

抗性糊精对面粉流变特性及糊化凝胶的影响

刘德志¹, 武云娇¹, 王一飞¹, 胡鑫¹, 魏春红¹, 王维浩^{1,2}, 曹龙奎^{1,2}

(1.黑龙江八一农垦大学, 黑龙江 大庆 16300; 2.国家杂粮工程技术研究中心, 黑龙江 大庆 16300)

摘要: **目的** 为扩大抗性糊精在面制品中应用, 探究抗性糊精对面粉品质特性的影响。**方法** 将抗性糊精按照不同质量分数(2.5%~10%)添加到面粉中, 采用粉质、拉伸仪分别考察抗性糊精对面粉流变特性的影响, 并通过RVA糊化仪和扫描电镜等手段探究面粉糊化及凝胶特性的影响。**结果** 与对照组相比, 添加抗性糊精能使面粉稳定时间显著延长和弱化度显著降低, 改善面团整体的拉伸特性, 提升面粉筋力; 糊化黏度特性显示, 抗性糊精能提升面粉的糊化温度, 使面粉的糊化峰值黏度、崩解值和回生值降低, 改善面粉糊化热稳定性, 并延缓凝胶短期回生。**结论** 抗性糊精可作为面粉改良剂, 改善面粉流变、糊化及凝胶回生特性, 从而提升面粉的品质。

关键词: 抗性糊精; 面粉; 流变特性; 糊化特性; 凝胶结构

中图分类号: TS231 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)01-0253-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.01.028

Effect of Resistant Dextrin on Rheological Properties of Flour and Gelatinized Gel

LIU De-zhi¹, WU Yun-jiao¹, WANG Yi-fei¹, HU Xin¹, WEI Chun-hong¹,
WANG Wei-hao¹, CAO Long-kui¹

(1. Heilongjiang Bayi Agricultural University, Heilongjiang Daqing 163000, China;

2. National Coarse Cereals Engineering Research Center, Heilongjiang Daqing 163000, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the effect of resistant dextrin on the quality characteristics of flour to expand the application of resistant dextrin in flour products. In this work, resistant dextrin was added to flour in different proportions (2.5%-10%). The effects of resistant dextrin on the rheological properties of flour were investigated by farinograph and extensometer. The effects of gelatinization properties and gel structure of flour were investigated by RVA gelatinizer and scanning electron microscope. The results showed that compared with flour without resistant dextrin, the addition of resistant dextrin could significantly prolong the flour stability time and significantly reduce the degree of weakening, improve the overall tensile properties of the wheat dough, and enhance the gluten effect of flour; The characteristics of gelatinization viscosity showed that resistant dextrin could increase the gelatinization temperature of flour, reduce the peak gelatinization viscosity, disintegration value and retrogradation value of flour, improve the thermal stability of flour gelatinization, and delay the short-term retrogradation of gel. It is concluded that resistant dextrin can be used as flour improver to improve the rheological, pasting and gel retrogradation characteristics of flour.

KEY WORDS: resistant dextrin; flour; rheological properties; gelatinization characteristics; gel structure

收稿日期: 2022-07-07

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD2100902); 黑龙江省优势特色学科资助项目(No[2018]4号); 黑龙江省“百千万”工程科技重大专项(2021ZX12B06)

作者简介: 刘德志(1996—), 男, 硕士生, 主攻食品科学与工程。

通信作者: 曹龙奎(1965—), 男, 教授, 主要研究方向为粮食、油脂及植物蛋白工程。

随着生活水平的日益提高,由于不合理饮食的能量摄入,导致高血糖、高血脂等慢性代谢疾病发病率逐年增加,有研究表明这与人们日常饮食中的膳食纤维含量不足有关^[1]。抗性糊精(Resistant Dextrin, RD),又称难消化糊精,作为一种新型的小分子水溶性膳食纤维,进入肠道后不被淀粉酶消化,在结肠内经细菌酵解、降解,产生短链脂肪酸,不仅可作为益生元调节肠道菌群抑制结(直)肠癌,降低血浆甘油三酯减轻肥胖^[2]、调控餐后血糖及防治心血管、糖尿病等多种代谢疾病^[3],还具有热稳定性强、耐冷冻、低褐变等^[4]优良的加工特性,正不断应用于奶制品、饮品及其面制品等应用研究中^[5-6]。2012年,中国卫生部发布16号公告批准抗性糊精作为一种安全物质,并广泛应用于食品中,没有使用量的限制^[7],为抗性糊精的安全性能提供理论基础。

