

# 复合添加剂提高调理肉饼乳化性的工艺优化

田晋梅<sup>1</sup>, 朱迎春<sup>2,\*</sup>, 马玲<sup>2,\*</sup>, 李玉昕<sup>2</sup>, 曹智翔<sup>2</sup>

(1.山西省畜牧兽医学学校牧医科, 山西 太原 030024; 2.山西农业大学食品科学与工程学院, 山西 晋中 030801)

**摘要:** 为提高调理肉饼的乳化性(保水性和保油性), 以卡拉胶、大豆分离蛋白、黄原胶和复合磷酸盐为添加剂, 分别以水分流失率和脂肪流失率为指标, 考察4种添加剂对调理肉饼乳化性能的影响, 并通过正交试验优化4种添加剂的最佳配比。结果表明: 单一添加组分能够改善调理肉饼的保水保油性; 与单一添加相比, 复合添加进一步提高了调理肉饼的乳化能力, 其中以0.6%卡拉胶、4%大豆分离蛋白、0.6%黄原胶和0.5%复合磷酸盐组合的乳化性能较强, 水分流失率和脂肪流失率分别为15.26%和11.17%。上述研究表明, 将复合添加剂应用于调理肉饼加工中能提高其保水保油性, 增强乳化性能。

**关键词:** 调理肉饼; 乳化性能; 保油性; 保水性

## Optimization of Combined Addition of Food Additives for Improved Emulsifying Properties of Pork Patties

TIAN Jinmei<sup>1</sup>, ZHU Yingchun<sup>2,\*</sup>, MA Ling<sup>2,\*</sup>, LI Yuxin<sup>2</sup>, CAO Zhixiang<sup>2</sup>

(1.Department of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Shanxi College of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Taiyuan 030024, China; 2.College of Food Science and Technology, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China)

**Abstract:** Carrageenan, soy protein isolate (SPI), xanthan gum and mixed phosphate were added to improve the emulsifying properties of meat patties. The individual and combined effect of these additives on water loss rate and fat loss rate of patties was investigated. The optimum combination was determined by orthogonal array design method. The results showed that each of the additives was able to improve the water-holding and oil-holding capacity of patties. Compared with single additives, their combined addition further enhanced the emulsifying properties of patties. The combination of 0.6% carrageenan, 4% soy protein isolate, 0.6% xanthan gum and 0.5% mixed phosphate was found to optimal to obtain a lower water loss rate and fat loss rate of 15.26% and 11.17%, respectively. The above results show that the additive combination can be used to improve the emulsifying properties of meat patties.

**Keywords:** meat patties; emulsifying properties; oil retention; water retention

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190516-106

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2019) 08-0053-05

引文格式:

田晋梅, 朱迎春, 马玲, 等. 复合添加剂提高调理肉饼乳化性的工艺优化[J]. 肉类研究, 2019, 33(8): 53-57. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190516-106. <http://www.rlyj.net.cn>

TIAN Jinmei, ZHU Yingchun, MA Ling, et al. Optimization of combined addition of food additives for improved emulsifying properties of pork patties[J]. Meat Research, 2019, 33(8): 53-57. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190516-106. <http://www.rlyj.net.cn>

调理肉饼是指以禽畜肉为主要原料加工配制而成、经简便处理即可食用的肉制品<sup>[1]</sup>, 因其食用方便、营养搭配合理、容易携带而逐渐成为快餐行业的主流食品。

收稿日期: 2019-05-16

基金项目: 山西省重点研发计划项目(201703D221027-1; 201703D221027-2)

第一作者简介: 田晋梅(1963—)(ORCID: 0000-0002-5810-8589), 女, 高级讲师, 硕士, 研究方向为畜牧科学。

E-mail: tjm7052925@163.com

\*通信作者简介: 朱迎春(1970—)(ORCID: 0000-0002-5607-0124), 女, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工。

