

# 水产品过敏原及其消减方法研究进展

李颖畅<sup>1,2,3\*</sup>, 王克超<sup>1</sup>, 王亚丽<sup>1,2,3</sup>

- (1. 渤海大学化学化工与食品安全学院, 锦州 121013; 2. 辽宁省食品安全重点实验室, 锦州 121013;  
3. 辽宁省高校重大科技平台“食品贮藏加工及质量安全控制工程技术研究中心”, 锦州 121013)

**摘要:** 水产品是人类营养和健康中扮演重要角色。随着水产养殖业和国际贸易的发展, 其市场和消费群体不断增多; 由此水产品引发的过敏问题也逐渐增多, 已成为世界性的重大食品安全问题之一。水产品的主要过敏原是小清蛋白(parvalbumin)和原肌球蛋白(tropomyosin, TM); 另外, 卵清蛋白、胶原蛋白(collagen)、精氨酸激酶(arginine kinase)、肌球蛋白轻链(myosin light chain)、肌钙结合蛋白(sarcoplasmic calcium binding pro-teín)等过敏原也扮演重要角色。基于此本文综述了水产品过敏原致敏机制、过敏原的种类、水产品致敏性的消减方法, 并展望了水产品过敏原今后的研究方向和发展趋势。

**关键词:** 水产品; 过敏原; 致敏性; 消减方法

## Research progress allergen of aquatic product and reducing method

LI Ying-Chang<sup>1,2,3\*</sup>, WANG Ke-Chao<sup>1</sup>, WANG Ya-Li<sup>1,2,3</sup>

- (1. College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety, Bohai University, Jinzhou 121013, China;  
2. Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Jinzhou 121013, China; 3. Engineering and Technology Research Center of Food preservation, Processing and Safety Control of Liaoning Province, Jinzhou 121013, China)

**ABSTRACT:** Aquatic product plays an important role in human nutrition and health. Aquatic product has enhanced the popularity and frequency consumption across many countries with the growing international trade and aquaculture in aquatic products. This increased production and consumption of aquatic product has been accompanied by more frequent reports of adverse health problems among consumers as well as processors of aquatic products. Adverse reactions to aquatic products are often mediated by the immune system and cause allergies. The major aquatic products allergens are parvalbumin and tropomyosin. In addition, ovalbumin, collagen arginine kinase, myosin light chain, sarcoplasmic calcium binding protein and other allergens may also play important roles. The allergic mechanism of aquatic products, classification of allergen and reducing methods of allergy were summarized. Research direction and development prospect of allergen were discussed.

**KEY WORDS:** aquatic products; allergen; allergy; reducing methods

## 1 引言

水产品蛋白质含量丰富, 在人们营养和健康中

扮演重要角色, 但对易感人群容易引起严重的过敏反应。据 2008 年国外流行病学调查表明, 世界人口的 20%~30% 受一些食品过敏的影响, 水产品过敏尤

基金项目: 辽宁省食品安全重点实验室开放课题项目(LNSAKF2011016)

**Fund:** Supported by Open Foundation of Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province (LNSAKF2011016)

\*通讯作者: 李颖畅, 博士, 副教授, 主要研究方向为水产品贮藏加工与质量安全控制。E-mail: liyingchangsy@sina.com

\*Corresponding author: LI Ying-Chang, PhD, Associate Professor, College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety, Bohai University. E-mail: liyingchangsy@sina.com

其严重<sup>[1,2]</sup>。然而国内还没有类似的系统调查,但有关食用虾、鱼、蟹等水产品引起过敏的报道很多,有 5% 的儿童和 2% 的成年人会对某些水产品产生过敏。中国预防医学科学院食品营养与安全中心的调查也表明,水产品是我国食品中最主要的过敏原<sup>[3]</sup>,并以惊人的速度在增长。水产品过敏严重影响患者及其家庭的生活质量,因此研究水产品过敏原,降低水产品的过敏性,开发低过敏的水产品对于保证食品的安全性、提高水产品应用价值都具有重要意义。本文综述了水产品致敏机制、水产品过敏原的种类、消除方法,并展望了今后的研究方向。

