

# 脱糖处理对马铃薯全粉-小麦混粉品质的影响

熊添, 何建军, 蔡芳, 王少华, 施建斌, 蔡沙, 隋勇, 陈学玲, 范传会, 家志文, 梅新

(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北省农业科技创新中心农产品加工分中心, 湖北武汉 430064)

**摘要:** 本研究为降低马铃薯全粉含糖量高所导致加工的面条成型难、易断条、易浑汤等问题的负面影响, 以期达到改良马铃薯全粉-小麦混粉品质的目的。用纯水及不同体积分数(25%、50%、75%)乙醇对马铃薯全粉脱糖, 分析脱糖前后马铃薯全粉可溶性多糖、蛋白质含量、色度及气味指标变化, 探究脱糖前后不同添加量(5%、10%、15%、20%、30%)马铃薯全粉对马铃薯全粉-小麦混粉持水性、持油率、透光率和热特性等反应加工性能的影响。结果表明: 纯水脱糖效率高, 蛋白质损失小, 且对马铃薯原本风味无影响。纯水脱糖后马铃薯全粉糊化温度和热焓( $\Delta H$ )升高, 持水力下降, 持油力上升, 透光率也更好。经纯水脱糖后, 马铃薯全粉的可溶性糖脱除率为45.77%, 蛋白质保存率为93.32%, 透光率为96.09%, 持水性和持油性分别为4.67 g/g和1.79 g/g, 起始温度( $T_0$ )、峰值温度( $T_p$ )、终止温度( $T_c$ )分别为56.8 °C、65.0 °C和65.6 °C,  $\Delta H$ 为1.35 J/g。与未脱糖混粉相比, 纯水脱糖后混粉的持水力受马铃薯全粉添加量比例的影响较小, 且持油力、透光性、热特性等加工特性指标同样维持在相对稳定的数值范围内, 更适宜加工利用。

**关键词:** 马铃薯全粉; 脱糖; 混粉; 加工特性

文章编号: 1673-9078(2021)07-203-212

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.7.1028

## Effect of De-sugaring Treatment on Potato-wheat Mixed Flour Quality

XIONG Tian, HE Jian-jun, CAI Fang, WANG Shao-hua, SHI Jian-bin, CAI Sha, SUI Yong, CHEN Xue-ling, FAN Chuan-hui, JIA Zhi-wen, MEI Xin

(Institute of Agricultural Product Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Sub-Center of Agricultural Product Processing Research, Hubei Innovation Center of Agriculture Science and Technology, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** This research was conducted to reduce the negative impact of the high sugar content of the whole potato flour (the resultant noodles are difficult to form, tend to break and lead to muddy soup) and ultimately improve the quality of the whole potato flour-wheat mixed flour, pure water and ethanol with different volume fractions (25%, 50% and 75%) were used to de-sugar the whole potato flour. The changes in soluble polysaccharides, protein content, color and odor index of the whole potato powder before and after de-sugaring were analyzed. The effects of different addition amounts (5%, 10%, 15%, 20%, 30%) of potato flour on the water holding capacity, oil holding capacity, light transmittance and thermal properties of the mixed flour produced by the unmodified or de-sugared potato flour and wheat were investigated. The results showed that pure water desugar efficiency was high with low protein loss, and there was no effect on the original flavor of potato. After pure water de-sugaring, the gelatinization temperature and enthalpy ( $\Delta H$ ) of the potato powder increased, the water holding capacity (WHC) decreased, the oil holding capacity (OHC) increased, and the light transmittance was improved. After pure water de-sugaring, the soluble sugar removal rate of the whole potato powder was 45.77%, the protein retention rate was 93.32%, the light transmittance was 96.09%, the water and oil retention were 4.67 g/g and 1.79 g/g, respectively. The starting temperature ( $T_0$ ), peak temperature ( $T_p$ ) and endpoint temperature ( $T_c$ ) were 56.8 °C, 65.0 °C and 65.6 °C, respectively, and  $\Delta H$  was 1.35 J/g. Compared with the mixed flour containing unmodified potato flour, the WHC

引文格式:

熊添,何建军,蔡芳,等.脱糖处理对马铃薯全粉-小麦混粉品质的影响[J].现代食品科技,2021,37(7):203-212

XIONG Tian, HE Jian-jun, CAI Fang, et al. Effect of de-sugaring treatment on potato-wheat mixed flour quality [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(7): 203-212

收稿日期: 2020-11-06

基金项目: 湖北省农业科技成果转化项目(2020BBB050); 湖北省中央引导地方科技发展专项(2018ZYYD011)

作者简介: 熊添(1995-), 女, 研究实习员, 研究方向: 农产品加工与副产物综合利用

通讯作者: 梅新(1978-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工与副产物综合利用

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

of the mixed flour containing de-sugared potato powder pure water de-sugaring group was less affected by the proportion of the potato flour, with its processing characteristics such as OHC, light transmittance and thermal properties were also maintained within a relatively constant range, thereby being more suitable for processing and utilization.

**Key words:** whole potato flour; de-sugar; mixed powder; processing properties

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.), 茄科茄属, 又被称作土豆、洋芋, 因其生存能力强、产量高且营养价值丰富, 被广泛地栽种于全球 150 多个国家和地区, 年产量达 3.2 亿 t, 目前已成为仅次于水稻、小麦和玉米的世界第四大粮食作物<sup>[1-3]</sup>。以新鲜马铃薯为原料, 经清洗、挑选、去皮、切片、漂洗、预煮, 冷却、蒸煮、捣泥、脱水、干燥等工艺过程, 可制得的细颗粒状、片屑状或粉末状马铃薯全粉<sup>[4]</sup>。马铃薯全粉含马铃薯除薯皮外所有干物质营养成分, 可解决马铃薯鲜薯不易储存的难题, 且保质期长运输成本低, 更适用于产品开发应用。

近年来, 随着国家对马铃薯主粮化和居民营养健康高度重视, 利用马铃薯全粉和小麦粉混合复配制作马铃薯全粉食品的研究逐渐增多, 马铃薯馒头<sup>[5]</sup>、面条<sup>[6]</sup>、蛋糕<sup>[7]</sup>、面包<sup>[8]</sup>、饼干<sup>[9]</sup>等已屡见不鲜。虽然马铃薯全粉-小麦混合粉相比于普通小麦粉具有更好的营养特性, 但因马铃薯全粉中不含面筋蛋白无法形成面筋网络结构, 且含糖量高会导致面条成型难、易断条、易浑汤等问题, 混粉中马铃薯全粉比例过高对产品加工性能造成不利影响, 这极大限制了马铃薯全粉在食品中的添加量。王远辉<sup>[10]</sup>等制作面条时发现马铃薯全粉添加量在 10%~15%时挂面品质最好, 添加量在 25%时挂面的表面出现细小裂缝, 各项品质指标变差, 并指出马铃薯全粉中高淀粉含量使挂面的脆性增加, 而低面筋蛋白含量使挂面的韧性降低。

