

不同处理方式对紫甘薯全粉面品质的改良效果

范会平^{1,2}, 吴丹¹, 艾志录^{1,2}, 司艺蕾¹, 侯冰洁¹, 张波波¹

(1. 河南农业大学食品科学技术学院, 河南郑州 450002)

(2. 农业农村部大宗粮食加工重点实验室, 河南郑州 450002)

摘要: 本研究通过考察紫甘薯全粉面蒸煮损失率、微观结构、流变学特性及抗性淀粉含量的变化, 探讨加工过程中蒸制、老化和冷冻等处理条件对紫甘薯全粉面品质的影响。结果表明, 经蒸制、老化或冷冻处理后, 挤压制备紫甘薯全粉面的蒸煮损失率、抗性淀粉含量、微观结构及流变学特性均发生了变化。在老化时间为 2~4 h 时, 紫甘薯全粉面中抗性淀粉含量从 3.01% 增加至 4.02%, 老化时间的进一步延长则对抗性淀粉含量无显著影响; 在蒸制时间为 3~5 min 范围内, 抗性淀粉含量由 3.41% 增加至 4.82%, 而在 5 min~11 min 范围内则从 4.82% 降至 2.40%。处理方式对紫甘薯全粉面表面微观结构变化影响显著, 适宜的蒸制、老化或冷冻处理可以改善紫甘薯全粉面的微观结构, 但处理时间过长反而导致其结构被破坏。未经处理的紫甘薯全粉面其储能模量和损耗模量得值均明显高于经过不同处理的紫甘薯全粉面, 且其储能模量均明显高于损耗模量, 弹性模量占主导地位。因此, 适宜的蒸制、老化和冷冻等处理可以有效改善紫甘薯全粉面的整体品质。

关键词: 紫甘薯全粉面, 处理方式, 微观结构, 动态流变学, 抗性淀粉

文章编号: 1673-9078(2021)04-149-156

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.4.0873

Effects of Different Treatment Methods on Improving the Quality of Purple Sweet Potato Noodles

FAN Hui-ping^{1,2}, WU Dan¹, AI Zhi-lu^{1,2}, SI Yi-lei¹, HOU Bing-jie¹, ZHANG Bo-bo¹

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China) (2. Key Laboratory of Staple Grain Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhengzhou 450002, China)

Abstracts: In this study, the changes of cooking loss rate, microstructure, rheological properties and resistant starch content of purple sweet potato flour were investigated to explore the effects of steaming, aging and freezing treatment on the quality of purple sweet potato noodle. The results showed that the cooking loss rate, resistant starch content, microstructure and rheological properties of purple sweet potato noodle prepared by extrusion changed under different treatment conditions including steaming, aging and freezing. The content of resistant starch gradually increased from 3.01% to 4.02% under 2 to 4 h aging treatment, but it remained unchanged with the further increasing of aging time. In the first 3 to 5 min, the content of resistant starch increased from 3.41% to 4.82% with the increase of steaming time, however, it decreased from 4.82% to 2.40% when the steaming time increased from 5 min to 11 min. Under different treatment conditions, the surface microstructure of purple sweet potato powder changed obviously, suitable steaming, aging or freezing treatment improved the microstructure of purple sweet potato noodle, but overtreatment also led to deterioration of the microstructure. The storage modulus and loss modulus of untreated purple sweet potato noodle were obviously higher than those of treated purple sweet potato noodle, and the storage modulus was obviously higher than the loss modulus, and the elastic modulus was dominant. Therefore,

引文格式:

范会平, 吴丹, 艾志录, 等. 不同处理方式对紫甘薯全粉面品质的改良效果[J]. 现代食品科技, 2021, 37(4): 149-156

FAN Hui-ping, WU Dan, AI Zhi-lu, et al. Effects of different treatment methods on improving the quality of purple sweet potato noodles [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(4): 149-156

收稿日期: 2020-09-19

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2016YFD0401303); 河南省高等学校重点科研项目(18B550004); 河南省薯类产品加工工艺与设备研发创新型科技团队(豫科人组[2017]6号)

作者简介: 范会平(1972-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏、功能活性成分开发与应用

通讯作者: 艾志录(1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品精深加工

suitable steaming, aging and freezing treatment can effectively improve the whole quality of purple sweet potato noodle.

Key words: purple sweet potato noodles; treatment methods; microstructure; dynamic rheology; resistant starch

紫甘薯富含丰富的营养物质,它不仅含有蛋白质、淀粉、膳食纤维、维生素等^[1],还富含硒、磷、铁、钙等人体必需的微量元素,以及花青素、黄酮、多酚、神经节苷脂、粘液蛋白和脱氢表雄酮等功能性成分,是一种药食两用的特有甘薯品种^[2]。紫甘薯全粉是由新鲜紫甘薯经过一系列的加工制备成的低含水量的粉末状紫甘薯颗粒,几乎含有紫甘薯全部的营养物质,克服了新鲜紫甘薯在贮藏过程中由于呼吸作用和酶的作用引起的发霉、腐烂等品质劣变而造成的贮藏期过短的问题^[3],而且还具有良好的复水性,在食品、工业等行业有着广泛的应用。