## 2 水产品致敏机制

过敏是指机体同某一种物质(称过敏原或者抗原)接触后,使机体对这种物质呈现反应性增强状态,当机体再次接触这种物质时,过敏原或者抗原与体内形成的对应抗体发生反应,使细胞释放出组胺、5-羟色胺等血管活性物质。根据过敏反应发生的速度、发生机制和临床症状,可将过敏源反应分为 I、II、III 和 IV 型。I 型过敏反应,又称速发型,由 IgE(免疫球蛋白 E)介导; II 型过敏反应也称细胞毒型,由 IgG(免疫球蛋白 G)、IgM(免疫球蛋白 M)介导; III 型过敏反应是免疫复合物型; IV 型过敏反应被称为迟发型反应或 T 细胞介导型<sup>[4]</sup>。水产品过敏也具有同样的产生机制,大都是由 IgE 介导的免疫反应引起的即时型过敏<sup>[5]</sup>。过敏原进入机体后,诱发能合成 IgE 的 B 细胞产生特异性 IgE, IgE 与肥大细胞嗜碱性粒细胞结合成为致敏靶细胞。IgE 一旦与靶细胞结合,机体即成致敏状态。当机体再次接触同样的过敏原刺激时,再次进入的相同过敏原与已经结合的靶细胞上的 IgE 结合发生特异性反应,释放组胺、激肽酶原、肝素、趋化因子、前列腺素等<sup>[4]</sup>。这些物质增强血管通透性,

引起组织渗出,产生水肿。它们作用于呼吸道,可引起过敏性哮喘;作用于肠道则可引起腹痛、腹泻等症状;作用于皮肤,可引起过敏性皮炎、荨麻疹等。水产品过敏不仅影响儿童,对成人也有很大的影响,通常会产生严重的反应,有时甚至是致命的,而且水产品过敏一般不会随年龄的增长而消失。

## 3 水产品过敏原种类

随着水产养殖业和国际贸易的发展,由水产品等食品过敏导致的疾病呈增多趋势。全世界大约有 30%~40% 的疾病由过敏引起,且发病率和死亡率呈逐年上升的趋势<sup>[6]</sup>。不同的水产品其致敏原不相同,有的只含有一种,有的含有多种。目前已发现并鉴定的水产品过敏原有小清蛋白(parvalbumin, PV)、原肌球蛋白(tropomyosin, TM)、胶原蛋白(collagen)、鱼卵蛋白(如鲑鱼的硫酸鱼精蛋白)、精氨酸激酶(arginine kinase, AK)、肌球蛋白轻链(myosinlight chain, MLC)、肌钙结合蛋白(sarcoplasmiccalcium binding protein, SCP)、血蓝蛋白亚基(hemocyanin subunits, HCS)等<sup>[7]</sup>,详见表 1。

### 3.1 鱼类过敏原

各种鱼类(包括海水鱼和淡水鱼)的主要过敏原是一种广泛存在于肌肉组织中的称为小清蛋白的蛋白质<sup>[10,11]</sup>。Perez-Gordo 等<sup>[12]</sup>鉴定了比目鱼的过敏原是小清蛋白。小清蛋白是一种存在于细胞内的水溶性钙结合蛋白,其等电点约为 4.1~5.2<sup>[13]</sup>。农小献等<sup>[14]</sup>通过 X-射线衍射谱分析,发现鲤鱼小清蛋白的三级结构包含了 6 个  $\alpha$  螺旋,并两两形成相同的蛋白模体。同时,大量的质谱及圆二色谱的测定表明小清蛋白结构的稳定性取决于其与  $\text{Ca}^{2+}$  结合时产生的重折叠能力和构象差异。Beale 等<sup>[15]</sup>对 5 种鱼的过敏原小

表 1 主要水产品的过敏原<sup>[7-9]</sup>  
Table 1 The main allergens in aquatic product<sup>[7-9]</sup>

