

复合磷酸盐在面制品中的应用现状及发展趋势

The application of phosphate in wheat based products

王立¹ 陈敏¹ 赵俊丰² 钱海峰¹ 张晖¹ 齐希光²

WANG Li¹ CHEN Min¹ ZHAO Jun-feng² QIAN Hai-feng¹ ZHANG Hui¹ QI Xi-guang²

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江苏澄星磷化工股份有限公司, 江苏 江阴 214432)

(1. School of Food Science and Technology in Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Jiangsu Chengxing Phosph-chem Cals Co. Ltd., Jiangyin, Jiangsu 214432, China)

摘要:在面制品加工过程中,磷酸盐能够改善面条的弹性,作为化学膨松剂增加面包的体积,作为改良剂降低饺子皮面皮的开裂率。文章介绍了磷酸盐的种类性质,综述了其在面制品中的应用现状及作用机理,分析了当前存在的问题,并提出了相应的改进建议。

关键词:复合磷酸盐;面制品;品质;应用

Abstract: Phosphate is a kind of food additive, which can improve the quality of food. It is widely used in all fields of food industry and plays an important role in the production of wheat based products. In this paper, the basic characteristics of phosphate were introduced, and the application and mechanism of phosphates in flour products were also summarized. Furthermore, the problems of its application and the corresponding suggestions were proposed.

Keywords: compound phosphate; flour products; quality; application

磷酸盐可作为食品配料和功能性添加剂应用于食品工业中,目前已成为世界各国应用最广泛的食品添加剂之一。磷酸盐应用在肉制品中能够提高保水能力和凝胶强度,改善其嫩度和质地^[1-2];在乳饮料中能够促进蛋白的乳化分散,提高牛奶制品的溶解度和稳定性^[3-4];在蔬菜水果中能防止酶促褐变,保持天然的色泽;在发酵食品中可促进蛋糕、曲奇等的发酵和膨化,形成蓬松的结构^[5];在果汁中具有酸味调节和协同护色的作用^[6]。综合看来,磷酸盐在食品加工中的功能主要有以下两类:①作为品质改良剂,主要是利用磷酸盐的缓冲效应和螯合金属离子特性,起到调节 pH^[7]、提高持水性^[8]、抗氧化^[9]、抗结块^[10]、抑菌防腐^[11]的作用,改进食品的组织结构和口感;②作为矿物营养强化剂,磷酸盐可作为钙、铁、锌等营养源,用于儿童食品和营养强化食品中。磷酸盐的添加对改善食品的色、香、味、形和提升食品品质有着重

要的作用,因此被广泛应用于肉制品、海产品、水果蔬菜、乳制品、焙烤制品、饮料、方便食品中。

在面制品中,磷酸盐可以用来改善面条的弹性、作为化学膨松剂以及降低面皮的开裂率等,因此,近年来磷酸盐在面制品中的应用研究越来越广泛。同时,随着研究的深入,单一磷酸使用的局限性不断凸显,磷酸盐之间的协同作用也越来越受到关注,通过改变磷酸盐的种类和比例可以使其效益最大化,因此研究的重点慢慢转向复合磷酸盐的应用研究开发^[12]。

1 磷酸盐的种类及性质

磷酸盐分为正磷酸盐和缩聚磷酸盐两大类。正磷酸盐在一定条件下加热能够缩合或聚合生成聚、焦、偏磷酸盐,其通式为 $M_{n+2}P_nO_{3n+1}$,其中含两个磷原子为焦磷酸盐,含 3 个磷原子为 3 聚磷酸盐,含有三个以上的磷原子的统称多聚磷酸盐。另外,分子式为 $(MPO_3)_n$ 的称为偏磷酸盐^[13-14]。目前,在食品加工中使用的食品级磷酸盐主要有钠盐、钙盐、钾盐以及作为营养强化剂的铁盐和锌盐,常用的品种有 30 多种,其中钠盐是目前中国食品磷酸盐的主要种类。中国食品添加剂使用卫生标准中对允许在食品中使用的磷酸盐种类和限量做出了明确规定,一共有 14 种磷酸盐^[15],其中三聚磷酸钠、六偏磷酸钠、焦磷酸钠、磷酸二氢钠常以不同的比例复配后用于面制品中^[16],其分子量及在食品工业中的主要用途和用量见表 1^[17-19]。

在实际应用中,需要按照食品加工工艺的要求,以及根据磷酸盐的 pH 值及缓冲作用、溶解性、持水作用、乳化作用、分散性能、螯合作用、水解稳定性等特性来合理选用磷酸盐作为食品配料和功能添加剂。

2 复合磷酸盐在面制品中的应用研究进展

2.1 在面条加工中的应用

面条是一种传统主食食品,方便又经济实惠,其主要原料是面粉、水和盐,其中面粉品质是决定面条品质的关键因素。由于中国国产小麦面粉普遍蛋白质含量偏低,面筋质量

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31471617)

