

不同改良剂对青稞全粉发糕品质的影响

饶晨露, 陈玲, 张成志, 郑波*

(华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

摘要: 传统青稞全粉发糕具有质地粗糙、硬度大等缺点, 严重影响了其感官特性, 因此, 该研究结合已建立的青稞全粉发糕感官评价体系和现代分析技术初步探讨了黄原胶(xanthan gum, Xan)、瓜尔胶(guar gum, Guar)和改性木薯淀粉(modified cassava starch, Cas)对青稞全粉发糕品质的改良效果。结果显示: Xan、Guar和Cas的最佳添加量分别为0.2%、0.4%和4%, 且添加0.4% Guar的感官评分最高(94.00); 在最佳添加量下, 三种改良剂均能提高青稞全粉浆的起糊温度并降低其热糊稳定性和冷糊稳定性($p < 0.05$); 三种改良剂均能提升粉浆的持水性, 其中, 0.2% Xan使强结合水增加16.68%, 而0.4% Guar使弱结合水增加2.47%; 0.2% Xan能将发糕切面的气孔表面分率和气孔稠密度分别减小至1.38%和 0.07 mm^{-2} , 而0.4% Guar能使其分别增加至24.26%和 0.50 mm^{-2} ; 三种改良剂均能改善青稞全粉发糕的质构特性, 其中, 0.4% Guar使发糕的硬度显著降低至695.78 g; 三种改良剂均可通过降低青稞全粉发糕的硬度、黏附力、弹性、咀嚼性以及提升回复力的方式来改善其感官品质。研究结果可以为青稞全粉发糕的品质改良提供理论参考。

关键词: 青稞全粉; 发糕; 品质

文章编号: 1673-9078(2021)09-193-199

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.9.0072

Effects of Different Modifiers on the Quality of Highland Barley Steamed Sponge Cakes

RAO Chen-lu, CHEN Ling, ZHANG Cheng-zhi, ZHENG Bo*

(School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Traditional highland barley steamed sponge cakes contain the shortcomings of rough texture and high hardness, which seriously affect their sensory characteristics. In this study, therefore, the established sensory evaluation system of highland barley steamed sponge cake combined with modern analysis techniques were used to study the improvement effects of three modifiers, xanthan gum (Xan), guar gum (Guar), and modified tapioca starch (Cas), on the quality of highland barley steamed sponge cakes. The results showed that the optimal additive amount of Xan, Guar, and Cas were 0.2%, 0.4%, and 4%, respectively, and highland barley steamed sponge cake improved with 0.4% of Guar had the highest sensory score (94.00). The starting gelatinization temperature of the highland barley flour slurry was significantly increased, while the stability of hot paste and cold paste was reduced ($p < 0.05$), because of the addition of these three modifiers. Furthermore, all three modifiers could increase the water holding capacity of the slurry. Among them, the content of strongly bound water of the highland barley flour slurry was increased by 16.68% after introducing Xan, while the content of weakly bound water was increased by 2.47% after introducing Guar. The stomatal surface fraction and stomatal density of the highland barley steamed sponge cake by adding 0.2% of Xan were reduced to 1.38% and 0.07 mm^{-2} , respectively, while those of the highland barley steamed sponge cake by adding 0.4% of Guar could be increased to 24.26% and 0.50 mm^{-2} , respectively. Also, the texture characteristics of the highland barley steamed sponge cake were improved by the three modifiers. Among them, the hardness of

引文格式:

饶晨露,陈玲,张成志,等.不同改良剂对青稞全粉发糕品质的影响[J].现代食品科技,2021,37(9):193-199,+215

RAO Chen-lu, CHEN Ling, ZHANG Cheng-zhi, et al. Effects of different modifiers on the quality of highland barley steamed sponge cakes [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(9): 193-199, +215

收稿日期: 2021-01-21

基金项目: 广州市科技计划重点项目(201804020036)

作者简介: 饶晨露(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品组分结构与营养调控, E-mail: 1359404779@qq.com

通讯作者: 郑波(1993-), 男, 博士后, 研究方向: 食品组分结构与营养调控, E-mail: bzhen@scut.edu.cn

the highland barley steamed sponge cake could be reduced to 695.78 g by adding 0.4% of Guar. All three modifiers could improve the sensory quality of the highland barley steamed sponge cakes by reducing the hardness, adhesiveness, stringiness, chewiness and enhancing the resilience. The results can provide a theoretical reference for the quality improvement of the highland barley steamed sponge cakes.

