

pH 值对添加 L-精氨酸的草鱼糜凝胶特性的影响

关 宏<sup>1</sup> 丁玉琴<sup>2</sup> 尤 娟<sup>1</sup> 熊善柏<sup>1</sup>

1. 华中农业大学食品科学技术学院/国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉), 武汉 430070;  
2. 中南林业科技大学食品科学与工程学院/稻米及副产物深加工国家工程实验室, 长沙 410018

**摘要** 以草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)鱼糜为研究对象,采用二段加热方式制备鱼糜凝胶,研究 pH 值对添加 L-精氨酸的草鱼糜凝胶特性的影响。结果表明,与未添加 L-精氨酸试验组比较,添加 0.65% L-精氨酸后,鱼糜凝胶的持水性、凝胶强度、质构特性、流变特性以及微观结构均得到了显著改善,但白度值显著降低;与未经酸调节试验组比较,经酸调节处理后,鱼糜凝胶的白度值显著升高,而持水性、凝胶强度、质构特性、流变特性以及微观结构均显著下降。研究结果说明,L-精氨酸改善草鱼糜的凝胶性能是由它的强碱性及其基团与蛋白质分子之间发生相互作用共同所致。

**关键词** 鱼糜; L-精氨酸; 凝胶特性; pH 值  
**中图分类号** TS 254.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2018)05-0110-07

鱼糜制品是近 10 年来我国发展速度最快的水产食品之一<sup>[1-2]</sup>。在鱼糜制品加工中,加入适量的食盐可促进肌原纤维蛋白溶解,是鱼糜形成高质量凝胶的前提条件<sup>[3]</sup>。一般需要添加 2%~3% 的食盐才能形成较好的凝胶,而高盐不利于人体健康,人体摄入过量的钠盐会导致血压和血糖升高<sup>[4]</sup>。目前,消费者更青睐低盐鱼糜制品,但单一的降低盐分可能会导致鱼糜凝胶性能的急剧下降<sup>[5]</sup>。为解决上述问题,需要利用其他物质部分替代钠盐,降低离子强度,以达到与高盐条件下同等的凝胶效果,以保证鱼糜制品的风味、口感和持水性等品质。

L-精氨酸(arginine, L-Arg)是一种碱性氨基酸,溶于水后溶液呈强碱性。L-Arg 具有改善繁殖能力、心血管功能、胃肠道发育以及调控免疫能力等作用<sup>[6]</sup>。笔者前期研究表明(暂未发表),将 L-Arg 添加到鱼糜中能显著改善鱼糜的凝胶性能,在 1% NaCl 条件下,添加 0.65% L-Arg 时鱼糜凝胶性能最好,但添加 L-Arg 后其 pH 会明显升高,是 L-Arg 与鱼糜中肌原纤维蛋白分子之间发生了相互作用,还是碱性改变了鱼糜中肌原纤维蛋白分子结构所致? 目前尚未见文献报道。因此,为消除 L-Arg 强碱性改变体系 pH 而造成鱼糜凝胶特性的变化,本

研究对比考察 1%和 2%NaCl 条件下,pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜凝胶特性的影响,为低钠鱼糜制品的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新鲜草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*),体质量约 1.5 kg/条,购于华中农业大学农贸市场,并将其制作成鱼糜,加入抗冻剂(4%蔗糖和 4%山梨醇)后含水量约为 75%。

NaCl,湖北盐业有限公司;L-精氨酸(食品级,99.5%),桐乡市康诺生物科技有限公司;蒸馏水(实验室自制);脱脂棉纱布、保鲜膜、肠衣(武汉市售)等。

采肉机,厦门英博机械有限公司;Y90S-4 三相异步电动离心机,上海潮龙焊接机电有限公司;AUY220 型分析天平,岛津国际贸易(上海)有限公司;K600(3205)食品调理机,德国博朗电器公司;Ultrascan XE 色度仪,美国 Hunter Lab 公司;LTD 硬度计,日本 Kiya Seiakush;TA-XTPlus 质构仪,美国 Surrey 公司;AR-2000ex 动态流变仪,美国 TA Instruments Lat;JSM-6390LV 扫描电镜,日本

收稿日期: 2017-07-18  
基金项目: 国家自然科学基金青年项目(31601502); 国家现代农业产业技术体系专项(CARS-45-27)  
关 宏,硕士研究生,研究方向: 水产品加工及贮藏工程. E-mail: 1518790796@qq.com  
通信作者: 熊善柏,教授,研究方向: 水产品加工及贮藏工程. E-mail: xionsgb@mail.hzau.edu.cn