目前, 有学者通过添加增筋、降黏的原辅料, 如谷朊粉、阿拉伯胶等来削减马铃薯全粉在混粉中的不利影响<sup>[11]</sup>, 但脱除马铃薯全粉原有物质来改变加工性能的研究尚未见报道。本课题以熟制马铃薯全粉为原料, 研究纯水和不同体积分数乙醇脱糖处理对马铃薯全粉基本特性及不同比例下马铃薯全粉-小麦粉混粉持水性、持油性、透光率、糊化温度等加工性能指标的影响, 为进一步改良马铃薯全粉-小麦混粉的加工品质, 加快推动我国马铃薯主粮化进程提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

马铃薯全粉(熟制), 山东圣地甘薯产业股份有限

公司; 高筋小麦粉, 益海嘉里金龙鱼粮油食品股份有限公司。无水乙醇、葡萄糖、蔗糖、盐酸、浓硫酸、苯酚、乙酸铅、氢氧化钠、乙酸镁、硫酸铜、硫酸钾、硼酸、硫酸钠、酒石酸钾钠、亚铁氰化钾等均为分析纯, 工业酒精为化学纯, 国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

BS-210 分析天平, 德国赛多利斯公司; DK-420 数显恒温水浴锅, 上海精宏实验设备有限公司; UV-2800 紫外分光光度计, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; Q2000-DSC 差示量热扫描仪, 美国 TA 仪器公司; PEN-3 电子鼻, 德国 AIRSENSE 公司; PF-5 离心机, 长沙平凡仪器仪表有限公司; LGJ-25C 冷冻干燥机, 北京四环科学仪器厂; SX-5 马弗炉, 安徽贝意克设备技术有限公司; SHA-B 恒温振荡器, 常州国华电器有限公司; CR-400 色彩色差仪, 柯尼卡美能达(中国)投资有限公司; K 49080 自动凯氏定氮仪, 济南海能仪器股份有限公司; FCD-188S 双层门冷柜冰柜, 青岛海尔特种电器有限公司; DHG-9240 A 电热恒温鼓风干燥箱, 上海精宏实验设备有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 样品的制备

脱糖马铃薯全粉: 分别用蒸馏水、体积分数为 25%、50%、75%的乙醇按体积比 20:1 洗涤马铃薯全粉, 搅拌 15 min 后于室温静置 20 min, 纱布过滤后冷冻干燥制粉备用。

混粉: 配制 1 kg 马铃薯全粉-高筋小麦粉混合粉, 马铃薯全粉的添加量依次为 0%、5%、10%、15%、20%、30%。将称量好的马铃薯全粉和高筋小麦粉装入密封袋中充分混匀, 放入干燥器内保存。

#### 1.3.2 蛋白质的测定

参照 GB 5009.5-2016 中凯氏定氮法测定蛋白质。

#### 1.3.3 可溶性糖的测定

参照曹建康<sup>[12]</sup>《果蔬采后生理生化实验指导》采用苯酚硫酸法测定可溶性糖含量并略做改动。

#### 1.3.4 色泽的测定

采用 CR-400 色彩色差仪测定马铃薯全粉的亮度 ( $L^*$ )、红绿度 ( $a^*$ ) 和黄蓝度 ( $b^*$ ) 值。根据  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  可以计算马铃薯样品色调与标准色调 (未脱糖

马铃薯全粉)间的色差 $\Delta E$ , 公式如下:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

其中:  $\Delta L^* = L_{\text{测定值}}^* - L_{\text{标准值}}^*$ ;  $\Delta a^* = a_{\text{测定值}}^* - a_{\text{标准值}}^*$ ;

$\Delta b^* = b_{\text{测定值}}^* - b_{\text{标准值}}^*$ 。

以未脱糖马铃薯全粉的各项色泽参数作为标准值。

### 1.3.5 风味化合物分析

称取 5 g 样品加入顶空瓶内密封, 于 38 °C 恒温水浴中平衡 30 min。设置参数: 清洗 120 s, 测试 200 s, 利用直接顶空吸气法将测试针、补气针针头插入顶空瓶中, 每个样品重复 3 次平行。采用德国 Airsense 的 PEN-3 电子鼻系统对挥发性成分进行测定。选取化学传感器检测的 195~200 s 测量数据进行分析, 利用 PEN-3 型传感器配套的 Winmuster 软件对数据进行主成分分析 (PCA) 和线性判别分析 (LDA) [13]。

表 1 PEN3 传感器性能

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分, 苯类
2	W5S	对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	芳香成分灵敏, 氨类
4	W6S	主要对氢化物有选择
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	硫化物
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分, 有机硫化物
10	W3S	长链烷烃

### 1.3.6 持水力的测定

取约 1.5 g 试样加入离心管中, 记质量为  $W_1$ , 边加水边用玻璃棒将试样混匀, 直至试样呈浆状且无水析出。于 25 °C, 4000 r/min 下离心 10 min, 倒去上清液, 记沉淀质量为  $W_2$ 。若离心后没有水析出, 则应继续加水、搅匀并再离心, 直至离心后有少量水析出为止。根据离心前后的质量变化计算马铃薯全粉的持水力。持水力 (WHC) 根据下式计算:

$$WHC(g/g) = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \quad (2)$$

### 1.3.7 持油率的测定

参照普红梅 [14] 的方法, 略作修改后测定。取约 5.0 g 试样加入试管, 记质量为  $M_1$ , 准确加入 30 mL 花生油, 沸水浴 20 min 后, 3000 r/min 离心 15 min,

倾倒入上层游离油后将离心管倒置 15 min, 沥尽剩余油, 称余下残渣质量记为  $M_2$ 。持油能力 (OHC) 以每克样品吸油质量表示:

$$OHC(g/g) = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \quad (3)$$

### 1.3.8 透光率的测定

参照岳静 [15] 的方法, 略作修改后测定。取约 1.0 g 试样于 25 mL 具塞试管, 加入 20 mL 0.05 mol/L 的 HCl 溶液稍加振荡, 待 24 h 沉淀完全后, 吸取相同高度的上层清液, 以 0.05 mol/L 的 HCl 作空白参照, 用 1 cm 比色皿在 670 nm 波长处测定马铃薯全粉糊的透光度。透光度计算公式如下:

$$T = 10^{-A} \times 100\% \quad (4)$$

式中: T: 透光度, %; A: 上清液在 670 nm 的吸光值。

### 1.3.9 糊化特性的测定

参照汪兰 [16] 的方法, 略作修改后测定。称取干燥试样 7~8 mg, 加入 14~16 mL 的去离子水, 以铝制样品盘密封后置于 4 °C 冰箱过夜平衡, 测试前取出在室温下回温 1 h, 以空白的铝盘用作参比, 在差式扫描量热分析仪中进行分析测定。

升温程序设置: 初温为 20 °C 并恒温 2 min, 以 5 °C/min 升温至 100 °C (开启冷却装置), 恒温 2 min, 以 5 °C/min 降温至 30 °C, 关掉冷却装置。样品吹扫气和保护气 (氮气, 纯度 > 99%) 分别为 20 mL/min 和 60 mL/min。每个样品按上述方法做 3 个平行。从峰的形成到结束得到淀粉的糊化起始温度 ( $T_o$ )、峰值温度 ( $T_p$ )、结束温度 ( $T_c$ ), 峰的面积则表示糊化吸收热焓 ( $\Delta H$ )。

