

青稞 β -葡聚糖对冷冻熟面品质的影响

Effect of wild oat beta glucan on the quality of frozen cooked noodles

范珈璇 裘清扬 王金荣 郭晓娜 朱科学

FAN Jia-xuan QIU Qing-yang WANG Jin-rong GUO Xiao-na ZHU Ke-xue

(江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122)

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:为探究青稞 β -葡聚糖作为调质剂在冷冻熟面加工中的应用可行性,采用质构分析、感官评定法分析了青稞 β -葡聚糖对冷冻熟面品质的影响,采用低场核磁共振分析技术(NMR)分析了青稞 β -葡聚糖对冷冻熟面水分分布的影响。结果表明:随着青稞 β -葡聚糖添加量的增加,冷冻熟面的复煮吸水率、预煮蒸煮损失及复煮蒸煮损失均呈先升高后降低的趋势。冷冻熟面的质构特性如硬度、黏着性、咀嚼度等指标随着添加量的增加呈先下降后升高的趋势,其中当添加量为 0.00%~0.06% 时,冷冻熟面黏着性及咀嚼度呈显著性降低($P<0.05$),当添加量在 0.06%~0.90% 时,其咀嚼度呈显著性增加($P<0.05$)。NMR 成像分析显示, β -葡聚糖的加入使面条内部的锁水作用呈先增强后减弱趋势。酶解后青稞 β -葡聚糖的添加对冷冻熟面的咀嚼度、黏着性及拉伸特性均有提高。

关键词:青稞 β -葡聚糖; 冷冻熟面; 质构特性; 水分分布

Abstract: In order to explore the feasibility of application of beta-glucan as the texturizing agent in the processing of frozen cooked noodles. In the present study, the texture indices were measured, and the moisture distribution was determined by NMR as well as the food quality was evaluated by the sensory assessors. The results showed that with the increase of the addition amount of oat beta-glucan, re-cooking water absorption, pre-cooking loss and re-cooking loss presented the first increase and then decrease. The quality characteristics of cooked noodles such as the hardness, springiness and chewiness presented the first decrease and then increase. When the additive amount was 0.00% to 0.06%, the adhesiveness and chewiness of frozen cooked noodles were significantly reduced ($P<0.05$), with the

increase of addition amount from 0.06% to 0.90%, and the chewiness of frozen cooked noodles were increased obviously ($P<0.05$). The moisture distribution of noodles determined by NMR imaging was affected by the addition of beta-glucan to some extent. Besides, the beta glucan after enzymatic hydrolysis showed notable improvements on chewiness, adhesiveness and tensile properties of frozen cooked noodles.

Keywords: wild oat beta-glucan; frozen cooked noodle; quality characteristics; moisture distribution

近年来糖尿病、高血压等慢性病的发病率呈现增加趋势,高含量杂粮健康主食的开发受到越来越多的关注^[1]。青稞属于禾本科小麦族大麦属中的大麦变种之一,其所含非淀粉多糖类组分高于其他谷类作物^[2],同时,青稞中 β -葡聚糖的含量高达 8.62%,为全球大麦之最^[3]。 β -葡聚糖不仅有改善肠道菌群环境、降低胆固醇等作用^[4],在日常生活食用高含量青稞 β -葡聚糖食品还能够改善 2 型糖尿病患者的糖代谢^[5]。目前,由于青稞的食品加工适应性差,大多被用于酒^[6]和醋^[7]的酿造,而在青稞食品上的应用相对较少。

面条作为中国的传统主食之一,深受消费者的喜爱。近年来,随着生活节奏的加快和生活水平的提高,冷冻熟面作为一种新型面条产品,迎合了现代人对面制食品营养健康、方便即食、无防腐剂的消费需求,成为食品领域的一个研究热点^[8],具有较好的市场前景。但由于冷冻熟面在长时间冻藏过程中品质会发生劣变,目前有研究表明加入变性淀粉^[9]、亲水胶体^[10]等能显著提高食品的冻融稳定性^[11],亲水胶体是一类具有亲水性的高分子化合物,谷物来源 β -葡聚糖是一种天然亲水胶体,它的添加对冷冻熟面的保藏具有重要意义,也有研究表明大分子量 β -葡聚糖加入对面制食品流变学特性存在劣化作用,对面制品中面筋网状结构的形成存在阻碍作用^[12]^[53]。现如今有研究通过加入酶对 β -葡聚糖进行限制性酶解,以改善面制品品质^[13]^[89],基于此,本研究通过热水浸提法将青稞中 β -葡聚糖提取出来并作为调质剂添加于

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:31571871);全国粮食行业青年拔尖人才服务行业需求自主选题项目(编号:LQ2016202);江苏省“六大人才高峰”高层次人才资助项目;江苏省“现代粮食流通与安全协同创新中心”资助项目

