and correlations existed among the indexes. Taking the yield rate of *Dioscorea esculenta* (X_1), color difference value L^* (X_2), sensory score (X_3), breaking force (X_4), adhesiveness (X_5) and oil content (X_6) as the initial independent variables, principal component analysis could be conducted and a quality evaluation model for fried *Dioscorea esculenta* chips was constructed, which was $Y=1.02-3.37X_1-0.19X_2+0.16X_3+0.18X_4+3.01X_5+2.43X_6$. Among the 19 varieties, Zhan Shu 12, Mian Zi 12, Bai Shu, Chuan Zi Shu No. 6 and 317 were suitable for making chips; Yu Shu 27, Xu Yu No. 31, Qian Zi Shu No. 1, Wan Shu No. 5, Xiang Shu 98, Yu Shu 17, Zi Yun Hong Shu, Yu Shu 198, Qian Shu No. 8, Shang Shu 19, Kao Shu, Yu Shu 9 and Long Shu 9 were basically suitable for making chips; while Tong Shu No. 2 was not suitable for making chips. **Conclusion** The research results can be referred to when the *Dioscorea esculenta* industry in China selects specific varieties for chip processing.

KEY WORDS: *Dioscorea esculenta*; variety; vacuum frying; suitability

0 引言

甘薯(*Dioscorea esculenta*)又名甜薯, 富含淀粉、膳食纤维、氨基酸等人体必需的营养物质^[1], 是中国主要食物和重要工业原料, 也是中国粮食安全的重要保障。我国甘薯占世界种植面积的 60%, 但收获总产量占世界 80%, 种植面积和产量远高于其他国家^[2]。淀粉是甘薯块茎的主要成分^[3-4], 占其干重的 50%~80%^[5], 可用于加工多种产品^[6]如薯饼、薯糕^[7]。油炸甘薯制成的炸薯片是食品加工的形式之一^[8], 质地酥脆、风味和外观独特良好, 有巨大的市场前景^[9-10]。但常压油炸甘薯片含油量高, 不利于油炸甘薯片品质及储存^[11-12]。真空油炸是指油炸真空度在 10 kPa 以下, 油炸温度可降低到 90 °C 以内, 可使物料在低温条件下进行快速脱水^[13-14]。真空油炸技术可有效减少原料风味^[15]和营养成分的损失^[16-17], 减少油脂的氧化变质^[18]。项目组在前期研究发现不同品种甘薯在油炸后含油量差异显著, 不同品种甘薯油炸薯片品质差异较大。筛选出适宜油炸的最佳甘薯品种, 针对性辐射甘薯产业的种植业发展极为重要。

本研究以种植面积为主要参考指标, 收集国内广泛种植的 19 种甘薯, 测定真空油炸甘薯片的成品率、感官评分、脆性、风味、色差和含油量, 采用相关性分析、主成分分析和逐步回归分析方法建立薯片综合评价指标的回归模型, 探究模型拟合度以及回归模型显著性, 分析甘薯品种对真空油炸甘薯品质的影响, 通过聚类分析法对 19 个甘薯品种加工适宜性进行初步划分, 所建模型可应用于油炸甘薯片的加工适宜性评价, 为筛选加工甘薯品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

1.1.1 原料与试剂

甘薯由贵州省农业科学院生物技术研究所(贵州省马铃薯研究所)育种团队提供, 在甘薯成熟期采集, 共采集 19 种甘薯品种(湛薯 12、绵紫 12、白薯、川紫薯 6 号、317、渝薯 27、徐渝 31 号、黔紫薯 1 号、万薯 5 号、湘薯 98、渝薯 17、紫云红薯、渝薯 198、黔薯 8 号、商薯 19、烤薯、豫薯 9 号、龙薯 9 号、铜薯 2 号), 每种品种采集 100 kg。

