

干燥温度对黑珍珠糯玉米粉分散性的影响

王冬, 宋春丽*, 任健, 王志鹏, 姜宁宁

¹ 齐齐哈尔大学食品与生物工程学院 黑龙江齐齐哈尔 161006

² 植物性食品加工技术教育部工程研究中心 黑龙江齐齐哈尔 161006

摘要 为探究粉质加工中干燥温度对其食用品质的影响,以黑珍珠糯玉米鲜穗为原料,采用热风干燥方式处理,干燥温度分别为 50,85,95,105,120 °C,比较分析粉体的理化特性、流变学特性和微观结构对其分散性的影响。结果表明:随着干燥温度的升高,分散时间从 13.4 s 延长至 29.0 s,玉米粉的分散性下降。此外,相较于对照组,当热风干燥温度为 120 °C,粉体的松散堆积密度、振实堆积密度、颗粒密度显著升高,分别升高了 8.77%,27.94%,108.22%。卡尔指数、豪斯纳指数、休止角、滑角也呈上升趋势,分别升高了 86.90%,19.49%,21.62%,26.20%,孔隙率降低 9.89%。温度扫描结果表明高温处理所得玉米粉,弹性模量增加、损失角(tan δ)显著降低,玉米粉分散液表现出类固体性质。激光共聚焦显微镜(CLSM)结果表明,热处理能破坏蛋白质的网状结构,从而破坏淀粉和蛋白的结合方式。结论:不同干燥温度对黑珍珠糯玉米粉的理化特性、流变特性、微观结构均会产生影响,进而影响其在水中的分散能力。

关键词 糯玉米粉; 分散性; 理化特性; 流变特性; 微观结构

文章编号 1009-7848(2024)10-0320-07 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.10.029

鲜食期玉米是一种生产全谷物食品的良好原料。然而,玉米颗粒内部淀粉被蛋白质紧密包裹,淀粉颗粒没有得到释放^[1],在玉米鲜穗加工成粉剂时,常出现分散性差、分层严重的现象^[2],表现为固体粒子在介质水中,不易分散为细小粒子悬浮于分散介质中,易产生沉淀^[3]。

热风干燥是食品加工中常用的手段,有研究者对甜玉米粉进行干燥处理,结果发现,当干燥温度为 85 °C 时,物料糊化度最高,从而冲调效果最佳^[4]。也有研究表明,干热处理(120 °C,2 h)后,山药粉的峰值黏度显著增加^[5]。高热处理(120 °C,30 min)的燕麦粉吸水能力增加了 2.6 倍,黏度值增加了 6 倍,表现出较好的流变特性^[6]。这些研究表明,热风干燥赋予全谷物食品良好的理化和加工特性,而且热处理温度对产品特性产生显著影响。究其原因,热处理改变了全谷物原料的分子结构,如玉米颗粒中淀粉和蛋白质的结合程度。不同温度的热风处理对全谷物食品分散性的影响未见报道。

本研究首次以黑珍珠糯玉米为原料,采用热风干燥方式处理,分析多个热处理温度下所得产品的分散性变化,以及与其相关的粉质特性、流变学特性和微观结构(CLSM)变化,旨在为改善玉米粉质食品的分散性提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

选取大小均一、籽粒均匀的黑珍珠糯玉米为试验材料,采摘于黑龙江省齐齐哈尔市克山县;101-0-BS 电热鼓风干燥箱,上海跃进医疗器械厂;TE601-1 电子天平,赛多利斯科学仪器有限公司;Kinexus Pro+流变仪,马尔文公司;SP8 DIVE 激光共聚焦显微镜,德国徕卡公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品的制备 选取 10 穗黑珍珠糯玉米,每穗质量约(412.23±41.58) g。挑出其中破损和发生霉变的颗粒,将剩下的鲜玉米粒混匀后,用清水漂洗直接打浆。称取 100 g 玉米浆平铺于不锈钢盘(15 cm×30 cm)中,对玉米浆进行连续热风干燥,温度分别为 50,85,95,105,120 °C。当水分质量分数降至 8%~10%时采样。干燥结束后用粉碎机将其粉碎,过 100 目筛,密封于干燥器中保存。同时,以 30 °C 干燥处理的同批次黑珍珠糯玉米作为对