水产品名称	过敏原名称	生化身份	水产品名称	过敏原名称	生化身份
鳕鱼	Gadc 1	小清蛋白	太平洋白虾	Litv 3	肌球蛋白轻链
鲑鱼	Sals1	小清蛋白	太平洋白虾	Litv 4	肌钙结合蛋白
基围虾	Mete 1	原肌球蛋白	鱿鱼	Todp 1	原肌球蛋白
印度对虾	Peni 1	原肌球蛋白	鱿鱼	Gald 1	卵类粘蛋白
褐美对虾	Pena 1	原肌球蛋白	鱿鱼	Gald 2	卵清蛋白
太平洋白虾	Litv 2	精氨酸激酶	牡蛎	Grag 1	原肌球蛋白

清蛋白进行了纯化,发现太平洋沙丁鱼同IgE的结合活性最强。Pan等<sup>[16]</sup>从罗非鱼中分离纯化了一种胶原蛋白和它的两个亚基( $\alpha_1$ 和 $\alpha_2$ ),并证实了这种蛋白具有IgE的结合活性,说明这种胶原蛋白及其两个亚基也具有致敏性。Liu等<sup>[17]</sup>从武昌鱼中发现了两种新的过敏原—烯醇酶和肌酸激酶,并通过质谱分析发现两种酶也会导致人过敏。Liu等<sup>[18]</sup>对大口鲈鱼的过敏原进行了分离纯化,根据与免疫球蛋白E的结合特性和对人皮肤过敏测试,确定大口鲈鱼中的过敏原是核苷二磷酸激酶B。

### 3.2 虾、蟹过敏原

虾类、蟹类等甲壳类的主要过敏原为原肌球蛋白<sup>[19]</sup>。原肌球蛋白是来自肌肉组织中的一种结构蛋白,多数为水溶性。它由两个亚甲基团组成,每个亚甲基呈 $\alpha$ 螺旋结构,相互缠绕形成超螺旋结构。原肌球蛋白是一种糖蛋白,分子量大约为34~38 ku,等电点约为4.5,过敏原很稳定并且耐高温<sup>[20]</sup>。Ayuso等<sup>[21]</sup>对贝类的过敏原—肌钙结合蛋白进行了鉴定,确定了氨基酸序列。Motoyama<sup>[22]</sup>克隆了6种不同甲壳类水产动物的原肌球蛋白并进行了分类。不同种类动物的原肌球蛋白在分子结构上有一定区别,但仍存在较强的免疫交叉反应。目前已经对虾原肌球蛋白鉴定出8个IgE结合位点,并且每个结合位点的长度约为5~14个氨基酸残基;拟穴青蟹等主要过敏原原肌球蛋白,同样有8个IgE结合位点,并且和虾原肌球蛋白基本相同<sup>[23]</sup>。Abdel Rahman等<sup>[24]</sup>利用串联质谱法对雪蟹过敏原蛋白质进行了鉴定,包括肌浆钙结合蛋白(20 kDa),精氨酸激酶(40 kDa),肌钙蛋白(23 kDa)和 $\alpha$ -肌动蛋白(42 kDa)和滑面内质网 $\text{Ca}^{2+}$  ATP酶(113 kDa)。

### 3.3 软体类过敏原

软体类的水产品包括鱿鱼、牡蛎、文蛤等。肉味十分鲜美,但也有一些人食用后产生过敏现象。一些研究表明,软体动物体内有一种与甲壳类产品相同的致敏蛋白—原肌球蛋白<sup>[25]</sup>,主要存在于软体动物的肌纤维内,并与甲壳类动物原肌球蛋白具有相同的性质,人食用后也会产生过敏现象。刘志刚等<sup>[26]</sup>克隆了虾夷扇贝过敏原—原肌球蛋白的全长基因,发现和其他白虾夷扇贝原肌球蛋白同源性高达93%,并且具有良好的IgE结合活性。Ishikawa等<sup>[27]</sup>研究表明牡蛎中的过敏原是一种富含丙氨酸、亮氨酸、甘氨

酸,而缺少色氨酸、脯氨酸的原肌球蛋白,其分子质量为86 ku。

## 4 水产品过敏原消减方法

水产品过敏严重影响人们的健康,研究降低水产品过敏性的方法,开发低致敏或无致敏的水产品成为迫切需要。在加工过程中依据水产品过敏原蛋白的相关性质,通过不同的手段降低水产品及其配料的致敏性,受到越来越多人们的关注。目前食品过敏原致敏性的消减方法主要有超高压技术、辐照、超声波技术、美拉德反应、加热和酶法处理等。

