

# 鳶乌贼鱼糜制备工艺条件对其凝胶性质的影响

何健泽, 邱月, 曾少葵\*, 陈梓漩

广东海洋大学食品科技学院 (湛江 524088)

**摘要** 以鳶乌贼 (*Symlectoteuthis oualaniensis*) 胴体为原料制备鱼糜, 探讨漂洗液、谷氨酰胺转氨酶 (TGase)、NaCl添加量、pH和加热方式对鱼糜凝胶特性的影响。结果表明, 用CaCl<sub>2</sub>溶液漂洗可提高肉糜的凝胶强度, 漂洗液CaCl<sub>2</sub>浓度0.1 g/100 mL时, 凝胶强度最大; 肉糜添加1.0 g/100 g TGase时, 凝胶强度增大, 此时失水率最低; 斩拌时肉糜pH 7.5、氯化钠添加量5 g/100 g时, 凝胶持水性和凝胶强度较好。采用先50 ℃ 30 min, 后95 ℃ 20 min的二段加热方式能获得最好的凝胶特性。因此, 采用CaCl<sub>2</sub>溶液漂洗、氯化钠添加量的增加、调节肉糜的pH、添加谷氨酰胺转氨酶及采用二段加热方式能有效改善鳶乌贼胴体的凝胶性质。

**关键词** 鳶乌贼; 工艺条件; 凝胶特性

## Effect of Processing Condition on Gel Properties of Surimi from *Sthenoteuthis oualaniensis*

HE Jianze, QIU Yue, ZENG Shaokui\*, CHEN Zixuan

College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University (Zhanjiang 524088)

**Abstract** The carcass of *Sthenoteuthis oualaniensis* selected as raw material to study the effect of CaCl<sub>2</sub> concentration in rinse water, TGase addition amount, NaCl addition amount, the pH of surimi and heating method on the gel properties of surimi from *Sthenoteuthis oualaniensis*. The results showed that the gel strength reached the highest when CaCl<sub>2</sub> concentration was 0.1 g/100 mL in the rinse water. The gel strength was improved after adding 1.0 g/100 g TGase in the surimi. Then the water loss rate of surimi was the lowest. The gel strength and water holding capacity were better under the condition of pH 7.5 and 5 g/100 g NaCl of surimi. The gel properties of surimi changed more better after heating firstly at 50 ℃ for 30 min and then at 95 ℃ for 20 min. Therefore, the gel properties of surimi from *Sthenoteuthis oualaniensis* could be improved using rinsed with CaCl<sub>2</sub>, adding TGase and NaCl, adjusting the pH of surimi and using the two heating method.

**Keywords** *Sthenoteuthis oualaniensis*; processing condition; gel properties

鳶乌贼 (*Symlectoteuthis oualaniensis*) 为柔鱼科鳶乌贼属的动物, 是中国南海海域中柔鱼类中的优势种群, 可捕量为130万~200万 t/年, 然而由于鳶乌贼肉质较硬, 不合大众口味, 资源还未得到有效开发利用<sup>[1]</sup>。邱月等<sup>[2]</sup>其化学成分、蛋白质组成进行研究。杨贤庆等<sup>[3]</sup>研究南海鳶乌贼胴体肌肉的基本特性, 初步探索温度对其肌原纤维蛋白的影响, 以及结合谷氨酰胺转氨酶 (TGase) 共同作用对鳶乌贼鱼糜凝胶性能的影响, 探索使其肉质变得有弹性的方法, 在热的作用下, 肌原纤维蛋白的高级结构发生松散, 分子间产生架桥形成三维网状结构, 网状结构中的自由水被封锁在网目中不能流动, 从而形成具有弹性的凝胶状物。凝胶的形成包括两个阶段, 一是通过50 ℃以下的温度域时, 在此温度过程中进行的凝胶结构形成的反应, 二是60 ℃为中心的50~70 ℃温度带所发生的凝胶结构劣化的反应<sup>[4]</sup>, 谷氨酰胺转氨酶 (TGase) 可改善该过程中的凝胶劣化。另一个较为常见的研究因素为pH。pH的升高使溶解蛋白的ATP酶活性由51.80%急剧降低到0, 而表现疏水性则表现出增强趋势, 表