NTC; AVANTI J-26 高速冷冻离心机, 美国贝克曼公司。

## 1.2 鱼糜凝胶的制备

参考刘茹<sup>[7]</sup>的方法并略作修改, 将冷冻鱼糜流水解冻2 h, 切成边长2 cm的小块, 置于食品调理机中, 先空斩1 min, 然后分别加入含1% NaCl + L-Arg(0%、0.65%、0.65%(用盐酸将pH调节至与无L-Arg时一致))和2% NaCl + L-Arg(0%、0.65%、0.65%(用盐酸将pH调节至与无L-Arg时一致))的溶液斩拌3 min, 并调节最终水分质量分数为78%, 抽真空, 灌入肠衣(直径25 mm), 并用卡口机将两端密封。采用两段加热法, 即40℃加热1 h, 然后迅速取出, 再在90℃下煮制0.5 h, 取出用流水冷却, 于4℃下冷藏过夜。

## 1.3 混合鱼糜 pH值的测定

参考李莎莎等<sup>[8]</sup>的方法并略作修改, 取3.0 g上述过程中混合均匀的鱼糜, 放入50 mL离心管中, 加入30 mL超纯水, 4 000 r/min均质30 s后, 于4℃下4 000 r/min冷冻离心10 min, 取上清液测pH, 每个样品做3个平行。

## 1.4 鱼糜凝胶白度的测定

参考 Benjakul 等<sup>[9]</sup>的方法, 将鱼糜凝胶切成厚5 mm的圆片, 采用色差分析仪测定白度, 平行测量8次, 白度的计算公式为:  $W = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$ 。

## 1.5 鱼糜凝胶持水性的测定

参考 Lin 等<sup>[10]</sup>的方法并略作修改, 将鱼糜凝胶切成厚5 mm的均匀薄片并称重( $m_1$ ), 上置滤纸2张, 下置滤纸3张, 压力计持续施加49 N, 保持3 min, 去掉滤纸, 样品称重( $m_2$ ), 持水性(%)的计算公式为: 持水性 =  $[1 - (m_1 - m_2)/(m_1 \times 78\%)] \times 100\%$ 。

## 1.6 鱼糜凝胶强度的测定

参考刘茹<sup>[7]</sup>的方法。使用TA-XTPlus质构分析仪测定鱼糜凝胶的穿刺性能, 进行1次压缩。测定时将鱼肠断面中心置于质构仪探头的正下方样品台中央。测定条件为: 探头型号, P/0.25S; 测试模式, Return To Start; 测前速率, 5.00 mm/s; 测试速率, 1.00 mm/s; 测后速率, 5.00 mm/s; 压缩距离, 15.00 mm; 触发类型, 自动。测试过程中的最大力即为破断强度, g; 对应的压缩距离为凹陷深度, mm; 凝胶强度等于破断强度与凹陷深度的乘积, g·mm。每个样品做6~9个平行。

## 1.7 鱼糜凝胶 TPA 参数的测定

参考 Pons 等<sup>[11]</sup>的方法并略作修改, 将鱼糜凝胶切成高20 mm的圆柱体, 断面的中心置于TA-XT Plus质构仪探头的正下方的样品台上, 每个样品进行2次轴向压缩测定。测试条件如下: P/36R探头; 触发力5 g; 测试前速率2.0 mm/s; 测试中速率1.0 mm/s; 测试后速率2.0 mm/s; 压缩比40%; 停留时间5 s。

## 1.8 流变特性的测定

参照 Shi 等<sup>[12]</sup>方法, 采用AR2000ex型动态流变仪测定, 平板直径为40 mm。将样品均匀置于流变仪的样品台上, 调节平行板的间隙为1 mm, 去除过量样品, 盖上盖板, 并用丙三醇密封, 以防止水分蒸发。在振动模式下和线性黏弹区的范围内, 进行温度扫描。温度扫描条件: 升温扫描范围为10~90℃, 升温速率为2.0℃/min, 振荡频率为1 Hz, 测定升温过程中弹性模量 $G'$ 和损耗模量 $G''$ 的变化。每个样品至少3个平行样, 结果取平均值。

## 1.9 鱼糜凝胶微观结构

参考吴晓丽<sup>[13]</sup>的方法并略作修改, 将制备的样品切成长宽约1~2 mm、厚1 mm的小块, 用2.5%戊二醛固定2~7 h后, 用乙醇梯度洗脱(30%、50%、70%、80%、95%、100%、100%), 醋酸异戊酯洗脱(乙醇: 醋酸异戊酯体积比为1:1), 各个梯度下洗脱20 min, 将处理好的样品立即于临界点干燥, 干燥好后对样品进行喷金处理以备扫描电镜观察。

