

# 低钠替代盐在火腿中的研究进展

丁习林<sup>1,2</sup>,谷大海<sup>1,2</sup>,王桂瑛<sup>1,2</sup>,王雪峰<sup>1,2</sup>,徐志强<sup>1,2</sup>,范江平<sup>1,2</sup>,普岳红<sup>1,2,\*</sup>,刘萍<sup>3</sup>,廖国周<sup>2,\*</sup>

(1.云南农业大学食品科学技术学院,云南昆明 650201;

2.云南农业大学,云南省畜产品加工工程技术研究中心,云南昆明 650201;

3.云南泰华食品有限公司,云南昆明 650217)

**摘要:**传统火腿加工过程中食盐含量普遍超标,食盐的过量摄入已被证实会诱发高血压等一系列心脑血管疾病。为保障消费者的健康,降低火腿中钠盐含量是火腿制品所面临的重要任务。通过使用低钠替代盐可以降低钠含量且优化火腿的品质,但低钠替代盐需替代最适比例才能达到理想的替代盐的效果,超过最适替代比则会对火腿的风味、口感、质构和保质期产生不利影响。本文论述了国内外低钠替代盐的研究现状,阐述了近年来有关氯化物替代盐(钾盐、镁盐、钙盐)、非氯化物替代盐以及风味增强剂在火腿中应用的研究进展,以期为低钠火腿的研究与开发提供参考。

**关键词:**火腿,低钠替代盐,品质,风味

## Research Progress of Low Sodium Substitution Salt in Ham

DING Xi-lin<sup>1,2</sup>, GU Da-hai<sup>1,2</sup>, WANG Gui-ying<sup>1,2</sup>, WANG Xue-feng<sup>1,2</sup>,

XU Zhi-qiang<sup>1,2</sup>, FAN Jiang-ping<sup>1,2</sup>, PU Yue-hong<sup>1,2,\*</sup>, LIU Ping<sup>3</sup>, LIAO Guo-zhou<sup>2,\*</sup>

(1.College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2.Livestock Product Processing Engineering and Technology Research Center of Yunnan Province, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

3.Yunnan Taihua Food Co., Ltd., Kunming 650217, China)

**Abstract:** Traditional ham processing generally exceeded the salt content, excessive salt intake has been proven to induce hypertension and a series of cardiovascular and cerebrovascular diseases. In order to protect the health of consumers, reducing the content of sodium in ham products is an important task. By using low sodium substitution salt can reduce the sodium content and optimize the quality of the ham. However, low sodium substitution salt should be used at the optimal ratio of substitution to achieve the desired effect of salt replacement. Exceeding the optimal replacement ratio will adversely affect the flavor, taste, texture and shelf life of the ham. This paper discussed the current research status of sodium substitution at home and abroad, and expounded the research progress of application of potassium, magnesium, calcium, non-chloride replacement salts and flavor enhancers in ham in recent years, providing a reference for the research and development of low sodium ham.

**Key words:** ham; low sodium substitution salt; quality; flavor

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)16-0300-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.16.054

引文格式: 丁习林, 谷大海, 王桂瑛, 等. 低钠替代盐在火腿中的研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 300-305.

干腌火腿是具有典型风味特征的流行腌制肉制品之一,受到消费者的高度赞赏。我国干腌火腿历史悠久,由于其典型的物理化学性质,如低水分、低pH以及高盐含量,而具有很高的储存稳定性。我国传统干腌火腿一般通过大量使用食盐使其渗透失水来延长保质期。氯化钠(NaCl)是肉制品生产的必需固化剂,能保持食品质量、提高食品风味,并提供人体正常生理活动所必需的营养物质<sup>[1]</sup>。数百年来,食盐被用于肉制品的保存,并且在肉制品加工中使用

最为广泛,不仅因为其成本较低,也因为其对所需的风味、质地和货架期的贡献。食盐在火腿中还具有抑制微生物增殖、促进某些蛋白的降解、形成特征咸味的作用。但是食盐的大量使用严重影响产品的口感,且可能导致高血压和一系列疾病<sup>[2-3]</sup>。尽管制冷系统的发展使得作为防腐剂的食盐减少了,但干腌肉制品中食盐含量仍较高,导致食盐摄入超过了世界推荐值。有研究者指出,不论年龄、民族,日均摄盐量低于1.5 g时,才能降低一系列心血管病的病发

收稿日期:2017-12-12

作者简介:丁习林(1994-),男,硕士研究生,研究方向:肉品加工与质量控制,E-mail:15758010524@163.com。

\*通讯作者:普岳红(1968-),女,本科,主要从事科研管理工作,E-mail:113762480@qq.com。

廖国周(1978-),男,博士,副教授,研究方向:肉品加工与质量控制,E-mail:liaoguozhou@ynan.edu.cn。

基金项目:云南省现代农业生猪产业技术体系专项(2017KJTX007);昆明市畜产品加工与质量控制重点实验室(2015-1-A-00563)。

率<sup>[4]</sup>。在我国传统火腿盐含量一般在7%~12%之间<sup>[5]</sup>,欧洲火腿含盐量为4.5%~8.0%<sup>[6]</sup>。由于钠含量高于5%,干腌火腿不适合高血压消费者食用<sup>[7]</sup>。