Key words: highland barley flour; steamed sponge cake; quality

发糕作为我国传统的特色小吃,是一种以大米粉为主要原料,经过酵母发酵、汽蒸而成的水蒸糕点,具有甜而不腻、制作简单等特点。近年来,随着人们对健康饮食生活的日益追求,传统发糕由于其营养价值有限、消化率高且风味单一,不符合当代时尚消费理念。因此将杂粮或一些更具有营养价值的药食同源的原料替代大米粉^[1,2],实现发糕食品营养风味的调控,创制出具有个性化营养及风味的新型发糕具有重要的应用价值和指导意义。

青稞是种植在我国西南部海拔较高地区的一种杂粮,是藏族人民的重要粮食作物,它不仅具有“三高两低”的营养组成特点,而且富含 β 葡聚糖、多酚类化合物、黄酮和 γ 氨基丁酸等重要生物活性成分,比大米等谷物具有更高的营养和保健价值^[3,4]。张成志等^[5]利用青稞粉完全替代大米粉,经过打浆、发酵、汽蒸等工艺创制出新型青稞全粉发糕,为目前营养健康发糕类食品的开发提供基础数据。然而由于青稞全粉中粗纤维含量较高,从而影响其产品的感官品质及加工特性,因此有必要对目前青稞发糕产品进行品质改良,其中添加品质改良剂是一种行之有效的方法。目前,对青稞发糕的品质改良研究几乎未见报道。

本研究采用张成志等^[5]拟定的青稞发糕感官评定体系来探究不同改良剂对青稞全粉发糕品质的影响,降低了感官评分过程中产生的模糊性差异。本研究在前期预实验基础上,探究了在最适添加量下不同种类改良剂对青稞全粉浆糊化性质、粉浆持水性、发糕切面气孔分布状态以及发糕质构特性的影响,为营养健康青稞发糕的研发和产业化推广提供技术支撑和理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

青稞粉,青稞藏禾源青稞资源开发有限责任公司;酵母,安琪酵母股份有限公司;Guar,河南奥尼斯特食品有限公司;Xan,河南万邦实业有限公司;Cas,苏州亚亨化工科技有限公司。

1.2 仪器与设备

BS210S 电子天平,德国 Sartorius 公司;

C21-SDHC8E15D 电磁炉,绍兴苏泊尔生活电器有限公司;LRH-70 生化培养箱,上海恒科仪器有限公司;Brabender 黏度仪,德国 Brabender 公司;TA-XT Plus 质构分析仪,英国 Stable Micro Systems 公司;MesoMR23-040H-1 核磁共振成像分析仪,苏州纽迈分析仪器股份有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 青稞全粉发糕的制备

发糕的制备参考张成志等^[5]的方法并略有改动。配置质量浓度为 15% 的酵母溶液,于 37 °C 培养 5 min;称取 50 g 青稞粉、50 g 白砂糖、100 g 蒸馏水及一定量的改良剂,搅匀后滴加酵母溶液,使添加量达 0.6% 后继续搅拌均匀;将粉浆转入膜具于 37 °C 发酵 2.63 h,后转入蒸锅中汽蒸 15 min,冷却至常温后即得成品。

采用 Xan、Guar 和 Cas 作为改良剂,根据国家食品添加剂标准 GB 2760-2014,选用 Xan 和 Guar 的添加量依次为 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%,Cas 的添加量依次为 2%、4%、6%、8%、10%。以未添加改良剂的青稞全粉发糕作为空白对照。

1.3.2 感官评定

选择 12 位受过感官评定培训的人员,根据张成志等^[5]制定的青稞发糕感官评定表进行评级,其中优、良、中、差四个等级的得分比例分别为 1、0.75、0.5 和 0.25,将各个评分项目的满分乘以相应等级的得分比例即为该项目的得分,将所有得分累加后即为发糕的感官评定总分。每 5 个样品为一批次,品评过程中样品随机编号、放置,每次只对一个感官指标进行评定。

1.3.3 青稞全粉浆的糊化性质研究

将样品配制成质量浓度为 6% 的悬浮液,转移到 Brabender 黏度仪的专用测量杯中,按以下程序测试:将黏度仪的测量转子速度调整为 250 r/min,以 30 °C 作为温度起始点,按 7.5 °C/min 逐渐升温至 95 °C,并保持该温度持续 30 min,然后再以 7.5 °C/min 逐渐降温至 50 °C,继续保温 30 min。根据仪器连续记录黏度随时间和温度的变化得到的关键值,可计算得到热糊稳定性、冷湖稳定性、崩解值、凝胶性、凝沉性等糊化性质^[6]。

1.3.4 青稞全粉浆的持水性研究

表 1 不同添加量的三种改良剂对青稞全粉发糕感官品质的影响

Table 1 The effect of three kinds of modifiers with different additions on the sensory quality of highland barley steamed sponge cake