无水乙醚、石油醚(分析纯, 天津市富宇精细化工有限公司)。

1.1.2 仪器与设备

STML7001 热泵干燥机(上海湿腾电器有限公司); TMS-Pro 质构仪(北京盈盛恒泰科技有限公司); Nh310 色差仪(上海卡罗卡超仪器有限公司); SOX500 脂肪测定仪(北京晨曦勇创科技有限公司); VF-80C 型真空油炸机(中山市维嘉真空机械厂)。

1.2 方法

1.2.1 甘薯油炸

取不同品种的甘薯块茎擦拭干净后去泥, 预置(24 h)后清洗去皮, 切片厚度为 4 mm, 继而进行漂洗, 在 90 °C 漂烫 4 min 后冷却 0.5 h, -25 °C 下冷冻 2 h, 棕榈油油炸 2 min 后脱油 5 min, 真空度 0.098 MPa, 所得样品即刻进行品质分析。

1.2.2 实验方法

(1)成品率

薯片成品率按公式(1)计算:

产品成品率/%=(生产的合格产品重量/生产的全部产品重量)×100% (1)

(2)破裂力和黏附性

薯片破裂力和黏附性采用质构仪进行测定,下降速度为 0.5 mm/s,下降距离为 15 mm,起始力为 1.5 N,应用三点弯曲探头测定薯片样品断裂时的剪切力大小。

(3)色差

用黑白陶瓷板进行校准,选择 D65 反射模式,记录 L^* (0 为黑色,100 为白色)、红绿色度 a^* 和黄蓝色度 b^* [19]。色差 ΔE 按照式(2)计算:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (2)$$

式中: ΔL 、 Δa 、 Δb 分别为直接烘干样品与其他预处理组样

品的 L^* 、 a^* 和 b^* 之间的差值[20]。

(4)含油量

参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》第一法测定。

(5)感官评价

由 10 位接受过培训的食品感官评价员(男女各 5 人)组成评定小组,依据感官评价表(表 1)[21],分别对油炸甘薯片的形态、色泽、香气、口感进行评分,计算平均值。

感官评分(N_1)、破裂力(N_2)、含油量(N_3)、 L^* (N_4)、成品率(N_5)、黏附性(N_6)均定为 100 分,权重系数分别为 20 分、15 分、20 分、15 分、15 分、15 分,综合指标(Y)的计算如式(3)所示。

$$Y = N_1 \times 20\% + N_2 \times 15\% + N_3 \times 20\% + N_4 \times 15\% + N_5 \times 15\% + N_6 \times 15\% \quad (3)$$

表 1 感官评分表
Table 1 Sensory score sheet

指标	具体描述	分值
形态(30 分)	片形完整,无碎片	24~30
	片形较完整,有少量大碎片	17~23
	片形不完整,有少量碎片	9~16
	片形不完整,有大量碎片	0~8
色泽(20 分)	淡黄色,色泽均匀,无油炸过焦色泽	16~20
	淡黄色,色泽较均匀,无油炸过焦色泽	11~15
	黄色,色泽一般,有轻微的油炸过焦色泽	6~10
	黄色,色泽不均匀,较重的油炸过焦色泽	0~5
香气(20 分)	具有马铃薯加工后的特有香气,香气浓郁,无异味	16~20
	具有马铃薯加工后的香气,香气较浓郁,无异味	11~15
	有马铃薯加工后的香气,香气一般,无明显异味	6~10
	无马铃薯加工后的香气,异味明显	0~5
口感(30 分)	酥脆性好,无油腻感,无焦苦味和哈刺味	24~30
	酥脆性较好,无油腻感,无焦苦味和哈刺味	17~23
	酥脆性一般,有油腻感,有焦苦味或哈刺味	9~16
	酥脆性差,油腻感重,有焦苦味和哈刺味	0~8

1.3 数据处理

本研究采用 IBM SPSS Statistics 26 统计软件进行单因素方差分析、相关性分析、主成分分析、逐步回归分析及聚类分析,建立薯片综合评价指标的回归模型,用 Origin 2021 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同品种甘薯炸薯片品质