面粉是我国主食面制品主要来源,面制品中碳水化合物丰富,但膳食纤维的含量较低,通过将非淀粉多糖类膳食纤维添加到面制品中,明显地改良食品基质的质构状态,满足食品中营养需求^[8]。潘利华等^[9]发现作为水溶性纤维的燕麦 β -葡聚糖能够明显改善面团流变特性,增强面团的拉伸阻力。李方华等^[10]采用抗性糊精制作低热量蛋糕,表明抗性糊精有益于提高蛋糕品质,增强色泽,避免塌陷现象,同时能够延长蛋糕霉变时间,增加保质期。李娜等^[11]研究发现,添加改性麦芽糊精、抗性糊精均能够降低面包的质构硬度,并延缓因水分流失造成的老化的作用。同时,有研究表明面粉糊化凝胶特性是影响面粉品质特性主要因素,如水溶性纤维菊糖可显著降低面粉吸水率与弱化值,弱化面粉凝胶硬度指数^[12];抗性淀粉使小麦面粉凝胶的硬度、黏着性和胶着性显著降低,一定程度抑制面粉中淀粉的糊化回生特性等现象^[13]。

目前,有关作为水溶性膳食纤维的抗性糊精对面粉流变特性、糊化及凝胶特性的研究相对较少,因此,文中旨在探究用抗性糊精对面制品的品质及对糊化及凝胶的影响,为扩大抗性糊精对面制产品的开发应用提供科学依据。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料:小麦粉,陕西益海嘉里有限公司;抗性糊精(纯度 $\geq 90\%$),实验自制;蒸馏水、氯化钠等均为分析纯。

主要仪器:JMLD粉质仪,东方孚德有限公司;Rapid20RVA上海, BosinTech公司;JMLD拉伸仪,东方孚德有限公司;GPhenomG2扫描电子显微镜,Phenom公司。

1.2 面粉粉质特性的测定

参照GB/T 14614—2019将抗性糊精分别以质量分数为0%、2.5%、5%、7.5%、10%的比例添加到面粉中^[14],分别测定混合面粉的含水量,使揉面钵恒温控制器始终保持在 $(30\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 。根据程序设定不断调整参考水量,记录使稠度为 (500 ± 20) FU时所需的加水量,测定吸水率;控制转速为63 r/min搅拌样品,测定粉质特性。

1.3 面团拉伸特性的测定

参照GB/T 14615—2019中对面团拉伸特性测定标准进行测定^[15]。采用食盐水通过上述粉质仪器的揉面体槽中,按照粉质实验略低2%的吸水率,控制在25 s内用食盐水混匀搅拌,称取面团揉至球状,放在成型器中加工成条形,用架子固定两端放置,启动测量系统,使拉面钩扯断面团为止,复位重复上述操作。

1.4 面粉糊化黏度测定

参照李妍等^[16]方法进行测定面粉的糊化黏度,使样品分散开,将铝盒卡入RVA旋转塔中。首先设定在 50°C 下,以960 r/min的转速搅拌10 s,使样品筒内的样品形成均匀装入RVA专用铝盒中,进行糊化黏度测定。

1.5 面粉凝胶微观结构

参考周剑敏等^[17]方法并略有改动,取样上述糊化面粉凝胶进行固定、洗脱后,放置24 h进行冻干、脆断处理,观察面粉凝胶特性。采用离子溅射喷金,在真空条件下进行观察,电压为5 kV,放大100倍。