项目	香气	滋味	硬度	弹性	黏性	瓢孔 均匀度	咀嚼性	表皮 光滑度	总分
control	13.56±2.01 ^{ef}	10.00±1.58 ^{de}	10.31±1.22 ^{de}	9.33±1.26 ^b	8.00±1.08 ^{bc}	6.25±0.99 ^{cd}	7.50±1.02 ^{ab}	2.06±0.24 ^{cd}	67.02±6.97 ^{fg}
0.1% Xan	15.75±0.00 ^{bc}	11.33±2.38 ^{bc}	9.38±1.48 ^c	8.75±1.38 ^b	8.25±1.50 ^{bc}	6.67±1.33 ^{bc}	6.75±0.00 ^{cd}	2.44±0.40 ^{bc}	69.31±5.61 ^{ef}
0.2% Xan	16.63±1.92 ^{bc}	12.67±2.38 ^{ab}	13.75±1.61 ^{ab}	13.42±1.16 ^a	11.25±1.17 ^a	9.79±0.61 ^a	8.81±0.55 ^{ab}	2.94±0.18 ^a	89.25±4.33 ^{ab}
0.3% Xan	17.06±2.20 ^{ab}	9.33±1.81 ^c	10.94±0.75 ^{cd}	12.25±2.05 ^a	11.00±1.29 ^a	9.38±0.98 ^a	8.44±1.04 ^{ab}	3.00±0.00 ^a	81.40±3.96 ^{bc}
0.4% Xan	16.63±2.59 ^{bc}	10.00±1.78 ^{de}	10.63±1.03 ^{cd}	13.13±1.37 ^a	8.00±1.08 ^{bc}	9.79±0.61 ^a	6.56±1.51 ^d	1.94±0.29 ^{de}	76.67±6.73 ^{cd}
0.5% Xan	13.56±2.01 ^{ef}	10.00±1.58 ^{de}	10.00±1.99 ^{de}	13.13±1.37 ^a	7.50±1.19 ^{cd}	9.79±0.61 ^a	6.19±1.17 ^d	2.13±0.21 ^{cd}	72.29±6.37 ^{de}
0.1% Guar	13.56±2.01 ^{ef}	12.67±1.98 ^{ab}	12.19±1.57 ^{bc}	9.92±1.62 ^b	7.50±1.33 ^{cd}	5.83±0.96 ^d	7.31±1.19 ^{ab}	2.31±0.33 ^{bc}	71.29±5.36 ^{ef}
0.2% Guar	20.56±1.27 ^a	15.67±0.97 ^a	10.63±1.03 ^{cd}	12.83±1.51 ^a	10.00±1.35 ^{ab}	8.13±1.05 ^{ab}	9.00±0.00 ^a	2.13±0.21 ^{cd}	88.94±3.21 ^{ab}
0.3% Guar	18.81±2.39 ^{ab}	14.00±1.87 ^{ab}	13.75±1.61 ^{ab}	12.54±1.59 ^a	11.25±1.17 ^a	8.75±1.17 ^a	7.88±1.05 ^{ab}	2.19±0.15 ^{bc}	89.17±4.07 ^{ab}
0.4% Guar	19.25±2.26 ^{ab}	14.67±1.72 ^{ab}	15.00±0.00 ^a	13.42±1.16 ^a	11.75±0.73 ^a	9.79±0.61 ^a	7.50±1.02 ^{ab}	2.63±0.35 ^{ab}	94.00±3.22 ^a
0.5% Guar	17.94±2.45 ^{ab}	13.67±1.87 ^{ab}	10.94±0.75 ^{cd}	8.75±1.38 ^b	11.00±1.29 ^a	9.38±0.98 ^a	7.13±0.82 ^{bc}	2.25±0.00 ^{bc}	81.04±2.21 ^{bc}
2% Cas	12.69±2.08 ^f	9.33±1.54 ^e	10.00±1.35 ^{de}	9.63±1.14 ^b	7.50±1.19 ^{cd}	6.25±0.99 ^{cd}	6.94±0.99 ^{cd}	2.31±0.33 ^{bc}	64.65±5.94 ^{fg}
4% Cas	15.31±1.05 ^{cd}	13.00±1.68 ^{ab}	11.88±1.37 ^{bc}	13.13±1.37 ^a	5.75±1.00 ^{de}	8.33±1.13 ^{ab}	6.75±1.13 ^{cd}	2.38±0.27 ^{bc}	76.52±3.92 ^{cd}
6% Cas	14.88±1.44 ^{de}	11.33±1.10 ^{bc}	13.13±2.06 ^{ab}	9.04±1.34 ^b	5.25±0.73 ^{ef}	8.13±1.32 ^{ab}	6.19±0.73 ^d	1.63±0.24 ^e	69.56±3.62 ^{ef}
8% Cas	14.44±1.70 ^{de}	11.00±1.30 ^{cd}	13.75±1.89 ^{ab}	5.83±0.95 ^c	3.50±0.76 ^{fg}	8.96±1.33 ^a	6.19±0.73 ^d	1.63±0.24 ^e	65.29±3.68 ^{fg}
10% Cas	14.00±1.89 ^{ef}	11.33±1.85 ^{bc}	11.88±1.37 ^{bc}	4.96±1.09 ^c	3.00±0.00 ^g	7.92±0.91 ^{ab}	6.19±0.73 ^d	1.63±0.24 ^e	60.90±5.88 ^g