为满足健康的要求,降低心血管疾病的风险,消费者对低盐肉制品的需求也在增加<sup>[8]</sup>。低钠盐主要是以氯化钠为基础,再加入适量的镁盐、钾盐等食用盐<sup>[9]</sup>。用低钠盐部分替代氯化钠是降低肉制品中钠含量的最佳选择<sup>[10]</sup>。国内外研究者已经采用不同的方法来降低干腌火腿中的钠含量,包括减少盐析时间、加入较少的NaCl、以及使用KCl等其他盐全部或部分替代钠盐<sup>[11]</sup>。文章综述了低钠替代盐在火腿加工中的应用现状,低钠替代盐处理后对火腿品质和感官的影响,探索最适替代盐的类型和比例,旨在为低钠火腿的研究与开发提供参考。

## 1 低钠盐在火腿加工中的应用现状

在火腿加工生产的过程中,NaCl能使肉制品渗透脱水,起到抑制肉制品中微生物增殖的作用<sup>[11]</sup>。还能使火腿中的蛋白质发生变性与重组,从而形成稳定的凝胶结构,在一定的范围内,改善火腿制品的嫩度与多汁性<sup>[12]</sup>。此外,还能促进某些蛋白的降解、形成特征咸味,也会影响蛋白与脂肪的分解氧化,从而影响产品的风味与香气等。NaCl对火腿制品的色泽、质地以及特殊风味的形成具有非常重要的作用。

肉制品是膳食钠摄入量中相对重要的部分,在科学信息和健康建议的基础上,肉类工业正在试图开发低盐产品<sup>[13]</sup>。降低火腿中食盐含量,最直接的方法就是减少食盐的添加量,但此方法不能降低人们的味觉阈值,使人们接受低水平的食盐浓度,虽然这可能有助于减少钠的摄入量,但这种方法存在一些局限性,即使能够适应较低的咸味,但在火腿行业内应用时,也只有减少少量的盐才不会影响火腿的风味。由于人们长期形成的一定咸度的饮食习惯在短期内改变是非常困难的,因此通过减少咸度来降低食盐摄入量是不可行的。此外,盐含量的降低减少了功能性肌纤维蛋白的溶解,导致水合性和保水性降低,最终导致水分过度流失和质地松软<sup>[8,14]</sup>。并且,较低的盐含量会降低脂质的氧化,导致高的pH、水分活度和微生物数量,使火腿品质较差<sup>[15]</sup>。因此,在保持咸度的基础上,解决对诸如保水能力、脂肪结合、质地、感官、稳定性和货架期等的影响,开发一种能完全替代NaCl的低钠盐,且应用于干腌火腿中仍是其行业的重要研究内容。

虽然NaCl能使火腿的品质得到提高,但是降低火腿中钠的含量已经成为一种趋势。减少钠盐添加量会缩短火腿的贮藏期,随着咸味的减少会影响产品质地和风味强度。在传统的减盐产品中,NaCl溶解和提取肌原纤维蛋白时,由于较低的离子强度,肌球蛋白热凝固型基质的功能可能受到限制。改善减盐食品的适口性的一个好方法是使用盐替代成分。替代成分的使用及其对产品味道的影响不仅取决于所用替代品的类型,还取决于肉制品类型及其制剂<sup>[16]</sup>。目前,已生产出许多不同种类的盐,在减少肉制品中钠含量的同时,也可以增加产品的咸度,其作用是复

制NaCl的多种功能而不影响产品的咸味。在一般情况下,部分替代钠盐不会对肉制品的氧化稳定性结果产生差异。对降低火腿中的钠盐含量,除了直接减少火腿中食盐含量之外,使用钠盐替代物是目前火腿加工中常用的方法,目前降低加工食品和肉制品中钠含量的方法包括以下方法:一是使用其他氯化盐(如KCl、CaCl<sub>2</sub>和MgCl<sub>2</sub>)部分或完全替代氯化钠,由于分子组成的相似性,氯化盐提供了最直接的替代,但由于负面的感觉属性,其使用可能受到限制;二是使用非氯代盐(如乳酸盐、磷酸盐等)部分取代氯化钠;三是使用风味增强剂,它能除去氯化钾的金属味、苦味,并保持与钠盐相似的味道。虽然,所用的方法各异,但都是在不影响产品感官品质的前提下减少钠的含量。

## 2 不同种类低钠替代盐对火腿品质的影响

### 2.1 氯化物类替代盐

氯化物类替代盐(KCl、CaCl<sub>2</sub>和MgCl<sub>2</sub>)是目前研究中采用最多食盐替代物,部分替代NaCl是减少肉制品中钠含量的最佳选择<sup>[17]</sup>。在火腿加工过程中通过完全或者部分替代NaCl的方法,只要保证低盐肉制品的感官、质构等品质特性在可接受的范围内都是可行的<sup>[18]</sup>。