作者简介:范珈璇,女,江南大学在读本科生。

通信作者:朱科学(1978—),男,江南大学教授,博士生导师,博士。

E-mail: kxzh@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2018-07-08

冷冻熟面中,研究其对冷冻熟面蒸煮特性、质构特性、水分分布和感官品质的影响,采用酶解青稞 β -葡聚糖研究其酶解物对冷冻熟面品质的影响,为研究青稞冷冻熟面的改良剂,开发含有青稞 β -葡聚糖的冷冻熟面新产品提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

高筋小麦粉:面筋蛋白含量为13.01%,潍坊风筝面粉有限公司;

精制食盐:江苏省盐业集团有限责任公司;

青稞:甘肃奇正实业集团有限公司;

β -葡聚糖标准品:纯度 $\geq 95\%$,美国Aldrich-Sigma公司;

耐高温 α -淀粉酶:40 000 U/mL,江苏锐阳生物科技有限公司;

β -葡聚糖酶:30 000 U/g,南宁东恒华道生物科技有限责任公司;

盐酸、浓硫酸、乙醇、刚果红、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠:分析纯,国药化学试剂有限公司。

1.2 试验仪器

超级恒温水槽:DKB-501A型,上海森信实验仪器有限公司;

电动机械搅拌器:RW20型,德国IKA公司;

旋转蒸发仪:R-501型,上海申顺生物技术有限公司;

超滤膜包:OS001C12型,美国Pall公司;

真空冷冻干燥机:LGJ-10E型,北京四环科学仪器厂有限公司;

紫外分光光度计:TU-1810型,北京普析通用仪器有限责任公司;

小型和面机:Kitchen Aid型,英国Kitchen Aid公司;

实验面条机:JMTD-168/140型,北京东方孚德技术发展中心;

电子分析天平:BT-25S型,赛多利斯科学仪器有限公司;

质构仪:TA-XT plus型,英国Stable Microsystems公司;

低场核磁共振分析仪:MesoMR23-060V-I型,苏州纽迈分析仪器股份有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 青稞 β -葡聚糖的提取及纯化 根据文献[14]修改如下:首先将青稞磨粉过60目筛,将筛下物青稞粉与去离子水按1:10(g/mL)混合,逐滴添加0.1 mol/L NaOH调节pH值至7.0,在55℃下恒温水浴提取2 h,搅拌使体系处于均匀状态,于4 500 r/min离心30 min,弃去沉淀,调节上清液pH值至6.4,将耐高温 α -淀粉酶与上清液按体积比1:4 000混合,置于95℃水解30 min,将水解后的溶液于4 500 r/min离心40 min,弃去沉淀,调节上清液pH值至4.5,在4℃条件下放置2 h后于4 500 r/min离心40 min,弃去沉淀,调节上清液pH至7.0,在55℃下旋转蒸发浓缩至原体积的1/3,

116

加入等体积95%乙醇,4℃下过夜沉淀,收集沉淀即为粗 β -葡聚糖提取物,将沉淀用超滤膜包进行超滤以纯化,然后冷冻干燥。

1.3.2 青稞 β -葡聚糖含量的测定

(1)标准曲线的绘制:根据文献[15],配置0.1 mg/mL的 β -葡聚糖溶液,按比例加入去离子水配置成0.01,0.02,0.04,0.05 mg/mL的 β -葡聚糖溶液各2 mL向各个浓度的 β -葡聚糖溶液中加入4 mL刚果红溶液(0.1 mg/mL),摇匀,置于20℃条件下恒温水浴30 min后在545 nm处测定吸光值,空白组无 β -葡聚糖,吸光值采用紫外分光光度计进行测量。

(2) β -葡聚糖含量的测定:取1 mL样品(0.5 mg/mL,70℃助溶),加入1 mL去离子水,再加入4.0 mL刚果红溶液,摇匀,置于20℃水浴锅中,反应30 min,于545 nm处测定吸光值,每组试验重复3次。然后借助于上述标准曲线计算提取样品中 β -葡聚糖的含量。

1.3.3 冷冻熟面的制作工艺 β -葡聚糖添加比例为面粉质量的0.00%,0.03%,0.06%,0.09%,0.30%,0.60%,0.90%,按照添加比例准确称量青稞 β -葡聚糖分别溶解于105 mL去离子水,待完全溶解后加入4.5 g盐,将混合均匀的溶液倒入300 g面粉中,打开和面机,先慢速搅拌5 min,再快速搅拌2 min,共计7 min;将面絮放入自封袋静置熟化15 min,然后压延,辊间距分别为2.0,1.5,1.0 mm各5次,面片切条(切刀间距2 mm),沸水蒸3 min,微沸煮3 min,冷却1 min,沥水1 min,放入自封袋密封于一40℃冻结1 h,置于一18℃冰箱冻藏。