注：同列肩标字母不同表示有显著性差异 ($p < 0.05$)。下同。

参考朱婷伟^[7]的方法，采用低场核磁共振成像分析仪进行分析。选择 MesoMR23-060H-I-25mm 磁体探头，采用 Carr-Purcell-Meiboom-Gill 脉冲序列对粉浆进行扫描，测定粉浆中的自旋弛豫时间 T_2 。检测参数如下：磁体频率为 27.1 MHz，90°脉冲时间 $P1=11.52$ us，180°脉冲时间 $P2=22.00$ us，磁体频率为 21.2 MHz，采样频率 $SW=100$ kHz，采样点数 $TD=800018$ ，采样间隔时间 $TW=10000$ ms，累加次数 $NS=4$ 。对测得的 T_2 弛豫时间图谱进行反演后，得到粉浆中水分状态的分布及其对应状态的相对含量。

1.3.5 青稞全粉发糕的气孔分布研究

参考杨双^[8]的方法，将发糕中心切成固定厚度的均匀薄片，置于扫描仪面板中扫描，分辨率设为 600 dpi。扫描后通过 ImageJ 软件截取中心处 3 cm×3 cm 的图像，将像素格式设为 8-bit，分析时阈值采用 Ostu thresholding，统计气孔个数和气孔平均面积，根据公式 (1)、(2) 计算气孔表面分率和气孔稠密度，重复至少 3 次。

$$\text{气孔表面分率} = \frac{\text{气孔总表面积}}{\text{图像面积}} \quad (1)$$

$$\text{气孔稠密度} = \frac{\text{气孔个数}}{\text{图像面积}} \quad (2)$$

1.3.6 青稞全粉发糕的质构测定

参考 Kou 等^[9]的方法，并略作修改。将冷却至室

温的发糕样品用小刀切成边长为 3 cm、厚度为 2 cm 的立方体，使用 P/36R 探头进行测定。测定参数如下：测前速度 1.50 mm/s，测试速度 1.00 mm/s，测后速度 1.00 mm/s，变形程度 50.0%，触及力 5.0 g。每组样品做 3 次以上平行实验。

1.4 数据分析处理

采用 SPSS 23.0 和 Origin 8.1 进行数据处理和绘图，实验数据均以平均值±标准差表示。

2 结果与讨论

2.1 不同改良剂对青稞全粉发糕感官品质的影响

感官评定总分可以从整体上评判青稞全粉发糕的感官品质。由表 1 可知，随着三种改良剂添加量的增大，青稞发糕的感官评定总分均呈现先升高后降低的趋势，这与刘小翠等^[10]对米发糕改良剂的研究结果一致。由表可知，适当添加 Guar 和 Xan 可以显著改善青稞全粉发糕的香气、滋味、质构及瓢孔均匀度等各方面的品质，其中 Guar 的作用效果更佳，且其对香气的改善尤其大，0.2% Guar 可使香气评分从 13.56 分提升至 20.56 分。这可能是因为 Guar 的结构与纤维素

非常相似,对纤维素具有很强的亲和性,因而非常适用于青稞等纤维含量高的杂粮食品开发^[11]。而 Xan 则可能是因为它可以在发糕汽蒸的过程中与膨胀的淀粉分子三维网络结合^[12],阻止淀粉分子羟基相互靠近,增大了食品的持水性和柔软性^[13]。Cas 的添加可以显著减少发糕的黏性,10% Cas 能使其黏性降低约 60%。因而,添加 Cas 能增加发糕的滑爽感,改善口感,但鉴于其单独使用的感官评定总分较低(≤76.52 分),因此在实际生产工艺中,可以考虑将 Cas 与其他改良剂复配使用。

由感官评定总分可知,Xan、Guar 和 Cas 的最适添加量分别为:0.2%、0.4%、4%,且整体改良效果的顺序依次为:Guar>Xan>>Cas。0.4% Guar 改良后的青稞全粉发糕的感官评定总分达 94.00 分。因此,本研究对最佳添加量下三种改良剂改良后的青稞全粉发糕进行进一步研究,深入探讨青稞全粉发糕的品质改良效果。

2.2 不同改良剂对青稞全粉浆糊化性质的影响

由表 2 可知,三种改良剂均提高了粉浆的起糊温度,其中 0.2% Xan 的影响最大,使起糊温度提高了 12.2 °C。亲水胶体对起糊温度的影响可能是由于其在粉浆中与青稞淀粉存在相分离,即在热力学难以形成相容体系所导致^[14],而 Cas 则可能是与其本身的起糊温度较高有关。此外,三种改良剂均不同程度地降低了粉浆的热糊稳定性和冷糊稳定性,其中 Cas 的作用