1.6 数据统计处理

采用Origin2019、WPSEcel、SPSS22.0进行绘图数据处理,取用平均值 $\pm$ 标准差来表示。

2 结果与分析

2.1 抗性糊精对粉质特性的影响

将不同质量分数(0%、2.5%、5.0%、7.5%、10.0%)的抗性糊精混入面粉中,由表1实验结果可知,随着抗性糊精比例的增加,面粉的吸水率呈现降低趋势,当抗性糊精的质量分数达到10%时,面粉的吸水率从60.5%下降至44.3%,同比降低26.8%。当抗性糊精的质量分数达到7.5%时,面团的吸水率从60.5%降至50.3%,同比降低16.9%。这是由于面粉吸水率随着抗性糊精比例的添加逐渐减少,造成面粉中的蛋白、淀粉被一定程度稀释,从而导致面粉吸水率降低,此外,抗性糊精具有一定吸湿性,可在面团表面起到黏合作用,促进面团形成过程中面筋凝胶网络,导致形成面团的吸水量显著减小^[18]。

表 1 不同质量分数抗性糊精对粉质特性的影响
Tab.1 Effect of different proportion of resistant dextrin on powder properties

不同质量 分数/%	吸水率/%	形成时间/ min	稳定时间/ min	弱化度/ FU
0	60.5±0.9 ^a	4.4±0.2 ^d	6.2±1.2 ^d	74±3 ^a
2.5	58.8±0.4 ^a	4.9±0.8 ^d	7.3±0.2 ^d	69±2 ^b
5.0	54.2±1.1 ^b	5.9±0.3 ^c	9.1±0.4 ^c	57±3 ^c
7.5	50.3±0.3 ^c	7.6±0.5 ^b	11.0±0.4 ^b	51±2 ^d
10.0	44.3±0.8 ^d	11.8±0.7 ^a	18.7±0.6 ^a	42±2 ^e

注: 同列中肩标不同的字母代表差异显著 ($P<0.05$)

如表 1 所示, 随着抗性糊精的添加, 面团形成时间从 4.4 min 延长至 11.8 min, 稳定时间从 6.2 min 增加到 18.7 min, 表明抗性糊精对面团形成时间、稳定时间具有显著提升作用 ($P<0.05$), 表明抗性糊精显著提升面团弹韧性和稳定性, 此结果与水溶性纤维的菊糖、抗性糊精通过参与面筋网络结构形成来调节面粉稳定性结果相似^[19]。此外, 相比对照组面粉粉质的弱化度, 其中抗性糊精质量分数达到 10%, 面团的弱化度从 74 FU 降至 42 FU, 相对降低 43.2%, 进一步表明抗性糊精的添加, 能够显著减少面团弱化值, 延缓形成时间, 导致面团的分解速率和强度增强。由于抗性糊精与水分子、面筋蛋白作用后发生糖基化反应, 使面筋蛋白中 β -折叠比例增加, 对面粉品质改良具有积极作用^[20]。

2.2 抗性糊精对面团拉伸特性的影响

2.2.1 抗性糊精对面团最大拉伸阻力的影响

通过对面团拉伸特性测定, 展现抗性糊精对面筋网络形变后弹性和塑性的影响^[21]。由图 1 所示, 随醒发时间段的延长, 添加抗性糊精的面团最大拉伸阻力均得到增强, 当醒发 45、90、135 min 时, 添加质量分数为 10%抗性糊精的面团最大拉伸阻力分别为 693.7、834.0、811.7 EU, 比未添加时分别增加了 87.6%、87.5%、82.3%, 进一步表明在不同醒发阶段, 添加抗性糊精能增强面筋强度, 提升面团品质。由于抗性糊精具有一定的亲水性能参与面筋网络形成, 在面粉中添加抗性糊精会降低面团的吸水率, 从而使面团的硬度增加, 拉伸阻力增大, 此研究与小分子低聚糖可通过参与面筋网络结构形成来调节面团最大拉伸阻力的结果相类似^[22]。

2.2.2 抗性糊精对面团延伸性的影响

如图 2 可知, 随着抗性糊精质量分数的增加, 当醒发 45、90、135 min 时, 添加抗性糊精质量分数为 5%的面团的延伸性分别为 152.3、147.0、134.7 mm, 相比未添加抗性糊精的面团延伸性得到增强; 但抗性糊精质量分数达到 7.5%时, 延伸性则呈现相反下降

的趋势; 当抗性糊精质量分数为 10%时, 面团的延伸性分别为 133.7、133.0、122.7 mm, 降低了面团整体的延伸性, 使面团黏性增强。由于抗性糊精参与初始面筋网络形成, 初始面团延伸性增强, 但当抗性糊精添加量过多, 吸水量减小, 面团变硬, 导致面团延伸性降低, 这与甄远航等^[23]之前研究发现抗性糊精能促进面筋蛋白基质间发生相互作用, 改善延伸度结果相符合。

