

不同处理方式下膨化玉米粉的冲调性能分析

曾德玉¹, 李京¹, 陈俊宏¹, 王洋¹, 叶阳^{1*}, 曾珍²

(1. 四川轻化工大学生物工程学院, 四川宜宾 644000) (2. 四川省旌晶食品有限公司, 四川德阳 618000)

摘要: 该研究以膨化玉米粉为原料, 分析磷酸化、酶处理、食用胶干热和复合处理对膨化粉吸水性指数、水溶性指数、分散时间、结块率、黏度、粒径和色度的影响。结果表明, 磷酸化热处理对膨化粉黏度无显著影响; 食用胶干热处理黏度增加; 酶处理及其与磷酸化、食用胶干热复合处理吸水性指数和黏度显著降低, 水溶性指数大于磷酸化和食用胶干热处理。 α -淀粉酶处理粉的水溶性指数从 30.4% 增至 80.98%, 吸水性指数从 4.96 降至 1.21。黄原胶 α -淀粉酶、 α -淀粉酶正磷酸钠复合处理膨化粉结块率分别为 1.63%、1.46%, 低于正磷酸钠、 α -淀粉酶、中性蛋白酶、黄原胶干热处理粉结块率, 分别为 5.57%、5.60%、6.16%、5.58%, 两种复合处理方式下黏度较稀, 分别为 83.33 mPa·s、100 mPa·s; 正磷酸钠、黄原胶干热处理黏度分别为 2243.33 mPa·s、306.33 mPa·s, 正磷酸钠联合中性蛋白酶处理黏度、结块率分别为 546.67 mPa·s、4.89%, 黏度适中, 结块率低于单一处理, 此时分散时间、粒径分别为 4.81 s、131.14 μ m, 呈淡黄色。综合分析, 正磷酸钠中性蛋白酶复合处理下膨化米粉冲调性较好。

关键词: 膨化玉米粉; 磷酸化; 酶处理; 食用胶干热处理; 冲调性

文章篇号: 1673-9078(2022)04-182-190

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.4.0819

Effects of Different Treatment Methods on Solubility of Extruded Corn Flour

ZENG Deyu¹, LI Jing¹, CHEN Junhong¹, WANG Yang¹, YE Yang^{1*}, ZENG Zhen²

(1.School of Biological Engineering Sichuan University of Science & Engineering, Yibin 644000, China)

(2.Sichuan Jingjing Food Co. Ltd., Deyang 618000, China)

Abstract: The effects of phosphorylation, enzymatic treatments, dry heat treatments, and combined treatments on the water absorption index, water solubility index, dispersion time, agglomeration rate, viscosity, particle size, and chrominance of extruded corn flour were analyzed to improve the quality of extruded corn flour. Phosphorylation heat treatments did not significantly affect the viscosity of extruded flour, whereas dry heat treatments by edible gum increased the viscosity. Additionally, enzymatic treatments alone and in combination with phosphorylation and dry heat treatments significantly reduced the water absorption index and viscosity. Specifically, the water solubility index of the flour after enzymatic treatments and combined treatments was greater than that after phosphorylation and dry heat treatments. The water solubility index of the extruded corn flour treated with α -amylase increased from 30.4% to 80.98%, whereas the water absorption index decreased from 4.96 to 1.21. The agglomeration rates of extruded corn flour treated with xanthan gum combined with α -amylase and α -amylase combined with sodium orthophosphate were 1.63% and 1.46%, respectively. These values are lower than those after treatments by sodium orthophosphate, α -amylase, and neutral protease individually, and dry heat treatment by xanthan gum (5.57%, 5.60%, 6.16%, and 5.58%, respectively). In addition, the viscosity of the two products after the combined treatment methods were 83.33 and 100 mPa·s, suggesting that the fluid was relatively thin. Samples subjected to dry heat treatments with sodium orthophosphate and xanthan gum showed viscosities of 2243.33 and 306.33 mPa·s, respectively. The viscosity and agglomeration rate of extruded corn flour treated with sodium orthophosphate combined with neutral protease were 546.67 mPa·s and 4.89%, respectively. The viscosity was moderate, and the agglomeration rate was

引文格式:

曾德,李京,陈俊宏,等.不同处理方式下膨化玉米粉的冲调性能分析[J].现代食品科技,2022,38(4):182-190

ZENG Deyu, LI Jing, CHEN Junhong, et al. Effects of different treatment methods on solubility of extruded corn flour [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(4): 182-190

收稿日期: 2021-07-29

基金项目: 德阳市科技局项目 (2019CK096); 四川轻化工大学研究生创新基金项目 (y2020063)

作者简介: 曾德玉 (1995-), 女, 研究生在读, 研究方向: 农产品精深加工, E-mail: zengdeyu333@163.com

通讯作者: 叶阳 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农畜产品精深加工, E-mail: yeyang161@163.com

lower than those after single treatments. For this extruded flour, the dispersion time and particle size were 4.81 s and 131.14 μm , respectively, and the resulting fluid was light yellow. Extruded corn flour is more soluble after combined treatment with sodium orthophosphate and neutral protease.

Key words: extruded corn flour; phosphorylation; enzymatic treatment; dry heat treatment of edible gum; solubility

玉米是世界上主要的谷物作物,其富含淀粉、蛋白质、脂肪、维生素及矿物质等营养成分^[1,2]。研究表明^[3,4],玉米中的酚类和纤维素,与人体的血糖/胰岛素反应、结肠健康等具有重要作用。随着现代人的生活节奏加快,膨化米粉方便食品愈来愈受到消费者的青睐。但采用挤压膨化加工技术生产的即食膨化粉,几乎都存在冲调时易结块、粘勺等问题,产品品质不能很好地满足消费者需求。