2.1.1 钾盐替代物 钾盐替代物是最早应用于肉制品加工中的替代盐<sup>[19]</sup>。在肉制品中钾盐具有与氯化钠相似的功能,较为安全且被广泛使用。因此,使用钾盐的替代物全部或部分替代NaCl成了减少钠盐的主流方法。根据研究报导<sup>[20-21]</sup>,KCl具有延迟水分活度降低的作用,在腌制后期,低钠盐组水分活度会高于食盐组。马志方等<sup>[22]</sup>采用与食盐相比钠含量降低了40%~50%的新型低钠盐制备传统金华火腿,结果发现:食盐组水分活度显著低于替代组( $p < 0.05$ ),成熟后期食盐组的pH显著低于低钠盐组( $p < 0.05$ ),且低钠盐组保持了传统金华火腿的多汁性、滋味和香气,在色泽、质地和异味评分中略高于食盐组。Armenteros等<sup>[23]</sup>用KCl分别以35%、50%、75%的比例替代钠盐,在35%和50%的KCl替代的火腿与100%NaCl腌制的火腿其风味、色泽、整体质构等无明显区别,但用75%KCl的火腿感官品质明显降低。同样Lorenzo等<sup>[24]</sup>以50%的比例用KCl替代NaCl来腌制火腿时,与用100%NaCl腌制的对照组火腿相比,其咸度降低、硬度增加;当NaCl替代比例超过70%时,对产品的色泽没有显著影响( $p > 0.05$ )。黎良浩等<sup>[25]</sup>采用40%KCl替代NaCl,研究其对干腌火腿蛋白质降解过程的影响,结果发现用KCl替代40%钠盐对火腿中蛋白质的降解无显著影响( $p > 0.05$ ),火腿中组织蛋白酶B和L潜在酶活力变化影响不显著( $p > 0.05$ ),风干成熟火腿理化指标、蛋白水解指数、肽氮和氨态氮含量等无显著差异( $p > 0.05$ )。一般用25%~40%的KCl来替代食盐,当替代量超过50%则有金属味和苦涩味产生,这种替代量也会降低消费者的感觉属性和整体接受度<sup>[26]</sup>。Gelabert等<sup>[27]</sup>报道,用40%的KCl替代NaCl是可以接受苦味的最大替代量。

2.1.2 钙盐、镁盐及其混合替代盐 Ripollés 等<sup>[28]</sup>指出除了钾盐,与 NaCl 具有相似理化性质的钙盐、镁盐等非钠化合物在功能上可以替代 NaCl,但是这些物质的使用可能会因为成本、风味和安全性而受到限制。目前已有研究者对不同比例和种类的钠盐替代(100% NaCl 组、50% NaCl + 50% KCl 组和 55% NaCl + 25% KCl + 15% CaCl<sub>2</sub> + 5% MgCl<sub>2</sub> 组)对于干腌火腿风味物质的影响进行了研究,研究发现,在后熟阶段,50% KCl 替代组和对照组的风味物质种类和含量均存在差异,其风味物质含量显著高于第三组( $p < 0.05$ )<sup>[29]</sup>。由此可见,不同钠盐替代物及比例会影响对火腿的风味物质。Toldrá 等<sup>[30]</sup>在西班牙干腌火腿中,用 KCl、MgCl<sub>2</sub>、CaCl<sub>2</sub> 按一定比例混合而成的复合物部分替代 NaCl,结果表明,在腌后平衡阶段,50% KCl 替代组的蛋白酶 B 和 B + L 的活性下降更迅速,在初始盐平衡阶段,替代组对内源酶活性有明显的抑制作用,而替代组和食盐组对蛋白质的水解无显著影响( $p > 0.05$ )。以上研究表明,在适宜的替代比例下,NaCl 的替代物对火腿中蛋白质的降解影响不大,原因可能是火腿在干腌过程中发生的一些生化过程,如肌酸到肌酸酐的转化或肌肉蛋白酶的活性,不受钙盐、镁盐、钾盐部分替代 NaCl 的影响<sup>[31-32]</sup>。也有研究发现<sup>[33]</sup>,当 NaCl 浓度在一定的范围内时,具有促进脂质氧化的作用,如果 NaCl 浓度继续增加,超过这一浓度范围反而会抑制脂质的氧化。脂质分解和氧化对火腿的风味有重要的作用,部分替代 NaCl 会影响脂质氧化。火腿中部分替代 NaCl 对脂质水解酶有一定的影响,从而影响游离脂肪酸(FFA)的生成,最终改变了火腿整体的风味。Ripollés 等<sup>[34]</sup>研究了盐替代对脂肪水解的影响,结果表明,替代组用 25% KCl + 15% CaCl<sub>2</sub> + 5% MgCl<sub>2</sub> 复合物腌制火腿,比食盐组的脂肪水解程度高,因为二价离子对酸性脂肪酶的抑制作用较一价离子低,会促进游离脂肪酸中单不饱和脂肪酸的形成,这说明在干腌火腿的加工中钠盐的替代对脂肪的水解速率有重要影响,从而影响火腿最终风味物质的形成。有研究<sup>[35]</sup>指出,镁盐、钙盐等替代盐的渗透速率较低,对腌制过程产生不利的影响,同时也会影响火腿风味的形成。因此,用钾盐、钙盐和镁盐腌制的火腿需要更长的时间进行腌制,以达到与 100% NaCl 盐火腿相同的水活性条件<sup>[36-38]</sup>。

