

不同食用胶体对馒头食用品质及消化特性的影响

杨锦胜¹, 沙文轩^{2,3}, 吴林珊¹, 史祥忠^{1,3}, 邓通¹, 李冰^{1,3}, 郭秀云^{1,3*}

(1.扬州大学 旅游烹饪学院, 江苏 扬州 225100; 2.无锡商业职业技术学院, 江苏 无锡 214151;

3.江苏省淮扬菜产业化工程中心, 江苏 扬州 225100)

摘要: 该文以优化储藏期内淀粉消化特性, 改善食用品质为目的, 研究不同食用胶体对馒头淀粉消化特性及食用品质的影响, 利用全自动快速食品热量成分检测仪、色差仪、质构仪等分别对添加了不同食用胶体的馒头进行品质分析, 并通过体外消化实验对馒头的淀粉组成及体外血糖生成指数(estimated glycemic index, eGI)进行测定。结果表明, 在 0.3% 当量下, 添加 5 种食用胶体(黄原胶、瓜尔豆胶、聚丙烯酸钠、海藻酸钠、羧甲基纤维素)均能改善馒头的 pH 值和色度值, 热量无显著性变化。从淀粉消化特性分析, 瓜尔豆胶组相对于其他食用胶体组馒头具有更低的 eGI 值。从储藏期内馒头淀粉各组分含量分析, 羧甲基纤维素组馒头在 4 °C 冷藏条件下储存 7 d 后的快消化淀粉(rapidly digestible starches, RDS)含量仍保持较高, 抗性淀粉(resistant starch, RS)含量最低, 分别为 54.02% 和 18.75%, 拥有更好的消化特性和优秀的感官评分。

关键词: 食用胶体; 馒头; pH 值; 质构特性; 蒸煮损失; 体外消化; 淀粉各组分含量

Effects of Different Edible Colloids on Edible Quality and Digestive Characteristics of Steamed Bread

YANG Jinsheng¹, SHA Wenxuan^{2,3}, WU Linshan¹, SHI Xiangzhong^{1,3}, DENG Tong¹,

LI Bing^{1,3}, GUO Xiuyun^{1,3*}

(1. School of Tourism and Cuisine, Yangzhou University, Yangzhou 225100, Jiangsu, China; 2. Wuxi Vocational Institute of Commerce, Wuxi 214151, Jiangsu, China; 3. Jiangsu Huaiyang Cuisine Industrialization Engineering Center, Yangzhou 225100, Jiangsu, China)

Abstract: The effects of different edible colloids on the physicochemical properties of starch and the quality of steamed bread were studied, with the purpose of delaying aging and improving quality. Calorimetry, colorimetry, and texture analysis were employed to determine the quality of steamed bread supplemented with different edible colloids. Additionally, *in vitro* digestion experiments were performed to determine the starch composition and estimated glycemic index (eGI) of the steamed bread. The results indicated that at an equivalent concentration of 0.3%, the addition of five edible colloids (xanthan gum, guar gum, sodium polyacrylate, sodium alginate, and carboxymethyl cellulose) improved the pH of the steamed bread, while it did not cause significant changes in the calorific value or color difference. The guar gum group had lower eGI than other groups. From the perspective of starch aging, the addition of carboxymethyl cellulose reduced the rapidly digestible starch by 54.02% and resistant starch by 18.75%, and thus the steamed bread demonstrated superior anti-aging properties and excellent sensory quality.

Key words: edible colloid; steamed bread; pH value; texture properties; cooking loss; *in vitro* digestion; content of starch components

作者简介: 杨锦胜(2003—), 男(汉), 本科生, 研究方向: 食品营养与人体健康。

*通信作者: 郭秀云(1989—), 女, 讲师, 博士, 研究方向: 肉品加工与质量控制。

引文格式:

杨锦胜,沙文轩,吴林珊,等.不同食用胶体对馒头食用品质及消化特性的影响[J].食品研究与开发,2024,45(5):131-138.

YANG Jinsheng, SHA Wenxuan, WU Linshan, et al. Effects of Different Edible Colloids on Edible Quality and Digestive Characteristics of Steamed Bread[J]. Food Research and Development, 2024, 45(5): 131-138.

馒头作为亚洲一种具有鲜明文化特色的发酵小麦粉蒸制品,其消费极为广泛。据统计,馒头约占小麦总消费量的40%^[1]。馒头的基本原料是小麦粉、水、酵母和糖,通过混合、成型、发酵,最后蒸制而成^[2]。传统的中国馒头血糖生成指数(glycemic index, GI)值为88,属于高GI食物(GI>70),若长期作为主食食用不利于糖尿病人对血糖的控制,还会引起过度肥胖风险^[3-4]。国际糖尿病联盟(international diabetes federation, IDF)报告指出,截止到2021年中国糖尿病报告患者人数达1.41亿人,占全球报告患者总人数的26.3%,且国内糖尿病患病率持续上升。高GI食物不是糖尿病患者良好的饮食选择。因此,采取有效的饮食措施,是干预糖尿病病发的关键^[3]。

亲水胶体作为加工业中重要的食品添加剂,可以改善食品的固有特性,如形态、水结合能力、淀粉微晶的熔融焓、黏度和凝胶强度等^[4]。目前针对低GI食品的开发,国内已经有学者以黄豆粉、小麦粉、小米粉为原料研发低GI杂粮复合馒头^[5]。但以小麦面粉为基本粉,通过添加亲水性食品添加剂以降低馒头GI值的研究比较少见。在增强面团处理性能和面粉产品质量方面,许多国外学者研究了不同亲水胶体对面团特性的影响。Ferrero等^[6]研究证明了亲水胶体是小麦制品制作中有效、多功能和安全的添加剂。除此之外,亲水胶体作为一种膳食纤维来源,能够有效地调控身体代谢血糖^[7]。Sim等^[8]研究指出当添加量同为2%时,尽管扩散比和比容明显降低,但海藻酸钠在延缓馒头老化方面要更优于魔芋葡甘聚糖。Liu等^[9]研究通过掺入亲水胶体获得改良的无麸质馒头,并发现了羟丙基甲基纤维素是马铃薯馒头制作的最佳亲水胶体。这些研究报道均反映出亲水胶体在影响馒头淀粉消化、老化和食用品质各方面具有巨大的潜力。