针对这些问题,可采用改性处理,如物理法^[5]、酶法^[6]、化学法^[7]等,可改变其理化性质,从而改善冲调性。物理改性主要包括挤压、粉碎、糊化等,酶法改性,主要以生粉为原料,工艺复杂、成本高,以糊化粉为原料进行冲调性改性的研究较少。化学改性一般是在酸性或碱性条件下对淀粉进行改性,改变淀粉结构中的官能团,从而改变其理化性质,改善其冲调性,但是此方法中的化学试剂具有一定毒性,在冲调粉的生产应用受到限制。研究表明磷酸化热处理^[8]、酶处理^[9,10]、食用胶干热处理^[11,12]及相结合的方法可降解淀粉、蛋白质和脂肪,改变其理化性质,从而改善其溶解性和吸水膨胀能力。磷酸盐与淀粉反应生成酸酯化物,酯化剂一般选择正磷酸钠^[13]、三聚磷酸盐^[14]、柠檬酸,其反应特点是湿法处理,目前对磷酸盐与膨化粉的干法反应特性极少阐述。酶处理常用 α -淀粉酶^[15]、普鲁兰酶^[16]、中性蛋白酶^[8]和脂肪酶对淀粉、蛋白质、脂肪进行改性。多采用湿法酶解,而借助喷雾法酶解膨化米粉对冲调性的研究较少。可用于干法变性的食用胶有黄原胶、海藻酸钠、卡拉胶、羧甲基纤维素钠^[17],且食用胶干热处理对膨化玉米粉的冲调性研究较少。酶处理不仅可降低结块率和黏度,还可以促进淀粉的磷酸化^[8]和食用胶干热^[10]反应。目前磷酸化热处理、酶处理、食用胶干热处理及三种方式下复合处理未见报道。热处理下粉体会产生一定的色差^[18,19],影响产品品质。

因此,本研究以膨化玉米粉为原料,通过研究磷酸化(三聚磷酸盐、正磷酸钠和柠檬酸)、酶处理(普鲁兰酶、 α -淀粉酶、中性蛋白酶、脂肪酶)、食用胶(黄原胶、卡拉胶、海藻酸钠、羧甲基纤维素钠)干热处理和复合处理下膨化玉米粉的吸水性指数、水溶性指数、分散时间、黏度、结块率、粒径和色度的影响,旨在提高膨化玉米粉食用品质,为速食米粉的加工技术创新提供依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

膨化玉米粉,四川省旌晶食品有限公司;普鲁兰酶、 α -淀粉酶、糖化酶、脂肪酶、中温蛋白酶,河南万邦化工科技有限公司;柠檬酸、正磷酸钠(Na_2HPO_4 、 NaH_2PO_4)、三聚磷酸盐、卡拉胶、黄原胶、海藻酸钠、羧甲基纤维素钠,陇西科学股份有限公司。

主要仪器: DZKW-D-2500W 恒温水浴锅,上海科恒实业发展有限公司; RT-TDL-50H 离心机,无锡市瑞江分析仪器有限公司; LRH-250C 生化培养箱,韶关市泰宏医疗器械有限公司; 101-3HB 电热鼓风干燥箱,北京中兴伟业仪器有限公司; FBS6100-B 激光粒度仪,深圳弗布斯仪器有限公司; Ultra Scan VIS 台式色差仪,上海韵鼎国际贸易有限公司; NDJ-8S 数显黏度计,邦西仪器科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 不同处理方式下膨化玉米粉制备

磷酸化热处理:

磷酸盐溶液→喷淋→静置(55 $^{\circ}\text{C}$ 、1h)→热处理(110 $^{\circ}\text{C}$ 、1h)→研磨粉碎→包装成品

酶处理:

酶液→喷淋→适宜温度下酶解(3h)→灭酶(95 $^{\circ}\text{C}$ 、15min)→研磨粉碎→包装成品

食用胶干法处理:

食用胶与玉米粉混匀→喷淋→热处理(130 $^{\circ}\text{C}$ 、2h)→研磨粉碎→包装成品

复合处理: 在磷酸化热处理、酶处理、食用干热处理的基础上,选择较优的处理方式,进行两种方式复合。

1.2.2 工艺关键点及具体实验步骤

磷酸化热处理: 选择正磷酸钠(Na_2HPO_4 0.9%、 NaH_2PO_4 0.3%)^[20]、柠檬酸 3%、三聚磷酸盐 0.5%^[21],分别溶于 15%水中(以玉米粉干重计),均匀喷淋至膨化玉米粉中。

酶处理: 根据查阅文献选取最适酶添加量以及酶解温度,中性蛋白酶(0.025%、50 $^{\circ}\text{C}$) α -淀粉酶(0.08%、70 $^{\circ}\text{C}$)、普鲁兰酶(0.6%、55 $^{\circ}\text{C}$)、碱性蛋白酶(0.4%、55 $^{\circ}\text{C}$)、脂肪酶(1%、40 $^{\circ}\text{C}$)^[22],分别溶于 15%水

中(以玉米粉干重计),均匀喷淋至膨化玉米粉中。

食用胶干热处理:将卡拉胶、黄原胶、海藻酸钠、羧甲基纤维素钠^[21]各 0.9%分别与膨化玉米粉直接混合均匀后,均匀喷淋 15%的水于玉米粉中。

黄原胶+ α -淀粉酶:将黄原胶干热处理制得的玉米粉,喷淋 0.08%(溶于 15%水) α -淀粉酶酶液,于 70 °C 恒温培养箱中培养 3 h,95 °C 灭酶 15 min,研磨粉碎制得黄原胶和 α -淀粉酶复合处理粉。

α -淀粉酶+黄原胶:将 α -淀粉酶处理制得的玉米粉与 0.9%黄原胶混合,均匀喷淋 15%的水于玉米粉中,在 130 °C 烘箱中热处理 2 h,95 °C 灭酶 15 min,研磨粉碎制得 α -淀粉酶和黄原胶复合处理粉。

黄原胶+正磷酸钠:将黄原胶干热处理制得的玉米粉,喷淋正磷酸钠(0.9% Na₂HPO₄、0.3% NaH₂PO₄)溶液(15%水),55 °C 静置 1 h,110 °C 烘箱中热处理 1 h,研磨粉碎制得黄原胶和正磷酸钠复合处理粉。

α -淀粉酶+正磷酸钠:将 α -淀粉酶处理制得的玉米粉,喷淋正磷酸钠(0.9% Na₂HPO₄、0.3% NaH₂PO₄)溶液(15%水),55 °C 静置 1 h,110 °C 烘箱中热处理 1 h,研磨粉碎制得 α -淀粉酶和正磷酸钠复合处理粉。

正磷酸钠+ α -淀粉酶:将正磷酸钠热处理制得的玉米粉,喷淋 0.08%(溶于 15%水中) α -淀粉酶酶液,于 70 °C 恒温培养箱中培养 3 h,研磨粉碎制得黄原胶和 α -淀粉酶复合处理粉。

