

调味面制品减盐工艺优化

毛冰冰¹, 王煦松¹, 黄旭辉¹, 何敏², 张富重², 李库³, 郭辉³, 沈硕³, 秦磊^{1*}

(1. 大连工业大学食品学院, 辽宁大连 116034) (2. 漯河市卫龙生物技术有限公司, 河南漯河 462005)

(3. 酵母功能湖北省重点实验室, 湖北宜昌 443003)

摘要: 调味面制品又称为辣条, 因口感独特广受欢迎, 但高盐含量可能引发健康问题。该研究针对减盐辣条坯在贮藏期间品质劣变的问题, 通过添加改良剂优化产品品质。采用单因素结合正交试验, 对辣条坯的质构和感官指标进行主成分分析, 确定复配改良剂的最佳配方(糯米粉 10%、酵母膳食纤维 1%、大豆卵磷脂 0.6%、结晶果糖 6%)。在 37 °C 加速贮藏下, 评估了复配改良剂对减盐辣条坯的优化效果。结果表明, 在贮藏期间, 添加复配改良剂的减盐辣条坯与未减盐辣条坯在部分指标上有一定差距, 但与减盐 40% 辣条坯相比, 硬度变化改善 39.56%, 水分含量增加 4.73%。红外光谱分析显示, 与减盐 40% 辣条坯对照组相比, 添加复配改良剂组的 (1 047/1 022) cm^{-1} 峰强度比值降低, 说明复配改良剂能有效阻碍减盐辣条坯在贮藏过程中的淀粉分子重排, 降低老化时有序和无序结构之间的比例, 进而延缓减盐辣条坯淀粉老化现象。总之, 复配改良剂可有效减缓减盐辣条坯在贮藏期间的硬化和老化现象。该研究可为减盐工艺优化提供理论依据。

关键词: 调味面制品; 改良剂; 贮藏; 正交试验; 傅里叶变换红外光谱

文章编号: 1673-9078(2026)05-184-192

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.5.0319

Optimization of Salt Reduction Technology for Seasoned Extruded Noodles

MAO Bingbing¹, WANG Xusong¹, HUANG Xuhui¹, HE Min², ZHANG Fuzhong², LI Ku³, GUO Hui³,
SHEN Shuo³, QIN Lei^{1*}

(1. School of Food Science, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

(2. Luohe Weilong Biotechnology Co. Ltd., Luohe 462005, China)

(3. Hubei Provincial Key Laboratory of Yeast Function, Yichang 443003, China)

Abstract: Seasoned extruded noodles, commonly known as spicy strips, are popular snack foods but typically contain high levels of salt, which pose potential health risks. Quality deterioration of salt-reduced spicy strip blanks during storage was addressed, and product quality was optimized through the incorporation of compound improvers. Single-factor experiments combined with orthogonal design were used to evaluate texture and sensory characteristics and to determine the optimal formulation of the compound improver. The optimal formulation consisted of 10% glutinous rice flour, 1% yeast dietary fiber, 0.6% soybean lecithin, and 6% crystalline fructose. The effects of the compound improver on the quality of salt-reduced spicy strip blanks were further evaluated under accelerated storage conditions at 37 °C. The results showed that, although certain quality parameters of the salt-reduced blanks with the compound improver differed from those of non-salt-reduced blanks, the addition of the compound improver significantly improved storage stability. Specifically, compared with the blanks subjected to 40% salt reduction alone, the compound improver reduced hardness changes by 39.56% and increased water content by 4.73% during storage. Fourier-transform

引文格式:

毛冰冰, 王煦松, 黄旭辉, 等. 调味面制品减盐工艺优化[J]. 现代食品科技, 2026, 42(5): 184-192.

MAO Bingbing, WANG Xusong, HUANG Xuhui, et al. Optimization of salt reduction technology for seasoned extruded noodles [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(5): 184-192.

收稿日期: 2025-03-06; 修回日期: 2025-05-06; 接受日期: 2025-05-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2024YFD2101500)

作者简介: 毛冰冰(2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: bingbingmao0715@163.com

通讯作者: 秦磊(1984-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品风味与品质调控技术, E-mail: qinlei@dlpu.edu.cn

infrared spectroscopy analysis revealed that the absorbance peak intensity ratio at 1 047/1 022 cm^{-1} in the compound improver group was lower than that in the 40% salt-reduced control group, indicating that the improver effectively inhibited starch molecular rearrangement during storage. This reduction in the ratio of ordered to disordered structures suggests delayed starch retrogradation and aging. Overall, the incorporation of the compound improver effectively retarded hardening and aging of salt-reduced seasoned extruded noodle blanks during storage. These results provide a theoretical basis and technical reference for optimizing salt reduction strategies in seasoned extruded noodle products.

Key words: seasoned extruded noodles; salt reduction; improver; storage stability; orthogonal design; Fourier-transform infrared spectroscopy

调味面制品，俗称辣条，是以小麦或其他谷物为主要原料，经过挤压膨化后，添加调味料、食品添加剂等制作而成的一种加工食品^[1,2]。小麦粉作为制作辣条最主要的原料，受到淀粉老化等多种因素的影响，其硬度会随着长时间的储存而显著降低口感。辣条的品质不仅与小麦粉有关，还与其坯体的膨胀程度和吸油率正相关，而与其硬度则呈现负相关关系^[3]。辣条坯体的膨胀程度决定了辣条的结构，从而决定了其质地。辣条膨胀率越高，吸油性越好；吸水性指数越高，其产品质地越好，更能满足消费者的感官需求^[4]。众所周知，氯化钠作为辣条中最重要的配料之一，发挥着许多重要的作用，不仅可以增加食物咸鲜味，刺激人体味觉细胞使之产生食欲，还有助于其面筋结构的形成，延长食品的保质期^[5,6]。根据调查显示，辣条中氯化钠的添加量均在 5.8 g/100 g 以上，氯化钠的过量添加会对人体健康带来较大隐患。因此，国家提出“三减三健”专项行动（倡导减盐、减油、减糖），其中《2022 年中国居民平衡膳食指南》明确规定，健康成年人每日盐摄入量应控制在 5 g 以内^[7]。辣条作为一种高盐加工食品，如何在降低含盐量的同时维持其品质并延缓硬化老化进程，已成为企业亟待解决的关键问题。