收稿日期: 2023-10-18

基金项目: 黑龙江省“百千万”工程科技重大专项(2021ZX12B09)

第一作者: 王冬,女,硕士生

通信作者: 宋春丽 E-mail: songchunli@qqhru.edu.cn

照组。

1.2.2 分散性测定 参考 Bala 等^[7]并略作修改,准确称取 1 g 样品,使其通过下管外径为 1 cm 的玻璃漏斗,缓慢加入装有 20 mL 40 ℃去离子水的烧杯中,用磁力搅拌器以 40 r/min 搅拌,记录冲调粉完全分散于水中的时间(s),即为分散性指数。

1.2.3 粉体流动性测定 准确称取 10 g (m_1)样品,通过漏斗转移至 25 mL 量筒中,用手握住量筒顶部,将量筒底部置于旋涡振荡器上,振荡至量筒刻度不再下降,记下此时量筒刻度 V_1 (mL);继续将量筒底部在桌面上轻轻敲打,直至量筒刻度不再下降,记下此时量筒刻度 V_2 (mL)。松散堆积密度和振实堆积密度的计算方法如下:

$$\text{松散堆积密度 BD(g/mL)} = m_1/V_1 \quad (1)$$

$$\text{振实堆积密度 TD(g/mL)} = m_1/V_2 \quad (2)$$

准确称取 1 g (m_2)样品,通过漏斗转移至 10 mL 具塞试管中,向试管中准确移取 5 mL 石油醚,充分振荡,使样品均匀分散在石油醚中,继续用 1 mL 石油醚将试管内壁样品冲洗干净,记下此时试管刻度 V_3 (mL)。颗粒密度的计算方法如下:

$$\text{颗粒密度 PD(g/mL)} = m_2 - (V_3 - 6) \quad (3)$$

$$\text{孔隙率(\%)} = (PD - TD)/PD \times 100 \quad (4)$$

$$\text{卡尔指数(\%)} = (TD - BD)/TD \times 100 \quad (5)$$

$$\text{豪斯纳指数} = TD/BD \quad (6)$$

1.2.4 休止角、滑角的测定 休止角参照 Iileleji 等^[8]的方法并略作修改,将一个玻璃漏斗固定在铁架台上,漏斗下端距操作平台 5 cm 高,样品粉末通过漏斗缓慢在平台上形成粉末锥体,当锥体顶端与漏斗最下端接触后停止添加粉末,并用游标卡尺测量锥体的直径 D (cm)。样品的休止角按公式(7)计算:

$$\text{休止角(}^\circ\text{)} = \tan^{-1}(10/D) \quad (7)$$

滑角参照 Iileleji 等^[8]的方法并略作修改,样品粉末平铺在一块长 10 cm 的玻璃平板上,粉末厚度 1 cm,玻璃平板一端固定在试验平台上,缓慢提升玻璃平板的另一端直至粉体表面开始滑动,用直尺测量此时玻璃平板提升的高度 H (cm)。样品的滑角通过公式(8)计算:

$$\text{滑角(}^\circ\text{)} = \sin^{-1}(H/10) \quad (8)$$

1.2.5 流变性质的测定 表观黏度测定:准确称取 10 g 样品,加入 20 mL 的 80 ℃热水中,充分搅

拌 1 min,冷却 10 min,配制玉米粉样品溶液,取 1.2 mL 样品溶液注入夹具中(直径为 40 mm,锥角为 0.5°),25 ℃放置 5 min 后,测定 0.1~100 s⁻¹ 时样品的表观黏度。