正磷酸钠+中性蛋白酶:将正磷酸钠热处理制得的玉米粉,喷淋 0.025%(溶于 15%水中)中性蛋白酶液,于 50 °C 恒温培养箱中培养 3 h,95 °C 灭酶 15 min,研磨粉碎制得黄原胶和中性蛋白酶复合处理粉。

1.2.3 指标测定

1.2.3.1 水溶性指数(WSI)、吸水性指数(WAI)的测定

参照刘磊等^[23]的方法并略作修改。准确称取 2.50 g 样品于 50 mL 离心管中,于 30 mL (90 °C) 去离子水,90 °C 恒温搅拌 5 min,在 6000 r/min 离心 35 min 后,上清液倒入已烘干的恒重称量瓶中,于 105 °C 烘箱中烘至恒重。

$$WSI (\%) = \frac{\text{上清液烘干后干重}}{\text{样品干重}} \times 100\%$$

$$WAI = \frac{\text{离心沉淀物重}}{\text{样品干重}}$$

1.2.3.2 黏度测定

准确称取 10.00 g 样品于 60 mL 80 °C 去离子水中全部溶解,利用 NDJ-8S 数显黏度 4 号转子、30 r/min 下测定样品黏度。

1.2.3.3 结块率的测定

参照戴晓慧等^[24]的测定方法略作修改。准确称取不同处理方式得到的玉米粉 5.00 g,倒入 30 mL 恒温 90 °C 的去离子水中,搅拌 5 min,倒入干燥至恒重的 20 目筛对米糊进行过滤,筛上物用清水漂洗一次后,连同筛网置于 105 °C 恒温干燥箱内烘干至恒重。结块率计算公式如下:

$$\text{结块率} (\%) = \frac{\text{干燥后结块物重}}{\text{样品干重}} \times 100\%$$

1.2.3.4 分散时间的测定

参照张艳等^[25]的方法并略作修改,准确称取不同处理方式得到的玉米粉 1.00 g,均匀铺在温度保持在 40 °C 20 mL 的 100 mL 烧杯中,用恒温磁力搅拌器以 40 r/min 的速率搅拌,记录从开始加入粉体到完全分散所需的时间。

1.2.3.5 粒径测定

使用 FBS6100-B 激光粒度仪测定玉米粉粒径。以蒸馏水为分散介质,吸光率 0.01,折射率 1.53,湿法测定粉体粒度。以 d_{90} 表示, d_{90} 为颗粒累积分布为 90% 的粒径。

1.2.3.6 色差测定

用色差计测量成品的 L^* (亮度), a^* (红/绿差异)和 b^* (黄/蓝差异),据色差公式: $\Delta E^2 = \Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2$ 计算, $\Delta L = L$ 样品 - L 标准, $\Delta a = a$ 样品 - a 标准, $\Delta b = b$ 样品 - b 标准。色差值越小则成品与未处理膨化粉的颜色越接近。

1.2.4 数据分析与统计

所有测定均为 5 个平行,数据以均值 \pm 标准误差表示。利用 Excel 2010 和 IBM SPSS Statistics 25.0 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 磷酸化热处理对膨化玉米粉冲调性、色度和粒径的影响

水溶性指数、吸水性指数是评价冲调性的重要指标,水溶性指数越高,说明物料中可溶性物质越多,溶解性越好;吸水指数越高,说明物料吸水溶胀性和成胶性越好^[26]。如表 1 可知,与未处理相比,经三种磷酸盐热处理得到的膨化玉米粉水溶性指数、吸水性指数显著增加($p < 0.05$)。这是由于膨化米粉和磷酸盐在高温下反应生成磷酸酯淀粉,其可溶性物质和成胶性大于原膨化粉^[27],说明磷酸盐热处理可显著改善速食膨化粉溶解性和吸水溶胀性。结块率表明粉体溶于水后的结块情况,分散时间则表明粉体溶于水的速

度^[28]。与空白组相比,柠檬酸、正磷酸钠、三聚磷酸盐热处理膨化粉结块率分别降低了 3.22%、4.03%、3.62%,分散时间显著降低。可能是膨化粉热处理时淀粉等大分子物质开始降解,小分子变多^[29],说明磷酸盐热处理的膨化粉冲调分散性显著改善。此外,磷酸盐热处理使冲调时不易溶解的粉末夹心块减少,导致结块率降低^[26]。冲调粉的黏度变化不显著,因为磷酸基团可保持溶液水分,溶液呈黏稠状。研究结果说明磷酸化热处理膨化玉米粉冲调均匀,结块少,分散性好,具糊状产品的黏稠口感。

如表 2 可知,与空白组相比,三种磷酸盐热处理后的膨化玉米粉 L*值降低, b*值和 a*值增加,产生了一定色差,说明高温处理降低玉米粉亮度。ΔE 值是指总色差的大小,当ΔE 值在 3 以下认为色差在可接受范

围,与对照样品的颜色相差比较小;当ΔE 值大于 3,视觉上可以分辨出颜色的差别^[30]。三种磷酸盐热处理的样品ΔE 值都小于 3,说明此时玉米粉的色泽变化肉眼分辨不出,呈淡黄色。膨化粉的冲调性与粒径相关^[31],磷酸化热处理时的膨化玉米粉粒径增加,此时冲调性良好。可能是粉体粒径增加,比表面积减小,表面活性降低,导致吸附性降低,从而改善了冲调性。王亚丹等^[8]的研究发现经磷酸化热处理玉米粉 d₉₀ 从 324.97 μm 增加到 338.11 μm,与本研究的结果相一致。因为磷酸化处理生成磷酸酯淀粉,粉体颗粒的空间位阻增大,更容易吸水膨胀而使粒度增加。

正磷酸钠处理对冲调粉结块率最低为 5.57%,分散时间、黏度、ΔE、d₉₀ 分别为 5.39 s、2243.33 mPa·s、2.48、133.66 μm,因此选择正磷酸钠热处理进行复合试验。

表 1 磷酸化热处理对膨化玉米粉冲调性的影响

Table 1 Effect of phosphorylated heat treatment on the blending property of extruded corn flour