### 4.1 超高压技术

高压技术(high pressure processing, HPP)是一种非热加工技术,已有报道用超高压技术降低或者消除水产品过敏原的致敏性<sup>[9]</sup>。超高压可以改变某些生物大分子的空间构象,破坏蛋白质中的非共价键,引起蛋白质二级、三级和四级结构的变化,而对蛋白质一级结构没有影响。食物中90%以上的过敏原是蛋白质,致敏蛋白质的二级和三级结构对其致敏性至关重要,通过适当超高压改变致敏原空间结构和性质,降低或者消除致敏原的致敏性。陆海霞等<sup>[28]</sup>研究发现超高压作用下鱿鱼肌动蛋白、肌球蛋白重链和副肌球蛋白会按照一定比例聚集交联、形成凝胶。王章存等<sup>[29]</sup>研究发现作用压力超过200 MPa时,蛋白质的三级结构发生显著变化。同时,超高压还可以提高肌原纤维蛋白的溶解性。因此200 MPa以上的超高压作用就可以将鱼肌肉组织中的小清蛋白三级结构破坏,组织发生改变,达到消减小清蛋白致敏性的作用。谢丹丹等<sup>[30]</sup>研究超高压对虾肉过敏性影响,发现当压力为200 MPa,温度为40℃,保压时间为35 min时对过敏原的消减效果最好。赵伟等<sup>[31]</sup>35℃以下,100~600 MPa压力下处理牡蛎10 min,发现牡蛎盐溶性蛋白质随汁液流出,并且含量下降,流出液中游离氨基酸也随压力的增加而增多。同时还发现,当压力为200 MPa和400 MPa时,牡蛎肉表面的肌原纤维逐渐消失,纹理不清且表面模糊,当压力达到600 MPa时,肌纤维的结构已经完全消失且表面结构致密。说明在超高压作用下,蛋白质的结构受到破坏,蛋白质发生不可逆变性,过敏原的表位遭到破坏,达到消减过敏原的作用。

## 4.2 酶法

大部分水产品的过敏原是蛋白质,蛋白酶可对过敏原蛋白质进行水解,破坏蛋白质结构<sup>[32]</sup>。蛋白酶对酶解过敏原蛋白质的作用主要分为两个方面:一是改变抗原决定簇的三级结构,或者断裂一些化学键使之失去原有的活性,从而降低其过敏性。二是断裂酰胺键,破坏过敏原的抗原表位,降低过敏原的免疫活性。日本学者 Kuniyoshi 等<sup>[33]</sup>利用蛋白酶水解海虾过敏原,发现虾过敏原对酶解较为敏感。经胰蛋白酶、 $\alpha$ -胰凝乳蛋白酶、蛋白酶 3 种蛋白酶处理的龙虾过敏原,其部分或全部丧失了致敏性,但经酶处理后产生了苦味肽,降低蛋白质的质量。王晓雯等<sup>[34]</sup>采用胰蛋白酶水解虾过敏原,发现过敏原消除的最佳水解条件为 pH 值 8.12,水解温度 43.3℃。董颖颖等<sup>[35]</sup>用胃蛋白酶、碱性蛋白酶、中性蛋白酶、风味蛋白酶和木瓜蛋白酶等 5 种酶对虾过敏蛋白进行处理,发现风味蛋白酶和中性蛋白酶对虾过敏蛋白的降敏效果最好,处理后过敏蛋白的致敏性几乎完全消失;碱性蛋白酶和木瓜蛋白酶次之,其处理后的抑制率分别为 4.94%和 8.26%,致敏性有较大幅度的降低;而胃蛋白酶虽也具有部分降敏效果,但不如前者。酶水解水产品过敏原受到酶的种类、酶解模式、酶解程度等因素的影响。