随着生活水平的提高,人们对食品的要求已经从解决温饱转变为对其营养保健价值的关注,如为了充分利用紫甘薯中的活性成分开发的紫薯饼干^[4]、紫薯米^[5]等。为了贯彻落实国家薯类主食化战略,促进薯类产业的持续健康发展,近年来关于甘薯主食类产品的开发研究也日益受到学者的关注^[6,7]。范会平等^[8]研究了仅以淀粉和全粉为原料,利用淀粉的糊化和老化特性来改善紫甘薯全粉面的品质,经过制芡、制备面团、老化和冻藏等工序,开发研制出品质良好、营养均衡的不含小麦粉的紫甘薯全粉面,紫甘薯全粉面和甘薯面包^[9]等产品的开发对于甘薯主食化推进具有重要意义。但对于紫甘薯全粉面制备过程中各工序参数变化是如何影响紫甘薯面条品质的这一问题,尚未进行深入探讨。

本文通过蒸制时间、老化时间、冷冻时间等在加工过程对紫甘薯全粉面感官评价、蒸煮特性、抗性淀粉、微观结构、糊化特性的影响,以进一步探究加工条件对紫甘薯全粉面品质的影响。

1 材料与方法

1.1 实验材料

紫甘薯全粉、甘薯淀粉:由河南天豫薯业股份有限公司提供;淀粉葡萄糖苷酶、 α -胰淀粉酶、葡萄糖购于博美试剂公司。

1.2 主要仪器与设备

HDGDWJ-150 高低温交变试验箱,上海恒鼎仪器设备厂;MT2-80 粉条机,天津市亦盛达机械厂;TA-XA PLUS 质构仪,英国 Stable Micro System 公司;DW-YL270 医用冷冻箱,中科美菱低温科技有限责任公司;

公司;ALPHA1 冷冻干燥机,德国 CHRIST 歌瑞斯特公司;DHR-2 动态流变仪,美国 TA 仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 紫甘薯全粉面制作

淀粉称量→制芡→调粉→蒸制→挤压成型→老化→冷藏→成品

按照质量比 2:8 的比例分别称取甘薯淀粉与紫甘薯全粉于一定容器中,先取一半淀粉并加入适量的水进行糊化制芡,然后将剩余的甘薯淀粉和紫甘薯全粉充分混合均匀,将芡糊倒入混合粉中进行揉搓直至均匀无明显干的紫甘薯全粉颗粒,以保鲜膜覆盖,醒发 15 min 后置于蒸锅中蒸制一定时间后,放入挤压机中挤压成型,将成型的面条置于 4 °C 条件下进行老化,老化结束再置于-18 °C 条件下冷冻至所需时间,取部分样品用于冷冻干燥,粉碎后进行抗性淀粉、微观结构和基础流变学测定,其余样品自然解冻后放置于鼓风干燥箱中干燥得紫甘薯面条成品。

1.3.2 紫甘薯全粉面品质评价方法

感官评价参照范会平等^[8]的方法及评价标准进行评价;蒸煮损失率参照范会平等^[8]的方法进行分析;质构分析参考潘治利等^[10]的方法进行分析;抗性淀粉参考 AOAC 2002.02 中方法测定紫甘薯面条中抗性淀粉的含量,并稍作调整^[11,12]。

1.3.3 紫甘薯面条微观结构分析

运用扫描电镜对紫甘薯面条微观结构进行观察,参考 Kim H J 等^[13]的方法并稍作修改,紫甘薯面条样品经冷冻干燥后,用手小心的将其折断,选取横截面比较整齐的紫甘薯面条样品,用黑色双面胶将其固定在载物台上,镀金机喷金后置于扫描电镜的载物腔内,用扫描电子显微镜于 400 倍下观察其微观结构。

1.3.4 紫甘薯面条冻干粉动态流变学分析

准确称取 1 g 紫甘薯面条冻干粉,加入 5 mL 的蒸馏水,涡旋振荡混匀后于动态流变仪测试平台上,采用振荡振幅模式,确定线性黏弹区和应变系数;测量扫描参数:平板直径 40 mm,温度 25 °C,频率 0.1~10 Hz,扫描紫甘薯全粉面粉末的动态流变学特性^[14]。

1.3.5 数据处理

实验数据采用 Excel 2013 数据处理软件、SPSS 16.0 软件以及 Design-Expert V.8.0.6 数据处理软件对数据进行处理并分析。

表 1 蒸煮、老化时间和冷冻时间对紫甘薯面条蒸煮品质和质构特性的影响

Table 1 Effects of steaming treatment, aging treatment and freezing treatment on the cooking properties and texture characteristics