### 1.3.10 数据统计与分析

采用 Excel 和 SPSS 软件对数据进行处理和分析, OriginPro 2019 绘图。用单因素方差分析评价两组间差异的显著性 ( $p < 0.05$ )。每组样品 3 次平行实验, 结果用平均值  $\pm$  标准差 ( $\bar{X} \pm SD$ ) 表示。

## 2 结果与讨论

### 2.1 脱糖处理对马铃薯可溶性糖含量和全蛋蛋白质含量的影响

未脱糖马铃薯全粉的可溶性糖含量为 20.82%, 经纯水、25%乙醇、50%乙醇、75%乙醇脱糖后可溶性糖含量分别为 11.29%、9.42%、12.22% 和 13.04%, 脱糖率分别为 45.77%、54.75%、41.31% 和 37.37%。纯水可脱去易溶于水的葡萄糖、果糖等单糖分子及蔗糖、麦芽糖等低聚糖。乙醇可破坏多糖水化膜, 根据相似

相溶原理,不同体积分数的乙醇-水溶液对糖有选择性溶解作用<sup>[17]</sup>,可使不同组分和分子量的多糖分级沉淀。如低浓度乙醇沉淀下来的主要是高分子量的多糖,而高浓度乙醇沉淀下来的则是较小分子量的多糖和低聚糖。未脱糖马铃薯全粉的蛋白质含量为 8.38%,纯水和不同体积分数乙醇溶液脱糖时会造成马铃薯全粉中的部分醇溶蛋白和水溶性蛋白损失,经纯水、25%乙醇、50%乙醇、75%乙醇脱糖后蛋白质含量分别为 7.82%、7.17%、5.56%和 6.74%,蛋白质保存率分别为 93.32%、85.56%、66.35%和 80.43%。整体来看,纯水和 25%乙醇对马铃薯全粉可溶性糖的脱除效果要优于 50%、75%乙醇且蛋白质保存率更高。

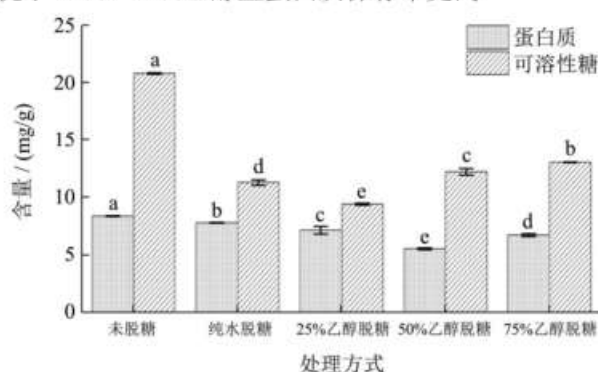


图1 不同处理条件下马铃薯全粉的可溶性糖和蛋白质含量变化

Fig.1 Changes of soluble sugar and protein content in potato flour under different treatment conditions

注: 条形图上不同字母代表组间存在显著性差异 ( $p < 0.05$ ).

## 2.2 脱糖处理对马铃薯全粉色泽的影响

由表 2 可知,脱糖后马铃薯全粉的红绿度 ( $a^*$ 值)均显著上升,黄蓝度 ( $b^*$ 值)均显著下降,从数值来看都更加接近 0,未脱糖与 25%、75%乙醇脱糖马铃

表 2 不同处理条件下马铃薯全粉的色泽变化

Table 2 Changes of potato flour color under different treatment conditions

项目	未脱糖	纯水脱糖	25%乙醇脱糖	50%乙醇脱糖	75%乙醇脱糖
$L^*$	90.55±0.61 <sup>BC</sup>	88.58±0.57 <sup>D</sup>	89.69±0.53 <sup>C</sup>	93.68±0.34 <sup>A</sup>	91.34±0.45 <sup>B</sup>
$a^*$	-1.72±0.07 <sup>E</sup>	-0.56±0.03 <sup>B</sup>	-0.40±0.03 <sup>A</sup>	-1.20±0.03 <sup>C</sup>	-1.49±0.08 <sup>D</sup>
$b^*$	15.36±0.23 <sup>A</sup>	11.29±0.23 <sup>C</sup>	10.06±0.44 <sup>D</sup>	9.37±0.22 <sup>E</sup>	12.84±0.38 <sup>B</sup>
$\Delta E$	0.00	4.67	5.53	6.78	2.65

注: 同行不同上标大写字母代表差异显著 ( $p < 0.05$ ),表 3~5 同。

### 2.3.2 线性判别分析

LDA 线性判别分析注重类别的分类以及各种组之间的距离分析,可缩小或扩大组内差异<sup>[19,20]</sup>。由图 3 可知,LD1 与 LD2 的方差贡献率分别为 97.70%和 2.00%,总贡献为 99.70%,LDA 分析将 5 种样品最大

薯全粉亮度 ( $L^*$ 值)无显著差异 ( $p > 0.05$ ),50%乙醇脱糖后马铃薯全粉的亮度提升了 3.46%,而纯水脱糖后马铃薯全粉亮度降低了 2.17%。与未脱糖样品相比,50%乙醇处理的马铃薯全粉色差 ( $\Delta E$ ) 最大,75%乙醇处理的马铃薯全粉色差最小。通常情况下, $L^*$ 越大、 $a^*$ 和  $b^*$ 越接近 0,呈现的色泽越洁白光亮,综合来看,50%乙醇处理的马铃薯全粉色泽要优于未脱糖和其他脱糖组。

## 2.3 脱糖处理对马铃薯全粉风味成分的影响

### 2.3.1 主成分分析

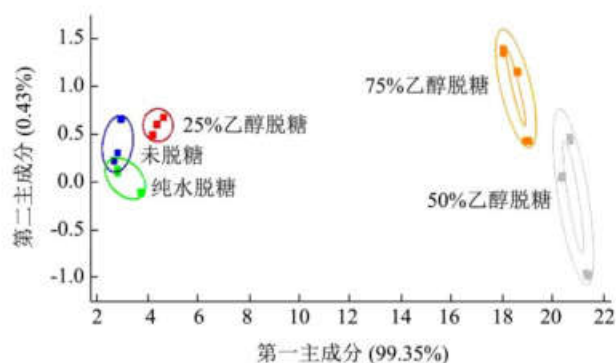


图 2 不同处理条件下的马铃薯全粉风味物质的 PCA 分析

Fig.2 PCA analysis of potato flour flavor substances under different treatment conditions

由图 2 可知,PC1 的贡献率为 99.35%,PC2 的贡献率为 0.43%,总贡献率达 99.78%,远超 85%,这说明电子鼻已经检测到绝大部分的原始信息<sup>[18]</sup>。未脱糖马铃薯全粉与纯水脱糖马铃薯全粉有重叠,表明两者间风味几乎无差别,与 25%乙醇脱糖马铃薯全粉间距离很小,表明两者风味无明显差别。由于用较高体积分数乙醇脱糖的马铃薯全粉醇醛类物质挥发性气味浓烈,因此 50%乙醇脱糖、75%乙醇脱糖处理后的马铃薯全粉在 PCA 分析中与其他组之间的距离较大。

限度区分开,图中各种类分布与 PCA 相近。图 3 中马铃薯全粉与纯水脱糖后的全粉样品在 LD2 上被区分开,在纯水洗涤过程中,马铃薯全粉中醛类、酮类、醇类化合物微溶于水,因此风味有细小变化。25%、50%、75%乙醇脱糖的马铃薯全粉醇类挥发性物质残

