

模拟冷链下叉烧小笼包的品质变化

汤阳春¹, 高彤¹, 欧阳浩基², 吴春梅², 白卫东³, 刘晓艳³, 白永亮^{2*}

(1. 广州酒家集团利口福食品有限公司, 广东广州 511442) (2. 佛山科学技术学院食品科学与工程学院, 广东佛山 528000) (3. 仲恺农业工程学院食品科学与工程学院, 广东广州 510225)

摘要: 为了解冷链物流过程中速冻包点品质与温度、运输时间、振动的关联性, 以速冻叉烧小笼包为研究对象, 对其冷链物流过程进行模拟试验, 探究冷库冷藏时间 (1、2、3、4、5 d)、环境温度 (25 °C)、振动频率 (20、40、60、100、120 r/min)、运输时间 (1、2、3、4 h)、物流阶段温度波动对速冻叉烧小笼包品质的影响, 包括持水力、质构特性和感官品质的变化。结果表明, 在冷藏时间为 2 d 时, 叉烧小笼包出库的质构最佳; 在环境温度下, 与-18 °C 冷藏温度相对比, 叉烧小笼包的弹性和回复性显著减少, 硬度和咀嚼性显著增大 ($p<0.05$), 持水力变弱及感官变差; 随着振动频率越快, 运输时间越长, 温度波动越大, 则叉烧小笼包的弹性和回复性显著减少, 硬度、咀嚼性显著增大 ($p<0.05$), 持水力变弱及感官变差; 结果表明全程冷链-18 °C、20 r/min、1 h 时, 叉烧小笼包品质最佳。该研究为叉烧小笼包冷链运输条件的选择提供了参考。

关键词: 冷链物流; 叉烧小笼包; 质构; 持水力; 感官评价

文章编号: 1673-9078(2022)05-136-144

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.5.0775

Quality Changes of Small Steamed Barbecue Pork Buns under Simulated Cold Chain Conditions

TANG Yangchun¹, GAO Tong¹, OUYANG Haoji², WU Chunmei², BAI Weidong³, LIU Xiaoyan³, BAI Yongliang^{2*}

(1. Guangzhou Restaurant Group Likofu Food Co. Ltd., Guangzhou 511442, China) (2. School of Food Science and Engineering, Foshan University of Science and Technology, Foshan 528000, China) (3. College of Food Science and Engineering, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)

Abstract: In order to understand the correlation between the quality of quick-frozen buns and temperature, transportation time and vibration in the process of cold chain logistics, the quick-frozen barbecue pork steamed buns were used as the research object, simulation experiments were performed according to the cold-chain logistics process. The influences of cold storage time (1, 2, 3, 4, 5 d), ambient temperature (25 °C), vibration frequency (20, 40, 60, 100, 120 r/min) and transportation time (1, 2, 3, 4 h), temperature fluctuation at the logistics stage on the quality of quick-frozen barbecued pork steamed buns were investigated, including changes in water holding capacity, textural characteristics and sensory quality. The results showed that the texture of barbecue pork steamed buns was the best when the cold storage time was two days; At the ambient temperature, compared with the buns stored at the refrigerated temperature of -18 °C, the elasticity and resilience of barbecue pork steamed buns decreased significantly, whilst the hardness and chewiness increased significantly ($p<0.05$), and the water-holding capacity of the barbecue pork steamed bun became weaker, with its sensory attributes becoming worse; With a higher vibration frequency, longer transportation time and greater temperature fluctuation, the elasticity and resilience of barbecued pork steamed buns decreased significantly, whilst the hardness and chewiness increased significantly ($p<0.05$) and the water-holding power decreased, with the sensory attributes becoming worse. The results showed that the quality of barbecued pork steamed buns was the best when the whole cold chain

引文格式:

汤阳春,高彤,欧阳浩基,等.模拟冷链下叉烧小笼包的品质变化[J].现代食品科技,2022,38(5):136-144,+107

TANG Yangchun, GAO Tong, OUYANG Haoji, et al. Quality changes of small steamed barbecue pork buns under simulated cold chain conditions [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(5): 136-144, +107

收稿日期: 2021-07-22

基金项目: 广东省基础与应用基础研究基金项目 (2019A151511061); 仲恺农业工程学院-广州酒家产学研合作项目“广式传统食品的研究与开发” (D11820760)

作者简介: 汤阳春 (1974-), 男, 大专生在读, 研究方向: 中式面点食品研发, E-mail: 1425027394@qq.com

通讯作者: 白永亮 (1986-), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向: 农产品加工, E-mail: 546232815@qq.com

conditions were -18 °C, 20 r/min and 1 h. This study provides a reference for the selection of cold chain transport conditions for small steamed barbecue pork bun.

Key words: cold-chain logistics; small steamed barbecue pork bun; texture; retention ability; sensory evaluation

速冻食品是采用新鲜原料制作, 经过适当的处理和急速冷冻, 在-18 °C至-20 °C的连贯低温条件下送抵消费地点的低温产品^[1]。速冻食品是指以米、面、杂粮等为主要原料, 以肉类、蔬菜等为辅料, 经加工制成各类烹制或未烹制的主食品后, 立即采用速冻工艺制成并可以在冻结条件下运输储存及销售的各类主食品^[2]。中国速冻食品起步于 20 世纪 80 年代, 经历了快速发展和价格大战, 已经成为食品行业最具竞争力的领域^[3]。

目前速冻面米食品产品主要集中在饺子、汤圆、面点、粽子等几个大类^[4], 虽然国内外有关速冻包点的研究颇多, 但却缺乏速冻叉烧小笼包方面的研究^[5,6]。国内主要研究方向为包点的品质改良和工艺加工^[7], 在包点物流方面的研究与国外相比, 差距较为明显^[8]。国内在包点品质研究中, 主要以包装方式、储藏时间、储藏温度、不同冻结方式、冻融处理等条件对速冻包点进行品质的研究^[9]; 在包点加工工艺上, 主要以改良剂、速冻风速等条件进行研究^[10]; 目前缺乏对速冻包点的冷链研究, 更是没有速冻叉烧小笼包的冷链物流的相关研究^[11]。