食品色泽影响消费者的选择,是评价品质的重要指标。不同品种甘薯及其油炸甘薯片形状、大小和色泽均存在差异,如表 2 所示,为不同甘薯品种油炸薯片的

品质分析。从色差来看,渝薯 27 与徐渝 31 号差异小,徐渝 31 号与紫云红薯差异小,其他均差异大。对成品率进行研究,白薯成品率最高为 0.38%,渝薯 17 成品率最低为 0.17%。不同甘薯品种油炸薯片感官评分均在 70 分及以上,317、白薯、绵紫 12、龙薯 9 号、铜薯 2 号感官评分值最高均为 90。渝薯 17 的含油量最低为 0.17%,而白薯的含油量最高为 0.38%。破裂力、黏附性存在显著差异。破裂力越大薯片越不易碎,湛薯 12 的破裂力最大。黏附性越小代表薯片越不容易黏着,绵紫 12、黔薯 8 号及 317 最佳。综上,不同甘薯品种油炸薯片最值差异显著,方差较高,表明不同甘薯真空油炸薯片的品质存在较大差异。

2.2 主成分分析和相关性分析

将甘薯品质指标进行相关性分析, 其结果如表 3 所示。成品率、含油量均与黏附性成负相关; 色差与黏附性呈正相关性, 而与感官评分呈负相关性, 感官评分与含油量呈正相关性, 破裂力与含油量呈正相关性^[22], 与黏附性呈负相关性($P<0.05$)。

为进一步讨论不同品种甘薯品质的贡献程度, 采用因子分析和主成分分析法确定影响的主要因素, 为评价甘薯品质提供依据。对 6 个指标进行主成分分析, 得出评价因子特征值和累计贡献率如表 4 所示。由于前 3 个主成分对应特征值均大于 1, 对应的累计方差贡献率为 79.473%, 故可选取前 3 个主成分, 能较全面的反映出不同甘薯品质的主要信息^[23]。

表 2 不同甘薯品种油炸薯片的品质
Table 2 Quality of fried potato chips of different *Dioscorea esculenta* varieties

样品	成品率/%	L^*	感官评分/分	破裂力/N	黏附性/(N · mm)	含油量/%
317	0.28	23.26	90	488.22	0.066	0.28
烤薯	0.25	63.06	89	213.44	0.266	0.25
渝薯 198	0.29	84.34	70	309.22	0.101	0.29
渝薯 27	0.22	69.61	75	431.22	0.088	0.22
白薯	0.38	83.40	90	643.70	0.174	0.38
渝薯 17	0.17	75.82	70	310.78	0.342	0.17
豫薯 9 号	0.26	70.61	80	230.18	0.274	0.26
黔薯 8 号	0.21	76.77	85	255.23	0.074	0.21
徐渝 31 号	0.24	69.47	80	400.67	0.179	0.24
万薯 5 号	0.28	33.12	84	314.54	0.130	0.28
绵紫 12	0.28	29.12	90	600.57	0.074	0.28
龙薯 9 号	0.23	64.48	90	191.50	0.195	0.23
紫云红薯	0.25	69.26	80	280.32	0.106	0.25
川紫薯 6 号	0.20	31.42	85	548.30	0.116	0.20
黔紫薯 1 号	0.25	27.86	88	308.40	0.075	0.25
铜薯 2 号	0.19	78.53	90	24.90	0.276	0.19
湛薯 12	0.27	81.85	85	701.20	0.084	0.27
湘薯 98	0.29	65.12	80	302.30	0.114	0.29
商薯 19	0.32	59.49	85	230.91	0.122	0.32