加工条件		感官评分/分	蒸煮损失率/%	硬度/g	粘合性	弹性	凝聚性	胶着性/g	咀嚼性/g	回复性
蒸制时间/min	3	81.40±0.82 ^b	4.47±0.05 ^b	79.88±4.11 ^c	-4.71±0.41 ^a	0.90±0.00 ^a	0.77±0.02 ^a	61.67±4.7 ^b	55.75±4.12 ^b	0.37±0.02 ^c
	5	86.03±1.38 ^a	4.15±0.06 ^c	70.33±1.31 ^d	-4.60±1.15 ^a	0.92±0.02 ^a	0.80±0.00 ^a	56.30±1.06 ^b	51.58±1.21 ^b	0.39±0.02 ^{bc}
	7	78.17±0.35 ^c	4.34±0.10 ^{bc}	80.34±5.16 ^c	-7.67±0.94 ^a	0.93±0.02 ^a	0.82±0.01 ^a	65.71±3.51 ^b	60.83±4.54 ^b	0.42±0.01 ^b
	9	74.53±1.83 ^d	4.42±0.26 ^b	95.38±4.08 ^b	-8.08±5.08 ^a	0.92±0.03 ^a	0.82±0.03 ^a	78.13±6.32 ^a	71.92±7.57 ^a	0.46±0.01 ^a
	11	69.97±2.23 ^e	5.60±0.03 ^a	110.14±8.13 ^a	-10.33±2.39 ^a	0.93±0.01 ^b	0.80±0.03 ^a	87.90±9.25 ^a	81.40±84.49 ^a	0.48±0.03 ^a
老化时间/h	2	79.67±1.23 ^b	5.05±0.08 ^c	81.98±2.43 ^c	-8.85±1.56 ^b	0.88±0.03 ^b	0.82±0.03 ^a	66.79±3.00 ^c	58.85±0.84 ^c	0.43±0.02 ^a
	4	85.70±1.47 ^a	4.36±0.76 ^e	73.70±3.38 ^d	-3.38±1.01 ^a	0.91±0.02 ^a	0.80±0.02 ^a	59.07±1.44 ^d	54.03±1.16 ^d	0.41±0.04 ^a
	6	80.27±0.68 ^b	4.78±0.05 ^d	87.15±1.02 ^{bc}	-5.33±1.94 ^a	0.89±0.02 ^a	0.81±0.03 ^a	70.86±2.21 ^{bc}	63.38±1.63 ^{bc}	0.45±0.03 ^a
	8	75.16±0.49 ^c	5.47±0.07 ^b	89.37±0.28 ^b	-8.95±2.34 ^b	0.90±0.04 ^b	0.82±0.02 ^a	73.03±1.86 ^b	65.95±4.03 ^b	0.44±0.01 ^a
	10	72.10±0.75 ^d	7.31±0.02 ^a	98.69±7.00 ^a	-9.05±1.52 ^b	0.91±0.03 ^b	0.80±0.05 ^a	78.45±3.76 ^a	71.30±3.65 ^a	0.44±0.01 ^a
冷冻时间/h	16	78.47±1.28 ^c	5.41±0.10 ^c	90.24±5.90 ^b	-4.66±1.71 ^a	0.91±0.03 ^a	0.78±0.04 ^a	70.33±3.41 ^b	64.25±2.43 ^{ab}	0.38±0.03 ^a
	18	82.43±0.93 ^b	5.26±0.07 ^d	83.43±2.94 ^{bc}	-4.41±0.44 ^a	0.91±0.04 ^a	0.80±0.00 ^a	66.79±2.20 ^{bc}	60.96±4.58 ^b	0.42±0.03 ^a
	20	86.13±0.42 ^a	4.95±0.14 ^d	78.35±1.57 ^c	-4.27±0.08 ^a	0.83±0.03 ^a	0.79±0.00 ^a	62.00±0.72 ^c	51.46±1.74 ^c	0.41±0.01 ^a
	22	79.57±1.15 ^c	6.10±0.11 ^b	88.14±2.54 ^b	-5.20±0.89 ^a	0.90±0.05 ^a	0.78±0.02 ^a	68.78±0.63 ^b	62.15±3.49 ^{ab}	0.42±0.04 ^a
	24	75.30±1.47 ^d	6.29±0.86 ^a	100.80±6.54 ^a	-5.61±0.40 ^a	0.87±0.00 ^a	0.77±0.02 ^a	78.31±5.49 ^a	68.42±4.76 ^a	0.43±0.04 ^a

注：同列数据中不同字母表示同一处理方式不同处理时间试验数据之间存在显著性差异， $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 处理条件对紫甘薯面条蒸煮品质和质构特性的影响

表1反映的是不同的处理条件对紫甘薯全粉面的蒸煮品质和质构特性的影响。由表中可以看出, 蒸制时间对紫甘薯全粉面的感官、蒸煮损失率、硬度、胶着性、咀嚼性和回复性影响显著, 而对弹性、凝聚性等质构特性变化影响不显著。当蒸制时间在3~5 min范围内, 紫甘薯全粉面感官评分呈现上升趋势, 而蒸煮损失率、硬度和胶着性和咀嚼性呈下降趋势; 在5~11 min内, 紫甘薯全粉面感官评分呈下降趋势, 蒸煮损失率、硬度和胶着性和咀嚼性则呈上升趋势。由于紫甘薯全粉面中不含有面筋蛋白, 在紫甘薯全粉面的工艺生产过程中很难形成弹性良好的连续网络结构, 易造成成品断条率、蒸煮损失过高等现象。而采用蒸制处理工艺可以有效利用淀粉的糊化作用改善紫甘薯全粉面品质的形成, 由于紫甘薯全粉加工过程中淀粉并未完全糊化, 随着蒸制时间的延长, 紫甘薯全粉面中未糊化的淀粉开始发生糊化作用, 淀粉经糊化形成凝胶特性结构, 并与蛋白质发生交联作用从而形成致密的结构, 使面条耐煮能力增强, 蒸煮损失降低, 从而提高紫甘薯全粉面的品质^[15]。但是随着蒸制时间的延长, 紫甘薯全粉面中淀粉充分糊化, 淀粉颗粒体积进一步膨胀, 晶体结构被破坏, 完全糊化的淀粉反而在煮制过程中更易从面条表面脱落, 导致蒸煮损失增加, 进而造成紫甘薯全粉面条品质的下降^[16]。李晶等^[17]在研究蒸制对冷冻荞麦面品质影响时也发现, 适度的蒸制预处理可以改善冷冻荞麦面的品质, 蒸制时间过长反而使其品质下降。

