

磷酸盐保水机理及其对水产品保水作用的研究进展

郭祉含¹, 王 崑^{1*}, 贾志慧¹, 仪淑敏¹, 励建荣¹, 李学鹏¹, 郭晓华², 于建洋³, 劳敏军⁴

(1. 渤海大学食品科学与工程学院, 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 国家鱼糜及鱼糜制品加工技术研发分中心, 锦州 121013; 2. 山东美佳集团有限公司, 日照 276800; 3. 荣城泰祥食品股份有限公司, 威海 264309; 4. 浙江兴业集团有限公司, 舟山 316101)

摘 要: 磷酸盐是目前国内外应用最广泛的食品保水剂之一, 磷酸盐及其复配产品常应用在水产品加工以及贮藏过程中, 以提高水产品的保水性, 最大限度减少水分、风味物质及营养成分的流失, 磷酸盐种类繁多, 结构复杂, 中国已允许添加在食品中的磷酸盐共有 16 种, 对水产品的保水效果取决于磷酸盐的添加种类和添加量, 中国明确规定了磷酸盐在不同水产品中的添加量, 在冷水水产品中磷酸盐的添加量不得超过 5 g/kg(以 PO_4^{3-} 计)。磷酸盐可以通过提高肌肉中 pH、螯合金属离子、增大蛋白质的离子强度、促进肌动球蛋白的解离对水产品产生保水作用。由于其价格低廉, 保水效果明显常应用在鱼、虾、贝等水产品中。本文综述了磷酸盐保水剂的研究现状、作用机理及其对水产品保水作用的应用, 以期对磷酸盐在水产品中的应用提供参考。

关键词: 磷酸盐; 保水剂; 水产品; 机理; 应用

Research progress on water retention mechanism of phosphate and its effect on water retention of aquatic products

GUO Zhi-Han¹, WANG Wei^{1*}, JIA Zhi-Hui¹, YI Shu-Min¹, LI Jian-Rong¹, LI Xue-Peng¹,
GUO Xiao-Hua², YU Jian-Yang³, LAO Min-Jun⁴

(1. National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, National R & D Branch Center of Surimi and Surimi Products Processing, College of Food Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121013, China; 2. Shandong Meijia Group Co. Ltd, Rizhao 276800 China; 3. Rongcheng Taixiang Food Co. Ltd., Weihai 264309, China; 4. Zhejiang Xingye Group Co. Ltd., Zhoushan 316101, China)

ABSTRACT: Phosphate is one of the most widely used food water retaining agents at home and abroad. Phosphate and its compound products are often used in aquatic products processing and storage in order to improve the water retention of aquatic products, minimize the loss of moisture, flavor substances and nutrients, there are many kinds of

基金项目: 辽宁省重点研发计划指导计划项目(2017205004)、辽宁省教育厅高水平创新团队(境)外培养项目(辽教函(2018)225号)、中央引导地方科技发展专项资金项目(2018107005)、辽宁省“兴辽英才计划”青年拔尖人才项目(XLYC1807133)

Fund: Supported by the Liaoning Provincial Key Research and Development Plan Guidance Program (2017205004), Liaoning Provincial Department of Education High-level Innovation Team National (Overseas) Training Project (Liaojiaohan (2018) No. 225), Central government-led special fund for science and technology development (2018107005), Liaoning Province “Xingliao Talent Program” Youth Top Talent Project (XLYC1807133)

***通讯作者:** 王崑, 实验师, 主要研究方向为食品加工与质量安全控制。E-mail: ww11812002@163.com

***Corresponding author:** WANG Wei, Experimenter, College of Food Science and Technology, Bohai University, No.19, Keji Road, Taihe District, Jinzhou 121013, China. E-mail: ww11812002@163.com

phosphate and complex structure. There are 16 kinds of phosphate allowed to be added to food in China. The water retention effect of aquatic products depends on the type and amount of phosphate added. China has clearly stipulated the amount of phosphate in different aquatic products, and the amount of phosphate in cold water aquatic products should not exceed 5 g/kg (in terms of PO_4^{3-}). Phosphate can protect aquatic products by increasing the chelating metal ions of pH, in muscle, increasing the ion strength of proteins and promoting the dissociation of actin. Because of its low price, water conservation effect is often used in fish, shrimp, shellfish and other aquatic products. In this paper, the research status, action mechanism and application of phosphate water retaining agent to aquatic products are reviewed in order to provide reference for the application of phosphate in aquatic products.