效果最大。崩解值表征的是高温下粉浆耐剪切的能力,因此可推断 0.2% Xan 和 0.4% Guar 能够提高粉浆的耐剪切性能,而 4% Cas 降低了粉浆的耐剪切性能,刘敏等^[15]研究了 Xan 对莲藕淀粉糊化性质的影响,并得出了与本文相似的结论。在凝胶性方面,三种改良剂表现出不同的作用效果,其中 0.4% Guar 有助于淀粉糊在冷却过程中形成较强的凝胶,而 4% Cas 则降低了粉浆的凝胶性。淀粉糊的凝沉即淀粉的老化过程,与淀粉的品质密切相关。在黏度测定中,凝沉性用降温结束的黏度与峰值黏度的差值(绝对值)表示,差值越大表示凝沉性越强。三种改良剂对粉浆凝沉性的影响差异较大,0.2% Xan 和 4% Cas 均能显著降低粉浆的凝沉性,且 4% Cas 的作用更强,使粉浆凝沉值从 316.00 BU 降至 128.00 BU。

2.3 不同改良剂对青稞全粉浆持水性的影响

低场核磁共振技术能对食品的水分形态和迁移情况进行定量分析,反映食品在加工、储藏等过程中的品质^[16]。通过横向弛豫时间 T_2 表征青稞全粉浆中不同形态水分的流动性,出峰的 T_2 值越小,表明粉浆的持水性越强,内部水分相互结合得越紧密。由图 1 可知,每条曲线都出现了 2~4 个峰,表明每种粉浆中的水分都由 2~4 种不同形态的水分形成。根据图中不同曲线的峰分布特点,可将粉浆中的水分分为 3 个组分: T_{21} (0.1 ms~15 ms) 表示强结合水; T_{22} (15 ms~250 ms) 表示弱结合水; T_{23} (250 ms~1000 ms) 表示自由水^[7]。

表 2 三种改良剂对青稞全粉发糕糊化性质的影响

项目	起糊温度/°C	热糊稳定性/BU	冷糊稳定性/BU	崩解值/BU	凝胶性/BU	凝沉性/BU
control	52.40±0.36 ^d	62.00±2.50 ^a	52.00±1.40 ^a	60.00±2.50 ^b	256.00±4.00 ^b	316.00±1.50 ^b
0.2%Xan	64.60±0.60 ^a	32.00±1.00 ^c	45.00±1.90 ^b	32.00±3.20 ^d	240.00±0.60 ^c	272.00±3.80 ^c
0.4%Guar	60.60±0.60 ^b	43.00±1.90 ^b	41.00±1.90 ^c	43.00±2.60 ^c	305.00±4.40 ^a	348.00±7.00 ^a
4%Cas	56.60±0.50 ^c	17.00±1.70 ^d	31.00±1.50 ^d	73.00±3.10 ^a	201.00±2.20 ^d	128.00±5.30 ^d

表 3 三种改良剂对青稞全粉浆水分分布情况的影响

项目	T2 弛豫时间/ms			相对峰面积/%		
	T_{21}	T_{22}	T_{23}	A_{21}	A_{22}	A_{23}
control	7.07±0.02 ^a	81.00±2.02 ^a	517.82±4.84	10.85±0.14 ^{bc}	87.19±0.17 ^c	1.97±0.04
0.2%Xan	3.93±0.04 ^c	49.42±0.34 ^{bc}	628.35±6.62	12.66±0.18 ^a	87.19±0.19 ^c	0.15±0.00
0.4%Guar	4.08±0.09 ^b	46.77±0.71 ^c	-	10.66±0.17 ^c	89.34±0.18 ^a	-
4%Cas	4.14±0.03 ^b	51.87±1.52 ^b	-	11.05±0.19 ^b	88.95±0.21 ^b	-

由表 3 可知,三种改良剂都能在一定程度上降低粉浆的 T_{21} 和 T_{22} 值,且 0.4% Guar 或 4% Cas 的添加均导致 T_{23} 位置峰的出现,表明这两种改良剂添加后粉浆中的水分与非水组分均存在一定程度的结合。从

整体上看,三种改良剂的添加均能提升粉浆的持水性。根据弛豫时间 T_{21} 、 T_{22} 和 T_{23} 相对应的峰面积可知,0.2% Xan 使强结合水的相对峰面积增加 1.81%,即增加了粉浆中强结合水的含量,0.4% Guar 和 4% Cas 能

够显著提高粉浆中弱结合水的含量，且 0.4% Guar 的作用效果更强，使弱结合水的峰面积增加了 2.15%。吴西芝等^[17]在面团持水性的研究中也发现了 Guar 具有提升持水性的能力。

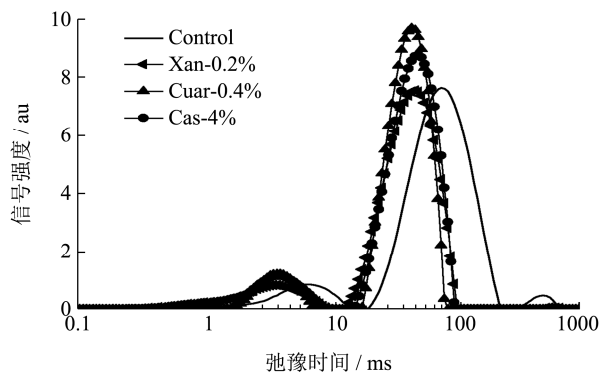


图1 添加三种改良剂后青稞全粉浆的 T2 弛豫曲线图

Fig.1 T2 relaxation curve of highland barley flour slurry under three kinds of modifiers addition

