

氨基酸种类及添加量对乳化鸡肉香肠品质特性的影响

王新颖¹, 毛云¹, 牛希跃², 任晓璞², 王琳琳^{1*}, 麻龙¹, 张生秀¹, 王一郎¹

(1. 西南民族大学食品科学与技术学院, 四川成都 610041)

(2. 南疆特色农产品深加工兵团重点实验室, 新疆阿拉尔 843300)

摘要: 为探究氨基酸种类及其添加量对乳化鸡肉糜制品品质特性的影响, 并得到最能改善乳化鸡肉糜品质的氨基酸类别及添加量。该文以添加不同比例 L-赖氨酸 (Lys)、L-精氨酸 (Arg)、L-组氨酸 (His) 和 L-半胱氨酸 (Cys) 的乳化鸡肉糜为试验对象, 测定分析乳化鸡肉糜的食用品质、乳化特性、质构特性、流变性、风味物质、感官品质及微观结构等指标。结果表明, Lys、Arg、His 的加入显著降低了乳化肉糜的 TEF、EFTA 以及 CL 值, 但显著提高了乳化肉糜的 pH、硬度、黏性和咀嚼性, 比 Cys 的加入更有效。流变学表明 Lys、Arg、His 增加了最终储存模量。此外, 扫描电子显微镜显示 Lys、Arg、His 有助于形成紧密的凝胶网状结构。总体而言, 0.50% 的 Lys, 0.60% 的 Arg, 0.90% 的 His 为最优添加量。Lys、Arg、His 在乳化型肉制品的制备方面具有潜力。

关键词: 氨基酸; 鸡肉糜制品; 品质特性; 微观结构

文章编号: 1673-9078(2024)05-150-161

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.5.0456

Effects of Amino Acid Types and Added Amounts on Quality Characteristics of Emulsified Chicken Products

WANG Xinying¹, MAO Yun¹, NIU Xiyue², REN Xiaopu², WANG Linlin^{1*}, MA Long¹, ZHANG Shengxiu¹, WANG Yilang¹

(1. College of Food Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China)

(2. Corps Key Laboratory of Deep Processing of Specialty Agricultural Products in South Xinjiang, Aral 843300, China)

Abstract: To investigate the effects of amino acid types and their addition amounts on the quality characteristics of emulsified chicken minced products, and to obtain the amino acid types and addition amounts that best improve the quality of emulsified chicken minced products. In this paper, emulsified minced chicken meat with varying ratios of L-lysine (Lys), L-arginine (Arg), L-histidine (His) and L-cysteine (Cys) was used to determine and analyze eating quality, emulsification characteristics, textural characteristics, rheology, flavor substances, sensory quality, and microstructure. The results showed that the addition of Lys, Arg, and His significantly decreased the TEF, EFTA, and CL values of emulsified ground meat, but

引文格式:

王新颖,毛云,牛希跃,等.氨基酸种类及添加量对乳化鸡肉香肠品质特性的影响[J].现代食品科技,2024,40(5):150-161.

WANG Xinying, MAO Yun, NIU Xiyue, et al. Effects of amino acid types and added amounts on quality characteristics of emulsified chicken products [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(5): 150-161.

收稿日期: 2023-04-17

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFD1600205); 四川省科技厅青年科学基金项目 (2022NSFSC1663); 南疆特色农产品深加工兵团重点实验室开放课题资金资助 (AP2201)

作者简介: 王新颖 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 畜产品加工与质量安全, E-mail: 1424909390@qq.com

通讯作者: 王琳琳 (1988-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 畜产品加工与质量安全, E-mail: jiyauw1123@163.com

significantly increased the pH, hardness, viscosity, and chewiness of the emulsified product more effectively than the addition of Cys. Rheological analysis revealed that Lys, Arg, and His increased the final storage modulus. Additionally, scanning electron microscopy showed that Lys, Arg, and His contributed to the formation of a tight gel mesh structure. Overall, 0.50% Lys, 0.60% Arg, and 0.90% His were the optimal addition quantities. These findings suggest that Lys, Arg, and His have potential in the preparation of emulsified meat products.

Key words: amino acid; minced chicken products; quality characteristics; microstructure

肉和肉制品是人类饮食中不可或缺的一部分,也是人体所需脂肪、蛋白质、矿物质和维生素的重要来源^[1]。鸡肉在肉类中价格稳定,营养价值较高^[2],鸡肉乳化肠类制品逐渐增多。但香肠中添加的动物脂肪量可达30%^[3],饱和脂肪和胆固醇的过量摄入已经引起了消费者的担忧。因此,消费者,尤其是那些有慢性血液循环问题的消费者,倾向于消费低脂肉制品^[4]。一些学者用植物油替代动物脂肪^[5],因为植物油不含胆固醇,但植物油通常比动物脂肪更具流动性,在肉制品中添加植物油可能会导致水和油的流失或使结构松动^[6],经斩拌乳化过程后易于形成平均粒径均匀且较小的脂肪球或油滴,肉制品会因为上述结构松散等问题导致品质劣变,给企业经济带来巨大损失。需要更多的蛋白来维系乳化肉制品的稳定性。因此,如何提高肉制品的乳化稳定性,已经成为肉制品研究领域的一个热点问题。近年来,小分子表面活性剂被尝试用于提高肉制品的乳化稳定性,氨基酸在肉类工业中的应用引起了人们的广泛关注。Zhou等^[7,8]研究表明L-赖氨酸(Lys)和L-精氨酸(Arg)可以改善猪肉香肠的质地和颜色,减少猪肉香肠的烹饪损失,提高持水能力。Ning等^[9]和Zhang等^[10]发现Arg和Lys可以有效改善肉制品的颜色、质地、嫩度和风味,表明Lys和Arg在肉制品加工中具有潜力。然而,关于L-组氨酸(His)和L-半胱氨酸(Cys)对肉制品乳化性能的系统研究很少进行,也没有文献对L-赖氨酸(Lys)、L-精氨酸(Arg)、L-组氨酸(His)和L-半胱氨酸(Cys)对肉制品乳化特性进行对比分析。

因此,本研究以鸡胸肉为原料制作的肉糜凝胶制品为研究对象,研究Lys、Arg、His、Cys等氨基酸及其添加量对肉糜制品食用品质、乳化稳定性、质构、流变性、挥发性风味物质的影响,通过流变行为和微观结构图像的研究,阐明了可能的机理,得出最能改善鸡肉糜品质的氨基酸种类,为氨基酸提高乳化肉糜稳定性的应用提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜鸡胸肉,猪背膘,马铃薯淀粉,食盐,味精,大豆油,羊肠衣,成都某市场所售;赖氨酸(99%,食品级),精氨酸(99%,食品级),组氨酸(98%,食品级),半胱氨酸(99.66%,食品级),复合磷酸盐,磷酸氢二钠($\geq 99\%$,食品级)、磷酸二氢钠($\geq 99\%$,食品级),河南凯斯特实业有限公司。十二烷基硫酸钠,邻苯二甲酸氢钾,成都市科隆化学品有限公司。

1.2 仪器与设备

BZBJ-40斩拌机,杭州艾博科技工程有限公司;CR-400色差仪,日本Konica Minolta公司;MATTHAUS pH-STAR便携式pH测定仪,德国Ingenieurhuro R.Matthaus公司;5804R冷冻离心机,德国Eppendorf公司;V-1000可见光分光光度计,翱艺仪器(上海)有限公司;TA.XT.Plus型质构仪,英国Stable Micro System公司;扫描电镜Jeol, JSM 6490LV Tokyo Japan 10 kV;FD-1A-50型冻干机,北京博益康实验仪器有限公司;流变仪,GC-MS,西南民族大学实验室提供。

1.3 试验方法

1.3.1 鸡肉肠基本配方

鸡胸肉和猪背膘的比例为17:3,冰水占鸡肉总质量的17%,按质量分数添加食盐2%,味精0.5%,多聚磷酸盐0.35%,马铃薯淀粉10%。所有辅料的添加量均为鸡肉和冰水总和的质量分数(表1)。