糯米粉支链淀粉含量很高，基本占整个淀粉比例的 99% 以上，与直链淀粉相比，支链淀粉不易老化，因此可在面制品中适当添加以延缓产品老化速度，达到提高产品保质期的目的^[8,9]。膳食纤维是一种多糖，其中，酵母膳食纤维属于可溶性膳食纤维，是一种安全、环保且高效的食品添加剂^[10]，其活性成分主要为葡聚糖和甘露聚糖^[11,12]。将膳食纤维加入到面制品中，不仅可以改善口感、增强持水能力，还能有效地降低生产成本，并对人体健康有很大益处^[13]。在面制品中，乳化剂能够与淀粉、蛋白质等发生相互作用，有助于改善面制品的品质。大豆卵磷脂作为一种优质的食品乳化剂，添加到食品中时，不仅能够起到抗老化和抗氧化的作用，还能够改善食品的纹理结构^[14,15]。与其他糖相比，结晶果糖具有极强的吸潮性，易吸收周围

的水分，并能将其牢牢锁住，能有效防止食物脱水，避免淀粉老化，从而保持产品长期柔软，延长产品的保质期^[16]。

本试验通过 4 种改良剂的单因素试验探究对减盐 40% 辣条坯的影响，以硬度和水分含量作为评价指标，筛选出最适添加量范围，再进行正交试验探究 4 种改良剂的最佳复配比。最后通过贮藏实验，评估调味面制品减盐工艺优化效果，以期对调味面制品的减盐工艺优化提供可行方案。

1 材料与方法

1.1 原料

氯化钠、大豆膳食纤维粉、单甘酯、三氯蔗糖和甘油，由漯河市卫龙生物技术有限公司提供；大豆卵磷脂，由睢县优宝嘉食品有限公司购买；结晶果糖，由山东西王糖业有限公司购买；酵母膳食纤维，由安琪酵母股份有限公司提供；糯米粉，由泰州市今世味食品有限公司购买。

1.2 仪器与设备

YE3-100L2-4 单螺杆挤压机，威海硕力电机股份有限公司；DHG-9070A 电热鼓风干燥箱，上海一恒科学仪器有限公司；TA.XT.Plus 物性测试仪，英国 SMS 公司；Coolsafe110-4 型冷冻干燥机，丹麦 Labogene 公司；FrontierFT-IR 型傅立叶变换红外光谱仪，日本铂金埃尔默仪器有限公司。

1.3 主要研究方法

1.3.1 工艺流程和操作要点

（1）原料预处理：称取氯化钠若干、甘油 12%、大豆膳食纤维粉 1%、单甘酯 2% 以及三氯蔗糖 1%，全部溶于水（28%）中搅拌，使其尽可能全部溶解，得到混合液（以上添加量均以高筋小麦粉质量分数作为基准）。其中，未减盐组氯化钠添加量为 4.02%，减

盐 40% 组氯化钠添加量为 2.412%。

(2) 搅拌：将高筋小麦粉倒入搅拌器中，倒入混合液。然后调节转速至 $220\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ，搅拌器保持 $220\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的转速搅拌 30 s，搅打成松散的面絮。

(3) 制作：将面絮匀速倒入单螺杆挤压机中，挤压得到辣条坯。

(4) 成品：将挤出的辣条坯在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 室温下平摊冷却后，用食品级自封袋密封包装，每袋质量约为 65 g。

1.3.2 单因素实验优化

选定糯米粉、酵母膳食纤维、大豆卵磷脂和结晶果糖 4 种改良剂分别添加到减盐 40% 的辣条坯中，进行为期 7 d 的 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏实验。糯米粉添加量：1%、5%、10%、15%；酵母膳食纤维添加量：1%、2%、3%、4%；大豆卵磷脂添加量：0.2%、0.4%、0.6%、0.8%；结晶果糖添加量：2%、4%、6%、8%；以上改良剂添加量均以高筋小麦粉质量分数作为基准。以未添加改良剂的未减盐辣条坯和减盐 40% 辣条坯作为对照组。单因素试验以第 7 天的质构特性（硬度）和水分含量作为评价指标。

1.3.3 正交试验设计

根据单因素试验结果，选择 $L_9(3^4)$ 正交试验表，详见表 1，测定其感官评价和质构指标，进行主成分分析^[17]，确定最佳复配改良剂比例。

表 1 正交水平因素表 (%)

Table 1 Orthogonal level factor table (%)				
水平	因素			
	A 糯米粉	B 酵母膳食纤维	C 大豆卵磷脂	D 结晶果糖
1	5	1	0.4	2
2	10	2	0.6	4
3	15	3	0.8	6

1.3.4 辣条坯水分含量的测定

参照《GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的第一法测定。平行测定 3 组。

1.3.5 辣条坯质构特性的测定

参考 Cao 等^[18]的方法，进行一定的修改。取辣条坯切成 2 cm 小段，放置在质构仪探头中心部位下进行测试。测试参数：测前速率为 $2.00\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ，测中速率为 $1.00\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ，测后速率为 $2.00\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ，2 次压缩的间隔时间为 5.00 s，压缩程度 50%，接触点数值 10 gf，触发力 5 gf；记录样品的硬度。每组样品重复实验 5 次。