## 1.10 数据处理

采用Excel、Origin和SPSS软件进行数据处理, 所有数据均为3次重复试验的平均值。

# 2 结果与分析

## 2.1 pH值对添加L-Arg的草鱼糜凝胶白度的影响

pH值对添加L-Arg的草鱼糜凝胶白度的影响如表1所示。L-Arg和NaCl的添加使得草鱼糜凝胶的 $L^*$ 和 $b^*$ 降低, 因为白度值 $W$ 是随着 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 的变化而变化, 故鱼糜的白度值也随之下降。而经过酸调节处理后, 鱼糜凝胶的白度值较未经酸调节试验组显著增大( $P < 0.05$ ), 但仍低于不添加L-Arg试验组, 这也说明pH值能显著影响草鱼糜凝胶的白度。Rawdkuen等<sup>[14]</sup>研究发现添加物本身的颜色和添加量的增加, 鱼糜的色泽也会随之变黄, 降低白度。单媛媛<sup>[15]</sup>研究发现, L-Arg与蛋白可能形成复合物, 这可能使得鱼糜凝胶光散射的发生, 引

起凝胶光泽、透明度的改变。Arfat 等<sup>[16]</sup>证实鱼糜凝胶的白度和蛋白颗粒大小相关。

表 1 pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜凝胶白度的影响

Table 1 Effect of pH value on the whiteness of grass carp surimi gel added with L-Arg

| NaCl 添加量/%<br>NaCl addition | L-Arg 添加量/%<br>L-Arg addition | pH  | W            | L *          | a *          | b *         |
|-----------------------------|-------------------------------|-----|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 1                           | 0                             | 6.5 | 82.13±0.26Aa | 83.16±0.28Aa | -1.83±0.11Aa | 5.69±0.04Aa |
|                             | 0.65                          | 8.3 | 75.38±0.02Ac | 75.65±0.03Ac | -1.82±0.03Aa | 3.15±0.12Ab |
|                             | 0.65                          | 6.5 | 79.12±0.38Ab | 79.48±0.38Ab | -2.82±0.07Ab | 2.68±0.11Ac |
| 2                           | 0                             | 6.5 | 80.46±0.28Ba | 81.10±0.30Ba | -2.60±0.02Bb | 4.25±0.08Ba |
|                             | 0.65                          | 8.3 | 75.29±0.24Ac | 75.61±0.23Ac | -2.27±0.05Ba | 3.21±0.11Ab |
|                             | 0.65                          | 6.5 | 77.13±0.25Bb | 77.39±0.26Bb | -3.04±0.17Ac | 1.58±0.13Bc |

注：相同 NaCl 添加量组同列中不同的小写字母表示有显著性差异( $P<0.05$ )；相同 L-Arg 添加量组同列中不同的大写字母表示有显著性差异( $P<0.05$ )；pH=6.5 指用 HCl 将添加 0.65% 的 L-Arg 试验组的 pH 调至与对应的空白组混合鱼糜 pH 一致。下同。  
Note: There are significant differences in the same lowercase letters for the same NaCl addition group ( $P<0.05$ ); The same L-Arg addition group has a significant difference in the same capital letters( $P<0.05$ ); pH = 6.5 means that the pH of the the pH of the 0.65% L-Arg test group added with HCl is adjusted to match the pH of the corresponding mix. The same as follows.

2.2 pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜凝胶持水性的影响

凝胶持水性与凝胶的结构有关,形成的凝胶越致密、均匀,则其失水率越低,持水性越好<sup>[17]</sup>。酸碱度对添加 L-Arg 的草鱼糜凝胶持水性的影响如图 1 所示。添加 0.65% 的 L-Arg 后,鱼糜凝胶的持水性显著高于空白组和酸调节试验组( $P<0.05$ ),酸调节后鱼糜凝胶持水性下降,可能是 pH 的降低使鱼糜蛋白所带净电荷减少,与水分子相互作用的氢键结合位点降低,导致鱼糜凝胶持水性下降<sup>[18-19]</sup>。而在 2%NaCl 条件下,酸调节试验组的持水性反而低于空白组,这可能与过量的 L-Arg 引起蛋白质分子间静电相互作用的影响有关,从而使鱼糜凝胶的持水性下降。