老化时间对紫甘薯全粉面的感官、蒸煮损失率、硬度、粘合性、胶着性、咀嚼性的影响显著, 对弹性、凝聚性和回复性影响不显著。当老化时间在2~4 h范围内, 紫甘薯全粉面的感官评分、蒸煮损失率、硬度、粘合性、胶着性、咀嚼性含量呈上升趋势, 蒸煮损失率呈下降趋势; 在4~10 h范围内, 感官评分、蒸煮损失率、硬度、粘合性、胶着性、咀嚼性随着老化时间的增加呈下降趋势, 蒸煮损失率则呈上升趋势。在老化初始阶段, 由于淀粉的回生作用, 已经糊化的淀粉的微晶束结构发生重排, 淀粉分子链间由于氢键的相互吸引形成有序排列, 淀粉分子重新结晶形成有规则的晶体结构, 凝胶弹性不断增大^[18], 紫甘薯全粉面蒸煮损失率下降, 感官品质上升, 紫甘薯全粉面品质得

以改善。但随着老化时间的延长, 紫甘薯全粉面中支链淀粉老化程度不断加剧, 晶体重排的进一步发生反而使紫甘薯全粉面内部结构被破坏, 造成紫甘薯全粉面品质的下降。

冷冻时间对紫甘薯全粉面的感官评价、蒸煮损失率、硬度、胶着性和咀嚼性有显著影响, 对粘合性、弹性、凝聚性和回复性影响则不显著。当冷冻时间在16~20 h范围内, 紫甘薯全粉面的感官评分呈上升趋势, 蒸煮损失率、硬度、胶着性和咀嚼性呈下降趋势; 随着冷冻时间的进一步延长(20~24 h), 感官评分反而下降, 蒸煮损失率、硬度、胶着性和咀嚼性则呈上升趋势。这是因为冷冻不仅会促进淀粉老化反应的进一步发生, 使面条表面形成的网络结构更加致密, 在冷冻初期形成的微小冰晶还有助于紫甘薯面条微孔结构的形成, 二者均有利于增加紫甘薯全粉面本身的持水性, 提高紫甘薯面条品质; 随着冷冻时间的继续延长, 不断增大的冰晶会使得面条内部孔洞变大, 破坏淀粉的凝胶结构, 从而引起紫甘薯全粉面品质的下降^[19]。

2.2 处理方式对紫甘薯全粉面中抗性淀粉的影响

抗性淀粉形成是一个淀粉的糊化至老化的过程, 相对于支链淀粉含量高的样品, 在相同的处理条件下, 直链淀粉含量高的淀粉其抗性淀粉的生成率更高^[20,21], 因而抗性淀粉含量的高低可以表征晶体结构的强弱。由图1a可知, 蒸制时间对紫甘薯全粉面中抗性淀粉含量的影响显著。随着蒸制时间的延长, 抗性淀粉含量呈先上升后下降, 当蒸制时间在3~5 min范围内, 紫甘薯全粉面中抗性淀粉含量随蒸制时间增加呈显著上升趋势; 而在5~11 min范围内, 抗性淀粉含量随着蒸制时间增加反而呈下降趋势。这可能是由于蒸制能促进淀粉分子吸水膨胀并糊化, 加快了后序老化过程中糊化淀粉分子重新排列组合形成淀粉晶体结构的速率, 进而提高了抗性淀粉的含量^[22]; 但是蒸制时间过长可能会导致淀粉分子发生降解, 产生相对分子量较小的短链直链淀粉, 从而影响抗性淀粉的生成, 使抗性淀粉含量降低^[23]。

由图1b可以看出, 随着老化时间的延长, 紫甘薯全粉面中抗性淀粉含量逐渐增大, 在8~10 h时曲线逐渐趋于平稳。这可能是由于抗性淀粉的生成主要是直链淀粉分子之间的聚集引起的重结晶过程造成的^[22], 虽然在低温的条件下淀粉晶核的生成速度加快, 但在长时间的低温环境中, 紫甘薯全粉面的粘稠度增大会使得晶体的生长速度减慢, 因此随着老化时间的

进一步延长紫甘薯全粉面中抗性淀粉含量趋于稳定。肖永霞等^[24]在研究老化条件对抗性淀粉形成的影响时也发现了类似的现象。

图 1c 结果显示, 冷冻处理对紫甘薯全粉面中抗性淀粉含量有显著的影响。当冷冻时间在 16~20 h 范围内时, 紫甘薯全粉面中抗性淀粉含量随冷冻时间延长呈上升趋势, 在 20 h 达到最高, 而冷冻时间在 20~24 h 期间, 抗性淀粉含量随冷冻时间增加反而呈下降趋势。这可能是由于低温冷冻可以促进抗性淀粉中晶核的生成, 进而加快抗性淀粉生成速率, 因此随着冷冻时间的延长, 抗性淀粉含量逐渐上升, 但是随着冷冻时间的进一步延长, 持续的低温反而会阻碍淀粉分子的移动, 从而阻断淀粉的回生。