## 2.2 非氯化物替代盐

2.2.1 乳酸盐替代盐 除了氯化物类替代盐,乳酸及其盐类作为钠盐的替代物在食品工业中已广泛应用。乳酸盐在肉制品中可以作为一种防腐剂,能够抑制微生物的增长和延长肉制品保质期,同时作为钠盐的替代物还能够减少肉制品钠含量。常用于火腿中替代 NaCl 的乳酸盐替代盐主要是有机酸盐乳酸钾(C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>KO<sub>3</sub>)、乳酸钙(C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>CaO<sub>6</sub>·5H<sub>2</sub>O)等。C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>KO<sub>3</sub> 具有抑制腐败、致病菌,维持色泽稳定的作用外,还具有增加咸味、溶解性等的作用<sup>[39]</sup>。Fulladosa 等<sup>[40]</sup>使用 C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>KO<sub>3</sub> 腌制火腿用于减少产品中的钠含量,研究发现,C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>KO<sub>3</sub> 的加入并没有改变

火腿风味、质地和微生物水平,对火腿品质影响较小。CostaCorredor 等<sup>[41]</sup>在重组干腌火腿中,用 36% 的 C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>KO<sub>3</sub> 替代 NaCl,结果发现,36% 的 C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>KO<sub>3</sub> 替代不影响火腿的物理化学性质,微生物数量也无显著差异( $p > 0.05$ )。陈有亮等<sup>[42]</sup>用 2.8% 食盐、2% 蔗糖和 5% 的乳酸盐腌制肉制品,研究发现食盐含量降到了 3.9%,而且风味和色泽未受到影响。乳酸钠(C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>3</sub>Na)广泛用于加工肉制品中的李斯特氏菌控制和延长保质期,并且是固化盐后含钠量的第二大贡献者,此外,它还具有一定的保水能力,对改进的肉制品质地和提高品质有积极作用,因此,C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>3</sub>Na 是低钠盐的合适替代品<sup>[43]</sup>。Gou 等<sup>[44]</sup>研究了用 C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>KO<sub>3</sub> (0~100%) 和甘氨酸(Gly) (0~100%) 替代 NaCl 对发酵香肠和干腌里脊肉的质地、风味和颜色特征的影响。当甘氨酸(Gly)被用于干腌里脊肉时,用超过 30% 的 K-乳酸盐替代时,检测到有严重的风味缺陷。C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>KO<sub>3</sub> 使用过多会有明显的酸味,并且会使肉制品硬度减小。因此,乳酸盐的替代量应控制在 30% 以内才不会对肉制品的品质产生影响。目前,用乳酸盐作为食盐替代在干腌火腿中的应用较为广泛,它对肉制品的质量和色泽影响较小,具有很大应用价值。

2.2.2 磷酸盐替代盐 利用磷酸盐替代盐替代 NaCl,如磷酸盐等物质在肉制品中也有应用。研究发现,在肉制品中使用磷酸盐可以降低 NaCl 含量,在一些磷酸盐中也含有钠,但其钠含量较食盐低很多<sup>[45]</sup>。磷酸盐的功能主要由所添加的盐的种类及组分间的相互协同作用来决定。磷酸盐能与肉制品中的金属离子形成稳定的螯合物,除了增加了肉制品的保水性,还能使肉制品多汁且具有嫩度<sup>[46]</sup>。有研究表明<sup>[47]</sup>,在火腿中加入磷酸盐能使食盐的使用量降低为 1.0%~1.4%,当使用磷酸钾盐替代磷酸钠盐时火腿中的钠含量则会明显减少。磷酸盐能够调节肉制品 pH,也会影响其色泽,当磷酸盐的添加量达到 0.4%~0.5% 时,会产生金属涩味等不愉快气味,当继续加大用量则使得肉制品风味恶化,组织结构粗糙,也会因其沉淀作用,在表面或切面处出现透明或者半透明的晶体<sup>[48]</sup>。由于食用过量的磷酸盐也可能影响机体钙、铁、镁的平衡,导致患骨相关疾病的风险增加<sup>[49]</sup>。磷酸盐替代物在火腿中的应用较少,且要控制磷酸盐的添加量,必须严格按照国标 GB 2760 的要求添加和使用磷酸盐,来满足人们的健康要求。