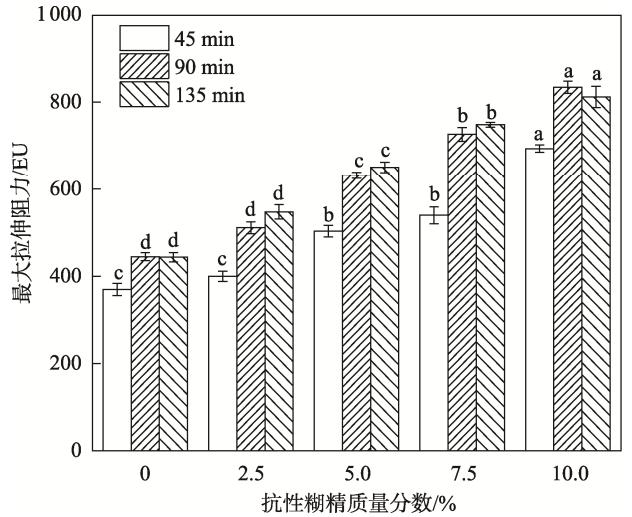


图 1 抗性糊精对面团最大拉伸阻力的影响
Fig.1 Effect of resistant dextrin on the maximum tensile resistance of wheat dough

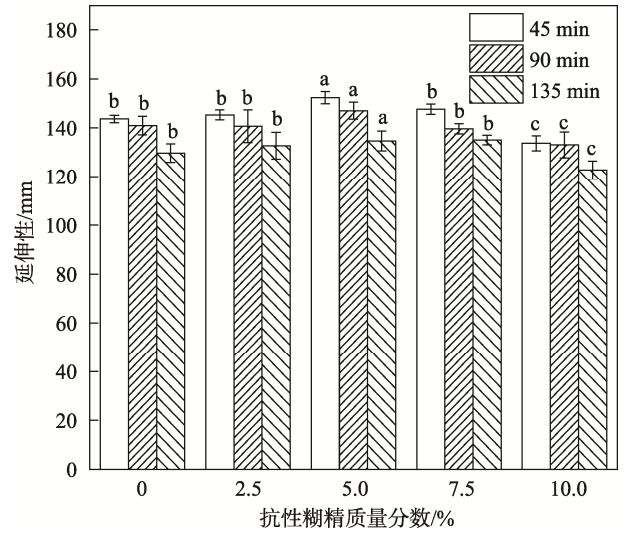


图 2 抗性糊精对面团延伸性的影响
Fig.2 Effect of resistant dextrin on extensibility of wheat dough

2.2.3 抗性糊精对面团拉伸能量的影响

在一定范围内, 面团拉伸曲线能量与面团品质成正比, 可反应面团筋力的强度大小。由图 3 可以看出, 当醒发 45、90、135 min 时, 添加抗性糊精质量分数为 10%时, 面团拉伸能量值分别为 146.0、169.3、165.7 cm², 相比未添加抗性糊精的面团拉伸能量分别增大

57.5%、71.5%、76.2%。此结果进一步表明,随抗性糊精添加量的不断增加,面团拉伸能量逐渐增强,达到强筋作用。此外,Kc等^[24]相关研究发现功能性亲水多糖极易溶于水,也可吸水后形成胶体,能显著增加面团拉伸能量作用。由于抗性糊精可作为小分子增塑剂在面团内形成凝胶网络,与面筋蛋白发生糖基化作用,形成稳定的结构,达到强化筋力作用^[20]。