KEY WORDS: phosphate; water retaining agent; aquatic products; mechanism; application

1 引言

2018年中国渔业经济总产值为 2.54×10^4 亿元, 水产品总产量 6.46×10^3 万吨, 比上年增长 0.19%^[1]。水产品贮藏中一般采取低温冷冻处理, 可导致水产品的汁液流失, 磷酸盐作为一种良好的水分保持剂, 可缓解此现象, 提高水产品的出品率, 减少营养价值的损失等, 作为一种经济有效的保水剂被广泛引用^[2,3]。

1910年在德国, 磷酸盐首次作为添加剂应用在食品中以改善食品品质^[4]。目前磷酸盐保水剂在世界各国被广泛应用, 可用于禽、肉、蛋、水产品、油脂等食品中, 磷酸盐种类繁多, 不同的化学结构决定其不同的种类和性质, 磷酸盐主要分为2类: 正磷酸盐和缩聚磷酸盐(焦磷酸盐、聚磷酸盐、偏磷酸盐、环状磷酸盐和网状磷酸盐等)^[5]。不同的磷酸盐的作用效果不尽相同, 焦磷酸盐的作用效果优于三聚磷酸盐大于六偏磷酸盐^[6]。

适量添加磷酸盐会提高蛋白质的保水性, 食品中结合水的比例增加, 减少水产品贮藏、加工及流通过程中的质量损失, 减少了商家的经济损失, 但也存在不法商家为提高销售利润, 过量使用磷酸盐以增加产品的质量的行为^[7]。

在人体骨骼及牙齿中, 磷约占成年人体重的 1%, 作为重要的组成成分之一, 在细胞核蛋白和酶中普遍存在, 在食品中适当添加磷是有利于人体健康的^[8]。国内外大量学者对磷酸盐进行了毒理学评价, 天然存在及适量添加在食品中的磷酸盐是无毒无害的, 但人体摄入过多的磷会影响钙磷比例使其失衡, 影响钙的吸收, 且会引发部分特殊体质人群产生疾病^[9,10]。因此我国明确规定了磷酸盐作为保水剂在冷冻水产品中的使用标准为 $\leq 5 \text{ g/kg}$ (以 PO_4^{3-} 计)^[11]。

本文对磷酸盐保水剂的作用机理、研究现状及其对水产品保水作用的应用进展作了简要的阐述, 以期对磷酸盐在水产品中的应用提供参考。

2 磷酸盐及其发展现状

2.1 磷酸盐的简介

1669年 Henning Brand 首次发现磷元素, 1941年 Fritz Albert Lipmann 发现三磷酸腺苷对人体非常重要, 被认为是重要的生命能源^[12,13]。作为一种人体必需的元素, 需要从食物中获得, 虽然磷元素对于人体是有益的, 但是过量食用仍然会对人体健康造成影响^[14]。

目前我国食品添加剂国家标准中定可使用的磷酸盐有焦磷酸二氢二钠、磷酸氢钙、聚偏磷酸钾、焦磷酸钠、磷酸氢二铵、磷酸二氢钙、磷酸二氢钾、磷酸氢二钾、磷酸、磷酸三钙、磷酸三钾、磷酸三钠、六偏磷酸钠、三聚磷酸钠、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠。常用的含磷保水剂有三聚磷酸盐, 焦磷酸盐及六偏磷酸盐等^[11]。

2.2 发展现状

上世纪 50 年代起, 磷酸盐在我国食品工业中广泛应用, 近 70 年来, 随着科学研究的深入, 磷酸盐的种类日渐丰富, 其生产技术也得到了相应的改进^[15-18]。在磷酸盐保水剂中钠盐应用较多, 常见的磷酸钠的分类见表 1^[18], 由于单一的磷酸盐保水效果不稳定, 我国更倾向使用复合磷酸盐, 常采用以三聚磷酸钠为基料配以不同的偏、焦磷酸盐, 主要应用在水产品加工、肉制品加工及米面制品等行业^[16]。预期到 2024 年在肉及海产品中的磷酸盐销售量会有所增长可能突破 10 亿美元, 关于磷酸盐新产品的研制会促进工业的发展, 国内占比重较大的为钠基磷酸盐, 食品级磷酸钠将作为增稠剂、膨松剂、酸度调节剂应用于食品工业^[17]。

当前, 国际市场上食品级磷酸盐品种超过 200 种, 种类十分齐全且复配方案居多, 生产工艺良好^[19]。磷酸盐与其他食品添加剂之间的协同作用已经被广泛认同, 在美国, 卡拉胶—磷酸盐体系食品添加剂可生产高蛋白低脂肪的保健食品, 磷酸盐—抗坏血酸复配型改良剂可以有效地抑制脂肪氧化, 美国允许使用的食品级磷酸盐有 31 种, 日本使用的磷酸盐有 26 种^[20]。

表 1 食品添加剂磷酸钠的分类
Table 1 Classification of food additive sodium phosphate

分类	英文缩写	分子式	P ₂ O ₅ %	pH	名称	俗称
正磷酸钠盐	MSP	NaH ₂ PO ₄	59.2	4.4	磷酸二氢钠	磷酸一钠
	DSP	Na ₂ HPO ₄	50.0	9.2	磷酸氢二钠	磷酸二钠
	TSP	Na ₃ PO ₄	43.3	12.0	磷酸三钠	磷酸三钠
	SAPP	Na ₂ H ₂ P ₂ O ₇	66.9	4.1	焦磷酸二氢钠	酸式焦钠
聚磷酸钠盐	TSPP	Na ₄ P ₂ O ₇	64.0	10.2	焦磷酸四钠	焦钠
	STPP	Na ₆ P ₃ O ₁₀	57.9	9.5	三聚磷酸钠	五钠
		Na ₆ P ₄ O ₁₃	60.0	8.0-8.5	四聚磷酸钠	六钠
多聚磷酸钠盐	SHMP	(NaPO ₃) _n	≥68	5.8-6.5	六偏磷酸钠	六偏
	ASHMP	(NaPO ₃) _m ·(HPO ₂) _n	≥74	1.7-2.4	酸式六偏磷酸钠	酸性六钠