1.3.6 辣条坯感官评定

感官评价小组由 10 名 18~25 岁的食品专业学生构

成，男女比例为 1:1，并依据 GB/T 22210-2008 标准进行了系统培训^[19]，样品在评定前被随机编号，确保评价的客观性。在每次品尝前，评价人员需使用清水漱口，以清除口腔中的异味残留。评定标准详见表 2。

表 2 辣条坯感官评价标准

Table 2 Criteria for sensory evaluation of spicy strip banks		
指标	评分标准	得分
硬度嗜好性	口感软硬适中	8~10
	口感稍硬	6~8
	口感略微发硬	4~6
	口感发干发硬	2~4
	口感严重发干发硬	0~2
弹性嗜好性	富有弹性	8~10
	弹性较好	6~8
	弹性略差	4~6
	弹性较差	2~4
	弹性非常不好	0~2
咀嚼性嗜好性	容易咀嚼，咀嚼过程中成团性好，不松散，不黏牙	8~10
	比较容易咀嚼，咀嚼过程中成团性比较好，不松散，比较不黏牙	6~8
	不易咀嚼，咀嚼过程中成团性好，不松散，略有粘牙感	4~6
	比较难咀嚼，咀嚼后松散，有比较强烈的粘牙感	2~4
	很难咀嚼，粘牙感非常强、咀嚼后严重松散，有碎渣感	0~2

1.3.7 辣条坯水分活度的测定

参照《GB 5009.238-2016 食品安全国家标准 食品水分活度的测定》中的第二法测定。平行测定 3 组。

1.3.8 辣条坯蛋白质二级结构的测定

采用 Hu 等^[20]的方法，稍作修改。使用傅里叶红外光谱法对辣条坯中蛋白质的二级结构进行测定。在研钵中按 1:100 的比例加入辣条坯冻干粉末与光谱纯级溴化钾粉末，充分混匀并研磨后进行压片测定。光谱范围： $400\sim4\,000\text{ cm}^{-1}$ ，扫描次数 32 次。采用 OMNIC 和 Peakfit 软件对酰胺 I 带吸收峰（ $1\,600\sim1\,700\text{ cm}^{-1}$ ）进行数据分析，不同子峰的相对面积表示各二级结构的含量。

1.3.9 数据分析

利用 Origin 9.0 及 Excel 2010 软件进行数据分析。采用 SPSS 22.0 软件进行显著性分析（ $P<0.05$ 表示具有显著性差异）。

2 结果与讨论

2.1 单因素实验结果分析

2.1.1 糯米粉对减盐辣条坯的质构特性与水分含量的影响

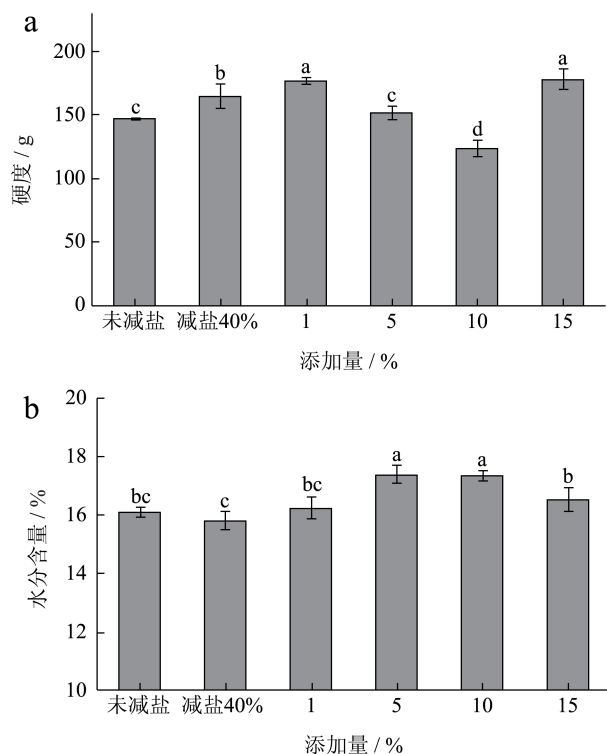


图1 不同糯米粉添加量对减盐辣条坯硬度和水分含量的影响

Fig.1 Effect of different glutinous rice flour addition on hardness and moisture content content of salt-reduced spicy strip blanks

注：采用不同字母标注的组别间存在显著差异 ($P < 0.05$), 图2~4同。“未减盐”与减盐40%为对照组, 未添加糯米粉。

不同糯米粉添加量制备的减盐辣条坯在贮藏第7天时的硬度变化如图1a所示。在贮藏第7天时, 与未减盐(硬度: 146.48 g)和减盐40%(硬度: 165.10 g)的对照组相比, 糯米粉添加量为10%时, 硬度最低, 为123.35 g。添加量为5%时, 硬度为151.88 g, 略高于未减盐对照组, 但是显著低于减盐40%对照组。付朝煦^[21]的研究也表明糯米粉的添加可以改善辣条坯硬化现象, 降低其硬度。不同糯米粉添加量制备的减盐辣条坯在贮藏第7天时的水分含量变化如图1b所示, 不同的糯米粉添加量对水分含量都有不同程度的改善效果, 使得减盐辣条坯的水分流失减缓, 达到了水分增加的作用。在贮藏第7天时, 添加量为5%和10%时,

水分含量分别是17.36%和17.34%, 与减盐40%(水分含量: 15.77%)对照组相比, 两组糯米粉添加量的水分含量分别提高了7.70%和9.96%。结合减盐辣条坯的硬度和水分含量在贮藏期7 d的变化, 减盐40%辣条坯改良效果最好的一组为糯米粉添加量10%。糯米粉对减盐辣条坯的改良作用可能是因为糯米粉本身支链淀粉含量很高^[8], 加入到辣条坯中, 使得辣条坯体系中支链淀粉的比例增加, 淀粉的回生程度有所下降, 这表明辣条坯在贮藏过程中的硬化问题得到了延缓。因此, 选取糯米粉添加量为10%, 再进行下一步的优化。