1.3.2 鸡肉肠加工工艺及要点

原料修整:按配方准确称取健康新鲜的鸡胸肉,并剔除筋膜。腌制:将整理后的鸡胸肉切块,按比例分别加入配料,拌匀后腌制1h。斩拌:将腌制过的鸡胸肉斩拌3min,最终肉馅的温度不能高于12℃,于

4 ℃下放置 12 h。灌肠：把要灌肠的羊肠衣用水浸泡 30 min，然后清洗干净，用针排气后再进行灌肠。煮制：将灌好的鸡肉肠放入 80 ℃的水浴中煮制 30 min。保存：待鸡肉肠冷却至室温后放入 4 ℃的冰箱中保存。

表 1 不同种类氨基酸添加水平 (%)

编号	Lys 组	Arg 组	His 组	Cys 组
Kb	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.10	0.15	0.30	0.15
2	0.20	0.30	0.60	0.30
3	0.30	0.45	0.90	0.45
4	0.40	0.60	1.20	0.60
5	0.50	0.75	1.50	0.75

1.4 测定指标

1.4.1 pH值

便携式 pH 计两点校正后进行测定。将其探针放入煮制后的乳化肉糜中，每个肉样测定 3 个不同位置，取平均值作为最终结果。

1.4.2 色度值

利用经白板校正后的色差仪进行测定，分别测定其 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值，每个肉样测定 3 个不同的位置，取平均值作为最终结果。

1.4.3 保水性

(1) 解冻损失 (Thawing Loss, TL)：参考杜婷婷等^[11]的方法并略作修改，将鸡肉肠切成薄片称重后放入冰箱中冷冻一夜，第二天取出，解冻后用滤纸擦干表面水分称其质量，每种鸡肉肠取 3 个平行。解冻损失的计算公式如下：

$$A = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

A ——解冻损失，%；

m_0 ——冷冻前的切片质量，g；

m_1 ——解冻后的切片质量，g。

(2) 干燥损失 (Loss on Drying, LOD)：参考冷坪蔚等^[12]的方法并稍作修改，将鸡肉肠切成 5 mm 薄片后放入干燥箱中，设定干燥箱温度为 103 ℃，干燥 1 h 后取出称其质量取出，放入干燥器内冷却 0.5 h 后再称量。并重复以上操作至前后两次质量差不超过 2 mg，每种鸡肉肠每次取 3 个平行。干燥损失的计算公式如下：

$$B = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

B ——干燥损失，%；

m_2 ——干燥前的切片质量，g；

m_3 ——干燥后的切片质量，g。

(3) 蒸煮损失 (Cooking Loss, CL)：参考 Zhou 等^[7]的方法，将灌好的鸡肉肠用滤纸擦拭干净，称其质量；然后在 80 ℃下水浴 30 min，待冷却至室温后用滤纸擦去表面水分和油脂，再称其质量。蒸煮损失的计算公式如下：

$$C = \frac{m_4 - m_5}{m_4} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

C ——蒸煮损失，%；

m_4 ——蒸煮前的切片质量，g；

m_5 ——蒸煮后的切片质量，g。

1.4.4 乳化稳定性 (ES)

参考 Esmacel 等^[13]的方法，把 5 g 未灌肠煮制的乳化肉糜放入离心管中，以 3 000 r/min 离心 2 min。随后在 80 ℃水浴 30 min 并再次离心 6 min。先称量沉淀物的质量，然后将上清液放入坩埚中再称其质量，最后将坩埚于 100 ℃下干燥过夜。总的可表达流体 (TEF) 和可表达脂肪 (EFAT) 的体积可由以下等式计算：

$$D = \frac{m_1 - m_2}{m_0} \times 100\% \quad (4)$$

$$E = \frac{m_4 - m_3}{m_0} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

D ——流出液体的百分比，%；

E ——流出脂肪的百分比，%；

m_0 ——原始质量，g；

m_1 ——离心管和样品初始质量，g；

m_2 ——离心管和沉淀的质量，g；

m_3 ——空坩埚质量，g；

m_4 ——干燥过夜的坩埚质量，g。

1.4.5 质构特性

参考 Olmedilla-Alonso 等^[14]的方法，将煮制后的乳化香肠切片制成 2 cm 高的圆柱形，设定测前速度为 0.2 cm/s，测时速度为 0.1 cm/s，测后速度为 0.2 cm/s，压缩度为 2/5，触发值为 5 g，停留时间为 5 s。将样

品放置在检测平台中央, 最终测量结果用硬度, 弹性, 凝聚性, 咀嚼性表示。每个样品做3次平行, 取平均值作为最终结果。

1.4.6 流变性

参考 Omana 等^[15]方法, 将 5 g 左右的鸡肉糜涂布于测试台, 再将溢出的样品擦除, 硅油密封。所有样品均以 2 °C/min 的升温速率从 20 °C 加热到 80 °C, 随后以 4 °C/min 的降温速率从 80 °C 降温到 20 °C, 记态扫描期间的储能模量 G' 的变化。每个样品做3次平行。

1.4.7 风味物质

参考张旭等^[16]的方法, 称取绞碎后的 2.0 g 乳化肉糜于研钵中磨碎并置于 20 mL 的顶空瓶中密封。样品前处理: 加热箱温度 75 °C, 加热时间 45 min, 样品抽取时间 20 min, 解析时间 5 min。利用 GC-MS 方法测量不同处理组乳化肉糜制品的风味物质种类及其相对含量。

1.4.8 感官评价

感官评价采用周向辉^[17]的感官分析表进行测定, 评价原则为: 进行感官评价的评测小组由 4~6 人组成, 在进行感官评价前应受过专业培训, 对一个产品能够感知它的风味和质感等特性, 通过评测以下指标达成一致意见后统一汇总 (表 2)。

表 2 感官评价的评分标准

Table 2 Scoring criteria of sensory evaluation

项目	评分细则	评分/分
色泽	产品色泽良好, 切面光滑且均匀一致	7~10
	产品色泽较差, 切面略有光泽, 稍不均匀	4~7
	产品无肉色, 切面无光泽, 完全不均匀	1~3
风味	鲜美多汁, 具有产品特有的风味, 无异味	7~10
	鲜味稍差, 无回味, 无香味 无鲜味, 无回味, 有肉腥味	4~7 1~3
口感	咀嚼爽滑有弹性, 多汁鲜嫩, 细腻	7~10
	咀嚼弹性感稍差, 较鲜嫩, 较细腻 咀嚼无爽滑感, 无汁液感, 有渣感	4~7 1~3
组织状态	组织致密, 切片性好, 切而平整, 有弹性, 无密集气孔	7~10
	组织较致密, 切片性较好, 富有弹性, 有气孔, 气孔较小	4~7
	组织疏松, 切片性较差, 切面不平整, 无弹性, 气孔较多	1~3

1.4.9 微观结构

参考 Felisberto 等^[18]的方法, 并适当修改。将

样品切块 (约 3 cm³), 用 2.5% 戊二醛固定, 在 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液 (pH 值 7.2) 中漂洗, 用 1% 四氧化锇固定, 在 $\varphi=30\%$ 、50%、70%、90%、95% 和 100% 乙醇的分级系列中, 脱水 10 min, 在 100% 丙酮中脱水 10 min, 两次。样品在冻干机中干燥近 24 h。将样本轻轻粘在导电胶上, 离子溅射喷镀, 最后在扫描电子显微镜下选择合适位置, 放大 1 000 倍进行观察。

1.5 数据分析

本研究使用微软 2016 Excel 及 SPSS 26.0 进行分析, 图表使用 Origin 2018 绘制, 结果用“平均值 ± 标准差”表示, 不同试验组间的差异显著性采用 t -检验, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P > 0.05$ 为不显著; 每个试验重复测定 3 次, 取平均值作为最终结果。