## 4.3 辐照技术

辐照技术可促进生物大分子的降解、交联和分子构象的改变,降低蛋白质的稳定性,有望成为加工处理食物过敏原的新技术,目前已有学者用辐照技术对过敏原致敏性进行研究。顾可飞等<sup>[36,37]</sup>对虾过敏蛋白进行辐照处理,研究发现辐照后虾过敏蛋白的浊度、疏水性和结构都发生了改变,发现辐照可有效降低虾过敏原的致敏性。张明琦等<sup>[38]</sup>研究发现辐照可使蟹过敏蛋白空间结构发生改变,致敏性降低。刘光明<sup>[39]</sup>用辐照技术对蟹过敏原原肌球蛋白进行处理,通过十二烷基磺酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳发现部分纯化的原肌球蛋白经 7 kGy 辐照后降解明显,10 kGy 辐照后完全降解。通过对蟹类过敏者血清的免疫印迹分析,发现部分纯化原肌球蛋白经 3~7 kGy 辐照处理后的过敏性变化不明显,而 10 kGy 辐照处理后的过敏性降低。

## 4.4 其他方法

水产品过敏原是蛋白质,热处理引起蛋白质空

间构象及三级结构的变化,从而导致蛋白质变性。热处理对过敏原的影响是一个很复杂的问题,其能破坏抗原表位,同时也会产生一些新的抗原表位。有研究表明海虾经过蒸煮后,从蒸煮的虾中分离出完整的过敏原,说明过敏原有很强的热稳定性<sup>[4]</sup>。Saptarshi 等<sup>[40]</sup>研究表明,加热影响鱼过敏原抗体反应活性,大多数硬骨鱼过敏原抗体反应活性部分丧失,大多数软骨鱼过敏原抗体反应活性完全丧失。有研究表明美拉德反应能降低或者消除过敏原致敏性。美拉德反应是指在食品加工过程中,食品中的游离氨基或者氨基酸残基与还原糖发生羰氨反应,最终生成棕色甚至黑色的大分子物质类黑精或称拟黑素的过程。李庆丽等<sup>[41]</sup>选取麦芽糖、葡萄糖等还原糖与对虾过敏原发生美拉德反应,发现麦芽糖使虾过敏原的免疫活性降低 60%,葡萄糖使虾过敏原免疫活性降低约 10%,说明美拉德反应能够有效降低虾过敏原的免疫活性。溶液的酸碱性影响水产品过敏原的致敏性,pH2.0 的缓冲液中小清蛋白就会发生显著降解,但是 pH3.0~11.0 缓冲液中,小青蛋白无明显变化,在模拟胃液实验中,5 min 小青蛋白就发生明显降解,15 min 基本会完全降解<sup>[42]</sup>。

## 5 展望

我国是水产品的生产和消费大国,随着社会的进步和全球化的发展,水产品食物过敏的发病率呈现增加趋势,所以对水产品过敏进行基础性研究并取得了一定进展,但是还存在研究上的不足。首先,虽然对水产品过敏原成分进行了研究,但每种水产品不止一种过敏原,水产品在流通过程中也会发生一些变化,其潜在的致敏性是不能忽视的,因此需要对水产品过敏原进行系统研究,并进行标识,为开发低致敏性和无致敏性水产食品提供理论依据。其次对水产品过敏原性质分析和鉴定需要高纯度的过敏原,目前对产品过敏原分离纯化方法研究进展缓慢,大多数研究采用的是过敏原粗蛋白,今后要采用生物化学和分子生物学技术,建立制备高纯度过敏原的方法。第三,水产品过敏原脱敏技术不够完善,目前水产品脱敏技术有加热、辐射、超高压技术、超声波技术和酶法等,仅超高压技术和酶法脱敏效果较好,但对水产品质量和风味破坏较大,酶法中缺少专一性的酶。根据水产品的特点,采用两种或者以上技术相结合,寻找新的方法和技术降低或者消除水产品

中过敏原的活性,开发低致敏或无致敏的水产品,以满足人们的需要,成为今后一个研究方向。第四,目前研究超高压和酶法处理能够较好降低水产品致敏原的致敏性,但是未从致敏原二级和三级结构的变化阐明致敏性降低的原因,因此研究超高压和酶等使致敏性降低的机制,也是今后一项重要的研究课题。第五,水产品过敏反应相关的其部分抗原决定基(数个至数十个氨基酸组成),可以通过掩盖、破坏或者去除此类基团,使引起过敏的抗原决定基不被免疫系统识别,这也是开发低过敏水产品的一个研究方向。