2.3 pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜凝胶强度的影响

pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜凝胶破断力和凹陷深度的影响如图 2 所示。在 1%NaCl 水平下,酸调节试验组的破断力和凹陷深度显著高于空白组( $P<0.05$ ),而显著低于未经酸调节试验组( $P<0.05$ )。而 2%NaCl 水平下,酸调节试验组的破断力显著低于未经酸调节试验组( $P<0.05$ ),而与对应的空白组相比,却无显著性差异( $P>0.05$ )。而酸调节试验组的凹陷深度反而显著低于空白组( $P<0.05$ )。这说明添加 L-Arg 能改善草鱼糜凝胶的凝胶强度,而其中有一部分效果是由它的强碱性造成的。L-Arg 中的胍基还可以抑制蛋白聚集<sup>[20-21]</sup>,蛋白的聚集能够抑制肌原纤维蛋白凝胶的形成,而肌原纤维蛋白是形成鱼糜凝胶的重要蛋白,因此,L-Arg 的上述特性可能是改善鱼糜凝胶强度的重要原因。

2.4 pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜凝胶 TPA 参数的影响

pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜凝胶 TPA 的影响见表 2。由表 2 可知,L-Arg 能显著提高草鱼糜凝胶的硬度、弹性、咀嚼性、内聚力和回复性( $P<0.05$ )。在 1%NaCl 水平下,与空白组相比,酸调节试验组鱼糜凝胶的硬度、弹性、咀嚼性、内聚力和回复性有显著提高( $P<0.05$ ),但要显著低于未经酸调节试验组( $P<0.05$ )。在 2%NaCl 水平下的变化趋势与 1% NaCl 水平下相近,只是与空白组相比,经酸调节后鱼糜凝胶的硬度、弹性、咀嚼性、内聚力和回复性略有降低。L-Arg 为碱性氨基酸,可以提

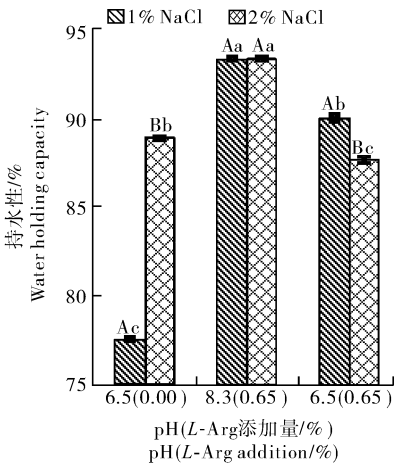


图 1 pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜凝胶持水性的影响  
Fig.1 Effect of pH value on water holding capacity of grass carp surimi gel added with L-Arg

高肉糜体系中的 pH,使其远离肌原纤维蛋白的等电点<sup>[22]</sup>,这增加了肌原纤维蛋白分子间的静电排斥,使得与水结合位点数增多,增加了水合作用。

L-Arg 中的胍基可能会提高肌球蛋白的溶解性<sup>[23]</sup>,进而提高鱼糜中蛋白的萃取,增加盐溶蛋白含量,这可能导致鱼肠质构发生变化。

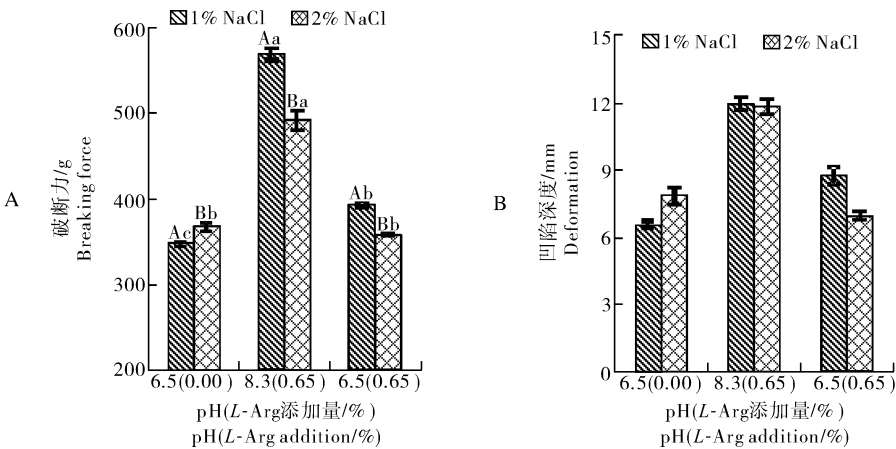


图 2 pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜凝胶破断力和凹陷深度的影响

Fig.2 Effects of pH value on the breaking strength and deformation of grass carp surimi gel added with L-Arg