2 结果与讨论

2.1 Lys、Arg、His、Cys 及其添加量对乳化肉糜 pH 值的影响

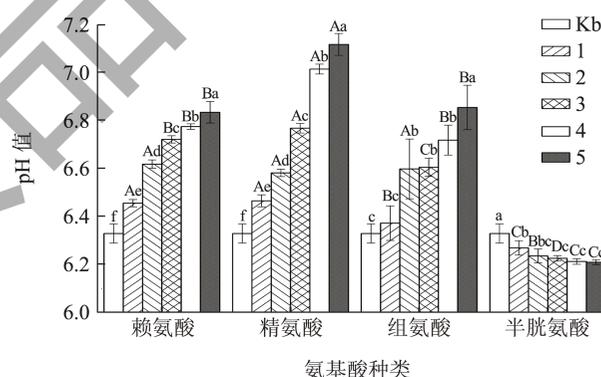


图 1 不同种类氨基酸及其添加量对乳化肉糜 pH 值的影响

Fig.1 Effect of different kinds of amino acids and their addition amounts on pH value of emulsified minced meat

注: 小写字母不同表示组内差异显著 ($P < 0.05$); 大写字母不同表示组间差异显著, 下同。

pH 值是决定乳化肉糜品质的重要因素, 在很大程度上可以衡量肉类的品质、保水性、储藏期等特性, 总体而言, 随着贮存时间的延长, pH 值呈现先逐渐下降后升高的趋势。这可能是由于在肉制品的延长贮藏过程中, 肌肉中的氨基酸可能会分解生成羧酸和酮酸^[19]; 除此之外, 乳酸菌在乳化香肠中会产生乳酸和其他有机酸, 也会导致贮藏过程中肉的 pH 呈下降趋势^[20]。由图 1 可以看出, 在加入 Lys、Arg、His 之后, 随着氨基酸添加量的增加, 鸡肉 pH 值都呈现上升趋势, 且差异显著 ($P < 0.05$),

可能是由于 Lys、Arg、His 都是碱性氨基酸，pH 值的升高会使纤维蛋白等电点改变^[21]，从而增加蛋白质分子的净电荷。而随着 Cys 的加入，鸡肉的 pH 值降低，变化显著 ($P < 0.05$)。试验结果与 Wang 等^[20]将 Lys 和 Arg 加入到猪肉或鸡肉乳化肠中，有效增加了肉制品的 pH 值结果相似。

2.2 Lys、Arg、His、Cys 及其添加量对乳化肉糜色度的影响

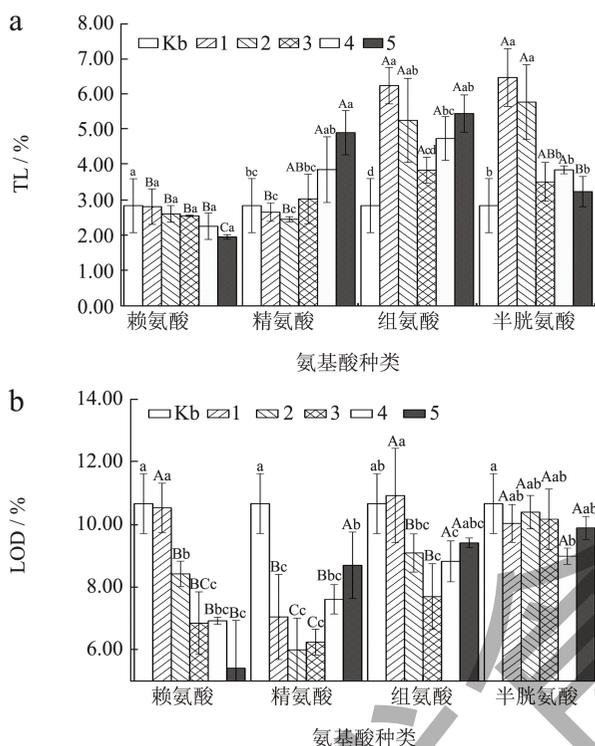


表 3 不同种氨基酸及其添加量对乳化肉糜肉色的影响

Table 3 Effects of different kinds of amino acids and their added amounts on the color of emulsified minced meat

组别	编号						
	Kb	1	2	3	4	5	
L^*	Lys	79.72 ± 0.30 ^a	79.10 ± 0.88 ^{Aa}	77.50 ± 0.55 ^{ABb}	76.62 ± 0.36 ^{Bb}	75.46 ± 0.29 ^{Bc}	74.81 ± 0.21 ^{BCc}
	Arg	79.72 ± 0.30 ^a	78.51 ± 0.76 ^{ABb}	78.39 ± 0.59 ^{Ab}	76.99 ± 0.66 ^{Bc}	75.91 ± 0.67 ^{Bc}	74.06 ± 0.49 ^{Bd}
	His	79.72 ± 0.30 ^a	78.71 ± 0.51 ^{ABab}	78.19 ± 0.33 ^{Abc}	77.25 ± 0.89 ^{ABc}	75.98 ± 0.80 ^{Bd}	75.63 ± 0.62 ^{Bd}
	Cys	79.72 ± 0.30 ^a	77.37 ± 0.20 ^{Bc}	77.24 ± 0.12 ^{Bc}	78.49 ± 0.78 ^{Aabc}	79.24 ± 1.17 ^{Aab}	78.06 ± 0.90 ^{Abc}
a^*	Lys	0.31 ± 0.05 ^d	0.29 ± 0.05 ^{Ad}	0.48 ± 0.05 ^{Ac}	0.51 ± 0.06 ^{Ac}	0.68 ± 0.03 ^{Ab}	1.23 ± 0.04 ^{Aa}
	Arg	0.31 ± 0.05 ^c	0.28 ± 0.05 ^{Ac}	0.34 ± 0.02 ^{Bc}	0.51 ± 0.03 ^{Ab}	0.55 ± 0.02 ^{Bb}	0.82 ± 0.09 ^{Ba}
	His	0.31 ± 0.05 ^b	0.08 ± 0.04 ^{Bc}	0.26 ± 0.04 ^{Bb}	0.45 ± 0.05 ^{Aa}	0.50 ± 0.03 ^{Ca}	0.53 ± 0.02 ^{Ca}
	Cys	0.31 ± 0.05 ^a	0.32 ± 0.04 ^{Aa}	0.32 ± 0.07 ^{Ba}	0.30 ± 0.06 ^{Ba}	0.14 ± 0.02 ^{Db}	0.33 ± 0.06 ^{Da}
b^*	Lys	16.71 ± 0.06 ^a	16.33 ± 0.12 ^{Ab}	16.19 ± 0.12 ^{ABb}	15.29 ± 0.05 ^{ABc}	15.10 ± 0.06 ^{Bd}	15.35 ± 0.06 ^{Bc}
	Arg	16.71 ± 0.06 ^a	16.62 ± 0.06 ^{Aa}	16.57 ± 0.12 ^{Aa}	15.83 ± 0.08 ^{Ac}	16.03 ± 0.08 ^{Ab}	15.87 ± 0.12 ^{Abc}
	His	16.71 ± 0.06 ^a	16.17 ± 0.41 ^{Ab}	14.86 ± 0.25 ^{Cc}	15.18 ± 0.30 ^{Bc}	15.85 ± 0.27 ^{Ab}	14.13 ± 0.14 ^{Cd}
	Cys	16.71 ± 0.06 ^a	15.45 ± 0.25 ^{Bbc}	15.87 ± 0.58 ^{Db}	14.86 ± 0.47 ^{Bcd}	14.55 ± 0.10 ^{Cde}	13.91 ± 0.20 ^{Cc}

注：小写字母不同表示组内差异显著 ($P < 0.05$)，大写字母不同表示组间差异显著，下同。

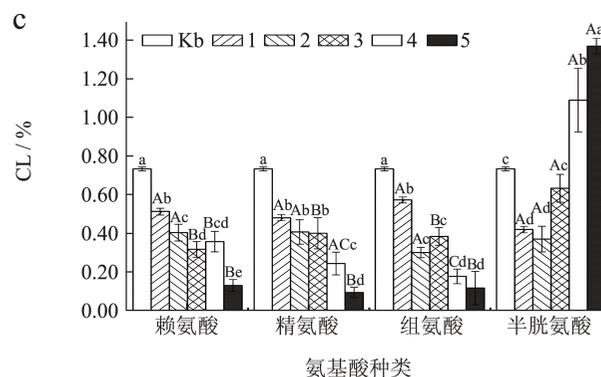


图 2 不同种氨基酸及其添加量对乳化肉糜保水性的影响
Fig.2 Effects of different amino acids and their added amounts on water retention of emulsified minced meat