E-mail: yingchun0417@163.com

马玲(1980—)(ORCID: 0000-0002-2919-8271), 男, 副教授, 博士, 研究方向为畜产品加工。

E-mail: ml0359@163.com

乳化性是一种重要的功能特性<sup>[2]</sup>, 乳化性是蛋白质的界面特性, 乳化作用的形成是蛋白质自发迁移并到达油水界面, 疏水基团定向到达油相界面, 形成蛋白质膜,

从而使乳浊液稳定性提高的过程, 其对肉制品的保水保油性意义重大。调理肉饼在加工过程中要经过斩拌形成肉糜, 肉糜中的蛋白质、脂肪、水三者形成乳化体系。乳化体系中的脂肪微粒处于凝胶网状结构中, 在加热条件下会形成不连续的脂肪颗粒, 导致出水、出油等问题的发生<sup>[3]</sup>。非肉蛋白和亲水胶体对肉糜制品凝胶的乳化性能具有改善作用, 可作为共聚物或填充物占据在蛋白质凝胶骨架结构中, 乳化油滴阻止其聚集; 通过物理作用截留水分和脂肪, 减小乳化肉糜类凝胶的空隙<sup>[4]</sup>, 提高保水保油性。

卡拉胶是一类从海洋生物红藻细胞壁中提取的线性多糖化合物<sup>[5]</sup>, 可以与食品中的蛋白质发生交互反应, 形成网状络合物, 有效防止水分及营养物质的流失, 改善质构并提高产品得率<sup>[6]</sup>。李君珂等<sup>[7]</sup>研究发现, 将0.6%卡拉胶添加到猪肉饼中可以提高猪肉饼的保水保油性。大豆分离蛋白是一种重要的植物性完全蛋白, 在食品加工过程中添加可以避免水分及脂肪的流失, 改善口感及质构特性, 提高贮藏性, 降低蒸煮损失等<sup>[8]</sup>。王明爽等<sup>[9]</sup>研究发现, 添加4%的大豆分离蛋白制得的红薯鸡肉丸滋味鲜美、富有弹性、切面细腻、气孔细小均匀、组织状态良好, 具有很高的营养价值。黄原胶是肉制品中常用的胶体, 在加工过程中发生凝胶化产生网状结构, 能够减少肉制品的蒸煮损失和蛋白质损失、增加肉品出品率和弹性、降低肉品水分活度<sup>[8]</sup>。叶韬等<sup>[10]</sup>选取1%黄原胶与4%大豆蛋白作为罗非鱼粒的黏结剂, 此配方制得的鱼粒黏结成型效果好, 具有良好的硬度、弹性和咀嚼性。复合磷酸盐通过改变肉制品的酸碱度影响其结构, 改善肉制品的质构特性<sup>[11]</sup>, 通过螯合金属离子延缓脂肪氧化酸败, 通过增加肌肉的离子强度, 促进肌球蛋白转变为溶胶状态, 提高肉的保水能力<sup>[12]</sup>。李龙祥等<sup>[13]</sup>发现, 复合磷酸盐添加量为0.3%时, 结合水和不易流动水与肌肉蛋白的结合最紧密, 可以达到良好的保水效果。

单一添加食品辅料在实际生产中有一定的局限性, 添加量不足导致肉糜类产品结构松散、口感发软, 添加量过大则会造成产品口感发硬、风味不良<sup>[14]</sup>。适量添加卡拉胶、大豆分离蛋白、黄原胶及复合磷酸盐既可形成网状结构, 减少油水损失, 又可避免形成不良口感及质构。因此, 本研究对卡拉胶、大豆分离蛋白、黄原胶和复合磷酸盐复配使用对改善调理肉饼保水保油性的作用进行研究, 为实际生产提供支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

