

磷酸盐对全蛋液鸡蛋干质构和色泽特性的影响

王也, 黄茜*, 马美湖

(华中农业大学食品科技学院, 蛋品加工技术国家地方联合工程研究中心, 湖北武汉 430070)

摘要: 本文重点研究了焦磷酸钠、六偏磷酸钠、三聚磷酸钠对于全蛋液鸡蛋干质构指标以及色度的影响。三种磷酸盐可以显著改善鸡蛋干的质构特性和色泽。正交实验结果表明: 影响鸡蛋干质构和色泽的主次顺序为焦磷酸钠 > 六偏磷酸钠 > 三聚磷酸钠。复合磷酸盐配方为: 三聚磷酸钠添加量 0.174%, 六偏磷酸钠添加量为 0.141%, 焦磷酸钠添加量为 0.124% 时, 全蛋液鸡蛋干的品质特性达到最佳, 主要质构参数硬度、弹性和色度值 L^* 分别为 848.762 g, 0.923 和 78.98。

关键词: 磷酸盐, 鸡蛋干, 质构, 色泽

Effect of phosphates on the texture and color of whole egg

WANG Ye, HUANG Xi*, MA Mei-hu

(College of Food Science and Technology of Huazhong Agricultural University, National & Local Joint Engineering Research Center for Egg Processing, Wuhan 430070, China)

Abstract: The effect of sodium pyrophosphate, sodium hexametaphosphate, sodium tripolyphosphate on the texture and color of egg curd were studied in this paper. The texture and color character of egg curd could be improved significantly by three kinds of phosphates. The results revealed that the influencing order for the texture and color of egg curd was: sodium pyrophosphate > sodium hexametaphosphate > sodium tripolyphosphate. When the adding amounts were 0.174% (sodium tripolyphosphate), 0.141% (sodium hexametaphosphate) and 0.124% (sodium pyrophosphate), the texture and color of egg curd were better, namely, the hardness, springness and color value could reach 848.762 g, 0.923 and 78.98 respectively.

Key words: phosphate; egg curd; texture; color

中图分类号: TS253

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2015)15-0265-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.15.047

鸡蛋干是以鸡蛋液为原料, 经过香辛卤料卤制得到的一种营养丰富、口感独特的蛋制品, 其外观与色泽与传统的豆腐干类似, 但营养更丰富, 风味更佳。鸡蛋干既可以作为餐桌上的食材, 被烹饪为多种风味的美味佳肴, 也可以被加工为方便新型小吃, 应用广泛^[1]。在鸡蛋干的各项指标中, 质构和色泽是消费者敏感程度最高的重要感官评价指标, 对产品的品质有重要影响。

磷酸盐作为食品工业中一种常用的食品添加剂, 广泛应用于肉制品、烘焙制品、粮油制品和海产品中^[2-3]。在肉制品加工中应用的主要是六偏磷酸钠、焦磷酸钠、三聚磷酸钠和磷酸二钠及四者的混合物^[4], 主要作用是提高持水性和改善肉制品的质构, 同时具有调节 pH、乳化、缓冲、螯合金属离子及抗氧

化的能力^[5]。本文以全蛋液为原料, 加入了焦磷酸钠、三聚磷酸钠和六偏磷酸钠作为品质改良剂, 探究其对鸡蛋干质构和色泽的影响, 为全蛋液的工艺开发和品种改良提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜褐壳鸡蛋 武汉九峰山养鸡场; 焦磷酸钠、六偏磷酸钠、三聚磷酸钠 湖北新发化工集团股份有限公司。

CR-400 色彩色差计 翁开尔有限公司; DHG-9240A 电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司; TA-XT plus 质构分析仪 英国 Stable Micro Systems 公司; WK2102 美的电磁炉 广东美的生活电器制造有限公司; JY601 电子天平 上海良平仪器