目前国内外针对利用添加多种食用胶体来影响馒头各类指标的研究很少。因此本文旨在评估不同食用胶体对馒头食用品质和消化特性的影响,通过研究添加不同食用胶体(黄原胶、瓜尔豆胶、聚丙烯酸钠、海藻酸钠、羧甲基纤维素)馒头的热量、色泽、质构特性、pH值、蒸煮损失率、酵母产气力、淀粉消化、淀粉老化、感官特性等相关指标,分析不同食用胶体作为馒头改良剂时的功能特性,为食用胶体在传统工艺馒头上的应用提供创新思路。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

小麦粉:潍坊风筝面粉有限公司;活性干酵母(食品级):安琪酵母股份有限公司;黄原胶(食品级):山东阜丰发酵有限公司;瓜尔胶(食品级):北京瓜尔润科技股份有限公司;聚丙烯酸钠(食品级):南通奥凯生物技术开发有限公司;海藻酸钠(食品级):河南金丹乳酸科技股份有限公司;羧甲基纤维素(食品级):河南万邦实业有限公司。糖化酶(100 000 U/mL)、A3176型 α -淀粉酶(40 000 U/mg):美国Sigma-Aldrich公司;酒石酸钾钠、3,5-二硝基水杨酸、无水亚硫酸钠、苯酚、石油醚(沸程30~60℃)、葡萄糖、硫酸钠、乙酸铅、甲基红冰乙酸、硫代硫酸钠标准滴定溶液(均为分析纯):中国医药集团有限公司。

1.2 仪器与设备

ZG-TP101精密天平:哈尔滨众汇衡器有限公司;C21S-C2170九阳电子炉:九阳股份有限公司;MK-HKM200型和面机:松下电器(中国)有限公司;SP18.S型醒发箱:珠海三麦机械有限公司;CA-HM全自动快速食品热量成分检测仪:北京盈盛恒泰科技有限责任公司;3nH电脑色差仪:深圳市三恩时科技有限公司;TMS—PRO质构仪:美国FTC公司;GM321红外线测温枪:无锡非常祥科技有限公司;PHS-25pH计:上海仪电科学仪器股份有限公司;AccuFat-1050磁共振分析仪:江苏麦格迈医学科技有限公司;HH-6数显恒温水浴锅:江苏国华电器有限公司;H2050R型台式高速冷冻离心机:湖南湘仪离心机仪器有限公司;V-5100紫外可见分光光度计:上海精科实业有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 馒头的制作方法

馒头配方:以小麦面粉为基准,添加1%活性干酵母、50%水及0.3%的食用胶体。

馒头制作参考徐丹等^[10]的一次发酵法并稍作修改,空白对照组的馒头不含食用胶体。采用机械力的加工方法,利用和面机快速均匀搅拌15 min至面团表面光滑,静止5 min后将面团分割成60 g的剂子,整好型后放入蒸屉中,于醒发箱醒发40 min,醒发温度为38℃,相对湿度80%。醒发完成的生坯沸水蒸制15 min,关火等待1 min再揭盖取出馒头,冷却后待测。

1.3.2 热量测定

参考史祥忠等^[11]的方法,首先将全自动快速食品热量成分检测仪打开预热 30 min,并放入白板,校正,再将样品切片用粉碎机碾磨成粉末,将粉末放入全自动快速食品热量成分检测仪,测定重复 5 次后取平均值,记录水分、蛋白质、脂肪、碳水化合物、卡路里数值。

1.3.3 色泽测定

采用电脑色差仪测定馒头的色泽。取样品中间部分,对其 6 个不同点进行测量,馒头的色泽由亮度(L^*)、红绿度(a^*)、黄蓝度(b^*)表示。每个样品重复测量 5 次后取平均值。白度按公式(1)计算。

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

式中: W 为白度; L^* 为亮度; a^* 为红绿度; b^* 为黄蓝度。

1.3.4 质构测定

采用质构仪测定馒头硬度、弹性等指标。参考徐丹等^[10]的方法并稍作修改,将蒸好的馒头常温下冷却 1 h 后,用切片仪切成厚度为 12.5 mm 的均匀薄片,选取中间两片的固定位置进行测定。测试采用 P/25 型探头,测试前、中、后速率分别为 1.0、1.0 mm/s 和 1.0 mm/s;形变程度:60%,起始力:0.1 N;压缩两次,间隔时间为 5 s。

1.3.5 pH 值测定

pH 值测定参照王崇崇等^[12]的方法进行。待馒头常温冷却 40 min 后,用镊子去除表皮并准确称取 10 g 内部样品于烧杯中,加入 100 mL 去离子水,均质 60 s 后用 pH 计测量 pH 值。

1.3.6 蒸煮损失率测定

称量并记录蒸制前后的质量,每组记录 3 次,按如下公式计算蒸煮损失率。

$$L = (m_1 - m_2) / m_1 \quad (2)$$

式中: L 为蒸煮损失率,%; m_1 为蒸前样品质量,g; m_2 为蒸后样品质量,g。

1.3.7 酵母产气能力测定

参考王秋玉^[13]的方法,并稍作修改,将 10 g 生面团放入 250 mL 量筒中,压实,放入醒发箱(温度 38 °C、相对湿度 80%)中,从放入醒发箱的第 10 min 开始计时,发酵 120 min,记录样品初始和不同时间段的体积,两者差即为样品的体积增加量。

1.3.8 淀粉消化特性

参考沙文轩等^[14]的方法,并稍作修改,称取 1 g 样品(储藏期内馒头淀粉各组分含量试验样品为 4 °C 存放 7 d 的样品),加入 10 mL 醋酸钠缓冲溶液,置于沸水浴中加热 30 min,冷却,置于 37 °C 气浴恒温振荡箱中 10 min,加入 4 mL 糖化酶(15 U/mL)和 1 mL α -淀粉酶(290 U/mL),置于 37 °C 条件下恒温振荡,分别于 0、10、20、30、60、90、120、180 min 取样 0.5 mL,加入