2.4 不同改良剂对青稞全粉发糕切面气孔分布的影响

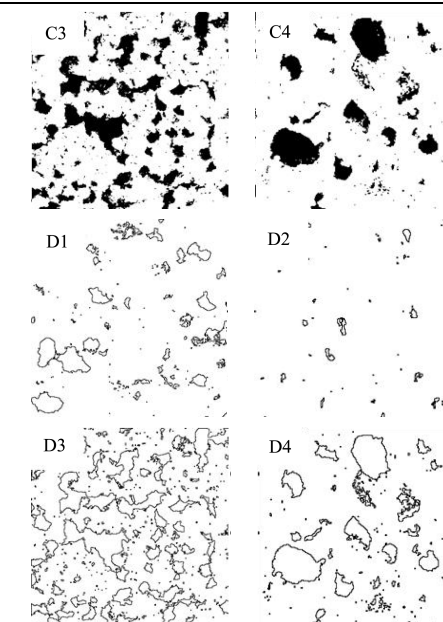
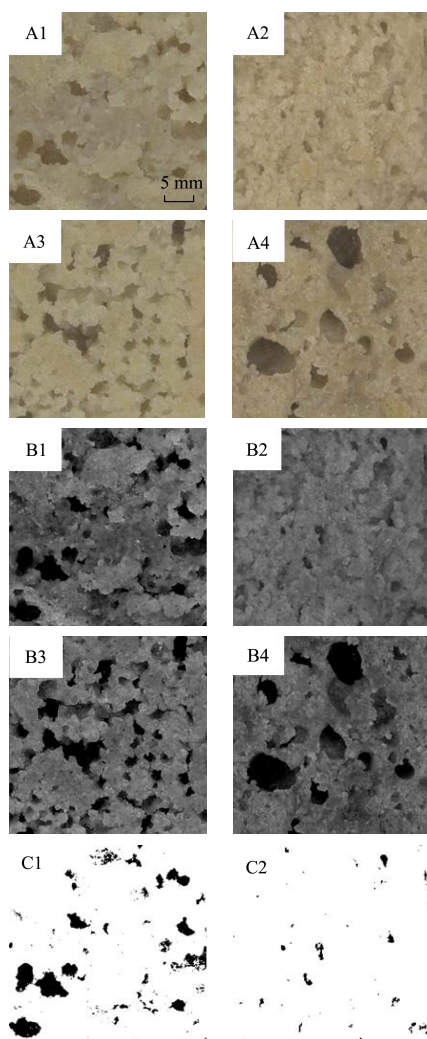


图2 添加三种改良剂后青稞全粉发糕的切面图

Fig.2 Sectional drawing of highland barley steamed sponge cake under three kinds of modifiers addition

注：A：发糕原始切面图；B：对比度、亮度调整后的发糕切面图；C：阈值化后的发糕切面图；D：发糕切面轮廓图；1~4 分别为 Control、0.2% Xan、0.4% Guar、4% Cas。

青稞全粉发糕的气孔分布是表征发糕内部结构信息和评价发糕品质的重要指标之一^[18]。气孔的分布可用气孔表面分率和气孔稠密度来表示，其中气孔表面分率描述的是气孔平均面积的大小，而气孔稠密度描述的是气孔的个数^[8]。由图2和表4可知，0.2% Xan、0.4% Guar 和 4% Cas 对青稞全粉发糕切面气孔分布的影响具有较大的差异：0.2% Xan 能显著降低发糕切面的气孔表面分率和气孔稠密度，使其分别减少了 8.47%和 0.17 mm²，因此发糕切面变得更细密、平整；0.4% Guar 能显著增大切面的气孔表面分率和气孔稠密度，使其分别增加了 14.41%和 0.26 mm²，因此发糕的气孔较对照组更均匀、密集；而 4% Cas 不仅增加了气孔表面分率，还略微降低了气孔稠密度，导致其不仅对发糕的气孔均匀性没有改善，而且易导致较大的孔洞。整体而言，添加 Xan 及 Guar 的青稞全粉发糕气孔分布要优于 Cas 组。刘彦等^[19]研究发现在荞麦面包中加入阿拉伯胶和羧甲基纤维素钠均可增加其气孔表面分率和气孔稠密度，从而改善面包的气孔分布。

2.5 不同改良剂对青稞全粉发糕质构的影响

对质构特性的研究能直接反映出不同改良剂对青稞全粉发糕品质的改良效果，结果如表5所示。由表可知，三种改良剂对青稞全粉发糕质构特性的影响有较明显的差异。其中，0.4% Guar 和 0.2% Xan 具有