收稿日期: 2014-11-05

作者简介: 王也(1990-), 男, 硕士在读, 研究方向: 蛋白科学技术, E-mail: onccwy@sina.com。

* 通讯作者: 黄茜(1984-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 蛋品科学, E-mail: huangxi@mail.hzau.edu.cn。

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303084); 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-41-K23)。

仪表有限公司; starter 3C pH 计 奥豪斯仪器有限公司; HM-885 东菱打蛋器 广州东菱电器有限公司; W205C 恒温水浴锅 常州诺基仪器有限公司。

1.2 鸡蛋干制作方法

1.2.1 全蛋液的制取 工艺流程如下:

原料挑选→清洗消毒→打蛋→蛋液预处理→装模蒸制→
卤制→烘干→真空包装

↑
卤料配置

分别加入质量浓度为 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5% (原料蛋液计) 的焦磷酸钠, 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5% (原料蛋液计) 的六偏磷酸钠、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5% (原料蛋液计) 的三聚磷酸钠 (用蛋液重量 5% 的蒸馏水溶解均匀), 仅加入蒸馏水的一组作为对照, 打蛋机搅拌 5 min 使全蛋液混合均匀。将已搅打均匀的蛋液依次通过 30 目和 200 目的过滤网过滤, 除去系带和气泡, 将过滤后的蛋液倒入特定模具中定量灌装, 厚度为 1 cm, 质量为 90 g。

1.2.2 蒸制 将蛋液连同模具放入蒸锅中蒸煮, 设定电磁炉于蒸煮功率, 蒸煮时间 18 min。

1.2.3 卤制及烘制 将熟制完全的鸡蛋干脱模, 放入恒温卤煮锅内加卤水继续卤制一段时间, 要求卤水没过鸡蛋干。卤料基础配方^[6] 如下: 老抽酱油 2%、食盐 2.5%、食用油 0.5%、糖 3%、八角 0.6%、甘草 0.6%、小茴香 0.6%、花椒 0.45%、桂皮 0.45%、生姜 0.45%、丁香 0.03% (质量分数以水计)。卤制过程中须将香辛料用纱布包起来, 防止香辛料漏出影响鸡蛋干外观。设定恒温水浴锅温度为 90 °C, 卤制时间为 90 min。卤制完成后在 60 °C 条件下烘制 15 min。

1.3 质构指标的测定

对卤制后的产品采用 TPA 模式进行质构分析。TPA 质构测试又被称为 2 次咀嚼测试, 主要是通过模拟口腔的咀嚼运动, 分析样品的各项质构参数。质构测定采用英国 Stable Micro Systems 公司生产的 TA-XT plus 质构分析仪。

使用铝合金模具, 将已卤制鸡蛋干切割为直径 1 cm 高 1 cm 的圆柱体, 采用 P0.5 探头, 平行 5 次测定相关质构指标: 硬度、胶黏性、咀嚼性、内聚性、弹性、回复性。质构测定参数: 测前速度 5 mm/s; 测后速度 5 mm/s; 在测试速度 1 mm/s; 压缩模式: 压缩样品到原高度的 50%, 压缩力 5 g。

1.4 色度值的测定

取已卤制的鸡蛋干成品, 从厚度 0.5 cm 处用刀切为两半, 然后将其切分 2 cm × 2 cm 小块, 用色度仪测定其色度值 L^* 、 a^* 、 b^* , 每组样品测 4 个平行。

1.5 磷酸盐正交实验设计

1.5.1 正交实验表的设计 选用 $L_9(3^4)$ 正交表。实验设计见表 1, 进行正交组合实验。由于三聚磷酸钠 ($Na_3P_3O_{10}$)、六偏磷酸钠 ($Na_6P_6O_{18}$)、焦磷酸钠 ($Na_2P_2O_7$) 相对分子量不同, 磷酸盐起主要作用的基团是磷酸基团, 正交实验的分组主要以 P 元素的物质的量为基准。