1.3.4 β -葡聚糖的酶解 根据文献[13]⁶⁸修改如下:取样品量0.09 g β -葡聚糖2份,分别加入到2个50 mL烧杯,各加入蒸馏水20 mL,再分别取添加量为 β -葡聚糖质量的0.00%和0.02%的 β -葡聚糖酶(30 000 U/g)加入烧杯中,均在55℃下酶解6 min,后立即沸水浴灭酶10 min,待烧杯中溶液冷却至室温后备用。

1.3.5 含有 β -葡聚糖酶解物的冷冻熟面的制作 将上述酶解后的溶液用适量蒸馏水补足液体量至35 mL,取盐1.5 g,面粉100 g,进行冷冻熟面的制作,制作方法同1.3.3,保证每次操作方法一致。

1.3.6 冷冻熟面的蒸煮品质测定

(1)蒸煮损失测定:根据文献[16]¹⁰,准确称取一定量的生面条,收集面条预煮后的面汤和冷却水,冷却至室温后,移入500 mL容量瓶中,定容并混合均匀。量取100 mL面汤于250 mL烧杯(已恒重)中,在电炉上蒸发去除大部分水分后,将烧杯移入105℃电热干燥箱中烘制恒重,称重,按照式(1)计算预煮损失率。采用相似的方法测定冷冻熟面的复煮损失率,复煮时间为90 s。

$$CL=\frac{5(M_2-M_1)}{M_0}\times 100\%,$$

(1)

式中:

CL——蒸煮损失率,%;

M_0 ——生面条的重量,g;

M_1 ——恒重后的烧杯质量,g;
 M_2 ——蒸去大部分水后恒重后的烧杯,g。
(2) 吸水率测定:根据文献[16]¹⁰⁻¹¹,准确称取一定量的生面条,将冷冻熟面复热 90 s 后,沥干 1 min,用 5 张滤纸迅速吸干面条表面水分,称重,做 2 次平行求平均值,按式(2)计算吸水率。

$$WA=\frac{M_4-M_3}{M_3}\times 100\%,$$

(2)

式中:
 WA ——吸水率,%;
 M_3 ——生面条的重量,g;
 M_4 ——吸干表面水分后面条的质量,g。

1.3.7 质构特性测定 根据文献[16]¹¹,取冷冻熟面煮 90 s,冷水冲淋至冷却,沥水各 1 min,用滤纸吸水 5 次后用保鲜膜包住,每个样品平行 12 次以上,舍去最大值、最小值及错误值。利用质构仪测定。首先采用 1 kg 砝码将仪器进行力校准,具体参数设置:

(1) 全质构测定(TPA):选用 HDP/PFS 型号探头,校准距离为 15 mm,测试模式为 TPA,测试前、中、后速度均为 0.8 mm/s,压缩比为 75%,触发力为 5 g,两次压缩的间隔时间为 1 s;每次测定取 2 根面条平行放置于载物台上。

(2) 拉伸测定:选用 A/SPR 型号探头,校准距离为 60 mm,测试模式为 Measure force in extension,测试前、中、后速度分别为 2,2,10 mm/s,触发力为 5 g。

1.3.8 面条水分分布的测定 采用低场核磁共振分析仪进行测定,根据文献[17]¹³修改如下:将复煮后的面条置于冷却水中迅速冷却后,截取面条纵向中间位置(长度为 1.5 cm),立刻放入永久磁场中心位置的射频线圈中心(线圈直径 25 mm),然后采用 MSE 序列进行横断面成像试验,分析复煮后面条内部的水分分布变化,具体参数设置:切片宽度为 3 mm,切片间隙为 2.6 mm,切片数量为 3,读取大小为 256,回波时间 TE 为 20 ms,重复时间为 500 ms,扫描次数 NS 为 2,每份样品测 3 次。

1.3.9 感官评定 参照 SB/T 10137—93 制订如表 1 所示的评价标准。选 10 人以上组成品评小组。评价指标包括熟面色泽、表观状态、适口性、韧性、黏性、光滑性以及食味共 7 项指标,结果取平均值作为最终得分。

1.3.10 数据统计及分析 用 SPSS 19.0 软件进行统计分析,用 ANOVA 分析各组结果间的差异显著性($P<0.05$)。结果以平均值±标准差表示。用 Origin 8.0 软件进行积分计算。

2 结果与分析

2.1 青稞 β -葡聚糖添加量对冷冻熟面蒸煮品质的影响
2.1.1 复煮吸水率 如图 1 所示,随着 β -葡聚糖添加量的增加,吸水率呈先增加后减小的趋势,可能是 β -葡聚糖具有强吸水性,能形成一定的亲水胶体结构,使面条的吸水率增加,与 Shabir 等^[18]的研究结果基本一致。当添加量 $>0.06\%$ 时, β -葡聚糖可能会形成凝胶网络结构,抑制淀粉等物质的吸水,使面条的吸水率呈下降趋势^[19]。研究结果表明较佳的

表 1 面条综合感官评分标准及细则
Table 1 Comprehensive sensory evaluation criteria and specifications for noodles