我国冷链物流尚不完善, 在冷链体系不健全的条件下, 在冷链物流过程中会因为断链、温度波动、路面不平衡导致的振动等现象, 使包点常出现冻融循环现象, 导致包点内水分的散失, 严重影响其品质^[12,13]。在此过程中发现包点产生冻纹、破裂、掉粉现象, 透光性也变差、水分不断散失、蛋白质含量降低, 硬度和弹性呈下降趋势, 粘性增大^[14]。综上, 速冻包点的品质在生产、冷藏、运输和销售过程中可能受不良因素的影响, 且影响极大^[15]。尽管速冻工艺能延长货架期, 具有方便快捷等优点, 但其整体品质尤其是感官品质与现制现售品还有一段距离。表现为经冻藏再复蒸后的各类包点, 其表面易发生开裂, 内部组织结构变差, 质地变粗, 风味减退等质量缺陷^[16]; 冷冻面团在冻藏过程中的品质劣变中, 冰的重结晶会引起谷蛋白大聚体的解聚, 进而导致蛋白网络结构的破坏。同时也发现面团不断失重、包点水分含量降低、包点硬度变大等现象^[17]。且有学者在研究冷冻面团过程中, 发现与面筋蛋白结合最为紧密的刚性水含量降低, 变化最显著, 表明水分发生了重新分布, 水分流动性增强^[18]。

因此, 为工业化生产提供一套理论依据并且为速冻包点的冷链物流提供指导是非常必要的。本研究利

用合理的实验手段, 全面了解速冻叉烧小笼包在冷链物流过程中品质的变化, 为速冻叉烧小笼包工业化提供一定参考, 以对速冻叉烧小笼包的品质变化进行改善和控制。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料

速冻叉烧小笼包; 冰袋。

1.1.2 设备

TA.new plus 质构仪, 上海瑞玢智能科技有限公司; THZ-82A 气浴恒温振荡器, 常州市亿能实验仪器厂; WGLL-230BE 电热鼓风干燥箱, 天津市泰斯特仪器有限公司; BCD-201TF1 冷冻冰箱, TCF 家用电器(合肥)有限公司; 泡沫箱, 临沂正直泡沫制品有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 操作方法

1.2.1.1 叉烧小笼包的制作流程

原料→和面→静置→压延→成型→醒发→气蒸→冷却→速冻→包装→冷冻保藏→成品

1.2.1.2 叉烧小笼包的冷链物流流程

生产→装卸→搬运→储存→运输→配送→销售→消费者(家庭)

1.2.1.3 研究方法

(1) 制作一批速冻好且在冷库中冷藏 48 h 的叉烧小笼包;

配料: 小麦粉、猪肉, 白砂糖、酿造酱油、蚝油、芝麻油、水、食用盐、酵母、胡椒粉、葱、五香粉、白酒、沙姜粉、食品添加剂羟丙基二淀粉磷酸酯、复合膨松剂。

蛋白质含量: 5.9 g/100 g; 碳水化合物: 47 g/100 g; 脂肪: 9.1 g/100 g

(2) 从中挑选无裂痕, 无缺失, 大小高度一致的样品进行包装和后续操作。

包装形式: 内部采用食品级 PP 材质的托盘承载, 使用防潮、耐寒、低温热封性能较好, 成本较低的 PE 包装袋进行封袋处理。在物流运输阶段, 外套 EPS 泡沫箱增强绝热效果, 有助于内部低温环境的稳定。

1.2.2 试验设计

1.2.2.1 环境温度影响试验

模拟气温 25 ℃时的冷链物流, 摇床进行运输, 运输过程中采用冷藏泡沫箱-18 ℃和常温 25 ℃运输。考察速冻叉烧小笼包品质变化。物流环境温度变化模拟过程如表 1 所示。

表 1 物流过程环境温度变化的模拟数值

Table 1 Simulation value of environmental temperature change in logistics process

温度/℃	运输时间/h	振动频率/(r/min)
-18	2	60
25	2	60

1.2.2.2 振动影响试验

将速冻叉烧小笼包放于-18±1 ℃泡沫保温箱中, 并放置在模拟振动试验台上。具体操作为: 转速依次设定为 20、60、100、120 r/min, 振动时间为 60 min, 取样检测, 记录数据。

1.2.2.3 运输时间影响试验

表 2 振动变化模拟数值

Table 2 Simulation value of vibration change

温度/℃	-18	-18	-18	-18
运输时间/h	1	2	3	4

将速冻叉烧小笼包放于-18±1 ℃泡沫保温箱中,

表 4 叉烧小笼包评分标准

Table 4 Grading criteria for barbecued steamed buns

感官特性	评分标准			
外观 (50分)	色泽 (25)	较白光泽 (20~25)	较白无光泽 (14~19)	较黄无光泽 (0~13)
	成形性 (25)	挺拔有裂缝 (20~25)	挺拔稍有裂缝 (14~19)	塌陷有裂缝 (0~13)
口感 (50分)	筋性 (15)	有嚼劲 (12~15)	筋性一般 (8~11)	较烂 (0~7)
	粘弹性 (15)	有弹性爽口不黏牙 (12~15)	弹性一般黏牙 (8~11)	黏牙 (0~7)
	滋味 (10)	味道好 (8~10)	味道一般 (6~7)	味道差 (0~5)
	气味 (10)	浓郁的叉烧味 (8~10)	香味较淡 (6~7)	极淡或有异味 (0~5)

1.2.4 叉烧小笼包的质构特性的测定

将速冻叉烧小笼包 100 ℃蒸汽复热 8 min, 在室温条件下自然冷却 8 min 后采用 TA-XT Plus 物性分析仪进行测试。将整个叉烧小笼包水平放在载物台的正中间以便于测定叉烧小笼包的中心位置的指标, 每个样品平行测定 3 次取平均值。测定参数: P/100 铝制圆柱型探头, 测前速度 5.0 mm/s, 测试速度 1.0 mm/s, 测后速度 5.0 mm/s, 压缩 50%, 触发力 5 g, 两次压缩时间间隔 5 s, 矫正高度 50 mm, 数据采集速率 200 Hz。测定指标包括硬度、粘性、弹性、咀嚼性和回复性。