2.1.2 酵母膳食纤维对减盐辣条坯的质构特性与水分含量的影响

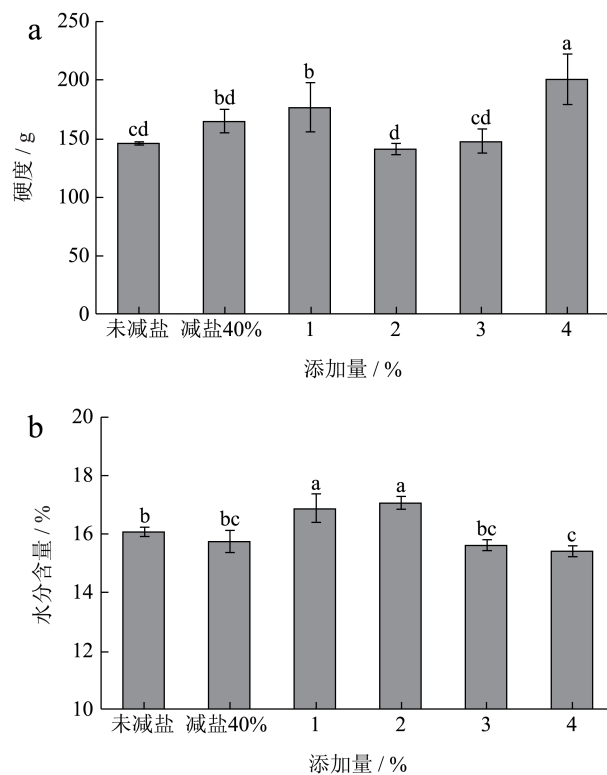


图2 不同酵母膳食纤维添加量对减盐辣条坯硬度和水分含量的影响

Fig.2 Effect of different yeast dietary fiber addition on hardness and moisture content content of salt-reduced spicy strip blanks

注：“未减盐”与减盐40%为对照组, 未添加酵母膳食纤维。

不同酵母膳食纤维添加量制备的减盐辣条坯在贮藏第7天时的硬度变化如图2a所示。在贮藏第7天时, 与未减盐和减盐40%的对照组相比, 酵母膳食纤维添加量为2%时, 硬度最低, 为141.10 g, 与未减盐和减盐40%对照组相比, 硬度分别降低了3.74%和

14.54%。由不同添加量的酵母膳食纤维所制成的减盐辣条坯水分含量变化如图 2b 所示,添加量为 1% 和 2% 时,延缓水分含量流失的效果最为显著,水分含量分别是 16.86% 和 17.09%,与减盐 40% 对照组相比,添加量为 1% 和 2% 的酵母膳食纤维,辣条坯水分含量分别提高了 6.91% 和 8.37%。结合减盐辣条坯的硬度和水分含量在贮藏期 7 d 的变化来看,对减盐 40% 辣条坯改良效果最好的一组为添加量 2%。因此,选取酵母膳食纤维添加量为 2%,并进行下一步的优化。

2.1.3 大豆卵磷脂对减盐辣条坯的质构特性与水分含量的影响

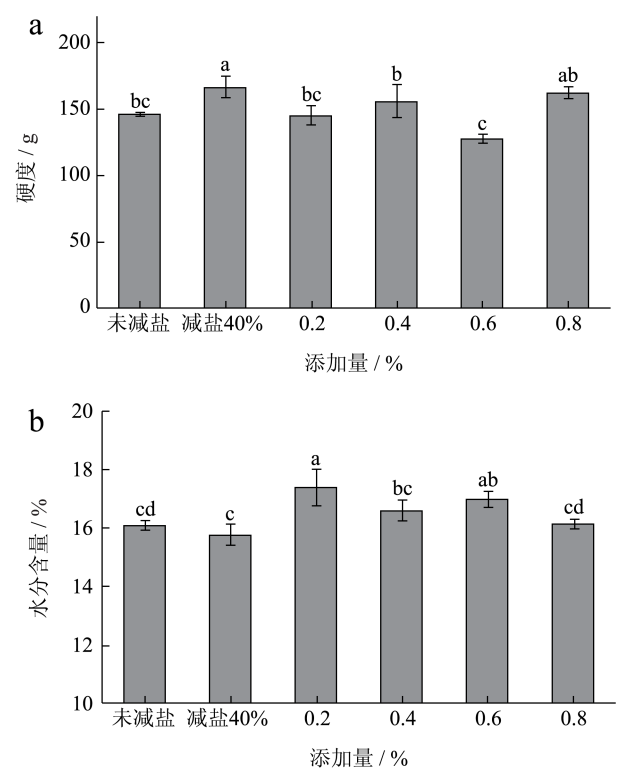


图 3 不同大豆卵磷脂添加量对减盐辣条坯硬度和水分含量的影响

Fig.3 Effect of different soybean lecithin addition on hardness and moisture content content of salt-reduced spicy strip blanks

注：“未减盐”与减盐 40% 为对照组，未添加大豆卵磷脂。

不同大豆卵磷脂添加量制备的减盐辣条坯在贮藏第 7 天时的硬度变化如图 3a 所示。在贮藏第 7 天时,与未减盐和减盐 40% 的对照组相比,大豆卵磷脂添加量为 0.6% 时,硬度最低,为 127.28 g,与未减盐和减盐 40% 对照组相比,硬度分别降低了 13.11% 和 22.91%。这一现象可能源于大豆卵磷脂通过与直链淀

