文章编号：1000-5773(2013)04-0604-05

超高压技术降低食品过敏原的研究进展*

龙芳羽[1,2]，史雪萍[3]，王蓉蓉[2]，姜 斌[2]，董 鹏[2]，胡小松[2]

(1. 西北农林科技大学食品科学与工程学院，陕西杨凌 712100；
2. 中国农业大学食品科学与营养工程学院，北京 100083；
3. 青岛农业大学动物科技学院，山东青岛 266109)

摘要：超高压技术是目前备受关注的非热力杀菌技术之一，能在常温下有效杀死和钝化食品中的微生物和酶，同时还能很好地保持食品品质，延长食品货架期。此外，超高压技术能够降低食品中的过敏原。介绍了超高压技术的优点，深入综述了近年来关于超高压技术及其协同其它技术降低或消除食品过敏原蛋白的研究进展，并对超高压技术降低或消除食品过敏原蛋白的机理进行了初步总结。

关键词：超高压技术；过敏原；食品加工

中图分类号：O521.9 **文献标识码**：A

1 引 言

过敏性疾病是目前世界上常见的疾病，已被世界卫生组织(WHO)列为 21 世纪重点防治的三大疾病之一。近年来，因食物导致的过敏性疾病的发生率不断上升，对大众健康的影响逐渐受到重视。据调查，美国每年约 2.0%～2.5%的人发生食物过敏，儿童及婴幼儿的发病率更高，约为 5%～8%[1-3]。随着现代工业的发展，我国的食物过敏问题日益凸显。据不完全统计，我国食物过敏的发病率高于发达国家。因此，食物过敏问题已成为全球关注的公共健康问题之一。

食物过敏是人类常见的过敏性疾病，主要症状有哮喘、荨麻疹等，严重的甚至会危及生命。食物过敏主要由食物中的蛋白质引起。据联合国粮农组织(FDA)统计，目前大约有 160 多种食品含有可导致过敏反应的过敏原，但常见的主要是 8 类食物，即蛋类、牛奶、花生、黄豆、小麦、坚果、鱼类和甲壳类水产品，90%的食物过敏源于这 8 类食物[4-6]。

食品过敏原问题属于食品安全性范畴。由于传统蒸煮、油炸等加工方式难以消除食品中的致敏原，因此开发降低或脱除食品过敏原的新加工技术，对于发展食品加工业、保护公众健康具有极其重要的意义。本文介绍一种新型的脱敏技术——超高压(High Hydrostatic Pressure，HHP)技术，对该技术在各类食品过敏原消减方面的研究进展进行综述，并对其消减食品过敏原蛋白的机理进行初步总结。

2 HHP 技术

HHP 处理作为非热力杀菌技术之一，不但能在常温下杀死和钝化食品中的微生物，而且可以很好地保持食品品质。HHP 加工食品是一个物理过程。在食品 HHP 加工过程中，液体压力可以瞬间均匀

* **收稿日期**：2011-10-24；**修回日期**：2011-12-08

基金项目：西北农林科技大学博士启动基金(Z111021304)；吉林省世行贷款农产品质量安全应用研究项目(2011-Z68)；中国博士后科学基金(20110490478)

作者简介：龙芳羽(1982－)，女，博士，主要从事食品非热加工技术研究. E-mail：fangyu315@126.com

通讯作者：胡小松(1961－)，男，硕士，教授，主要从事食品非热加工技术研究. E-mail：huxiaos@263.net

地传递到整个食品,食品受压均匀、压力传递迅速,不存在压力梯度,整个加工过程较为简单,能耗较低。另外,HHP 能减少样品的体积(即减少物质分子/原子间的距离),使物质的电子结构和晶体结构发生变化[7]。由于 HHP 只作用于对生物大分子立体结构有贡献的氢键、离子键和疏水键等非共价键,对形成蛋白质等高分子物质以及维生素、色素和风味物质等小分子的共价键无任何影响,因此很好地保持了食品原有的营养价值、色泽和风味[8-9]。