3 磷酸盐的保水作用机理

保水剂也称水分保持剂,指在食品加工过程中,加入后可以提高产品的稳定性,保持食品内部持水性,改善食品的形态、风味、色泽等的一类物质^[21]。一种保水剂除了具有保水功能外,有的还具有其他功能,如可作为乳化剂、增稠剂、稳定剂,具有抑菌性及防止饮料氧化浑浊的功能等^[11]。

3.1 磷酸盐提高肌肉的 pH 使蛋白质的等电点上升

动物在死亡之后,各项机能急骤停止,此时肉的 pH 值为 6~7 之间,随着糖酵解作用的进行肌肉达到僵直阶段,pH 值会产生变化,下降至 5.4~5.5,当 pH 值达到最低时为 5.5,此 pH 为多数肌原纤维蛋白的等电点,肌肉保水性会受此影响降到最低,随着解僵的进行 pH 值逐渐增高,偏离了等电点,蛋白净电荷增加,结构疏松,肉的保水性逐渐增大,此时为肉的成熟期,pH 回复到最大值,但仍小于动物刚死亡时的 pH 值^[22]。在磷酸盐的缓冲作用下,肉制品的 pH 值发生变化,肌肉中的肌球蛋白和肌动蛋白会偏移等电点发生溶解,降低或者升高 pH 值都可以提高蛋白质的保水性,磷酸盐溶液通过提高肉的 pH 值,增强蛋白质与水分子之间的作用,使蛋白质持水性增强^[20]。

肉中 70%~80% 的含量是水,其中可移动水(纤维、肌原纤维及膜之间)的变化与肉的保水性相关较大,在衡量对食品保水性的作用时,焦磷酸钠作用效果较好,其中三聚磷酸钠的作用效果仅次于焦磷酸钠,位居第二,六偏磷酸钠最小,因此磷酸盐的种类与保水能力密切相关^[23]。不同种类的磷酸盐保水机制不完全相同,焦磷酸钠保水性最好,原因是当三聚磷酸钠添加到产品中,因三聚磷酸盐水解酶的存在,三聚磷酸钠水解成焦磷酸钠产生保水作用;六偏磷酸钠是通过影响相关酶的生理活性影响焦磷酸钠和三聚磷酸钠的保水效应发挥作用,正是因为不同的磷酸盐

保水机理不同,在添加复合磷酸盐后的鱼排在低场核磁共振图谱中,与空白和单一的磷酸盐组相比,其弛豫时间显著缩短,说明磷酸盐之间具有协同增效效果^[24]。

3.2 磷酸盐螯合金属离子使极性基团暴露

复合磷酸盐可以显著提高水产制品的复水效果,对于蛋白具有一定的保水作用,其与蛋白之间形成酯化交联反应,形成“架桥”结构,也可与糖类形成类似的“架桥”结构,与金属离子形成络合物,增加了产品的色度,不仅影响产品的风味品质,更是对感官品质有着重要的作用^[25]。

磷酸盐可以结合肌肉中的 Ca²⁺、Mg²⁺,肌肉蛋白质的羧基得到释放,肌原纤维蛋白带较多负电荷,与羧基之间的静电斥力加大,蛋白质的结构变得疏松,可以有较大的空间结构吸收大量的水分^[26]。六偏磷酸盐可使水产品的持水性增大,螯合金属离子,提高水产品的品质^[27]。

3.3 磷酸盐增大蛋白质的离子强度,溶解度增大

在产品中添加磷酸盐后会导致蛋白质磷酸化,磷酸化蛋白质的巯基与二硫键之间作用增强,蛋白质的表面疏水性变大,由于相互排斥的作用,磷酸盐基团所带的负电荷会挖掘出隐藏的疏水基团,使其充分地暴露在蛋白质表面,因此磷酸盐会增加肉的离子强度,在贮藏及加工过程中磷酸盐溶液所提供的较强的离子强度有利于肌原纤维蛋白的溶出,其肌原纤维蛋白溶出量会随之增加,肌原纤维蛋白对于水具有良好的保持作用,三聚磷酸钠可以附着在蛋白质分子上,改善蛋白质分子的溶解性,增强与水的结合效果,从而提高保水性^[28,29]。焦、聚磷酸钠盐可通过 Na⁺从副酪蛋白中替换 Ca²⁺,并螯合由此游离出的 Ca²⁺以消除其对副酪蛋白的交联作用,使蛋白结构疏松,持水性增大^[30]。