温度扫描测定:参照 Patrascu 等^[9]的方法并做适当修改。按照上述方法配制冲调液,充分混匀后用滴管取约 1.2 mL 的冲调液置于平板上进行测定。扫描参数设置为:平板间距 1 mm,应变 1%,频率 1 Hz,温度扫描范围 25~95 ℃,升温速率 5 ℃/min。记录弹性模量(G')及黏性模量(G''),每组样品平行测定 3 次并取平均值。

$$\text{损失角}(\tan\delta) = G''/G' \quad (9)$$

1.2.6 微观结构观察 采用激光共聚焦显微镜(CLSM)观察玉米粉 5 种加工样品及对照组的微观结构。使用罗丹明 B 和 FITC 对样品进行染色,罗丹明 B 染色蛋白质为红色,FITC 染色淀粉和蛋白质为绿色。参考 Zheng 等^[10]的方法,取 2~3 mg 粉末样品,加入含有 0.1 mg/mL FITC 和 1 mg/mL 罗丹明 B 的乙醇 1 mL,在 37 ℃下振荡染色 30 min,然后 3 000 r/min 室温离心 1 min。将离心后保留的沉淀重新悬浮于 1 mL 乙醇,再次离心后获取沉淀。最后,将沉淀重悬于 1 mL 乙醇,混匀后取 10 μ L 样品滴加至载玻片,在 600 倍下观察样品的微观结构。

1.3 数据处理

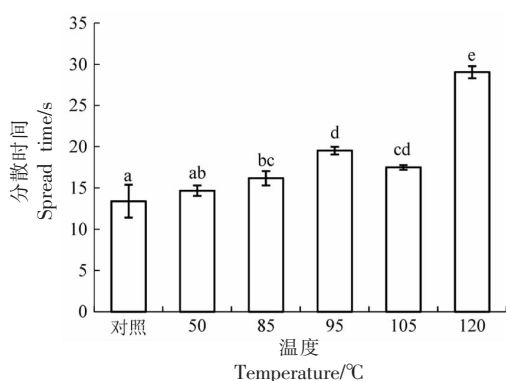
所有试验均重复 3 次,数据用“平均值 \pm 标准差”来表示。采用 Microsoft Office Excel 2020、Origin 2019b 对数据进行统计分析及绘图,利用 IBM SPSS Statistics25 对数据进行显著性分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 干燥温度对黑珍珠糯玉米粉分散性的影响

干燥温度对黑珍珠糯玉米粉分散性的影响如图 1 所示。

从图 1 可以看出,随着干燥温度的升高,粉体在水中的分散时间显著延长,分散时间从 13.4 s 延长至 29.0 s。由此可见,高温干燥能够使玉米粉的分散性发生改变。随后本文针对与分散性这一指标相关的粉质特性、流变学特性和微观结构进行系统分析。



注:对照为 30 °C 干燥所得的玉米粉。不同小写字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 1 干燥温度对黑珍珠糯玉米粉分散性的影响

Fig.1 Effects of drying temperatures on dispersion capacity of black pearl waxy corn flour

2.2 干燥温度对黑珍珠糯玉米粉粉体流动性的影响

松散堆积密度、振实堆积密度、颗粒密度、孔隙率、卡尔指数、豪斯纳指数是评估粉体的流动性的常用指标。干燥温度对黑珍珠糯玉米粉粉体流动性的影响见表 1。

表 1 干燥温度对黑珍珠糯玉米粉粉体流动性的影响

Table 1 Effects of drying temperatures on fluidity of black pearl waxy corn flour