五花肉 山西农业大学双汇冷鲜肉店; 豆油、食盐、料酒、醋、白胡椒粉、生姜粉、香油、白糖、花椒、辣椒 山西农业大学寸草心超市。

复合磷酸盐(分析纯) 郑州天宇食品配料有限公司; 亚硝酸钠(分析纯) 天津市申泰化学试剂有限公司; 大豆分离蛋白(食品级) 河南旗诺食品配料有限公司; 卡拉胶(食品级) 郑州明欣化工产品有限公司; 黄原胶(食品级) 广东千恒生物科技有限公司; 抗坏血酸钠(食品级) 郑州四阳化工产品有限公司。

### 1.2 仪器与设备

DZKW-D-2电热恒温水浴锅 天津市大港区红杉实验设备厂; DHG-9243BS-III电热恒温鼓风干燥箱 上海新苗医疗器械制造有限公司; HPP-9272电热恒温培养箱 北京东联哈尔仪器制造有限公司; LD5-2B低速离心机 北京雷勃尔医疗器械有限公司; Scout SE-SE602F分析天平 奥豪斯仪器(常州)有限公司; HY-2调速多用振荡器 国华电器有限公司; CPA分析天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司; ZB-5斩拌机 上海青浦食品包装机械公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 调理肉饼的制备及样品的前处理

实验材料为猪背最长肌及猪背膘脂肪。去除背最长肌上的筋腱组织, 切成小块后用绞肉机绞碎。调理猪肉饼的基本配方为: 以绞碎猪肉(肥瘦肉质量比3:7) 500 g计, 食盐8 g、花椒水80 g、抗坏血酸钠0.5 g、料酒20 g、醋20 g, 按照实验设计分别加入适量的卡拉胶、大豆分离蛋白、黄原胶和复合磷酸盐, 搅拌均匀, 腌制30 min; 添加鸡精1 g、白胡椒粉1 g、五香粉0.4 g、白糖5 g、香油6 g、生姜粉0.4 g, 高速斩拌3~5 min; 用模具制成质量约(35±5) g的肉饼, 保鲜膜包装, 放入托盘中, 于4℃条件下冷藏。

#### 1.3.2 试验设计

##### 1.3.2.1 单因素试验

以肉糜质量为基准, 向肉糜中分别添加不同比例的大豆分离蛋白(2%、3%、4%、5%、6%)、卡拉胶(0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1.0%)、黄原胶(0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%)及复合磷酸盐(0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%), 以水分流失率和脂肪流失率为指标进行单因素试验。

##### 1.3.2.2 正交试验

在单因素试验的基础上, 对卡拉胶、大豆分离蛋白、黄原胶和复合磷酸盐进行复配, 通过设计正交试验优化其配方。正交试验因素水平如表1所示。

表1 正交试验因素水平表

Table 1 Code and level of factors tested in orthogonal array design

水平	A卡拉胶 添加量/%	B大豆分离蛋白 添加量/%	C黄原胶 添加量/%	D复合磷酸盐 添加量/%
1	0.6	2	0.4	0.3
2	0.7	3	0.5	0.4
3	0.8	4	0.6	0.5

### 1.3.3 指标测定

根据Cofrades等<sup>[15]</sup>的方法测定水分及脂肪的流失率。在50 mL离心管中放入15 g肉糜，500×g离心3 min，排除肉糜中较大的气泡；70℃恒温水浴30 min，取出离心管并倒置在培养皿上，静置1 h，收集；称量汁液流失后离心管和肉糜的总质量；将收集到的汁液在105℃条件下恒温干燥2 h，测定干燥后的培养皿总质量，分别按照公式（1）~（3）计算总汁液流失量（total expressible fluid, TEF）、水分流失率及脂肪流失率。

$$TEF/g = m_0 + m_1 - m_3 \quad (1)$$

$$\text{水分流失率}/\% = \frac{m_0 + m_1 + m_2 - m_3 - m_4}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{脂肪流失率}/\% = \frac{m_2 - m_4}{TEF} \times 100 \quad (3)$$