显著降低发糕硬度、黏附力、弹性、咀嚼性及提升回复力的作用。然而 4% Cas 对青稞全粉发糕的硬度和弹性的改良效果不明显,且其对其他质构指标的改善效果在三种改良剂中最差,仰思颖^[20]在发酵糙米糕的研究中同样得出了 4%木薯淀粉对其硬度和弹性影响

较小的结论。Xan 和 Guar 对青稞全粉发糕质构特性的改良效果较为全面,值得注意的是,Guar 降低发糕硬度的能力非常突出,添加后可使发糕的硬度从 2512.62 g 降至 695.78 g。此外,Xan 提升发糕回复力的能力最佳,约升至对照组的 2.4 倍。

表 4 三种改良剂对青稞全粉发糕切面气孔分布的影响

Table 4 Stomata distribution of highland barley steamed sponge cake section under three kinds of modifiers addition

项目	气孔个数/个	气孔平均面积/(mm ²)	气孔表面分率/%	气孔稠密度/(mm ⁻²)
control	214.33±5.51 ^b	0.41±0.05 ^b	9.85±1.24 ^c	0.24±0.01 ^b
0.2%Xan	62.00±7.00 ^d	0.20±0.02 ^c	1.38±0.33 ^d	0.07±0.01 ^d
0.4%Guar	449.00±24.02 ^a	0.49±0.05 ^b	24.26±1.55 ^a	0.50±0.03 ^a
4%Cas	178.67±4.51 ^c	0.62±0.07 ^a	12.33±1.42 ^b	0.20±0.01 ^c

表 5 三种改良剂对青稞全粉发糕质构特性的影响

Table 5 The effect of three kinds of modifiers on texture of highland barley steamed sponge cake

项目	硬度/g	黏附力/(g·s)	弹性	咀嚼性	回复力
control	2512.62±95.25 ^a	-275.40±20.79 ^c	0.84±0.02 ^a	1380.74±75.81 ^a	0.12±0.01 ^c
0.2%Xan	1532.37±79.08 ^b	-105.96±22.23 ^a	0.78±0.04 ^{ab}	367.65±56.77 ^c	0.29±0.05 ^a
0.4%Guar	695.78±113.65 ^c	-111.01±4.06 ^a	0.71±0.04 ^b	309.32±34.62 ^c	0.23±0.01 ^b
4%Cas	2353.34±35.61 ^a	-157.66±18.98 ^b	0.82±0.07 ^a	721.35±62.28 ^b	0.22±0.02 ^b

表 6 青稞全粉发糕的质构特性与感官评分的 Pearson 相关性检验结果

Table 6 The Pearson correlation inspection result between each texture variable and sensory score of highland barley steamed sponge cake

项目	硬度	弹性	黏附力	咀嚼性	回复力	
感官评分	Pearson 相关性	-0.662**	-0.613*	-0.597*	-0.648**	0.287
	显著性	0.005	0.012	0.015	0.007	0.280

注: *: 相关性显著 ($p < 0.05$); **: 相关性极显著 ($p < 0.01$)。

2.6 质构特性和感官评分的相关性分析

对青稞全粉发糕的质构特性与感官评分进行关联性分析可为调控发糕口感及加工性能提供新的思路与方法。由表 6 知,青稞全粉发糕的硬度、咀嚼性与感官评分之间存在极显著的负相关性 ($p < 0.01$);弹性、黏附力与感官评分之间存在显著的负相关性 ($p < 0.05$),而回复力与感官评分的相关性不显著 ($p > 0.05$)。因此可认为,在青稞全粉发糕的品质评价体系,其硬度以及咀嚼性与青稞全粉发糕的感官品质最为相关,且在本研究的青稞发糕质构测试数值范围内,硬度、咀嚼性、弹性和黏附力的值越小,青稞全粉发糕的感官评分越高。

3 结论

综上所述,Xan、Guar、Cas 均能显著改善青稞全粉发糕的感官品质,且 Xan、Guar、Cas 各自的最适添加量分别为:0.2%、0.4%、4%。其中,添加 0.4% Guar 的青稞全粉发糕的感官品质最佳,其评分高达 94.00