#### 参考文献

- [1] Sharp MF, Lopata AL. Fish Allergy: In review [J]. *Clinic Rev Allerg Immunol*, DOI 10.1007/s12016-013-8363-1.
- [2] Hanson L, Telemo E. The growing allergy problem [J]. *Acta Paediatr*, 1997, 86(9): 916–918.
- [3] 吕相征, 刘秀梅, 杨晓光. 健康人群食物过敏状况的初步调查[J]. *中国食品卫生杂志*, 2005, 17(2): 119–121.  
Lv XZ, Liu XM, Yang XG. The preliminary of food allergy in health population [J]. *Chin J Food Hyg*, 2005, 17(2): 119–121.
- [4] 吴海明, 胡志和. 海虾过敏原的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2010, 21(7): 167–173.  
Wu HM, Hu ZH. Research advance of shrimp allergens [J]. *Food Res Dev*, 2010, 31(7): 167–173.
- [5] Nakagawa T. IgE antibody determination [J]. *Nippon Rinsho Jpn J Clin Med*, 2001, 59(10): 1950–1954.
- [6] Geha RS. Allergy and hypersensitivity. Nature versus nurture in allergy and hypersensitivity [J]. *Curr OP in Immunol*, 2003, 15(6): 603–608.
- [7] Lehrer SB, Ayuso R, Reese G. Seafood allergy and allergens: a review [J]. *Marine Biotechnol (NY)*, 2003, 5(4): 339–348.
- [8] 金莹, 房保海. 食品过敏原的分类及安全管理[J]. *食品安全质量检测学报*, 2012, 3(4): 240–244.  
Jin Y, Fang BH. Classification and safety management of food allergens [J]. *J Food Safe Qual*, 2012, 3(4): 240–244.
- [9] 岳进, 骆亚丽, 钟宇, 等. 高静压对水产品加工及其致敏性影响的研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2013, 4(2): 569–578.  
Yue J, Luo YL, Zhong Y, *et al.* High hydrostatic pressure processing of seafood and its effects on allergenicity[J]. *J Food Safe Qual*, 2013, 4(2): 569–578.
- [10] Tsaouri S, Triga M, Makris M, *et al.* Fish and shellfish allergy in children: Review of a persistent food allergy [J]. *Pediatr Allergy Immunol*, 2012, 23: 608–615.
- [11] Lim DLC, Neo KH, Yi FC, *et al.* Parvalbumin-the major tropical fish allergen[J]. *Pediatr Allergy Immunol*, 2008, 19: 399–407.
- [12] Perez-Gordo M, Cuesta-Herranz J, Maroto AS, *et al.* Identification of sole parvalbumin as a major allergen: study of crossreactivity between parvalbumins in a Spanish fish-allergic population [J]. *Clin Experim Allergy*, 2011, 41: 750–758.
- [13] Guo FF, Kubota H, Shiomi K. Purification, immunological properties and molecular cloning of two allergenic parvalbumins from the crimson sea bream, *Evynnis japonica*[J]. *Food Chem*, 2012, 132(2): 835–840.
- [14] 农小献, 宾石玉, 蒙涛, 等. 小清蛋白研究进展[J]. *生物技术通讯*, 2011, 22(6): 887–891.  
Nong XX, Bi SY, Meng T, *et al.* Research Progress of Parvalbumins [J]. *Letters in Biotechnol*, 2011, 22(6): 887–891.
- [15] Beale JE, Jeebhay MF, Lopata AL. Characterisation of purified parvalbumin from five fish species and nucleotide sequencing of this major allergen from Pacific pilchard, *Sardinops sagax*[J]. *Molecular Immunol*, 2009, 46(15): 2985–2993.
- [16] Pan BQ, Su WJ, Cao MJ, *et al.* IgE reactivity to type I collagen and its subunits from tilapia(*Tilapia zillii*) [J]. *Food Chem*, 2012, 130(1): 127–133.
- [17] Liu R, Krishnan HB, Xue W, *et al.* Characterization of allergens isolated from the freshwater fish blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. *J Agric Food Chem*, 2011, 59(1): 458–463.
- [18] Liu CY, Tao S, Xue JY, *et al.* Identification and purification of a novel fish allergen from largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Food & Agric Immunol*, 2014, 25(1): 70–81, 12.
- [19] Lopata AL, O’Hehir RE, Lehrer SB. Shellfish allergy [J]. *Clin Experim Allergy*, 2010, 40: 850–858.
- [20] Motoyama K, Ishizaki S, Nagashima Y, *et al.* Cephalopod tropomyosins: Identification as major allergens and molecular cloning [J]. *Food Chem Toxicol*, 2006, 44(12): 1997–2002.
- [21] Ayuso R, Grishina G, Ibáñez M D. Sarcoplasmic calcium-binding protein is an EF-hand-type protein identification as a new shrimp allergen[J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2009, 124(1): 114–120.
- [22] Motoyama K, Suma Y, Ishizaki S, *et al.* Molecular cloning of tropomyosins identified as allergens in six species of crustaceans [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(3): 985–991.
- [23] 梁银龙, 曹敏杰, 郭川, 等. 蟹类原肌球蛋白基因的克隆与表达[J]. *水产学报*, 2009, 33(1): 24–29.  
Liang YL, Cao MJ, Guo C, *et al.* Cloning and expression of tropomyosins from crabs [J]. *J Fisheries of China*, 2009, 33(1): 24–29.
- [24] Abdel Rahman AM, Kamath SD, Lopata AL, *et al.* Biomolecular characterization of allergenic proteins in snow crab (*Chionoecetes opilio*) and de novo sequencing of the second allergen arginine kinase using tandem mass spectrometry[J]. *J Proteom*, 2011, 74(2): 231–241.
- [25] Emoto A, Ishizaki S, Shiomi K. Tropomyosins in gastropods and