在肉的众多品质中，肉类和肉制品的颜色是影响消费者购买决策的最直观因素之一^[22]。由表 3 可知，在添加了 4 种不同种类的氨基酸后，随着氨基酸添加量的不断增大， L^* 值都呈现不断下降的趋势，较高浓度的添加四种氨基酸的样品具有最低的 L^* 值，并且此时这三种氨基酸较 Cys 差异显著 ($P < 0.05$)。而 Cys 则在添加量为 0.15% 和 0.30% 时变化最明显，差异显著 ($P < 0.05$)。Hong 等^[23]发现 L^* 值的变化与猪肉的水分含量有关，肉制品水分含量的增加会导致颜色变浅。图 2c 所示，添加 Lys、Arg 与 His 导致 CL 值降低，从而增加水分含量并降低 L^* 值。结果与 Zhou 等^[7,8]Lys 或 Arg 显著降低了腌香肠的 L^* 值的结果相似。

由表3可知,对于碱性氨基酸来说,随着添加氨基酸比例的不断增大, a^* 值逐渐变大,变化也越来越明显,在Lys添加量为0.50%和Arg添加量为0.75%时变化最明显。而对于Cys而言,随着添加比例的不断增大, a^* 值变化不明显,差异不显著($P>0.05$)。肉色的稳定性通常与色素蛋白的氧化态有关。 a^* 值的变化是由肌红蛋白从亚铁肌红蛋白($\text{Mb}(\text{Fe}^{2+})$)氧化成高铁肌红蛋白($\text{MetMb}(\text{Fe}^{3+})$)引起的^[24]。通常, $\text{Mb}(\text{Fe}^{2+})$ 和 $\text{Mb}(\text{Fe}^{2+})\text{O}_2$ 不是高度稳定的,容易氧化成褐色的 $\text{MetMb}(\text{Fe}^{3+})$,肉和肉制品中的上述变化会导致变色^[25]。另外,本试验对乳化肉糜的肉色稳定性进行分析,结果显示,添加四种氨基酸后,MMb值降低, a^* 值表现出增加的趋势,说明 a^* 值与MMb含量呈负相关。 a^* 值增加可能与抗氧化活性^[26]或与内源性金属离子的配位反应有关,内源性金属离子可增加Mb或 MbO_2 氧化^[27]。在添加各4种类氨基酸以后, b^* 值都呈不断下降的趋势,Lys在添加量为0.4%时变化最大,其余三种氨基酸都在其最大添加量时变化最大,差异显著($P<0.05$)。

结果表明,Lys、Arg、His、Cys可以防止 $\text{Mb}(\text{Fe}^{2+})$ 氧化,这有助于增强肉制品的感官颜色。因此,说明Lys、Arg、His、Cys可以潜在地改善肉制品的颜色。

2.3 Lys、Arg、His、Cys及其添加量对乳化肉糜保水性的影响

解冻后的肉会有汁液流出,如果汁液流失过多,说明肉的稳定性和解冻后的肉的质量越差^[28]。由图2a可知,在乳化肉糜中添加Lys之后,TL呈不断下降的趋势,差异不显著($P>0.05$)。在添加Arg之后,TL呈现先下降后升高的趋势,其中添加量为0.30%时TL最小。在添加His之后,总体损失率都高于空白组,尤其是添加量为0.30%时损失率最大。在添加Cys后总体损失率也都高于空白组,添加量为0.15%时损失率最大。综上所述,只有添加Lys与添加量为0.15%和0.30%的Arg才能减少乳化肉糜的TL,其余氨基酸均不能减少乳化肉糜的TL。

由图2b所示,在添加Lys后,LOD呈不断下降的趋势,添加量为0.20%、0.30%、0.40%和0.50%时差异显著($P<0.05$),添加量为0.50%时损失率最小。在添加Arg后,LOD呈先下降后上升的趋势,但总体损失率均低于空白组,差异显著($P<0.05$),添加量为0.30%时损失率最小。在添加His之后,LOD呈上升,下降再上升的趋势,只有添加量为

0.90%时LOD最小。添加Cys后,只有添加量为0.60%时变化显著,其余四组较空白组差异不显著($P>0.05$)。综上所述,Lys、Arg、His、Cys均能降低乳化肉糜的LOD,但Cys差异变化不显著。

CL反映了保水保油能力,是评价乳化香肠产量、风味和口感的重要指标。由图2c可知,在添加Lys、Arg、His之后,CL值均显著下降($P<0.05$),都在其最大添加量时达到最低。而添加Cys的乳化肉糜,只有添加量为0.15%和0.30%时CL显著下降($P<0.05$)。提高了乳化鸡肉糜凝胶制品的产量。这与Huang等^[29]报道的精氨酸和赖氨酸降低了猪肉乳化香肠的CL值结果一致。Puolanne等^[30]显示CL值的增加与pH值的增加有关。与2.1结论中pH的变化结果一致。分析原因可能是由于氨基酸的加入,使肉肌纤维的纵向、横向收缩产生了改变,增强肌原纤维蛋白的溶解度,促进它们从肉组织中提取,并在油水界面上吸收,导致样品中的CL值降低^[31]。还可能与蛋白质与胶原蛋白的变性有关^[32]。综上所述,Lys、Arg、His均能降低乳化肉糜的CL,但Cys只有在添加量为0.15%和0.30%时,显著降低乳化肉糜的CL值。

2.4 Lys、Arg、His、Cys及其添加量对乳化肉糜乳化稳定性的影响

乳化稳定性(ES)可以提供关于在后续加工过程中保持水分和脂肪的能力的信息,是评估肉制品质量的重要参数。其乳化稳定性主要取决于油脂种类及蛋白质水平,这两种因素直接影响着油滴周围蛋白层的结构特性,进而影响到凝胶网络的致密性^[33]。由图3所示,随着Lys含量的不断增加,乳化肉糜的TEF和EFAT都显著降低($P<0.05$),在添加量达到0.50%时达到最低。Arg组乳化肉糜呈现的TEF和EFAT显著降低($P<0.05$),在添加量达到0.60%时最低。His组乳化肉糜的TEF和EFAT跟Arg组情况类似。而Cys组的TEF和EFAT总体呈现下降的趋势,在添加量达到0.75%时最低,差异显著($P<0.05$)。结果表明,Lys、Arg、His、Cys能提高香肠的乳化稳定性。肌球蛋白是脂肪球周围界面蛋白的主要组成部分,肉制品的ES既取决于油滴周围吸附蛋白层的结构特征,也取决于连续相中蛋白质基质的结构特征^[34]。Takai等^[35]研究表明,Lys和Arg都增加了肌球蛋白的溶解度。因此,加入氨基酸后,促进了肌原纤维蛋白的溶出,增加蛋白的溶出率,增大了蛋白质间的交互作用,使其

更加致密，而且随着氨基酸含量不断提高，盐溶蛋白溶出量也越多，表明ES越好^[36]。其次，通过增强液滴的Zeta电位和形成均匀的三维网络凝

胶也能使ES提高^[31]。综上所述，氨基酸的添加可以显著降低乳化肉糜的损失，提升其保水保油能力。

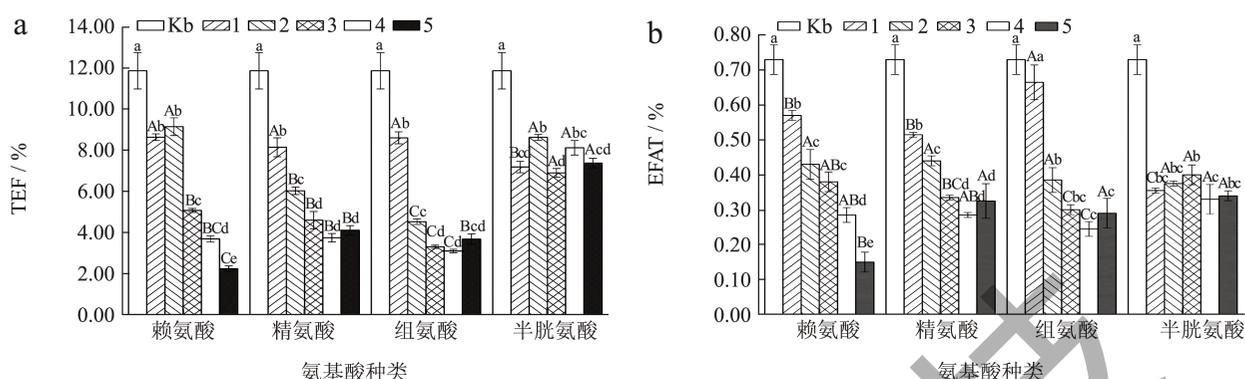


图 3 不同种氨基酸及其添加量对乳化肉糜乳化稳定性的影响

Fig.3 Effects of different amino acids and their added amounts on the emulsification stability of emulsified minced meat