分。三种改良剂可以通过降低青稞全粉发糕的硬度、黏附力、弹性、咀嚼性以及提升回复力的方式来改善其感官品质,而质构特性的变化则可能与青稞全粉浆的糊化性质及持水力的改善有关。其中,0.2% Xan 和 0.4% Guar 可以显著改善青稞全粉发糕的质构特性,值得注意的是,Guar 降低发糕硬度的能力非常优异,其改良后发糕的硬度可低至约 695.78 g,而 Xan 能使发糕的回复力提升至原来的 2.4 倍。0.2% Xan 能将青稞全粉发糕切面的气孔表面分率和气孔稠密度分别减小至 1.38%和 0.07 mm⁻²,而 0.4% Guar 能使发糕的气孔表面分率和气孔稠密度分别增加至 24.26%和 0.50 mm⁻²,从整体上看,二者均能显著改善发糕的内部气孔结构,但 0.2% Xan 是通过显著减少气孔的大小和平均面积的方式使发糕内部结构更加细密,而 0.4% Guar 则是通过显著增大气孔的大小和平均面积的方式使发糕内部结构疏松而均匀。4% Cas 作为改良剂单独作用于青稞全粉发糕的效果不佳,实际应用中可以考虑与其他改良剂复合使用。经过改良后的青稞全粉发糕质地更好,感官接受度也更高,为青稞全粉发糕及相关

产品的进一步开发提供了参考。

参考文献

- [1] 李次力, 遇世友, 杨萍, 等. 不同温度及包装方式下复合杂粮米发糕的储藏特性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 279-282, 295
LI Ci-li, YU Shi-you, YANG Ping, et al. Storage characteristics of hybrid multigrain rice steamed sponge cake under different temperatures and packaging methods [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(24): 279-282, 295
- [2] 张桂英, 朱静, 张喜文, 等. 小米发糕发酵剂中乳酸菌的筛选及其在小米发糕中的应用[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(12): 78-86
ZHANG Gui-ying, ZHU Jing, ZHANG Xi-wen, et al. Screening of lactic acid bacteria in starter of millet steamed sponge cake and its application in millet steamed sponge cake [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(12): 78-86
- [3] Zhang M, Liu M, Tan B, et al. Experimental study of highland barley extrusion modification treatment and highland barley noodles [J]. Journal of Food Science & Technology, 2016, 34(2): 62-67
- [4] 王润, 党斌, 杨希娟, 等. 青稞低 GI 挤压面条制作工艺优化及营养与抗氧化活性分析[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(6): 37-44
WANG Run, DANG Bin, YANG Xi-juan, et al. Optimization of production process of highland barley low GI extruded noodles and analysis of nutrition and antioxidant activity [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(6): 37-44
- [5] 张成志, 郑波, 梁毅, 等. 基于模糊二元对比决策的青稞发糕感官评定体系的建立[J]. 现代食品科技, 2020, 36(4): 284-289
ZHANG Cheng-zhi, ZHENG Bo, LIANG Yi, et al. Establishment of sensory quality evaluation system for highland barley steamed sponge cake based on fuzzy binary contrast [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(4): 284-289
- [6] 钟少文. 青稞粉消化性能的调控及其在面条应用的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018
ZHONG Shao-wen. Study on the regulation of the digestibility of barley flour and its application in noodles [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018
- [7] 朱婷伟. 酶促酯交换构建速冻专用油脂及其微观结构与宏观性能变化规律研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019
ZHU Ting-wei. Study on the construction of quick-freezing special oil by enzymatic transesterification and its microstructure and macro properties [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019
- [8] 杨双. 蛋白交联对荞麦馒头品质的影响及作用机制[D]. 无锡: 江南大学, 2018
YANG Shuang. Effect of protein cross-linking on the quality of buckwheat steamed bread and its mechanism [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018
- [9] Kou X R, Luo D L, Zhang K Y, et al. Textural and staling characteristics of steamed bread prepared from soft flour added with inulin [J]. Food Chemistry, 2019, 301: 125272-125272
- [10] 刘小翠. 米发糕发酵剂及复配粉的研发[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008
LIU Xiao-cui. Research and development of rice steamed sponge cake starter and compound powder [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008
- [11] 胡益, 罗儒显. 瓜尔胶改性方法研究进展[J]. 广东化工, 2004, 31(6): 25-27
HU Yi, LUO Ru-xian. Research progress of guar gum modification methods [J]. Guangdong Chemical Industry, 2004, 31(6): 25-27
- [12] Locke J E C, Gonzalez L C, Loubes M A, et al. Optimization of rice bread formulation by mixture design and relationship of bread quality to flour and dough attributes [J]. LWT - Food Science and Technology, 2019, 113: 108299-108299
- [13] 吕思伊. 米发糕的老化机理和抗老化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010
LYU Si-yi. Research on the aging mechanism and anti-aging of rice steamed sponge cake [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010
- [14] Shi X H, Bemiller J N. Effects of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting [J]. Carbohydrate Polymers, 2002, 50(1): 7-18
- [15] 刘敏, 赵欣, 阚建全, 等. 黄原胶对莲藕淀粉糊化性质及流变与质构特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(6): 45-50
LIU Min, ZHAO Xin, KAN Jian-quan, et al. Effect of xanthan gum on pasting, rheological and texture properties of lotus root starch [J]. Food Science, 2018, 39(6): 45-50
- [16] 余瑞鑫. 水分迁移变化对米制食品品质的影响[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2010
YU Rui-xin. The influence of water migration changes on the quality of rice food [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2010

(下转第 215 页)