明pH的升高促进肌球蛋白的构象展开<sup>[5]</sup>。盐通过施加的静电力与疏水相互作用而使蛋白质的构象发生变化, 从而导致蛋白质功能性质的变化。关于鱼糜制备工艺条件对鳶乌贼肉糜凝胶特性的影响, 国内外研究较少。

影响鱼糜凝胶特性的因素很多, 主要研究漂洗方式、TGase添加量、NaCl添加量、pH和加热方式对其凝胶特性的影响, 探索鳶乌贼肉糜凝胶弹性较好的工艺条件, 为提高肉糜的质量和参考价值提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料和试剂

鳶乌贼每条100~500 g, -20 ℃冷藏。

氯化钙; 谷氨酰胺转氨酶; 食盐; 盐酸; 氢氧化钠等。

#### 1.2 仪器设备

搅拌机 (JYL-C 012, 九阳股份有限公司); 水浴锅 (HH-6, 金坛市科析仪器有限公司); 质构仪 (TMS-PRO, 美国FTC公司)。pH检测仪器 (PHS-2

F, 北京泸光实验仪器有限公司)。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 肉糜加工工艺流程

鳊乌贼胴体→前处理(去头去皮去内脏)→切块, 绞碎→漂洗→脱水→擂溃(加盐斩拌)→灌肠→加热→冷却→测定

#### 1.3.2 漂洗液CaCl<sub>2</sub>浓度的试验设计

分别用5倍于肉糜质量的0, 0.1, 0.3, 0.5和0.7 g/100 mL CaCl<sub>2</sub>溶液漂洗2次, 漂洗后测定基本成分和盐溶性蛋白含量。将漂洗后的肉糜进行脱水, 擂溃时加入3 g/100 g的NaCl和8 g/100 g的淀粉后灌装入直径3 cm的肠衣中, 在40 ℃恒温水浴锅中加热30 min, 取出后在90 ℃水浴锅中加热20 min, 取出后室温冷却, 放置在4 ℃冰箱过夜, 测定肉糜的凝胶强度、失水率和折叠度。

#### 1.3.3 TGase添加量的试验设计

将用清水同样方法漂洗后的肉糜分为5份, 擂溃时分别加入0, 0.5, 1.0, 1.5和2.0 g/100 g的TGase及3 g/100 g的NaCl和8 g/100 g的淀粉后灌肠, 加热方法同1.3.2小节, 测定其凝胶强度、失水率和折叠度。

#### 1.3.4 NaCl添加量的试验设计

将清水漂洗后的肉糜分为5份, 分别加入肉糜质量的1, 2, 3, 4和5 g/100 g的NaCl及8 g/100 g的淀粉, 不加TGase的肉糜, 擂溃, 灌肠, 加热方式同1.3.2小节, 测定其凝胶强度、失水率和折叠度。

#### 1.3.5 肉糜pH的试验设计

将清水漂洗后、脱水后加入3 g/100 g的NaCl和8 g/100 g的淀粉, 不加TGase擂溃的肉糜, 分为5份, 用盐酸和氢氧化钠溶液分别调节肉糜pH为6.0, 6.5, 7.0, 7.5和8.0后灌肠, 加热方式同1.3.2小节, 测定其凝胶强度。

#### 1.3.6 加热方式的试验设计

将清水漂洗、脱水后加入3 g/100 g的NaCl和8 g/100 g的淀粉, 不加TGase擂溃的肉糜灌肠, 分为4份, 取3份分别在40, 50和60 ℃加热30 min, 取出后在90 ℃加热20 min, 另取1份直接在90 ℃加热20 min, 测定其凝胶强度、失水率和折叠度。

#### 1.3.7 第一段加热温度改变的试验设计

将清水漂洗、脱水后加入3 g/100 g的NaCl和8 g/100 g的淀粉, 不加TGase擂溃的肉糜灌肠, 分为4份, 取其中3份, 第一段温度分别设为40, 50和60 ℃, 加热30 min, 取出后, 第二段恒定温度90 ℃加热20 min, 测定其凝胶强度、失水率和折叠度。