式中： $m_0$ 为空离心管的质量/g； $m_1$ 为肉糜的质量/g； $m_2$ 为水浴后装有肉糜的离心管和培养皿总质量/g； $m_3$ 为汁液流失后离心管和肉糜的总质量/g； $m_4$ 为干燥后的培养皿总质量/g。

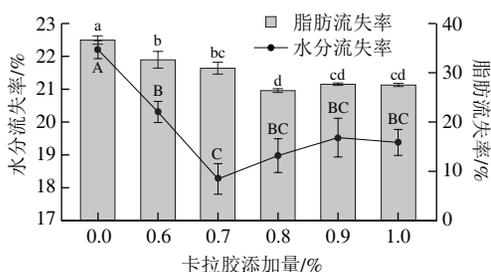
### 1.4 数据处理

实验均重复3次，结果用平均值±标准差表示。数据统计分析采用Statistix 8.1软件包（St Paul, MN）进行方差分析及显著性检验。采用SigmaPlot 10.0软件绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果

#### 2.1.1 卡拉胶添加量对调理肉饼乳化性的影响



大写字母不同，表示水分流失率差异显著（ $P < 0.05$ ）；小写字母不同，表示脂肪流失率差异显著（ $P < 0.05$ ）。图2~4同。

图1 卡拉胶添加量对调理肉饼水分流失率及脂肪流失率的影响

Fig. 1 Effect of carrageenan content on water loss rate and fat loss rate

由图1可知：当卡拉胶添加量为0.7%时，调理肉饼的水分流失率降至最低；继续增加卡拉胶添加量（0.7%~1.0%），水分流失率无显著性变化（ $P > 0.05$ ）。卡拉胶可提高保水性，降低水分流失的原因是卡拉胶分子结构中含有高亲水性的硫酸酯基团<sup>[16]</sup>，此基团与调理肉饼中的水分结合，抑制水分流失。卡拉胶和蛋白质相

互作用形成致密的凝胶网络<sup>[17]</sup>，加入卡拉胶使得调理肉饼中蛋白质等大分子截留水的能力显著提高。

当卡拉胶添加量为0.0%~0.8%时，随着卡拉胶添加量的增大，调理肉饼的脂肪流失率显著降低（ $P < 0.05$ ）；卡拉胶添加量为0.8%~1.0%时，随着卡拉胶添加量的增大，调理肉饼的脂肪流失率变化不显著（ $P > 0.05$ ）。这是由于多糖与蛋白质作用后具有稳定的乳化特性，而卡拉胶作为阴离子多糖，与肌原纤维蛋白作用，将蛋白质有效地结合在卡拉胶形成的胶体体系内，从而形成复合蛋白体系，使肉糜类制品乳化稳定性提高<sup>[18]</sup>。朱秀清等<sup>[19]</sup>研究发现，当卡拉胶添加量为0.4%~0.6%时，脱脂豆粉保水保油性最好，且数值趋于稳定，这一结论与本研究相吻合。

但是添加卡拉胶的肉饼具有较强的收缩脱水性，所形成的凝胶虽坚固但极易破碎，因此卡拉胶需要与其他胶体配合使用。

#### 2.1.2 大豆分离蛋白添加量对调理肉饼乳化性的影响

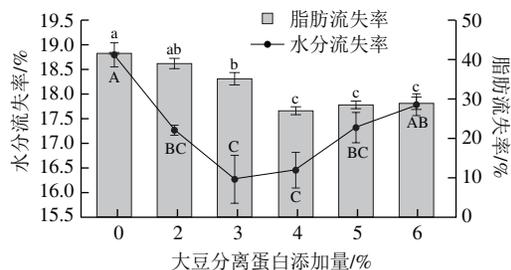


图2 大豆分离蛋白添加量对调理肉饼水分流失率及脂肪流失率的影响

Fig. 2 Effect of soy protein isolate content on water loss rate and fat loss rate