粉或支链淀粉分子的外支形成包合物起作用,并延迟淀粉颗粒的膨胀,减缓了淀粉的老化进程^[15]。由不同添加量的大豆卵磷脂所制成的减盐辣条坯水分含量变化如图 3b 所示,添加量为 0.2%、0.4% 和 0.6% 时,水分含量都显著高于两组对照组。添加量为 0.2% 时,水分含量最高,为 17.40%;其次是添加量为 0.6% 的水分含量,为 16.99%,与减盐 40% 对照组相比,两组改良剂添加量的水分含量分别提高了 10.34% 和 7.74%。结合减盐辣条坯的硬度和水分含量在贮藏期 7 d 的变化来看,对减盐 40% 辣条坯改良效果最好的一组为添加量 0.6%。因此,选取大豆卵磷脂添加量 0.6%,再进行下一步的优化。

2.1.4 结晶果糖对减盐辣条坯的质构特性与水分含量的影响

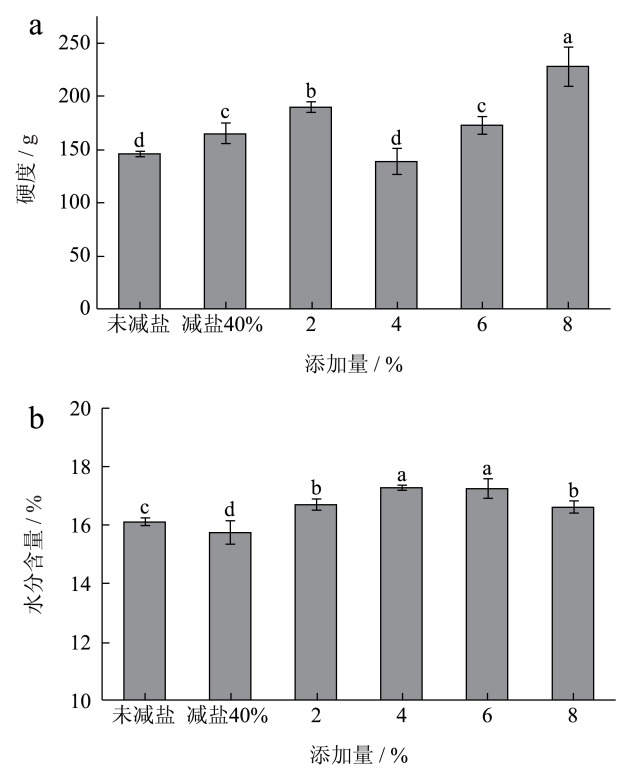


图 4 不同结晶果糖添加量对减盐辣条坯硬度和水分含量的影响

Fig.4 Effect of different crystalline fructose addition on hardness and moisture content content of salt-reduced spicy strip blanks

注：“未减盐”与减盐 40% 为对照组，未添加结晶果糖。

不同结晶果糖添加量制备的减盐辣条坯在贮藏第 7 天时的硬度变化如图 4a 所示。在贮藏第 7 天时,与未减盐和减盐 40% 的对照组相比,结晶果糖添加量为 4% 时,硬度最低,为 138.88 g,与未减盐和减盐

40% 对照组相比, 硬度分别降低了 15.02% 和 15.88%。由不同添加量的结晶果糖所制成的减盐辣条坯水分含量变化如图 4b 所示, 结晶果糖添加量的水分含量都显著高于两组对照组, 推测是由于结晶果糖具有很强的吸潮性, 容易吸收周围的水分, 将其牢牢锁住, 从而减缓了减盐辣条坯中水分的散失。贮藏第 7 天, 添加量为 4% 和 6% 时, 水分含量最高, 分别为 17.30% 和 17.27%, 与减盐 40% 对照组相比, 两组改良剂添加量的水分含量分别提高了 9.70% 和 9.51%, 这与陈泗林等^[22]的结论相同。结合减盐辣条坯的硬度和水分含量在贮藏期 7 d 的变化来看, 对减盐 40% 辣条坯改良效果最好的一组为添加量 4%。因此, 选取结晶果糖添加量 4%, 再进行下一步的优化。

2.2 正交试验-主成分分析

正交试验是在减盐 40% 辣条坯的基础上, 进行了 37 ℃加速贮藏 3 周的试验, 贮藏第 3 周的结果如表 3 所示, 其中硬度嗜好性、弹性嗜好性和咀嚼性嗜好性为感官评分结果。根据表表 3 得到的实验结果, 对 9 组改良剂复配试验的指标数据进行主成分分析。由表 4 可知, 提取两个主成分累积贡献率达到 86.363%, 说明能够比较全面的反映辣条坯品质的整体信息表明原有各变量间具有一定相关性, 适合进行主成分分析^[23]。

由表 5 可得, 第 1 主成分主要以硬度嗜好性、弹性嗜好性、咀嚼性嗜好性的影响为主, 而质构指标中的硬度和咀嚼性与辣条坯的品质呈负相关; 第 2 主成分以硬度、弹性和咀嚼性的影响为主。根据此成分矩阵计算特征向量矩阵^[24], 得到主成分 Y_1 、 Y_2 的线性关系式, 各关系式为:

$$Y_1=-0.402X_1+0.301X_2+0.342X_3+0.457X_4+0.464X_5+0.453X_6$$

$$Y_2=0.443X_1+0.612X_2+0.586X_3+0.086X_4+0.273X_5+0.061X_6$$

以主成分 Y_1 、 Y_2 所对应的特征值占所提取主成分总特征值之和的比例作为权重, 计算主成分综合模型^[25], 关系式为 $Z=0.676Y_1+0.188Y_2$ 。

表 6 显示了 9 组试验组的综合品质评价得分。试验组 3 和试验组 4 得分分别为 1.11 和 1.23, 显著高于其他试验组, 其中, 试验组 3 的硬度和咀嚼性最低, 为 411.68 和 324.27。试验组 4 的感官评分最高, 分别为 3.14 (硬度嗜好性)、3.00 (弹性嗜好性) 和 2.86 (咀嚼性嗜好性)。这表明试验组 3 和试验组 4 的复配改良剂对减盐辣条坯的品质改善作用更加明显。根据综合评分, 试验组 4 得分最高, 因此复配改良剂添加量的最优组合为糯米粉 10%、酵母膳食纤维 1%、大豆卵磷脂 0.6%、结晶果糖 6%。