样品名称	WSI/%	WAI	黏度/mPa·s	分散时间/s	结块率/%
空白组	30.40±1.47 ^b	4.96±0.09 ^b	2193.00±46.39 ^a	8.63±0.04 ^a	9.60±0.15 ^a
柠檬酸	34.26±1.16 ^a	5.28±0.01 ^a	2200.00±30.57 ^a	4.97±0.01 ^c	6.38±0.68 ^b
正磷酸钠	32.36±0.51 ^{ab}	5.35±0.17 ^a	2243.33±8.82 ^a	5.39±0.02 ^b	5.57±0.05 ^b
三聚磷酸盐	34.41±0.62 ^a	5.21±0.07 ^a	2203.00±72.93 ^a	5.72±0.03 ^b	5.98±0.11 ^b

注:表中数据为“均值±标准误差”;同列数据尾部标记无相同字母者表示显著差异($p<0.05$);下同。

表 2 磷酸化热处理对膨化玉米粉色度和粒径的影响

Table 2 Effect of phosphorylated heat treatment on the chrominance and particle size of expanded corn flour

样品名称	L*	a*	b*	ΔE	d ₉₀ /μm
空白组	93.58±0.05 ^a	1.89±0.17 ^c	26.13±0.73 ^b	-	111.60±1.25 ^c
柠檬酸	91.61±1.18 ^b	2.46±0.22 ^{ab}	26.81±0.22 ^{ab}	2.16±0.01 ^b	130.15±1.27 ^a
正磷酸钠	91.89±0.45 ^b	2.63±0.14 ^a	27.79±0.31 ^a	2.48±0.12 ^a	133.66±1.97 ^b
三聚磷酸盐	92.21±0.37 ^{ab}	2.11±0.03 ^{bc}	26.78±0.05 ^{ab}	1.54±0.03 ^c	127.48±2.03 ^b

表 3 酶处理对膨化玉米粉冲调性能的影响

Table 3 Effect of enzyme treatment on processing properties of extruded corn flour

样品名称	WSI/%	WAI	黏度/mPa·s	分散时间/s	结块率/%
空白组	30.40±1.47 ^d	4.96±0.09 ^a	2193.00±46.39 ^b	8.63±0.04 ^a	9.60±0.15 ^a
普鲁兰酶	43.97±1.55 ^c	4.11±0.21 ^b	1933.33±24.05 ^c	6.08±0.01 ^b	6.47±0.21 ^d
α-淀粉酶	80.98±1.60 ^a	1.21±0.08 ^d	56.33±2.03 ^e	5.60±0.07 ^c	5.01±0.08 ^e
中性蛋白酶	40.02±0.24 ^b	3.23±0.07 ^c	306.33±13.18 ^d	4.81±0.15 ^d	6.16±0.04 ^d
脂肪酶	30.54±0.79 ^d	5.04±0.10 ^a	2246.33±76.6 ^a	5.53±0.10 ^c	9.64±0.23 ^b

表 4 酶处理对膨化玉米粉色度和粒径的影响

Table 4 Effect of enzyme treatment on the chrominance and particle size of extruded corn flour

样品名称	L*	a*	b*	ΔE	d ₉₀ /μm
空白组	93.58±0.05 ^a	1.89±0.17 ^b	26.13±0.73 ^{ab}	-	111.60±1.25 ^c
普鲁兰酶	92.75±0.18 ^a	2.08±0.18 ^{ab}	27.00±0.61 ^{ab}	1.22±0.02 ^c	126.41±1.63 ^b
α-淀粉酶	92.79±0.27 ^a	1.96±0.08 ^{ab}	26.96±0.34 ^{ab}	1.26±0.07 ^c	111.66±0.66 ^c
中性蛋白酶	92.48±0.09 ^a	2.26±0.05 ^a	27.42±0.13 ^a	1.74±0.03 ^b	156.49±2.46 ^a
脂肪酶	92.54±0.30 ^a	1.94±0.12 ^{ab}	25.70±0.16 ^b	2.28±0.09 ^a	113.46±0.53 ^c

2.2 酶处理对膨化玉米粉冲调性能、色度和粒径的影响

从表 3 可知, 四种酶处理的膨化玉米粉水溶性指数升高, 吸水性指数降低。与空白组相比, 普鲁兰酶、 α -淀粉酶、中性蛋白酶处理后的膨化粉水溶性指数从 30.40% 分别增加到 43.97%、80.98%、40.02%。经脂肪酶处理的样品吸水性指数、水溶性指数没有显著差异。因为样品的主要成分是淀粉和蛋白质, 脂肪含量少, 普鲁兰酶与淀粉发生脱支反应, 线性短链直链淀粉增加^[32], α -淀粉酶、中性蛋白酶处理释放大量的可溶性物质^[9]和疏水性物质肽、氨基酸^[8], 从而导致了膨化玉米粉的水溶性指数升高, 吸水性指数降低, 膨化玉米粉的冲调性改善。刘磊等^[23]研究发现 α -淀粉酶预酶解膨化玉米全粉的水溶性指数从 63.46% 增至 71.24%, 吸水性指数从 1.97 降至 1.45%, 与本研究变化趋势相一致。

与空白组相比, 经普鲁兰酶、 α -淀粉酶、中性蛋白酶处理的膨化粉黏度显著降低, 分别为 1933.33 mPa·s、56.33 mPa·s、306.33 mPa·s, 说明这三种酶处理膨化粉均具有剪切变稀作用。因为这三种酶将膨化粉中大分子淀粉和蛋白质结构被切断, 三维网状结构难以维持, 故黏度降低^[27]。黏度大小还受溶液内摩擦力的影响, 内摩擦力越大, 黏度越大^[33]。