3.4 磷酸盐解离肌动球蛋白

在水产品中肌原纤维蛋白是主要的蛋白质,肌原纤维蛋白又包括肌球蛋白,肌钙蛋白,肌动蛋白等^[31]。

磷酸盐、焦磷酸盐、三聚磷酸盐能促使肌动球蛋白解离成肌动蛋白和肌球蛋白,肌球蛋白是改善肉持水性的主要成分,肉的持水性增加进而改善肉的嫩度^[32]。正磷酸盐,如无水磷酸二钠,主要具有较高的缓冲能力,可稳定蛋白质 pH,提高溶解度,磷酸盐在肉中与水接触迅速水解,会促使肌动球蛋白的解离,蛋白质发生膨润现象,肉的持水性增加,肉质更嫩,短链的酸性焦磷酸钠具有更好的性能,其作用效果最优^[33]。六偏磷酸钠可以增强肌原纤维蛋白和肌球蛋白的保水性,焦磷酸钠和三聚磷酸钠可以使蛋白的孔径变大,从而提高保水性^[34,35]。

4 磷酸盐保水剂在水产品中的应用

因磷酸盐能够减少水产品贮藏和加工过程中水分和营养成分的流失,提高出品率,而被广泛应用在鱼类、虾类、贝类等水产品中^[36]。

4.1 在鱼类中的应用

在鱼类中,大多使用三聚磷酸盐,焦磷酸盐及六偏磷酸盐,在鱼肉中添加三聚磷酸钠可以有效地提高鱼肉的浸泡增重率,减少蒸煮损失^[37]。这可能是由于多聚磷酸盐的添加减缓了活性巯基的氧化,抑制了二硫键的形成,使蛋白质的保水性提高^[31]。在感官上高浓度的三聚磷酸盐可以使产品的白度值下降^[38]。在鱼糜的质构特性上,三聚磷酸钠、焦磷酸钠对于鱼糜的质构特性具有较好的改善作用,六偏磷酸钠的作用相比之下稍显微弱^[39]。在磷酸盐的研究中,单一的使用磷酸盐的效果弊端逐渐显露,因此常选取多种磷酸盐复合使用的方法来达到预期的效果,或者采取一些新兴的保水剂来代替部分磷酸盐的使用,来避免食品中磷酸盐含量超标的问题^[40]。磷酸盐在鱼糜中应用比较广泛,其对于鱼糜凝胶保水性有一定的影响,焦磷酸钠还可以显著提高鱼糜凝胶的强度和弹性,多聚磷酸钠的效果次之^[41]。

保水性是评价罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)品质的重要影响因素之一,3%的焦磷酸盐可以使鱼肉蛋白结构更紧密,提高蛋白保水性从而提高鱼肉蛋白的品质^[42]。0.3%三聚磷酸盐溶液处理过的罗非鱼鱼糜的盐溶蛋白损失明显减少,肌原纤维蛋白中 Ca^{2+} -ATP 酶活性下降率较低^[43]。多聚磷酸盐对改善水产品保水性作用效果可观,可应用在以低值鱼为原料的加工产品中,这加大了低值鱼的开发利用率^[44]。

六偏磷酸盐—明胶复合物喷雾干燥制备鱼油微胶囊^[45]。在鱼、虾、蟹及蛤类水产品罐头中,常会因现“鸟粪石”类结晶有损罐头质量,对此现象可以用多聚磷酸盐来改善,通过螯合作用防止结晶的产生,可以明显提高罐头质量,目前该添加剂已经被“FDA”批准允许使用,并且在全球范围内获得推广^[46]。六偏磷酸钠应用在鱼肉肠等食品中,可以提高产品的水分保持效果,增强产品的稠度,防

止产品发生脂肪氧化,常用来喷淋腌制鱼肉,不仅使鱼肉具有良好的保水性还可以提高腌制鱼肉的防腐性,六偏磷酸钠具有很强的吸湿性,在复配生产中需要特别注意^[47]。

4.2 在虾类中的应用

肌肉的持水能力直接关系到肉品的质地、嫩度、切片性、弹性、出品率等各项指标和经济价值,决定肌肉持水性的是肌肉的结构蛋白,适量的盐溶液浸渍可以有效地防止水产品冷冻过程中蛋白质变性,从而提高持水性^[47]。将虾仁浸泡在磷酸盐溶液中,焦磷酸钠对于虾仁的浸渍增重率没有明显的影响,但可以明显提高样品解冻后的持水力,三聚磷酸钠的作用效果与其相同,复合磷酸盐溶液的效果优于单一磷酸盐溶液^[48]。

李辉^[49]研究了保水剂对于凡纳对虾(*Penaeus vannamei*)保水性的影响,使用 1.5%焦磷酸钠浸泡虾仁时,明显比只添加盐的组分具有较好的光泽度和浸泡增重率,且在蒸煮后添加磷酸盐组分明显比未添加的水分损失小,其在感官上的鲜度和咸度要更优于无磷酸盐组分。