表 3 正交试验结果
Table 3 Orthogonal test results

序号	A 糯米粉 /%	B 酵母膳食纤维 /%	C 大豆卵磷脂 /%	D 结晶果糖 /%	硬度	弹性	咀嚼性	硬度嗜好性	弹性嗜好性	咀嚼性嗜好性
1	5	1	0.4	2	476.23	0.93	348.18	2.43	2.14	2.14
2	5	2	0.6	4	512.70	0.91	365.62	2.57	2.00	2.14
3	5	3	0.8	6	411.68	0.96	324.27	3.00	2.86	2.43
4	10	1	0.6	6	443.59	0.95	329.97	3.14	3.00	2.86
5	10	2	0.8	2	630.67	0.93	444.06	2.00	1.71	1.86
6	10	3	0.4	4	436.70	0.94	334.67	2.29	2.29	2.00
7	15	1	0.8	4	574.74	0.93	551.07	2.14	2.14	1.86
8	15	2	0.4	6	561.35	0.95	375.10	2.29	2.43	2.00
9	15	3	0.6	2	622.43	0.95	527.79	2.57	2.29	2.14

表 4 改良剂复配评价指标的主成分方差贡献率
Table 4 Principal component variance contribution rate of compound evaluation index of improver

主成分	特征值	贡献率 /%	累计贡献率 /%
1	4.055	67.582	67.582
2	1.127	18.782	86.363

表 5 改良剂复配评价指标主成分的成分矩阵

Table 5 Composition matrix of principal components of evaluation index for improver compound						
指标	硬度 (质构) (X_1)	弹性 (质构) (X_2)	咀嚼性 (质构) (X_3)	硬度嗜好性 (X_4)	弹性嗜好性 (X_5)	咀嚼性嗜好性 (X_6)
主成分 1	-0.402	0.301	-0.342	0.457	0.464	0.453
主成分 2	0.443	0.612	0.586	0.086	0.273	0.061

表 6 辣条坯综合品质评价得分结果

Table 6 Scoring results of comprehensive quality evaluation of spicy strip blanks									
指标	试验组								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z 值 / 分	0.39	0.23	1.11	1.23	-0.12	0.45	0.03	0.43	0.38

2.3 复配改良剂减盐辣条坯品质特征分析

2.3.1 复配改良剂对减盐辣条坯水分含量与水分活度的影响

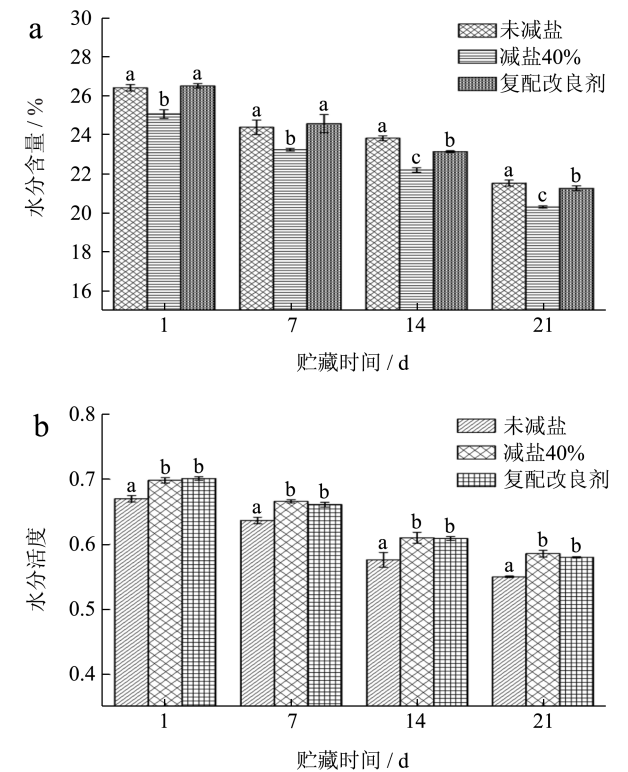


图 5 添加复配改良剂的减盐辣条坯在贮藏期的水分含量 (a) 与水分活度 (b)

Fig.5 Water content (a) and water activity (b) of salt-reduced spicy strip blanks with compound improver during storage

注：采用不同字母标注的组别间存在显著差异 ($P<0.05$)。下同。

添加了复配改良剂的减盐辣条坯在进行为期 21 d 的 37 ℃加速贮藏中的水分含量与水分活度如图 5 所示，由图 5a 可以看出，在贮藏初期，复配改良剂辣条坯的水分含量与未减盐对照组相近。经过 14 d 贮藏后，

水分流失高于未减盐辣条坯。在贮藏第 21 天时，复配改良剂辣条坯的水分含量为 21.28%，与未减盐对照组相比具有差距，而与减盐 40% 辣条坯对照组相比，添加了复配改良剂后，显著延缓了减盐辣条坯水分的散失，水分含量提高了 4.73%。说明复配改良剂的添加对延缓减盐辣条坯中水分的散失具有一定的改良效果。

由图 5b 可以看出，未减盐辣条坯的水分活度在贮藏期间始终是最低的，在贮藏期间，复配改良剂辣条坯的水分活度和减盐 40% 辣条坯相近，说明复配改良剂的添加对水分活度并没有明显改善作用，推测在辣条样品中复改良剂与水结合的能力要低于氯化钠，导致自由水量增加，水分活度较未减盐辣条坯增加。