表 4 不同种氨基酸及其添加量对乳化肉糜质构特性的影响

Table 4 Effects of different amino acids and their added amounts on the structural characteristics of emulsified mincemia

氨基酸	组别	硬度/g	弹性	内聚性	黏性	咀嚼性/g
Lys	Kb	581.24 ± 15.29 ^c	0.96 ± 0.012 ^a	0.84 ± 0.02 ^a	485.00 ± 4.77 ^d	463.71 ± 3.03 ^c
	1	629.83 ± 11.00 ^{Ab}	0.96 ± 0.010 ^{Aa}	0.84 ± 0.01 ^{Aa}	529.23 ± 12.36 ^{Ac}	507.04 ± 16.21 ^{Ab}
	2	635.96 ± 8.57 ^{Bb}	0.96 ± 0.01 ^{Aa}	0.84 ± 0.01 ^{Aa}	532.78 ± 11.10 ^{ABc}	510.95 ± 12.41 ^{Ab}
	3	647.79 ± 7.34 ^{Bb}	0.96 ± 0.01 ^{Aa}	0.84 ± 0.01 ^{ABa}	544.90 ± 4.28 ^{ABc}	523.66 ± 0.94 ^{ABb}
	4	689.26 ± 3.99 ^{Aa}	0.96 ± 0.01 ^{Aa}	0.84 ± 0.01 ^{Aa}	579.81 ± 2.59 ^{Ab}	557.35 ± 2.04 ^{Aa}
	5	714.38 ± 22.66 ^{Aa}	0.96 ± 0.00 ^{Aa}	0.84 ± 0.00 ^{Aa}	601.19 ± 18.15 ^{Aa}	578.71 ± 16.31 ^{Aa}
Arg	Kb	581.24 ± 15.29 ^c	0.96 ± 0.01 ^a	0.84 ± 0.02 ^a	485.00 ± 4.77 ^d	463.71 ± 3.03 ^d
	1	633.87 ± 7.09 ^{Ab}	0.96 ± 0.00 ^{Aa}	0.83 ± 0.01 ^{Aa}	528.03 ± 7.64 ^{Ac}	507.13 ± 7.95 ^{Ac}
	2	641.23 ± 9.99 ^{Bb}	0.96 ± 0.01 ^{Aa}	0.84 ± 0.02 ^{Aa}	536.18 ± 19.98 ^{ABc}	515.23 ± 19.14 ^{Abc}
	3	677.78 ± 7.74 ^{Aa}	0.96 ± 0.01 ^{Aa}	0.84 ± 0.03 ^{ABa}	565.86 ± 23.46 ^{ABb}	543.30 ± 25.11 ^{Aab}
	4	693.13 ± 9.00 ^{Aa}	0.97 ± 0.01 ^{Aa}	0.84 ± 0.01 ^{Aa}	582.72 ± 12.83 ^{Aa}	562.36 ± 17.09 ^{Aa}
	5	673.40 ± 13.52 ^{Ba}	0.96 ± 0.01 ^{Aa}	0.84 ± 0.01 ^{Aa}	566.68 ± 17.15 ^{Bab}	543.35 ± 19.94 ^{Aab}
His	Kb	581.24 ± 15.29 ^{cd}	0.96 ± 0.01 ^a	0.84 ± 0.02 ^a	485.00 ± 4.77 ^c	463.71 ± 3.03 ^c
	1	598.43 ± 3.83 ^{Abc}	0.96 ± 0.01 ^{Aa}	0.83 ± 0.00 ^{Aa}	494.38 ± 3.29 ^{Abc}	473.18 ± 5.89 ^{ABbc}
	2	633.65 ± 14.34 ^{Ba}	0.96 ± 0.01 ^{Aa}	0.85 ± 0.03 ^{Aa}	539.25 ± 28.84 ^{Aa}	517.64 ± 27.77 ^{Aa}
	3	609.98 ± 16.13 ^{Cab}	0.96 ± 0.01 ^{Aa}	0.85 ± 0.02 ^{Aa}	520.34 ± 15.70 ^{Bab}	498.41 ± 11.63 ^{Bab}
	4	603.40 ± 9.19 ^{Bbc}	0.96 ± 0.00 ^{Aa}	0.83 ± 0.02 ^{Aa}	501.32 ± 16.04 ^{Bbc}	478.732 ± 17.19 ^{Bbc}
	5	568.28 ± 14.17 ^{Cd}	0.95 ± 0.01 ^{ABa}	0.83 ± 0.04 ^{Aa}	470.35 ± 19.04 ^{Cc}	448.49 ± 21.35 ^{Bc}
Cys	Kb	581.24 ± 15.29 ^b	0.96 ± 0.01 ^a	0.84 ± 0.02 ^a	485.00 ± 4.77 ^b	463.71 ± 3.03 ^b
	1	542.24 ± 44.87 ^{Bbc}	0.95 ± 0.01 ^{Aa}	0.83 ± 0.00 ^{Aa}	451.37 ± 37.19 ^{Bbc}	430.89 ± 37.67 ^{Bbc}
	2	665.22 ± 7.17 ^{Aa}	0.94 ± 0.01 ^{Bab}	0.82 ± 0.01 ^{Bab}	544.53 ± 1.97 ^{Aa}	510.93 ± 7.32 ^{Aa}
	3	591.05 ± 13.98 ^{Cb}	0.94 ± 0.00 ^{Bab}	0.81 ± 0.02 ^{Ab}	475.64 ± 20.48 ^{Cbc}	446.96 ± 21.04 ^{Cbc}
	4	531.06 ± 33.49 ^{Cc}	0.94 ± 0.01 ^{Bab}	0.83 ± 0.00 ^{Ab}	438.31 ± 26.44 ^{Cc}	410.81 ± 21.51 ^{Cc}
	5	397.29 ± 4.09 ^{Dd}	0.89 ± 0.06 ^{Bb}	0.82 ± 0.01 ^{Ab}	327.03 ± 2.07 ^{Dd}	291.17 ± 20.30 ^{Cd}

2.5 Lys、Arg、His、Cys及其添加量对乳化肉糜质构特性的影响

消费者在选择肉制品时,除了其感官形状之外,还应包括其物理性质,其中,肉的质构对肉制品的质量有很大的影响,质构特性包含了肉制品的硬度、弹性、内聚性、黏着性、咀嚼性等诸多性能指标^[37]。由表4所示,在乳化肉糜添加Lys、Arg、His之后,其硬度、粘性及咀嚼性都随着添加量的增大而增大,差异显著($P < 0.05$),此外,添加量为0.50%的Lys、0.60%的Arg、0.90%的His都使得乳化肉糜的硬度,粘性及咀嚼性达到最大,但添加Lys、Arg、His的乳化肉糜其弹性和内聚性差异不显著($P > 0.05$)。如2.3结果所述,添加Lys、Arg、His可减少CL值,这可能是由于TPA参数增加所致。原因可能是氨基酸与内源性金属离子形成复合物,导致肌动球蛋白在肉蛋白中的解离,从而提高肉的凝胶强度^[38]。Lesiów等^[39]发现,随着pH值的增加,凝胶强度增加,其中鸡胸肌匀浆的凝胶强度增加了51%,pH值从6.0增加到6.3。这与2.1氨基酸对pH值的影响相对应。此外,Reddy等^[40]发现Arg对抑制蛋白质聚集有效,同时增强蛋白质重折叠,这可能有助于增加凝胶强度。而添加Cys之后,乳化肉糜的硬度、黏着性和咀嚼性没有添加Lys、Arg、His效果显著。