作者简介:王立(1978—),男,江南大学教授,博士。

E-mail: wl0519@163.com

收稿日期:2016-12-09

表1 面制品中常使用的磷酸盐

Table 1 The commonly used phosphates in wheat-based foods

名称	分子式	分子量	性能及用途	用量/(g·kg ⁻¹)
磷酸二氢钠	NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	156.01	可用作缓冲剂、软水剂;制造六偏磷酸钠和焦磷酸钠	≤5.0
	NaH ₂ PO ₄	119.98	具有较强的pH缓冲性、络合能力及保水性;兼具乳化性、分散性、防止脂肪氧化等作用;主要作微乳化剂、缓冲剂、螯合剂等	
焦磷酸钠	Na ₄ P ₂ O ₇ ·10H ₂ O	446.07	吸湿性很强,具有良好的络合金属离子能力以及胶溶、乳化、分散、缓冲作用;主要用作水分保持剂、pH调节剂、金属螯合剂	≤5.0
	Na ₄ P ₂ O ₇	265.90		
三聚磷酸钠	Na ₅ P ₃ O ₁₀	367.86	吸湿性大,能使蛋白质凝固,对金属离子的螯合力、缓冲作用、分散作用很强;主要用作螯合剂、发酵膨松剂、pH值调节剂等	≤5.0
六偏磷酸钠	(NaPO ₃) ₆	611.77		≤5.0

差,因此制作的面条产品存在断条、不耐煮、易糊汤、口感发粘、弹性差等问题^[20-22]。

针对这些问题,有很多研究人员进行了相关的品质改善研究。吴雪辉等^[23]发现将偏磷酸钠、三聚磷酸钠、焦磷酸钠、磷酸二氢钠4种磷酸盐复配后,能够提高面团的稳定时间,增强面条的粘弹性和韧性,使面条久煮不混汤。主要原因是磷酸盐较强的保水性使面筋蛋白充分吸水溶胀,强化了面筋网络结构^[24]。同时,磷酸盐与可溶性金属盐能生成复合盐,在葡萄糖基团间起“架桥”作用,促进淀粉分子交联,保持粘弹性^[25-26]。怀丽华等^[27]也发现复合磷酸盐能够明显提高面条的食用品质,并优化得到了磷酸盐最佳复配方案。程晓梅等^[28]发现复合磷酸盐能显著改变面条的色泽和表面状态,使面条更白更光滑。鲍宇茹等^[29]进一步发现三聚磷酸盐和焦磷酸盐能够提高面条的白度,六偏磷酸盐能延缓面条的褐变程度。原因可能是磷酸盐稳定了面团pH,同时螯合金属阳离子抑制氧化,从而防止变色、保持色泽^[30]。另外,磷酸盐螯合金属离子的特性能防止金属离子沉淀而造成产品外观粗糙,同时,磷酸盐还能与天然有机质果胶、蛋白质等形成胶体,从而使面条表面光滑、细腻、白嫩^[31]。王立等发现磷酸盐可以改善面粉的糊化特性^[32],进而又将磷酸钠、磷酸氢二钠和磷酸氢二钾复配,发现能显著增加面条的黏度,并改善面条的色泽^[33]。王猛等^[34]研究也发现,磷酸盐能够提高面粉的糊化温度、峰值黏度并保持黏度,减少衰减值和回生值,同时提高鲜面条的拉伸应力和煮后面条的剪切应力。

鉴于此,磷酸盐可以用来增加淀粉糊化程度,提高淀粉吸水能力,进而起到改善面条品质的作用^[35]。复合磷酸盐还能够在面筋蛋白和淀粉之间进行酯化反应及架桥结合,形成更稳定的复合结构,减少淀粉溶出,增强面筋筋力,使面条筋道爽口^[36]。鲍丽敏等^[37]发现随着复合磷酸盐的适量增加,面条烹煮时淀粉溶出率降低。另外,复合磷酸盐结合硬

脂酰乳酸钠、谷朊粉、谷氨酰胺转氨酶使用能够提高面条弹性和口感^[38]。

总的看来,磷酸盐在面条加工中的主要作用是螯合金属离子、稳定pH、促进面筋网络结构形成及持水作用。在制面过程中,它一方面螯合水中的金属离子,降低水的硬度,显著提高和面效果;另一方面,它强化面筋蛋白与淀粉间的相互作用,增强面团的弹性和韧性,同时降低面条烹煮时的淀粉溶出,使面条品质得以改善。除此之外,复合磷酸盐与其他物质的协同作用可以降低新鲜面条的水分活度,延长产品保质期^[39]。不同种类磷酸盐的作用有所差别,后续研究需要进一步探讨每种磷酸盐的具体作用,以此指导最佳的复配方案及比例。