指标	对照	50 °C	85 °C	95 °C	105 °C	120 °C
松散堆积密度/(g/mL)	0.57 ± 0.01 ^a	0.58 ± 0.01 ^{ab}	0.59 ± 0.01 ^{bc}	0.60 ± 0.01 ^c	0.60 ± 0.01 ^c	0.62 ± 0.01 ^d
振实堆积密度/(g/mL)	0.68 ± 0.01 ^a	0.71 ± 0.01 ^b	0.74 ± 0.01 ^c	0.78 ± 0.01 ^d	0.82 ± 0.01 ^e	0.87 ± 0.01 ^f
颗粒密度/(g/mL)	2.31 ± 0.17 ^a	2.66 ± 0.07 ^{bc}	3.01 ± 0.16 ^{bc}	3.26 ± 0.05 ^{bc}	3.46 ± 0.17 ^c	4.81 ± 1.02 ^d
孔隙率/%	78.28 ± 0.80 ^e	76.16 ± 0.99 ^b	75.98 ± 0.54 ^b	75.55 ± 1.35 ^b	73.42 ± 0.63 ^{ab}	70.54 ± 1.17 ^a
卡尔指数/%	15.52 ± 1.58 ^a	17.47 ± 0.39 ^a	19.85 ± 0.53 ^b	23.99 ± 0.95 ^c	27.19 ± 0.44 ^d	29.01 ± 1.08 ^d
豪斯纳比率	1.18 ± 0.02 ^a	1.21 ± 0.01 ^a	1.25 ± 0.01 ^b	1.32 ± 0.02 ^c	1.37 ± 0.01 ^d	1.41 ± 0.02 ^c

注:同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 干燥温度对黑珍珠糯玉米粉休止角、滑角的影响

休止角与滑角都是表征粉体颗粒间摩擦的主

要特性之一。干燥温度对黑珍珠糯玉米粉休止角、滑角的影响见表 2。

表 2 干燥温度对黑珍珠糯玉米粉休止角、滑角的影响

Table 2 Effects of drying temperatures on the repose angle and slide of black pearl waxy corn flour

指标	对照	50 °C	85 °C	95 °C	105 °C	120 °C
休止角/°	67.99 ± 1.18 ^a	69.89 ± 1.62 ^a	70.85 ± 3.63 ^a	79.25 ± 2.66 ^b	81.83 ± 0.94 ^b	82.69 ± 0.54 ^a
滑角/°	11.26 ± 0.07 ^a	11.67 ± 0.27 ^a	13.62 ± 0.67 ^b	13.14 ± 0.29 ^b	14.13 ± 0.37 ^b	14.21 ± 0.28 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

由表 2 数据可知,随着干燥温度的升高,高温处理后的玉米粉的休止角和滑角显著高于对照组,干燥温度为 120 °C 时,休止角与滑角最大,分别为 82.69° 和 14.21°。除了孔隙率、卡尔指数、豪斯纳指数以外,休止角和滑角也常用来评估粉末的流动性,休止角越小,表示流动性较好,反之流动性较差^[15]。随着干燥温度的增加,休止角和滑角显著增大 ($P < 0.05$),即流动性显著降低,这是因为随着玉米粉表面温度的升高,玉米颗粒表面的聚合力增大,玉米颗粒之间的耦合作用变得越来越强^[16]。

2.4 不同干燥温度对黑珍珠糯玉米粉流变性质的影响

2.4.1 表观黏度

表观黏度反映了液态物质的流变性质,是液体或流体中分子间吸引力的表征。干燥温度对黑珍珠糯玉米粉表观黏度的影响如图 2 所示。

从图 2 可以看出,不同干燥温度所得的黑珍珠糯玉米粉,其表观黏度随着剪切速率的增加而下降,表现为非牛顿流体特性(黏度随剪切速率的增加而降低)。在相同的剪切速率下,干燥温度为 120 °C 时,测试样品的表观黏度显著高于其它样品。结果表明,热处理能够使玉米粉分散液表观黏度显著升高,体系更加稳定。有研究者得出了相似

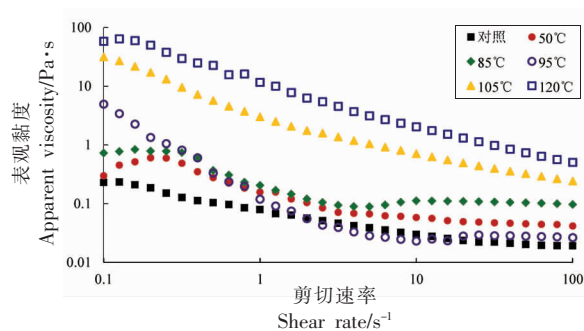


图 2 不同干燥温度所得的黑珍珠糯玉米粉分散液的表观黏度

Fig.2 Apparent viscosity of dispersions from black pearl waxy corn flour obtained at different drying temperatures