表 3 不同甘薯品质的相关性
Table 3 Correlation of different *Dioscorea esculenta* quality

	成品率/%	L^*	感官评分/分	破裂力/N	黏附性/(N · mm)	含油量/%
成品率/%	1	-0.016	0.243	-0.147	-0.344	0.998**
L^*	-0.016	1	-0.416*	-0.678**	0.395*	-0.016
感官评分/分	0.243	-0.416*	1	-0.153	-0.149	0.243
破裂力/N	-0.147	-0.678**	-0.153	1	-0.408*	-0.147
黏附性/(N · mm)	-0.344	0.395*	-0.149	-0.408*	1	-0.344
含油量/%	0.998**	-0.016	0.243	-0.147	-0.344	1

注: *, **分别代表显著性水平为 0.05 和 0.01, $n=19$ 。

表 4 评价因子的特征值和累计贡献率
Table 4 Eigenvalue and cumulative contribution rate of evaluation factors

序号	初始特征值			提取平方和载入		
	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%
1	2.212	36.869	36.869	2.212	36.869	36.869
2	1.391	23.183	60.051	1.391	23.183	60.051
3	1.165	19.422	79.473	1.165	19.422	79.473
4	0.715	11.915	91.387			
5	0.427	7.111	98.498			
6	0.090	1.502	100.00			

2.3 油炸薯片品质评价模型建立

主成分载荷反映了各指标对主成分的贡献率的大小, 指标距离原点(0,0)越远, 其变量被 3 个主成分介绍程度越高, 且指标空间上距离越近, 则变量间正相关程度越高^[24]。第一主成分 F_1 主要反映了包括感官评分(X_3)、破裂力(X_4)、含油量(X_6); 第二主成分 F_2 反映了成品率(X_1)和感官评分; 第三主成分 F_3 反映了感官评分(X_3)、黏附性(X_5)、含油量(X_6)。

为了更直观地反映不同甘薯的品质, 采用正交旋转法对甘薯品质所对应数据的主成分因子进行旋转, 并计算各个指标的特征向量系数^[25]。以甘薯成品率(X_1)、色差值 L (X_2)、感官评分(X_3)、破裂力(X_4)、黏附性(X_5)以及含油量(X_6)为初始自变量, 经过主成分分析, 最终得出 3 个主成分因子的方程表达式如下(4)~(6)所示, 这 3 个主成分因子将原来 6 个品质指标作线性变换, 重新组合成一组新的互相无关的综合指标, 消除了不同甘薯薯片品质 6 个指标间的相关性, 涵盖了甘薯薯片指标的大部分信息, 可代替 6 个指标进行油炸薯片评价模型的建立^[26]。

$Z_1=0.124X_1-0.59X_2+0.297X_3+0.506X_4-0.436X_5+0.319X_6$ (4)

$Z_2=0.67X_1+0.097X_2+0.522X_3-0.48X_4-0.187X_5-0.064X_6$ (5)

$Z_3=-0.298X_1-0.036X_2+0.481X_3-0.184X_4+0.523X_5+0.609X_6$ (6)

上述公式中 X_i 为标准化数据。

经回归线性相关性分析, 甘薯薯片综合指标 Y 与薯片成品率、 L^* 、感官评价、破裂力、黏附性、含油量的相关系数分别为 0.399、0.100、0.095、0.254、0.438 及 0.400, 与主成分因子的方程 Z_1 、 Z_2 和 Z_3 的相关系数分别为 0.943、0.980 和 0.948, 综合指标与各项薯片评价指标在显著性水平为 0.01 上正相关, 说明利用本方法得到的综合加工指标准确可靠。

以主成分因子 Z_1 、 Z_2 和 Z_3 为自变量, 归一化后的薯片综合加工指标 Y 为因变量, 采用逐步回归分析方法建立多元线性回归方程。设置进入值为 0.05, 移出值为 0.1, 得到逐步回归方程为:

$Y=1.02-0.99Z_1-2.99Z_2+4.21Z_3$

自变量显著性水平 Sig.=0.000 均小于 0.05, 说明自变

量对因变量影响效果显著, 存在显著线性关系。

甘薯油炸薯片综合品质评价模型的有效性是通过决定系数 R^2 和 F 检验进行判断的。回归模型的决定系数调整后 $R^2=0.999$, 随机误差估计值小, 说明模型拟合度较高能满足实际评价油炸薯片综合品质的需求。将 Z_1 、 Z_2 和 Z_3 替换为初始自变量 X_1 ~ X_6 , 整理得油炸甘薯片综合指标与不同品质的回归模型为:

$Y=1.02-3.37X_1-0.19X_2+0.16X_3+0.18X_4+3.01X_5+2.43X_6$

2.4 油炸薯片品质评价模型验证

以 19 种甘薯油炸薯片 6 个初始指标数据代入甘薯油炸薯片综合品质评价模型^[27-28], 实际检测值与预测值相关系数为 0.989, 说明甘薯油炸薯片综合品质评价模型能有效地预测甘薯油炸薯片的品质^[29]。图 1 为验证实验的真值与预测值散点图, 样品点较集中分布在 45°线周围, 表明预测值接近真值, 即通过测定不同甘薯的成品率、感官评分、破裂力、黏附性、色差、含油量, 就可以较准确地预测甘薯油炸薯片的综合品质。

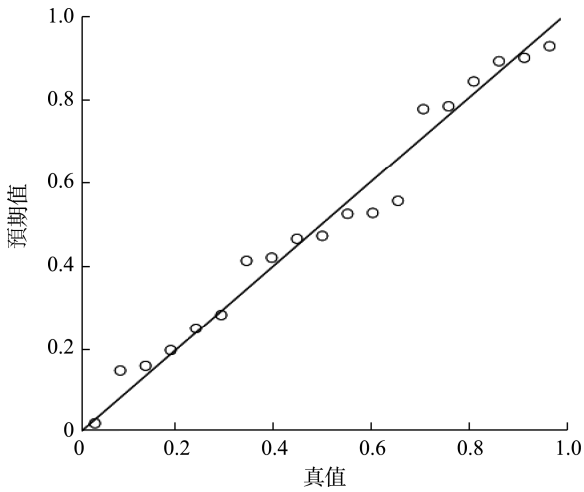


图 1 薯片综合评价指标预测值与真值散点图
Fig.1 Scatter diagram of predicted and true value of potatochips' comprehensive evaluation indicators

2.5 不同甘薯油炸薯片加工适宜性评价

对 19 种甘薯品种油炸薯片综合评价指标进行排序, 排序为湛薯 12 (124.95), 绵紫 12 (118.63), 白薯(115.67), 川紫薯 6 号(107.88), 317(99.17), 渝薯 27 (77.99), 徐渝 31 号(73.15), 黔紫薯 1 号(65.29), 万薯 5 号(64.82), 湘薯 98(55.68), 渝薯 17 (55.06), 紫云红薯(51.76), 渝薯 198 (51.46), 黔薯 8 号(47.36), 商薯 19 (45.31), 烤薯(42.82), 豫薯 9 号(42.48), 龙薯 9 号(38.01), 铜薯 2 号(6.01)。采用 K-means 聚类算法对 19 个甘薯品种的油炸薯片综合指标进行聚类分析, 设置 $k=3$, 当聚类中心没有改动达到收敛时迭代停止^[30], 最终迭代次数为 10, 将 19 个品种的油炸薯片综合品质初步划分适宜、基本适宜、不适宜 3 类, 详细分类见表 5。

表 5 不同品种甘薯油炸薯片综合品质指标分类

Table 5 Different varieties of *Dioscorea esculenta* fried potato chips comprehensive quality index classification

聚类类别	分类标准	品种个数	品种名称
适宜	$Y \geq 99.17$	5	湛薯 12、绵紫 12、白薯、川紫薯 6 号、317
基本适宜	$38.01 < Y \leq 99.17$	13	渝薯 27、徐渝 31 号、黔紫薯 1 号、万薯 5 号、湘薯 98、渝薯 17、紫云红薯、渝薯 198、黔薯 8 号、商薯 19、烤薯、豫薯 9 号、龙薯 9 号
不适宜	$Y \leq 38.01$	1	铜薯 2 号