表 2 pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜凝胶 TPA 的影响

| NaCl 添加量 / %<br>NaCl addition |  | L-Arg 添加量 / %<br>L-Arg addition | pH 值<br>pH value | 硬度 / g<br>Hardness | 弹性<br>Springiness | 内聚力<br>Cohesiveness | 咀嚼性 / g<br>Chewiness | 回复性<br>Resilience |
|-------------------------------|--|---------------------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| 1                             |  | 0                               | 6.5              | 1 932.22±28.55Ac   | 0.91±0.00Ac       | 0.70±0.01Ac         | 1 229.04±14.24Ac     | 0.38±0.01Ac       |
|                               |  | 0.65                            | 8.3              | 2 212.31±29.94Aa   | 0.93±0.00Aa       | 0.77±0.00Aa         | 1 584.95±24.65Aa     | 0.46±0.01Aa       |
|                               |  | 0.65                            | 6.5              | 2 077.88±2.88Ab    | 0.92±0.01Ab       | 0.73±0.01Aa         | 1 402.21±9.23Ab      | 0.42±0.00Ab       |
| 2                             |  | 0                               | 6.5              | 2 051.77±40.69Bb   | 0.93±0.00Bb       | 0.72±0.00Ab         | 1 363.17±15.71Bb     | 0.40±0.00Bb       |
|                               |  | 0.65                            | 8.3              | 2 169.98±16.51Aa   | 0.94±0.00Ba       | 0.77±0.00Aa         | 1 564.36±9.26Aa      | 0.46±0.02Aa       |
|                               |  | 0.65                            | 6.5              | 1 977.11±8.61Bc    | 0.91±0.00Ac       | 0.71±0.00Bb         | 1 283.48±8.36Bc      | 0.38±0.00Bb       |

2.5 pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜流变学特性的影响

图 3 显示了在升温(10~90 ℃)过程中 L-Arg 对草鱼糜弹性模量  $G'$  和损耗模量  $G''$  的影响。不同条件下,弹性模量  $G'$  和损耗模量  $G''$  总体变化趋势是一致的。在 20~42 ℃ 范围内,体系的弹性模量  $G'$  随着温度的升高先下降后上升,在 42 ℃ 左右出现 1 个峰,此时有一个较弱的三维凝胶网络结构形成。在 42~50 ℃ 范围内,体系的  $G'$  随着温度的升高而迅速下降,在 50 ℃ 左右达到最小值。进一步加热后,  $G'$  又继续增大,在约 74 ℃ 时  $G'$  升高至最大值,直到 90 ℃ 保持平稳,这一现象可能是因为肌球蛋白分子大多数展开成为随机线圈结构,增强了蛋白质之间的交联,使重组聚合形成稳定的、热不可逆的凝胶结构<sup>[24]</sup>。而  $G''$  也是在 42 ℃ 左右出现 1 个峰,之后在 50 ℃ 左右迅速降低至底部。随着进一步加热,  $G''$  逐渐增大,在 73 ℃ 左右达到顶部。温度达到

75 ℃ 以上时,  $G'$  基本保持平稳,  $G''$  却因蛋白质分子之间的交联而降低,在整个过程中,  $G''$  与  $G'$  的比值始终小于 1,说明添加 L-Arg 的鱼糜在整个升温过程中弹性始终大于黏性。

2.6 pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜凝胶微观结构的影响

pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜凝胶微观结构的影响见图 4。由图 4 可知,在 1%NaCl 水平下,未添加 L-Arg 的 A 组鱼糜凝胶内部结构松散,没有形成一个完整的三维网状凝胶结构,而添加 L-Arg 的 B 组鱼糜凝胶样品网络结构变得致密、孔隙细小而均匀,形成一个完整的三维网状凝胶结构,而经酸调节后的 C 组鱼糜凝胶网络结构显著优于 A 组,而弱于 B 组。在 2%NaCl 水平下,未添加 L-Arg 的 D 组鱼糜凝胶网络结构明显优于 A 组,弱于添加 L-Arg 的 E 组,而经酸调节后的 F 组网络结构反而弱于 D 组,这与前面凝胶强度的研究结果一致。这也说明