表 1 正交实验设计

Table 1 Orthogonal experiment design

实验号	因素		
	A 三聚磷酸钠	B 六偏磷酸钠	C 焦磷酸钠
1	1(0.058%)	1(0.047%)	1(0.062%)
2	1	2(0.094%)	2(0.124%)
3	1	3(0.141%)	3(0.186%)
4	2(0.116%)	2	3
5	2	3	1
6	2	1	2
7	3(0.174%)	3	2
8	3	1	3
9	3	2	1

1.5.2 正交实验结果处理 在多指标正交实验设计分析过程中, 由于硬度、弹性是鸡蛋干质构特性最典型的指标, 亮度值 L^* 是鸡蛋干色度值的显著指标, 三者能较好地说明产品的品质特征, 所以采用直观分析中的综合评分法, 计算出各个指标的隶属度, 再根据硬度、弹性和亮度值 L^* 分别占比, 50%、30%、20%, 可计算出各个实验方案的综合得分^[7]。

各指标的隶属度 = (指标值 - 指标最小值) / (指标最大值 - 指标最小值)

综合评分 = 硬度隶属度 × 0.5 + 弹性隶属度 × 0.3 + 亮度值 × 0.2

1.6 统计分析

运用 SPASS19.0 数据分析软件, 采用 Duncan 新复极差法进行差异显著性分析, 对正交实验结果进行极差分析。差异显著性表示为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 磷酸盐对鸡蛋干质构参数的影响

本研究重点探讨了在 GB2760-2011 规定可以添加到热凝固蛋制品中的三种磷酸盐 (焦磷酸钠、三聚磷酸钠、六偏磷酸钠) 对鸡蛋干质构的影响, 其添加量不超过国家标准的最高限量 0.5%。由表 2~表 4 可知, 相较于对照组, 加入磷酸盐之后, 鸡蛋干的硬度、胶黏性、咀嚼性、内聚性、弹性、回复性均具有改善。

由表 2~表 4 可知, 随着焦磷酸盐、三聚磷酸盐、六偏磷酸盐添加量的提高, 鸡蛋干的硬度有呈现先上升后下降的趋势。其中, 焦磷酸钠和六偏磷酸钠对鸡蛋干硬度的影响要大于三聚磷酸钠。焦磷酸钠和三聚磷酸钠的添加量达到 0.3% 时, 鸡蛋干硬度达到最大值, 分别为 795.891 g 和 677.652 g; 而六偏磷酸钠的添加量达到 0.2% 时, 硬度最大为 788.113 g。由于三种磷酸钠的相对分子量大小不同, 同等质量下所含磷酸基团的数量就不尽相同。焦磷酸钠和三聚磷酸钠溶液偏碱性, 加入全蛋液后, 能够调节鸡蛋干体系的 pH 来达到改善凝胶强度的目的, 两种磷酸钠调节 pH 能力的差异造成凝胶强度改善程度的深浅。六偏磷酸钠分子中的六个磷酸基团呈环状结构, 金属离子螯合能力强, 能够乳化脂质, 使蛋黄脂质均匀地分散在蛋液中, 有利于形成更好的凝胶