的结论,干热处理提升了糯米粉的表观黏度^[17]。这是因为,高温处理使玉米淀粉结构发生改变,内部质地疏松,从而使玉米粉在糊化过程中能够充分吸水膨胀,出现了糊化现象^[18]使其表观黏度升高^[19-20]。

2.4.2 温度扫描

在温度逐渐升高的条件下,弹性模量 G' 随剪切频率的变化,即温度扫描。在逐渐提高加热温度的条件下,干燥温度对黑珍珠糯玉米粉分散液弹性模量 G' 及损失角 ($\tan\delta$) 的影响如图 3 所示。

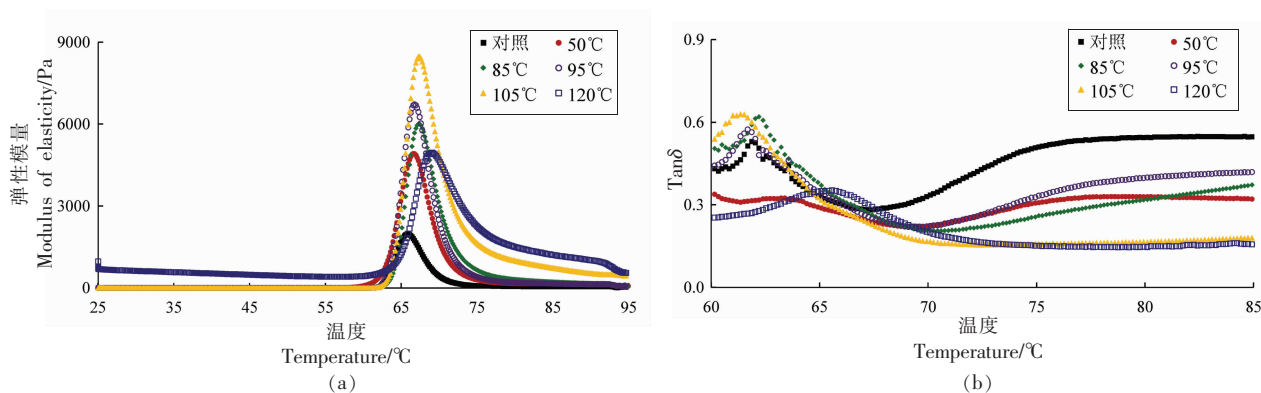


图 3 不同干燥温度所得的黑珍珠糯玉米粉分散液热处理过程中模量及损失角 ($\tan\delta$) 变化

Fig.3 Monitored storage modulus (G') and $\tan\delta$ values of different dispersions from black pearl waxy corn during the heating

图 3 为黑珍珠糯玉米粉分散液热处理过程中的模量及 $\tan\delta$ 变化图谱。图 3a 结果表明热处理能够使玉米粉分散液的弹性模量 (G') 发生改变。这是因为在测试过程中,玉米淀粉颗粒发生糊化,玉

米淀粉颗粒内部的淀粉分子缠结在一起,使得体系的黏性增加,表现为 G' 值升高^[21-22]。随着测试温度进一步升高,因糊化现象而膨胀引起玉米淀粉颗粒软化,并且剪切作用破坏了凝胶的稳定结构,

从而导致体系的刚性和黏性减小,表现为 G' 值下降^[22]。此外,可以看出,高温处理时样品的 $\tan\delta$ 值随之降低(图 3b)。 $\tan\delta$ 值代表固体颗粒内部结构重新排列的能力^[23],相对于其它样品,干燥温度为 120 °C 时,样品 $\tan\delta$ 值最低,这表明它在热处理过程中分子重排的能力较弱,分子结构相对稳定,表现出明显的类固体行为^[24]。综合分析图 3,干燥温度越高,分散液的弹性逐渐占主导地位,具有类固体性质。