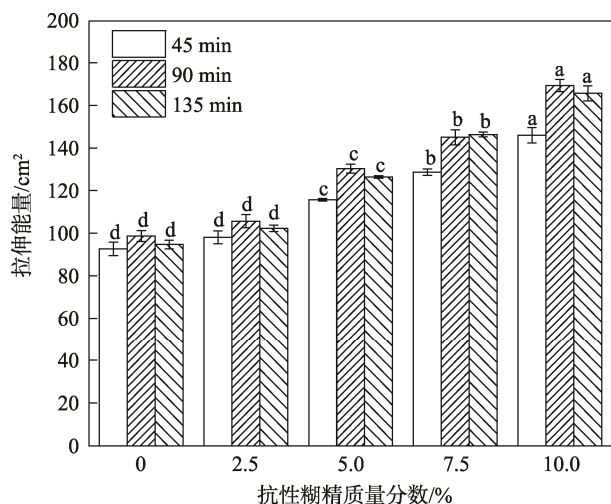


图3 抗性糊精对面团拉伸能量的影响
Fig.3 Effect of resistant dextrin on tensile energy of wheat dough

2.3 抗性糊精对面粉糊化黏度的影响

通过 RVA 黏度仪测定可探究面粉糊化特性的影响。研究表明峰值黏度与面粉受热过程膨胀能力相关,回生值代表面粉的短期回生情况,崩解值表示面粉在高温糊化后的抗剪切稳定性^[25]。由图 4a 面粉糊化特征参数可知,面粉的糊化温度从 86.35 °C 升高到 89.95 °C,糊化温度呈现小幅度升高趋势,表明面粉

糊化需要更高能量;当抗性糊精的质量分数为 10% 时,峰值黏度从 1 492 mPa·s 降至 1 109 mPa·s,同比降低 25.67%,表明抗性糊精的添加能够抑制淀粉颗粒糊化膨胀,提升体系在剪切条件下的热稳定。由图 4b 面粉糊化特征参数可知,崩解值从 524 mPa·s 降至 318 mPa·s,降低了 39.31%;当抗性糊精质量分数达到 10% 时,回生值降至最低水平为 318 mPa·s,有短期抗老化回升特性。由此表明,抗性糊精具有促进体系在剪切条件下的热稳和抗回升作用。由于稀释面粉中淀粉含量,与淀粉在水分子的竞争,在糊化过程中抑制淀粉颗粒膨胀,降低混合面粉整体的短期回升,这与闫丹丹等^[26]研究弹簧糊精增强面粉热稳定性,降低面粉糊化黏度和短期回升特性相一致。

2.4 抗性糊精对糊化面粉凝胶的微观结构影响

如图 5 所示,通过扫描电子显微镜探究抗性糊精对粉凝胶微观形态的影响。未添加抗性糊精的面粉凝胶连续性较好,凝胶内部结呈现致密,形状不规则的网状结构,表明糊化后的面粉凝胶为半互穿网络结构,此结果与普鲁兰多糖对米粉凝胶电泳结果结构相似^[17]。随着面粉凝胶中抗性糊精添加比例的增加,混合网络凝胶结构发生显著变化,面粉凝胶凝胶内部形成多深浅不一孔洞,当质量分数为 10%,凝胶连续性被明显破坏且孔洞增多,进一步表明抗性糊精能够明显改变糊化面粉凝胶内部结构。此前有研究发现抗性糊精能使 κ-卡拉胶凝胶的持水能力升高,而较高的持水性有利于保持凝胶的微观结构^[27]。由于抗性糊精含亲水性羟基与水分子充分结合,导致凝胶中水分的迁移受到抑制,能够减弱淀粉溶胀时对水分子的利用率,导致淀粉链的运动受到限制,阻碍淀粉吸水糊化特性,进而减缓面粉短期回生速率^[28],此结果与上述糊化研究降低面粉凝胶短期回生值结果相符合。