表2 焦磷酸钠添加量对鸡蛋干质构的影响

Table 2 Effect of sodium pyrophosphate on the texture of egg curd

添加量 (%)	硬度 (g)	胶黏性 (g)	咀嚼性 (g)	回复性	弹性	内聚性
0.0	478.905 ± 17.389 ^d	321.883 ± 10.702 ^d	279.213 ± 12.256 ^d	0.348 ± 0.005 ^d	0.867 ± 0.012 ^c	0.672 ± 0.003 ^c
0.1	623.803 ± 19.975 ^c	418.920 ± 13.288 ^c	374.880 ± 15.166 ^c	0.359 ± 0.003 ^c	0.895 ± 0.01 ^b	0.672 ± 0.002 ^c
0.2	710.017 ± 33.875 ^b	500.027 ± 25.702 ^b	453.886 ± 22.922 ^b	0.393 ± 0.004 ^b	0.908 ± 0.012 ^a	0.704 ± 0.004 ^a
0.3	795.891 ± 13.301 ^a	549.101 ± 9.136 ^a	500.653 ± 11.395 ^a	0.388 ± 0.001 ^a	0.912 ± 0.006 ^a	0.690 ± 0.002 ^{ab}
0.4	722.636 ± 26.362 ^b	496.679 ± 22.048 ^b	455.554 ± 20.538 ^b	0.381 ± 0.007 ^b	0.917 ± 0.008 ^a	0.687 ± 0.007 ^b
0.5	731.79 ± 20.707 ^b	509.597 ± 14.894 ^b	470.590.790 ± 12.701 ^b	0.386 ± 0.005 ^b	0.924 ± 0.006 ^a	0.696 ± 0.002 ^b

注:平均数 ± 标准差, $n=5$; 不同字母表示不同浓度焦磷酸钠之间的差异显著性 ($p < 0.05$), 表3、表4同。

表3 三聚磷酸钠添加量对鸡蛋干质构的影响

Table 3 Effect of sodium tripolyphosphate on the texture of egg curd

添加量 (%)	硬度 (g)	胶黏性 (g)	咀嚼性 (g)	回复性	弹性	内聚性
0.0	478.905 ± 17.389 ^c	321.883 ± 10.702 ^c	279.213 ± 12.256 ^c	0.348 ± 0.005 ^c	0.867 ± 0.012 ^c	0.672 ± 0.003 ^b
0.1	560.455 ± 13.037 ^d	371.410 ± 9.499 ^d	326.308 ± 7.370 ^d	0.349 ± 0.01 ^c	0.879 ± 0.005 ^c	0.663 ± 0.002 ^c
0.2	609.747 ± 17.536 ^c	416.582 ± 15.010 ^c	373.950 ± 13.802 ^c	0.369 ± 0.003 ^b	0.898 ± 0.009 ^b	0.683 ± 0.006 ^a
0.3	677.652 ± 15.115 ^a	464.736 ± 14.296 ^a	427.351 ± 17.165 ^a	0.376 ± 0.003 ^a	0.919 ± 0.11 ^a	0.686 ± 0.006 ^a
0.4	646.206 ± 15.000 ^b	443.618 ± 10.042 ^b	403.857 ± 10.340 ^b	0.368 ± 0.003 ^b	0.910 ± 0.012 ^a	0.687 ± 0.002 ^a
0.5	653.98 ± 14.389 ^b	448.980 ± 11.488 ^b	410.049 ± 13.359 ^b	0.371 ± 0.002 ^b	0.913 ± 0.007 ^a	0.687 ± 0.005 ^a

表4 六偏磷酸钠添加量对鸡蛋干质构的影响

Table 4 Effect of sodium hexametaphosphate on the texture of egg curd

添加量 (%)	硬度 (g)	胶黏性 (g)	咀嚼性 (g)	回复性	弹性	内聚性
0.0	478.905 ± 17.389 ^f	321.883 ± 10.702 ^c	279.213 ± 12.256 ^c	0.348 ± 0.005 ^c	0.867 ± 0.012 ^c	0.672 ± 0.003 ^c
0.1	602.924 ± 13.717 ^e	406.924 ± 12.517 ^d	360.896 ± 13.313 ^d	0.357 ± 0.004 ^b	0.887 ± 0.006 ^{ab}	0.675 ± 0.005 ^{bc}
0.2	788.113 ± 7.796 ^a	530.074 ± 5.427 ^a	476.965 ± 6.192 ^a	0.350 ± 0.002 ^{bc}	0.900 ± 0.008 ^a	0.674 ± 0.004 ^{bc}
0.3	745.274 ± 44.04 ^a	510.149 ± 16.118 ^b	454.183 ± 18.658 ^a	0.358 ± 0.010 ^b	0.890 ± 0.015 ^{ab}	0.683 ± 0.013 ^b
0.4	709.848 ± 11.11 ^c	493.117 ± 13.198 ^b	440.167 ± 15.484 ^a	0.374 ± 0.004 ^a	0.893 ± 0.009 ^{ab}	0.694 ± 0.009 ^a
0.5	675.291 ± 27.773 ^d	474.458 ± 19.072 ^c	419.168 ± 18.143 ^c	0.376 ± 0.005 ^a	0.883 ± 0.011 ^b	0.703 ± 0.003 ^a