1.2.5 叉烧小笼包持水率的测定

将复蒸好的样品摊凉后进行称重 w_1 , 干燥后的样品称重 w_2 , 样品的持水力 (WHC) 计算公式为:

并放置在振动频率一致 (20 r/min) 的模拟振动试验台上。

1.2.2.4 温度波动影响试验

贮藏条件: 厂家规定贮藏温度-18 ℃

运输过程中温度: 符合速冻叉烧小笼包运输要求的冷藏泡沫箱温度为-18 ℃, 未达到运输要求普通泡沫箱温度-3 ℃。

模拟速冻叉烧小笼包冷链运输过程中可能出现的温度变化 (I 组为物流均为规范的-18 ℃冷链; II 组为全程两次间断性-3 ℃断链物流; III 组为全程 0 ℃冷链; IV 组为两次连续 5 ℃断链物流和 0 ℃冷链, 考察速冻叉烧小笼包品质变化。

表 3 物流条件模拟数值 (℃)

Table 3 Simulation values of logistics conditions (℃)

组别	运输 30 min	运输 60 min	运输 90 min	运输 120 min
I 组	-18	-18	-18	-18
II 组	-18	-3	-18	-3
III 组	0	0	0	0
IV 组	0	5	5	0

1.2.3 感官评定方法

由 10 个人组成感官评定小组, 对蒸汽复热后的叉烧小笼包的外观、结构、风味、口感进行评定。

$$WHC = (w_1 - w_2) \times 100\%$$

式中:

w_1 ——样品干燥前重量;

w_2 ——样品干燥后重量。

1.3 数据处理

采用 SPSS Statistics 对数据进行单因素方差分析和差异性检测, 运用 Origin 9.1 对数据进行分析处理并科学绘图, 显著性水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 物流阶段环境温度对叉烧小笼包质构、持

水力、感官的影响

2.1.1 环境温度对叉烧小笼包质构的影响

表 5 显示了-18℃与 25℃温度下对叉烧小笼包质构特性的影响，其中硬度、弹性及回复性均与叉烧小笼包松软口感密切相关，硬度数值越低，弹性和回复性数值越大叉烧小笼包越松软；咀嚼性显示叉烧小笼包皮的咀嚼劲，受表皮含水量的影响^[19]。

表 5 环境温度对叉烧小笼包质构的影响

Table 5 Effect of ambient temperature on texture of barbecued pork steamed buns

温度/℃	硬度/N	弹性	咀嚼性/N	回复性
-18	2.140.27 ^a	0.88±0.02 ^a	1.03±0.16 ^a	0.52±0.03 ^a
25	2.39±0.47 ^b	0.78±0.30 ^b	1.25±0.12 ^b	0.44±0.18 ^b

注：表中实验数据以“平均值±标准差”表示，同一列后标注不同小写字母，表示相同运输时间振动频率下，-18℃与 25℃温度下叉烧小笼包质构存在显著性差异 ($p<0.05$)。

由表 5 可知，-18℃与 25℃条件对比下，硬度、弹性、咀嚼性和回复性都有显著差异，弹性和回复性显著减小，硬度和咀嚼性显著增大 ($p<0.05$)。与冷藏阶段相对比，硬度、弹性、咀嚼性和回复性都有明显波动。弹性和回复性减小，硬度和咀嚼性增大。其原因可能是由于物流中无低温冷藏，冰晶升华，水分发生迁移，导致水分散失，引起表面淀粉回生，从而导致叉烧小笼包硬度和咀嚼性等发生变化。此外，冰晶生长和重结晶作用对叉烧小笼包内部组织结构造成一定损伤，使弹性和回复性减小。

2.1.2 环境温度对叉烧小笼包持水力的影响

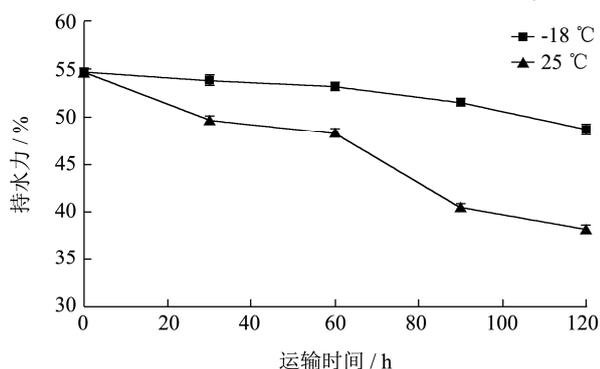


图 1 不同温度时间下的持水力变化

Fig.1 Variation of hydraulic holding capacity at different temperature and time

图 1 是在相同运输时间 2 h 及振动频率为 60 r/min，冷藏温度分别为-18℃、25℃条件下速冻叉烧小笼包的持水力变化结果。由图 1 可知，物流冷藏温度为-18℃、25℃时，速冻叉烧小笼包的持水力都会下降，不同的冷藏温度处理后速冻叉烧小笼包的持水

力顺序：-18℃>25℃。表明在物流过程中冷藏温度为-18℃持水力较佳。

由图 1 可知，在运输时间为 0 min 时，持水力为 54.60%。运输时间 60 min 后，25℃温度运输的速冻叉烧小笼包的持水力为 48.32%，比-18℃温度运输的下降了 4.83%。运输时间 120 min 后，25℃温度运输的速冻叉烧小笼包的持水力为 38.12%，比-18℃温度运输的下降了 10.51%。-18℃低温下，可以束缚叉烧小笼包内的游离水，抑制水分迁移和冰晶升华而脱水，保持了叉烧小笼包中的水分不受太大损失。而 25℃常温下，冰晶会融化、升华，致使脱水，使得叉烧小笼包中受损较大。