2.2 在速冻水饺加工中的应用

近年来,中国速冻食品行业发展迅速,年均增长率为20%左右^[40]。速冻水饺是速冻食品中产量最大的一类,生产量约占冷冻调理食品的1/3^[41]。实际生产中,速冻水饺常存在表皮开裂、汁液外流、口感粘烂、弹性差、水煮时汤汁浑浊等问题,严重影响了产品品质^[42-43]。针对上述问题,除了在水饺的加工工艺如馅料调制^[44]、包制工艺^[45]、冻结速度^[46]和储藏温度^[47]上进行改善外,许多研究人员^[48-50]也研究使用食品添加剂如磷酸盐来改善水饺的品质。

针对水饺皮易冻裂的问题,已有较多的研究报道。李昌文等^[51]发现复合磷酸盐有助于提高水饺的保水性,从而起到抗冻裂作用。磷酸盐的缓冲作用使面团pH偏离等电点,有助于提高面团的持水性,同时,磷酸盐能络合钙等金属离子,防止其与面筋蛋白的交联,从而增加保水力,减少水饺产品的体积萎缩和破裂^[52]。丁琳等^[53]也发现磷酸盐可以降低速冻水饺表皮冻裂率,提高成品率及改善外观品质,且三聚磷酸钠的作用效果最好。针对水饺皮蒸煮损失问题,孙婕等^[54]发现磷酸盐能够起到明显的改善作用,并认为磷酸盐

能够强化淀粉与面筋蛋白间的结合,减少淀粉溶出,从而降低蒸煮损失,改善水饺煮后混汤现象。针对水饺皮颜色劣变问题,欧仕益等^[55]发现在面皮中添加磷酸盐能使饺子皮变白,增加光泽度、弹性和爽滑感。磷酸盐防止饺皮褐变主要有两方面的原因:①络合金属离子及大分子物质,延缓了酶促褐变^[56];②磷酸盐可增加馅料的持水率,减少汁液流失,从而降低了汁液褐变而对饺皮颜色的影响^[57-58]。

除此之外,磷酸盐与淀粉反应生成淀粉磷酸酯,可用作乳化剂,提高面团的保水率,具有良好的冻结融化稳定性^[59]。许秀峰等^[60]研究证实添加淀粉磷酸酯钠后,可显著提高水饺的色泽和透明度。刘延奇等^[61]将磷酸淀粉作为面皮改良剂加到速冻水饺中后,发现冻裂率明显降低。当水饺放置一段时间后,再复水加热会糊汤、口感变差,使用适量的复合磷酸盐、瓜儿豆胶、糊精时可使饺子皮的复水性达到最佳^[62]。

水饺解冻后如果汁液流出太多,一方面会造成饺皮开口,另一方面解冻后的汁液发生褐变也会引起饺皮变黑。所以,磷酸盐的缓冲作用和螯合作用,不仅提高了面皮的保水性,降低了面皮冻裂率,而且能增强馅料的持水性,减少汁液外流,防止对面皮产生不良影响。综上,磷酸盐在速冻水饺中主要起到降低面皮开裂率和改善色泽劣变的作用,以此改善质地和口感。在抗冻裂的同时,今后仍需对磷酸盐在速冻水饺口感的改善上深入研究。

2.3 在速冻馒头加工中的应用

馒头是中国传统的主食之一,近年来得到工业化生产,但在蒸煮及速冻解冻过程中,馒头经常会发生表皮开裂或脱落、产品变色、质地变粗以及硬化掉渣等不良现象^[63]。生产原料、食品添加剂、速冻工艺和储存条件都会影响馒头的品质^[64],许多研究人员就磷酸盐对速冻馒头品质的改良作用进行了探讨。

李爱军等^[65]发现磷酸盐能增加馒头的重量和体积,主要是因为磷酸盐的保水作用使得面包重量增加,同时磷酸盐络合了钙等金属离子,防止其与面筋蛋白的交联和与苏打形成难溶性的盐类而影响发酵粉发挥作用。裴艳花等^[66]发现磷酸氢二钠能降低馒头的硬度,因为其具有一定的乳化作用,与面粉中蛋白质及脂肪等相互作用而使馒头变软;同时磷酸盐的持水性使馒头的含水量增加,也会减小馒头的硬度。另外磷酸盐能使面团形成良好的面筋结构,增加面团的弹性和韧性,形成致密的内部结构,并且改善馒头的白度。张国治等^[67]认为在馒头制作中为改善水的硬度或防霉需要而添加了丙酸钙,但这会使面粉中钙含量增加,从而影响到馒头的蓬松度,磷酸盐则有助于抵消钙离子的负面影响。

此外,磷酸盐也常和其他品质改良剂结合使用,张剑等^[68]对速冻北方馒头生产工艺进行了优化,当采用磷酸盐、单甘酯、脂肪酶和 V_C 作为复合改良剂时,能使馒头冻后表皮不开裂、光亮、组织结构均匀、弹韧性好。任红涛等^[69]研究发现,将 V_C、硬脂酰乳酸钠、 α -淀粉酶、焦磷酸盐、单甘酯复配使用,能够赋予南方馒头内部气孔细小、结构均匀、表皮光滑等品质。