#### 1.3.8 第二段加热温度改变的试验设计

将清水漂洗、脱水后加入3 g/100 g的NaCl和8 g/100 g的淀粉, 不加TGase擂溃的肉糜灌肠, 分为5份, 在第一段恒定温度40 ℃下加热30 min, 再于第二段温度

分别为80, 85, 90, 95和100 ℃下加热20 min, 测定其凝胶强度。

#### 1.3.9 基本成分和盐溶性蛋白含量测定

试验按照国家标准进行测定, 利用直接干燥法<sup>[6]</sup>测定不同氯化钙溶液漂洗后的水分、索氏提取法<sup>[7]</sup>粗脂肪含量、凯氏定氮法<sup>[8]</sup>测定粗蛋白含量、灼烧称重法<sup>[9]</sup>测定灰分。

#### 1.3.10 凝胶强度的测定

将制备好的肉肠取出使其温度平衡至室温, 剥去肠衣, 切成高30 mm的小圆柱体, 用TMS-PRO型质构仪测定破断强度和断破距离。检测条件: 探头型号为TMS 5 mm, 测试前速度1 mm/s, 形变量50%, 起始力0.6 N, 记录破断强度和断破距离。每组试验6个平行。

凝胶强度(g·mm)=破断强度×断破距离 (1)

#### 1.3.11 凝胶失水率的测定

将肉肠切成5 mm厚的薄片并称其质量为 $M_1$ (g), 在其下面放3张滤纸, 上面放2张滤纸, 用5 kg重物压制并保持2 min, 压榨完后取出样品再次称质量为 $M_2$ (g)。失水率按式(2)计算。

失水率=( $M_1-M_2$ )/ $M_1$ ×100% (2)

#### 1.3.12 折叠试验

将肉肠切成5 mm薄片进行折叠试验, 以5个等级来表示: AA, 四折不裂; A, 对折不裂; B, 对折缓慢裂开; C, 对折立即裂开; D, 指压即崩溃。

#### 1.3.13 数据统计分析

数据应用Excel 2007进行统计, 并采用平均数±标准差来表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 漂洗液CaCl<sub>2</sub>浓度对基本成分和盐溶性蛋白含量的影响

经过漂洗, 鱼糜中脂肪、水溶性的肌浆蛋白质、无机盐、提取物等成分被除去, 而不溶于水的肌原纤维蛋白相对浓度提高, 因此鱼糜制品的弹性也得到增强。不同CaCl<sub>2</sub>溶液漂洗后肉糜的基本成分和盐溶性蛋白含量如表1所示。

与清水漂洗的肉糜相比, 仅0.3 g/100 mL CaCl<sub>2</sub>溶液漂洗的肉糜中粗蛋白含量增加; 0.3, 0.5和0.7 g/100 mL CaCl<sub>2</sub>溶液漂洗的肉糜中粗脂肪含量减少, 灰分增加; 0.1 g/100 mL CaCl<sub>2</sub>溶液漂洗的肉糜的盐溶性蛋白干基含量最高, 其凝胶强度可能最大。

### 2.2 CaCl<sub>2</sub>浓度对凝胶性质的影响

不同浓度CaCl<sub>2</sub>溶液对肉糜的凝胶强度、失水率和折叠试验结果如表2所示。

用CaCl<sub>2</sub>溶液漂洗可提高肉糜的凝胶强度和折叠试验的等级, 其中CaCl<sub>2</sub>浓度0.1 g/100 mL时凝胶强度

最大,是清水漂洗的2.48倍,失水率较低。 $\text{CaCl}_2$ 浓度增大,肉糜的凝胶强度降低,失水率增大,是因为低浓度的 $\text{Ca}^{2+}$ 促进肌球蛋白重链的交联,提高肉糜的凝