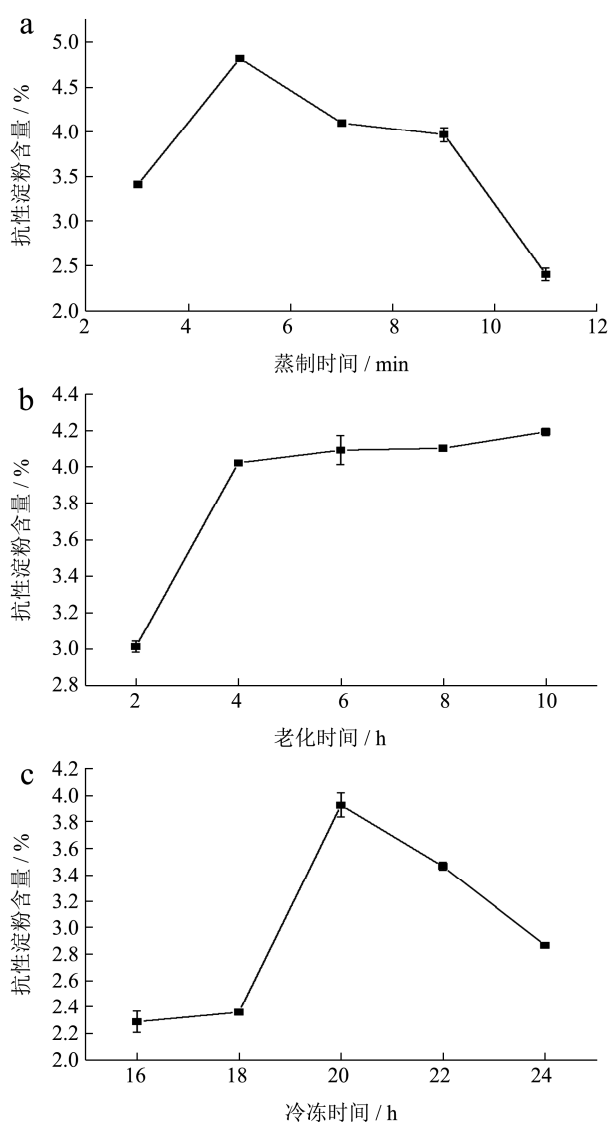


图 1 不同处理条件对紫甘薯全粉面的抗性淀粉含量的影响

Fig.1 Effects of different treatment conditions on the content of resistant starch

注: a 为蒸制处理, b 为老化处理, c 为冷冻处理。

2.3 处理条件对紫甘薯全粉面中微观结构的影响

图 2a~2e 为分别对不同蒸制处理时间制备的紫甘薯全粉面的扫描电镜图。从扫描电镜图上可以看出, 不同蒸制时间制备的紫甘薯全粉面表面微观结构存在明显差异。在前 3~5 min, 紫甘薯全粉面表面结构逐渐由疏松变得致密, 在蒸制时间为 5 min 时候, 表面结构最为致密; 但是随着蒸制时间的延长, 紫甘薯全粉面表面结构逐渐由致密转为疏松, 在蒸制时间为 11 min 时候表面结构明显出现孔洞增多, 表面极不平整。这可能是由于在蒸制初始阶段, 紫甘薯全粉面表面淀粉部分糊化, 使其结构逐渐变得致密; 但当紫甘薯全粉面中淀粉充分糊化后, 进一步延长蒸煮时间反而使得原本紫甘薯全粉面表面已经完全糊化的淀粉由于过度吸水而结合能力减弱, 从而导致能够维持紫甘薯全粉面致密结构的结合力变弱, 微观结构发生变化。

图 2f~2j 是经不同老化时间处理的紫甘薯全粉面扫描电镜图, 由图中可以看出, 不同老化时间处理后紫甘薯全粉面表面微观结构存在一定差异, 老化初始阶段, 紫甘薯全粉面表面结构逐渐致密, 这可能是由于经蒸制后糊化的淀粉在 4 °C 条件下发生分子重排, 形成具有一定凝胶结构的晶体, 使得内部结构变得光滑致密, 在老化时间为 4 h 的时候可以看到紫甘薯全粉面表面结构光滑紧密; 随着老化的继续进行, 老化形成的晶体重排作用使得紫甘薯全粉面本身的结构遭到破坏, 使其呈现无规则聚集状态, 导致其表面结构更加松散, 因而在老化时间达到 10 h 时, 紫甘薯全粉面断面结构出现明显劣化。

图 2k~2o 是经不同冷冻时间处理的紫甘薯全粉面扫描电镜微观结构图, 从图像上可以看出, 不同冷冻时间处理后的紫甘薯全粉面表面微观结构存在差异。在冷冻时间为 16 h 到 20 h 范围内, 由于冷冻会促进老化反应的进一步发生, 使糊化淀粉形成具有一定凝胶特性的晶体结构, 同时由于冷冻过程中紫甘薯面条内部微小冰晶的形成, 使得面条表面孔洞减少, 结构更加致密光滑, 在冷冻时间为 20 h 时候紫甘薯全粉面表面最为致密, 随着冷冻时间的继续延长, 不断增大的冰晶会破坏紫甘薯全粉面的淀粉凝胶结构^[25], 进而影响了紫甘薯全粉面自身的承压结构, 在冷冻时间为 24 h 时可以明显看出紫甘薯全粉面表面结构遭到破坏, 呈现出无规则结构状态。