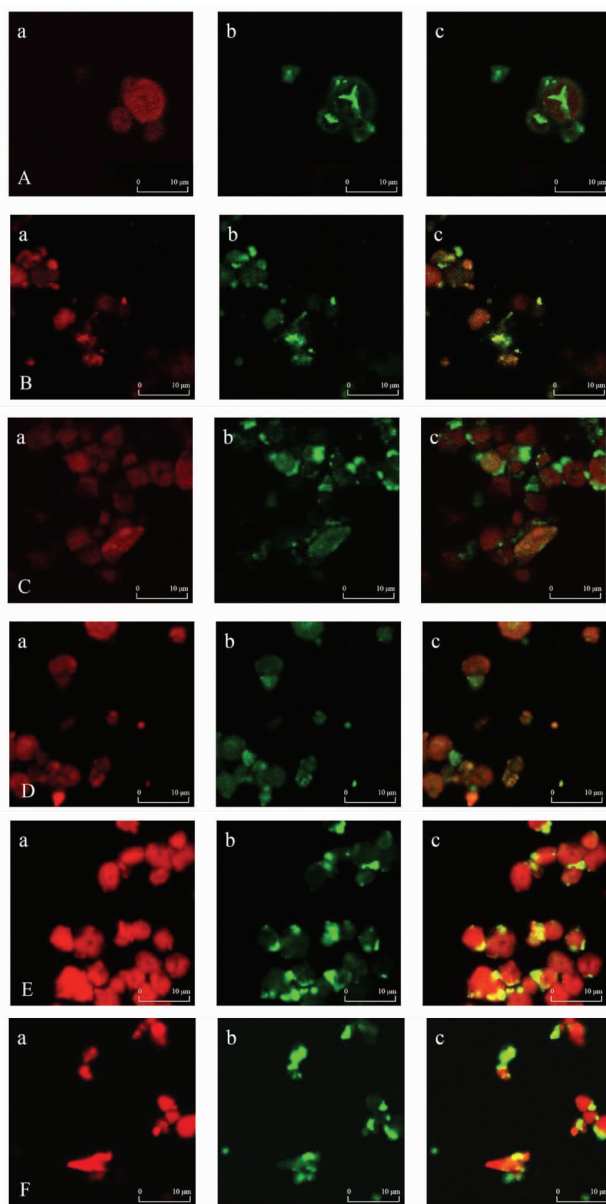
2.5 不同干燥温度对黑珍珠糯玉米粉微观结构的影响

激光共聚焦显微镜(CLSM)能够直观的观察玉米中淀粉和蛋白质之间微观结构,从而有助于进一步分析玉米粉中淀粉和蛋白质之间的结合方式。图 4 为不同干燥温度所得黑珍珠糯玉米粉的微观结构激光共聚焦图像。

图中红色区域为罗丹明 B 所标记的蛋白质富集区域(图 4a),图中绿色区域为 FITC 所标记的淀粉富集区域(图 4b),图 4c 为二者叠加图。从图 4A(对照)可以看出,蛋白质基质呈网状结缔状紧密包裹着淀粉颗粒^[1]。图 4B、4C、4D(50, 85, 95 °C)中的橙黄色部分为蛋白质和淀粉的重合部分,而在图 4E 和 4F(105, 120 °C)中可以观察到红、绿色更加清晰分明,表明蛋白质和淀粉的结合方式发生了质的变化,淀粉颗粒与蛋白质基质结合。CLSM 分析结果表明,高温处理能更加有效地破坏蛋白质的网状结构,蛋白质包裹淀粉的强度逐渐减弱,使得淀粉颗粒逐步被释放出来,最终改变了淀粉和蛋白质的结合方式。

3 结论

糯玉米鲜穗的干燥温度对其粉剂的分散性具有显著影响。CLSM 对玉米粉的微观结构进行表征,表明高温处理(120 °C)能更有效的破坏蛋白质的网状结构,蛋白质和淀粉原有的结合方式被破坏,淀粉颗粒暴露出来。从而使玉米粉在糊化过程中能够充分吸水膨胀,其表观黏度发生变化;温度扫描结果表示弹性模量逐渐增加,表现出类固体性质。此时对应的粉质特性也发生改变,粉体堆积密度显著升高($P < 0.05$),孔隙率降低导致颗粒密度显著增大,休止角、滑角也呈上升趋势。此研究