普鲁兰酶、 α -淀粉酶、中性蛋白酶处理的膨化玉米粉分散时间和冲调结块率显著降低 ($p < 0.05$), 其中 α -淀粉酶处理膨化粉时结块率最低为 5.01%, 因为此时冲调液的黏度较低, 淀粉凝胶能力变弱, 不易溶解的粉末夹心块减少, 故结块率降低。而在分散时间的测定过程中, 冲调时加入的粉体量较少且进行了适当的搅拌, 所以冲调时间较短并未结块。说明酶处理改善了膨化玉米粉的冲调分散性。周先汉等^[16]研究发现速溶葛粉经普鲁兰酶水解后成糊均匀, 无凝块, 冲调性改善。刘磊等^[23]研究发现在挤压过程中加入 α -淀粉酶处理后的膨化玉米粉结块率从 4.66% 增加到 8.17%, 这与本研究结果不一致。原因可能是添加高温 α -淀粉酶辅助挤压膨化过程中由于挤压膨化过程时间太短, 淀粉酶作用有限, 而对糊化度较高的膨化粉进行酶解, 酶解效率高, 说明本试验处理后的玉米粉中小分子糖类、糊精物质含量高, 亲水性强。许亚翠等^[9]研究发现经高温型 α -淀粉酶处理膨化玉米粉的黏度从 113.9 mPa·s 降至 88.6 mPa·s, 结块率从 32.0% 降至 11.25%, 而本试验中经 α -淀粉酶处理后的膨化玉米粉结块率较低为 5.01%, 说明膨化后酶解玉米粉的冲调性较好。

经普鲁兰酶、 α -淀粉酶、中性蛋白酶处理的膨化玉米粉水溶性指数显著大于磷酸化热处理, 吸水性指数和黏度低于磷酸化热处理, 且 α -淀粉酶处理后粉体结块率低于磷酸盐热处理。酶解可显著增加膨化粉溶解性和冲调分散性, 降低黏度。

从表 4 可知, 经四种酶处理后样品的 ΔE 值小于 3, 表明酶处理对膨化粉色差变化小。普鲁兰酶、中性蛋白酶、脂肪酶处理后的粉体粒径显著增加, 而 α -淀粉酶处理对粉体粒径变化不显著。可能是普鲁兰酶发生脱支反应, 产生更多易于结晶的直链淀粉分子, 形成致密的团块状颗粒结构, 故粒径增大^[34]。王亚丹等^[8]研究发现中性蛋白酶处理玉米粉的 d_{90} 从 324.97 μm 降至 229.81 μm , 与本研究结果不一致, 可能是酶解方式不同。

α -淀粉酶、中性蛋白酶处理的膨化粉冲调结块率较低, 分别为 5.01%、6.16%, 呈淡黄色, 该酶处理下膨化玉米粉冲调性较好, 因此选择 α -淀粉酶、中性蛋白酶分别与磷酸化和食用胶进行复合实验。

2.3 食用胶干热处理对膨化玉米粉冲调性能、色度和粒径的影响

由表 5 可知, 四种食用胶干热处理膨化粉的水溶性指数增加, 吸水性指数变化不显著, 分散时间和结块率下降。可能是干热处理破坏了膨化粉中淀粉分子结构, 使小分子糖类、糊精含量增多, 亲水性增强, 说明食用胶干热处理膨化粉改善冲调溶解性和分散性。与磷酸化热处理、酶处理方式不同, 食用胶干热处理可增加膨化玉米粉黏度, 表明该处理方式下粉体具糊状液的黏度。因为食用胶在干热条件下与淀粉发生交联反应, 使颗粒空间位阻增大^[34], 可容纳更多的水分, 淀粉颗粒进一步膨胀, 故黏度增加。

从表 6 可知, 经食用胶干热处理的膨化玉米粉 L^* 值变化不显著, a^* 值和 b^* 值显著降低 ($p < 0.05$)。因为干热处理时粉体与空气接触, 酚类物质和色素发生氧化还原反应, 红度和黄度降低。经黄原胶、海藻酸钠干热处理后膨化粉的 ΔE 值色差变化不大, 说明适合冲调粉的加工, 而卡拉胶和羧甲基纤维素钠干热处理对粉体泽产生了一定的色差。四种食用胶干热处理后膨化粉粒径显著增加, 原因是干热处理使多个淀粉分子与食用胶分子连接起来, 导致颗粒粒径增大^[35]。

黄原胶干热处理对膨化玉米粉的黏度、分散时间、结块率分别为 2240 mPa·s、5.58 s、6.12%, 冲调性较好, 呈黏稠状, 色差变化较小, 因此选择黄原胶进行复合试验。

表5 食用胶干热处理对膨化玉米粉冲调性能的影响

Table 5 Effect of dry heat treatment of edible gelatine on processing properties of expanded corn flour

样品名称	WSI/%	WAI	黏度/mPa·s	分散时间/s	结块率/%
空白组	30.40±1.47 ^a	4.96±0.09 ^a	2193.00±46.39 ^{cd}	8.63±0.04 ^a	9.60±0.15 ^a
黄原胶	32.60±0.85 ^b	4.85±0.03 ^{ab}	2240.00±11.55 ^{bc}	5.58±0.10 ^d	6.12±0.11 ^d
海藻酸钠	32.70±0.98 ^b	4.88±0.01 ^{ab}	2310.00±36.08 ^b	5.88±0.03 ^c	6.15±0.03 ^d
卡拉胶	31.91±0.63 ^b	4.83±0.03 ^{ab}	2255.00±40.65 ^c	6.08±0.02 ^c	7.70±0.06 ^c
羧甲基纤维素钠	31.78±0.36 ^b	4.79±0.04 ^b	2580.00±11.55 ^a	6.41±0.12 ^b	7.09±0.23 ^b

表6 食用胶干热处理对膨化玉米粉色差和粒径的影响

Table 6 Effect of dry heat treatment of edible gelatine on the chrominance and article size of expanded corn

样品名称	L*	a*	b*	ΔE	d ₉₀ /μm
空白组	93.58±0.05 ^a	1.89±0.17 ^a	26.13±0.73 ^a	-	111.60±1.25 ^c
黄原胶	92.71±0.36 ^a	1.62±0.14 ^{ab}	23.49±0.61 ^{bc}	2.79±0.02 ^c	138.17±1.42 ^{ab}
海藻酸钠	93.45±0.09 ^a	1.53±0.05 ^{bc}	24.10±0.61 ^b	2.06±0.01 ^d	136.50±1.29 ^b
卡拉胶	93.04±0.53 ^a	1.29±0.03 ^c	22.33±0.27 ^{cd}	3.87±0.11 ^b	140.07±0.90 ^{ab}
羧甲基纤维素钠	93.62±0.07 ^a	1.20±0.02 ^c	22.11±0.13 ^d	4.07±0.15 ^a	142.53±2.12 ^a

表7 复合处理对膨化玉米粉冲调性能的影响

Table 7 Effect of compound treatment on the punching property of expanded corn flour