项目	评分标准	分值
色泽	面条的颜色正、光亮	8.5~10.0
	颜色较暗、亮度较差	6.0~8.4
	色泽暗、亮度差	1.0~6.0
	表面光滑、结构紧密	8.5~10.0
表面光滑度	表面较粗糙、不均匀	6.0~8.4
	粗糙、膨胀、变形严重	1.0~6.0
	牙咬断面条力度适中	17.0~20.0
	硬度	12.0~17.0
硬度	稍硬或软	1.0~12.0
	太硬或太软	21.0~25.0
	咀嚼有咬劲、富弹性	15.0~21.0
	咀嚼较有嚼劲、弹性较小	1.0~15.0
韧度	咬劲差、弹性小	21.0~25.0
	咀嚼爽口、不粘牙	15.0~21.0
	黏性	10.0~15.0
	较爽口、稍粘牙	4.3~4.5
黏性	不爽口、粘牙	3.0~4.3
	口感光滑	1.0~3.0
	口感较为光滑	4.3~5.0
	光滑程度差	3.0~4.3
食味	具有清香味	1.0~3.0
	基本无异味	3.0~4.3
	有异味	1.0~3.0

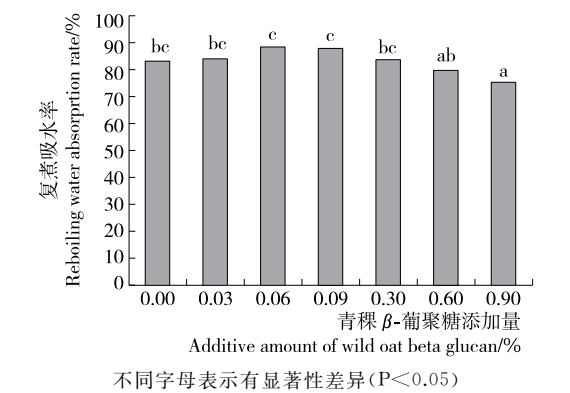
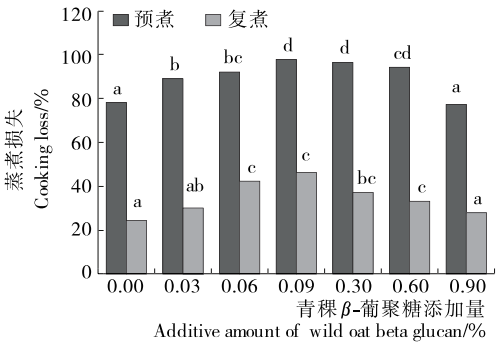


图 1 青稞 β -葡聚糖添加量对冷冻熟面复煮吸水率的影响
Figure 1 Effect of wild oat beta glucan on recocking water absorption of frozen cooked noodles ($n=4$)

青稞 β -葡聚糖添加量为 0.06%, β -葡聚糖的添加影响了冷冻熟面在冷冻或复煮过程中水分的迁移。
2.1.2 蒸煮损失 如图 2 所示,随着 β -葡聚糖添加量的增加,预煮蒸煮损失与复煮蒸煮损失均呈先上升后下降的趋势,并都于添加量为 0.09% 时最大,可能是 β -葡聚糖拥有强亲水性,面条制作过程中 β -葡聚糖会吸收过多的水分,使得面筋蛋白可利用的水分减少,从而形成连续性差、结构松散的面筋网络结构^[20],使面条中的淀粉更易溶出,此外 β -葡聚糖具有水溶性,蒸煮过程中会有部分 β -葡聚糖溶解在水中,



不同字母表示有显著性差异(P<0.05)

图2 青稞β-葡聚糖添加量对冷冻熟面蒸煮损失率的影响

Figure 2 Effect of wild oat beta glucan on cooking losses of frozen cooked noodles (n=4)

故高添加量的β-葡聚糖也会导致面条蒸煮损失的增加^[21]。当β-葡聚糖增加量>0.09%，面条的蒸煮损失下降，可能是当添加量过多时，β-葡聚糖形成一定的凝胶网络结构，更好地锁住了淀粉颗粒从而减少淀粉的溶出，降低面条的蒸煮损失，与许春华^[19]的研究结果基本一致。

2.2 青稞β-葡聚糖添加量对冷冻熟面质构特性的影响

如表2所示，冷冻熟面的硬度、咀嚼度和黏着性均随着β-葡聚糖添加量的增加呈先下降后上升的趋势，而黏性呈先上升后下降的趋势，一方面可能是β-葡聚糖是高分子多糖，具有强亲水性，少量β-葡聚糖的加入与面筋蛋白竞争吸水，