2.6 Lys、Arg、His、Cys及其添加量对乳化肉糜流变性的影响

储能模量(G')反应了肉糜中弹性部位储存的能量值,是肉糜凝胶强度的体现^[41]。 G' 越大说明肉糜的凝胶强度越大。由图4可知,与空白组相比,用Lys、Arg、His、Cys处理的样品在初始温度(27℃)时具有较低的 G' 值,这可能是由于盐可溶性蛋白的溶解度增加。随着温度的升高,添加了Lys、Arg和His的乳化肠的 G' 都呈先下降趋势,都是在60℃左右达到了 G' 的最低值,这可能是由于温度升高,脂肪融化。随后 G' 不断上升,75℃之后,Lys、Arg、His的 G' 值略高于空白组。据报道,Lys或Arg促进肌球蛋白的提取,并增加盐溶性肉蛋白的凝胶强度^[42],这可能有助于增加 G' 值。经Arg处理的样品在较高的温度(58℃)下达到第一峰。由于Arg的抗氧化作用,Arg的加入可能延迟肌球蛋白头部的聚集^[43],这可能有助于凝胶的均匀和ES的增加。从图中来看,添加量为0.30%的Lys、0.75%的Arg和0.30%的His的鸡肉糜效果最

好。而对于添加了Cys的肉糜来说,在添加量为0.15%、0.30%和0.45%时 G' 变化与碱性氨基酸一致,都是先下降后上升的趋势,但在添加量为0.60%和0.75%时 G' 却在上升到最高点后降了下来。这些结果表明,Lys、Arg、His、Cys促进了弹性凝胶的形成。

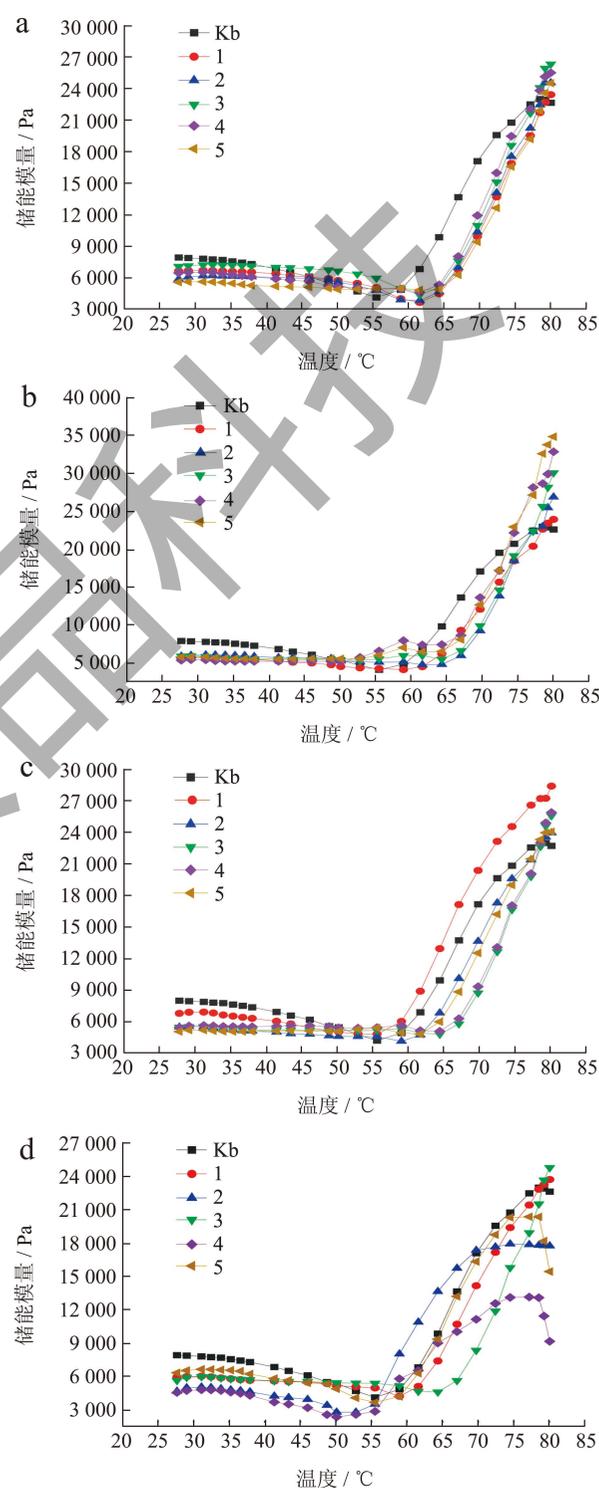


图4 不同种氨基酸及其添加量对乳化肉糜流变性的影响

Fig.4 Effects of different amino acids and their added amounts on the rheology of emulsified minced meat

注: (a) Lys; (b) Arg; (c) His; (d) Cys.

2.7 Lys、Arg、His、Cys及其添加量对乳化肉糜风味物质的影响

乳化鸡肉肠的风味来源主要两种，一为蛋白质氧化分解，二为脂肪氧化水解。此外，脂类物质的氧化对肉制品风味的形成也有很大作用^[44]。本研究采用 GC-MS 分析乳化肉糜的挥发性物质，添加氨基酸的乳化肉糜中，分别测出醇类 22 种，呋喃类 4 种，酚类 4 种，醚类 2 种，醛类 26 种，酸类 16 种，烃类 13 种，酮类 10 种，烷烃类 16 种，吡啶类 2 种，烷类 1 种，脂类 6 种，苯类 1 种，烯烃类 3 种，胺类 1 种，酯类 1 种，腈类 1 种，共 129 种物质。

对于添加不同氨基酸的乳化肉糜而言，风味物质的种类也不同，但醇类、呋喃类、醛类、烃类、酮类和烷烃类在这 4 种氨基酸添加的乳化鸡肉糜制品中都有出现，通过相对含量占比可知醛类物质是乳化肉糜中占比最高的风味物质，是最关键的香气成分。醛类物质主要来源于脂肪的分解，并与脂肪氧化呈正相关。根据附表看出，空白组的醛类的种类及相对含量低于氨基酸处理组，推测氨基酸的加入促进 Strecker 降解反应，从而生成更多的醛类物质。其中 Lys 组检测到的醛类物质最多，相对含量为 40.65%，其次为 His 组和 Arg 组，检测到的醛类物质相对含量分别为 37.66%、32.61%；Cys 组产生更少醛类物质，相对含量为 29.10%。0.50% Lys 产生醛的相对含量达到 40.65%，使产品风味更加浓郁。

醇类可能是由脂肪酸的二级氢过氧化物的分解、脂质氧化酶对脂肪酸的作用、脂肪的氧化分解生成^[45]。不饱和醇类物质阈值较低，对风味产生较大贡献。氨基酸添加组的醇的种类和相对含量均高于空白组，其中其中 His 组检测到的醇类物质最多，相对含量为 25.26%，其次为 Cys 组和 Arg 组，检测到的醛类物质相对含量分别为 24.50%、14.54%。

综上所述，添加 Lys、Arg、His 和 Cys 均对乳化肉糜的风味有所改善，添加后明显使得乳化肉糜的风味物质种类增多，提升了乳化肉糜的品质。

2.8 Lys、Arg、His、Cys及其添加量对乳化肉糜感官品质的影响

由图 5 可知，对于添加不同种类氨基酸的乳化肉糜而言，由于所含的比例不同，在分析其色泽、风味、口感和组织状态等特性时也有很大的差别。

经分析可知，添加 0.50% 的 Lys，0.60% 的 Arg，0.90% 的 His，0.60% 的 Cys 的乳化鸡肉糜，其组织状态、口感和色泽均高于其他组。但 Cys 的总体评分较 Lys、Arg 和 His 组低。这与前面肉色、质构以及风味的结果相对应。综上所述，在乳化肉糜中添加 Lys、Arg、His 能显著改善乳化肉糜的色泽、风味、口感与组织状态。