处理序号	WSI/%	WAI	黏度/mPa·s	分散时间/s	结块率/%
0	30.40±1.47 ^f	4.96±0.09 ^a	2193.00±46.39 ^b	8.63±0.04 ^a	9.60±0.15 ^a
1	73.37±0.19 ^c	1.37±0.03 ^d	83.33±3.34 ^{de}	4.78±0.01 ^c	1.63±0.01 ^c
2	79.67±0.87 ^b	1.24±0.08 ^d	100.00±0 ^d	4.54±0.02 ^a	1.87±0.29 ^c
3	54.81±0.29 ^d	2.81±0.01 ^c	2361.33±11.63 ^a	4.62±0.01 ^d	5.61±0.102 ^b
4	79.95±0.82 ^b	1.07±0.01 ^{ef}	60.00±1.16 ^{de}	4.97±0.02 ^b	1.46±0.01 ^c
5	83.73±2.08 ^a	0.89±0.10 ^f	16.00±0 ^e	4.51±0.02 ^c	1.67±0.14 ^c
6	49.20±1.06 ^e	3.42±0.22 ^b	546.67±52.10 ^c	4.81±0.03 ^c	4.89±0.62 ^b

注：样品名称中“0”为空白；“1”为“黄原胶+α-淀粉酶”；“2”为“α-淀粉酶+黄原胶”；“3”为“黄原胶+正磷酸钠”；“4”为“α-淀粉酶+正磷酸钠”；“5”为“正磷酸钠+α-淀粉酶”；“6”为“正磷酸钠+中性蛋白酶”；“1”和“2”中黄原胶和α-淀粉酶复合处理顺序不同；“4”和“5”中正磷酸钠和α-淀粉酶复合处理顺序不同；下同。

2.4 复合处理对膨化玉米粉冲调性能、色度和粒径的影响

如表7可知，经黄原胶α-淀粉酶、α-淀粉酶黄原胶复合处理后的膨化粉水溶性指数分别为73.37%、79.69%，先酶解后食用胶干热处理水溶性指数较大，说明酶解可促进了淀粉的热反应；而黄原胶干热处理、α-淀粉酶单一处理的水溶性指数分别为32.60%、80.98%，高于黄原胶干热处理。经黄原胶α-淀粉酶复合处理、α-淀粉酶处理后的膨化玉米粉的吸水性指数低于黄原胶干热处理方式下的膨化粉，因为酶解后淀粉释放可溶性小分子物质的量较多，可溶性物质增加，离心沉淀物减少。正磷酸钠α-淀粉酶复合处理的膨化粉水溶性指数低于α-淀粉酶正磷酸钠处理，而吸水性指数则相反，说明先磷酸化热处理后酶解膨化粉冲调

性较好，与α-淀粉酶处理粉的吸水性指数差异不显著，复合处理下水溶性指数高于正磷酸钠单一处理。经黄原胶正磷酸钠、正磷酸钠中性蛋白酶复合处理后的膨化粉吸水性指数高于单一处理方式，水溶性指数低于单一处理方式，说明该复合处理下的膨化粉颗粒间的空隙适中，水分的流动与排除增强，加强了亲水基团对水的吸附作用。

经黄原胶α-淀粉酶、α-淀粉酶黄原胶复合处理后的膨化粉结块率分别为1.63%、1.87%，黏度分别为83.33 mPa·s、100 mPa·s，而黄原胶干热处理、α-淀粉酶膨化粉的结块率分别为6.12%、5.01%，黏度分别为2240 mPa·s、56.33 mPa·s，复合处理后结块率低于单一处理，黏度高于α-淀粉酶处理，说明复合处理改善了膨化粉的冲调分散性，且先α-淀粉酶后黄原胶干热处理黏度适中。黄原胶α-淀粉酶处理比α-淀粉酶黄原胶处理的结块率和黏度低，因为干热处理破坏了淀粉

的表面结构,增加了酶的接触位点,增大了酶解效率,导致淀粉表面产生更多的孔洞^[10],可溶性糖类物质较多,降低黏度和结块率。 α -淀粉酶正磷酸钠、正磷酸钠 α -淀粉酶处理后的膨化粉结块率分别为 1.46%、1.67%,而正磷酸钠处理方式下的结块率为 5.57%,结块率低于单一处理方式,表明酶解联合磷酸化热处理改善了膨化玉米粉的冲调分散性。先酶解再正磷酸钠热处理这种处理顺序对膨化粉的冲调性较优,因为酶解促使磷酸盐更快、更充分地与淀粉发生酯化反应,同时,该处理顺序促使玉米粉的凝胶能力变弱,表现出更多的流体的特性^[26],不溶性粉块减少,故黏度和结块率降低,冲调性改善。经黄原胶和正磷酸钠、正磷酸钠和中性蛋白酶复合处理后的膨化粉结块率分别

为 5.61%、4.89%,黏度分别为 2361.33 mPa·s、546.67 mPa·s,结块率低于正磷酸钠、黄原胶干热处理,黏度适中,说明正磷酸钠和中性蛋白酶复合处理后的膨化米粉冲调性较好。

由表 8 可知,复合处理使粉体的 L*值降低,因为高温可能会引起玉米黄素等原有色素发生氧化或降解而降低亮度, ΔE 值均小于 3,即复合处理对膨化粉色差变化不大。复合处理使粒径显著增加,可能是复合处理使膨化粉中淀粉发生降解,颗粒膨胀而使粒径增大。王亚丹等^[8]将玉米粉磷酸化处理后再中性蛋白酶处理其粒径 d_{90} 由 324.97 μm 增加至 331.02 μm ,与本实验研究结果相似。复合处理方式可增加产品的粒径,同时也改善了冲调性,对粉体色差影响较小。

表 8 复合处理对膨化玉米粉色度和粒径的影响

Table 8 Effect of composite treatment on the chrominance and particle size of puffed corn color