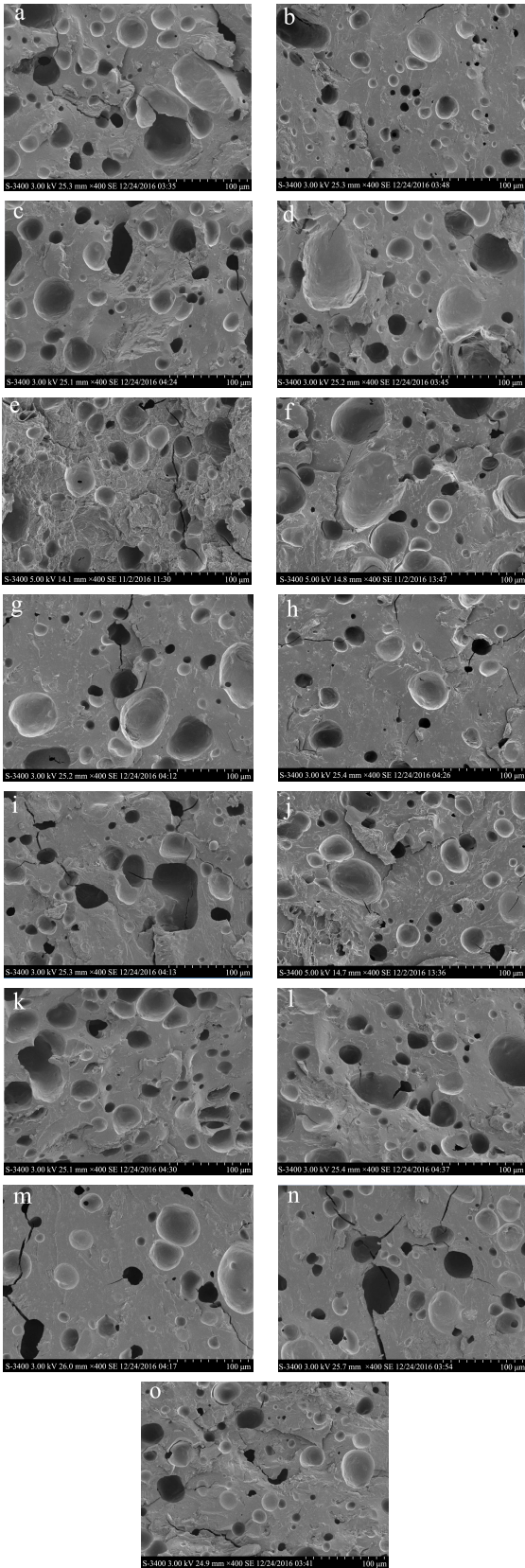


图2 处理条件对紫甘薯全粉面条微观结构影响

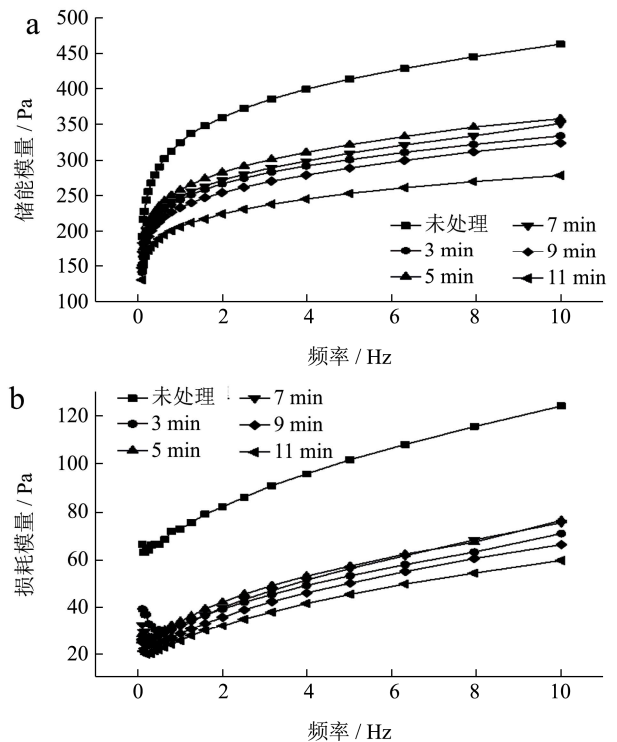
Fig.2 Effect of treatment conditions on microstructure of purple sweet potato noodle

注: a~e 为蒸制时间分别为 3、5、7、9、11 min 的紫甘薯全粉面的扫描电镜图像; f~j 为老化时间分别为 2、4、6、8、

10 h 的紫甘薯全粉面的扫描电镜图像; k~o 为冷冻时间分别为 16、18、20、22、24 h 的紫甘薯全粉面的扫描电镜图像。

2.4 处理条件对冻干紫甘薯全粉面条粉动态流变学特性的影响

在食品加工中, 动态流变学特性可以从侧面反映出来食品所形成的凝胶强度强弱, 与产品最终的品质直接相关^[26]。蒸制处理对紫甘薯全粉面的储能模量 (G') 和损耗模量 (G'') 的影响如图 3 所示。由图中可见, 蒸制、老化和冷冻处理均使得冻干紫甘薯全粉面条粉的储能模量和损耗模量均低于未处理, 所有样品的储能模量 G' 均大于损耗模量 G'' , 随着处理时间增加, 储能模量随着频率的增大呈增加趋势, 而损耗模量则呈现先降低后升高的趋势。蒸制过程由于淀粉糊化形成凝胶结构使其持水性增加, 粘弹性提高。但是淀粉完全糊化后, 过度蒸制造成的紫甘薯全粉面条中淀粉晶体结构破坏, 反而使其吸水性降低, 粘弹性下降, 储能模量和损耗模量也随之下降; 而老化反应对紫甘薯全粉面条空间结构的改善, 增加了面条的持水性, 从而提高面条的粘弹性。但是老化时间导致的面条结构的崩塌反而降低了面条的粘弹性, 引起储能模量和损耗模量的下降; 冷冻过程则是由于紫甘薯全粉面中微小冰晶的生长, 阻碍了其水分迁移, 从而增强了面条的持水性, 并使其粘弹性提高。但是随着冷冻时间过长造成面条承压结构的破坏反而面条粘弹性降低, 储能模量和损耗模量下降。