4.5 mL 无水乙醇,4 000 r/min 离心 15 min,用二硝基水杨酸比色法测定样品中葡萄糖含量。计算公式如下。

$$X = \frac{(G_{20} - F_G) \times 0.9}{T} \times 100 \quad (3)$$

$$X_1 = \frac{(G_{120} - G_{20}) \times 0.9}{T} \times 100 \quad (4)$$

$$X_2 = \frac{T - X - X_1}{T} \times 100 \quad (5)$$

式中: X 为快消化淀粉,%; X_1 为缓慢消化淀粉,%; X_2 为抗性淀粉,%; G_{20} 为酶解 20 min 后的上清液葡萄糖含量,mg; G_{120} 为酶解 120 min 后上清液葡萄糖含量,mg; F_G 为游离葡萄糖含量,mg; T 为总淀粉含量,mg。

参考 Goñi 等^[15]设定白面包为参比样品,建立的动力学模型计算出淀粉水解指数(hydrolysis index, HI),按照下列公式计算血糖生成指数(G)。

$$H = \frac{G_t \times 0.9}{T} \times 100 \quad (6)$$

$$H_1 = \frac{A_s}{A_{wb}} \times 100 \quad (7)$$

$$G = 39.7 + 0.549 \times H_1 \quad (8)$$

式中: H 为水解率,%; G_t 为样品酶水解 t 时间产生的葡萄糖含量,mg; H_1 为水解指数,%; A_s 为样品水解曲线下的面积; A_{wb} 为白面包水解曲线下的面积; G 为血糖生成指数。

1.3.9 感官评定

请 10 名接受过食品感官评价培训的人员对产品进行感官评定,评分标准参考李萍等^[16]的全麦馒头感官品质评价方法标准并作出一定修改,根据馒头的特征,从色泽、外观、结构以及口感 4 个方面对馒头进行综合评分,满分为 100 分。馒头感官评分标准见表 1。

表 1 馒头感官评分标准

Table 1 Sensory scoring standard of steamed bread

参数	感官描述	分值
色泽	色泽洁白,颜色自然:16~20 分;色泽稍暗,不自然:10~15 分;色泽暗淡无光:6~11 分;色泽灰暗无光:0~5 分	20
外观	馒头表皮光滑,对称,挺立:16~20 分;馒头表皮光洁,外形完整,有较小面积皱缩或塌陷:10~15 分;馒头表皮粗糙,外形较完整,较大面积皱缩或塌陷:6~11 分;馒头表面很粗糙,外形不完整,有较大面积气泡或烫斑:0~5 分	20
结构	馒头剖面呈细腻的多孔结构,呈海绵状:26~30 分;馒头剖面呈较为细腻的多孔结构,略粗糙:21~25 分;馒头剖面气孔大小不均匀,组织粗糙:11~20 分;馒头内部无孔洞结构:0~10 分	30
口感	爽口不黏牙,咀嚼咬劲强:26~30 分;爽口稍黏牙,咀嚼时咬劲一般:21~25 分;不爽口,咀嚼时咬劲差:11~20 分;不爽口,咀嚼时干硬:0~10 分	30

1.4 数据分析

本次试验通过 Excel 2010 整理试验数据,Origin

软件绘制图表,SPSS 23.0 对数据进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同食用胶体对馒头热量的影响

表 2 列出了各组馒头中的热量及基础营养成分的

变化。

由表 2 可知,食用胶体的添加对馒头热量的影响并不显著,但馒头的水分含量发生了一定变化,水分含量可以直观地反映出馒头的品质。与对照相比,添加黄原胶和瓜尔豆胶馒头中水分含量降低,而添加聚丙烯

表 2 不同食用胶体对馒头热量及基础营养成分含量的影响

Table 2 Effects of different edible colloids on the heat and the basic nutrient composition content of steamed bread

组别	热量/(kJ/100 g)	蛋白质/(g/100 g)	脂肪/(g/100 g)	碳水化合物/(g/100 g)	淀粉/(g/100 g)	水分/(g/100 g)
对照	987.86±24.53 ^a	8.27±0.28 ^a	4.10±0.32 ^a	41.50±0.81 ^{bc}	41.00±0.22 ^a	45.13±1.09 ^{ab}
黄原胶	997.61±19.38 ^a	7.30±0.06 ^b	3.53±0.32 ^a	44.30±0.50 ^a	41.08±0.82 ^a	43.87±0.79 ^b
瓜尔豆胶	982.29±18.12 ^a	7.90±0.15 ^{ab}	3.30±0.32 ^a	43.37±0.83 ^{ab}	42.60±1.60 ^a	44.47±0.95 ^{ab}
聚丙烯酸钠	958.56±6.40 ^a	7.57±0.17 ^{ab}	4.03±0.26 ^a	40.67±0.23 ^c	40.14±0.49 ^a	46.77±0.15 ^a
海藻酸钠	943.20±16.95 ^a	7.60±0.36 ^{ab}	3.37±0.28 ^a	41.13±1.37 ^{bc}	40.62±0.12 ^a	46.90±1.05 ^a
羧甲基纤维素	959.94±5.02 ^a	8.00±0.17 ^{ab}	3.70±0.26 ^a	41.00±0.30 ^{bc}	40.37±0.33 ^a	46.30±0.26 ^{ab}

注:同列不同小写字母表示具有显著性差异($P<0.05$)。

烯酸钠、海藻酸钠和羧甲基纤维素馒头中水分含量升高,表明不同亲水胶体对馒头中水分含量的影响不同,这与陈洪博等^[17]的研究相似,其中添加 0.3% 的海藻酸钠后馒头中水分含量最大,原因可能是海藻酸钠具有极强的亲水性,并且吸水作用可以有效地提高馒头的持水性,同时确保酵母等微生物生长所需要的湿润环境。综上所述,5 种食用胶体对馒头热量的影响无显著性差异($P>0.05$),但添加 0.3% 的海藻酸钠后,馒头的水分含量与对照相比提高了 3.92%,改善馒头的持水性效果最好。