2.1.3 环境温度对叉烧小笼包感官的影响

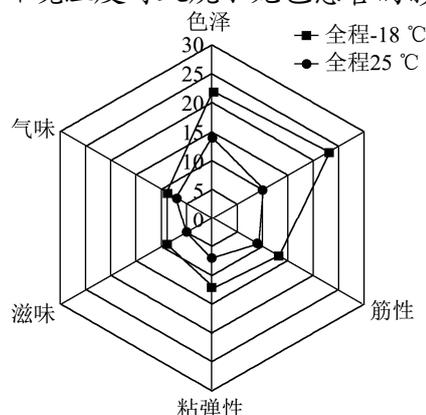


图 2 环境温度对叉烧小笼包感官品质的影响

Fig.2 Effects of ambient temperature on sensory quality of barbecued pork steamed buns

图 2 是在相同运输时间 2 h 及振动频率为 60 r/min，冷藏温度分别为-18℃、25℃条件下速冻叉烧小笼包感官评分结果。物流冷藏温度为-18℃、25℃时，速冻叉烧小笼包的感官都会变化，不同的冷藏运输温度处理后速冻叉烧小笼包的感官评分顺序：-18℃>25℃。表明在物流过程中冷藏温度为-18℃品质较佳。

在-18℃低温运输下，叉烧小笼包的色泽，外观正常，表皮光滑，无裂痕，包内组织结构小度粗糙，口感正常，无酸味，不粘牙，但回弹略差，风味正常，无其他不良气味。在 25℃常温运输下，叉烧小笼包的色泽正常，表皮略粗糙，无裂痕，包内组织结构开始变得粗糙，口感欠佳，略带酸味，稍粘牙，回弹略差，风味正常，无其他不良气味。

由图 2 可知，在运输温度不同的条件下，25℃常温会使冰晶升华，冷冻的水分融化，使得水分部分散失，水分的散失会使得包硬化，导致包内组织结构受到破坏，最终使叉烧小笼包品质下降^[20]。

2.2 物流阶段振动变化对叉烧小笼包质构、持水力、感官的影响

2.2.1 振动变化对叉烧小笼包质构的影响

表 6 显示了振动频率下对叉烧小笼包质构特性的影响, 其中硬度、弹性及回复性均与叉烧小笼包松软口感密切相关, 硬度数值越低, 弹性和回复性数值越大叉烧小笼包越松软; 咀嚼性显示叉烧小笼包皮的咀嚼劲, 受表皮含水量的影响。

表 6 振动变化对叉烧小笼包质构的影响

Table 6 Effect of vibration on texture of barbecued pork steamed buns

振动频率/(r/min)	硬度/N	弹性	咀嚼性/N	回复性
20	2.18±0.15 ^a	0.86±0.04 ^a	1.23±0.16 ^a	0.50±0.13 ^a
60	2.23±0.46 ^a	0.84±0.02 ^a	1.26±0.12 ^b	0.49±0.07 ^b
100	2.28±0.06 ^a	0.83±0.01 ^b	1.35±0.05 ^{bc}	0.49±0.32 ^b
120	2.36±0.18 ^b	0.83±0.32 ^b	1.38±0.18 ^c	0.47±0.21 ^b

注: 表中实验数据以“平均值±标准差”表示, 同一列后标注不同小写字母, 表示相同运输时间温度下, 不同振动频率下叉烧小笼包质构存在显著性差异 ($p<0.05$)。

由表 6 可知, 不同振动频率条件对比下, 硬度、弹性、咀嚼性和回复性都有显著差异, 弹性和回复性显著减小, 在物流 120 r/min 时最低; 硬度和咀嚼性显著增大 ($p<0.05$)。与冷藏阶段相对比, 硬度、弹性、咀嚼性和回复性都有明显波动。弹性和回复性减小, 硬度和咀嚼性增大。其原因可能是由于物流过程中振动运输, 水分发生迁移, 导致水分散失, 从而导致叉烧小笼包咀嚼性等发生变化。此外, 振动使得冰晶生长和重结晶作用对叉烧小笼包内部组织结构造成一定损伤, 使弹性和回复性减小^[21]。同时水分的变化有助于冰晶的生长以及蛋白质与淀粉之间形成氢键, 从而导致叉烧小笼包品质的老化。

2.2.2 振动变化对叉烧小笼包持水力的影响

图 3 是在相同运输时间 1 h 和相同温度 -18 ℃, 振动频率分别为 20、60、100、120 r/min 条件下持水力变化结果。由图 5 可知, 20、60、100、120 r/min 条件处理下, 速冻叉烧小笼包的持水力都持下降趋势, 不同的振动频率处理后速冻叉烧小笼包的持水力顺序: 20 r/min>60 r/min>100 r/min>120 r/min。表明在物流过程中振动频率 20 r/min 时为持水力较佳。

由图 3 可知, 在振动时间为 0 min 时, 持水力为 54.60%。在振动时间为 20 min 时, 振动频率 120 r/min 的速冻叉烧小笼包的持水力为 49.74%, 比振动频率

20 r/min 下降了 3.72%, 比振动频率 60 r/min 下降了 2.71%, 比振动频率 100 r/min 下降了 0.83%。运输时间 60 min 后, 物流 4 的速冻叉烧小笼包的持水力为 45.92%, 比振动频率 20 r/min 下降了 5.32%, 比振动频率 60 r/min 下降了 4.40%, 比振动频率 100 r/min 下降了 1.24%。全程振动频率为 20 r/min 下, 振动频率较低, 包与包之间撞击较小, 叉烧小笼包内的游离水不易移动, 保持了叉烧小笼包中的水分不受太大损失。其他频率下, 随着振动频率增高, 撞击增大, 致使组织内部外部受损, 加重了冰晶肌纤维细胞和组织结构破坏, 从而导致脱水。