处理序号	L*	a*	b*	ΔE	$d_{90}/\mu\text{m}$
0	93.58±0.05 ^a	1.89±0.17 ^{bc}	26.13±0.73 ^{ab}		111.60±1.25 ^d
1	92.67±0.11 ^b	1.50±0.07 ^d	23.81±0.30 ^c	2.52±0.07 ^a	152.17±5.29 ^b
2	92.95±0.21 ^{ab}	1.54±0.11 ^{cd}	24.65±0.69 ^c	1.64±0.02 ^b	185.10±1.36 ^a
3	91.28±0.15 ^c	2.38±0.15 ^a	27.72±0.72 ^a	2.84±0.09 ^a	133.54±1.78 ^e
4	92.22±0.17 ^{bc}	2.14±0.07 ^{ab}	25.34±0.13 ^b	0.95±0.01 ^d	149.55±3.83 ^c
5	92.14±0.55 ^{bc}	2.14±0.08 ^{ab}	26.10±0.15 ^{ab}	1.15±0.03 ^c	118.14±2.01 ^d
6	92.93±0.05 ^{ab}	1.52±0.04 ^d	25.52±0.13 ^b	0.96±0.02 ^d	131.14±1.00 ^c

3 结论

本试验探讨了磷酸化热处理、酶处理、食用胶干热处理及其复合处理对膨化玉米粉冲调性能、色度和粒径的影响。结果表明,磷酸化热处理对膨化粉黏度无显著影响;食用胶干热处理黏度增加,吸水性指数和水溶性指数显著增加;酶处理及其与磷酸化、食用胶干热复合处理吸水性指数和黏度显著降低,水溶性指数大于磷酸化和食用胶干热处理。 α -淀粉酶处理粉的水溶性指数从 30.4%增至 80.98%,吸水性指数从 4.96 降至 1.21。从冲调性指标分析可得,复合处理优于单一处理。黄原胶 α -淀粉酶、 α -淀粉酶正磷酸钠复合处理膨化粉结块率分别为 1.63%、1.46%,低于正磷酸钠、 α -淀粉酶、中性蛋白酶、黄原胶干热处理粉结块率,分别为 5.57%、5.60%、6.16%、5.58%,两种复合处理方式下黏度较稀,分别为 83.33 mPa·s、100 mPa·s;正磷酸钠、黄原胶干热处理黏度分别为 2243.33 mPa·s、306.33 mPa·s,正磷酸钠联合中性蛋白酶处理黏度、结块率分别为 546.67 mPa·s、4.89%,黏度适中,结块率低于单一处理,此时分散时间、粒径分别为 4.81 s、131.14 μm , L*、a*、b*值下降,呈淡黄色。综合分析,正磷酸钠中性蛋白酶复合处理下膨化米粉冲调

性较好。

参考文献

- [1] Feng X, Pan L, Wang Q, Liao Z, et al. Nutritional and physicochemical characteristics of purple sweet corn juice before and after boiling [J]. PLoS One, 2020, 15(5): 1-18
- [2] Cardoso R V C, Fernandes Â, González-Paramás A M, et al. Flour fortification for nutritional and health improvement: a review [J]. Food Research International, 2019, 125(7): 1-11
- [3] Ramya Bai M, Wedick N M, Shanmugam S, et al. Glycemic index and microstructure evaluation of four cereal grain foods [J]. Food Science, 2019, 84(12): 3373-3382
- [4] Thakur S, Singh N, Kaur A, et al. Effect of extrusion on physicochemical properties, digestibility, and phenolic profiles of grit fractions obtained from dry milling of normal and waxy corn [J]. Food Science, 2017, 82(5): 1101-1109
- [5] Román L, Martínez M M, Rosell C M, et al. Changes in physicochemical properties and *in vitro* starch digestion of native and extruded maize flours subjected to branching enzyme and maltogenic α -amylase treatment [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 101(7): 326-333

- [6] 张亮,刘璐宁,孟宪梅,等.双酶预酶解协同挤压膨化改善发芽糙米粉冲调性的工艺优化[J].中国食品添加剂,2018,176(10):108-117
ZHANG Liang, LIU Luning, MENG Xianmei, et al. The collaborative process optimization of two enzymes-extrusion to improve the solubility of germinated brown rice powder [J]. China Food Additives, 2018, 176(10): 108-117
- [7] 沈娜,李亦蔚,汪霞丽,等.葛根淀粉性质及改性方法研究进展[J].食品与机械,2012,28(4):245-249
SHENG Na, LI Yiwei, WANG Xiali, et al. Research progress of kudzu properties and modification methods [J]. Food & Machinery, 2012, 28(4): 245-249
- [8] 王亚丹,卢二帅,刘亚伟,等.酶处理磷酸化玉米粉特性分析[J].食品科技,2018,43(4):177-183
WANG Yadan, LU Ershuai, LIU Yawei, et al. The characterization analysis of phosphorylated corn flour by enzyme [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(4): 177-183
- [9] 许亚翠,钱海峰,张晖.高温型 α -淀粉酶对膨化米粉冲调性的影响[J].食品与发酵工业,2012,38(8):73-77
XU Yacui, QIAN Haifeng, ZHANG Hui. Effect of thermo stable α -amylase on solubility of extruded rice powder [J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(8): 73-77
- [10] Xie Y, Li M N, Chen H Q, et al. Effects of the combination of repeated heat-moisture treatment and compound enzymes hydrolysis on the structural and physicochemical properties of porous wheat starch [J]. Food Chemistry, 2019, 274(18): 351-359
- [11] 杨波,王珂,杨光,等.黄原胶的干热改性及复配增稠应用[J].食品与发酵工业,2021,47(4):116-122
YANG Bo, WANG Ke, YANG Guang, et al. Modification of xanthan gum by dry heat and application of its compound thickening [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(4): 116-122
- [12] Zhang Y, Li M, You X, et al. Impacts of guar and xanthan gums on pasting and gel properties of high-amylose corn starches [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 146(15): 1060-1068
- [13] Yang L, Zhou Y, Zheng X, et al. Determination of optimum experimental conditions for preparation and functional properties of hydroxypropylated, phosphorylated and hydroxypropyl-phosphorylated glutinous rice starch [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 105(11): 317-327
- [14] 李光磊,李一卓,马汉军,等.玉米淀粉磷酸双酯的理化特性研究[J].现代食品科技,2014,30(3):18-22,27
LI Guanglei, LI Yizhuo, MA Hanjun, et al. Characteristic study on phosphodiester in corn starch [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(3): 18-22, 27
- [15] Myat L, Ryu G H. Effect of thermostable α -amylase injection on mechanical and physiochemical properties for saccharification of extruded corn starch [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2013, 94(2): 288-295
- [16] 周先汉,张莉,欧杰.速溶即食葛粉酶法工艺及优化[J].食品科学,2005,26(8):238-241
ZHOU Xianhan, ZHANG Li, OU Jie. Optimization of the technology for the enzyme processing of the instant edible kudzu powder [J]. Food Science, 2005, 26(8): 238-241
- [17] Liu K, Hao Y, Chen Y, et al. Effects of dry heat treatment on the structure and physicochemical properties of waxy potato starch [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 146(3): 1044-1050
- [18] 费永涛,郑文雄,陈燕清,等.代餐粉特性及加工生产的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2021,12(9):3557-3564
FEI Yongtao, ZHENG Wenxiong, CHENG Yanqing, et al. Research progress on characteristics and processing of meal replacement powder [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2021, 12(9): 3557-3564
- [19] 苏小军,卢成特,王锋,等.热处理对淮山熟全粉理化特性的影响[J].食品科学,2020,41(5):80-86
SU Xiaojun, LU Chengte, WANG Feng, et al. Effect of treatment on physicochemical properties of Chinese flour [J]. Food Science, 2020, 41(5): 80-86
- [20] 王香丽,刘洁,卢二帅,等.酶处理磷酸化玉米粉的制备工艺研究[J].食品科技,2018,43(3):142-148
WANG Xiangli, LIU Jie, LU Ershuai, et al. The preparation of process phosphorylated corn flour with treated by enzymes [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(3): 142-148
- [21] GB 2760-2014.食品安全国家标准 食品添加剂使用标准 [S]
GB 2760-2014. National Standard for Food Safety, Standard for Use of Food Additives [S]
- [22] 王富盛,刘景圣.多酶复合对玉米粉质构特性的影响[J].中国食物与营养,2012,18(3):49-53
WANG Fusheng, LIU Jingsheng. Influence of texture properties of corn flour by multienzyme [J]. Chinese Food and Nutrition, 2012, 18(3): 49-53
- [23] 刘磊,邱婷婷,赵志浩,等.预酶解-挤压膨化工艺改善玉米全粉冲调分散性[J].现代食品科技,2018,34(10):141-146,170
LIU Lei, QIU Tingting, ZHAO Zhihao, et al. Extrusion with