- bivalves: Identification as major allergens and amino acid sequence features [J]. *Food Chem*, 2009, 114(2): 634–641.
- [26] 刘志刚, 邹玉兰, 吴淑勤, 等. 虾夷扇贝过敏原 tropomyosin 的克隆表达、纯化及免疫学鉴定[J]. *水生生物学报*, 2010, 34(5): 979–983.
- Liu ZG, Wu YL, Wu SQ, *et al.* Cloning expression, purification and immunological identification, of allergen tropomyosin of *Patinopecten yessoensis* [J]. *Acta Hydrobiological Sinia*, 2010, 34(5): 979–983.
- [27] Ishikawa M, Ishida M, Shimakura K. Tropomyosin, the major oyster *crassostrea gigas* allergen and its IgE-binding epitopes [J]. *J Agric Food Sci*, 1998, 63 (1): 44–46.
- [28] 陆海霞, 张蕾, 李学鹏, 等. 超高压对秘鲁鱿鱼肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J]. *中国水产科学*, 2010, 17(5): 1107–1114.
- Lu HX, Zhang L, Li XP, *et al.* Effect of ultra-high pressure on gel properties of myofibril of jumbo squid, *Dosidicus gigas* [J]. *J Fishery Sci China*, 2010, 17(5): 1107–1114.
- [29] 王章存, 徐贤. 高压处理对蛋白质结构及功能性质的影响[J]. *粮食与油脂*, 2007, (11): 10–12.
- Wang ZC, Xu X. Effect of high pressure on protein structure and function [J]. *Cereals & Oils*, 2007, (11): 10–12.
- [30] 谢丹丹, 胡志和, 薛璐, 等. 超高压结合酶法消减南美白对虾肉中过敏原[J]. *食品科学*, 2012, 33(3): 68–71.
- Xie DD, Hu ZH, Xue LL, *et al.* Allergen elimination from *Litopenaeus vannamei* meat by ultra-high pressure treatment coupled with papain hydrolysis[J]. *Food Sci*, 2012, 33(3): 68–71.
- [31] 赵伟, 杨瑞金, 张文斌, 等. 超高压处理对牡蛎超微结构、组分及蛋白质变性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(5): 7–11.
- Zhao W, Yang RJ, Zhang WB, *et al.* Effects of High Pressure Processing on Microstructure, Ingredients and Protein Denature of Fresh Oyster[J]. *Food Ferment Ind*, 2011, 37(5): 7–11.
- [32] 毕井辉, 汪何雅, 钱和, 等. 酶解法去除食品过敏原[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(8): 432–439.
- Bing JH, Wang HY, Qian H, *et al.* Reducing food allergen by enzyme hydrolysis[J]. *Sci Technol Food Ind*, 2011, 32(8): 432–439.
- [33] Kuniyoshi S, Tonomura Y, Hamau Y, *et al.* Allergenicity of crustacean extractives and its reduction by protease digestion[J]. *Food Chem*, 2005, 91(2): 247–253.