3 结 论

国内广泛种植的 19 个甘薯品种真空油炸甘薯片形状、大小和色泽均存在差异, 成品率、色差值、感官得分、破裂力、黏附性和含油量之间存在相关性, 可进行主成分分析并构建品质评价模型。模型综合得分及聚类分析结果表明, 湛薯 12、绵紫 12、白薯、川紫薯 6 号、317 适宜做薯片; 渝薯 27、徐渝 31 号、黔紫薯 1 号、万薯 5 号、湘薯 98、渝薯 17、紫云红薯、渝薯 198、黔薯 8 号、商薯 19、烤薯、豫薯 9 号、龙薯 9 号基本适宜做薯片; 而铜薯 2 号不适宜做薯片。本研究结果可以为甘薯脆片产品的加工、贮藏等环节提供了理论指导和技术参考。

参考文献

[1] 刘鹤, 田友, 刘佳敖, 等. 热风干燥甘薯片的热质传递分析[J]. 中国食品学报, 2024, 24(1): 200–208.

LIU H, TIAN Y, LIU JA, *et al.* Heat and mass transfer analysis of *Dioscorea esculenta* chips dried by hot air [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(1): 200–208.

[2] 李雪, 许晶冰, 杨世雄, 等. 改性甘薯淀粉及其在食品工业中的应用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(9): 370–380.

LI X, XU JB, YANG SX, *et al.* Research progress of modified *Dioscorea esculenta* starch and its application in food industry [J]. Food and Fermentation Industry, 2024, 50(9): 370–380.

[3] 穆晶晶, 周翔, 母浩圆, 等. 甘薯杂粮粉品质特征与主要理化性质的 Mantel test 分析[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(9): 31–34, 40.

MU JJ, ZHOU X, MU HY, *et al.* Mantel test analysis of quality characteristics and main physicochemical properties of *Dioscorea esculenta* multigrain powder [J]. Cereals & Oils, 2024, 37(9): 31–34, 40.

[4] 舒圣元, 孙红男, 马梦梅, 等. 不同提取工艺下甘薯淀粉得率、微观结构及理化特性的变化比较[J/OL]. 现代食品科技, 1–14. [2024-10-21]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.11.1164>

SHU SY, SUN HN, MA MM, *et al.* Comparison of yield, microstructure and physicochemical properties of *Dioscorea esculenta* starch under different extraction techniques [J/OL]. Modern Food Science and Technology, 1–14. [2024-10-21]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.11.1164>

[5] LEE D, MO C, LEE C J, *et al.* Change in dielectric properties of *Dioscorea esculenta* during microwave drying [J]. Food Science and Biotechnology, 2019, 28(3): 731–739.

[6] 王佳欣, 尚珊, 傅宝尚, 等. 风味甘薯叶酱菜工艺的优化[J]. 中国调味品, 2024, 49(9): 126–129, 137.

WANG JX, SHANG S, FU BS, *et al.* Optimization of flavor *Dioscorea esculenta* leaf pickles [J]. Chinese Seasoning, 2024, 49(9): 126–129, 137.

[7] ISNAINI R, NURMINAH M, LUBIS Z. The effect of edible coating application based on 0 cassava starch and calcium chloride concentration on the quality of orange *Dioscorea esculenta* French fries [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 454(1): 12110.

[8] 王辉, 牟琴, 聂廷, 等. 基于相关性与主成分分析法综合评价不同品种甘薯脆片加工适宜性[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(6): 173–179.

WANG H, MOU Q, NIE Y, *et al.* The processing suitability of *Dioscorea esculenta* chips of different varieties was evaluated based on correlation and principal component analysis [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(6): 173–179.

[9] 彭麒麟, 任美玲, 王博, 等. 不同预处理对甘薯片油炸特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(5): 249–258.