2.2 不同食用胶体对馒头色泽的影响

表 3 分别列出了食用胶体对馒头亮度(L^*)、红绿度(a^*)、黄蓝度(b^*)、白度(W)的影响。

表 3 不同食用胶体对馒头色泽的影响

Table 3 Effects of different edible colloids on the color of steamed bread

组别	L^*	a^*	b^*	W
对照	78.44±2.43 ^a	2.37±0.22 ^{ab}	15.25±0.14 ^a	73.40±1.95 ^{ab}
黄原胶	76.50±1.60 ^a	2.29±0.17 ^{ab}	14.53±0.16 ^a	72.26±1.44 ^{ab}
瓜尔豆胶	80.50±1.82 ^a	1.63±0.23 ^{bc}	13.74±0.68 ^{ab}	76.07±1.83 ^{ab}
聚丙烯酸钠	75.41±2.83 ^a	2.63±0.45 ^a	15.35±0.40 ^a	70.84±2.61 ^b
海藻酸钠	77.88±0.63 ^a	1.13±0.27 ^c	12.57±0.81 ^b	74.51±0.75 ^{ab}
羧甲基纤维素	81.78±1.75 ^a	1.28±0.55 ^c	12.60±0.33 ^b	77.78±1.60 ^a

注:同列不同小写字母表示具有显著性差异($P<0.05$)。

由表 3 可知,各样品之间的色度值区别不大。其中,添加瓜尔豆胶和羧甲基纤维素的两组样品馒头的 L^* 都有所升高,这与陈艳^[18]的研究一致。瓜尔豆胶有

着与面粉中的淀粉形成竞争关系的能力,争夺和面时添加的水分,导致面粉不能够充分的吸水膨胀, L^* 有所提高^[19]。但是瓜尔豆胶组和羧甲基纤维素组馒头的 L^* 与对照组相比无显著性差异($P>0.05$),说明食用胶体的加入对馒头亮度的影响很小。同时,瓜尔豆胶组和羧甲基纤维素组馒头的 W 也有明显的升高,且两组的颜色变化参数趋势基本一致,由此推断出添加羧甲基纤维素与瓜尔豆胶对馒头色泽的效用是一致的。综上所述,添加瓜尔豆胶和羧甲基纤维素这两种食用胶体能更好地改善馒头色泽的亮白。

2.3 不同食用胶体对馒头质构特性的影响

不同食用胶体对馒头质构特性的影响见表 4。

表 4 不同食用胶体对馒头质构特性的影响

Table 4 Effects of different edible colloids on the texture properties of steamed bread

组别	硬度/N	弹性/mm	胶着度/N	咀嚼性/mJ	回复性
对照	5.45±0.27 ^b	0.95±0.01 ^a	396.06±17.68 ^b	376.67±15.42 ^{ab}	0.31±0.01 ^a
黄原胶	7.30±0.63 ^a	0.91±0.02 ^b	493.75±41.51 ^a	447.58±42.09 ^a	0.27±0.01 ^{bc}
瓜尔豆胶	3.93±0.66 ^{cd}	0.93±0.00 ^{ab}	276.00±42.03 ^c	256.16±37.83 ^{bc}	0.29±0.01 ^{ab}
聚丙烯酸钠	5.27±0.37 ^{bc}	0.95±0.01 ^a	392.99±26.14 ^b	326.52±72.21 ^{abc}	0.30±0.01 ^a
海藻酸钠	3.48±0.22 ^d	0.93±0.00 ^{ab}	241.91±11.76 ^c	224.59±10.98 ^c	0.25±0.00 ^c
羧甲基纤维素	3.20±0.39 ^d	0.95±0.01 ^a	228.54±16.53 ^c	216.50±14.08 ^c	0.29±0.02 ^{ab}

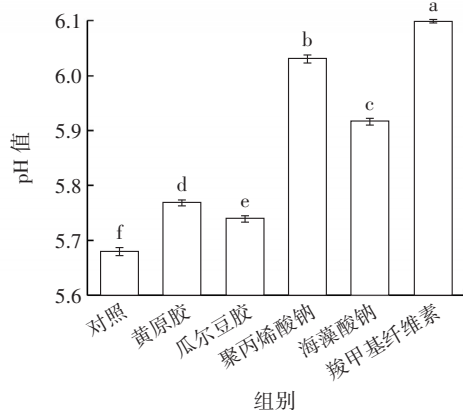
注:同列不同小写字母表示具有显著性差异($P<0.05$)。

硬度和咀嚼性能很好地反映出馒头的口感,如表 4 所示,只有黄原胶组馒头的硬度和咀嚼性与对照组相比分别提高了 33.94% 和 18.83%,而其他组均有所下

降,硬度和咀嚼性与馒头品质成负相关,即这些指标数值越大,馒头吃起来越硬,越缺乏绵软弹爽的口感。在添加量均为 0.3% 时,羧甲基纤维素组馒头的硬度、咀嚼性、胶着度最小,它能在降低硬度的同时,最大程度地保留馒头的弹性和回复性。添加不同食用胶体后馒头弹性降低的原因可能是部分亲水胶体可以通过限制水的可溶性来降低体系的弹性^[20],回复性降低的原因与弹性类似,都是由馒头的体系特点决定的。从胶着度的角度分析,除黄原胶组外的其他组馒头的胶着性均下降。这可能是由于黄原胶本身的增稠特性,尤其是在低质量浓度下具有很高的黏度^[21],胶着度也随之升高。

2.4 不同食用胶体对馒头 pH 值的影响

pH 值是反映馒头酸碱性的指标,对比 GB/T 21118—2007《小麦粉馒头》,馒头的 pH 值在 5.6~7.2,各组添加不同食用胶体的馒头 pH 值都符合国家标准。不同食用胶体对馒头 pH 值的影响见图 1。