注: A~F 分别表示不同干燥温度制备的黑珍珠糯玉米粉; A: 对照; B: 50 °C; C: 85 °C; D: 95 °C; E: 105 °C; F: 120 °C;

图 4 不同干燥温度黑珍珠糯玉米粉分散液的激光共聚焦图像

Fig.4 Confocal micrographs of dispersions from black pearl waxy corn flour obtained at different drying temperatures

成果为改善玉米食品分散性提供理论参考。

参 考 文 献

- [1] 闫荣. 玉米淀粉与蛋白质组合结构及分离机理研究

- [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- YAN R. Research on the combined structure and separation mechanism of starch and protein in corn [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [2] 寇梦茹. 全谷物糙米固体饮料的制备及储藏性质的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2020.
- KOU M R. Preparation and storage properties of whole grain brown rice solid beverage[D]. Nanchang: Nanchang University, 2020.
- [3] 徐匆. 高膳食纤维谷物营养粉制备关键技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- XU C. Study on the critical technics of SDF (soluble dietary fiber)-enriched cereal nutritional products [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [4] 李春梅, 迟玉杰, 王丹, 等. 甜玉米粉滚筒干燥加工工艺优化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(21): 256-264.
- LI C M, CHI Y J, WANG D, et al. Optimization on drum drying processing technology of sweet corn powder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(21): 256-264.
- [5] FALADE K O, ONYEOZIRI N F. Effects of cultivar and drying method on color, pasting and sensory attributes of instant yam (*Dioscorea rotundata*) flours [J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5: 879-887.
- [6] GALAZ - PÉREZ E A, VELAZQUEZ G, MENDEZ - MONTEALVO G. Improvement of physicochemical properties of baked oatmeal (*Avena sativa* L.) by imbibition[J]. Cereal Chemistry, 2020, 97(5): 981-990.
- [7] BALA M, HANDA S, MRIDULA D, et al. Physicochemical, functional and rheological properties of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) flour as influenced by particle size[J]. Heliyon, 2020, 6(11): e05471.
- [8] ILELEJI K E, ZHOU B. The angle of repose of bulk corn stover particles [J]. Powder Technology, 2008, 187(2): 110-118.
- [9] PĂTRAȘCU L, BANU I, VASILEAN I, et al. Effect of gluten, egg and soy proteins on the rheological and thermo-mechanical properties of wholegrain rice flour[J]. Food Science and Technology International, 2017, 23(2): 142-155.
- [10] ZHENG Z, STANLEY R, GIDLEY M J, et al. Structural properties and digestion of green banana flour as a functional ingredient in pasta[J]. Food & Function, 2016, 7(2): 771-780.
- [11] QI X G, CHENG L L, LI X J, et al. Effect of cooking methods on solubility and nutrition quality of brown rice powder[J]. Food Chemistry, 2019, 274: 444-451.
- [12] 刘腾怒. 发芽黑米冲调粉的制备及其性质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
- LIU T N. Study on the preparation and properties of germinated black rice instant powder [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [13] 赵广河, 张名位, 张瑞芬, 等. 气流超微粉碎对桃金娘果粉物理化学性质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 17-21.
- ZHAO G H, ZHANG M W, ZHANG R F, et al. Effect of airflow ultrafine grinding on physicochemical properties of rhodomyrtus tomentosa fruit powder [J]. Food Science, 2016, 37(1): 17-21.
- [14] 薛艾莲, 夏晓霞, 寇福兵, 等. 不同干燥方式联合熟化处理对板栗粉品质特性及微观结构的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(9): 62-70.
- XUE A L, XIA X X, KOU F B, et al. Effect of cooking combined with different drying methods on the quality characteristics and microstructure of Chinese chestnut powder[J]. Food Science, 2022, 43(9): 62-70.
- [15] 汪磊. 燕麦 β -葡聚糖对面粉、面团特性及馒头品质的影响和机制[D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- WANG L. Effect and mechanism of oat β -glucan incorporation on the quality of flour, dough and steamed bread[D]. Chongqing: Southwest University, 2017.
- [16] FANNON J E, GRAY J A, GUNAWAN N, et al. Heterogeneity of starch granules and the effect of granule channelization on starch modification[J]. Cellulose, 2004, 11(2): 247-254.
- [17] QIN Y, LIU C Z, JIANG S S, et al. Functional properties of glutinous rice flour by dry-heat treatment[J]. PloS One, 2016, 11(8): e0160371.
- [18] 魏华. 挤压及其它热处理方式对红小豆全粉理化特性的影响研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2021.
- WEI H. Effects of extrusion and other heat treatments on physicochemical properties of adzuki bean powder[D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2021.
- [19] 吴伟都, 欧凯, 冯玉红, 等. 车前子溶液流变学特