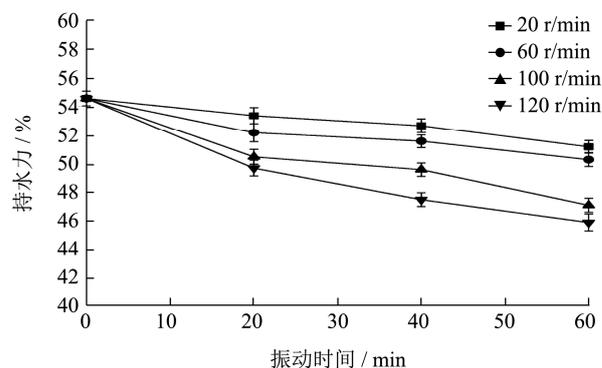


图 3 不同振动频率时间下的持水力变化

Fig.3 Variation of holding power at the same vibration frequency and time

2.2.3 振动变化对叉烧小笼包感官的影响

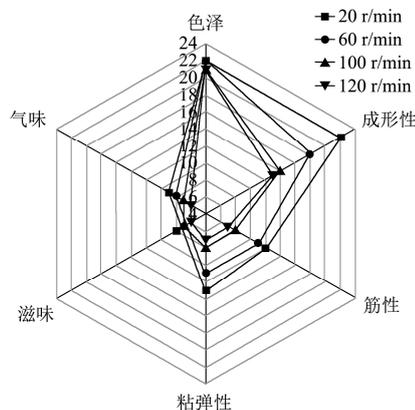


图 4 振动变化对叉烧小笼包感官品质的影响

Fig.4 Effects of vibration on sensory quality of barbecued pork steamed buns

图 4 是在相同运输时间 1 h 和相同温度 -18 ℃, 振动频率分别为 20、60、100、120 r/min 条件下感官评分情况。由图 6 可知, 20、60、100、120 r/min 条件处理下, 速冻叉烧小笼包的感官评分都持下降趋势, 不同的振动频率处理后速冻叉烧小笼包的感官评分顺序: 20 r/min>60 r/min>100 r/min>120 r/min。表明在物流过程中振动频率 20 r/min 时为口感较佳。

由图 4 可知, 在振动频率 20 r/min 条件下, 叉烧

小笼包的色泽,外观正常,表皮光滑,无裂痕,包内组织结构不粗糙,口感正常,无酸味,不粘牙,但回弹略差,风味正常,无其他不良气味;在振动频率 60 r/min 条件下,叉烧小笼包的色泽,外观正常,表皮光滑,无裂痕,包内组织结构小度粗糙,口感正常,无酸味,不粘牙,但回弹略差,风味正常,无其他不良气味;在振动频率 100 r/min 条件下,叉烧小笼包的色泽,外观正常,表皮略无光泽,无裂痕,包内组织结构小度粗糙,口感正常,无酸味,稍粘牙,但回弹略差,风味正常,无其他不良气味;在振动频率 120 r/min 条件下,叉烧小笼包的色泽正常,表皮略粗糙,有裂痕,包内组织结构开始变得粗糙,口感欠佳,略带酸味,稍粘牙,回弹略差,风味正常,无其他不良气味。

由图 4 可知,在振动频率不同的条件下,振动频率越高冰晶被破坏升华越快,冷冻的水分融化越快,使得水分部分散失,导致包内组织结构受到破坏,组织软化、破裂,从而引起不良感官。最终使叉烧小笼包品质下降。

2.3 物流阶段运输时间对叉烧小笼包质构、持水力、感官的影响

2.3.1 运输时间对叉烧小笼包质构的影响

表 7 运输时间对叉烧小笼包质构的影响

Table 7 Effect of transportation time on texture of char siew steamed buns

时间/h	硬度/g	弹性	咀嚼性	回复性
0	2.14±0.27 ^a	0.88±0.02 ^a	1.03±0.16 ^a	0.52±0.03 ^a
1	2.14±0.27 ^a	0.88±0.02 ^a	1.05±0.09 ^a	0.52±0.12 ^a
2	2.14±0.34 ^a	0.88±0.16 ^a	1.09±0.12 ^a	0.52±0.16 ^a
3	2.15±0.08 ^a	0.88±0.16 ^a	1.12±0.23 ^a	0.51±0.34 ^a
4	2.16±0.27 ^a	0.87±0.08 ^a	1.15±0.02 ^b	0.51±0.13 ^a

注:表中实验数据以“平均值±标准差”表示,同一列后标注不同小写字母,表示相同振动频率温度,不同运输时间下叉烧小笼包质构存在显著性差异($p<0.05$)。

表 7 显示了不同运输时间下对叉烧小笼包质构特性的影响,其中硬度、弹性及回复性均与叉烧小笼包松软口感密切相关,硬度数值越低,弹性和回复性数值越大叉烧小笼包越松软;咀嚼性显示叉烧小笼包皮的咀嚼劲,受表皮含水量的影响。

由表 7 可知,不同运输时间条件对比下,咀嚼性和回复性都有显著差异,弹性和回复性无显著差异,弹性和回复性显著减少小($p<0.05$)。与冷藏阶段相对比,硬度、弹性、咀嚼性和回复性都有明显波动。弹性和回复性减小,硬度和咀嚼性增大。其原因可能是

由于物流过程中长时间运输,水分发生迁移,导致水分散失,从而导致叉烧小笼包弹性等发生变化。此外,长时间运输使得重结晶作用对叉烧小笼包内部组织结构造成一定损伤,使弹性和回复性减小^[22]。

2.3.2 运输时间对叉烧小笼包持水力的影响

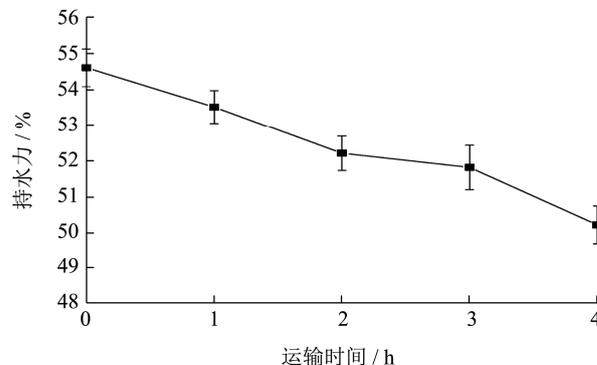


图 5 不同运输时间下的持水力变化

Fig.5 Variation of hydraulic holding capacity under different transportation time