留在样品中，在含量上有一定的差异，但总体风味差别不大。

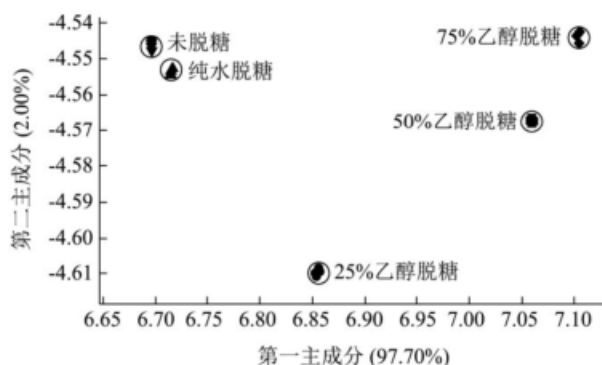


图3 不同处理条件下的马铃薯全粉风味物质的LDA分析  
Fig.3 LDA analysis of potato flour flavor substances under different treatment conditions

### 2.3.3 载荷分析

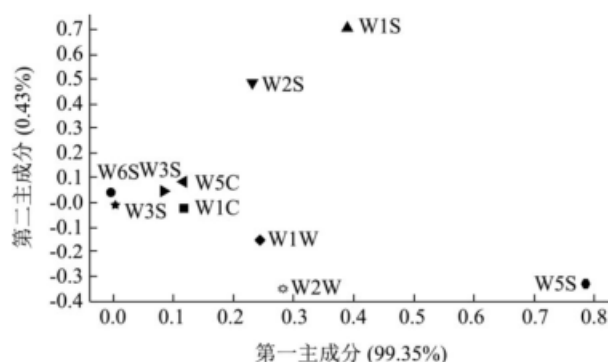


图4 不同处理条件下的马铃薯全粉传感器贡献率  
Fig.4 Contribution rate of potato flour sensor under different treatment conditions

由图4可知，2号传感器（W5S）对PC1的贡献率最大，6号（W1S）和8号（W2S）传感器对PC2的贡献率最大，4号（W6S）和10号（W3S）传感器对本次测试的不同含糖量马铃薯全粉样品区分贡献最小。马铃薯全粉的挥发性气味主要表现在2号、6号、7号（W1W）、8号和9号（W2W）对应的气味成分上，1（W1C）、3（W3C）、5号（W5C）气味存在一定区别，说明不同脱糖处理前后马铃薯全粉的风味差异主要表现在氮氧化物、甲基类、硫化物、醇类、醛酮类和有机硫化物类等物质上，其次苯类、氨基、短链烷烃芳香成分也存在一定的差异。

### 2.4 脱糖处理对马铃薯全粉-小麦粉混粉持水

### 力的影响

持水性与样粉中游离淀粉含量呈正相关<sup>[21]</sup>，因为本研究所选用的马铃薯全粉是熟制后马铃薯全粉，熟制过程中的蒸煮工序使马铃薯全粉中淀粉颗粒破碎<sup>[22]</sup>，结晶结构逐渐消失<sup>[23]</sup>，游离淀粉含量增大，因此脱糖前后马铃薯全粉的持水力显著（ $p < 0.05$ ）高于小麦粉。由表3可知，50%、75%乙醇脱糖马铃薯全粉持水力与未脱糖马铃薯全粉无显著（ $p > 0.05$ ）差异，纯水脱糖后马铃薯全粉持水力显著（ $p < 0.05$ ）降低，仅为4.67 g/g，25%乙醇脱糖后马铃薯全粉的持水力达最低值3.08 g/g，经纯水和25%乙醇脱糖后马铃薯全粉持水力不足脱糖前持水力的一半，此时马铃薯全粉的游离淀粉含量下降，与2.1中可溶性糖的分析结果一致。

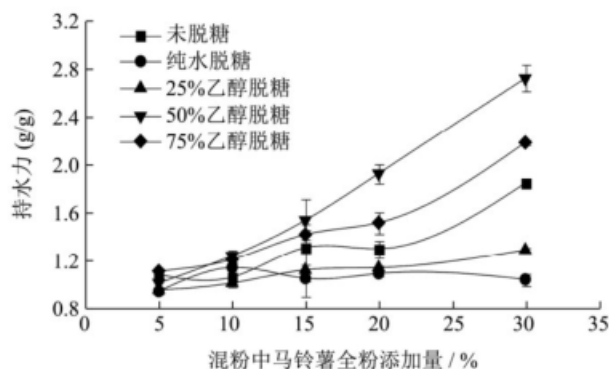


图5 不同处理条件下马铃薯全粉-小麦粉混粉持水力  
Fig.5 Water holding capacity of potato-wheat flour under different treatment conditions

由于马铃薯全粉的持水力（9.60 g/g）远高于小麦粉持水力（0.83 g/g），因此马铃薯全粉-小麦混粉的持水力会随马铃薯全粉的比例增高而逐渐上升。由于过量的水分会影响面筋形成的品质，一旦马铃薯全粉-小麦混粉持水力过高，制作出的面条会出现不易成型，煮制过程中断条等情况<sup>[24]</sup>。当混粉中马铃薯全粉添加量为5%、10%时，是否进行脱糖处理对混粉持水力影响不明显。当混粉中马铃薯全粉的添加量为15%~30%时，未脱糖、50%乙醇脱糖、75%乙醇脱糖组持水力随马铃薯全粉添加量的增加而上升。纯水和25%乙醇脱糖后马铃薯全粉的添加量对混粉的持水性几乎无影响，持水力分别稳定在在0.93~1.13 g/g和0.94~1.28 g/g间波动。

表3 小麦粉及不同处理条件下马铃薯全粉的持水力

Table 3 Water holding capacity of wheat flour and potato flour under different treatment condition

项目	小麦粉	未脱糖 马铃薯全粉	纯水脱糖 马铃薯全粉	25%乙醇脱糖 马铃薯全粉	50%乙醇脱糖 马铃薯全粉	75%乙醇脱糖 马铃薯全粉
持水力/(g/g)	0.83±0.02 <sup>D</sup>	9.60±0.27 <sup>A</sup>	4.67±0.22 <sup>B</sup>	3.08±0.11 <sup>C</sup>	9.84±0.82 <sup>A</sup>	9.52±0.09 <sup>A</sup>

表4 小麦粉及不同处理条件下马铃薯全粉的持油力

**Table 4 Oil holding capacity of wheat flour and potato flour under different treatment conditions**

项目	小麦粉	未脱糖马铃薯全粉	纯水脱糖马铃薯全粉	25%乙醇脱糖马铃薯全粉	50%乙醇脱糖马铃薯全粉	75%乙醇脱糖马铃薯全粉
持油力/(g/g)	0.75±0.01 <sup>E</sup>	1.43±0.00 <sup>B</sup>	1.79±0.05 <sup>A</sup>	0.74±0.03 <sup>E</sup>	1.17±0.03 <sup>D</sup>	1.28±0.07 <sup>C</sup>