PENG QY, REN ML, WANG B, *et al.* Effects of different pretreatment on frying characteristics of *Dioscorea esculenta* chips [J]. Food and Fermentation Industry, 2024, 50(5): 249–258.

[10] 李鑫, 王雨生, 陈海华. 响应面法优化低脂甘薯片的预冻油炸加工工艺[J]. 食品工业, 2021, 42(12): 174–178.

LI X, WANG YS, CHEN HH. Response surface method was used to optimize the pre-freezing and frying process of low fat *Dioscorea esculenta* chips [J]. Food Industry, 2021, 42(12): 174–178.

[11] DUEIK V, BOUCHON P. Development of healthy low-fat snacks: understanding the mechanisms of quality changes during atmospheric and vacuum frying [J]. Food Reviews International, 2011, 27(4): 408–432.

[12] 吴丽萍, 袁梦缘, 徐江, 等. 不同前处理方式对真空油炸香菇脆片品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(13): 45–51.

WU LP, YUAN MY, XU J, *et al.* Effects of different pretreatment methods

- on the quality of vacuum fried shiitake mushroom chips [J]. Food Research and Development, 2022, 43(13): 45–51.
- [13] 盛金凤, 雷雅雯, 王雪峰, 等. 低温真空油炸柿子脆片工艺优化及其品质分析[J]. 食品工业科技, 2024, 45(2): 152–160.
- SHENG JF, LEI YW, WANG XF, *et al.* Process optimization and quality analysis of low temperature vacuum fried persimmon crisp [J]. Food Industry Science and Technology, 2024, 45(2): 152–160.
- [14] 黄亚琴, 廖明系, 李清明, 等. 渗透脱水对真空油炸辣椒脆片品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(9): 48–53.
- HUANG YQ, LIAO MX, LI QM, *et al.* Effect of osmotic dehydration on the quality of vacuum fried chili crisp [J]. Food Research and Development, 2024, 45(9): 48–53.
- [15] 曹珍珍, 韩春阳, 沈亚玲, 等. 真空油炸时间对杏鲍菇脆片挥发性成分的影响[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(3): 77–81.
- CAO ZZ, HAN CY, SHEN YL, *et al.* Effect of vacuum frying time on volatile components of *Pleurotus eryngii* chips [J]. Grain and Oil, 2024, 37(3): 77–81.
- [16] 陈汉勇, 徐国波, 杨娟, 等. 香菇脆的低温真空油炸工艺优化[J]. 现代食品科技, 2021, 37(12): 197–204.
- CHEN HY, XU GB, YANG J, *et al.* Optimization of low temperature vacuum frying technology of crispy mushroom [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(12): 197–204.
- [17] 黄文奎, 钱静, 汪晓琳, 等. 低温真空油炸红椒片的生产工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(20): 174–178.
- HUANG WL, QIAN J, WANG XL, *et al.* Study on the production technology of low temperature vacuum fried red pepper flakes [J]. Food Research and Development, 2020, 41(20): 174–178.
- [18] 潘牧, 刘辉, 王梅, 等. 油炸低脂甘薯脆片贮藏品质变化与货架期预测[J]. 食品科技, 2022, 47(5): 82–89.
- PAN M, LIU H, WANG M, *et al.* Storage quality change and shelf life prediction of deep-fried low fat *Dioscorea esculenta* chips [J]. Food Science and Technology, 2022, 47(5): 82–89.
- [19] 李荣蕊, 袁媛. 复合抗氧化剂对油炸鲜切薯片中丙烯酰胺和氯丙醇酯的抑制作用[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(17): 241–251.
- LI RR, YUAN Y. Inhibitory effects of compound antioxidants on acrylamide and chloropropanol ester in fried fresh-cut potato chips [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(17): 241–251.
- [20] 王辉, 牟琴, 裴廷, 等. 响应面法优化甘薯脆片干燥工艺[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(9): 110–117.
- WANG H, MOU Q, NIE T, *et al.* Optimization of *Dioscorea esculenta* crisp drying process by response surface method [J]. Food Research and Development, 2020, 41(9): 110–117.