由图2可知：大豆分离蛋白添加量为3%时，调理肉饼的水分流失率最低（16.32%）；大豆分离蛋白添加量为4%时，调理肉饼的脂肪流失率最低（27.04%）。大豆分离蛋白肽链骨架上含有亲水性的极性侧链，当遇水膨胀时，可吸收并保持自身质量14倍的水分<sup>[17]</sup>，在加热过程中蛋白质变性凝固，在肉糜中形成网络骨架<sup>[20]</sup>，具有良好的保水性能。大豆分离蛋白添加量为5%~6%时，调理肉饼的水分流失率显著升高，这可能是由于蛋白质亲水性侧链结合过饱和，使调理肉饼乳化稳定性降低，水分流失率增大。调理肉饼中加入大豆分离蛋白后表面张力降低，形成油-水乳化液，乳化的油滴与表面的蛋白质结合形成保护层，从而阻碍油滴聚集，有效防止脂肪向表面移动<sup>[21]</sup>，减少脂肪流失。

#### 2.1.3 黄原胶添加量对调理肉饼乳化性的影响

由图3可知，在调理肉饼中加入0.6%的黄原胶，可使其水分流失率降低10%~11%，脂肪流失率降低14%~15%。黄原胶是亲水胶体，溶于水会吸收部分水分<sup>[22]</sup>，且黄原胶乳化液能提高蛋白凝胶的持水性，使蛋

白凝胶中自由流动水的含量显著减少,使更多的水分保留在蛋白凝胶网络中<sup>[23]</sup>。赵百忠等<sup>[24]</sup>也发现,随着黄原胶添加量的增大,火腿肠失水性呈现先下降后上升的趋势,与本研究结果相近。由此可知,黄原胶本身并非一种胶凝性多糖,它通过增加体系黏度、形成弱凝胶结构来提高食品稳定性<sup>[25]</sup>。黄原胶也有乳化油脂的作用,调理肉饼中黄原胶添加量升高,大粒径脂肪球减少,小粒径脂肪球增加<sup>[26]</sup>,乳化液体系更趋向于稳定,脂肪流失率降低。当黄原胶添加量较大时,调理肉饼的黏稠度增加,乳化液体系反而存在絮凝的趋势,调理肉饼外界渗透压高于内部,水分流失及脂肪流失均随之升高。