## 2.3 风味增强剂类

盐增强剂是用于改善盐味的另一类成分。最常使用的成分是:酵母提取物、水解植物蛋白(HVP)、谷氨酸单钠(MSG)和 5'核苷酸等成分。在盐增强剂的范畴内,氨基酸如精氨酸等可用于增强低钠产品中的感觉到的咸味,同样,添加柠檬酸、乳酸可以提高对氯化钠的感知咸味<sup>[50-51]</sup>。使用风味增强剂(咸味肽和某些氨基酸等)能够使肉制品的风味增强,弥补因替代引起的风味的改变。在风味增强剂中,酵母菌和 HVP 本身可以含有高达 40% 的盐水平,但有



些风味增强剂的成分可能与多动症、疾病和偏头痛等健康有关,因此使用量必须是有限的<sup>[52]</sup>。使用的盐增强剂如谷氨酸钠,其谷氨酸含量较高且赋予“鲜味”味道,可以改善产品的适口性和可接受性。还有一些其他的物质如功能蛋白、纤维、淀粉、凝胶等,可添加到肉制品中能增强其结合水能力,从而减少产品的含盐量<sup>[17]</sup>。

在低钠盐火腿的研究中,使用食盐替代物及风味增强剂的研究已有报道。在替代物替代浓度超过一定范围时,会造成火腿风味的改变,当 KCl 的替代超过 50% 时,火腿就会有苦味和金属味产生,这时如果加入谷氨酸单钠(MSG),则可以掩盖火腿中的不良风味。抗坏血酸盐在肉制品中的氧化还原能力很强,与亚硝酸盐的协同作用可以阻止肉毒杆菌的生长,此外抗坏血酸盐能够加快腌制反应,在稳定腌肉制品颜色的同时,还有利于与抗氧化剂的协同作用<sup>[17]</sup>。也有研究使用肌酐酸二钠、牛磺酸、赖氨酸和谷氨酸钠混合物与 KCl 协同作用,以此改善香肠的色泽和风味<sup>[53]</sup>。肉制品中加入精氨酸、赖氨酸和组氨酸,具有改善色泽和抑制脂肪氧化的作用,从而增强肉制品保水性和质构<sup>[54]</sup>。但有的风味增强剂成本较高,不易于广泛推广使用,目前有许多的风味增强剂和掩盖剂应用于肉制品的加工中,但在干腌火腿中的应用较少,风味增强剂与替代盐联合用于干腌火腿具有广阔的应用前景。

### 3 结论

减盐已经成为全世界控制慢性疾病的共识,干腌火腿较高的盐含量是制约火腿行业发展的关键问题。使用氯化物类替代盐(氯化钾、氯化镁、氯化钙)和乳酸盐替代盐(乳酸钾、乳酸钙、乳酸钠)、磷酸盐替代盐(磷酸钾)等部分或全部替代 NaCl 可以有效降低产品中的钠含量,但对火腿品质有一定影响,且要注意替代盐的用量限制。40% 的 KCl 替代 NaCl 是可以接受苦味的最大替代量,乳酸盐的替代量应控制在 30% 以内,才不会对肉制品的品质产生影响。用低钠盐部分替代 NaCl 是降低火腿制品中钠含量的最佳选择,但低钠替代盐的使用具有一定的局限性,也会产生苦味、涩味以及组织疏松等品质问题。风味增强剂(酵母提取物、水解植物蛋白、谷氨酸单钠和 5'核苷酸)在一定程度上可以改善火腿的风味,与替代盐联合使用于干腌火腿具有广阔的应用前景。低钠替代盐在火腿的应用方面仍有缺陷,其研究还有待进一步深入和完善。

### 参考文献

[1] Desmond E. Reducing salt: A challenge for the meat industry [J]. Meat Sci. 2006, 74(1): 188-196.  
 [2] 李大宇, 张苏芬, 董学文, 等. 低盐肉制品降盐与品质改良加工技术研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报. 2017, 8(6): 1947-1953.  
 [3] Feng J H, Katharine H J, Graham A M. WASH-World action on salt and health [J]. Kidney International, 2010, 78(8): 745-753.