减少了面筋蛋白可以利用的水，造成了面筋蛋白网状结构较差；另一方面可能是β-葡聚糖的加入改变了蛋白质的三级结构，进而引起了面筋蛋白中二硫键含量的减少，导致面筋蛋白分子之间相互作用减弱，使得黏着性、咀嚼度呈显著下降(P<0.05)和黏性呈显著上升(P<0.05)，与Zhou等^[22]的研究结果基本一致。但当再加入一定量的β-葡聚糖时，咀嚼度呈显著增加(P<0.05)，黏性下降，可能是β-葡聚糖的凝胶性抑制了淀粉的糊化，使得面条膨胀力降低，从而随着添加量的增加，硬度、黏着性、咀嚼度增加，黏性下降^[23]。

从表2还可以看出，随着β-葡聚糖添加量的增加，拉断力呈先下降后上升的趋势，而拉伸距离呈先上升后下降的趋势。这可能是β-葡聚糖的强吸水性使其与面条中的面筋蛋白竞争吸水，导致了面筋蛋白的吸水量降低，产生负面影响^[24]，当再添加一定量的β-葡聚糖时，出现了类似亲水胶体的凝胶作用，提升了面条内部的黏着性，使面条的品质得以改善^[25]，李冰等^[26]的研究表明随着亲水胶体添加量的增加，面条内面筋蛋白的网孔孔径会变小，结构更加密实，构成的凝胶结构有更好的支撑作用，这与蒸煮损失率先升高后降低相一致。

综合质构特性分析，在β-葡聚糖添加量为0.06%~0.30%时，使面条内部的质构因其加入而呈现蛋白质网状结构形成不稳定的情况，而含量相对较高的β-葡聚糖的加入可能对面条内部产生的凝胶结构对面筋蛋白网状结构的形成产生了弥补作用。

表2 青稞β-葡聚糖添加量对冷冻熟面质构特性的影响[†]

Table 2 Effect of wild oat beta glucan on texture properties of frozen cooked noodles (n=12)

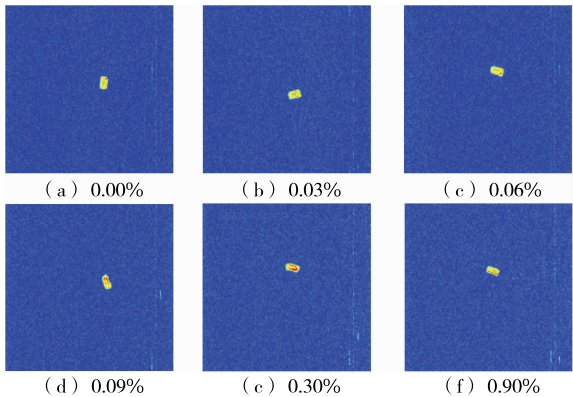
添加量/%	硬度/g	黏性/(g·s)	黏着性	咀嚼度	拉伸力/g	拉伸距离/mm
0.00	4 444.3±249.5 ^b	133.7±13.6 ^b	2 923.1±198.4 ^c	2 630.7±178.9 ^c	20.00±0.40 ^d	41.89±3.47 ^a
0.03	4 409.6±130.2 ^b	170.4±19.7 ^a	2 762.5±81.1 ^b	2 476.6±69.4 ^b	19.30±0.54 ^d	52.96±6.38 ^c
0.06	3 624.7±139.9 ^a	167.7±16.2 ^a	2 296.3±72.8 ^a	2 076.2±64.1 ^a	16.90±0.60 ^b	50.35±2.11 ^c
0.09	3 712.6±100.9 ^a	158.1±19.1 ^a	2 429.2±141.3 ^a	2 193.7±122.5 ^a	15.10±0.28 ^a	48.30±6.49 ^{bc}
0.30	4 548.4±197.9 ^b	152.2±19.5 ^{ab}	3 083.4±143.2 ^d	2 748.8±125.5 ^c	17.26±0.33 ^{bc}	47.68±3.70 ^{bc}
0.60	4 841.4±225.3 ^c	151.5±14.2 ^{ab}	3 213.5±146.6 ^d	2 936.1±116.2 ^d	17.42±0.31 ^{bc}	43.78±3.54 ^b
0.90	5 035.2±143.4 ^c	148.3±5.8 ^{ab}	3 512.2±145.8 ^e	3 152.8±134.1 ^e	17.78±1.21 ^c	39.00±3.23 ^a

[†] 同列不同字母表示有显著性差异(P<0.05)。

2.3 青稞β-葡聚糖添加量对冷冻熟面水分分布的影响

如图3所示，添加量为0.00%~0.30%时，随着添加量的增加，图像边缘的亮度越高，可能是β-葡聚糖的强吸水性使面条的锁水性增加^[13]^{25]}，但当β-葡聚糖添加量在0.90%时，中心部位的亮度消失并向面条的表面迁移，从左小博^[27]的研究得知有较大亲水性的胶体可以促进分子间的结合和三维网络结构的形成，在糊化时包裹在淀粉颗粒外表，从而阻碍支链淀粉的溶胀，由于溶胀度的降低导致了水分含量的下降，这与吸水率降低是一致的。