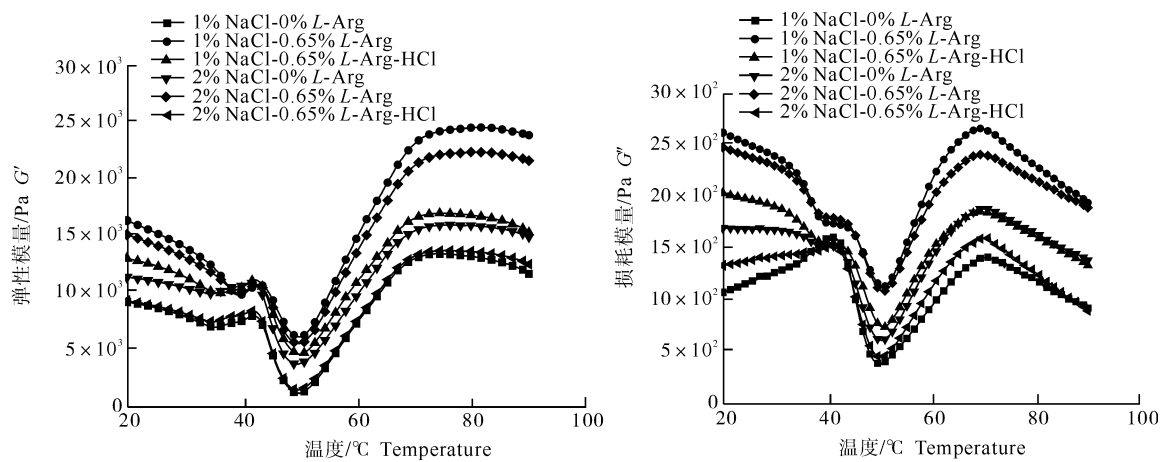
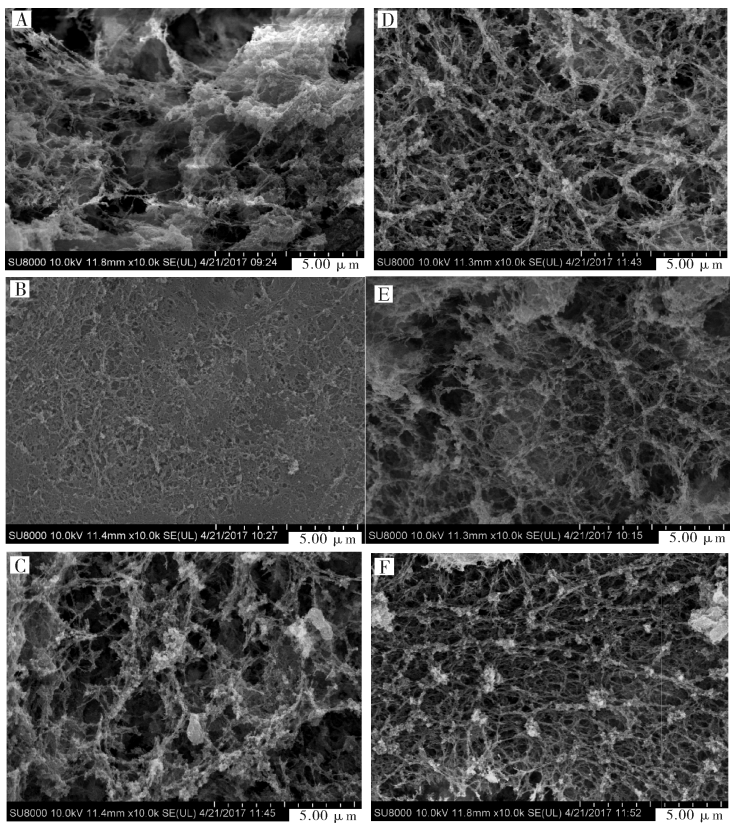


图 3 pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜弹性模量  $G'$  和损耗模量  $G''$  的影响

Fig.3 Effect of pH value on the elastic modulus  $G'$  and loss modulus  $G''$  of grass carp surimi gel added with L-Arg



A~F 分别表示添加 1%NaCl+L-Arg(0%、0.65%、0.65%(用 HCl 将 B 组的 pH 调至与对应的空白组混合鱼糜 pH 一致))和 2% NaCl+L-Arg(0%、0.65%、0.65%(用 HCl 将 E 组的 pH 调至与对应的空白组混合鱼糜 pH 一致))。下同。Note: A-F means that ad-dresspectively 1% NaCl + L-Arg (0%, 0.65%, 0.65% (adjusted to the pH of the B group with HCl to be consistent with the corre-sponding blank group)) and 2% NaCl + L-Arg (0%, 0.65%, 0.65% (adjusted to the pH of the E group with HCl to be consistent with the corresponding blank group)).The same as follows.