目前,有关 HHP 技术在食品中的应用主要集中在杀菌、钝酶、大分子改性、功能成分提取、对食品品质影响等方面研究[10-11]。虽然 HHP 技术正快速发展,但单独使用 HHP 技术难以完全钝化食品内源酶,致使 HHP 处理的食品在贮藏期中发生色泽、质构和风味劣变;此外,HHP 技术无法完全杀灭耐压微生物营养体及芽孢,导致贮藏期内 HHP 处理的产品发生腐败变质,货架期缩短。因此,2009 年美国率先研制出温压结合 HHP 装备和加工技术,使产品在达到更长货架期的前提下,最大限度地保持原有的色泽、质构、风味和稳定性。HHP 技术在农产品加工和食品加工中得到了广泛应用,其中用于蔬菜和肉制品加工较多,分别占 36%和 31%。日本、美国、西班牙、加拿大、法国、澳大利亚等已分别将 HHP 技术应用于米饭、果蔬汁、果酱、肉制品、奶制品、水产品等加工。此外,国外一些研究小组已经开始将 HHP 技术应用于传统食品(如奶酪、酸奶、火腿)的加工中,并取得了一些成果。

3　HHP 技术对食品过敏原的影响

大部分食品过敏原为蛋白质,HHP 可通过不同程度地改变过敏原蛋白的空间结构,使过敏原蛋白活性发生变化甚至失活,从而达到降低或消除食品过敏原的目的。近年来,有关 HHP 技术降低或消除食品过敏原性的报道较多,例如 HHP 技术降低牛奶、水产品、蔬菜等食品中的过敏原[12-23]。

牛奶过敏在婴幼儿中时有发生,其主要过敏原蛋白是乳清蛋白、乳球蛋白、乳白蛋白和酪蛋白[12]。HHP 处理可以使牛奶中的过敏原蛋白变性。Kleber 等人[13]的研究表明,在 100～300 MPa 压力条件下,牛奶中的过敏原蛋白的变性过程是可逆的,而 400 MPa 时变性过程则是不可逆的。牛奶中的过敏原蛋白对 HHP 处理压力和处理时间的敏感性各不相同,例如:与 β-乳球蛋白相比,α-乳白蛋白的压力敏感性更明显;当压力固定时,乳清蛋白的时间敏感性更明显[14-17]。此外,Kleber 等人[18]研究发现,β-乳球蛋白的过敏原性不但与 HHP 处理的压力和时间有关,而且与牛奶中的其它成分有关。

在水产品方面:Liu 等人[19]研究发现,在温度为 20 ℃条件下,100、200 和 300 MPa 分别作用 10、30 和 60 min 时,鲢鱼过敏原蛋白分子量、亚基组成和过敏原性并不受影响,但过敏原蛋白的结构发生改变;董晓颖等人[20]报道,虾过敏蛋白经过不同压力(100、200、300、400 和 500 MPa)处理后,分子量大小没有发生变化,说明 HHP 对虾过敏蛋白分子量没有影响,但能降低其致敏性,其原因可能是 HHP 不能使虾肌纤维中该原肌球蛋白的四级结构发生解聚、交联或裂解,从而不能生成一些小颗粒的亚基单位或分子量更大的蛋白质。

在蔬菜及其它食品方面:Jankiewicz 等人[21]发现,HHP 可以降低芹菜中的过敏原性;Yamamoto 等人[22]报道,超高压(300 MPa)处理降低了小麦中 α-淀粉酶的 IgE 结合能力,具有降低过敏原性的作用,其机理可能是 HHP 脱掉 α-淀粉酶的酪氨酸残基,导致其三级结构发生改变,从而降低其过敏原性;Naoyuki 等人[23]的研究表明,采用 300～600 MPa 的 HHP 处理,可降低牛肉中的主要过敏原蛋白——牛血清白蛋白(BSA)的致敏性,分析认为 BSA 过敏原性的改变与其三级结构的变化有关,其二级结构不受影响。