结构^[8]。

鸡蛋蛋白质热诱导凝胶的形成是一个多元的过程,其实质是蛋白质分子的高度聚集,分子的吸引力和排斥力平衡,形成能够保持水分的三维空间网状结构,形成和维持凝胶的是疏水相互作用力^[9]。磷酸盐的添加一方面可以通过调节产品体系的pH^[10],偏离等电点,从而增加蛋白质表面电荷量,使蛋白质的交联作用增强,从而增大鸡蛋蛋白质的凝胶强度^[11]。另一方面,磷酸根为多价阴离子化合物,在低浓度时即具有较高的离子强度,由于蛋白质表面基团带有负电荷,与磷酸根基团互斥,使蛋白质结构更加舒张,疏水基团更容易暴露,造成凝胶结构强度增大。另外,疏水基团的暴露有助于二硫键的形成,从另一方面改善了蛋液的凝胶功能^[12]。

由表2~表4可知,磷酸盐的添加显著提高了鸡蛋干的弹性。在三种磷酸盐中,焦磷酸钠对鸡蛋干弹性的影响最大。随着焦磷酸钠添加量的增大,鸡蛋干的弹性逐渐上升,焦磷酸钠含量为0.5%时弹性达到最大值。随着三聚磷酸钠和六偏磷酸钠添加量的增大,弹性先增大后减小,分别在添加量为0.3%和0.2%时达到最大值。在三种磷酸盐中,焦磷酸钠对鸡蛋干质构的影响最大。随着磷酸盐的加入,鸡蛋干凝胶的持水性显著增强,水分子与凝胶网状结

构更牢固,胶束的紧密度增加,从而使弹性增大。

由表2~表4可知,磷酸盐的添加对鸡蛋干的回复性提升作用不明显。由质构参数定义可知胶黏性和咀嚼性与硬度、弹性和内聚性相关,磷酸盐对两者的影响程度与硬度基本一致。

2.2 磷酸盐对鸡蛋干色度值的影响

由表5~表7可知,不同磷酸盐添加量条件下,鸡蛋干的亮度值、红度值、黄度值之间均具有显著性差异。随着磷酸盐添加量的增大,亮度值L*和黄度值b*显著上升,随后趋于平缓;可以看到,三聚磷酸钠和六偏磷酸钠对于L*的影响要远大于焦磷酸盐。对于红度值a*来说,随着磷酸盐添加量的上升,a*值先显著下降,于添加量0.3%时达到最低值,再有所回升。我们发现,未加入磷酸盐的鸡蛋干卤煮后呈淡青色。加入三种磷酸钠后,红度值降低,呈偏绿趋势。黄度值随磷酸盐含量的增加显著上升,三聚磷酸钠对黄度值的改善最为明显,加入浓度为0.5%,b*值约增长了一倍达到36.6。整体而言,黄度值的增长幅度远远大于红度值的降低幅度,从感官评价的角度来看,鸡蛋干色泽呈亮黄色。因此,结合色度数值和感官颜色来看,加入磷酸盐后产品颜色得到明显改善。