图 5 是在相同振动频率 60 r/min 和相同温度 -18 °C,运输时间分别为 1、2、3、4 h 条件下持水力变化。由图 7 可知,1、2、3、4 h 条件处理下,速冻叉烧小笼包的持水力都持下降趋势,不同的运输时间处理后速冻叉烧小笼包的持水力顺序:1 h>2 h>3 h>4 h。表明在物流过程中运输时间为 1 h 时为持水力较佳。

由图 5 可知,在运输时间为 0 min 时,速冻叉烧小笼包的持水力为 54.60%;运输时间为 1 h 时,速冻叉烧小笼包的持水力为 53.52%;运输时间为 2 h 时,速冻叉烧小笼包的持水力为 52.24%;运输时间为 3 h 时,速冻叉烧小笼包的持水力为 51.82%;运输时间为 4 h 时,速冻叉烧小笼包的持水力为 50.23%。相对于 0 h,运输 4 h 后,持水力下降了 4.42%。随着时间延长,包内水分变化不大,但叉烧小笼包内的温度会有波动,再加上振动因素,包内的组织结构受到一定的影响,水分散失。

2.3.3 运输时间对叉烧小笼包感官的影响

图 6 是在相同振动频率 60 r/min 和相同温度 -18 °C,运输时间分别为 1、2、3、4 h 条件下感官评分情况。由图 5 可知,1、2、3、4 h 条件处理下,速冻叉烧小笼包的感官评分都持下降趋势,不同的运输时间处理后速冻叉烧小笼包的感官评分顺序:1 h>2 h>3 h>4 h。表明在物流过程中运输时间为 1 h 时为口感较佳。

由图 6 可知,在运输时间为 1 h 条件下,叉烧小笼包的色泽,外观正常,表皮光滑,无裂痕,包内组织结构不粗糙,口感正常,无酸味,不粘牙,回弹较好,风味正常,无其他不良气味;在运输时间为 2 h

条件下,叉烧小笼包的色泽,外观正常,表皮光滑,无裂痕,包内组织结构均匀,口感正常,无酸味,不粘牙,但回弹略差,风味正常,无其他不良气味;在运输时间3 h条件下,叉烧小笼包的色泽,外观正常,表皮光滑,无裂痕,包内组织结构小度粗糙,口感正常,无酸味,稍粘牙,但回弹略差,风味正常,无其他不良气味;在运输时间4 h条件下,叉烧小笼包的色泽正常,表皮光滑,略缺色泽,无裂痕,包内组织结构开始变得粗糙,口感较好,无酸味,不粘牙,回弹略差,风味正常,无其他不良气味。

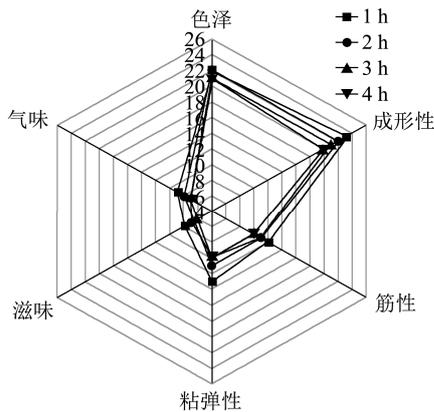


图6 运输时间对叉烧小笼包感官品质的影响

Fig.6 Effect of transportation time on sensory quality of barbecued pork steamed buns

由图6可知,在运输时间不同的条件下,运输时间越长叉烧小笼包的感官品质越差,冷冻的水分融化越快,使得水分部分散失,导致包内组织结构受到破坏,水分的变化有助于蛋白质与淀粉之间形成氢键,从而导致包品质老化,最终使叉烧小笼包品质下降。

2.4 物流阶段温度波动对叉烧小笼包质构、持水力、感官的影响

2.4.1 温度波动对叉烧小笼包质构的影响

表8显示了不同组别下对叉烧小笼包质构特性的影响,其中硬度、弹性及回复性均与叉烧小笼包松软口感密切相关,硬度数值越低,弹性和回复性数值越大叉烧小笼包越松软;咀嚼性显示叉烧小笼包皮的咀嚼劲,受表皮含水量的影响。

由表8可知,4组条件对比下,弹性、咀嚼性和回复性都有显著差异,弹性和回复性显著减少,在IV组时最低;咀嚼性显著增大($p<0.05$)。与冷藏阶段相对比,硬度、弹性、咀嚼性和回复性都有明显波动。弹性和回复性减少,硬度和咀嚼性增大。其原因可能是由于物流过程中断链冷藏运输,使重结晶,部分水分发生迁移,引起表面淀粉回生,从而导致叉烧小笼

包咀嚼性等发生变化。此外,冰晶生长和重结晶作用对叉烧小笼包内部组织结构造成一定损伤,使弹性和回复性减少。

表8 温度波动对叉烧小笼包质构的影响

Table 8 Effect of temperature fluctuation on texture of char siu

组别	指标			
	硬度/N	弹性	咀嚼性/N	回复性
I组	2.14±0.27 ^a	0.88±0.02 ^a	1.03±0.16 ^a	0.52±0.03 ^a
II组	2.19±0.09 ^a	0.88±0.15 ^a	1.23±0.04 ^b	0.52±0.26 ^a
III组	2.25±0.12 ^a	0.87±0.03 ^b	1.31±0.09 ^{bc}	0.50±0.05 ^b
IV组	2.34±0.16 ^a	0.86±0.08 ^b	1.35±0.12 ^c	0.47±0.02 ^c