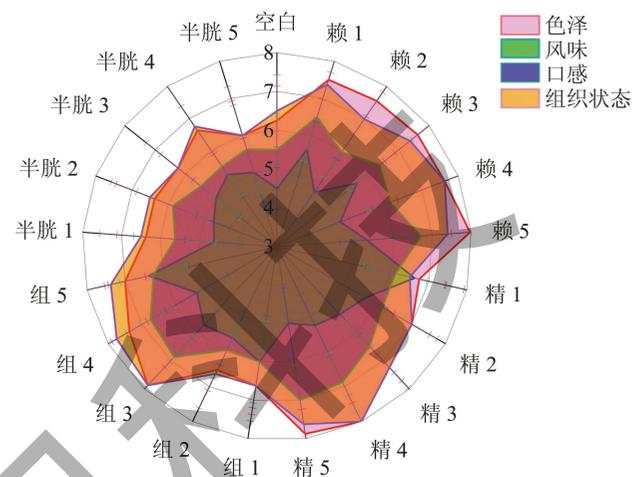


图 5 不同氨基酸及其添加量对乳化肉糜感官品质的影响

Fig.5 Effects of different amino acids and their added amounts on the sensory quality of emulsified minced meat

2.9 Lys、Arg、His、Cys及其添加量对乳化肉糜微观结构的影响

Kb 组和 Lys、Arg、His 及 Cys 最优添加量对乳化肉糜微观结构的影响如图 6 所示。乳化肉糜的微观结构是肌原纤维蛋白 (MP) 凝胶功能特性的重要决定因素，如保水性、质构和流变性有关^[46]。如图 6a 所示，空白组含有大量的纤维聚集体和分布不均匀的大而不规则的孔隙，且结构松散、粗糙，这可能是因为在在此状态下，乳化肉糜无法形成均匀致密的三维网状结构，MP 溶解度较小，这可能是加热过程中脂肪和水分流失的残留痕迹^[46]。如图 6b、c、d 所示，添加 Lys、Arg、His 组，与对照组相比，乳化肉糜微观结构减少了空隙，结构致密，表面致密。显微组织的变化与 CL 和硬度值的变化有关^[47]。Lys、Arg、His 的加入可能导致孔洞数量和尺寸的减少，形成光滑、致密和均匀的凝胶基质，从而增加硬度和降低 CL 值。Lys、Arg 可增加肌球蛋白溶解度，诱导肉糜 pH 偏离盐溶性肉类蛋白的等电点，并增强盐溶性肉类蛋白的凝胶强度^[48]。这些结果可以解释上述对 ES、质构和流变学的描述。正如 2.3、2.5 和 2.6 节所示。因此，氨基酸处理的优点是改善

质构性能和提高产品收率^[49]。而从图 6e 可以看出, Cys 组与空白组的微观结构相似, 也发现了一些大的空腔。这与 Wang 等^[50]的结果相似。综上可知, Lys、Arg、His 的添加在促进了乳化肉糜凝胶网络更加紧密, Lys 组和 Arg 组的效果较好, Cys 组的效果最差, 这与前面质构特性等指标的结果相对应。

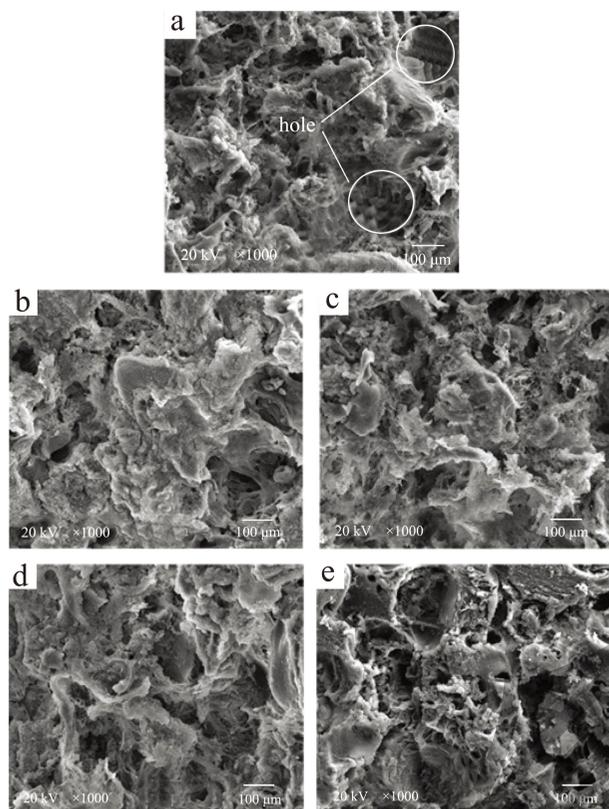


图 6 不同氨基酸最优添加量对乳化肉糜微观结构的影响

Fig.6 Effect of optimal addition of different amino acids on the microstructure of emulsified minced meat

注: a: KB 组; b: 0.50% Lys 组; c: 0.60% Arg 组; d: 0.90% His 组; e: 0.60% Cys 组。

3 结论

综上所述, 添加量为 0.50% 的 Lys 组、0.60% 的 Arg 组和 0.90% 的 His 组能显著改善乳化肉糜的风味、质构、组织状态和微观结构; 所有添加组中, 添加量为 0.50% 的 Lys 组品质呈现最优, 能提高乳化肉糜的 pH 值和肉色稳定性, 改善了乳化肉糜的色度和感官特性, 最能减少乳化肉糜的冻融损失和干燥损失, 提升其持水保油能力, 使乳化肉糜微观结构的空隙减少, 结构致密; 添加了氨基酸的乳化肉糜中, 醇类、醛类和烷烃类占比最多, 对乳化肉糜的风味贡献最多。

参考文献

- [1] 迟敏, 李利元, 黄东杰. 淀粉基食品薄膜在肉制品保鲜中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(12): 117-125.
- [2] 高鲲. 糖基脂肪替代物对低脂鸡肉肠品质的影响研究[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(12): 192-198.
- [3] YANG H, KHAN M A, HAN M, et al. Optimization of textural properties of reduced-fat and reduced-salt emulsion-type sausages treated with high pressure using a response surface methodology [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 33: 162-169.
- [4] 苏娅宁, 杨慧娟, 陈韬. 低脂凝胶类肉制品脂肪替代及改性的研究进展[J]. 肉类研究, 2021, 35(9): 51-57.
- [5] JIANG J, XIONG Y L. Role of interfacial protein membrane in oxidative stability of vegetable oil substitution emulsions applicable to nutritionally modified sausage [J]. Meat Science, 2015, 109: 56-65.
- [6] SALMINEN H, HERRMANN K, WEISS J. Oil-in-water emulsions as a delivery system for n-3 fatty acids in meat products [J]. Meat Science, 2013, 93(3): 659-667.
- [7] ZHOU C, LI J, TAN S, et al. Effects of L-arginine on physicochemical and sensory characteristics of pork sausage [J]. Advance Journal of Food Science and Technology, 2014, 6(5): 660-667.
- [8] ZHOU C, LI J, TAN S. Effect of L-lysine on the physicochemical properties of pork sausage [J]. Food Science and Biotechnology, 2014, 23(3): 775-780.
- [9] NING C, LI L, FANG H, et al. L-lysine/L-arginine/L-cysteine synergistically improves the color of cured sausage with NaNO₂ by hindering myoglobin oxidation and promoting nitrosylmyoglobin formation [J]. Food Chemistry, 2019, 284: 219-226.
- [10] ZHANG D, XU B, ZHANG Y, et al. L-arginine/L-lysine alleviated the deterioration of emulsion sausages with partial replacement of porcine backfat by soybean oil by hindering hydroxyl radical stressed oxidation of meat proteins [J]. ACS Food Science & Technology, 2021, 1(5): 967-974.
- [11] 杜婷婷, 张莉, 徐泽权, 等. 不同成熟方式对哈萨克羊肉冻藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2023, 39(10): 170-177.
- [12] 冷坪蔚, 梅议文, 芦慧勤, 等. 食用菌粉对猪肉肠冷藏过程中品质及挥发性风味物质的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(13): 356-366.
- [13] ABBASI E, AMINI SARTESHNIZI R, AHMADI GAVLIGHI H, et al. Effect of partial replacement of fat with added water and tragacanth gum (*Astragalus gossypinus* and *Astragalus compactus*) on the physicochemical, texture, oxidative stability, and sensory property of reduced fat emulsion type sausage [J]. Meat Science, 2019, 147: 135-143.