表5 焦磷酸钠添加量对鸡蛋干色度值的影响

Table 5 Effect of sodium hexametaphosphate on the color of egg curd

焦磷酸钠 添加量 (%)	L* 值	a* 值	b* 值
0	69.97 ± 0.21 ^d	-4.72 ± 0.15 ^a	14.74 ± 0.67 ^f
0.1	74.83 ± 0.34 ^c	-5.47 ± 0.14 ^b	22.47 ± 0.64 ^e
0.2	75.45 ± 0.68 ^c	-6.71 ± 0.22 ^c	25.83 ± 0.81 ^d
0.3	75.32 ± 0.09 ^c	-7.68 ± 0.08 ^f	26.81 ± 0.31 ^e
0.4	79.07 ± 0.22 ^b	-6.34 ± 0.05 ^d	32.35 ± 0.70 ^a
0.5	79.99 ± 1.24 ^a	-5.92 ± 0.22 ^c	30.52 ± 0.48 ^b

注:平均数 ± 标准差, $n=4$; 不同字母表示不同浓度焦磷酸钠之间的差异显著性($p < 0.05$), 表6、表7同。

表6 三聚磷酸钠添加量对鸡蛋干色度值的影响

Table 6 Effect of sodium hexametaphosphate on the color of egg curd

三聚磷酸钠 添加量 (%)	L* 值	a* 值	b* 值
0	69.97 ± 0.21 ^d	-4.72 ± 0.15 ^a	14.74 ± 0.67 ^f
0.1	79.10 ± 0.49 ^c	-6.84 ± 0.38 ^{bc}	25.72 ± 0.56 ^e
0.2	79.15 ± 0.74 ^c	-7.38 ± 0.28 ^d	27.05 ± 0.92 ^d
0.3	79.49 ± 0.20 ^c	-8.26 ± 0.19 ^c	29.05 ± 0.44 ^c
0.4	81.28 ± 0.26 ^b	-7.16 ± 0.35 ^{cd}	31.10 ± 0.48 ^b
0.5	82.53 ± 0.87 ^a	-6.61 ± 0.40 ^b	36.60 ± 1.31 ^a

新鲜鸡蛋中的颜色主要取决于蛋黄的颜色, 而蛋黄颜色主要受沉积其中的类胡萝卜素影响^[13]。传统蛋制品在经加热处理之后, 蛋黄颜色改变不大, 蛋白质含硫氨基酸降解产生 S^{2-} , 与金属离子结合生成金属硫化物^[14], 同蛋黄的黄色素复合作用形成视觉上的黄绿色。磷酸盐对鸡蛋干色度值的影响主要是由其良好的金属离子螯合能力引起的。一方面, 随

着多聚磷酸盐的加入, 大量阴离子作用与金属离子 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 形成络合物, 减少金属硫化物的产生避免鸡蛋干产生不良色泽。另一方面, 磷酸盐的添加提高了鸡蛋干的持水性^[15], 让鸡蛋干切面色泽更加光亮。

表7 六偏磷酸钠添加量对鸡蛋干色度值的影响

Table 7 Effect of sodium hexametaphosphate on the color of egg curd

六偏磷酸钠 添加量 (%)	L* 值	a* 值	b* 值
0	69.97 ± 0.21 ^d	-4.72 ± 0.15 ^a	14.74 ± 0.67 ^d
0.1	80.31 ± 0.85 ^{bc}	-6.97 ± 0.17 ^b	25.66 ± 0.55 ^c
0.2	79.51 ± 0.66 ^c	-6.70 ± 0.33 ^b	26.43 ± 1.38 ^c
0.3	81.21 ± 0.80 ^{ab}	-7.13 ± 0.31 ^c	28.46 ± 0.75 ^b
0.4	82.29 ± 0.93 ^a	-6.66 ± 0.35 ^b	32.67 ± 1.39 ^a
0.5	80.76 ± 1.58 ^{bc}	-7.20 ± 0.21 ^c	29.84 ± 0.97 ^b