胶强度, $\text{Ca}^{2+}$ 浓度增大时,交联键过量形成,会导致凝胶变脆、变硬,发生脱水<sup>[10-11]</sup>。因此,应选择0.1 g/100 mL  $\text{CaCl}_2$ 溶液对鳇乌贼肉糜进行漂洗。

表1  $\text{CaCl}_2$ 溶液漂洗后肉糜的基本成分和盐溶性蛋白含量

成分	含量/(g · 100 g <sup>-1</sup> )				
	0 g/100 mL	0.1 g/100 mL	0.3 g/100 mL	0.5 g/100 mL	0.7 g/100 mL
水分	88.04 ± 0.08	87.46 ± 0.12	88.22 ± 0.15	85.88 ± 0.06	85.93 ± 0.16
粗蛋白	11.03 ± 0.07 (92.22)	11.33 ± 0.07 (90.35)	10.94 ± 0.08 (92.87)	12.56 ± 0.20 (88.95)	12.82 ± 0.05 (91.12)
粗脂肪	0.18 ± 0.08 (1.51)	0.25 ± 0.03 (1.99)	0.13 ± 0.04 (1.10)	0.14 ± 0.03 (0.99)	0.17 ± 0.04 (1.21)
灰分	0.47 ± 0.02 (3.93)	0.45 ± 0.07 (3.59)	0.50 ± 0.03 (4.24)	0.59 ± 0.03 (4.18)	0.71 ± 0.02 (5.05)
盐溶性蛋白	6.34 ± 0.09 (53.01)	6.83 ± 0.59 (54.47)	6.12 ± 0.14 (51.95)	7.36 ± 0.10 (52.12)	7.25 ± 0.09 (51.53)

注:括号内为干基

表2  $\text{CaCl}_2$ 浓度对肉糜凝胶特性的影响

$\text{CaCl}_2$ 浓度/ (g · 100 mL <sup>-1</sup> )	凝胶强度/ (g · mm <sup>-1</sup> )	失水率/%	折叠试验等级
0	927 ± 459	21.54 ± 0.36	C
0.1	2 299 ± 554	21.59 ± 0.39	B
0.3	1 070 ± 130	21.53 ± 0.73	B
0.5	1 239 ± 47	28.27 ± 0.45	A
0.7	955 ± 103	28.48 ± 0.51	B

### 2.3 TGase添加量对凝胶性质的影响

不同TGase添加量对肉糜的凝胶强度、失水率和折叠试验结果如表3所示。

TGase能显著增加鳇乌贼肉糜的凝胶强度和降低其失水率,这是因为TGase可使鳇乌贼肉糜形成更致密、均匀的凝胶网络结构,有效将水分保留在凝胶网络中。TGase添加量在0.5~2.0 g/100 g时,折叠试验等级均是AA。TGase添加量1.0 g/100 g时,肉糜的凝胶强度最大,是未添加TGase对照组的1.31倍,且失水率最低。因此TGase的最适添加量为1.0 g/100 g,低于马静蓉等<sup>[12]</sup>研究的结果。

表3 TGase添加量对肉糜凝胶特性的影响

TGase添加量/ (g · 100 g <sup>-1</sup> )	凝胶强度/ (g · mm <sup>-1</sup> )	失水率/%	折叠试验等级
0	927 ± 459	21.54 ± 0.16	C
0.5	886 ± 14	16.74 ± 0.27	AA
1.0	1 218 ± 887	14.71 ± 0.44	AA
1.5	1 143 ± 124	16.34 ± 0.38	AA
2.0	1 726 ± 262	17.65 ± 0.52	AA

### 2.4 NaCl添加量对凝胶特性的影响

不同NaCl添加量对肉糜的凝胶强度、失水率和折叠试验结果如表4所示。

不同氯化钠添加量下形成的凝胶微观结构存在明显的差异,在低氯化钠浓度(≤2 g/100 g),离子强

度低,形成的凝胶网络结构不明显,随着氯化钠添加量升高,离子强度增强,凝胶网络结构开始形成并随着氯化钠添加量的增加而形成的更加致密。因此,在低氯化钠浓度(≤2 g/100 g),形成的凝胶网络结构较差,随着氯化钠添加量增加,凝胶特性逐渐变化,在氯化钠0.5 g/100 g时,凝胶持水性和凝胶强度较好<sup>[13]</sup>。