2.3.2 复配改良剂对减盐辣条坯硬度的影响

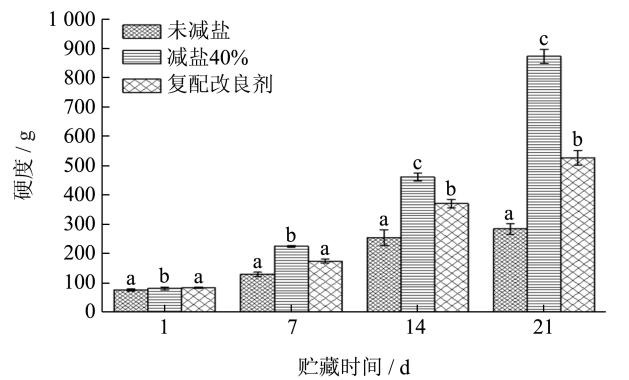


图 6 添加复配改良剂的减盐辣条坯在贮藏期的硬度
Fig.6 Hardness of salt-reduced spicy strip blanks with compound improver during storage

添加了复配改良剂的减盐辣条坯在进行为期 21 d 的 37 ℃加速贮藏的硬度变化如图 6 所示，随着贮藏时间的增加，三组辣条坯的硬度变化具有显著性差异。在贮藏 21 d 时，未减盐辣条坯、减盐辣条坯与添加了复配改良剂减盐辣条坯的硬度分别为 285.29、872.44 和 527.3 g，与减盐辣条坯对照组相比，复配改良剂组硬度降低了 39.56%，但是与未减盐辣条坯相比还有一

定的差距。根据硬度变化结果,复配改良剂的添加对减盐辣条坯的硬化起到了一定的延缓作用,能够有效延长减盐辣条坯的贮藏期。

2.3.3 复配改良剂对减盐辣条坯蛋白质二级结构的影响

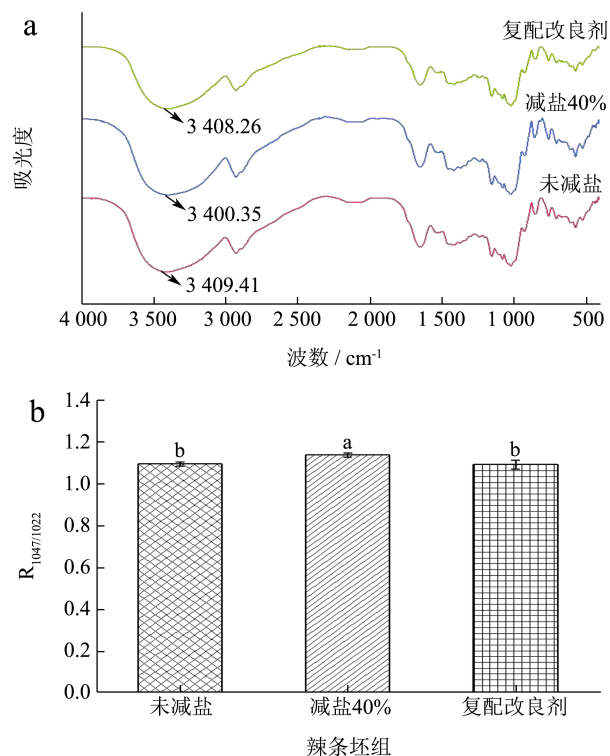


图7 添加复配改良剂的减盐辣条坯贮藏第21天的红外谱图(a)及峰强度比值变化(b)

Fig.7 Changes of infrared spectrum and peak intensity ratio of salt-reduced spicy strip blanks with compound improver on the 21st day of storage

图7a为添加了复配改良剂的减盐辣条坯在贮藏第21天的傅里叶红外外光谱图。辣条坯在 $3\ 600$ 至 $3\ 300\text{ cm}^{-1}$ 处有很强且很宽的吸收峰。研究表明,淀粉的O-H伸缩振动、蛋白质的N-H伸缩振动以及氢键的形成都与 $3\ 300\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收峰有关^[26]。辣条坯的红外吸收峰在 $3\ 400.35\sim 3\ 409.41\text{ cm}^{-1}$ 之间,与未减盐组相比,减盐40%对照组吸收峰向低波数红移,这表明在减盐40%辣条坯中形成了更多的分子间氢键^[27],说明氯化钠的减少会使网络面筋结构变得不稳定。添加复配改良剂后,吸收峰向高波数方向蓝移约 8 cm^{-1} ,与未减盐组波数更为接近,推测复配改良剂的添加对这种情况具有改善作用。此外,在 $1\ 047\text{ cm}^{-1}$ 附近的吸收峰是淀粉结晶区的结构特征;在 $1\ 022\text{ cm}^{-1}$ 附近的吸收峰则是淀粉非晶区的结构特征^[28-30]。 $(1\ 047/1\ 022)\text{ cm}^{-1}$ 峰强度比值作为淀粉有序结构的指标,更高的比值表明淀

粉的有序度更高。图7b中描绘了 $(1\ 047/1\ 022)\text{ cm}^{-1}$ 峰强度比值。其中,复配改良剂组峰强度比值为1.091,显著低于减盐40%对照组(1.137),更接近于未减盐对照组比值(1.094)。推测添加复配改良剂可有效阻碍减盐辣条坯中在贮藏过程中的淀粉分子重排,降低老化时有序和无序结构之间数量的比例,进而延缓减盐辣条坯淀粉老化现象。