综上所述，当加入少量β-葡聚糖时，由于β-葡聚糖的强吸水性和其对面筋网络结构形成过程中的弱化作用，致使面条内部吸水量增加，但当再加入一定量的β-葡聚糖则会因网状结构孔径的减少、凝胶作用的影响以及淀粉溶胀度的降低从而阻碍水分的吸收，对面条的结构有一定的保护作用。



在核磁共振成像的图中，图像的颜色越亮，代表此部分含有的水分越多^[17]^{19-20]}

图3 添加青稞β-葡聚糖对冷冻熟面水分分布的影响

Figure 3 Effect of wild oat beta glucan on moisture-distribution of frozen cooked noodles

2.4 青稞 β -葡聚糖添加量对冷冻熟面条感官品质的影响

从表 3 可以看出,添加不同量 β -葡聚糖对于面条的感官影响主要体现在硬度和韧性上,当加入 0.03%左右的 β -葡聚糖时,硬度与韧性明显较差,可能是青稞 β -葡聚糖对面筋网络结构形成过程中产生的弱化作用使得面条本身劣化,造成感官品质不好,但当添加量增大时,凝胶作用对面条质构的改善使其更加受欢迎^[23]。本试验得出的感官结果与质构结果是一致的。

2.5 添加青稞 β -葡聚糖酶解物对冷冻熟面质构特性的影响

综合不同添加量的 β -葡聚糖对冷冻熟面品质影响的研究分析,以添加量为 0.09% β -葡聚糖的冷冻熟面作为对照,另一组将等量 β -葡聚糖进行酶解后,将酶解物加入到冷冻熟面的制作中,其酶解物的加入对冷冻熟面质构特性的影响见表 4。由表 4 可以看出,加入 β -葡聚糖酶解物的冷冻熟面在拉伸距离、拉伸力、硬度、黏着性、咀嚼度均有显著改变,一方面可能是高分子量 β -葡聚糖对面筋蛋白的二级结构有不利影响,产生弱化作用, β -葡聚糖酶的添加降低了 β -葡聚糖的

分子量,使其变成了低分子量的寡糖,间接改善了面筋网络结构,增强面条拉伸性,从而在一定程度上消除了 β -葡聚糖产生的劣化作用。当加入酶时可以增加黏性与黏着度,可能是 β -葡聚糖在淀粉糊化中存在抑制作用,而加入酶改善了其对淀粉糊化的抑制作用。低分子量 β -葡聚糖对淀粉糊化产生的改善现象与汪磊^{[12]29-31}的研究结果基本一致。另一方面可能是高分子质量的 β -葡聚糖形成的多糖溶液黏度大,对相互作用的多糖链在体系中的扩散和构象变化速率产生一定的影响,所以形成凝胶的速度相对较慢,形成的交联结构相对较少,而低分子量形成的凝胶体系中有更多通过氢键而形成的物理交联点,所以就拉伸距离而言加入酶解物的冷冻熟面相较未加入酶的要大,与戴巧玲^[28]的研究结果基本一致。

研究结果表明,青稞 β -葡聚糖酶解物的添加对冷冻熟面的质构特性起改善作用,其对冷冻熟面内部水分的结合、分布以及对面筋网状结构的影响有待于在微观结构上做进一步的研究。

表 3 青稞 β -葡聚糖添加量对冷冻熟面感官特性的影响[†]
Table 3 Effect of wild oat beta glucan on sensory characteristics of frozen cooked noodles ($n=10$)

添加量/%	表观光滑度	硬度	韧度	黏性	口感光滑度	色泽	食味	总分
0.00	8.58±0.49 ^a	16.50±1.05 ^b	20.13±0.53 ^b	21.33±2.94 ^a	4.26±0.20 ^a	8.66±0.41 ^a	4.28±0.26 ^a	83.70±2.87 ^{abc}
0.03	8.95±0.36 ^a	14.33±0.82 ^a	19.70±1.00 ^b	21.00±3.22 ^a	4.32±0.20 ^a	8.66±0.40 ^a	4.18±0.25 ^a	81.10±1.92 ^{ab}
0.06	8.66±0.51 ^a	16.17±1.16 ^b	18.41±1.07 ^a	20.83±2.92 ^a	4.24±0.23 ^a	8.85±0.23 ^a	4.26±0.28 ^a	81.40±4.15 ^a
0.09	8.65±0.61 ^a	17.00±0.89 ^{bc}	21.42±0.91 ^c	21.50±2.17 ^a	4.34±0.09 ^a	8.83±0.26 ^a	4.24±0.23 ^a	86.00±3.53 ^{bcd}
0.30	8.58±0.58 ^a	17.67±0.52 ^{cd}	22.41±0.70 ^c	22.17±1.47 ^a	4.38±0.08 ^a	8.75±0.27 ^a	4.20±0.14 ^a	88.20±2.81 ^{cd}
0.60	8.67±0.52 ^a	18.08±0.65 ^d	22.50±1.67 ^c	21.87±2.63 ^a	4.36±0.20 ^a	8.86±0.29 ^a	4.28±0.18 ^a	88.60±2.71 ^{cd}
0.90	8.58±0.58 ^a	19.27±0.49 ^e	23.70±0.45 ^d	21.60±1.82 ^a	4.30±0.18 ^a	8.67±0.40 ^a	4.22±0.22 ^a	90.30±2.38 ^d