表5 小麦粉及不同处理条件下马铃薯全粉的透光率

**Table 5 Oil holding capacity of potato-wheat flour under different treatment conditions**

项目	小麦粉	未脱糖马铃薯全粉	纯水脱糖马铃薯全粉	25%乙醇脱糖马铃薯全粉	50%乙醇脱糖马铃薯全粉	75%乙醇脱糖马铃薯全粉
透光性/%	93.76±0.77 <sup>B</sup>	90.79±0.74 <sup>C</sup>	96.09±1.00 <sup>A</sup>	93.65±1.50 <sup>B</sup>	96.90±0.21 <sup>A</sup>	92.61±0.20 <sup>B</sup>

### 2.5 脱糖处理对马铃薯全粉-小麦粉混粉持油力的影响

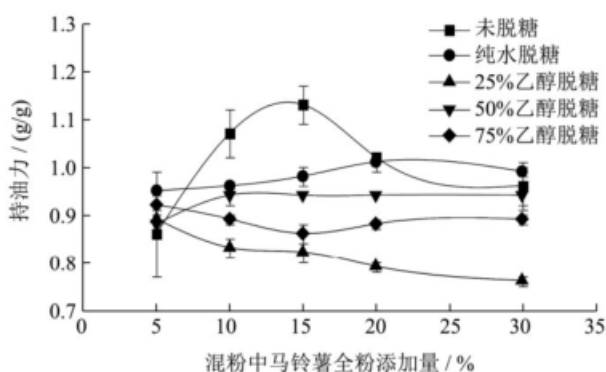


图6 不同处理条件下马铃薯全粉-小麦粉混粉持油力

Fig.6 Oil holding capacity of potato-wheat flour under different treatment conditions

马铃薯全粉熟制工艺导致淀粉颗粒破损、蛋白质变性,大量疏水基团暴露,与油脂分子接触面积增大<sup>[25]</sup>,因此其持油性普遍高于小麦粉。由表4可知,本研究中不同脱糖处理马铃薯全粉持油力差异显著( $p < 0.05$ ),5种样粉持油力顺序为:纯水脱糖马铃薯全粉>未脱糖马铃薯全粉>75%乙醇脱糖马铃薯全粉>50%乙醇脱糖马铃薯全粉>25%乙醇脱糖马铃薯全粉。25%乙醇脱糖马铃薯全粉与小麦粉持油力无显著( $p > 0.05$ )差异。纯水脱糖过程中亲水基团被带走,疏水基团暴露更充分,因此纯水脱糖马铃薯全粉持油力最高。岳静<sup>[15]</sup>等研究不同品种马铃薯全粉基本特性时指出持油力除了与品种本身的蛋白含量有关外,加工过程中蛋白质发生变性的程度也是影响其重要因素,全粉的吸油能力随着表面分布非极性氨基酸较多蛋白质的含量增加而上升。25%乙醇脱糖马铃薯全粉的持油力最低可能是由于脱糖过程中溶剂溶解部分糖类和蛋白类物质,导致表面分布非极性氨基酸较多蛋白质的含量下降,持油力也随之降低。

由图6可知,当混粉中马铃薯全粉添加量为

5%~30%时,未脱糖组持油力呈先上升后下降趋势,马铃薯全粉添加量为15%时达到峰值1.13 g/g。从整体来看,纯水脱糖、50%乙醇脱糖、75%乙醇脱糖混粉的持油力在受马铃薯全粉添加量的影响不明显,且持油力:纯水脱糖马铃薯全粉(0.95~1.01 g/g) > 50%脱糖马铃薯全粉(0.88~0.95 g/g) > 75%乙醇脱糖马铃薯全粉(0.86~0.92 g/g),25%乙醇脱糖混粉持油力最低且随马铃薯全粉添加量的增加呈下降趋势。

### 2.6 脱糖处理对马铃薯全粉-小麦粉混粉透光率的影响

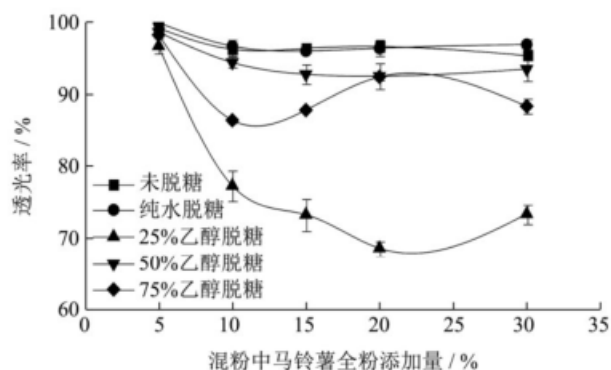


图7 不同处理条件下马铃薯全粉-小麦粉混粉透光率

Fig.7 Light transmittance of potato-wheat flour under different treatment conditions

由表5可知,脱糖马铃薯全粉的透光率要普遍高于未脱糖马铃薯全粉,透光性排序:50%乙醇脱糖马铃薯全粉>纯水脱糖马铃薯全粉>小麦粉>25%乙醇脱糖马铃薯全粉>75%乙醇脱糖马铃薯全粉>未脱糖马铃薯全粉。

马铃薯全粉中淀粉糊化后分子重新排列相互缔合的程度决定其透光率大小<sup>[14]</sup>。由图7可知,当混粉中马铃薯全粉的添加量为5%时,不同脱糖处理条件下混粉的透光率均保持在96%以上,优于单一马铃薯全粉或小麦粉的透光性。其中纯水脱糖混粉的透光性最高,为99.92%。当混粉中马铃薯全粉的添加量为

10%~30%时,未脱糖和纯水脱糖组透光率无显著差异 ( $p>0.05$ ),乙醇脱糖各组透光率有所降低,排序为:50%乙醇脱糖马铃薯全粉>75%乙醇脱糖马铃薯全粉>25%乙醇脱糖马铃薯全粉。混粉中 25%乙醇脱糖马铃薯全粉添加量为 20%时透光率最低,仅有 68.40%。

## 2.7 脱糖处理对马铃薯全粉-小麦粉混粉热分析

糊化的本质是水分子受热运动至淀粉分子内部破坏其结构,其间会伴随着能量变化,反映在 DSC 分析图谱上为热吸收峰<sup>[26]</sup>。由表 6 可知小麦粉的转变温度 ( $T_0$ 、 $T_p$  和  $T_c$ ) 显著 ( $p<0.05$ ) 高于未脱糖马铃薯全粉,这说明未脱糖的马铃薯全粉相比与小麦粉更易糊化。未脱糖、50%乙醇脱糖、75%乙醇脱糖马铃薯全粉与小麦粉的热焓差异不显著 ( $p>0.05$ ),糊化过程消耗能量相近;25%乙醇脱糖马铃薯全粉热焓最低 (0.19 J/g),糊化过程消耗能量最少;纯水脱糖马铃薯全粉热焓最高 (1.35 J/g),糊化过程消耗能量最大。