不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

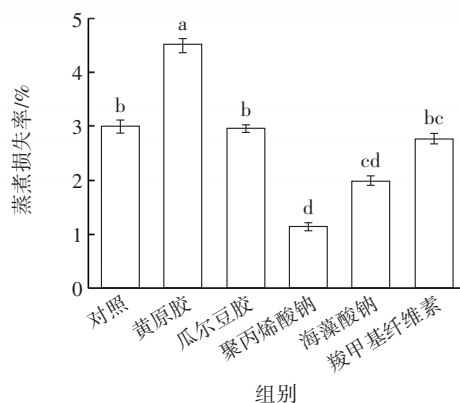
图 1 不同食用胶体对馒头 pH 值的影响

Fig.1 Effect of different edible colloids on the pH of steamed bread

由图 1 可知,添加食用胶体对馒头 pH 值的影响十分显著,各种食用胶体的添加,馒头的 pH 值都有所升高。馒头的发酵程度和速率也可以通过 pH 值间接反映,较快的发酵速度会使馒头的 pH 值由于产酸而迅速下降,由于酸化促进了蛋白质作为风味化合物的前体形成游离氨基酸,因而也会影响产品的风味^[12]。结果发现,与对照相比,瓜尔豆胶组的 pH 值上升数值最小,羧甲基纤维素组的 pH 值上升数值最大。杨健等^[22]通过研究发现面团的 pH 值在 6.40~6.60 之间,制得的馒头膨松度最好。因此,添加食用胶体能有效改善馒头的 pH 值,但会一定程度地影响发酵速度和风味。

2.5 不同食用胶体对馒头蒸煮损失的影响

蒸煮损失是影响馒头品质的重要因素之一,不同食用胶体对馒头蒸煮损失的影响见图 2。



不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

图 2 不同食用胶体对馒头蒸煮损失的影响

Fig.2 Effects of different edible colloids on the cooking loss of steamed bread

如图 2 所示,不同亲水胶体的添加对馒头的蒸煮损失会产生很大影响。除瓜尔豆胶、羧甲基纤维素组外,当添加量均为 0.3% 时,各组的蒸煮损失率与对照相比存在显著差异,其中黄原胶组馒头的蒸煮损失最大,聚丙烯酸钠组馒头的蒸煮损失率最小。这可能是因为亲水胶体所形成的具有黏弹性的三维凝胶网络结构与淀粉凝胶网络结构交叉贯穿具有协同作用,更致密的网络结构将淀粉颗粒包裹的更紧密,从而更程度地限制了馒头内部淀粉分子的溶出,使蒸煮损失率降低,当亲水胶体的添加量过高时,亲水胶体会和淀粉凝胶网络竞争吸水,导致淀粉形成的凝胶网络结构被破坏,淀粉分子在蒸煮过程中也更易溶出,蒸煮损失率增加^[23]。结果表明,聚丙烯酸钠和海藻酸钠对降低馒头蒸煮损失的作用效果比较明显,其中添加 0.3% 的聚丙烯酸钠对改善馒头的蒸煮损失效果最好。

2.6 不同食用胶体对馒头酵母产气能力的影响

图 3 为添加不同食用胶体对馒头发酵面团酵母产气能力的影响。

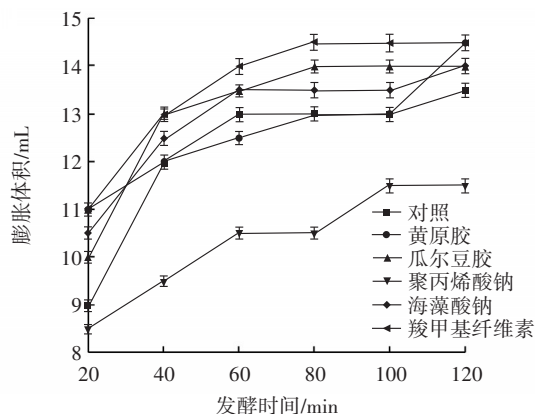


图 3 不同食用胶体对馒头酵母产气能力的影响

Fig.3 Effects of different edible colloids on the gas production by yeast of steamed bread

由图3可知,20~60 min期间,各组面团在发酵过程中的体积迅速变大,羧甲基纤维素组的面团体积最大,导致面团体积膨大的原因是大量CO₂气体的产生。面团发酵期间,面粉本身的液化酶α-淀粉酶将破损淀粉转化成糊精,再由糖化酶β-淀粉酶转化糊精为麦芽糖,然后由麦芽糖酶把麦芽糖分解为葡萄糖,最后由酒精转化酶分解葡萄糖为酒精和CO₂[24]。60~80 min期间,各组面团在发酵过程中的体积上升幅度明显减弱,其中黄原胶组、瓜尔豆胶组的面团在发酵过程中的体积上升幅度明显高于对照组。张文雅[25]认为面团的酵母产气能力不仅与酵母活性有关,也与面团面筋网络结构相关,是两者共同作用的结果。酵母产气能力变化可能是因为经过充分水化后,黄原胶通过氢键维系形成棒状双螺旋结构,而瓜尔豆胶通过主链之间氢键等非共价键的作用形成连续性的三维网络结构与面筋蛋白相互作用,从而形成更加稳定的面筋网络结构[26]。80~100 min期间,各组面团在发酵过程中的膨胀体积上升幅度趋于平稳,只有聚丙烯酸钠组的体积在上升。100~120 min期间,各组面团在发酵过程中的体积上升幅度再次回升,其中瓜尔豆胶组、聚丙烯酸钠组和羧甲基纤维素组的面团在发酵过程中的体积上升幅度明显低于对照组,说明了本试验中酵母产气能力的变化是不同食用胶体和发酵时间相互作用的结果。