为了强化鱼、虾及其制品的保水效果,一般采用糖类与磷酸盐复配使用^[50]。现今,白冬等^[51]以冷冻的南美白对虾仁为研究对象,应用复合磷酸盐作对比,发现在贮藏期间可以有效地减缓蛋白质的降解,降低蛋白质损伤率,可作为良好的保水剂改善虾仁在贮藏期间的品质。将红虾在经过三聚磷酸钠和磷酸钠溶液浸泡后进行液氮速冻,冻融后虾仁的品质在解冻损失和蒸煮损失上得到改善,具有较好的感官品质,因此将虾仁浸泡在磷酸盐溶液中可以很好地减少在热加工和冷冻贮藏中的水分损失,更有利于虾仁感官品质的保持^[16]。使用 30%质量分数的六偏磷酸钠,30%质量分数的磷酸氢二钠和 40%质量分数的三聚磷酸钠复配的复合磷酸盐溶液浸泡虾仁时,不同浓度的复合磷酸盐对海捕虾仁剪切力的影响程度不同,其中在 0.5%的磷酸盐溶液作用下虾仁的剪切力较小,失水率较低,添加量也适量,较为经济^[52]。为了提高南美白对虾在贮藏过程中的保水性,常采用氯化钠,焦磷酸钠和三聚磷酸钠对南美白对虾浸泡处理,复合保水剂可以有效的达到预期要求,并且 3 种保水剂的成分对白对虾影响的主次顺序为氯化钠 > 三聚磷酸钠 > 焦磷酸钠^[53]。

4.3 在贝类中的应用

扇贝作为我国重要的水产品资源,滋味鲜美,营养丰富,具有很高的食用价值与药用价值,在扇贝的加工中,常用磷酸盐使扇贝具有良好的复水性,可在贝类蛋花汤中提高贝肉复水性,提升扇贝食用时的感官品质^[54]。为开发我国的扇贝资源,提高贝类附加值,同时促进我国水产品深加工技术的发展,以海湾扇贝和鱼肉为主要原料,以淀粉、大豆分离蛋白、食盐、白砂糖、卡拉胶、复合磷酸盐、谷氨酰胺转氨酶等为辅料,研制具备独特海鲜风味的扇贝

调理食品,其中复合磷酸盐可以较好的保持贝类中的水分,能够最大限度保留产品的风味物质^[55]。

复合磷酸盐具有明显减少贻贝在冷冻条件下的失水率,在产品贮藏时可以显著提高产品品质^[56]。在贮藏紫贻贝(*Mytilus edulis*)时,分别使用三聚磷酸钠,焦磷酸钠以及它们的混合物作为保水剂,pH值与无处理组相比明显升高,三聚磷酸钠处理组在真空包装条件下的氧化速率较低,使用三聚磷酸钠真空包装时,嗜冷菌数较低,同时发现在贮藏15d后,经过磷酸盐处理组的感官值明显比无处理组感官值好,没有明显的腥味及腐败味道,与其他组分相比,2%的三聚磷酸钠处理组在真空包装条件下,具有较低的细菌负荷、TBA指数、较高的保水能力、感官质量和保质期^[57]。

牡蛎(*Ostrea gigas thunberg*)营养丰富,我国的产量和销量均较大,由于其在贮藏过程中的品质变化较大,导致其经济效益不能充分发挥,NaCl 5%(m:V)+三聚磷酸钠 2.0%(m:V)+六偏磷酸钠 0.40%(m:V)的磷酸盐配方,可以使其失水率降低到3.3%(m:V),经过4个月冷冻贮藏,产品各项指标优良^[58]。

除此之外,糖类与复合磷酸盐的协同作用可更好地改善冷冻产品的品质,有效防止组织结构的变形,糖类与0.4%三聚磷酸钠的作用效果最佳,盐类的添加对文蛤冻品的改善效果优于波纹巴非蛤^[59]。

5 结 论

由于我国水产品一般选择冷冻环境下运输和贮存,此时水产品的汁液损失较大,不利于维持水产品的品质和经济价值,因此保水剂的添加尤为重要。

本文简要介绍了我国水产行业的发展现状,磷酸盐在国内外的的发展状况,在水产品中的作用机理及其保水作用的应用,其主要应用在水产品的贮藏和加工中。主要为磷酸盐可以减少水产品解冻时产生的损失,使水产品最大限度保持原有的风味,因磷酸盐具有良好的保水性所以在食品低温冻结时可以保护食品的品质,在制作产品的过程中,例如水产品罐头,在制作时可以避免产生不良的结晶,改善罐头品质。其作用机理主要是:提高肌肉的pH,使蛋白等电点偏离;增加水产品的离子强度,增大蛋白溶解度;螯合金属离子的作用;解离肌动球蛋白。

6 讨 论

6.1 磷酸盐在应用中存在的问题

复合磷酸盐的应用日渐广泛,国家对于磷酸盐的用量标准已经落实,但是标准中并未提及食品中本身所含的磷酸盐,仍存在食品中所含磷酸盐超标的问题,磷酸盐的种类在应用中也会导致不同的使用效果,例如多聚磷酸

盐在使用剂量超标时,会使肉制品出现一种涩味,营养角度人体过量摄入磷酸盐会导致钙磷比失衡,影响钙的吸收。

6.2 磷酸盐的进一步研究方向

部分资料肯定了磷酸盐的营养价值,因为人体中含有大量的磷;部分资料显示过量的磷会影响一些矿物质元素的吸收。目前磷酸盐的添加是否会影响食品的营养品质仍需进一步研究,当前已确定磷酸盐可以改善食品品质,可探究在满足食品品质的前提下减少磷酸盐的使用量,并尝试开发出新型无磷保水剂产品。