表4 NaCl添加量对肉糜凝胶特性的影响

NaCl添加量/ (g · 100 g <sup>-1</sup> )	凝胶强度/ (g · mm <sup>-1</sup> )	失水率/%	折叠试验等级
1.0	612 ± 82	22.54 ± 0.13	C
2.0	694 ± 204	22.74 ± 0.19	C
3.0	939 ± 41	20.98 ± 0.32	C
4.0	978 ± 103	18.34 ± 0.22	B
5.0	1 012 ± 162	17.65 ± 0.28	B

### 2.5 肉糜pH对其凝胶特性的影响

不同pH的肉糜对其凝胶强度试验结果如图1所示。

鳇乌贼肉糜pH在偏碱性时的凝胶特性较好,其中pH 7.5时达到峰值,pH对肉糜凝胶性的影响实质上是蛋白质分子的静电效应。蛋白质分子所带有的静电荷对凝胶性有双重意义:一是静电荷是蛋白质分子吸引水分子的强有力的中心,二是由于静电荷增加蛋白质分子间的静电排斥力,使其网络结构松弛,凝胶性提高。当静电荷数减少,蛋白质分子间发生凝聚紧缩。鳇乌贼肌肉pH接近其蛋白质等电点(6.3~6.7)时,静电荷达到最低,这时肌肉的系水力也最低,肉的膨胀最差。同时,在pH偏碱性时,由于使蛋白质的溶解性增加,因而使凝胶性增加<sup>[14]</sup>。因此,选择肉糜于pH 7.5时,能获得较好的凝胶特性。

### 2.6 加热方式及温度对凝胶性质的影响

#### 2.6.1 加热方式

不同加热方式的肉糜的凝胶强度、失水率和折叠



试验结果由表5可知,二段加热法形成的凝胶优于一段加热法,采用40/90℃、50/90℃的二段加热方式,凝胶强度明显高于直接经90℃加热的凝胶;50/90℃、60/90℃加热凝胶的等级为B,高于90℃加热凝胶等级C。因此,鸢乌贼肉糜应选择二段加热法。

### 2.6.2 第一段加热温度对凝胶性质的影响

以第一段加热温度分别采用40, 50和60℃ 30 min,第二段加热温度采用90℃ 20 min不变对肉糜的凝胶强度、失水率和折叠试验结果如表5所示。

其中在50/90℃加热条件下,凝胶的失水率最低,且凝胶强度最高,故第一段加热温度为50℃加热30 min,再90℃加热20 min。

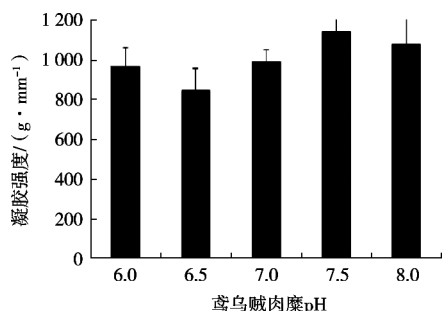


图1 不同pH提取液对肉糜凝胶特性影响

表5 第一段加热温度改变对肉糜凝胶特性的影响

温度/℃	凝胶强度/(g·mm <sup>-1</sup> )	失水率/%	折叠试验等级
90	501±59	10.79±0.62	C
40/90	327±29	21.54±0.16	C
50/90	555±40	9.76±0.34	B
60/90	411±45	11.76±0.31	B

### 2.6.3 第二段加热温度对凝胶强度的影响

以第一段加热方式固定为40℃ 30 min,第二段加热方式分别为80, 85, 90, 95和100℃ 20 min进行试验,对肉糜的凝胶强度试验结果如图2所示。