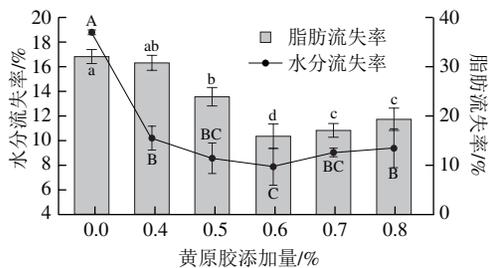


图3 黄原胶添加量对调理肉饼水分流失率及脂肪流失率的影响

Fig. 3 Effect of xanthan gum content on water loss rate and fat loss rate

#### 2.1.4 复合磷酸盐添加量对调理肉饼乳化性的影响

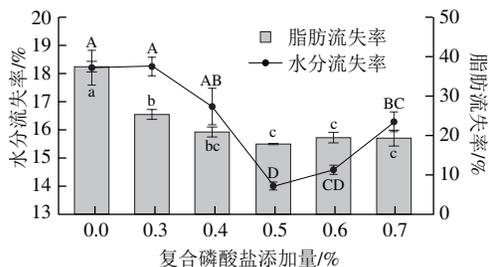


图4 复合磷酸盐添加量对调理肉饼水分流失率及脂肪流失率的影响

Fig. 4 Effect of mixed phosphate content on water loss rate and fat loss rate

由图4可知,当复合磷酸盐添加量为0.3%~0.5%时,调理肉饼的水分流失率显著降低( $P < 0.05$ );复合磷酸盐对调理肉饼脂肪流失率的影响呈现先降低后平稳的趋势。加入复合磷酸盐后水分流失减少主要有2个原因:一是磷酸盐加强了肌肉蛋白质结合水分子的能力,减少肉汁溢出<sup>[27]</sup>;另外,加入磷酸盐后,调理肉制品的pH值偏离蛋白质等电点,向碱性偏移,增加了蛋白胶粒所带电荷量,水化作用增强,能够吸收更多的水分<sup>[28]</sup>。复合磷酸盐对调理肉饼水分流失率的影响呈现先降低后上升的趋势,一方面加入磷酸盐后,磷酸盐与蛋白质形成凝胶网络结构;另一方面,磷酸盐中大量的阴离子基团与肉饼中的阳离子结合,形成稳定的中性离子,肌肉蛋白中带负电荷的羧基得以释放,增加负电荷间的静电斥力,使得结构松弛,增加吸水力<sup>[29]</sup>。但随着复合磷酸盐添加

量的增加,负电荷作用达到饱和,凝胶均一性变差,形成失水的主导作用,导致肉饼保水性下降<sup>[30]</sup>。

#### 2.2 正交试验结果及分析

表2 添加剂对调理肉饼水分流失率及脂肪流失率影响的正交试验结果

Table 2 Orthogonal array design with experimental results							
序号	A卡拉胶添加量/%	B大豆分离蛋白添加量/%	C黄原胶添加量/%	D复合磷酸盐添加量/%	水分流失率/%	脂肪流失率/%	
1	1	1	1	1	14.36	21.90	
2	1	2	2	2	14.68	13.92	
3	1	3	3	3	17.17	11.89	
4	2	1	2	3	15.55	19.56	
5	2	2	3	1	12.35	21.56	
6	2	3	1	2	13.26	14.70	
7	3	1	3	2	15.27	17.83	
8	3	2	1	3	16.71	20.72	
9	3	3	2	1	16.09	20.42	
水分流失率	$K_1$	46.21	45.18	44.33	42.80		
	$K_2$	41.16	43.74	46.32	43.21		
	$K_3$	48.07	46.52	44.79	49.43		
	$k_1$	15.40	15.06	14.78	14.27		
	$k_2$	13.72	14.58	15.44	14.40		
	$k_3$	16.02	15.51	14.93	16.48		
	R	2.30	0.93	0.66	2.21		
	最优	$A_2$	$B_2$	$C_1$	$D_1$		
	脂肪流失率	$K_1$	47.71	59.29	57.32	63.88	
$K_2$		55.82	56.20	53.90	46.45		
$K_3$		58.97	47.01	51.28	52.17		
$k_1$		15.90	19.76	19.11	21.29		
$k_2$		18.61	18.73	17.97	15.48		
$k_3$		19.66	15.67	17.09	17.39		
R		3.75	4.09	2.01	5.81		
最优		$A_1$	$B_3$	$C_3$	$D_2$		

由表2可知,4种添加剂对调理肉饼水分流失率的影响大小顺序为卡拉胶>复合磷酸盐>大豆分离蛋白>黄原胶。根据K值可知,理论最优组合为 $A_2B_2C_1D_1$ ,即0.7%卡拉胶+3%大豆分离蛋白+0.4%黄原胶+0.3%复合磷酸盐。而9组试验中第5组( $A_2B_2C_3D_1$ ),即0.7%卡拉胶+3%大豆分离蛋白+0.6%黄原胶+0.3%复合磷酸盐组合的保水性最好。2组的区别在于黄原胶的添加量,因此针对黄原胶的添加比例还需要进一步试验。

4种添加剂对调理肉饼脂肪流失率的影响大小顺序为复合磷酸盐>大豆分离蛋白>卡拉胶>黄原胶。根据K值可知,理论最优组合为 $A_1B_3C_3D_2$ ,即0.6%卡拉胶+4%大豆分离蛋白+0.6%黄原胶+0.4%复合磷酸盐。而9组试验中第3组( $A_1B_3C_3D_3$ ),即0.6%卡拉胶+4%大豆分离蛋白+0.6%黄原胶+0.5%复合磷酸盐组合的保油性最好。2组的区别在于复合磷酸盐的添加量,针对复合磷酸盐的添加比例还需要进一步试验。