- 性及凝胶特性研究[J]. 食品科技, 2020, 45(11): 250–255.
- WU W D, OU K, FENG Y H, et al. Study on rheological properties and gel properties of *Plantago asiatica* solutions[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(11): 250–255.
- [20] QIAN S Y, TANG M Q, GAO Q, et al. Effects of different modification methods on the physicochemical and rheological properties of Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) starch[J]. Food Science and Technology, 2019, 116: 108513.
- [21] CHAYUTHAKAN P, SUPHANTHANKA M. Pasting and rheological properties of waxy corn starch as affected by guar gum and xanthan gum[J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 71(1): 9–17.
- [22] 张艺莹, 刘伟, 刘倩楠, 等. 马铃薯膳食纤维对小麦面团流变和热机械特性的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(6): 168–174.
- ZHANG Y X, LIU W, LIU Q N, et al. Effect of potato dietary fiber on rheological and thermomechanical properties of wheat flour dough[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(6): 168–174.
- [23] ERCILI-CURA D, LILLE M, LEGLAND D, et al. Structural mechanisms leading to improved water retention in acid milk gels by use of transglutaminase[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 30(1): 419–427.
- [24] MESSENS W, VAN DE WALLE D, AREVALO J, et al. Rheological properties of high-pressure-treated Gouda cheese[J]. International Dairy Journal, 2000, 10(5/6): 359–367.

Effects of Drying Temperature on Dispersion Capacity of Black Pearl Waxy Corn Flour

Wang Dong, Song Chunli*, Ren Jian, Wang Zhipeng, Jiang Ningning

(*College of Food and Bioengineering, Qiqihar University, Qiqihar 161006, Heilongjiang

²Engineering Research Center of Plant Food Processing Technology, Ministry of Education, Qiqihar 161006, Heilongjiang)

Abstract Effects of drying temperature (50, 85, 95, 105, 120 °C) on physicochemical, rheological properties and microstructure of black pearl waxy corn flour was investigated. The results showed that with the increase of drying temperature, the dispersion time of the flour increased from 13.4 s to 29.0 s, indicating the dispersion capacity of corn flour decreased. In addition, in comparison with the sample treated at room temperature (control), the loose bulk density and tap bulk density, particle density of the flour obtained at 120 °C increased significantly by 8.77%, 27.94% and 108.22%, respectively. The Carr's index, Hausner ratio, the angle of repose and slide also increased by 86.90%, 19.49%, 21.62% and 26.20%, and the porosity decreased by 9.89%. Other results also demonstrated that sample at high drying temperature (120 °C) exhibited higher G' and lower final $\tan\delta$ value (0.54 vs. 0.15) compared to the control during the heating, indicating the dispersion capacity of corn flour treated at high temperature showed solid-like properties. Confocal micrograph (CLSM) results showed that heat treatment could effectively destroy the network structure of protein, thus destroying the combination of starch and protein. The results showed that drying temperature could affect the physicochemical, rheological properties and microstructure of the treated black pearl waxy corn flour, and therefore affect dispersion capacity of the obtained flour.

Keywords waxy corn flour; dispersion capacity; physicochemical properties; rheological properties; microstructure