结果表明,第一段加热温度40℃,第二段加热温度为95℃时较为适宜。加热温度直接影响盐溶蛋白热诱导凝胶的形成。当温度较低(30℃),肌球蛋白基本上不发生变化,随着温度提高,肌球蛋白逐渐开始聚集,最后形成寡聚体,温度达到一定程度时(60℃以上),寡聚体之间相互作用形成更加复杂的空间结构,即凝胶的形成<sup>[15]</sup>。温度过高导致网状结构失水解体,而使凝胶受到破坏,故高温(100℃)下凝胶不能形成;在较低温度下(80℃ 20 min),可能是肌球蛋白虽然完全变性形成了凝胶,但所形成凝胶强度较小,凝胶强度达不到可检测范围。因此,第二段加热温度保持在90~95℃,才能较好得形成凝胶,使肉糜具有较好凝胶特性。

结合第一段加热温度和第二段加热温度的单因素

试验,可以得出在第二段加热方式为50℃ 30 min,第二段温度加热方式为95℃ 20 min较为适宜。

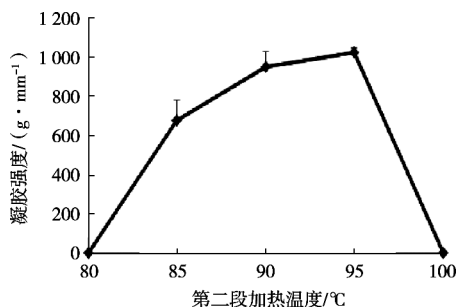


图2 第二段加热温度改变对肉糜凝胶强度的影响

## 3 结论

CaCl<sub>2</sub>漂洗能有效改善鸢乌贼肉糜的凝胶性;TGase能显著增加鸢乌贼肉糜的凝胶强度和降低其失水率;NaCl添加量能提高鸢乌贼肉糜的凝胶特性,在一定范围内,氯化钠添加量越高,凝胶特性越好;调整肉糜pH可有效增加鸢乌贼肉糜的凝胶强度,二段加热法形成的凝胶优于一段加热法;第一段加热温度及第二段加热温度能显著影响鸢乌贼肉糜的凝胶特性。

### 参考文献:

- [1] 邱月,曾少葵,章超桦,等. 鸢乌贼和杜氏枪乌贼蛋白分离及其性质初探[J]. 食品发酵工业, 2016, 42(9): 81-86.
- [2] 邱月,曾少葵,章超桦,等. 鸢乌贼和杜氏枪乌贼营养成分分析与比较[J]. 广东海洋大学学报, 2016, 36(1): 19-24.
- [3] 杨贤庆,马静蓉,马海霞,等. 几种蛋白酶抑制剂对鸢乌贼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(20): 107-110.
- [4] 李艳青,孔保华,夏秀芳. 鱼糜凝胶形成机理及提高鱼糜凝胶特性的添加物研究新进展[J]. 食品发酵工业, 2015, 28(1): 30-34.
- [5] 郭世良,赵改名,王玉芬,等. 离子强度和pH值对肌原纤维蛋白热诱导凝胶特性的影响[J]. 食品科技, 2008, 29(1): 84-87.
- [6] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB/T 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 肉与肉制品 总脂肪含量测定: GB/T 9695.7—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [8] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB/T 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [9] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB/T 5009.4—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [10] SAEKI H, WAKAMEDA A, NONAKA M. Effect of CaCl<sub>2</sub>

# 纳米脂质体提高叶黄素的稳定性

焦岩<sup>1,2</sup>, 李大婧<sup>1\*</sup>, 刘春泉<sup>1</sup>, 宋江峰<sup>1</sup>, 肖亚冬<sup>1</sup>

1. 江苏省农业科学院农产品加工研究所(南京 210014); 2. 齐齐哈尔大学食品与生物工程学院(齐齐哈尔 161006)