2.3 复合磷酸盐的正交实验

由表8 正交实验结果可知, 第7组的综合结果值最高。由极差分析中看出, 对鸡蛋干品质特性影响最大的是焦磷酸钠, 其次是六偏磷酸钠, 影响最小的是三聚磷酸钠。这与前文中三种磷酸钠对硬度、弹性和亮度值 L^* 的影响结果基本一致。

从表9 的方差分析中可以看出, 焦磷酸钠和六偏磷酸钠对鸡蛋干的品质特性均有显著影响, 其主次顺序与极差相同, 三聚磷酸钠对鸡蛋干品质特性无显著影响。影响鸡蛋干品质特性的主次顺序为焦磷酸钠 > 六偏磷酸钠 > 三聚磷酸钠。综合考虑鸡蛋干的硬度、弹性和亮度值 L^* 的数据, 可以得出鸡蛋干中添加复合磷酸盐的最佳配方为第7组 $A_3B_3C_2$ 。该配方组合条件下, 各项指标亮度值 L^* 、硬度、弹性分别为 79.184、895.505 g、0.928, 综合评分最高。同时, 硬度和弹性相较于单一一种类的磷酸盐也有大幅提

表8 正交实验方案结果分析

Table 8 Analysis of orthogonal experiment results

实验号	L* 值	硬度(g)	弹性	L* 值隶属度	硬度隶属度	弹性隶属度	综合分
1	76.353	671.963	0.906	0.000	0.000	0.369	0.074
2	77.373	873.086	0.893	0.388	1.000	0.000	0.616
3	77.655	795.366	0.928	0.496	0.614	1.000	0.655
4	78.153	864.853	0.914	0.685	0.959	0.610	0.807
5	76.543	807.427	0.905	0.072	0.674	0.340	0.427
6	76.485	837.219	0.919	0.072	0.822	0.745	0.581
7	78.980	848.762	0.923	1.000	0.879	0.865	0.913
8	77.260	812.857	0.918	0.345	0.701	0.714	0.597
9	78.293	732.121	0.925	0.738	0.299	0.908	0.553
K_1	1.346	1.252	1.053				
K_2	1.815	1.976	2.111				
K_3	2.062	1.995	2.059				
极差 R	0.716	0.743	1.058				
因素主次		C > B > A					
最优方案		$A_3B_3C_2$					

高。因此,往鸡蛋干中添加三聚磷酸钠 0.174%,六偏磷酸钠添加量 0.141%,焦磷酸钠添加量 0.124%时,产品的硬度、弹性和亮度值 L^* 均较好。

表9 正交实验方差分析

因素	偏差平方和	自由度	F 比	F 值	显著性
A	0.088	2	0.044	17.222	0.055
B	0.120	2	0.060	23.348	0.041
C	0.237	2	0.119	46.278	0.021
误差	0.005	2	0.003		

3 结论

适当添加磷酸盐可显著改善全蛋液鸡蛋干的硬度、胶黏性、咀嚼性、弹性,适度提高内聚性和回复性,鸡蛋干的亮度值 L^* 和黄度值 b^* 也随磷酸盐添加量增大呈显著上升。经正交实验可知,当复合磷酸盐配方为:三聚磷酸钠添加量为 0.174%,六偏磷酸钠添加量为 0.141%,焦磷酸钠添加量为 0.124%时,全蛋液鸡蛋干的品质特性达到最佳。影响鸡蛋干质构和色泽的主次顺序为焦磷酸钠 > 六偏磷酸钠 > 三聚磷酸钠。目前,全蛋液中蛋白与蛋黄的相互作用对磷酸盐作用效果的影响研究还比较少,蛋黄中脂质对于全蛋液凝胶各项性能的影响也还需要进一步探讨。

参考文献

- [1] 王也,黄茜,马美湖.方便风味蛋制品研究进展[J].农产品加工(学刊),2014(5):70-72.
 [2] 林勉,刘通讯.磷酸盐品质改良剂在食品工业中的应用[J].食品与机械,1999(4):7-9.
 [3] 韩敏义,李巧玲,陈红叶,等.复合磷酸盐在食品中的应用

[J].中国食品添加剂,2004(3):93-96.