2.7 不同食用胶体对馒头淀粉消化特性的影响

图4和表5分别是添加不同食用胶体对馒头淀粉水解率和淀粉消化特性的影响。

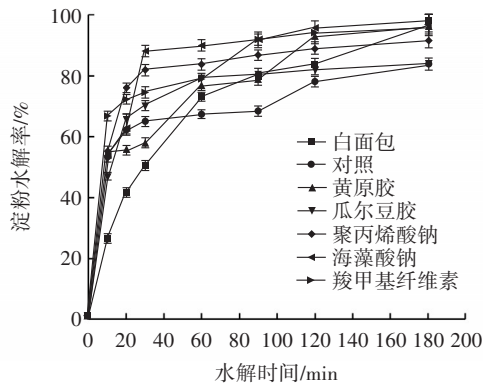


图4 不同食用胶体对馒头淀粉水解率的影响

Fig.4 Effects of different edible colloids on the starch hydrolysis rate of steamed bread

表5 不同食用胶体对馒头淀粉消化特性的影响

Table 5 Effects of different edible colloids on the starch digestive characteristics of steamed bread

组别	RDS/%	SDS/%	RS/%	HI/%	eGI/%
对照	62.18±0.13 ^d	16.13±0.00 ^d	21.69±0.14 ^a	96.85±0.82 ^f	92.85±0.45 ^f
黄原胶	55.63±0.35 ^e	37.16±1.12 ^a	7.21±1.48 ^d	107.69±1.13 ^d	98.83±0.62 ^d

续表5 不同食用胶体对馒头淀粉消化特性的影响
Continue table 5 Effects of different edible colloids on the starch digestive characteristics of steamed bread

组别	RDS/%	SDS/%	RS/%	HI/%	eGI/%
瓜尔豆胶	66.03±0.25 ^e	16.20±0.19 ^d	17.77±0.06 ^b	104.31±0.09 ^e	96.98±0.05 ^e
聚丙烯酸钠	76.18±0.46 ^a	12.90±0.11 ^e	10.91±0.35 ^e	114.19±0.69 ^e	102.40±0.38 ^b
海藻酸钠	62.69±0.35 ^d	32.98±0.13 ^b	4.32±0.22 ^e	120.06±0.29 ^a	105.62±0.16 ^a
羧甲基纤维素	72.48±0.45 ^b	22.02±0.32 ^c	5.51±0.14 ^{de}	116.48±0.28 ^b	103.66±0.15 ^b

注:同列不同小写字母表示具有显著性差异($P<0.05$)。RDS为快消化淀粉(rapidly digestible starches);SDS为慢消化淀粉(slowly digestible starch);RS为抗性淀粉(resistant starch);eGI为体外血糖生成指数(estimated glycemic index)。

由图4可知,随着不同食用胶体的加入,馒头各个时间点的淀粉水解率呈上升态势,这与馒头中的还原糖含量,内部体系,糊化程度有关,总体而言,由于食用胶体的吸水性,且蒸制过程中馒头内部温度的升高,淀粉分子开始吸水糊化,水分先进入无定形区域,当无定形区域膨胀到一定程度后,水分会在压力的作用下逐渐进入结晶区域,使得淀粉颗粒内部结构变得更加紊乱,淀粉分子失去原有的半结晶结构,颗粒内部有序的结晶结构被不断破坏,无序性不断增加,使得淀粉酶与淀粉分子作用位点结合更加容易,促进了淀粉酶对淀粉的水解,从而提高淀粉的水解率[27]。结合表5可知,与对照组馒头淀粉相比,加入5种不同的食用胶体后,大多数馒头淀粉中RDS和SDS含量显著增加,RS含量均显著减少,其中只有黄原胶组的RDS下降,且含量最低,SDS较对照组上升最多,同时RS含量显著减少,原因可能是它与其他类型的亲水胶体不同,能够完全包裹住天然淀粉颗粒,且黄原胶亲水性较好,可以结合淀粉中的自由水,使之含量减少,从而进一步影响直链与支链淀粉的重结晶[28],影响淀粉消化。结果表明,不同食用胶体的添加能够提高馒头淀粉的水解率,相比较而言,黄原胶组提供更低的快消化淀粉,瓜尔豆胶组提供更高的RS和更低的血糖指数。

2.8 不同食用胶体对储藏期内馒头淀粉各组分含量的影响

按照1.3.1馒头制作方法制作样品,测定各组新鲜馒头4℃条件下冷藏7d后馒头淀粉各组分(快消化淀粉、慢消化淀粉、抗性淀粉)含量,表6是5种食用胶体对储藏期内馒头淀粉各组分含量的影响。

由表6对照表5可知,7d后各组馒头淀粉中RDS含量明显降低,SDS和RS含量明显升高,结果表明,添加5种不同的食用胶体对储藏期内馒头淀粉各组分含量有明显影响。由表6可知,在储藏7d后,

表6 不同食用胶体对储藏期内馒头淀粉各组分含量的影响
Table 6 Effects of different edible colloids on the content of starch components in steamed bread during storage

组别	RDS/%	SDS/%	RS/%
对照	29.11±0.11 ^c	37.01±0.01 ^b	33.87±0.13 ^b
黄原胶	37.10±0.10 ^c	37.79±0.21 ^{ab}	25.12±0.12 ^d
瓜尔豆胶	35.76±0.24 ^d	27.98±0.02 ^c	36.26±0.26 ^a
聚丙烯酸钠	36.50±0.50 ^{cd}	37.49±0.46 ^{ab}	26.04±0.04 ^c
海藻酸钠	40.09±0.09 ^b	38.02±0.02 ^a	21.90±0.10 ^e
羧甲基纤维素	54.02±0.02 ^a	27.22±0.22 ^d	18.75±0.25 ^f

注:同列不同小写字母表示具有显著性差异($P<0.05$)。

馒头淀粉中 SDS 含量最高的是海藻酸钠组,较对照组提高了 2.73%,缓慢消化淀粉可以完全被小肠吸收,虽然消化速率缓慢,但可以提高释放能量的时间,增强饱腹感^[29]。各组馒头中,储藏 7 d 后馒头淀粉中 RS 含量最高的是瓜尔豆胶组,这是因为瓜尔豆胶对淀粉的早期回生有促进作用,可能是由于不同多糖之间的热力学不相容性效应引起的^[30]。RS 增多不利于淀粉消化,但有利于慢性疾病患者的健康,包括糖尿病和肥胖症^[31]。从 RDS 含量的角度分析,在储藏 7 d 后,羧甲基纤维素组馒头 RDS 的含量仍保持较高的指数,同时 RS 含量最低,原因可能是羧甲基纤维素可以有效地抑制淀粉的回生和延缓淀粉老化的现象^[32],对优化储藏期内馒头淀粉各组分含量效果好,由此推断羧甲基纤维素组馒头在储藏期内淀粉消化特性最佳。