参考文献

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 2019年渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社 2019.
Fisheries Administration of the Ministry Of Agriculture. Fishery statistics yearbook 2019 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019.
- [2] 陈怡璇, 焦阳. 冻藏及解冻过程对水产品品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(2): 306-311.
Chen YX, Jiao Y. Effects of frozen preservation and thawing on the quality changes of aquatic products [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(2): 306-311.
- [3] Dong RY, Wang XC, Liu Y, et al. Rapid nondestructive detection of phosphate content in hairtail surimi and surimi-based food (*Kamaboko*) [J]. Spectrosc Spectr Anal, 2013, 33(6): 1542-1546
- [4] 胡先. 一种提高食品质量的添加剂——聚磷酸盐[J]. 杭州师范大学学报(社会科学版), 1993, (6): 67.
Hu X. Polyphosphate: An additive that improves food quality [J]. J Hangzhou Norm Univ (Soc Sci Ed), 1993, (6): 67.
- [5] 李维, 范佳利, 张亚娟, 等. 食品级磷酸盐的应用研究进展及趋势[J]. 安徽农业科学, 2015, (34): 95-96.
Li W, Fan JL, Zhang YJ, et al. The status quo and development trend of applied research on food-grade phosphates [J]. J Anhui Agric Sci, 2015, (34): 95-96.
- [6] Zhang YJ, Yun QU. Current situation and development trend of food grade phosphate industry [J]. Mod Chem Ind, 2010, (8): 110-126.
- [7] Topps C. Methods for processing meat using phosphate free high ph compositions containing salt and sodium carbonate: U.S. Patent Application 14/928,339 [P]. 2016-2-25.
- [8] Watanabe MT, Barretti P, Caramori JCT. Attention to food phosphate and nutrition labeling [J]. J Ren Nutr, 2018, 28(4): 29-31.
- [9] Sekercioglu N, Veroniki AA, Thabane L, et al. Effects of different phosphate lowering strategies in patients with CKD on laboratory outcomes: A systematic review and NMA [J]. Plos One, 2017, 12(3): e0171028.
- [10] 贾凤玉, 刘志红. 慢性肾脏病患者应用磷结合剂的新认识[J]. 肾脏病与透析肾移植杂志, 2014, 23(2): 171-175.
Jia FY, Liu ZH. New advances of phosphate binders in chronic kidney disease patients [J]. Chin J Nephrol Dialy Transplant, 2014, 23(2): 171-175.
- [11] GB 2760-2014 食品添加剂使用标准[S].
GB 2760-2014 Standards for the use of food additives [S].