复合磷酸盐作为添加剂用于馒头中,可赋予馒头亮丽的光泽,细腻的质地;提高馒头的保水能力,减少馒头在成型、醒发、蒸制后冷却过程中的水分损失;增加馒头的蓬松度,当水的硬度较高时其效果尤为显著;防止馒头解冻后的开裂;对一些天然色素具有良好的护色作用,从而起到提升馒头品质的作用。目前,针对磷酸盐对馒头品质改善的研究相对较少,今后需在此方面继续深入研究。

2.4 在冷冻面团加工中的应用

冷冻面团是以面粉为主要原料经过机器揉制加工并经速冻成形的半成品,主要用于面包制作,也有用于加工其他面食、点心等^[70]。冷冻面团存在稳定性差、易冻裂或萎缩、制造成品体积较小、保质期短等缺陷^[71]。通过向面团中添加适当的改良剂或改进冷冻工艺条件可以稳定面团质量,制造出优质的产品。

王佳玮等^[72]发现在冷冻面团中添加 0.3% 的磷酸二氢钙后面团的拉伸性最佳,说明其有助于改善面团的内部结构,因为面团的拉伸性可以反映其内部结构,抗拉伸性能和稳定性愈好,内部结构越为细腻^[73]。隋欣^[74]也报道磷酸二氢钙可以使包子体积明显增大,高度增加,面皮变软,推测是磷酸二氢钙调节了面团 pH 值,有利于酵母保持活性,同时减少了冷冻面团在醒发和解冻过程中的水分损失,减少了面皮开裂现象。另外,方坤^[75]研究发现复合磷酸盐结合适量抗坏血酸和复合乳化剂时,可改善鲜切面团低温储藏过程中的褐变现象。复合磷酸盐不仅能够增加冷冻面团的保水能力,减少面团冷冻、解冻及焙烤后冷却过程中的水分损失,减少开裂现象,而且磷酸盐可以络合面团中的大分子物质,一定程度上抑制面团的褐变^[76]。

在冷冻面团中常用的磷酸盐有六偏磷酸钠、三聚磷酸钠、磷酸氢二钠等^[77]。磷酸盐在冷冻面团中主要起到调节 pH、络合金属离子和水合作用,以此来改进冷冻面团的品质特性,使其烘焙品质大大提高。今后的研究应主要从磷酸盐对冷冻面团抗开裂和抗褐变两个方面进行开展。

2.5 在面包加工中的应用

中国年产量面包约 80 万^[78],在储藏和销售过程中,面包会发生老化、比容变小、失去弹性、干燥变硬等现象^[79]。因此,在面包的加工中通常加入膨松剂^[80]、甜味剂^[81]、着色剂^[82]、增稠剂^[83]、防腐剂^[84]、乳化剂^[85]、酶制剂^[86]等多种添加剂来改善其品质。

磷酸盐在面包加工中可用作膨松剂,与碱性物质如碳酸氢钠等发生中和反应,产生大量气体^[87-89]。郑善强等^[90]发现与泡打粉相比,磷酸盐能将面包醒发时间缩短 3.5 h,同时改善了面包的色泽和口感,主要原因是磷酸盐良好的 pH 缓冲作用有助于产气而使面包体积增大、形成疏松多孔的结构,且其保水特性提高含水量,使口感松软。除此之外,磷酸盐还可用作面粉调节剂、缓冲剂和酵母营养剂^[91-92]。如磷酸盐可改善面团的流变学特性,调节 pH 值使酵母保持较高活性,以及作为无机盐为酵母细胞提供营养,促进酵母的生长繁殖^[93]。另外,聚磷酸盐能抑制面团储存过程中部分微生物的生长繁殖,磷酸二氢钙对面包的口感与表皮光泽均有

改善作用^[94]。

焙烤工业中常使用的磷酸盐有磷酸一钙、磷酸二钙、磷酸铝钠和酸式焦磷酸钠,且不同种类的磷酸盐与碱反应释放二氧化碳的速率不同^[95-98]。因此,磷酸盐可控制产气速度,充分发挥气体的膨胀作用,以及调整食品酸碱度、提高保水性,使面包形成蓬松结构、比容增大、硬度降低,提高产品质量。目前,面包老化仍是一个亟待解决的问题,可以开展关于磷酸盐对面包抗老化方面的研究。