2.9 不同食用胶体对馒头感官评分的影响

食品的感官评价用于描述和判断食品质量,反映对食物享受和食用的要求。不同食用胶体对馒头感官评分的影响见图 5。

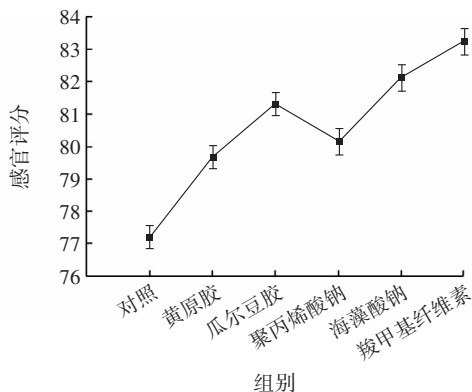


图5 不同食用胶体对馒头感官评分的影响

Fig.5 Effects of different edible colloids on the sensory score of steamed bread

如图 5 所示,5 组不同食用胶体馒头的感官评分与对照组相比均呈上升趋势,从色泽,外观、气味、口感

上各样品之间存在较大区别。其中,黄原胶组馒头与对照组相比有更好的口感,但远不如羧甲基纤维素组馒头的口感出色;瓜尔豆胶组和羧甲基纤维素组馒头与其它组别相比色泽更加突出,同时羧甲基纤维素组馒头拥有更好的内部结构,综合评分最高。5 组馒头的外形没有明显凸起或凹陷,其面香味浓,口味香甜,柔软适中,口感良好,符合普通人群对馒头类主食的感官需求。

3 结论

本试验将不同食用胶体对馒头中淀粉理化特性的影响作为切入点,通过添加 5 种不同的食用胶体(黄原胶、瓜尔豆胶、聚丙烯酸钠、海藻酸钠、羧甲基纤维素),对馒头的热量、色泽、质构特性、pH 值、蒸煮损失率、酵母产气能力、淀粉消化、储藏期内淀粉各组分含量、感官特性等进行了对比测定分析,发现在 0.3% 当量下,添加 5 种食用胶体有利于馒头形成细腻多孔的结构,可以更好地改善麦粉馒头的 pH 值。其中添加黄原胶的馒头具有更高的硬度和咀嚼性,添加聚丙烯酸钠对改善馒头的蒸煮损失效果最好,添加瓜尔豆胶和羧甲基纤维素这两种食用胶体馒头的色度值更突出,热量没有显著性变化($P>0.05$),5 种食用胶体中,添加瓜尔豆胶可以提供更低的 eGI 值,但对优化储藏期馒头淀粉中 RS 含量问题不明显;添加羧甲基纤维素对优化储藏期内馒头淀粉各组分含量效果好,RDS 含量仍保持较高数值,RS 含量最低,分别为 54.02% 和 18.75%,由此推断出羧甲基纤维素组馒头在储藏期内淀粉消化特性最佳。以上 5 种食用胶体馒头的感官评分均高于对照组,为食用胶体在优化淀粉食品储藏期内的淀粉消化特性,改善馒头食用品质方面奠定基础。

参考文献:

- [1] KIM Y, HUANG W, ZHU H, et al. Spontaneous sourdough processing of Chinese Northern-style steamed breads and their volatile compounds[J]. Food Chemistry, 2009, 114(2): 685-692.
- [2] SHAO S, YI X, LI C. Main factors affecting the starch digestibility in Chinese steamed bread[J]. Food Chemistry, 2022, 393:133448.
- [3] 张三杉,雷激,余梦玲,等. 低升糖指数馒头对糖尿病小鼠糖脂代谢的影响[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(5): 89-93.
- [4] ZHANG Sanshan, LEI Ji, YU Mengling, et al. Effects of low glycemic index steamed bread on glucose and lipid metabolism in diabetic mice[J]. Cereals & Oils, 2023, 36(5): 89-93.
- [5] FAN X, LI X P, HU J W, et al. Physicochemical and *in vitro* digestibility properties on complexes of fermented wheat starches with konjac gum[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 188:197-206.
- [6] 余梦玲,张三杉,雷激. 鹰嘴豆、山药、魔芋精粉复配面条对血糖生成指数的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(12): 29-35.
- [7] YU Mengling, ZHANG Sanshan, LEI Ji. Effect of chickpea, yam, and konjac fine powder compound noodles on glycemic index[J]. Food Research and Development, 2023, 44(12): 29-35.
- [8] FERRERO C. Hydrocolloids in wheat breadmaking: A concise re-