† 同列不同字母表示有显著性差异(P<0.05)。

表 4 青稞 β -葡聚糖酶解物对冷冻熟面质构特性的影响

Table 4 Effect of wild oat beta glucan enzymatic hydrolysate on texture properties of frozen cooked noodles ($n=12$)

样品	硬度/g	黏性/(g·s)	黏着性	咀嚼度	拉伸力/g	拉伸距离/mm
未加酶	3 267.1±128.3	165.0±20.62	2 026.5±61.9	1 838.5±53.6	18.53±0.67	47.47±4.90
加酶	3 889.1±122.4	171.3±28.26	2 425.3±93.7	2 237.8±67.3	21.36±0.83	57.27±4.17

3 结论

通过在冷冻熟面中加入适量的青稞 β -葡聚糖,不但可以改善冷冻熟面的蒸煮与质构特性,而且其适中的硬度和韧性使冷冻熟面的口感更受消费者的喜爱。适量的青稞 β -葡聚糖可在冷冻熟面中形成凝胶网状结构,减少蒸煮损失,消除因其强吸水性,面筋网络结构松散,造成的蒸煮损失增加,弹性下降等弱化作用;经过青稞 β -葡聚糖酶水解生成的低分子量寡糖也可改善面筋网络结构,减弱高分子量 β -葡聚糖在淀粉糊化中存在的抑制作用,增强面条的拉伸特性,改善冷冻熟面的品质。综上所述,青稞 β -葡聚糖的添加及其分子量的大小对冷冻熟面的品质具有很大影响,可加强有关 β -葡聚糖及其分子量与面条品质关系的研究,为制作含有 β -葡聚糖的面制品提供理论参考。

参考文献

[1] 强小林, 顿珠次仁, 张文会, 等. 青稞 β -葡聚糖生理功效、提取技术及其新产品研发[J]. 西藏科技, 2010(2): 6-9, 25.
[2] 徐菲, 党斌, 杨希娟, 等. 不同青稞品种的营养品质评价[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(9): 1 249-1 257.
[3] 张文会. 青稞 β -葡聚糖提取工艺优化[J]. 农产品加工, 2017 (12): 23-25.
[4] 申瑞玲, 董吉林. 燕麦 β -葡聚糖在食品工业中的应用[J]. 食品研究与开发, 2008(8): 164-167.
[5] 全海英, 王玉芬, 魏胜芳, 等. 高 β 葡聚糖食品(青稞)对 2 型糖尿病糖代谢影响的研究[J]. 临床医药文献电子杂志, 2016, 3 (57): 11 288-11 289.
[6] 吕远平, 熊茉君, 贾利蓉, 等. 青稞特性及在食品中的应用[J]. 食品科学, 2005(7): 266-270.

(下转第 146 页)

Potentiated G551D-CFTR[J]. *Biophysical Journal*, 2010, 98(3): 321.

[36] YU Y C, MIKI H, NAKAMURA Y, et al. Curcumin and genistein additively potentiate G551D-CFTR[J]. *Journal of Cystic Fibrosis*, 2011, 10(4): 243-252.

[37] WANG Wei, BERNARD K, LI Ge, et al. Curcumin opens cystic fibrosis transmembrane conductance regulator channels by a novel mechanism that requires neither ATP binding nor dimerization of the nucleotide-binding domains [J]. *J Biol Chem.*, 2007, 282: 4 533-4 544.

[38] HARADA K, OKIYONEDA T, HASHIMOTO Y, et al. Curcumin enhances cystic fibrosis transmembrane regulator expression by down-regulating calreticulin[J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2007, 353(2): 351-356.

[39] SHOBA G, JOY D, JOESPH T, et al. Influence of piperine on the pharmacokinetics of curcumin in animals and human volunteers[J]. *Planta Medica*, 1998, 64: 353-356.

[40] YANG Kuo-yi, LIN Lei-chwen, TSENG Ting-yu, et al. Oral bioavailability of curcumin in rat and the herbal analysis from *Curcuma longa* by LC-MS/MS[J]. *Journal of Chromatography B*, 2007, 853(1/2): 183-189.

[41] SHAEMA R A, EUDEN S A, PLATTON S L, et al. Phase I clinical trial of oral curcumin: biomarkers of systemic activity and compliance[J]. *Clinical Cancer Research*, 2004, 10(20): 6 847-6 854.

[42] MIO K, OGURA T, MIO M, et al. Three-dimensional recon-

struction of human cystic fibrosis transmembrane conductance regulator chloride channel revealed an ellipsoidal structure with orifices beneath the putative transmembrane domain[J]. *J Biol Chem*, 2008, 283: 30 300-30 310.