图 4 pH 值对添加 L-Arg 的草鱼糜凝胶微观结构的影响

Fig.4 Effects of pH value on the microstructure of grass carp surimi gel added with L-Arg

L-Arg 能改善鱼糜凝胶的网络结构,但其中有一部 将 L-Arg 添加到肉糜中,使得盐溶性蛋白的含量增  
分效果是由 L-Arg 的强碱性改变体系 pH 所致。 大,可以进一步提高体系中网络和蛋白基质的形成,

使凝胶网络结构更加密实<sup>[25]</sup>。某些特定的盐溶性蛋白含量的增加,将使多肽链的结合位点增加,这使得在加热过程中相互作用增强,形成一个稳定的、富有弹性的、较硬的凝胶网络结构<sup>[26]</sup>。

### 3 讨论

低钠鱼糜制品的开发是近年来的研究热点,目前主要采用非钠盐代替、TGase、多糖、乳清蛋白以及高压处理等方法来改善低钠鱼糜制品品质,然而添加非钠盐,并未降低体系的离子强度,而其他方法可能不具备某些功能和营养特性,而L-Arg作为一种重要的功能性氨基酸能满足以上需求。

目前已经有一些关于L-Arg添加到肉制品中的报道,李俊<sup>[27]</sup>研究发现,将0.6%的L-Arg添加于猪肉肠中,发现L-Arg显著提高猪肉肠的保水性、硬度、弹性、咀嚼性,同时降低蒸煮损失率和凝聚性,并且显著提高了猪肉肠的感官品质。Zhou等<sup>[28]</sup>认为,添加L-Arg有利于光滑、均匀与致密的肉凝胶的形成,显著提高产品出品率,改善产品品质特性。秦浩<sup>[29]</sup>研究发现,L-Arg可以显著提高鸡肉肠硬度、弹性、凝聚性和咀嚼性,降低其蒸煮损失率、提高总持水性与pH,提升鸡肉肠品质。但低钠鱼糜制品品质的改善到底是L-Arg的强碱性所致,还是它的基团与肌原纤维蛋白发生相互作用所致,目前尚未有文献报道。本试验采用酸调节处理的方法,来消除L-Arg的强碱性对鱼糜凝胶特性的影响,最终发现L-Arg能显著改善草鱼糜的凝胶性能,这是由它的强碱性以及它的基团与蛋白质分子之间发生相互作用共同所致。

本研究仅就1%和2%NaCl条件下,酸碱度对添加L-Arg的草鱼糜凝胶特性的影响做了研究,今后还需要进一步探讨L-Arg的基团是如何与形成鱼糜凝胶的重要蛋白即肌原纤维蛋白分子发生相互作用,找到增加肌原纤维蛋白溶解性的作用机制。

### 参考文献

- [1] 农业部渔业局.2016中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2016:1-173.
- [2] 农业部渔业局.2006中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2006:1-102.
- [3] RAMIREZ J A, VELAZQUEZ G, ECHEVARRIA G L, et al. Effect of adding insoluble solids from surimi wash water on the functional and mechanical properties of pacific whiting grade A surimi[J]. Bioresource technology, 2007, 98(11): 2148.
- [4] WHELTON P K, HE J, CUTLER J A, et al. Effects of oral potassium on blood pressure. meta analysis of randomized controlled clinical trials[J]. JAMA, 1997, 277(20): 1624-1632.
- [5] 邓伟.低钠复合盐和加热方式对白鲢鱼糜凝胶特性的影响[D].合肥:合肥工业大学,2013.
- [6] 侯玉洁,徐俊,赵国琦,等.精氨酸的生理学功能及其在畜禽生产中的应用[J].中国饲料,2013(5):32-37.
- [7] 刘茹.鱼肉和猪肉凝胶的差异及其机制[D].武汉:华中农业大学,2008.
- [8] 李莎莎,安玥琦,丁玉琴,等.碱性盐对冷冻鱼糜保水性的影响[J].食品科学,2012,33(21):68-72.
- [9] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, ISHIZAKI S, et al. Differences in gelation characteristics of natural actomyosin from two species of *Bigeye snapper*, *Priacanthus tayenus* and *Priacanthus macracanthus*[J]. Journal of food science, 2001, 66(9): 1311-1318.
- [10] LIN S B, CHEN L C, CHEN H H. Physical characteristics of surimi and bacterial cellulose composite gel[J]. Journal of food process engineering, 2011, 34(4): 1363-1379.
- [11] PONS M, FISZMAN S M. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems[J]. Journal of texture studies, 1996, 27(6): 597-624.
- [12] SHI L, WANG X, CHANG T, et al. Effects of vegetable oils on gel properties of surimi gels[J]. Lebensmittel wissenschaft-technologie, 2014, 57(2): 586-593.
- [13] 吴晓丽.食盐替代对鱼糜凝胶特性的影响[D].武汉:华中农业大学,2015.
- [14] RAWDKUEN S, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Effect of chicken plasma protein and some protein additives on proteolysis and gel-forming ability of sardine (*Sardinella gibbosa*) surimi[J]. Journal of food processing & preservation, 2007, 31(4): 492-516.
- [15] 单媛媛.鸡蛋清卵粘蛋白的纯化、增溶及抗感染活性研究[D].武汉:华中农业大学,2013.
- [16] ARFAT Y A, BENJAKUL S. Gel strengthening effect of zinc salts in surimi from yellow stripe trevally[J]. Food bioscience, 2013, 3: 1-9.
- [17] 贾丹,刘茹,刘明非,等.转谷氨酰胺酶对鳙鱼糜热诱导凝胶特性的影响[J].食品科学,2013,34(9):37-41.
- [18] WESTPHALEN A D, BRIGGS J L, LONERGAN S M. Influence of pH on rheological properties of porcine myofibrillar protein during heat induced gelation[J]. Meat science, 2006, 72(4): 697-703.
- [19] LIU R, ZHAO S M, XIONG S B, et al. Role of secondary structures in the gelation of porcine myosin at different pH values[J]. Meat science, 2008, 80(3): 632-639.
- [20] MATSUOKA T, HAMADA H, MATSUMOTO K, et al. Indispensable structure of solution additives to prevent inactivation of lysozyme for heating and refolding[J]. Biotechnol prog, 2009, 25(5): 1515-1524.
- [21] BOYER C, JOANDEL S, ROUSSILHES V, et al. Heat-induced