[4] Detienne N A, Wickeu L. Sodium chloride and tripolyphosphate effects on physical and quality characteristics of injected pork loins [J]. Journal of Food Science, 1999, 64(6): 1042-1047.

[5] 程春梅.磷酸盐在肉类加工中的应用[J].肉类工业,2007(11):33-34.

[6] 余秀芳.卤蛋加工技术与品质变化研究[D].武汉:华中农业大学,2011.

[7] 李云雁,胡传荣.实验设计与数据处理[M].北京:化学工业出版社,2008:134-136.

[8] 田锐花.多聚磷酸盐对牛肉加工特性的影响研究[D].南京:南京农业大学,2012.

[9] 周长旭.鸡蛋热诱导凝胶形成及凝胶特性的研究[D].南京:南京农业大学,2012.

[10] POYRAZO G LU O, ERTAŞ 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.

[11] 朱晓龙.磷酸盐在肉类加工中的应用及检测[J].肉类工业,2003(7):36-41.

[12] 范劲松,李斌,范莹,等.三种磷酸盐对咸蛋清质构的影响[J].食品科技,2010,35(6):257-261.

[13] 王景成,周佳萍.蛋黄颜色的着色机理及改善措施[J].饲料博览,2008(6):17-18.

[14] 李树清,黄刚,王庆玉.皮蛋加工贮藏过程中蛋黄颜色变化机理的研究[J].食品科学,1992,13(2):18-22.

[15] Thorarinsdottir K A, Arason S, Bogason S G, et al. Effects of Phosphate on Yield, Quality, and Water-Holding Capacity in the Processing of Salted Cod (*Gadus morhua*) [J]. Journal of Food Science, 2001, 66(6): 821-826.

(上接第 255 页)

尔滨商业大学学报,2011,27(5):717-719.

[12] 王清亭,王晓东,赵兵.大孔树脂分离纯化文冠果种仁中总皂苷[J].食品工业科技,2013,34(10):219-224.

[13] 侯世祥,田恒康.大孔吸附树脂在中药复方分离纯化工艺中的应用[J].中药新药与临床药理,2000,11(3):131-132.

[14] 张崇禧,郑友兰,张春红,等.大孔树脂吸附人参总皂苷工艺及再生使用的研究[J].中国药学杂志,2003,38(9):661-664.

[15] 吴伟杰,李博生.泡沫分离法提取文冠果果皮皂苷的工艺条件[J].浙江农业科学,2010,4:816-819.

[16] 李光勋,王力华,陈玮.正交实验优选文冠果壳中文冠果壳皂苷提取工艺[J].食品科学,2009,30(2):58-60.

[17] 陈德力,肖曼,刘平怀.海南核果木抗氧化活性[J].精细化工,2011,28(11):1103-1106.

[18] 王金梅,张旭,康文艺.苍术及其麸炒品抗氧化活性研究[J].精细化工,2010,27(7):664-666.

[19] 李光勋,王力华,陈玮.分光光度法测定文冠果壳总皂苷含量研究[J].安徽农业科学,2008,36(8):3071-3072.

[20] 郭影,王世成,窦德强.不同产地文冠果果壳中总皂苷含量测定[J].辽宁中医药大学学报,2009,11(5):165-166.

[21] 梁桂娟.野木瓜总皂甙的分离纯化及抗氧化活性研究[D].贵州:贵州大学,2007.

[22] 常慧,田晶,徐龙权,等.AB-8 大孔吸附树脂纯化油茶皂苷[J].大连工业大学学报,2009,28(2):84-86.