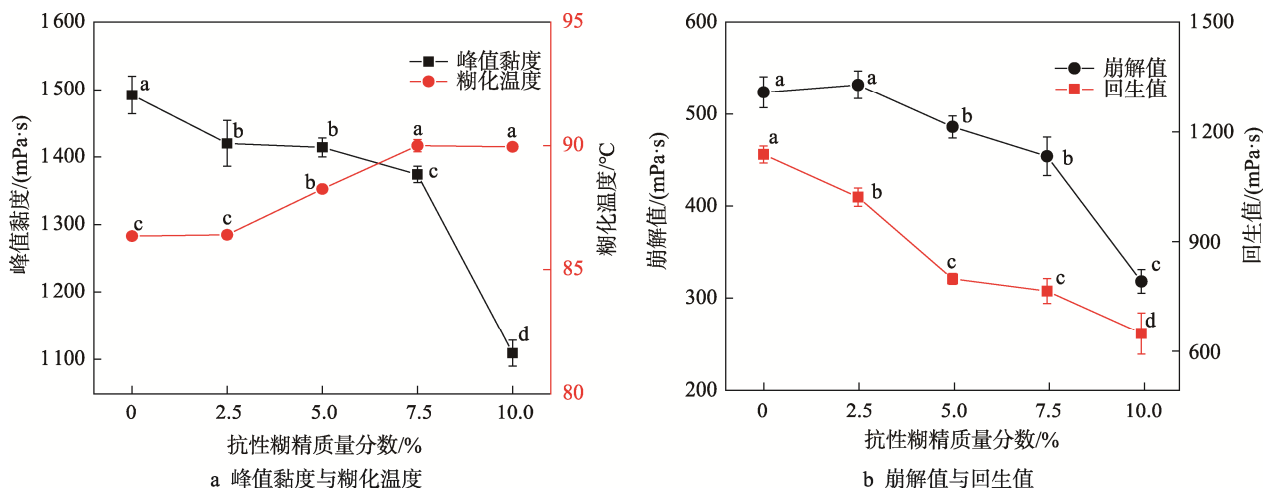


图4 抗性糊精对面粉糊化黏度特性的影响
Fig.4 Effect of resistant dextrin on gelatinization viscosity of flour

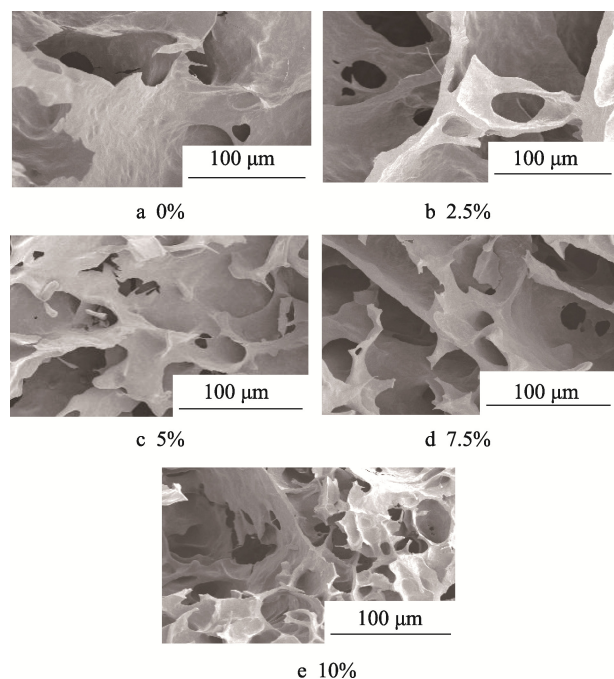


图5 不同质量分数抗性糊精对面粉糊化凝胶的影响扫描电子显微镜图

Fig.5 SEM images of effect of different addition ratios of resistant dextrin on flour gelatinization gel

3 结语

研究通过将抗性糊精加入面粉,探究对面粉流变特性、糊化及凝胶回生特性的影响,结果表明添加抗性糊精能明显改善面粉品质特性,延缓稳时间,降低面团弱化度,增强面筋网络结构,提升面粉筋力和面团整体拉伸特性作用。同时,抗性糊精能够降低糊化面粉的崩解值,增强抗剪切作用,提高面粉凝胶热稳定性,改变面粉凝胶的有序化结构,降低混合面粉整体的短期凝胶回生作用,因此,在制作面制品应用过程中,抗性糊精可作为面粉品质改良剂,不仅增加面粉中膳食纤维的含量,还对改善面粉加工特性具有积极意义。

参考文献:

- [1] TORAYA-AVILÉS R, SEGURA-CAMPOS M, CHEL-GUERRERO L, et al. Some Nutritional Characteristics of Enzymatically Resistant Maltodextrin from Cassava (Manihot Esculenta Crantz) Starch[J]. Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands), 2017, 72(2): 149-155.
- [2] 大隈一裕, 西端豊秀. 水溶性膳食纤维 Fibersol-2[J]. 食品科学, 2004, 25(4): 218-220.
WEIYIYU, WEIYIYU D. Water-soluble Dietary Fiber Fibersol-2[J]. Food Science, 2004, 25(4): 218-220.
- [3] HU Qiu-yue, LU Yao, HU Fan, et al. Resistant Dextrin Reduces Obesity and Attenuates Adipose Tissue Inflammation in High-Fat Diet-Fed Mice[J]. International Journal of Medical Sciences, 2020, 17(17): 2611-2621.
- [4] 苏会波, 林海龙. 难消化糊精的研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2014, 33(1): 1-7.
SU Hui-bo, LIN Hai-long. Research Progress and Market Status of Health Food-Indigestible Dextrin[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2014, 33(1): 1-7.
- [5] 王六强, 张新武, 马飞飞, 等. 抗性糊精的生产应用现状研究与展望[J]. 农产品加工, 2020(11): 75-77.
WANG Liu-qiang, ZHANG Xin-wu, MA Fei-fei, et al. Research and Prospect of Production and Application of Resistant Dextrin[J]. Farm Products Processing, 2020(11): 75-77.
- [6] 李昱辉, 刘湘霞, 黄才创. 抗性糊精研究进展及市场前景[J]. 轻工科技, 2022, 38(06): 11-13
LI Yu-hui, LIU Xiang-xia, HUANG Cai-chuang. Research Progress and Market Prospect of Resistant Dextrin [J]. Light Industry Science and Technology, 2022, 38(06): 11-13.
- [7] 黄政, 孙江文, 徐勇, 等. 抗性糊精的研究与应用进展[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2018, 31(04): 418-427.
HUANG Zheng, SUN Jiang-wen, XU Yong, et al. Research and Application Progress of Resistant Dextrin [J]. Journal of Hainan Normal University (Natural Science Edition), 2018, 31(04): 418-427
- [8] 董吉林, 朱莹莹, 申瑞玲. 全谷物膳食纤维对小麦面团及其主要组分的影响研究进展[J]. 轻工学报, 2021, 36(5): 1-8.
DONG Ji-lin, ZHU Ying-ying, SHEN Rui-ling. Research Progress in the Effects of Whole Grain Dietary Fiber on Wheat Dough and Its Main Components[J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry (Natural Science Edition), 2021, 36(5): 1-8.
- [9] 潘利华, 徐婷婷, 罗水忠, 等. 适量燕麦 β -葡聚糖改善面团流变学特性[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 304-310.
PAN Li-hua, XU Ting-ting, LUO Shui-zhong, et al. Appropriate Addition of Oat β -Glucan Improving Rheological Properties of Dough[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(18): 304-310.
- [10] 李方华, 窦光朋, 杜倩, 等. 抗性糊精在低热量蛋糕中代替蔗糖的应用研究[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(1): 124-127.
LI Fang-hua, DOU Guang-peng, DU Qian, et al. Resistant Dextrin Replacing Sugar in Low Calorie Cake[J]. China Food Additives, 2020, 31(1): 124-127.
- [11] 李娜, 陈晟, 吴敬. 改性麦芽糊精的酶法制备及其在烘焙制品中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(16): 147-151.
LI Na, CHEN Sheng, WU Jing. Enzymatic Preparation of Modified Maltodextrin and Its Application in Bakery Products[J]. Food and Fermentation Industries, 2021,