4　HHP 协同其它因素对食品过敏原的影响

HHP 处理除了可以降低蛋白质的过敏原性外,研究还发现 HHP 结合温度、酶解等方法后,脱敏效果更佳,在这方面国外学者的研究报道较多。

HHP 协同温度能有效降低食品中的过敏原,例如:HHP 协同温度(40、50 ℃),可增加 β-乳球蛋白的过敏原性,但在更高的温度(60、68 ℃)下则显著降低其过敏原性[15];HHP 协同温度能够有效降低苹

果中的过敏原蛋白 Mal d 3 和芹菜中的过敏原蛋白 Api g 1[24]；与单纯的 HHP 技术相比，在协同温度的情况下，HHP 对海虾的脱敏效果更好。

HHP 协同蛋白酶处理过敏原蛋白时，能改变蛋白质的构象，暴露其免疫位点，进行酶解作用后，过敏原蛋白能被更好地降解。Kato 等人[25]报道，HHP 协同蛋白酶在 300 MPa 压力下作用 30 min 时，几乎完全降解大米中的主要过敏原蛋白(白蛋白、γ-球蛋白和球蛋白)，消除了大米的过敏原性，其机理可能是大米胚乳细胞在 HHP 作用下被破坏，中性盐提取液渗入到细胞中，部分过敏蛋白被溶解，随后释放到周围的溶液中，使大米中过敏蛋白质的含量大大减少。Peñasa 等人[26]研究发现，HHP(200～300 MPa)协同蛋白酶可降低大豆中的过敏原蛋白 Gly m 1。此外，HHP 协同蛋白酶作用于卵白蛋白和 β-乳球蛋白时，其 IgG 和 IgE 的免疫亲和力几乎完全被破坏，从而消除其致敏性[27-28]。

可见，HHP 协同温度或酶解处理均能在一定程度上降低过敏原性。其中，HHP 协同酶解处理的效果更佳，但是酶解会影响蛋白质的性质，易形成苦肽，降低产品品质。因此，采用 HHP 协同酶解处理降低食品过敏原性需综合考虑。

5 HHP 降低或消除食品过敏原的机制

科学研究证实，HHP 技术可以促进生物大分子的降解、交联和分子构象的改变，降低蛋白质的热稳定性，破坏其抗原决定簇，从而降低过敏原带来的致敏性。HHP 技术所导致的蛋白质变性是由于破坏了稳定蛋白质高级结构的弱作用——非共价键。一般来说，HHP 对蛋白质的初级结构(一级结构)影响较小，对高级结构(二级、三级和四级结构)影响很大[29-30]。蛋白质的高级结构主要靠非共价键作用维持，因此，150 MPa 或更低的压力就能破坏蛋白质的高级结构[31]。200 MPa 以上的压力能通过破坏氢键来改变蛋白质的高级结构，并造成非可逆变性。这些分子结构的变化导致其物理特性发生变化，从而影响蛋白质的功能[32]。研究表明，通过 200 MPa 以上的 HHP 作用就可以破坏鱼肉组织中小清蛋白的三级结构，使组织发生改变，从而消减小清蛋白的致敏性。

由于食品中的过敏原大多是蛋白质，因此，HHP 技术通过改变过敏原蛋白的高级结构导致过敏原蛋白的抗原表位发生变化，从而降低食品的致敏性[33-36]。以常见的Ⅰ型或速发型超敏反应为例，过敏原进入体液中，可以选择性地诱导抗原特异性 B 细胞产生 IgE 抗体应答，活化浆细胞产生特异性 IgE，后者与嗜碱性粒细胞及肥大细胞表面的 IgE Fc 受体结合，发生致敏反应。过敏原蛋白经 HHP 处理后，其空间结构发生变化，导致 B 细胞抗原决定簇的结构发生变化，使 IgE 与受体难以结合，从而降低或消除其过敏原性[37]。