[4] Melissa B. CDC finds no benefit in reducing salt below recommended intake [EB/OL]. (2013-07-16) [2017-12-25]. <http://www.mnn.com/health/fitness-well-being/stories/cdc-finds-no-benefit-in-reducing-salt-below-recommended-intake.htm>.  
 [5] Organization W H. Guideline: Sodium Intake for adults and children [M]. World Health Organization, 2012.  
 [6] Laureati M, Buratti S, Giovanelli G, et al. Characterization and differentiation of Italian Parma, San Daniele and Toscano dry-cured hams: a multi-disciplinary approach [J]. Meat Science, 2014, 96(1): 288-294.  
 [7] Zhang Y, Wu H, Tang J, et al. Influence of partial replacement of NaCl with KCl on formation of volatile compounds in Jinhua ham during processing [J]. Food Science & Biotechnology, 2016, 25(2): 379-391.  
 [8] Ruusunen M, Puolanne E. Reducing sodium intake from meat products [J]. Meat Science, 2005, 70(3): 531-541.  
 [9] 刘志达, 赵毅, 霍俊霏. 关于低钠盐标准及检测 [J]. 海湖盐与化工, 2005, 34(5): 22-26.  
 [10] Lorenzo J M, Bermúdez R, Domínguez R, et al. Physicochemical and microbial changes during the manufacturing process of dry-cured lacón salted with potassium, calcium and magnesium chloride as a partial replacement for sodium chloride [J]. Food Control, 2015, 50: 763-769.  
 [11] 张东, 李洪军, 吴练军, 等. 减少肉制品中氯化钠含量的研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2017(11): 238-243.  
 [12] 周光宏, 李春保, 徐幸莲. 肉类食用品质评价方法研究进展 [J]. 中国科技论文, 2007, 2(2): 75-82.  
 [13] Armenteros M, Aristoy M C, Barat J M, et al. Biochemical and sensory properties of dry-cured loins as affected by partial replacement of sodium by potassium, calcium, and magnesium [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(20): 9699-9705.  
 [14] Cheng Q, Sun D W. Factors affecting the water holding capacity of red meat products: A review of recent research advances [J]. Critical reviews in food science and nutrition, 2008, 48(2): 137-159.  
 [15] Şevkat UĞUZ, Soyer A, Ülkü Dalmiş. Effects of different salt contents on some quality characteristics during processing of dry-cured Turkish pastirma [J]. Journal of Food Quality, 2011, 34(3): 204-211.  
 [16] Fellendorf S, O' Sullivan M G, Kerry J P. Impact of ingredient replacers on the physicochemical properties and sensory quality of reduced salt and fat black puddings [J]. Meat Science, 2016, 113(3): 17-25.  
 [17] 赵芬. 猪肉低钠替代盐的研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2015.  
 [18] Fellendorf S, O' Sullivan M G, Kerry J P. Impact of ingredient replacers on the physicochemical properties and sensory quality of reduced salt and fat black puddings [J]. Meat Science, 2016, 113(3): 17-25.  
 [19] Ripollés S, Campagnol P C, Armenteros M, et al. Influence of partial replacement of NaCl with KCl, CaCl<sub>2</sub> and MgCl<sub>2</sub> on