- 47(16): 147-151.
- [12] 熊政委, 陈程莉, 王存, 等. 菊糖对不同筋度面粉的粉质特性和凝胶质构特性的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 30-34.
- XIONG Zheng-wei, CHEN Cheng-li, WANG Cun, et al. Effects of Inulin on Farinograph and Gel Texture Properties of Flour with Different Gluten[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(7): 30-34.
- [13] 付蕾, 田纪春. 抗性淀粉对小麦粉凝胶质构特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(9): 40-43.
- FU Lei, TIAN Ji-chun. Effect of Resistant Starch on Gel Textural Properties of Wheat Flour[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(9): 40-43.
- [14] GB/T 14614—2019, 粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 粉质仪法[S].
- GB/T 14614—2019, Standardization Administration of the People's Republic of China. Inspection of Grain and Oils—Doughs Rheological Properties Determination of Wheat Flour—Farinograph Test[S].
- [15] GB/T 14615—2019, 粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 拉伸仪法[S].
- GB/T 14615—2019, Standardization Administration of the People's Republic of China. Inspection of Grain and Oils—Doughs Rheological Properties Determination of Wheat Flour—Extensograph Test[S].
- [16] 李妍, 崔维建, 赵城彬, 等. 玉米淀粉-玉木耳多糖复配体系理化及结构性质[J]. 食品科学, 2021, 42(4): 58-64.
- LI Yan, CUI Wei-jian, ZHAO Cheng-bin, et al. Physicochemical and Structural Properties of Corn Starch-Auricularia Cornea Ehrenb. Polysaccharide Blends[J]. Food Science, 2021, 42(4): 58-64.
- [17] 周剑敏, 卞旭, 孙佳, 等. 普鲁兰多糖对粳米粉凝胶及老化特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(5): 1-5.
- ZHOU Jian-min, BIAN Xu, SUN Jia, et al. Effects of Pullulan on Gel and Retrogradation Properties of Indica Rice Flour[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(5): 1-5.
- [18] 黄政. 水溶性抗性糊精的性质及其对面粉加工品质的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2019: 43-45.
- HUANG Zheng. Properties of Water-soluble Resistant Dextrin and Its Effects on the Processing Quality of Flour Products[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019: 43-45.
- [19] 任国宝, 任晨刚, 郇美丽, 等. 膳食纤维对小麦粉品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(2): 6-11.
- REN Guo-bao, REN Chen-gang, HUAN Mei-li, et al. Effect of Dietary Fiber on Flour Quality[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(2): 6-11.
- [20] HUANG Zheng, WANG Jing jing, CHEN Yu, et al. Effect of Water-Soluble Dietary Fiber Resistant Dextrin on Flour and Bread Qualities[J]. Food Chemistry, 2020, 317: 126452.
- [21] 郭艳艳, 李华, 朱宣宣. 酶法改性麦麸及其对面粉粉质特性和面团拉伸特性的影响[J]. 轻工学报, 2022, 37(03): 43-49.
- GUO Yan-yan, LI Hua, ZHU Xuan-xuan. Enzymatic Modification of Wheat Bran and Its Effect on Flour Properties and Tensile Properties[J]. Journal of Light Industry, 2022, 37(03): 43-49.
- [22] 梅媛, 双媛, 柯媛, 等. 低聚糖对小麦粉及辣条坯体品质的影响[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-11[2022-01-04]. 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.029006.
- MEI Yuan, SHUANG yuan, KE Yuan, et al. Effects of Oligosaccharides on the Quality of Wheat Flour and Spicy Strip[J/OL]. Food and Fermentation Industry: 1-11 [2022-01-04]. 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.029006.
- [23] 甄远航. 抗性糊精的分离纯化及其在面制品中的应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021: 39-40.
- ZHEN Yuan-hang. Isolation and Purification of Resistant Dextrin and Its Application in Flour Products[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021: 39-40.
- [24] KE Yuan, DING Bei-bei, FU Yang, et al. Effects of Chitosan Oligosaccharide and Hyriopsis Cumingii Polysaccharide on the Quality of Wheat Flour and Extruded Flour Products[J]. Food Science and Biotechnology, 2021, 30(7): 911-919.
- [25] 乔艳秋, 徐颖, 王展, 等. 芽麦粉添加量对中筋粉面团特性的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 49-53.
- QIAO Yan-qiu, XU Ying, WANG Zhan, et al. Effect of Addition Amount of Sprouted Wheat Flour on the Properties of Plain Flour Dough[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(16): 49-53.
- [26] 闵丹丹. 弹簧糊精的制备、分级及其在面包中的应用[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 28-29.
- MIN Dan-dan. Preparation and Fractionation of Spring Dextrin and Its Application in Bread[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017: 28-29.
- [27] 詹伟, 袁超, 崔波. 抗性糊精对 κ -卡拉胶凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(9): 19-24.
- ZHAN Wei, YUAN Chao, CUI Bo. Gelation Properties of K-Carrageenan Influenced by Resistant Dextrin[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(9): 19-24.
- [28] YANG Heng, TANG Meng-qi, WU Wen-di, et al. Study on Inhibition Effects and Mechanism of Wheat Starch Retrogradation by Polyols[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 121: 106996