表 6 小麦粉及不同处理条件下马铃薯全粉的热特性

项目	起始温度 $T_0/^\circ\text{C}$	峰值温度 $T_p/^\circ\text{C}$	终止温度 $T_c/^\circ\text{C}$	热焓 $\Delta H/(\text{J/g})$
小麦粉	58.1±0.1 <sup>ab</sup>	64.4±0.6 <sup>a</sup>	68.0±0.7 <sup>b</sup>	0.9±0.00 <sup>b</sup>
未脱糖马铃薯全粉	55.2±0.2 <sup>d</sup>	60.5±1.5 <sup>b</sup>	64.1±0.4 <sup>d</sup>	0.85±0.13 <sup>b</sup>
纯水脱糖马铃薯全粉	56.8±0.9 <sup>bc</sup>	65.0±0.3 <sup>a</sup>	65.6±1.0 <sup>cd</sup>	1.35±0.25 <sup>a</sup>
25%乙醇脱糖马铃薯全粉	58.7±1.8 <sup>a</sup>	63.8±1.2 <sup>a</sup>	73.8±0.5 <sup>a</sup>	0.19±0.17 <sup>c</sup>
50%乙醇脱糖马铃薯全粉	55.1±0.1 <sup>d</sup>	60.2±0.2 <sup>b</sup>	64.7±1.0 <sup>cd</sup>	0.53±0.14 <sup>bc</sup>
75%乙醇脱糖马铃薯全粉	56.1±0.2 <sup>cd</sup>	60.5±0.2 <sup>b</sup>	66.3±1.3 <sup>c</sup>	0.55±0.36 <sup>bc</sup>

注: 同列不同上标小写字母代表差异显著 ( $p<0.05$ )。

表 7 不同处理条件下马铃薯全粉-小麦粉混粉起始温度 ( $T_0/^\circ\text{C}$ )

马铃薯全粉添加量/%	未脱糖	纯水脱糖	25%乙醇脱糖	50%乙醇脱糖	75%乙醇脱糖
5	58.4±0.4	58.4±1.2	57.3±0.2	57.4±0.3	57.5±0.2 <sup>b</sup>
10	58.5±0.5	57.8±0.8	57.3±0.1	58.5±1.7	57.7±0.5 <sup>b</sup>
15	57.9±1.0	58.3±0.2	57.5±0.3	58.0±0.6	57.9±0.4 <sup>b</sup>
20	59.2±0.7 <sup>A</sup>	58.8±0.2 <sup>A</sup>	57.5±0.5 <sup>B</sup>	57.6±0.1 <sup>B</sup>	57.6±0.2 <sup>Bb</sup>
30	59.1±0.1 <sup>A</sup>	58.8±0.7 <sup>AB</sup>	57.7±0.1 <sup>C</sup>	58.1±0.5 <sup>BC</sup>	58.6±0.1 <sup>ABa</sup>

注: 同行不同上标大写字母代表差异显著 ( $p<0.05$ ), 同列不同上标小写字母代表差异显著 ( $p<0.05$ ), 表 8~10 同。

表 8 不同处理条件下马铃薯全粉-小麦粉混粉峰值温度 ( $T_p/^\circ\text{C}$ )

马铃薯全粉添加量/%	未脱糖	纯水脱糖	25%乙醇脱糖	50%乙醇脱糖	75%乙醇脱糖
5	65.1±0.5 <sup>Aa</sup>	59.1±1.4 <sup>Cb</sup>	62.8±0.6 <sup>Ba</sup>	62.3±0.3 <sup>Bb</sup>	62.2±0.3 <sup>Bb</sup>
10	63.6±1.1 <sup>Aab</sup>	64.1±0.9 <sup>Aa</sup>	62.1±0.1 <sup>Bb</sup>	62.3±0.2 <sup>Bb</sup>	62.4±0.1 <sup>Bb</sup>
15	64.8±1.4 <sup>Aab</sup>	63.4±0.7 <sup>Ba</sup>	62.2±0.2 <sup>Bb</sup>	62.7±0.1 <sup>Ba</sup>	62.3±0.2 <sup>Bb</sup>
20	65.2±0.0 <sup>Aa</sup>	63.8±0.4 <sup>Ba</sup>	62.5±0.2 <sup>Cab</sup>	62.7±0.1 <sup>Ca</sup>	62.5±0.2 <sup>Cb</sup>
30	62.6±2.1 <sup>Bb</sup>	64.6±0.3 <sup>Aa</sup>	62.8±0.4 <sup>ABa</sup>	63.0±0.0 <sup>ABa</sup>	63.5±0.3 <sup>ABa</sup>

表 9 不同处理条件下马铃薯全粉-小麦粉混粉终止温度 ( $T_c/^\circ\text{C}$ )

马铃薯全粉添加量/%	未脱糖	纯水脱糖	25%乙醇脱糖	50%乙醇脱糖	75%乙醇脱糖
5	69.8±0.7 <sup>A</sup>	69.7±1.7 <sup>A</sup>	67.8±0.3 <sup>B</sup>	67.2±0.6 <sup>Bc</sup>	67.8±0.4 <sup>Bb</sup>
10	70.1±0.9 <sup>A</sup>	69.3±0.1 <sup>B</sup>	68.2±0.2 <sup>C</sup>	68.1±0.2 <sup>Cb</sup>	68.0±0.3 <sup>Cb</sup>
15	69.1±0.3 <sup>A</sup>	69.3±1.1 <sup>A</sup>	68.6±0.5 <sup>AB</sup>	68.3±0.2 <sup>ABb</sup>	67.7±0.3 <sup>Bb</sup>
20	70.2±0.9 <sup>A</sup>	70.0±0.3 <sup>A</sup>	67.8±0.6 <sup>B</sup>	69.3±0.4 <sup>Aa</sup>	68.0±0.4 <sup>Bb</sup>
30	69.7±0.5	69.5±1.4	68.5±0.4	69.7±0.7 <sup>a</sup>	69.0±0.3 <sup>a</sup>

表 10 不同处理条件下马铃薯全粉-小麦粉混粉热焓 ( $\Delta H/(J/g)$ )

**Table 10 Thermal properties of wheat flour and potato flour under different treatment conditions**

马铃薯全粉添加比例/%	未脱糖	纯水脱糖	25%乙醇脱糖	50%乙醇脱糖	75%乙醇脱糖
5	1.35±0.15 <sup>Aa</sup>	1.03±0.14 <sup>Bab</sup>	0.96±0.09 <sup>Bb</sup>	0.83±0.26 <sup>B</sup>	0.98±0.06 <sup>Bab</sup>
10	1.16±0.06 <sup>b</sup>	1.02±0.03 <sup>ab</sup>	1.04±0.02 <sup>ab</sup>	1.02±0.16	1.08±0.05 <sup>a</sup>
15	0.93±0.06 <sup>c</sup>	1.11±0.34 <sup>a</sup>	1.13±0.10 <sup>a</sup>	0.93±0.14	0.94±0.27 <sup>ab</sup>
20	0.95±0.02 <sup>c</sup>	0.97±0.15 <sup>ab</sup>	0.95±0.08 <sup>b</sup>	0.94±0.03	1.11±0.09 <sup>a</sup>
30	0.79±0.08 <sup>ABc</sup>	0.72±0.13 <sup>Bb</sup>	0.79±0.04 <sup>ABc</sup>	0.91±0.09 <sup>A</sup>	0.76±0.00 <sup>ABb</sup>