- [14] OLMEDILLA-ALONSO B, JIMÉNEZ-COLMENERO F, SÁNCHEZ-MUNIZ F J. Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods [J]. *Meat Science*, 2013, 95(4): 919-930.
- [15] OMANA D A, MOAYEDI V, XU Y, et al. Alkali-aided protein extraction from chicken dark meat: Textural properties and color characteristics of recovered proteins [J]. *Poultry Science*, 2010, 89(5): 1056-1064.
- [16] 张旭,王卫,白婷,等.四川浅发酵香肠加工过程中挥发性风味物质测定及其主成分分析[J].现代食品科技,2020,36(10):274-283.
- [17] 周向辉,刘昶,张秋会.L-赖氨酸和L-组氨酸对低盐乳化肠品质特性的影响[J].中国食品添加剂,2023,34(4):197-204.
- [18] FELISBERTO M H F, GALVÃO M T E L, PICONE C S F, et al. Effect of prebiotic ingredients on the rheological properties and microstructure of reduced-sodium and low-fat meat emulsions [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 60(1): 148-155.
- [19] KOOHMARAIE M, KENT M P, SHACKELFORD S D, et al. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? [J]. *Meat Science*, 2002, 62(3): 345-352.
- [20] WANG Y, HU Y, LI Y, et al. Individual effects of L-arginine or L-lysine on stability of pork or chicken emulsion sausages with partial replacement of porcine backfat by soybean oil [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2021, 56(12): 6742-6751.
- [21] PUOLANNE E, HALONEN M. Theoretical aspects of water-holding in meat [J]. *Meat Science*, 2010, 86(1): 151-165.
- [22] 张萌,马思丽,李亚蕾,等.贮藏期间蛋白质氧化对牛肉品质的影响[J].中国食品学报,2023,23(7):327-336.
- [23] HONG G P, PARK S H, KIM J Y, et al. The effects of high pressure and various binders on the physico-chemical properties of restructured pork meat [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2006, 19(10): 1484-1489.
- [24] LI M, LI Z, LI X, et al. Comparative profiling of sarcoplasmic phosphoproteins in ovine muscle with different color stability [J]. *Food Chemistry*, 2018, 240: 104-111.
- [25] JIN S K, CHOI J S, JEONG J Y, et al. The effect of clove bud powder at a spice level on antioxidant and quality properties of emulsified pork sausage during cold storage: Effect of clove bud powder on emulsified pork sausage [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 96(12): 4089-4097.
- [26] MODI A T. Growth temperature and plant age influence on nutritional quality of Amaranthus leaves and seed germination capacity# [J]. *Water SA*, 2007, 33(3): 49118.
- [27] SHAHIDI F, HONG C. Role of metal ions and heme pigments in autoxidation of heat-processed meat products [J]. *Food Chemistry*, 1991, 42(3): 339-346.
- [28] 冯钰敏,梁诗惠,邓华荣,等.不同解冻方式对鸭腿肉品质特性的影响[J].食品工业科技,2023,44(3):336-345.
- [29] HUANG Y, ZHANG Y, ZHANG D, et al. Combination effects of ultrasonic and basic amino acid treatments on physicochemical properties of emulsion sausage [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021, 15(2): 2088-2097.
- [30] PUOLANNE E J, RUUSUNEN M H. Combined effects of NaCl and raw meat pH on water-holding in cooked sausage with and without added phosphate [J]. *Meat Science*, 2001, 58(1): 1-7.
- [31] ZHU X, LI L, LI S, et al. L-Arginine/L-lysine improves emulsion stability of chicken sausage by increasing electrostatic repulsion of emulsion droplet and decreasing the interfacial tension of soybean oil-water [J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 89: 492-502.
- [32] 孙灵霞,李嘉辉,祝超智,等.巴西内洛尔牛不同部位肉质特性分析[J].食品工业科技,2022,43(1):93-100.
- [33] 贾永京.肌原纤维蛋白/酚酯粒子稳定的茶油乳液基乳化肠的研究[D].合肥:合肥工业大学,2021.
- [34] ZHANG L, LIN Y H, LENG X J, et al. Effect of sage (*Salvia officinalis*) on the oxidative stability of Chinese-style sausage during refrigerated storage [J]. *Meat Science*, 2013, 95(2): 145-150.
- [35] TAKAI E, YOSHIZAWA S, EJIMA D, et al. Synergistic solubilization of porcine myosin in physiological salt solution by arginine [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2013, 62(1), 647-651.
- [36] 闫艺,王静云,黄笠原,等.食盐添加量对马肉糜加工特性的研究[J].农产品加工,2020(18):32-36+40.
- [37] 王昱,王家乐,袁晶晶,等.L-赖氨酸与谷氨酰胺转氨酶联合处理对低盐鸡肉糜凝胶保水及质构品质的影响[J].2023,44(22):24-30.
- [38] XIONG Y L, NOEL D C, MOODY W G. Textural and sensory properties of low-fat beef sausages with added water and polysaccharides as affected by pH and salt [J]. *Journal of Food Science*, 1999, 64(3): 550-554.
- [39] LESIÓW T, XIONG Y L. Chicken muscle homogenate gelation properties: effect of pH and muscle fiber type [J]. *Meat Science*, 2003, 64(4): 399-403.
- [40] REDDY K. R C. L-Arginine increases the solubility of unfolded species of hen egg white lysozyme [J]. *Protein Science*, 2005, 14(4): 929-935.
- [41] 蒙志明,刘莹,席越阳,等.藜麦蛋白对低钠盐体系中猪肉肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J].肉类研究,2023,37(5): 31-38.

- [42] GUO X Y, PENG Z Q, ZHANG Y W, et al. The solubility and conformational characteristics of porcine myosin as affected by the presence of l-lysine and l-histidine [J]. *Food Chemistry*, 2015, 170: 212-217.
- [43] ZHANG Y W, ZHANG L, HUI T, et al. Influence of partial replacement of NaCl by KCl, L-histidine and L-lysine on the lipase activity and lipid oxidation in dry-cured loin process [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 64(2): 966-973.
- [44] 白卫东,陈耀,刘丽微.广式腊肠、腊肉风味物质研究进展[J].*中国食品添加剂*,2012(3):208-212.
- [45] 董庆利.亚硝酸盐对蒸煮香肠品质的影响及其抑菌模型与机理的研究[D].南京:南京农业大学,2007.
- [46] FU Y, ZHENG Y, LEI Z, et al. Gelling properties of myosin as affected by L-lysine and L-arginine by changing the main molecular forces and microstructure [J]. *International Journal of Food Properties*, 2017, 20(sup1): S884-S898.
- [47] CHEN C, WANG R, SUN G, et al. Effects of high pressure level and holding time on properties of duck muscle gels containing 1% curdlan [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2010, 11(4): 538-542.
- [48] QIN H, XU P, ZHOU C, et al. Effects of L-Arginine on water holding capacity and texture of heat-induced gel of salt-soluble proteins from breast muscle [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 63(2): 912-918.
- [49] SUN J, WU Z, XU X, et al. Effect of peanut protein isolate on functional properties of chicken salt-soluble proteins from breast and thigh muscles during heat-induced gelation [J]. *Meat Science*, 2012, 91(1): 88-92.
- [50] WANG X, FENG T, WANG X, et al. Gelation and microstructural properties of fish myofibrillar protein gels with the incorporation of L-lysine and L-arginine at low ionic strength [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2021, 101(13): 5469-5477.

现代食品科技