3 磷酸盐使用过程中存在的问题及改进措施

虽然复合磷酸盐对食品品质尤其是面制品有着显著的改良作用,但目前磷酸盐的使用仍然存在着一些问题。

(1) 对产品品质的负面影响。磷酸盐的适量添加可以提升产品品质,但当用量不当特别是过量时会导致产品风味恶化,组织结构变得粗糙。如适量添加磷酸氢二钠可以降低冻裂率,但添加量过大时反而使冻裂率增加;用量过大时也会影响面条的蒸煮品质,降低感官质量;在肉制品中高浓度的三聚磷酸钠会降低肉的亮度及产生沉淀作用^[99-100]。可见,磷酸盐的不适当使用反而给产品带来负面影响,使色泽、风味和感官品质下降。

(2) 对人体健康的不良影响。磷是人体内部的“能源库”和“供应站”,在人体内发挥着重要作用,是一种不可缺少的元素。磷酸盐可以补充体内的磷元素,对人体具有一定的营养价值。磷酸盐的日推荐摄入量为2.7~4.5 mg/dL,在此范围内,既可以满足机体需要,又可以预防疾病。但当血清中的磷酸盐浓度超过5.5 mg/dL时就会产生副作用,短时间内大量摄入可能会导致腹痛与腹泻,长期则会导致机体的钙磷失衡,影响钙的吸收,引发相应的疾病^[101-102]。随着磷酸盐在食品中的应用日益广泛,人们日常摄入的磷酸盐必将日益增多,如不严格控制磷酸盐的使用量与摄入量,将会给人们的健康带来潜在的危害。

针对以上存在的问题,除了生产者要强化食品安全意识,按照相关标准规范操作,以及监管者要根据相关法律法规严格管理外,建议从以下两个方面进行深入研究。

(1) 加大磷酸盐功用与危害性研究的科研力度。目前对于磷酸盐的作用机制尚未研究透彻,应加大力度,深入理论探究,阐述其作用与危害,以此来指导实际生产,保障人民群众的生命安全。

(2) 加强复配食品添加剂的研发。多数单一的食品添加剂功效有限,需要与其它添加剂进行复配方可达到理想效果,因此研发复配型添加剂意义重大。对于磷酸盐,不仅可以不同种磷酸盐进行复配使用,还可将磷酸盐与其他品质改良剂进行复配,利用其协同作用来提高整体效果,同时减少磷酸盐的用量,消除不良影响。

参考文献

[1] SMITH D P, YOUNG L L. Marination pressure and phosphate effect on broiler breast fillet yield, tenderness, and color[J]. Poultry Science, 2007, 86(12): 2 666-2 670.

[2] 汪学荣,周维禄.复合磷酸盐对鱼糜制品的保水效果研究[J].食品科技,2002(9):41-43.

[3] CHO S H, RHEE K S. Lipid oxidation in mutton: species-related and warmed-over flavors[J]. Journal of Food Lipids, 1997, 4(4): 283-293.

[4] TROMP R H, CGDE K, MVAN E, et al. On the mechanism of stabilization of acidified milk drinks by pectin[J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18(4): 565-572.

[5] LAMPILA L E. Applications and functions of food-grade phosphates[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2013, 1 301(1): 37-44.

[6] 马利华.复合磷酸盐在果汁饮料中的应用[J].中国食品添加剂,2005(6):88-90.

[7] BAUBLITS R T, POHLMAN F W, BROWN Jr A H, et al. Effects of enhancement with varying phosphate types and concentrations, at two different pump rates on beef biceps femoris instrumental color characteristics[J]. Meat Science, 2005, 71(2): 264-276.

[8] DETIENNE N A, WICKER L. Sodium Chloride and Tripolyphosphate Effects on Physical and Quality Characteristics of Injected Pork Loins[J]. Journal of Food Science, 1999, 64(6): 1 042-1 047.

[9] POYRAZOGLU O, ERTAS A H. Effect of sodium tripolyphosphate on some physical, chemical and sensorial properties of hamburgers[J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 1997, 21(3): 289-293.

[10] 弓创周,李光明,丁灵.开发食品添加剂磷酸盐系列产品展望[J].化工科技市场,2009,32(1):4-8.

[11] LENZI L J, LUCCHESI P M A, MEDICO L, et al. Effect of the Food Additives Sodium Citrate and Disodium Phosphate on Shiga Toxin-Producing Escherichia coli and Production of stx-Phages and Shiga toxin[J]. Frontiers in Microbiology, 2016, 7(e32393): 1-7.

[12] 刘鹏升,范希德.磷酸盐的性能与应用[J].肉类研究,2005(7):9-10.

[13] 刘宗敏,江红波,王鹏,等.磷酸盐在肉制品中应用研究现状及发展趋势[J].肉类工业,2010(8):37-39.

[14] 周明超.三种磷酸盐对西式蒸煮火腿质构影响研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2007:1-5.

[15] 中华人民共和国卫生部.GB 2760—2014 食品安全国家标准食品添加剂使用标准[S].北京:[出版者不详],2014:53-56.

[16] 李瑞.面团延伸性改良剂的研究[D].无锡:江南大学,2011:4-5.