以水分流失率和脂肪流失率2项指标考察不同配比的添加剂对调理肉饼保油保水性的影响,但2组试验结果不一致。为找到最佳配比,将每组优化出的最佳理论组合和试验组合再次进行试验。

表3 理论值与试验值的比较结果

Table 3 Comparison of theoretical and experimental values of water loss rate and fat loss rate

试验组合	水分流失率/%	脂肪流失率/%
$A_2B_2C_1D_1$	13.37 <sup>b</sup>	23.69 <sup>a</sup>
$A_2B_2C_2D_1$	14.83 <sup>b</sup>	19.61 <sup>a</sup>
$A_1B_3C_3D_2$	17.88 <sup>a</sup>	10.38 <sup>b</sup>
$A_1B_3C_3D_3$	15.26 <sup>b</sup>	11.17 <sup>b</sup>

注：同列小写字母不同，表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

由表3可知： $A_2B_2C_1D_1$ 组的水分流失率最低，但其脂肪流失率为4组中最高； $A_1B_3C_3D_2$ 组的脂肪流失率最低，但水分流失率为4组中最高。综合考虑， $A_1B_3C_3D_3$ 组的水分流失率为15.26%，脂肪流失率为11.17%，流失率均较小，故选定4种添加剂的最适复配组合为 $A_1B_3C_3D_3$ ，即0.6%卡拉胶+4%大豆分离蛋白+0.6%黄原胶+0.5%复合磷酸盐。

### 3 结论

以水分流失率和脂肪流失率为指标，考察卡拉胶、大豆分离蛋白、复合磷酸盐和黄原胶4种添加剂对调理肉饼乳化性的影响。通过单因素试验与正交试验优化4种添加剂的最佳配比，最终得出添加0.6%卡拉胶、4%大豆分离蛋白、0.6%黄原胶和0.5%复合磷酸盐的调理肉饼乳化性能较强，水分流失率和脂肪流失率均较低，分别为15.26%和11.17%，可应用于实际生产中。

### 参考文献：

[1] 侯芹, 李书文, 王艳, 等. 花椒提取物对调理猪肉饼冷藏期间品质的影响研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(10): 285-291; 297. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.10.053.

[2] 刘慧清. 罗非鱼蛋白乳化特性的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2013: 7.

[3] SWASDEE R L, TERRELL R N, DUTSON T R, et al. Ultrastructural changes during chopping and cooking of a Frankfurter batter[J]. Journal of Food Science, 1982, 47(3): 1011-1013. DOI:10.1111/j.1365-2621.1982.tb1276.8.x.

[4] ZIEGLER G R, FOEGEDING E A. The gelation of proteins[M]. New York: Academic Press, 1990: 203-298.

[5] 邓秀蝶, 滕建文, 王勤志, 等. 大豆分离蛋白对速冻肉饼理化和质构特性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 70-74. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201515014.

[6] SU Yujie, DONG Yiting, NIU Fuge, et al. Study on the gel properties and secondary structure of soybean protein isolate/egg white composite gels[J]. European Food Research and Technology, 2015, 240(2): 367-378. DOI:10.1007/s00217-014-2336-3.

[7] 李君珂, 彭增起, 侯芹, 等. 芋头与卡拉胶复配体系对猪肉饼品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(11): 76-81. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.11.006.

[8] 孙书静. 卡拉胶在肉制品中的应用[J]. 肉类工业, 2003(12): 24-25. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2003.04.012.

[9] 王明爽, 孙海涛, 李明, 等. 红薯鸡肉丸的配方研究[J]. 肉类工业, 2019(1): 25-28. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2019.01.006.

[10] 叶韬, 王云, 林琳, 等. 即食罗非鱼粒的熟制、成型及其调味研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(3): 252-258. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.040.