- enzyme pretreatment improves dispersibility of whole corn flour [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(10): 141-146, 170
- [24] 戴晓慧,张名位,马永轩,等.蒸汽酶解调质-挤压膨化工艺改善速食米粉冲调分散性和预消化性[J].*现代食品科技*,2020, 36(10):200-209,156
Dai Xiaohui, ZHANG Mingwei, MA Yongxuan, et al. Improvement of dispersion and predigestion of instant rice flour by steam enzymatic hydrolysis-extrusion-expansion process [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(10): 200-209, 156
- [25] 张艳,华欲飞,孔祥珍.低限度酶水解对醇法大豆浓缩蛋白分散性的影响[J].*食品工业科技*, 2008,12(10):68-70,74
ZHANG Yan, HUA Yufei, KONG Xiangzhen. Effects of limited enzymatic hydrolysis on dispersion properties of soy protein concentrate [J]. *Science and Technology in Food Industry*, 2008, 12(10): 68-70, 74
- [26] 邵子晗,洪莹,曹磊,等.不同预糊化时间对即食冲调米粉品质的影响[J].*食品科学*,2021,42(13):1-9
SHAO Zihan, HONG Ying, CAO Lei, et al. Effect of different pre-gelatinization time on the quality of instant rice flour [J]. *Food Science*, 2021, 42(13): 1-9
- [27] 包浩,刘忠义,彭丽,等.大米淀粉磷酸酯的制备及其理化性质研究[J].*中国粮油学报*,2016,31(1):5-9
BAO Hao, LIU Zhongyi, PENG Li, et al. Study on preparation and physicochemical properties of rice starch phosphate ester [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2016, 31(1): 5-9
- [28] 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 Mengru. Preparation and storage properties of whole grain brown rice solid beverage [D]. Nanchang: Nanchang University, 2020
- [29] Xie Y, Zhang B, Li M N, et al. Effects of cross-linking with sodium trimetaphosphate on structural and adsorptive properties of porous wheat starches [J]. *Food Chemistry*, 2019, 289(15): 187-194
- [30] 倪洋,范柳萍,徐学碗.酶解对白果浊汁稳定性及色泽的影响[J].*食品与机械*,2018,34(5):183-187
NI Yang, FAN Liuping, XU Xuewan. The effect of enzymatic hydrolysis on the stability and color of ginkgo cloudy juice [J]. *Food & Machinery*, 2018, 34(5): 183-187
- [31] 许牡丹,刘红,肖文丽,等.膨化米粉对枣粉冲调性的影响[J].*食品科技*,2014,39(8):153-156
XU Mudan, LIU Hong, XIAO Wenli, et al. Effect of expanded rice powder on reconstitubility of jujube powder [J]. *Food Science and Technology*, 2014, 39(8): 153-156
- [32] 赵思明.稻米淀粉特性与老化机理研究[D].武汉:华中农业大学,2001
ZHAO Siming. Study on the properties and retrogradation mechanism of rice starch [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2001
- [33] 李慧敏,郑淘,曾艺琼,等.AHP-CRITIC 权重分析法综合优选玉竹全粉改性工艺[J].*食品与发酵工业*,2021,47(5):138-146
LI Huimin, ZHENG Tao, ZENG Yiqiong, et al. Comprehensive optimization of modified technology of *Polygonatum odoratum* whole powder by AHP-CRITIC weighted evaluation [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(5): 138-146
- [34] 肖天天.嗜冷普鲁兰酶制备玉米抗性淀粉工艺优化及特性研究[D].洛阳:河南科技大学,2015
XIAO Tiantian. Preparation process optimization and properties analysis of corn resistant starch prepared by psychrophilic-pullulanase [D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2015
- [35] 申雪然,钟芳,麻建国.羧甲基纤维素钠的种类和用量对于热变性淀粉糊化性质的影响[J].*食品与机械*,2007,3:20-24
SHENG Xueran, ZHONG Fang, MA Jianguo. Paste properties of modified by dry heating treatment with Carboxymethylcellulose sodium [J]. *Food & Machinery*, 2007, 3: 20-24