[17] 郝利平,聂乾忠,陈永泉,等.食品添加剂[M].2版.北京:中国农业出版社,2009:246-247.

[18] 李祥.食品添加剂使用技术[M].北京:化学工业出版社,2011:303-307.

[19] 李宏梁.食品添加剂安全与应用[M].北京:化学工业出版社,2012:224-226.

[20] FU Bin-xiao. Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing[J]. Food Research International, 2008, 41(9): 888-902.

[21] ROSS A S. Instrumental measurement of physical properties of

- cooked Asian wheat flour noodles[J]. *Cereal Chemistry*, 2006, 83(1): 42-51.
- [22] HE Zhong-hu, YANG Jin, ZHANG Yan, et al. Pan bread and dry white Chinese noodle quality in Chinese winter wheats[J]. *Euphytica*, 2004, 139(3): 257-267.
- [23] 吴雪辉, 李琳. 复合磷酸盐对面条改良作用的研究[J]. *粮食与饲料工业*, 1998(12): 43-44.
- [24] 胡国华. 复合食品添加剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 107-108.
- [25] 李培圩. 方便面生产工艺及基本理论(三)[J]. *食品工业*, 1995(1): 48-51.
- [26] MIYAZAKI M, MAEDA T, MORITA N. Gelatinization Properties and Bread Quality of Flours Substituted with Hydroxypropylated, Acetylated and Phosphorylated Cross-linked Tapioca Starches[J]. *Journal of Applied Glycoscience*, 2005, 52(4): 345-350.
- [27] 怀丽华, 王显伦, 余伦理, 等. 磷酸盐对面条品质影响研究[J]. *郑州工程学院学报*, 2003, 24(4): 49-51.
- [28] 程晓梅, 程兰萍. 面条品质改良剂的应用研究[J]. *河南工业大学学报: 自然科学版*, 2008, 29(6): 75-78.
- [29] 鲍宇茹. 磷酸盐在面条中的应用研究[J]. *河南工业大学学报: 自然科学版*, 2009, 30(5): 69-72.
- [30] YOUNG L L, LYON C E. Effects of rigor state and addition of polyphosphate on the color of cooked turkey meat[J]. *Poultry Science*, 1994, 73(7): 1 149-1 152.
- [31] 罗庆云, 赵小枫. 方便面常用增筋剂探讨[J]. *粮食与饲料工业*, 1995(8): 31-34.
- [32] WANG Li, HOU Gary G, HSU Ya-Hsuan, et al. Effect of Phosphate Salts on the Pasting Properties of Korean Instant-Fried Noodle[J]. *Cereal Chemistry*, 2011, 88(2): 142-146.
- [33] WANG Li, HOU Gary G, HSU Ya-Hsuan, et al. Effect of phosphate salts on the Korean non-fried instant noodle quality [J]. *Journal of Cereal Science*, 2011, 54(3): 506-512.
- [34] 王猛, 许春华, 苏从毅, 等. 磷酸盐对小麦粉糊化与面条质构的影响[J]. *粮食与饲料工业*, 2013, 12(9): 6-10.
- [35] WANG Hai-hong, SUN Da-wen, ZENG Qing-xiao, et al. Effect of pH, corn starch and phosphates on the pasting properties of rice flour[J]. *Journal of Food Engineering*, 2000, 46(2): 133-138.
- [36] ZHOU Yi-bin, HOU Gary G. Effects of phosphate salts on the pH values and Rapid Visco Analyser (RVA) pasting parameters of wheat flour suspensions[J]. *Cereal Chemistry*, 2012, 89(1): 38-43.
- [37] 鲍丽敏. 复合面条改良剂的研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2002(5): 8-9.
- [38] 邢正军. 复合改良剂对面条品质影响的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2010: 7-10.