[43] ZHANG Liang, ALEKSANDROV L A, ZHAO Zhe-feng, et al. Architecture of the cystic fibrosis transmembrane conductance regulator protein and structural changes associated with phosphorylation and nucleotide binding [J]. *Journal of Structural biology*, 2009, 167(3): 242-251.

[44] LELLI D, SAHEBKAR A, JOHNSON T P, et al. Curcumin use in pulmonary diseases: State of the art and future perspectives[J]. *Pharmacological research*, 2017, 115: 133-148.

[45] WANG Guang-yu. Interplay between inhibitory ferric and stimulatory curcumin regulates phosphorylation-dependent human cystic fibrosis transmembrane conductance regulator and $\Delta F508$ activity[J]. *Biochemistry*, 2015, 54(7): 1 558-1 566.

[46] LIU Xin, LI Ge, HE Cheng-yan, et al. Natural Compound Curcumin: a Channel Potentiator Rather Than a Corrector of the Defective Intracellular Processing of $\Delta F508$ Mutant Cystic Fibrosis Transmembrane Conductance Regulator[J]. *Chemical Research in Chinese Universities*, 2008, 24(2): 200-203.

[47] ZIDI-YAHIAOUI N, RIPOCHE P, LE VAN KIM C, et al. Ammonium transport properties of HEK293 cells expressing RhCG mutants: preliminary analysis of structure/function by site-directed mutagenesis[J]. *Transfusion Clinique et Biologique*, 2006, 13(1/2): 128-131.

(上接第 119 页)

[7] 吴庆园. 青稞醋发酵工艺及其特性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017: 75.

[8] 邵丽芳, 朱科学, 郭晓娜. 和面及揉面方式对冷冻熟面品质的影响[J]. *食品与机械*, 2017, 33(11): 28-32.

[9] 曹余, 何绍凯, 田映良, 等. 玉米交联羟丙基复合变性淀粉性能研究[J]. *食品与机械*, 2015, 31(2): 16-18, 55.

[10] 焦婷婷, 章绍兵. 冷冻熟面的制备及保藏工艺研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2017, 30(2): 4-6.

[11] 王慧云, 赵阳, 陈海华, 等. 亚麻多糖对薯类改性淀粉糊化特性和冻融稳定性的影响[J]. *中国食品学报*, 2014(7): 176-184.

[12] 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.

[13] 李真. 大麦粉对面团特性与面包烘焙品质的影响及其改良剂研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2014.

[14] 董兴叶. 燕麦 β -葡聚糖的提取、纯化及性质研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014: 48.

[15] 张娟, 杜先锋, 饶砚琴. 刚果红法测定燕麦中 β -葡聚糖含量的研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2007(1): 23-26.

[16] 骆丽君. 冷冻熟面加工工艺对其品质影响的机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015.

[17] 李妍. 利用核磁共振及成像技术研究即食海带湿面的加工与储藏过程[D]. 福州: 福州大学, 2014.

[18] SHABIR A M, MANZOOR A S, HAROON R N, et al. Influence of hydrocolloids on dough handling and technological properties of gluten-free breads[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2016, 51: 49-57.

[19] 许春华. 亲水胶体对面条品质影响的研究[J]. *粮食与食品工业*, 2013, 20(6): 45-49, 52.

[20] KIM S, LEE J W, HEO Y, et al. Effect of pleurotus eryngii mushroom beta-glucan on quality characteristics of common wheat pasta[J]. *Journal of Food Science*, 2016, 81(4): 835-840.

[21] DIANA M L, LUUD J W J G, RICHARD G F V, et al. Understanding the role of oat β -glucan in oat-based dough systems[J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 62: 1-7.

[22] YUN Zhou, DAN Zhao, FOSTER T J, et al. Konjac glucomannan-induced changes in thiol/disulphide exchange and gluten conformation upon dough mixing[J]. *Food Chemistry*, 2014, 143: 163-169.

[23] SOOJUNG H, SOYOUNG J, SUYONG L. Utilization of *Lentinus edodes* mushroom β -glucan to enhance the functional properties of gluten-free rice noodles [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 55(2): 627-631.

[24] 蔡攀福, 李冰, 梁毅, 等. 魔芋葡甘聚糖对面条品质及其淀粉体外消化的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(5): 8-13.

[25] 代昕, 朱科学, 郭晓娜, 等. 不同亲水胶体对绿茶生鲜面品质影响的研究[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(9): 11-14, 20.

[26] 李冰, 范鹏辉, 赵雷, 等. 黄原胶对面筋蛋白流变特性的影响[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(2): 33-39, 65.

[27] 左小博. 亲水性胶体对大米淀粉物化特性的影响[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2016: 28-29.

[28] 戴巧玲, 张如, 李琳琳, 等. 燕麦 β -葡聚糖冷冻凝胶的低场核磁和黏弹性研究[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(1): 47-54.