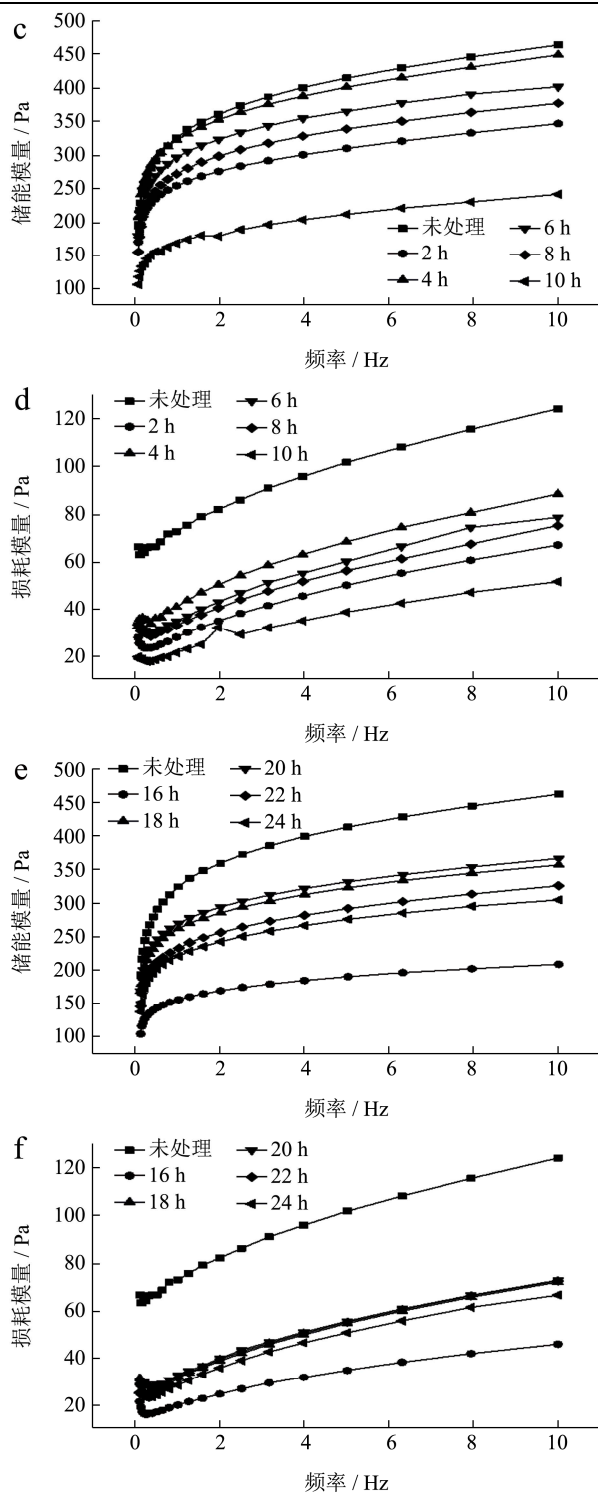


图3 不同处理条件对紫甘薯全粉面的流变学特性的影响

Fig.3 Effects of different treatment conditions on the rheological property of sweet potato noodles

注: a、b 为蒸制处理; c、d 为老化处理; e、f 为冷冻处理。

3 结论

蒸制、老化和冷冻处理对紫甘薯面条感官评价和蒸煮损失率、硬度、咀嚼性和抗性淀粉含量等均有显

著影响。在老化时间为 2~4 h 时, 紫甘薯全粉面中抗性淀粉含量从 3.01% 增加至 4.02%, 老化时间的进一步延长则对抗性淀粉含量无显著影响; 在蒸制时间为 3~5 min 范围内, 抗性淀粉含量由 3.41% 增加至 4.82%, 而在 5 min~11 min 范围内则从 4.82% 降至 2.40%。蒸制、老化和冷冻处理使得紫甘薯全粉面的微观结构和流变学特性均发生显著性变化, 适当的蒸制、老化和冷冻处理可以有效改善紫甘薯全粉面的组织结构, 使其整体品质得到改善。蒸制、老化和冷冻处理均使得紫甘薯全粉面冻干粉的储能模量和损耗模量均呈现先上升后下降的趋势。

参考文献

[1] 杨巍,黄洁琼,陈英,等.紫薯的营养价值与产品开发[J].农产品加工·学刊,2011,8:41-43
 YANG Wei, HANG Jie-qiong, CHEN Ying, et al. Nutritional value and product development of purple sweet potato [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2011, 8: 41-43

[2] 陈国权,李文婧,赵兵,等.紫薯养生保健价值分析[J].宁夏农林科技,2012,53(7):74-75
 CHEN Guo-qian, LI Wen-jing, ZHAO Bing, et al. Research on health preserving and health care value of *Solanum tuberosum* [J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2012, 53(7): 74-75

[3] 郁志芳,夏志华,陆兆新.鲜切甘薯酶促褐变机理的研究[J].食品科学,2005,26(5):54-59,26
 YU Zhi-fang, XIA Zhi-hua, LU Zhao-xin. Enzymatic browning mechanism of freshcut sweet potatoes (*Ipomoea batatas*) [J]. Food Science, 2005, 26(5): 54-59, 26

[4] 孙玉清,田文静,朱建晨.紫薯曲奇饼干品质和加工工艺研究[J].中国食物与营养,2019,12:29-33
 SUN Yu-qing, TIAN Wen-jing, ZHU Jian-chen. Quality and processing technology of purple sweet potato cookies [J]. Food and Nutrition in China, 2019, 12: 29-33

[5] 王洁洁,邵子晗,韩晶,等.挤压重组紫薯米工艺优化及其抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2020,41(8):137-142,150
 WANG Jie-jie, SHAO Zi-han, HAN Jing, et al. Optimization of process parameters and antioxidant activity of extrusion recombinant purple sweet potato rice [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(8): 137-142, 150