表 11 不同处理条件下马铃薯全粉各指标间影响的相关性

**Table 11 Correlation between the influence of various indexes of potato flour under different treatment conditions**

	可溶性糖	蛋白质	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$	持水力	持油力	透光性	$T_0$	$T_p$	$T_c$	$\Delta H$
可溶性糖	1	0.510	0.108	-0.819*	0.879*	-0.857*	0.632	0.345	-0.677	-0.669	-0.560	-0.617	0.266
蛋白质		1	-0.797	-0.026	0.720	-0.724	-0.285	0.418	-0.610	0.162	0.381	-0.025	0.501
$L^*$			1	-0.523	-0.231	0.248	0.746	-0.301	0.215	-0.622	-0.830*	-0.353	-0.444
$a^*$				1	-0.700	0.681	-0.935**	-0.210	0.542	0.832*	0.889*	0.695	-0.023
$b^*$					1	0.997**	0.422	0.404	-0.848*	-0.399	-0.336	-0.439	0.323
$\Delta E$						1	-0.390	-0.341	0.886*	0.343	0.327	0.371	-0.263
持水力							1	0.204	-0.221	-0.923*	-0.933*	-0.769	0.004
持油力								1	0.118	-0.477	0.155	-0.755	0.973**
透光性									1	0.036	0.327	-0.043	0.177
$T_0$										1	0.755	0.936**	-0.323
$T_p$											1	0.498	0.344
$T_c$												1	-0.629
$\Delta H$													1

注: \*表示差异显著 ( $p<0.05$ ); \*\*表示差异极显著 ( $p<0.01$ )。

由表 7 可知, 当混粉中马铃薯全粉添加量为 5~15%时, 混粉中马铃薯全粉的添加量、是否进行脱糖处理以及脱糖处理的方式对起始温度  $T_0$  的影响不显著 ( $p>0.05$ ), 起始温度  $T_0$  在 57.3~58.5 °C 范围内波动。当混粉中马铃薯全粉添加量为 20%~30%时, 未脱糖和纯水脱糖混粉的起始温度显著 ( $p<0.05$ ) 高于各乙醇脱糖处理组。

由表 8 可知, 当混粉中马铃薯全粉添加量为 5%~30%时, 混粉中马铃薯全粉的添加量、是否进行脱糖处理以及脱糖处理的方式对峰值温度  $T_p$  有一定影响,  $T_p$  在 59.1~65.2 °C 范围内波动。当混粉中纯水脱糖马铃薯全粉添加量为 5%时,  $T_p$  达最低值 59.1 °C, 且纯水脱糖组的峰值温度随马铃薯添加量的增长而上升; 未脱糖组、纯水脱糖组混粉的峰值温度整体高于其他组, 其中 5%、20%未脱糖马铃薯全粉-小麦粉混粉  $T_p$  相对较高, 分别为 65.1 °C 和 65.2 °C。

由表 9 可知, 当混粉中马铃薯全粉添加量, 混粉中未脱糖、纯水脱糖、25%乙醇脱糖、75%乙醇脱糖马铃薯全粉的添加量为 5%~30%时对终止温度  $T_c$  的影响不显著 ( $p>0.05$ )。而 50%乙醇脱糖马铃薯全粉-

小麦粉混粉的终止温度与马铃薯全粉的添加量正相关, 马铃薯添加量越大, 终止温度越高。30%马铃薯添加量条件下, 混粉的终止温度与马铃薯是否脱糖处理无关; 5%~20%马铃薯全粉添加量条件下, 未脱糖和纯水脱糖组混粉的终止温度要高于各乙醇脱糖组。

由表 10 可知, 当混粉中马铃薯全粉添加量为 10%~20%时, 混粉中不同脱糖处理组马铃薯全粉的添加量对  $\Delta H$  的影响不显著 ( $p>0.05$ )。当混粉中未脱糖马铃薯全粉添加量为 5%时,  $\Delta H$  最高, 为 1.35 J/g; 当混粉中纯水脱糖马铃薯全粉添加量为 30%时,  $\Delta H$  最低, 为 0.72 J/g。各乙醇处理组混粉热特性相对接近。

## 2.8 脱糖处理马铃薯全粉各指标间影响的相关性分析

由表 11 可知, 马铃薯全粉的持油力与  $\Delta H$  呈极显著正相关 ( $r=0.973$ ); 持水力与  $T_0$  和  $T_p$  呈显著负相关 ( $r=-0.923$ ,  $r=-0.933$ ), 和  $a^*$  呈极显著负相关 ( $r=-0.935$ ),  $a^*$  和  $T_0$  及  $T_p$  呈显著正相关 ( $r=0.832$ ,  $r=0.889$ ); 透光性与  $\Delta E$  呈显著正相关 ( $r=-0.848$ );  $a^*$ 、



$\Delta E$  和马铃薯全粉中可溶性糖含量呈显著负相关 ( $r=-0.819$ ,  $r=-0.857$ ),  $b^*$ 和马铃薯全粉中可溶性糖含量呈显著正相关 ( $r=-0.879$ )。由此可知, 马铃薯全粉中可溶性糖含量对色泽有显著影响, 进而对其透光性有一定影响。糊化温度越低的马铃薯全粉的持水力越高, 糊化所需能量越高的马铃薯全粉持油力最强。

### 3 结论

3.1 马铃薯全粉中可溶性糖含量对色泽有显著影响, 进而对其透光性有一定影响。脱糖处理可使马铃薯全粉的可溶性糖含量降低, 色泽更加洁白光亮。纯水和 25%乙醇对马铃薯全粉的脱糖效果要优于 50%、75%乙醇, 且能更好的保存蛋白质马铃薯全粉的原本风味物质, 适宜用作马铃薯全粉的脱糖溶剂。

3.2 马铃薯全粉的转变温度 ( $T_0$ 、 $T_p$ 、 $T_c$ ) 经纯水和 25%乙醇脱糖后均有所上升, 更不容易被糊化, 游离的淀粉含量变少, 持水力降低。马铃薯全粉的持油力与 $\Delta H$ 呈极显著正相关, 纯水脱糖后马铃薯全粉的持油力、 $\Delta H$ 有所上升。虽然 25%乙醇脱糖组脱糖效率最高, 但纯水脱糖组色泽和透光率更好且蛋白质保存率更高。

3.3 经纯水脱糖后, 马铃薯全粉的可溶性糖脱除率为 45.77%, 蛋白质保存率为 93.32%, 透光率为 96.09%, 持水性和持油性分别为 4.67 g/g 和 1.79 g/g, 起始温度  $T_0$ 、峰值温度  $T_p$ 、终止温度  $T_c$  分别为 56.8 °C、65.0 °C 和 65.6 °C, 热焓 $\Delta H$ 为 1.35 J/g。

3.4 由于马铃薯全粉的持水力远大于小麦粉, 未脱糖的马铃薯全粉-小麦混粉持水力会随马铃薯全粉的比例增高而逐渐上升, 当混粉中马铃薯全粉的含量超过一定范围, 制作面条就会出现不易成型、煮制断条等情况。而经纯水脱糖的马铃薯全粉持水率低, 纯水脱糖后马铃薯全粉-小麦混粉持水力基本不受马铃薯全粉添加量限制, 持油力、透光性、热特性等加工特性指标同样维持在与小麦粉接近且较为稳定的数值范围内, 混粉色泽和透光性也所有提升。综上所述, 纯水脱糖有助于改良马铃薯全粉-小麦混粉品质。