[11] MA Fei, CHEN Conggui, ZHENG Lei, et al. Effect of high pressure processing on the gel properties of salt-soluble meat protein containing  $CaCl_2$  and  $\kappa$ -carrageenan[J]. Meat Science, 2013, 95(1): 22-26. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.04.025.

[12] 林钊, 蒋高强. 肉制品复合磷酸盐保水剂的优化[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(10): 1746-1748. DOI:10.16178/j.issn.0528-9017.20171023.

[13] 李龙祥, 赵欣欣, 孔保华. 复合磷酸盐添加量对调理重组牛肉品质特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(2): 1-5; 85. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2017.02.001.

[14] 程春梅. 淀粉、大豆分离蛋白和卡拉胶在肉制品加工中的应用[J]. 肉类研究, 2007, 21(9): 30-31. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2007.09.011.

[15] COFRADES S, SERRANO A, AOY J, et al. Characteristics of meat batters with added native and preheated defatted walnut[J]. Food Chemistry, 2008, 107(4): 1506-1514. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.10.006.

[16] 芦嘉莹, 夏秀芳, 孔保华, 等. 复配食用胶对乳化肠品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(5): 31-35. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201305007.

[17] 倪学文, 严文莉, 汪芳丽, 等. 魔芋胶对鸡肉和猪肉混合肉糜凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(8): 305-308. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.08.055.

[18] 康伟. 大豆分离蛋白、卡拉胶与肌原纤维蛋白间的相互作用[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(8): 30-35. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2018.08.006.

[19] 朱秀清, 梁雪华, 李杨, 等. 食品添加剂对低温脱脂豆粉保水保油性的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(9): 346-350. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2011.09.086.

[20] 聂晓开, 邓绍林, 周光宏, 等. 复合磷酸盐、谷氨酰胺转氨酶、大豆分离蛋白对新型鸭肉火腿保水特性和感官品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 50-55. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201601010.

[21] GABRIELA A D, MIRIAM P M, MARIA C. Structural and functional properties of soy protein isolate and cod gelatin blend films[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(8): 2094-2101. DOI:10.1016/j.foodhyd.2009.03.007.

[22] 蔡旭冉, 徐祝萍, 徐忠东, 等. 瓜尔胶和黄原胶对马铃薯淀粉糊化特性影响的比较研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(21): 280-284. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.21.049.

[23] 费立天. 瓜尔胶、黄原胶乳化液性质研究及对肌原纤维蛋白乳化和凝胶性的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2018: 23.

[24] 赵百忠, 董晓波, 刘骞. 黄原胶在火腿肠中应用技术研究[J]. 肉类工业, 2011(3): 36-37. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2011.03.011.

[25] 徐思思, 胡炎华, 黄金鑫. 黄原胶特性及其在食品和复配胶中的应用[J]. 发酵科技通讯, 2017, 46(1): 45-49. DOI:10.16774/j.cnki.issn.1674-2214.2017.01.010.

[26] 刘丹. 黄原胶和瓜尔豆胶复配比例对复原乳稳定性的影响[J]. 中国乳业, 2018(7): 53-57. DOI:10.16172/j.cnki.114768.2018.07.017.

[27] 李苗云, 赵改名, 张秋会, 等. 复合磷酸盐对肉制品加工中的保水性优化研究[J]. 食品科学, 2009, 30(8): 80-85. DOI:10.3321/j.issn.1002-6630.2009.08.014.

[28] 李毓杰, 王继伟, 赵冬梅. 对磷酸盐增强肉保水性机理探讨[J]. 肉类工业, 1993(10): 29-34.

[29] 高艳红. 磷酸盐对速冻鸡肉丸保水性及其功能特性影响的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009: 7.

[30] 李宝升, 王修俊, 邱树毅, 等. 复合磷酸盐对鲜切牛肉肌球蛋白凝胶保水性的影响[J]. 农产品加工(学刊), 2009(3): 85-86; 89. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646-B.2009.03.021.