[6] 张永清.紫薯猕猴桃双色饼干的研制[J].粮食与油脂,2020,33(8):23-26
 ZHANG Yong-qing. Preparation of double color cookies with purple sweet potato and kiwi [J]. Cereals & Oils, 2020,

- 33(8): 23-26
- [7] 翟丽丽. 响应面法优化富硒番薯面包的工艺[J]. 粮食与油脂, 2019,32(12):46-48
ZHAI Li-li. Optimization of the process of selenium-enriched sweet potato bread by response surface method [J]. Cereals & Oils, 2019, 32(12): 46-48
- [8] 范会平,陈月华,王娜,等. 紫薯全粉面加工工艺的优化[J]. 食品与发酵工业,2017,2:154-160
FAN Hui-ping, CHEN Yue-hua, WANG Na, et al. Optimization of the process of purple sweet potato noodles [J]. Food and Fermentation Industry, 2017, 2: 154-160
- [9] Azeem Muhammad,Tai-Hua Mu, Zhang Miao. Influence of particle size distribution of orange-fleshed sweet potato flour on dough rheology and simulated gastrointestinal digestion of sweet potato-wheat bread [J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 131: 109690
- [10] 潘治利,王涛,王娜,等. 冷冻熟制面条保温加热及速冻节能加工工艺[J]. 农业工程学报,2015,31(6):311-318
PAN Zhi-li, WANG Tao, WANG Na, et al. Residual heat and quick-freezing energy saving technologies of frozen cooked noodles [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(6): 311-318
- [11] Koxsel H, Ozturk S, Kahraman K, et al. Evaluation of molecular weight distribution, pasting and functional properties, and enzyme resistant starch content of acid-modified corn starches [J]. Food Science & Biotechnology, 2008, 17(17): 755-760
- [12] Mccleary B V, McNally M, Rossiter P. Measurement of resistant starch by enzymatic digestion in starch and selected plant materials: collaborative study [J]. Journal of Aoac International, 2002, 85(5): 1103-1111
- [13] Kim H J, Morita N, Lee S H, et al. Scanning electron microscopic observations of dough and bread supplemented with *Gastrodia elata* Blume powder [J]. Food Research International, 2003, 36(4): 387-397
- [14] 刘俊飞,汤晓智,扈战强,等. 外源添加面筋蛋白对小麦面团热机械学和动态流变学特性的影响研究[J]. 现代食品科技, 2015,2:133-137
LIU Jun-fei, TANG Xiao-zhi, HU Zhan-qiang, et al. Effect of added exogenous wheat gluten on thermomechanical and dynamic rheological properties of wheat flour dough [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 2: 133-137
- [15] 闫喜梅,胡新中,李俊俊,等. 水分含量对燕麦淀粉糊化老化特性影响的研究[J]. 中国粮油学报,2015,30(4):27-32
YAN Xi-mei, HU Xin-zhong, LI Jun-jun, et al. Effects of moisture content on the gelatinization and retrogradation of oat starch [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(4): 27-32
- [16] 梁勇,张本山,杨连生,等. 玉米淀粉颗粒的膨胀历程及结构特征研究[J]. 粮油食品科技,2003,11(5):5-7
LIANG Yong, ZHANG Ben-shan, YANG Lian-sheng, et al. Study on swelling process and structure characterization of corn starch granules [J]. Science and Technology of Cereal, Oils and Foods, 2003, 11(5): 5-7
- [17] 李晶,骆丽君,郭晓娜,等. 蒸制对冷冻荞麦熟面品质的影响研究[J]. 中国粮油学报,2016,31(2):9-12,22
LI Jing, LUO Li-jun, GUO Xiao-na, et al. The effect of steaming on the quality of frozen cooked buckwheat noodles [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 31(2): 9-12, 22
- [18] 刘成梅,王日思,罗舜菁,等. 两种分子质量大豆可溶性膳食纤维对大米淀粉老化性质的影响[J]. 中国食品学报,2019, 19(10):110-116
LIU Cheng-mei, WANG Ri-si, LUO Shun-jing, et al. Effect of soybean soluble dietary fibers of different molecular weight on retrogradation properties of rice starch [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(10): 110-116
- [19] 贺平,朱鸿帅,常晓红,等. 低温和超低温冷冻对糯米淀粉凝胶老化特性的影响[J]. 食品工业科技,2016,37(22):99-102
HE Ping, ZHU Hong-shuai, CHANG Xiao-hong, et al. Effect of low and ultralow-temperature freezing on retrogradation properties of waxy rice starch gel [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(22): 99-102
- [20] 石劭,李辉,李慧,等. 食物中的抗性淀粉含量及烹调加工的影响[J]. 营养学报,2005,27(5):366-369
SHI Mai, LI Hui, LI Hui, et al. The contents of resistant starch in foods and effect of various processing fashions [J]. Acta Nutritenta Sinica, 2005, 27(5): 366-369
- [21] 黄晓杰,张春红,赵增煜. 直链淀粉含量对抗性淀粉形成的影响[J]. 食品科技,2006,31(5):18-20
HUANG Xiao-jie, ZHANG Chun-hong, ZHAO Zeng-yu. Effect of amylose starch to the formation of resistant starch [J]. Food Science and Technology, 2006, 31(5): 18-20
- [22] 吴红引. 碎米抗性淀粉的制备工艺及其应用的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学,2011
WU Hong-yin. Study on preparation technology and application of broken-rice resistant starch [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2011