- [34] 王晓雯. 中国对虾主要过敏原的鉴定及性质的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- Wang XW. Research on allergen identification and its properties of Chinese shrimp [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008.
- [35] 董晓颖, 高美须, 潘家荣. 不同处理方法对虾过敏蛋白分子量及抗原性的影响[J]. *核农学报*, 2010, 24(3): 548–554.
- Dong XY, Gao MX, Pan JR, *et al.* Effects of different treatments on molecular weight and antigenicity of shrimp allergenic protein[J]. *J Nuclear Agric Sci*, 2010, 24(3): 548–554.
- [36] 顾可飞, 高美须, 李春红. 辐照对虾过敏原生化性质的影响[J]. *核农学报*, 2007, 21(2): 160–163.
- Gu KF, Gao MX, Li CH. Effect of irradiation on biochemistry properties of shrimp allergen [J]. *J Nuclear Agric Sci*, 21(2): 160–163.
- [37] 顾可飞, 高美须, 李春红, 等. 辐照对虾过敏原抗原性的影响[J]. *中国食品卫生杂志*, 2007, 19(2): 102–105.
- Gu KF, Gao MX, Li CH, *et al.* Effect of irradiation on antigenicity of allergen [J]. *Chin J Food Hyg*, 2007, 19(2): 102–105.
- [38] 张明琦, 高美须, 支玉香, 等. 辐照对蟹过敏蛋白生化性质和抗原性的影响[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(9): 3259–3264.
- Zhang MQ, Gao MX, Zhi YX, *et al.* Effect of irradiation on biochemical properties and antigenicity of crab allergen[J]. *Scientia Agric Sinica*, 2009, 42(9): 3259–3264.
- [39] 刘光明, 王玉松, 黄园园, 等. 辐照处理对蟹类过敏原(原肌球蛋白)性质的影响[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2009, 48(2): 287–292.
- Liu GM, Wang YS, Huang YY, *et al.* The effects of irradiation on the allergenicity of crab tropomyosins[J]. *J Xiamen University (Natural Science)*, 2009, 48(2): 287–292.
- [40] Saptarshi SR, Sharp MF, Kamath S D, *et al.* Antibody reactivity to the major fish allergen parvalbumins determined by isoforms and impact of thermal processing [J]. *Food Chem*, 2014, 148: 321–328.
- [41] 李庆丽, 李振兴, 林洪, 等. 美拉德反应中麦芽糖、葡萄糖对虾过敏原活性影响的研究[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(1): 79–81, 84.
- Li QL, Li ZX, Lin H, *et al.* Study on the influence of maltose and glucose in Maillard reaction on the activity of the shrimp allergen[J]. *Sci Technol Food Ind*, 2009, 30(1): 79–81, 84.
- [42] 潘冰青, 刘光明. 鲤鱼胶原蛋白的过敏原性研究[J]. *集美大学学报*, 2011, 16(5): 340–345.
- Pan YQ, Liu GM. Study on allergen of carp collagen [J]. *J Jimei Univ*, 2011, 16(5): 340–345.

(责任编辑: 赵静)

## 作者简介



李颖畅, 博士, 副教授, 主要研究方向为水产品贮藏加工与质量安全控制。  
E-mail: liyingchangsy@sina.com