gelation of myofibrillar proteins and myosin from fast and slow-twitch rabbit muscles[J].Journal of food science,1997, 61(6):1138-1143.

[22] PUOLANNE E, HALONEN M.Theoretical aspects of water-holding in meat[J].Meat science,2010,86(1):151-165.

[23] 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, 62:647-651.

[24] WU M, XIONG Y L, CHEN J, et al.Rheological and microstructural properties of porcine myofibrillar protein-lipid emulsion composite gels[J].Journal of food science,2009, 74(4): E207.

[25] SOMBOONPANYAKUL P, BARBUT S, JANTAWAT P, et al.Textural and sensory quality of poultry meat batter containing malva nut gum, salt and phosphate[J].Lwt-food science and technology,2007, 40(3):498-505.

[26] VERMA A K, SHARMA B D, BANERJEE R.Effect of sodium chloride replacement and apple pulp inclusion on the physicochemical, textural and sensory properties of low fat chicken nuggets[J].Lebensmittel-wissenschaft und-technologie, 2010, 43(4):715-719.

[27] 李俊.赖氨酸和精氨酸分别对猪肉肠品质特性影响的研究[D].合肥:合肥工业大学,2013.

[28] 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 & technology, 2014, 6(5):660-667.

[29] 秦浩.*L*-精氨酸在改善鸡肉肠持水与质构中的应用研究[D].合肥:合肥工业大学, 2015.

Effects of pH on gel properties of grass carp surimi added with *L*-arginine

GUAN Hong<sup>1</sup> DING Yuqin<sup>2</sup> YOU Juan<sup>1</sup> XIONG Shanbai<sup>1</sup>

1.College of Food Science and Technology/National R&D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan), Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China ;

2.College of Food Science and Engineering /National Engineering Laboratory for Deep Processing of Rice and By - Products, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410018, China

**Abstract** The effects of pH on gel properties of *L*-arginine-added grass carp surimi were studied. The surimi gels were made with two-stage heating method. The results showed that water-holding capacity, gel strength, textural characteristics, rheological properties and microstructure of the surimi gel were improved after adding 0.65% *L*-arginine, comparing to the *L*-arginine-free test group ( $P<0.05$ ). However, whiteness of the surimi gel with 0.65% *L*-arginine adding was significantly decreased ( $P<0.05$ ). When pH of *L*-arginine added surimi was adjusted to 6.5, whiteness value of the surimi gel was significantly higher than that of the unadjusted groups. But water-holding capacity, gel strength, textural characteristics, rheological properties and microstructure of adjusted surimi gel were significantly lower than that of unadjusted surimi gel ( $P<0.05$ ). It is indicated that *L*-arginine can improve the gel properties of grass carp surimi. The strong basicity of *L*-arginine and the interactions between *L*-arginine groups and surimi protein molecules is the reason for that.

**Keywords** surimi; *L*-arginine; gel properties; pH value

(责任编辑:陆文昌)