### 参考文献

- [1] 王胜男. 马铃薯全粉性质和应用性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2018  
WANG Sheng-nan. Study on the properties and application properties of potato powder [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2018
- [2] Arun K B, Chandran J, Dhanya R, et al. A comparative evaluation of antioxidant and antidiabetic potential of peel (C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

from young and matured potato [J]. Food Bioscience, 2015, 9: 36-46

- [3] Tierno R, Hornero-méndez D, Gallardo-guerrero L, et al. Effect of boiling on the total phenolic, anthocyanin and carotenoid concentrations of potato tubers from selected cultivars and introgressed breeding lines from native potato species [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 41: 58-65
- [4] 侯飞娜, 木泰华, 孙红男, 等. 马铃薯全粉品质特性的主成分分析与综合评价[J]. 核农学报, 2015, 29(11): 2130-2140  
HOU Fei-na, MU Tai-hua, SUN Hong-nan, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation on quality characteristics of potato flour [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(11): 2130-2140
- [5] 蔡沙, 隋勇, 施建斌, 等. 马铃薯馒头的制备工艺研究[J]. 食品工业, 2018, 39(9): 140-143  
CAI Sha, SUI Yong, SHI Jian-bin, et al. Study on preparation of potato steamed bread [J]. Food Industry, 2018, 39(9): 140-143
- [6] 施建斌, 隋勇, 蔡沙, 等. 马铃薯全粉面条的制备工艺研究[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(24): 132-135, 142  
SHI Jian-bin, SUI Yong, CAI Sha, et al. Preparation technology of white-noodles from milled potato [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2018, 57(24): 132-135, 142
- [7] 张伟君, 钟耀广. 紫马铃薯全粉对马芬蛋糕质构性能和感官品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(18): 211-214, 220  
ZHANG Wei-jun, ZHONG Yao-guang. Influence of purple potato powders on the physical properties and sensory qualities of muffin cake [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(18): 211-214, 220
- [8] Liu X, Mu T, Yamul K D, et al. Evaluation of different hydrocolloids to improve dough rheological properties and bread quality of potato-wheat flour [J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(6): 1597-1607
- [9] Joshi A, Sagar V R, Sharma S, et al. Potentiality of potato flour as humectants (anti-staling agent) in bakery product: muffin [J]. Potato Research, 2018, 61(2): 115-131
- [10] 王远辉, 赵靖雯. 马铃薯全粉添加量对挂面品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(8): 24-29  
WANG Yuan-hui, ZHAO Jing-wen. Effect of additive amount of potato granules on the quality of fine dried noodles [J]. Cereals and Oils, 2019, 32(8): 24-29
- [11] 张丹. 马铃薯-小麦混合粉面团品质改良及其酥性饼干的研制[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2017  
ZHANG Dan. Quality improvement of potato flour on

- properties of wheat flour dough and its development of biscuits [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2017
- [12] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007:54-58.  
CAO Kang-jian, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Physiological and Biochemical Experiment Guidance for Fruits and Vegetables After Harvest [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 54-58.
- [13] Morris W L, Shepherd T, Verrall S R, et al. Relationships between volatile and non-volatile metabolites and attributes of processed potato flavor [J]. Phytochemistry, 2010, 71(14-15): 1765-1773
- [14] 普红梅,杨万林,李燕山,等.两种干燥方式对马铃薯全粉营养品质和加工特性的影响[J].食品工业科技,2019,40(19):41-48  
PU Hong-mei, YANG Wan-lin, LI Yan-shan, et al. Influence of two drying processes on nutritional quality and processing characteristics of potato flours [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(19): 41-48
- [15] 岳静,朱志成,曹贺.不同品种马铃薯全粉基本特性的研究[J].饲料研究,2012,10:81-83  
YUE Jing, ZHU Zhi-cheng, CAO He. Study on the basic characteristics of different potato varieties [J]. Feed Research, 2012, 10: 81-83
- [16] 汪兰,任斯忱,杜欣,等.不同品种马铃薯淀粉物化特性与组成结构的关系[J].食品科学,2010,31(21):39-44  
WANG Lan, REN Si-chen, DU Xin, et al. Characterization and correlation analysis of physico-chemical properties of starch from different potato cultivars [J]. Food Science, 2010, 31(21): 39-44
- [17] 武晓琳.分子量对海参岩藻聚糖硫酸酯活性和消化吸收的影响研究[D].青岛:中国海洋大学,2011  
WU Xiao-lin. Study on the activity and absorption characteristic of sea cucumber fucoidan and its partially degradation products [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011
- [18] 赵泽伟,丁筑红,许培振,等.基于SPME-GC-MS和电子鼻分析方法分析薏仁饮料贮藏过程风味化合物变化[J].食品科学,2018,39(14):276-281  
ZHAO Ze-wei, DING Zhu-hong, XU Pei-zhen, et al. Change of flavor compounds in coix seed beverage during storage analyzed by SPME-GC-MS and electronic nose [J]. Food Science, 2018, 39(14): 276-281
- [19] 纪祥洲,李亮,桑志成,等.电子鼻检测冻藏草莓品质研究[J].中国农学通报,2014,30(36):304-309  
JI Xiang-zhou, LI Liang, SANG Zhi-cheng, et al. Discriminating the quality of frozen stored strawberries by electronic nose [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(36): 304-309
- [20] 郑开迪,梁杉,张敏,等.添加马铃薯全粉对面条挥发性风味化合物的影响[J].食品科学,2020,41(6):239-245  
ZHENG Kai-di, LIANG Shan, ZHANG Min, et al. Effects of potato flour on volatile flavor compounds in noodles [J]. Food Science, 2020, 41(6): 239-245
- [21] 马梦苹,张来林,王彦波,等.马铃薯全粉和小麦粉基本特性的对比研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2016,37(6):52-56  
MA Meng-ping, ZHANG Lai-lin, WANG Yan-bo, et al. The comparison of basic characteristics of potato and wheat flour [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2016, 37(6): 52-56
- [22] 陈德文,沈伊亮,吴鹏,等.米发糕蒸煮工艺对大米淀粉颗粒特性的影响研究[J].食品科学,2009,30(10):114-117  
CHEN De-wen, SHEN Yi-liang, WU Peng, et al. Effect of steaming process on characteristics of starch granule in steamed rice sponge cake [J]. Food Science, 2009, 30(10): 114-117
- [23] 刘婷.酶法制备木薯抗性淀粉及形成机理研究[D].南宁:广西大学,2012  
LIU Ting. Study on enzymatic preparation of cassava starch and mechanism [D]. Nanning: Guangxi University, 2012
- [24] Hera E D L, Martinez M, Gómez M. Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 54(1): 199-206
- [25] 闫巧珍.马铃薯全粉理化性质和消化特性的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2017  
YAN Qiao-zhen. Study on physicochemical properties and digestibility of potato granules [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2017
- [26] 仇干,胥心,邓云.紫马铃薯全粉-小麦粉混粉的理化特性研究[J].食品研究与开发,2017,38(3):15-19  
QIU Gan, XU Xin, DENG Yun. Study on physicochemical properties of purple potato powder and wheat flour blends [J]. Food Research and Development, 2017, 38(3): 15-19