- [12] Farber E. History of phosphorus [M]. Good Press, 2019.
- [13] 李佩珊. 弗里茨·阿·李普曼—生物活性物辅酶 A 的发现者[J]. 生物学通报, 1988, (4): 46–48.
Li PS, Fritz Albert Lipmann—discoverer of coenzyme A, A bioactive agent [J]. Biologic Bulletin, 1988, (4): 46–48.
- [14] Zhang YY, Qiao XL, Zhu T, *et al.* Study on limit-exceeding problems of phosphate in cooked-meat [J]. Food Sci, 2006, 27(3): 166–168.
- [15] 孟志刚. 从食品级磷酸盐行业的转型升级谈磷化工的发展[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(10): 262.
Meng ZG. Discussion on the development of phosphorus chemical industry from the transformation and upgrading of food grade phosphate industry [J]. Chem Eng Design Communic, 2018, 44(10): 262.
- [16] Sun Y, Zhang M, Bhandari B, *et al.* Ultrasound treatment of frozen crayfish with chitosan Nano-composite water-retaining agent: Influence on cryopreservation and storage qualities [J]. Food Res Int, 2019, 126(16): 108670–108694.
- [17] 贾磊. 食品级磷酸盐未来市场概况(2018-2024 年)[J]. 无机盐工业, 2019, (1):84–84.
Jia L. Food Grade Phosphate Future Market Profile (2018-2024) [J]. Inorgan Salt Ind, 2019, (1): 84–84.
- [18] 马仲明, 和仕堂, 熊永红, 等. 食品添加剂磷酸钠盐装置的柔性化改造[J]. 无机盐工业, 2004, (2):39–42.
Ma ZM, He ST, Xiong YH, *et al.* A flexible reforming of plant for the food additive sodium phosphate production [J]. Inorgan Chem Ind, 2004, (2): 39–42.
- [19] 张文婷, 李婕, 陈健. 三聚磷酸盐提高罗非鱼鱼糜抗冻性研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(8): 15–19.
Zhang WT, Li J, Chen J. Study on tripolyphosphate in improving freezing denaturation of tilapia Surimi [J]. Food Res Dev, 2018, 39(8): 15–19.
- [20] 李宝升, 王修俊, 邱树毅, 等. 磷酸盐及其在食品中的应用[J]. 中国调味品, 2009, 34(7): 38–41.
Li BS, Wang XJ, Qiu SY, *et al.* Phosphates and application of phosphates in food [J]. Chin Cond, 2009, 34(7): 38–41.
- [21] Watanabe MT, Barretti P, Caramori JCT. Attention to food phosphate and nutrition labeling [J]. J Ren Nutr, 2018, 28(4): 29–31.
- [22] Flores LM, Sumner SS, Peters DL, *et al.* Evaluation of a phosphate to control pathogen growth in fresh and processed meat products [J]. J Food Protect, 1996, 59(4): 356–359.
- [23] Yasui T, Sakanishi M, Hashimoto Y. Phosphate effects on meat, effect of inorganic polyphosphates on solubility and extractability of myosin B [J]. J Agric Food Chem, 1964, 12(5): 392–399.
- [24] Etemadian Y, Shabanpour B, Mahoonak ARS, *et al.* Cryoprotective effects of polyphosphates on *Rutilus frisii* kutum filets during ice storage [J]. Food Chem, 2011, 129(4): 1544–1551.
- [25] Li H, Jiao X, Gui X, Xiong Y, *et al.* The effects of food additives on the rehydration properties of frozen dumpling wrappers [J]. Agric Biotechnol, 2014, 3(6): 61–66.
- [26] Zamore PD, Hutvagner G, Schwarz D, *et al.* Compositions for RNA interference and methods of use thereof: U.S. Patent 9,611,472 [P]. 2017-4-4.
- [27] Li CP, Hirofumi E, Yoko H. Recent advances in phosphorylation of food proteins: A review [J]. LWT - Food Sci Technol, 2010, (43): 1295–1300.
- [28] Gon Alves AA, José Luis Duarte Ribeiro. Effects of phosphate treatment on quality of red shrimp (*Pleoticus muelleri*) processed with cryomechanical freezing [J]. LWT - Food Sci Technol, 2009, 42(8): 1435–1438.
- [29] 汪兰, 曾俊杰, 吴文锦, 等. 不同冻藏温度对鲈鱼品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 293–298.
Wang L, Zeng JJ, Wu WJ, *et al.* Effect of different frozen storage temperatures on quality of perch [J]. Food Ind Technol, 2018, 39(21): 293–298.
- [30] Cini N, Ball V. Polyphosphates as inorganic polyelectrolytes interacting with oppositely charged ions, polymers and deposited on surfaces: fundamentals and applications [J]. Adv Colloid Interfac Sci, 2014, 209(7): 84–97.
- [31] 欧阳杰, 谈佳玉, 沈建, 等. 浸渍冻结大黄鱼贮藏期间品质变化研究[J]. 南方水产科学, 2013, 9(6): 72–77.
Ou YJ, Tan JY, Shen J, *et al.* Quality changes of immersion freezing *Pseudosciaena crocea* during storage [J]. South China Fish Sci, 2013, 9(6): 72–77.
- [32] Wang L, Long Z, Huang X, *et al.* Recovery of rare earths from wet-process phosphoric acid [J]. Hydrometallurgy, 2010, 101(1–2): 41–47.
- [33] Pathania S, Parmar P, Tiwari B K. Stability of Proteins During Processing and Storage [M]. Cambridge: Massachusetts: Academic Press, 2019.
- [34] Lampila LE, McMillin KW. Phosphorus additives in food processing [M]. New York: Springer, 2017.
- [35] Thangavelu KP, Kerry JP, Tiwari B, *et al.* Systematic review of novel processing technologies and ingredients for the reduction of phosphate additives in processed meat [J]. Trend Food Sci Technol, 2019, 12(94): 43–53.
- [36] Omar SD, Yang JE, Oh SC, *et al.* Physiochemical changes and optimization of phosphate-treated shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using response surface methodology [J]. Prev Nutr Food Sci, 2016, 21(1): 44–51.
- [37] 冯慧, 薛长湖, 高瑞昌, 等. 多聚磷酸盐在冷冻罗非鱼肉中的降解及其对鱼肉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2008, (9): 239–241.
Feng H, Xue CH, Gao RC, *et al.* Effect of polyphosphate hydrolysis on properties of frozen Tilapia muscle [J]. Sci Technol Food Ind, 2008, (9): 239–241.
- [38] Schröder U. Changes in phosphate and water content during processing of salted Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) [J]. J Aquat Food Prod Technol, 2010, 19(1): 16–25.
- [39] Yasui T, Sakanishi M, Hashimoto Y. Phosphate effects on meat, effect of inorganic polyphosphates on solubility and extractability of myosin B [J]. J Agric Food Chem, 1964, 12(5): 392–399.
- [40] Schröder U. Changes in phosphate and water content during processing of salted Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) [J]. J Aquat Food Prod Technol, 2010, 19(1): 16–25.
- [41] 胡坤, 李栋燕, 余烈辉, 等. 多糖与磷酸盐对草鱼鱼糜凝胶特性影响的研究[J]. 肉类工业, 2010, (5): 12–15.
Hu K, Li DY, She LH, *et al.* Effects of polysaccharides and phosphates on gel properties of grass carp surimi [J]. Meat Ind, 2010, (5): 12–15.
- [42] Fisher RA. Crystalline precipitates in bay scallops (*Argopecten irradians*) imported from China [J]. J Aquat Food Prod Technol, 1994, 3(2): 57–70.
- [43] Unal SB, Erdogdu F, Ekiz HI, *et al.* Experimental theory, fundamentals