- view[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 68: 15-22.
- [7] 王艳. 亲水胶体对汤圆品质的影响规律及其互作机制研究[D]. 郑州: 郑州轻工业大学, 2022.
WANG Yan. Effects of hydrocolloids on the quality properties of glutinous dumplings and their interaction mechanism[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University of Light Industry, 2022.
- [8] SIM S Y, NOOR AZIAH A A, CHENG L H. Characteristics of wheat dough and Chinese steamed bread added with sodium alginate or konjac glucomannan[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 951-957.
- [9] LIU X, MU T, SUN H, et al. Influence of different hydrocolloids on dough thermo-mechanical properties and *in vitro* starch digestibility of gluten-free steamed bread based on potato flour[J]. Food Chemistry, 2018, 239:1064-1074.
- [10] 徐丹, 吴雪莹, 吴凤凤, 等. 脂肪酶对馒头品质的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(10): 45-52.
XU Dan, WU Xueying, WU Fengfeng, et al. Effect of lipases on the quality of Chinese steamed bread[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2023, 38(10): 45-52.
- [11] 史祥忠, 章海风, 沙文轩, 等. 不同油脂替代物对中式酥皮食用品质的研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(3): 172-179.
SHI Xiangzhong, ZHANG Haifeng, SHA Wenxuan, et al. Effects of lard substitutes on the quality of Chinese pastry[J]. China Food Additives, 2023, 34(3): 172-179.
- [12] 王崇崇, 马森, 谢宇航, 等. 麸皮对冷冻面团品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2017, 38(1): 32-36.
WANG Chongchong, MA Sen, XIE Yuhang, et al. Effect of wheat bran on qualities of frozen dough[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2017, 38(1): 32-36.
- [13] 王秋玉. 冻融循环对预发酵冷冻生坯豆沙包品质劣变规律研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2022.
WANG Qiuyu. Study on the effect of freeze-thaw cycles on the quality deterioration of pre-fermented frozen red bean steamed buns[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2022.
- [14] 沙文轩, 章海风, 朱文政, 等. 米水比对米饭食用品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(6): 31-36.
SHA Wenxuan, ZHANG Haifeng, ZHU Wenzheng, et al. Effect of cooking rice-to-water ratio on the rating quality of cooked rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2023, 38(6): 31-36.
- [15] GOÑI I, GARCIA-ALONSO A, SAURA-CALIXTO F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index[J]. Nutrition Research, 1997, 17(3): 427-437.
- [16] 李萍, 王凤成. 基于模糊数学的全麦馒头感官评价体系构建[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(11): 188-193.
LI Ping, WANG Fengcheng. Establishment of sensory evaluation system for whole wheat steamed bread based on fuzzy mathematics[J]. Food Research and Development, 2023, 44(11): 188-193.
- [17] 陈洪博, 高翊然, 杨红映, 等. 亲水胶体对馒头品质的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(6): 175-179.
CHEN Hongbo, GAO Yiran, YANG Hongying, et al. Influence of hydrophilic colloid on quality of steamed bread[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(6): 175-179.
- [18] 陈艳. 糙米-高蛋白面包的研制及品质分析[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2021.
CHEN Yan. Development of brown rice high protein bread and functional analysis[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2021.
- [19] 刘紫鹏. 冷冻熟面品质改良研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.
LIU Zipeng. Study on the improvement of frozen cooked noodles quality[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2018.
- [20] 贺子婕. 添加亲水性胶体对荞麦无麸质面团流变学特性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
HE Zijie. Effect of adding hydrocolloid on rheological properties of buckwheat gluten-free dough[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2022.
- [21] 李静. 亲水胶体对鲜湿米线老化延缓及结构影响[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(6): 129-136.
LI Jing. Effect of hydrophilic colloid on aging retardation and structure of fresh wet rice noodles[J]. China Food Additives, 2022, 33(6): 129-136.
- [22] 杨健, 赵康, 周君华. 面团 pH 对馒头膨松效果的影响[J]. 食品工业科技, 2002, 23(8): 28-29.
YANG Jian, ZHAO Kang, ZHOU Junhua. Effect of dough pH on the bulking effect of steamed bread[J]. Science and Technology of Food Industry, 2002, 23(8): 28-29.
- [23] 韩聪. 全苦荞挂面的研制及其品质改良[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
HAN Cong. Development and quality improvement of whole Tartary buckwheat noodles[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [24] 何承云, 林向阳, 李光磊, 等. 馒头面团发酵性能的研究[J]. 食品研究与开发, 2008(9): 93-96.
HE Chengyun, LIN Xiangyang, LI Guanglei, et al. Research of steamed bread dough fermentation behavior[J]. Food Research and Development, 2008(9): 93-96.
- [25] 张文雅. 醒发时间及硬脂酰乳酸钠对预醒发冷冻甜甜圈品质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
ZHANG Wenya. Effects of proofing time and sodium stearyl lactate on the quality of pre-proofed frozen donuts[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [26] 梁强, 姚英政, 熊伟, 等. 亲水胶体对马铃薯-小麦面团粉质和发酵特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(11): 188-193.
LIANG Qiang, YAO Yingzheng, XIONG Wei, et al. Effect of hydrocolloids on farinographical and fermentative properties of potato-wheat dough[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(11): 188-193.
- [27] 丁志理. 蒸制过程馒头坯变化规律研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2019.
DING Zhili. Study on the change of steamed bread in steaming process[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2019.
- [28] 杨喆, 韩雪, 张丽娟, 等. 抑制大米制品回生技术的研究进展[J]. 食品工业, 2017, 38(12): 258-262.
YANG Zhe, HAN Xue, ZHANG Lijuan, et al. Research progress on anti-retrogradation technique of rice products[J]. The Food Industry, 2017, 38(12): 258-262.
- [29] 刘旭华, 孙强强, 杨丽萍, 等. 黑全麦馒头工艺优化及消化特性分析[J]. 安徽科技学院学报, 2023, 37(2): 57-65.
LIU Xuhua, SUN Qiangqiang, YANG Liping, et al. Process optimization and digestion characteristics analysis of black whole wheat steamed bread[J]. Journal of Anhui Science and Technology University, 2023, 37(2): 57-65.
- [30] 黄泽华. 大麦 β -葡聚糖微凝胶热诱导融渗影响小麦蛋白交联的机理及应用[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
HUANG Zehua. Study on the effect of thermally induced infiltration of barley β -glucan microgel on wheat protein aggregation and the application[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- [31] 王刚, 熊发祥. 常用抗老化剂对糯米粉老化性质影响的工艺研究[J]. 食品工业, 2012, 33(1): 4-7.
WANG Gang, XIONG Faxiang. Impact of hydrochloric acid-modified procession on the aging properties[J]. The Food Industry, 2012, 33(1): 4-7.
- [32] 姚惠源. 粮食加工科学与技术发展研究(摘录)[J]. 粮食与饲料工业, 2011(5): 1-6.
YAO Huiyuan. Research on the development of grain processing science and technology (excerpt)[J]. Cereal & Feed Industry, 2011(5): 1-6.