注:表中实验数据以“平均值±标准差”表示,同一列后标注不同小写字母,表示相同运输时间振动频率下,不同温度下叉烧小笼包质构存在显著性差异($p<0.05$)。

2.4.2 温度波动对叉烧小笼包持水力的影响

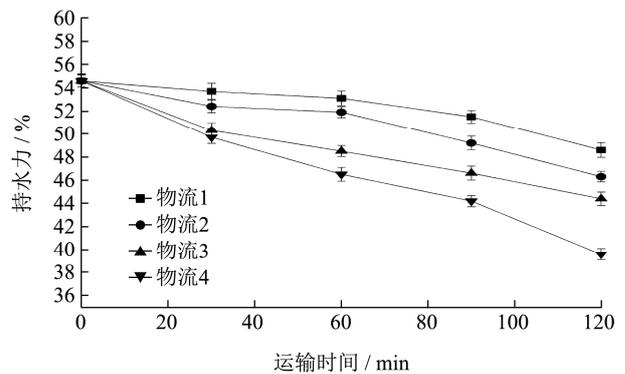


图7 温度波动时间下的持水力变化

Fig.7 Change of holding power under temperature fluctuation time

图7是在相同运输时间2 h及振动频率为60 r/min,物流1为物流均为规范的-18℃冷链;II组为全程两次间断性-3℃断链物流;III组为全程0℃冷链;物流4为两次连续5℃断链物流和0℃冷链条件下持水力变化结果。由图7可知,I组、II组、III组、IV组条件处理下,速冻叉烧小笼包的持水力都会下降,不同的冷藏温度处理后速冻叉烧小笼包的持水力顺序:I组>II组>III组>IV组。表明在物流过程中冷藏温度为全程-18℃持水力较佳。

由图7可知,在运输时间为0 min时,持水力为54.60%。运输时间60 min后,IV组的速冻叉烧小笼包的持水力为46.51%,比I组下降了6.62%,比II组下降了5.41%,比物流III组下降了2.06%。运输时间120 min后,IV组的速冻叉烧小笼包的持水力为39.63%,比I组的下降了9.05%,比下降了II组6.72%,比III组下降了4.80%。全程-18℃低温下,可以束缚叉烧小笼包内的游离水,抑制水分迁移和冰晶升华而脱水,

保持了叉烧小笼包中的水分不受太大损失^[23]。其他温度下,冰晶会升华,致使脱水,使得叉烧小笼包中受损较大。

2.4.3 温度波动对叉烧小笼包感官的影响

图 8 是在相同运输时间 2 h 及振动频率为 60 r/min, I 组为物流均为规范的-18 °C 冷链; II 组为全程两次间断性-3 °C 断链物流; III 组为全程 0 °C 冷链; IV 组两次连续 5 °C 断链物流和 0 °C 冷链条件下感官评分情况。由图 4 可知, I 组、II 组、III 组、IV 组条件处理下,速冻叉烧小笼包的感官都有一定变化,不同的冷藏运输温度处理后速冻叉烧小笼包的感官评分顺序: I 组>II 组>III 组>IV 组。表明在物流过程中冷藏温度为全程-18 °C 品质较佳。

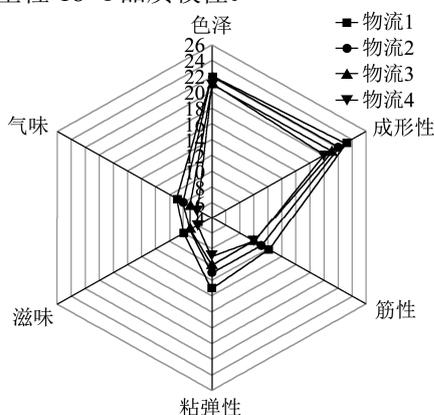


图 8 温度波动对叉烧小笼包感官评分情况

Fig.8 Sensory score of char siu xiaolongbao with temperature fluctuation

由图 8 可知,在 I 组条件下,叉烧小笼包的色泽,外观正常,表皮光滑,无裂痕,包内组织结构不粗糙,口感正常,无酸味,不粘牙,但回弹略差,风味正常,无其他不良气味;在 II 组条件下,叉烧小笼包的色泽,外观正常,表皮光滑,无裂痕,包内组织结构小度粗糙,口感正常,无酸味,不粘牙,但回弹略差,风味正常,无其他不良气味;在 III 组条件下,叉烧小笼包的色泽,外观正常,表皮略无光泽,无裂痕,包内组织结构小度粗糙,口感正常,无酸味,稍粘牙,但回弹略差,风味正常,无其他不良气味;在 IV 组条件下,叉烧小笼包的色泽正常,表皮略粗糙,无裂痕,包内组织结构开始变得粗糙,口感欠佳,略带酸味,稍粘牙,回弹略差,风味正常,无其他不良气味。

由图 8 可知,在不同的条件下,温度越高冰晶升华越快,冷冻的水分融化越快,同时温度波动使冰晶增大,使得水分部分散失,使得包内组织结构受到破坏,以及在断链条件下,包内的结晶会融化后在重结晶,淀粉的结晶增加,是导致叉烧小笼包硬化的主要因素,水分的变化有助于蛋白质与淀粉之间形成氢键,

从而导致包品质老化,最终使叉烧小笼包品质下降。

4 结论

4.1 不同冷库贮藏时间,叉烧小笼包的硬度、弹力、咀嚼性、回复性之间均有明显波动变化,前两天的蛋白质分子正在变性,面筋网络结构开始变稳定,硬度值在上升,而当包瓤的面筋蛋白骨架趋向稳定时,内部的网络结构得到充分的扩展,组织结构疏松,此时的包点的硬度值出现下降趋势。叉烧小笼包的品质会在储藏两天后再售出为佳。

4.2 -18 °C 与 25 °C 条件对比下,弹性和回复性显著减少,硬度和咀嚼性显著增大 ($p<0.05$)。速冻叉烧小笼包的持水力都会下降,在物流过程中冷藏温度为-18 °C 时持水力品质较佳。不同振动频率条件对比下,弹性和回复性显著减少,在物流 120 r/min 时最低;硬度和咀嚼性显著增大 ($p<0.05$)。在物流过程中振动频率 20 r/min 时持水力和口感较佳,也表明振动的强弱会导致叉烧小笼包品质的降低。不同运输时间条件对比下,咀嚼性和回复性都有显著差异,弹性和回复性无显著差异,弹性和回复性显著减小 ($p<0.05$)。在物流过程中运输时间为 1 h 时持水力和口感较佳。表明了随着运输时间的延长叉烧小笼包的品质不断下降。温度波动四组条件对比下,弹性、咀嚼性和回复性都有显著差异,弹性和回复性显著减少,在 IV 组时最低;咀嚼性显著增大 ($p<0.05$)。在物流过程中冷藏温度为全程-18 °C 持水力较佳,冷藏温度为全程-18 °C 品质较佳。表明温度波动会导致叉烧小笼包品质的降低。