- and mathematical evaluation of phosphate diffusion in meats [J]. *J Food Eng*, 2004, 65(2): 263–272.
- [44] Theno DM, Siegel DG, Schmidt GR. Meat massaging: effects of salt and phosphate on the ultrastructure of cured porcine muscle [J]. *J Food Sci*, 2010, 43(2): 488–492.
- [45] Ladwig KM, Knipe CL, Sebranek JG. Effects of collagen and alkaline phosphate on time of chopping, emulsion stability and protein solubility of fine-cut meat systems [J]. *J Food Sci*, 2010, 54(3): 541–544.
- [46] 米红波, 李政翰, 李岩, 等. 外源添加物在鱼糜制品中的应用研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2019, (15): 349–355.
- Mi HB, Li ZH, Li Y, *et al.* Research progress of the application of exogenous additives in surimi products [J]. *Food Ind Technol*, 2019, (15): 349–355.
- [47] Oliveira MÉS, Gonçalves AA. The effect of different food grade additives on the quality of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) after two freeze-thaw cycles [J]. *LWT*, 2019, 113(8): 115–121.
- [48] Wang ZC, Lu Y, Yan Y, *et al.* Effective inhibition and simplified detection of lipid oxidation in tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets during ice storage [J]. *Aquaculture*, 2019, 511(8): 339–345.
- [49] 李辉. 保水剂对南美白虾产品品质的影响 [J]. *现代食品*, 2017, 10(19): 111–114.
- Li H. Effect of Super Absorbent Polymers on the Quality of White Shrimp in South America [J]. *Mod Food*, 2017, 10(19): 111–114.
- [50] 沈彪, 胡兴娟, 徐君辉, 等. 水产品中添加剂多聚磷酸盐抗菌效果的研究 [J]. *食品科学*, 2010, 31(21): 54–57.
- Shen B, Hu XJ, Xu JH, *et al.* Antimicrobial effect of polyphosphate additives in fishery product [J]. *Food Sci*, 2010, 31(21): 54–57.
- [51] 白冬, 郑炜, 梁佳, 等. 海藻糖类抗冻保水剂对冻藏南美白对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 品质的影响 [J]. *食品工业科技*, 2018, 39(6): 286–290.
- Bai D, Zheng W, Liang J, *et al.* Effects of trehalose antifreeze agent on quality of *Litopenaeus vannamei* during frozen storage [J]. *Food Ind Technol*, 2018, 39(6): 286–290.
- [52] 宋佳, 淑英, 敖冉, 等. 几种添加剂对南美白对虾保水性的研究 [J]. *食品工业科技*, 2016, 37(1): 293–296.
- Song J, Shu Y, Ao R, *et al.* Studies of several kinds of additives on water-holding capacity of *Penaeus vannamei* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 37(1): 293–296.
- [53] 汤俊杰, 段振华, 杨丽娟. 扇贝的加工利用研究进展 [J]. *食品工业*, 2013, (5): 191–194.
- Tang JJ, Duan ZH, Yang LJ. Research Progress in the Processing and Exploitation of Scallop [J]. *Food Ind*, 2013, (5): 191–194.
- [54] 赵祥忠, 张合亮, 王振华, 等. 提高贝类蛋花汤中贝肉复水性的工艺研究 [J]. *齐鲁工业大学学报(自然科学版)*, 2014, (2): 51–54.
- Zhao XZ, Zhang HL, Wang ZH, *et al.* Research on improving rehydration of shellfish meat in egg drop soup [J]. *J Shandong Inst Light Ind (Nat Sci Ed)*, 2014, (2): 51–54.
- [55] Venugopal V, Gopakumar K. Shellfish: Nutritive value, health benefits, and consumer safety [J]. *Comprehens Rev Food Sci Food Saf*, 2017, 16(6): 1219–1242.
- [56] Miget RJ. Shellfish handling practices: shrimp and mollusks [M]. New York: Southern Regional Aquaculture Center, 2010.
- [57] Nevsad A, Azhaarudeen S, Doerr N, *et al.* Initial damage mechanism and running-in behaviour of phosphate conversion coatings [C]. *Key Engineering Materials*. Trans Tech Publications, 2017, 721: 356–361.
- [58] Cho MG, Bae SM, Jeong JY. Egg shell and oyster shell powder as alternatives for synthetic phosphate: Effects on the quality of cooked ground pork products [J]. *Korean J Food Sci Anim Res*, 2017, 37(4): 571–578.
- [59] 李敏, 关志强, 蒋小强. 抗冻剂对冻藏文蛤和波纹巴非蛤结构的影响 [J]. *食品研究与开发*, 2013, 34(5): 119–123.
- Li M, Guan ZQ, Jiang XQ. Effects of cryoprotection conditions on texture structure of freezing meretrix linnaeus and paphia undulate [J]. *Food Res Dev*, 2013, 34(5): 119–123.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



郭祉含, 硕士, 主要研究方向为食品加工与安全。

E-mail: gzh960290@163.com



王 崑, 实验师, 主要研究方向为食品加工与质量安全控制。

E-mail: ww11812002@163.com