**摘要** 以高纯度叶黄素为目标活性成分,采用乙醇注入法制备叶黄素纳米脂质体。研究不同条件如储藏时间、光照、温度、pH对叶黄素及其纳米脂质体中叶黄素降解率的影响,考察不同条件下纳米脂质体对叶黄素稳定性的增强作用。结果表明,纳米脂质化前后的叶黄素在不同条件下的稳定性差别较大,在叶黄素浓度及含量均相同条件下,叶黄素及其纳米脂质体中叶黄素的稳定性均受到不同条件影响而发生降解,但经脂质纳米化后的叶黄素由于脂质体的保护作用其降解率显著降低;透射电镜结果显示,脂质体对叶黄素的包覆效果明显,进而增强了叶黄素稳定性。研究为叶黄素在食品工业中的储藏和应用提供参考。

**关键词** 叶黄素;纳米脂质体;稳定性

## The Improvement of Stability of Lutein by Nanoliposomes

JIAO Yan<sup>1,2</sup>, LI Dajing<sup>1\*</sup>, LIU Chunquan<sup>1</sup>, SONG Jiangfeng<sup>1</sup>, XIAO Yadong<sup>1</sup>

1. Institute of Farm Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences (Nanjing 210014);

2. College of Food and Biological Engineering, Qiqihar University (Qiqihar 161006)

**Abstract** The lutein nanoliposomes are prepared by ethanol injection using high purity lutein. In order to investigate the enhancement effects of nanoliposome on lutein stability, the degradation rate of the lutein and its nanoliposomes are studied under the different condition of the storage time, sun light, heating and pH. The result show that the degradation rate of free lutein is higher under different condition than the lutein encapsulated in nanoliposomes, and the nanoliposomes can protect lutein from lose and degradation. The results of transmission electron microscopy (TEM) show that nanoliposomes have an obvious coating effect on lutein, which is the reason for enhancing the stability of lutein. The study provides a reference for the storage and application of lutein in food industry.

**Keywords** lutein; nanoliposome; stability

叶黄素是一种含2个不同紫罗酮环的天然黄色素,属无维生素A活性的类胡萝卜类,广泛存在于蔬菜、水果、花卉等,同时也是人眼视网膜黄斑区域的重要色素<sup>[1]</sup>,可利用食物中的天然叶黄素成分促进眼睛健康,降低年龄相关性黄斑变性和白内障的风险,同时在抗氧化、预防癌症、心血管疾病及增强机体免疫力等方面发挥重要作用<sup>[2-5]</sup>。

但是由于叶黄素自身的结构特点,其性质和生物活性不稳定,通常不能直接掺入食品中,通常需要胶体递送系统,例如水包油乳液来克服这些限制<sup>[6-7]</sup>。脂

质体是一种新型微囊,其粒径小、表面积大,对人体无毒性、无免疫原性,可生物降解,不仅能保护包埋的生物活性成分,还能增加生物活性成分的溶出度,可促进负载成分在人体内的吸收,提高吸收利用率和营养价值<sup>[8-10]</sup>。因此,通过纳米脂质体的载体作用将叶黄素包裹形成纳米结构,改变其疏水性状态,能有效保护叶黄素分子中的不饱和双键和功能性羟基,提高体内外稳定性。这对于叶黄素的消化输送和营养传递发挥重要作用,对提高叶黄素在食品和医药领域的应用有重要意义。

on water holding capacity of Alaska pollock myofibrils and on their thermal stability[J]. Bulletin of Japanese Society of Scientific Fishery, 1986(52): 1771-1777.

[11] SAEKI H, WAKAMEDA A, NONAKA M. Effect of CaCl<sub>2</sub> in frozen surimi of Alaska pollock on cross-linking of myosin heavy chain in salted paste from material[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1988(54): 259-264.

[12] 马静蓉, 杨贤庆, 马海霞, 等. 谷氨酰胺转氨酶及辅料对南海鳗乌贼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品与发酵工业,

2015, 41(9): 29-33.

[13] 李庆云. 氯化钾、海藻粉和柠檬酸钠部分替代氯化钠对鸡胸肉肌原纤维蛋白热诱导凝胶特性的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.

[14] 孔保华, 郑冬梅, 刁新平. 斩拌时间和pH值对牛肉凝胶特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2003(9): 13-16.

[15] SHARP A, OFFER G. The mechanism of formation of gels from myosin molecules[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 1992, 58(1): 63-73.