3 结论

以减盐40%辣条坯为模型,质构特性和水分含量为指标,明确了不同种类改良剂的应用效果及最适添加量,进一步通过四因素三水平的正交试验确定复配改良剂的最佳配比为:糯米粉10%、酵母膳食纤维1%、大豆卵磷脂0.6%、结晶果糖6%。经验证,虽添加最佳复配改良剂的减盐辣条坯与未减盐组在部分指标上仍具有一定差距,但与减盐40%对照组相比,在贮藏第21天后,硬度变化改善39.56%,水分含量增加了4.73%。通过红外 $(1\ 047/1\ 022)\text{ cm}^{-1}$ 处峰强度比值也表明复配改良剂能降低有序和无序结构的比例,延缓淀粉老化,进而说明了复配改良剂可以有效延长减盐辣条坯贮藏期。

参考文献

- [1] YANG H, FU Y, ZHANG Y, et al. Evaluation of mannitol and xylitol on the quality of wheat flour and extruded flour products [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(8): 4119-4128.
- [2] LIU Y, LENG Y, XIAO S, et al. Effect of inulin with different degrees of polymerization on dough rheology, gelatinization, texture and protein composition properties of extruded flour products [J]. LWT, 2022, 159: 113225.
- [3] 陈皓,刘煜侠,许国忠.浅谈辣条标准发展和市场现状[J].食品安全导刊,2020,18:4-5.
- [4] 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].食品与发酵工业,2023,49(1):230-237.
- [5] LORÉN N, NIIMI J, HÖGLUND E, et al. Sodium reduction in foods: Challenges and strategies for technical solutions [J]. Journal of Food Science, 2023, 88(3): 885-900.
- [6] TAN H L, TAN T C, EASA A M. Effects of sodium chloride or salt substitutes on rheological properties and water-holding capacity of flour and hardness of noodles [J]. Food Structure, 2020, 26: 100154.
- [7] 刘远文.“三减三健”,做自己健康的第一责任人[J].人口与健康,2025,2:84-86.
- [8] WANG L, ZHAO S, LIU Y, et al. Quality characteristics and evaluation for sponge cakes made of rice flour [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(7): e14505.
- [9] KIM H, NO J, SHIN M. Effects of newly developed waxy rice flour on the quality characteristics and oxidative stability of

- Korean traditional fried cookie, Yakgwa [J]. Food Science and Biotechnology, 2018, 27(6): 1697-1705.
- [10] 周苗,杨泰.酵母多糖的生理作用及其在动物生产中的应用研究进展[J].粮油与饲料科技,2020,2:25-29.
- [11] 崔艺燕,马现永.酵母多糖的生物学功能及其对仔猪肠道健康的影响[J].动物营养学报,2018,30(3):857-864.
- [12] 刘亚娜,周喆麒,王芳,等.酵母细胞壁多糖提取纯化鉴定技术及其应用研究进展[J].中国畜牧兽医,2019,46(12):3607-3616.
- [13] ALBA K, CAMPBELL G M, KONTOGIORGOS V. Dietary fibre from berry-processing waste and its impact on bread structure: a review [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(9): 4189-4199.
- [14] 谈黎明.大豆磷脂生理功能及其应用[J].粮食与油脂,1999,2:36-38.
- [15] AHMED I B H, HANNACHI A, HAROS C M. Combined effect of chia flour and soy lecithin incorporation on nutritional and technological quality of fresh bread and during staling [J]. Foods, 2020, 9(4): 446-446.
- [16] 于萌萌,段元良,周清涛,等.功能性甜味剂的特性及应用[J].精细与专用化学品,2022,30(2):1-4.
- [17] 张怀予,沈世爽,张浩,等.枸杞面包复合改良剂优化及其品质的主成分分析法多指标评价[J].食品与发酵工业,2019,45(13):232-241.
- [18] CAO Z B, YU C, YANG Z, et al. Impact of gluten quality on textural stability of cooked noodles and the underlying mechanism [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 119: 106842.
- [19] 朱静,吕飞飞.食品感官分析的研究进展[J].中国调味品,2009, 34(5):29-31.
- [20] HU X, CHENG L, HONG Y, et al. Impact of celluloses and pectins restrictions on gluten development and water distribution in potato-wheat flour dough [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 206: 534-542.
- [21] 付朝煦.氯化钠对辣条坯品质的作用机制探究[D].武汉:武汉轻工大学,2019.
- [22] 陈泗林,易碧清,周航,等.结晶果糖对戚风蛋糕品质的影响研究[J].农产品加工,2020,13:14-16.
- [23] JATOI M A, JURIC S, VIDRIH R, et al. The effects of postharvest application of lecithin to improve storage potential and quality of fresh goji (*Lycium barbarum* L.) berries [J]. Food Chemistry, 2017, 230: 241-249.
- [24] 何新益,汪姣,任小青,等.花色馒头的制备及质构特性主成分分析[J].中国粮油学报,2011,26(7):108-112.
- [25] 王振锋,王淮东,徐广印,等.基于非线性主成分分析法的区域物流发展综合评价模型[J].河南农业大学学报,2006,40(5):545-548.
- [26] LIAN X, ZHU W, WEN Y, et al. Effects of soy protein hydrolysates on maize starch retrogradation studied by IR spectra and ESI-MS analysis [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 59: 143-150.
- [27] NIU H, ZHANG M, XIA X, et al. Effect of porcine plasma protein hydrolysates on long-term retrogradation of corn starch [J]. Food Chemistry, 2018, 239: 172-179.
- [28] SHINGEL K I. Determination of structural peculiarities of dextran, pullulan and γ -irradiated pullulan by Fourier-transform IR spectroscopy [J]. Carbohydrate Research, 2002, 337(16): 1445-1451.
- [29] SEVENOU O, HILL S, FARHAT I, et al. Organisation of the external region of the starch granule as determined by infrared spectroscopy [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2002, 31(1-3): 79-85.
- [30] FLORES-MORALES A, JIMÉNEZ-ESTRADA M, MORA-ESCOBEDO R. Determination of the structural changes by FT-IR, Raman, and CP/MAS ^{13}C NMR spectroscopy on retrograded starch of maize tortillas [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(1): 61-68.