- lipolysis and lipid oxidation in dry-cured ham[J]. Meat Science, 2011, 89(1): 58-64.
- [20] Aliño M, Grau R, Fuentes A, et al. Influence of low-sodium mixtures of salts on the post-salting stage of dry-cured ham microencapsulated dye in lecithin liposomes [J]. Journal of liposome research, 2003, 13(2): 111-121.
- [21] Blesa E, Aliño M, Barat J M, et al. Microbiology and physico-chemical changes of dry-cured ham during the post-salting stage as affected by partial replacement of NaCl by other salts [J]. Meat Science, 2008, 78(1-2): 135-142.
- [22] 马志方, 张雅玮, 惠腾, 等. 低钠传统金华火腿加工过程中理化特性的变化 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(14): 118-123.
- [23] Armenteros M, Aristoy M C, Barat J M, et al. Biochemical changes in dry-cured loins salted with partial replacements of NaCl by KCl [J]. Food Chemistry, 2009, 117(4): 627-633.
- [24] Lorenzo J M, Bermúdez R, Domínguez R, et al. Physicochemical and microbial changes during the manufacturing process of dry-cured lacón salted with potassium, calcium and magnesium chloride as a partial replacement for sodium chloride [J]. Food Control, 2015, 50: 763-769.
- [25] 黎良浩, 王永丽, 唐静, 等. KCl 部分替代 NaCl 对干腌火腿工艺过程中蛋白质水解的影响 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(18): 103-107.
- [26] Horita C N, Messias V C, Morgano M A, et al. Textural, microstructural and sensory properties of reduced sodium frankfurter sausages containing mechanically deboned poultry meat and blends of chloride salts [J]. Food Research International, 2014, 66(66): 29-35.
- [27] Gelabert J, Gou P, Guerrero L, et al. Effect of sodium chloride replacement on some characteristics of fermented sausages [J]. Meat Science, 2003, 65(2): 833-839.
- [28] Ripollés S, Campagnol P C, Armenteros M, et al. Influence of partial replacement of NaCl with KCl, CaCl<sub>2</sub> and MgCl<sub>2</sub> on lipolysis and lipid oxidation in dry-cured ham [J]. Meat Science, 2011, 89(1): 58-64.
- [29] Armenteros M, Toldrá F, Aristoy M C, et al. Effect of the partial replacement of sodium chloride by other salts on the formation of volatile compounds during ripening of dry-cured ham [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2012, 60(31): 7607-7615.
- [30] Armenteros M, Aristoy M C, Barat J M, et al. Biochemical and sensory changes in dry-cured ham salted with partial replacements of NaCl by other chloride salts [J]. Meat Science, 2012, 90(2): 361-367.
- [31] Mora L, Hernández cázares A S, Sentandreu M A, et al. Creatine and creatinine evolution during the processing of dry-cured ham [J]. Meat Science, 2010, 84(3): 384-389.
- [32] Armenteros M, Aristoy M C, Toldrá F. Effect of sodium, potassium, calcium and magnesium chloride salts on porcine muscle proteases. [J]. European Food Research & Technology, 2009, 229(1): 93-98.
- [33] 唐静. KCl 部分替代 NaCl 对干腌火腿脂肪氧化及风味物质形成的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [34] Ripollés S, Campagnol P C B, Armenteros M, et al. Influence of partial replacement of NaCl with KCl, CaCl<sub>2</sub> and MgCl<sub>2</sub> on lipolysis and lipid oxidation in dry-cured ham [J]. Meat science, 2011, 89(1): 58-64.
- [35] Barat J M, Pérez-Esteve E, Aristoy M C, et al. Partial replacement of sodium in meat and fish products by using magnesium salts. A review [J]. Plant & Soil, 2013, 368(1-2): 179-188.
- [36] Blesa E, Aliño M, Barat J M, et al. Microbiology and physico-chemical changes of dry-cured ham during the post-salting stage as affected by partial replacement of NaCl by other salts [J]. Meat Science, 2008, 78(1-2): 135-142.
- [37] Aliño, M, Grau, R, Fuentes, A, et al. Influence of low-sodium mixtures of salts on the post-salting stage of dry-cured ham process [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 99(2): 198-205.
- [38] Aliño, M, Grau R, Toldrá, F, et al. Physicochemical properties and microbiology of dry-cured loins obtained by partial sodium replacement with potassium, calcium and magnesium. [J]. Meat Science, 2010, 85(3): 580.
- [39] Quilo S A, Pohlman F W, Brown A H, et al. Effects of potassium lactate, sodium metasilicate, peroxyacetic acid, and acidified sodium chlorite on physical, chemical, and sensory properties of ground beef patties [J]. Meat Science, 2009, 82(1): 44-52.
- [40] Fulladosa E, Serra X, Gou P, et al. Effects of potassium lactate and high pressure on transglutaminase restructured dry-cured hams with reduced salt content [J]. Meat Science, 2009, 82(2): 213-218.
- [41] Costacorredor A, Serra X, Arnau J, et al. Reduction of NaCl content in restructured dry-cured hams: Post-resting temperature and drying level effects on physicochemical and sensory parameters. [J]. Meat Science, 2009, 83(3): 390-7.
- [42] 陈有亮, 于荟, 王联潮, 等. 低盐腌制对腌肉制品品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2012, 33(9): 134-136.
- [43] Inguglia E S, Zhang Z, Tiwari B K, et al. Salt reduction strategies in processed meat products - A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 59: 70-78.
- [44] Gou P, Guerrero L, Gelabert J, et al. Potassium chloride, potassium lactate and glycine as sodium chloride substitutes in fermented sausages and in dry-cured pork loin [J]. Meat Science, 1996, 42(1): 37-48.
- [45] 谢文, 王飞, 彭增起, 等. 磷酸盐混合物和加水量对低脂牛肉灌肠硬度和保水性的影响 [J]. 食品工业科技, 2003, 24(3): 38-43.
- [46] 宋广磊, 戴志远. 磷酸盐对梅鱼 (*Collichthys niveatus*) 鱼糜质构的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(4): 38-41.
- [47] Ruusunen M, Niemistö M, Puolanne E. Sodium reduction in cooked meat products by using commercial potassium phosphate mixtures [J]. Agricultural and Food Science, 2002, 11(3): 199-207.
- [48] 李俊, 韩卓, 檀胜江, 等. 磷酸盐在肉制品加工中作用及替代物研究进展 [J]. 肉类研究, 2013, 27(2): 25-28.

[49] 吴海舟, 张迎阳, 唐静, 等. 降低肉制品中氯化钠含量研究进展[J]. 肉类研究, 2014, 28(6): 22-26.  
 [50] Dötsch M, Busch J, Batenburg M, et al. Strategies to reduce sodium consumption: A food industry perspective [J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 2009, 49(10): 841-851.  
 [51] Liem D G, Miremadi F, Keast R S J. Reducing sodium in foods: The effect on flavor[J]. Nutrients, 2011, 3(6): 694-711.  
 [52] Fernstrom, J D. Health issues relating to monosodium

glutamate use in the diet[M]. Elsevier Inc., 2007: 55-76.  
 [53] dos Santos B A, Campagnol P C, Morgano M A, et al. Monosodium glutamate, disodium inosinate, disodium guanylate, lysine and taurine improve the sensory quality of fermented cooked sausages with 50% and 75% replacement of NaCl with KCl[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 509-513.  
 [54] 雷振, 周存六. 低钠肉制品研究进展[J]. 肉类研究, 2016, 30(7): 30-34.