- [39] LI Man, ZHU Ke-xue, GUO Xu, et al. Effect of water activity (a_w) and irradiation on the shelf-life of fresh noodles[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2011, 12(4): 526-530.
- [40] 李亮亮, 郭顺堂. 我国速冻食品产业发展及存在的问题[J]. *食品工业科技*, 2010(7): 422-424.
- [41] 侯会绒. 复合改良剂对速冻水饺冻裂率影响的研究[J]. *食品科技*, 2008, 33(1): 111-113.
- [42] 丁琳, 陈洁, 刘芳丽, 等. 磷酸盐对速冻水饺品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2007, 33(4): 87-90.
- [43] 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.
- [44] 易诚, 程胜高. 速冻水饺加工工艺及配方研究[J]. *现代食品科技*, 2007, 23(7): 55-58.
- [45] ZHU Jun-chen, ZHAI Di-sheng. Study on Quality Improvement of Fastfrozen Dumplings Processing Technology[J]. *Food Science*, 2004, 25(3): 208-210.
- [46] SILVAS-GARCIA M I, RAMIREZ-WONG B, TORRES-CHAVEZ P I, et al. Effect of Freezing Rate and Storage Time on Gluten Protein Solubility, and Dough and Bread Properties [J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2014, 37(3): 237-247.
- [47] 张华, 段倩, 李星科, 等. 速冻水饺贮藏过程中温度变化对品质的影响[J]. *食品科技*, 2013(7): 180-182.
- [48] WANG Yun-feng, SHI Zhong-lin, DING Pei-feng. Effect of compound natural additives on anti-cracking of deep-frozen dumpling[J]. *Food Science & Technology*, 2012(7): 159-161.
- [49] 杜双全, 黄娜. 分析品质改良剂对速冻水饺品质影响[J]. *粮食流通技术*, 2016, 5(9): 76-77.
- [50] YI Jian-hua. Development of a quick-frozen dumpling quality improver[J]. *Science & Technology of Food Industry*, 2006, 27(7): 164-166.
- [51] 李昌文, 刘延奇, 王章存. 添加剂对速冻水饺冻裂率影响的研究[J]. *中国食品添加剂*, 2006(2): 114-116.
- [52] MAFORIMBO E, NGUYEN M, SKURRAY G R. The effect L-ascorbic acid on the rheological properties of soy-wheat dough: a comparison of raw and physically modified soy flours [J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 72(4): 339-345.
- [53] 丁琳, 陈洁, 刘芳丽, 等. 磷酸盐对速冻水饺品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2007, 33(4): 87-90.
- [54] 孙婕, 尹国友, 韩贞凤, 等. 食品添加剂对速冻水饺品质特性的影响[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(6): 3 137-3 139.
- [55] 欧仕益, 李爱军, 杨爱华, 等. 磷酸盐在速冻水饺中的应用[J]. *广州食品工业科技*, 2000, 16(2): 1-3.
- [56] 张良华, 张国东, 孙丛丛, 等. 改良剂对速冻水饺冻裂率及褐变的影响研究[J]. *食品研究与开发*, 2010, 31(1): 24-26.
- [57] XUE Si-wen, ZOU Yu-feng, CHEN Xing, et al. Effects of sodium tripolyphosphate on functional properties of low-salt single-step high-pressure processed chicken breast sausage[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2016, 51(9): 2 106-2 113.
- [58] 朱秀灵, 车振明, 唐洁, 等. 胡萝卜复合磷酸盐去皮试验研究[J]. *食品科技*, 2004(6): 35-38.
- [59] 田龙, 刘亚伟, 王庆林. 淀粉磷酸酯及其在食品工业中的应用[J]. *冷饮与速冻食品工业*, 2005, 11(2): 32-34.
- [60] 许秀峰, 李桂玉. 速冻水饺、速冻汤圆生产缺陷的改善[J]. *冷饮与速冻食品工业*, 2004, 10(3): 36-40.
- [61] 刘延奇, 刘亚恒, 李昌文. 磷酸淀粉对速冻水饺冻裂率与食用品质的影响[J]. *粮食与饲料工业*, 2008(12): 22-24.