参考文献

- [1] 李志成,梁栩煜,潘振辉,等.速冻食品行业研究现状及发展趋势[J].现代食品,2020,3:15-18,21
LI Zhicheng, LIANG Xuyuyu, PAN Zhenhui, et al. Research status and development trend of frozen food industry [J]. Modern Food, 2020, 3: 15-18, 21
- [2] 刘艳芳,李汴生,阮征,等.广式蓉沙类包点速冻和复热过程中温度和水分变化[J].食品工业科技,2015,36(11):131-135, 146
LIU Yanfang, LI Biansheng, RUAN Zheng, et al. Temperature and moisture changes during Cantonese lotus-seed-paste and bean-paste buns under quick-frozen and steam reheating [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(11): 131-135, 146
- [3] 白洁.低温条件下汤圆粉团中水分状态及品质变化研究[D].郑州:河南农业大学,2013

- BAI Jie. Study on water status and quality change of Tangyuan dough under low temperature [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2013
- [4] 周显青,胡育铭,张玉荣,等.我国速冻汤圆加工及其质量控制技术现状与展望[J].粮油食品科技,2014,22(2):6-11
ZHOU Xianqing, HU Yuming, ZHANG Yurong, et al. Status and prospect of quick-frozen Tangyuan processing and its quality control technology in China [J]. Grain, Oil and Food Science and Technology, 2014, 22(2): 6-11
- [5] 李慧芳,刘长虹,丁志理,等.不同冻结方式对馒头复蒸品质的影响[J].粮食加工,2019,44(3):11-14
LI Huifang, LIU Changhong, DING Zhili, et al. Effects of different freezing methods on restearing quality of steamed bread [J]. Grain Processing, 2019, 44(3): 11-14
- [6] 黄忠民,赵蒙姣,黄婉婧,等.不同冻结方式对汤圆品质特性的影响[J].食品工业科技,2019,40(6):44-48
HUANG Zhongmin, ZHAO Mengjiao, HUANG Wanjing, et al. Effect of different freezing modes on quality characteristics of Tangyuan [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(6): 44-48
- [7] 雷雨,乔玉洋.我国食品冷链物流现状及问题研究[J].物流科技,2020,43(6):141-143
LEI Yu, QIAO Yuyang. Research on current situation and problems of Food cold chain logistics in China [J]. Logistics Science and Technology, 2020, 43(6): 141-143
- [8] 王凯,张印,王子轩.速冻馒头复蒸皱缩原因分析及控制措施[J].农产品加工,2020,7:58-59
WANG Kai, ZHANG Yin, WANG Zixuan. Analysis of causes and control measures of shrinkage of quick-frozen steamed bread in restearing [J]. Agricultural Products Processing, 2020, 7: 58-59
- [9] 黄忠民,王艳娜,潘治利,等.速冻馒头复蒸收缩物化指标的变化分析[J].农产品加工,2016,3:46-49
HUANG Zhongmin, WANG Yanna, PAN Zhili, et al. Analysis on the change of physical and chemical indexes of restearing shrinkage of quick-frozen steamed bread [J]. Agricultural Products Processing, 2016, 3: 46-49
- [10] 黄忠民,王笑,潘治利,等.速冻饺子馅料中蔬菜预处理方式工艺优化[J].农产品加工,2018,18:21-25
HUANG Zhongmin, WANG Xiao, PAN Zhili, et al. Optimization of vegetable pretreatment in frozen dumpling filling [J]. Agricultural Products Processing, 2018, 18: 21-25
- [11] 王笑.速冻饺子面粉特性及馅料原料加工适应性及产品品质相关性研究[D].郑州:河南农业大学,2018
WANG Xiao. Research on the correlation between flour characteristics, filling material processing adaptability and product quality of frozen dumplings [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2018
- [12] 齐国强.速冻饺子液氮冻结工艺研究[D].郑州:河南农业大学,2016
QI Guoqiang. Study on freezing technology of frozen dumplings with liquid nitrogen [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2016
- [13] 张竹青,张黎斌,彭银仙.速冻饺子产品执行标准综述[J].食品研究与开发,2014,35(2):122-124
ZHANG Zhuqing, ZHANG Libin, PENG Yinxian. Review on implementation standards of frozen dumpling products [J]. Food Research and Development, 2014, 35(2): 122-124
- [14] Han T, Juan Y, Fengfeng W, et al. The effect of multiple freezing-thawing cycles on physicochemical properties of waxy rice starch [J]. Starch, 2015, 5(27): 109-112
- [15] Li H, Qian L, Xiufang X, et al. Oxidative changes and weakened gelling ability of salt-extracted protein are responsible for textural losses in dumpling meat fillings during frozen storage [J]. Food Chemistry, 2015, 185: 459-469
- [16] Xin C, Nie L J, Chen H L, et al. Effect of degree of substitution of carboxymethyl cellulose sodium on the state of water, rheological and baking performance of frozen bread dough [J]. Food Hydrocolloids, 2018, 80: 8-14
- [17] Zhang Y F, Chen C, Chen Y, et al. Effect of rice protein on the water mobility, water migration and microstructure of rice starch during retmgradation [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 91: 136-142
- [18] Ban C, Yoon S, Han J, et al. Effects of freezing rate and terminal freezing temperature on frozen croissant dough quality [J]. LWT, 2016, 73: 219-225
- [19] 阮征,张婷婷,邱晓斌,等.反复冻融对广式奶黄包品质的影响[J].现代食品科技,2016,32(5):192-198
RUAN Zheng, ZHANG Tingting, QIU Xiaobin, et al. Effect of repeated freezing and thawing on quality of Guangdong custard bag [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(5): 192-198
- [20] 钱晓洁,孙冰华,王晓曦.冻藏对馒头水分状态以及品质影响研究[J].食品研究与开发,2019,40(14):1-6,149
QIAN Xiaojie, SUN Binghua, WANG Xiaoxi. Effects of frozen storage on water status and quality of steamed bread [J]. Food Research and Development, 2019, 40(14): 1-6, 149