(上接第 274 页)

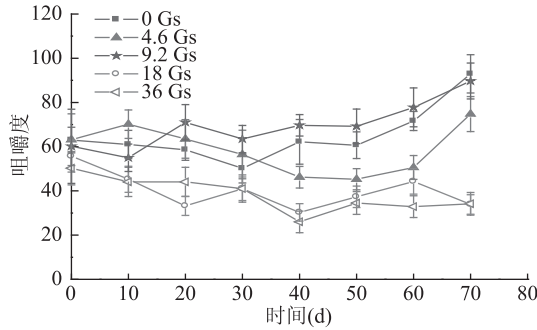


图6 马铃薯块贮藏过程中咀嚼度变化

Fig.6 The change of potato blocks chewiness during storage

过冷度大,形成的冰晶小而均匀,对细胞的损伤小,显示出较好的冻结特性;在贮藏试验中,马铃薯块的贮藏品质并不随着磁场强度的增加而显示出规律性变化,但18、36 Gs 磁场强度时,马铃薯块的各项指标均优于对照组;在细胞膜透性、硬度以及咀嚼度指标中两组差别 (< 0.33%) 较小,但在比较汁液流失率时,18 Gs 磁场强度比 36 Gs 减少 2.58%,有效的降低汁液及营养成分的流失,显示出较好的磁场生物效应。综合考虑直流磁场对冻结过程与贮藏过程中各指标的影响,在试验中 18 Gs 强度的直流磁场辅助冻结马铃薯块的效果最好,更利于保持马铃薯块的贮藏品质。

参考文献

[1] 单亮亮, 刘斌. 电磁场对水及其盐溶液的冻结影响[J]. 制冷, 2017, 36(1): 29-35.  
 [2] 朱腾骏. 电磁场对低温下生理盐水冰晶形成影响的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2006.  
 [3] 周子鹏, 赵红霞, 韩吉田. 直流磁场作用下水的过冷和结晶现象[J]. 化工学报, 2012(5): 1405-1408.  
 [4] Kiani H, Sun D W. Water crystallization and its importance to freezing of foods: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2011, 22(8): 407-426.  
 [5] Petzold G, Aguilera J M. Ice morphology: fundamentals and technological applications in foods [J]. Food Biophysics, 2009, 4(4): 378-396.  
 [6] 周子鹏, 赵红霞, 韩吉田. 直流磁场作用下水的过冷和结晶现象[J]. 化工学报, 2012, 63(5): 1405-1408.  
 [7] 张玉春, 曲凯阳, 江亿. 水的磁化对结冰影响的初探[J]. 暖通空调, 2006, 36(10): 117-118.  
 [8] 陈照章, 王恒海, 黄永红, 等. 磁场影响水溶液冰晶的试验及装置[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2008, 29(5):

428-431.  
 [9] 陈照章, 王恒海, 黄永红, 等. 交变磁场对含盐溶液冰晶生成的影响[J]. 应用科学学报, 2008, 26(2): 145-149.  
 [10] 高梦祥, 张长峰, 樊宏彬. 交变磁场对葡萄保鲜效果的影响研究[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 587-589.  
 [11] Misakian M and Kaune W T. Optimal experimental design in vitro studies with ELF magnetic fields [J]. Bioelectromagnetics. 1990(11): 251-255.  
 [12] Otero L, Sanz P D. High - pressure shift freezing. Part 1. Amount of ice instantaneously formed in the process [J]. Biotechnology Progress, 2000, 16(6): 1030-1036.  
 [13] Zheng L, Sun D W. Ultrasonic assistance for food freezing [M]// Emerging Technologies for Food Processing (Second Edition). 2015: 603-626.  
 [14] James C, Purnell G, James S J. A review of novel and innovative food freezing technologies [J]. Food and bioprocess technology, 2015, 8(8): 1616-1634.  
 [15] Anese M, Manzocco L, Panozzo A, et al. Effect of radiofrequency assisted freezing on meat microstructure and quality [J]. Food Research International, 2012, 46(1): 50-54.  
 [16] E Xanthakis, A Le-Bail, H Ramaswamy. Development of an innovative microwave assisted food freezing process [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2014(26): 176-181.  
 [17] Xanthakis E, Havet M, Chevallier S, et al. Effect of static electric field on ice crystal size reduction during freezing of pork meat [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2013, 20: 115-120.  
 [18] Mok J H, Choi W, Park S H, et al. Emerging pulsed electric field (PEF) and static magnetic field (SMF) combination technology for food freezing [J]. International Journal of Refrigeration, 2015, 50: 137-145.  
 [19] 谢长宜, 王易. 微波非热效应对杂交瘤细胞的影响研究[J]. 自然杂志, 2000, 22(5): 305-306.  
 [20] 余德洋, 刘宝林, 吕福扣, 等. 超声波辅助马铃薯冻结的试验研究[J]. 声学技术, 2014, 33(1): 21-24.  
 [21] 宋健飞, 刘斌, 关文强, 等. 直流磁场对洋葱细胞冻结过程的影响[J]. 制冷学报, 2016, 37(2): 107-112.  
 [22] 刘春泉, 卓成龙, 李大婧, 等. 不同冻结与解冻方法对毛豆仁品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(1): 176-180.  
 [23] 李苑, 王丽平, 李钰金, 等. 水产品冻结贮藏中冰晶的形成及控制研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(19): 277-282.  
 [24] 吕振磊, 李国强, 陈海华. 马铃薯淀粉糊化及凝胶特性研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 22-27.