- [62] LI Hua, JIAO Xing-li, GUI Xiang, et al. Effects of Food Additives on Rehydration Properties of Frozen Dumpling Wrappers [J]. 农业生物技术: 英文版, 2014, 34(6): 61-66.
- [63] 魏旭晖, 张日生. 面制品改良剂在速冻食品中的应用[J]. 食品工业科技, 2000, 21(5): 65-65.
- [64] 姜忠丽, 李晓坤. 影响馒头品质的因素[J]. 粮食与食品工业, 2004, 11(1): 23-24.
- [65] 李爱军, 欧仕益, 吴敬倡, 等. 磷酸盐在速冻馒头中的应用[J]. 食品科学, 2000, 21(7): 58-60.
- [66] 裴艳花, 刘长虹, 张新奎. 磷酸盐对馒头品质的影响[J]. 粮食加工, 2011, 36(2): 31-32.
- [67] 张国治, 田少君, 李果. 速冻及冻干食品加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 102-108.
- [68] 张剑, 李梦琴, 任红涛, 等. 北方馒头速冻生产工艺条件优化[J]. 食品科学, 2009, 30(16): 166-168.
- [69] 任红涛, 程丽英, 张剑. 速冻南方馒头的研制[J]. 粮食加工, 2006, 31(6): 54-55.
- [70] 李绍虹, 任顺成, 王显伦, 等. 冷冻面团品质改良综述[J]. 食品工业科技, 2009, 30(11): 311-313.
- [71] 李书国, 陈辉, 李雪梅, 等. 复合添加剂改善面包冷冻面团质量的试验研究[J]. 中国粮油学报, 2003, 18(3): 24-27.
- [72] 王佳玮, 李楠, 张坤生. 冷冻面团的组分配比其拉伸性能的影响[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(6): 48-51.
- [73] STEVENS P V, IMAS W, PATERSON J L. Modeling of physical properties of gelatin: gel strength[J]. Food Australia Official Journal of Cafta & Aifst, 1995, 47(4): 167-172.
- [74] 隋欣. 添加剂在冷冻面团中的应用[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(7): 187-188.
- [75] 方坤. 复合改良剂对低温面制品抗老化及防褐变效果的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010: 7-8.
- [76] 吴国勇. 冷冻面团改良剂: CN, 104509558A[P]. 2015-04-15.
- [77] 王明伟, 潘从道, 房伟安. 面包改良剂复合应用的研究[J]. 粮食与饲料工业, 1999(4): 39-41.
- [78] 王坤. 面包品质改良剂的研究[D]. 青岛: 青岛农业大学, 2012: 3-4.
- [79] 杜荣茂. 复配型面包品质改良剂的实验研究[J]. 粮油食品科技, 2005, 13(3): 24-26.
- [80] KUKUROVÁ K, CIESAROVÁ Z, MOGOL B A, et al. Raising agents strongly influence acrylamide and HMF formation in cookies and conditions for asparaginase activity in dough[J]. European Food Research and Technology, 2013, 237(1): 1-8.
- [81] STRUCK S, JAROS D, BRENNAN C S, et al. Sugar replacement in sweetened bakery goods[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2014, 49(9): 1 963-1 976.
- [82] SENGAR G, SHARMA H K. Food caramels: a review[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(9): 1 686-1 696.
- [83] BUCSELLA B, TAKÁCS Á, VIZER V, et al. Comparison of the effects of different heat treatment processes on rheological properties of cake and bread wheat flours[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 990-996.
- [84] WEI Qi, WOLF-HALL C. Application of raisin extracts as preservatives in liquid bread and bread systems[J]. Journal of Food Science, 2009, 74(4): M177-M184.
- [85] CHIN N L, GOH S K, RAHMAN R A, et al. Functional Effect of Fully Hydrogenated Palm Oil-based Emulsifiers on Baking Performance of White Bread[J]. International Journal of Food Engineering, 2007, 3(3): 127-134.
- [86] CABALLERO P A, GOMEZ M, ROSELL C M. Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81(1): 42-53.
- [87] HOURANT P. General properties of the alkaline phosphates: Major food and technical applications[J]. Phosphorus Research Bulletin, 2004, 15(15): 85-94.
- [88] 孙玉婷, 林丹. 食品添加剂之膨松剂简介[J]. 化学教育, 2009, 30(8): 1-2.
- [89] 史宁. 食品加工中膨松剂的应用(综述)[J]. 中国城乡企业卫生, 2002(2): 47-48.
- [90] 郑善强, 余亚飞. 磷酸盐在烘焙食品、海产品及肉制品中的应用研究[J]. 中国食品添加剂, 2007(s1): 240-242.
- [91] 王辉. 磷酸盐在烘焙食品中的应用[J]. 食品工业, 1993(5): 36-37.
- [92] 刘国信. 磷酸盐品质改良剂在食品中的应用[J]. 山东食品发酵, 2007(1): 26-28.
- [93] 高恩军, 李建光. 食品添加剂在面制品中的应用[J]. 食品工程, 2007(3): 20-22
- [94] 余蕾. 新型复合膨松剂[J]. 中国食品添加剂, 2006(3): 128-129.
- [95] CONN J F. Chemical leavening systems in flour products[J]. Cereal Foods World, 1981, 26(3): 119-123.
- [96] BELLIDO G G, SCANLON M G, SAPIRSTEIN H D, et al. Use of a Pressuremeter To Measure the Kinetics of Carbon Dioxide Evolution in Chemically Leavened Wheat Flour Dough [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2008, 56(21): 55-61.
- [97] MANNIE E. Phosphates and Yeasts in Baking[J]. Prepared Foods, 2007, 176(8): 47-54.
- [98] BOOK S, BRILL R. Effects of Chemical Leavening on Yellow Cake Properties 1 [J]. Cereal Foods World, 2015, 60(2): 71-75.
- [99] FERNÁNDEZ-LÓPEZ J, SAYAS-BARBERÁ E, PÉREZ-ALVAREZ J A, et al. Effect of sodium chloride, sodium tripolyphosphate and pH on color properties of pork meat [J]. Color Research & Application, 2004, 29(1): 67-74.
- [100] 白焯明, 王爱枝, 陈松. 磷酸盐在肉制品中的沉淀作用[J]. 肉类工业, 1999(12): 25-26.
- [101] HONG S H, PARK S J, LEE S, et al. Biological effects of inorganic phosphate: potential signal of toxicity[J]. Journal of Toxicological Sciences, 2015, 40(1): 55-69.
- [102] BELL R R, DRAPER H H, TZENG D Y, et al. Physiological responses of human adults to foods containing phosphate additives[J]. Journal of Nutrition, 1977, 107(1): 42-50.