- [21] 娄岩, 王盼龙, 闫琪, 等. 真空油炸哈密瓜脆片加工工艺优化研究[J]. 现代食品, 2021(5): 63–68, 108.
- LOU Y, WANG PL, YAN Q, *et al.* Study on optimization of processing technology of vacuum fried cantaloupe chips [J]. Modern Food, 2021(5): 63–68, 108.
- [22] 李玉龙, 杨烨, 陆国权. 基于均匀设计和主成分分析的甘薯薯片油炸工艺优化[J]. 食品科学, 2017, 38(4): 223–230.
- LI YL, YANG Y, LU GQ. Optimization of *Dioscorea esculenta* chip frying process based on uniform design and principal component analysis [J]. Food Science, 2017, 38(4): 223–230.
- [23] 张小燕. 马铃薯多组分近红外预测及加工油炸薯片适宜性研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2013.
- ZHANG XY. Prediction of potato multi-component near infrared and suitability for processing fried potato chips[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, 2013.
- [24] 郑美玲, 刘前进, 杨金初, 等. 基于主成分分析与聚类分析综合评价不同甘薯浸膏的香气品质[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(3): 196–206.
- ZHENG ML, LIU QJ, YANG JC, *et al.* The aroma quality of different *Dioscorea esculenta* extracts was evaluated comprehensively based on principal component analysis and cluster analysis [J]. Chinese Food Additives, 2022, 33(3): 196–206.
- [25] 赵清霞, 郑环宇, 丁阳月, 等. 湿豆渣面包仪器质构与感官质构相关性分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(6): 94–99.
- ZHAO QX, ZHENG HY, DING YY, *et al.* Correlation analysis between instrumental texture and sensory texture of wet soybean residue bread [J]. Food Industry Science and Technology, 2016, 37(6): 94–99.
- [26] 张小燕, 赵凤敏, 兴丽, 等. 不同马铃薯品种用于加工油炸薯片的适宜性[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 276–283.
- ZHANG XY, ZHAO FM, XING L, *et al.* Suitability of different potato varieties for processing fried potato chips [J]. Transactions of Agricultural Engineering, 2013, 29(8): 276–283.
- [27] 董荣建, 刘君超, 兰丽春, 等. 应用模糊数学建立黄年糕感官评价模型[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(23): 135–144.
- DONG RJ, LIU JC, LAN LC, *et al.* The sensory evaluation model of yellow rice cake was established by fuzzy mathematics [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(23): 135–144.
- [28] 张弟俊, 吴刚, 胡长鹰, 等. 杀菌强度对金枪鱼罐头品质的影响及模型的建立[J/OL]. 食品与发酵工业, 1–9. [2024-12-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1802.ts.20241127.1134.003.html>
- ZHANG DJ, WU G, HU CY, *et al.* Effect of bactericidal intensity on quality of canned tuna and establishment of model [J/OL]. Food and Fermentation Industry, 1–9. [2024-12-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1802.ts.20241127.1134.003.html>
- [29] 刘丹飞, 李晓璇, 蒲玉梅, 等. 冷藏条件下鸡胸肉品质变化及新鲜度评价模型的构建[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(16): 152–159.
- LIU DF, LI XX, PU YM, *et al.* Construction of evaluation model for quality change and freshness of chicken breast under cold storage [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(16): 152–159.
- [30] 吴胜男, 孙凯, 张海, 等. 甘薯不同品种(系)的光合特性比较与聚类分析[J]. 分子植物育种, 2023, 21(21): 7153–7160.
- WU SN, SUN K, ZHANG H, *et al.* Comparison and cluster analysis of photosynthetic characteristics of different varieties (lines) of *Dioscorea esculenta* [J]. Molecular Plant Breeding, 2023, 21(21): 7153–7160.

(责任编辑: 蔡世佳 于梦娇)