6 展 望

我国对食物过敏方面的研究起步较晚，相关的临床数据较少，而作为普通消费者，食品过敏现象的识别、预防及治疗等方面的知识非常缺乏，这也是导致我国食物过敏现象频频发生的主要原因。HHP 技术作为一项新兴的食品加工技术，在降低或消除食品过敏原方面具有很大的潜力。此外，HHP 技术在降低食品过敏原的同时，能很好地保持食品品质，因此，该技术有望成为开发低敏及脱敏食品的新技术。

References:

[1] Helm R M, Burks A W. Mechanisms of food allergy [J]. Curr Opin Immunol, 2000, 12(6): 647-653.

[2] Rona R J, Keil T, Summers C, et al. The prevalence of food allergy: A meta-analysis [J]. J Allergy Clin Immunol, 2007, 120(3): 638-646.

[3] Branum A M, Lukacs S L. Food allergy among U. S. children: Trends in prevalence and hospitalizations [J]. NCHS Data Brief, 2008(10): 1-8.

[4] Mills E N C,Madsen C,Shewry P R,et al. Food allergens of plant origin—Their molecular and evolutionary relationships [J]. Trends Food Sci Tech,2003,14:145-156.

[5] Dubois B,Goubier A,Joubert G,et al. Oral tolerance and regulation of mucosal immunity [J]. Cell Mol Life Sci,2005,62(12):1322-1332.

[6] Worbs T,Bode U,Yan S,et al. Oral tolerance originates in the intestinal immune system and relies on antigen carriage by dendritic cells [J]. J Exp Med,2006,203(3):519-527.

[7] McMillan P F. Chemistry of materials under extreme high pressure-high-temperature conditions [J]. Chem Commun,2003,21(8):919-923.

[8] Butz P,Garcia A F,Lindauer R,et al. Influence of ultra high pressure processing on fruit and vegetable products [J]. J Food Eng,2003,56(2/3):233-236.

[9] Oey I,Lille M,van Loey A,et al. Effect of high-pressure processing on colour,texture and flavour of fruit- and vegetable-based food products:A review [J]. Trends Food Sci Tech,2008,19(6):320-328.

[10] Zeng Q M,Xie H M,Pan J,et al. Effect of ultra-high pressure processing (UHPP) on the microstructure of *Bacillus subtilis* [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics,2006,20(1):83-87. (in Chinese)
曾庆梅,谢慧明,潘　见,等. 超高压处理对枯草芽孢杆菌超微结构的影响 [J]. 高压物理学报,2006,20(1):83-87.

[11] Huang L,Sun Y M,Pan K,et al. Influence of ultra high pressure on peroxidase pectin methyl esterase and soluble protein in litchi fruit [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics,2005,19(2):179-183. (in Chinese)
黄　丽,孙远明,潘　科,等. 超高压处理对荔枝果肉中两种酶和可溶性蛋白的影响 [J]. 高压物理学报,2005,19(2):179-183.

[12] Järvinen K M,Chatchatee P,Bardina L,et al. IgE and IgG binding epitopes on alpha-lactalbumin and beta-lactoglobulin in cow's milk allergy [J]. Int Arch Allergy Immunol,2001,126(2):111-118.

[13] Kleber N,Maier S,Hinrichs J. Antigenic response of bovine β-lactoglobulin influenced by ultra-high pressure treatment and temperature [J]. Innovat Food Sci Emerg Tech,2007,8(1):39-45.

[14] Nakamura T,Sado H,Syukunobe Y. Production of low antigenic whey protein hydrolysates by enzymatic hydrolysis and denaturation with high pressure [J]. Milchwissenschaft,1993,48:141-145.

[15] Hinrichs J,Rademacher B,Kessler H G. Reaction kinetics of pressure-induced denaturation of whey proteins [J]. Milchwissenschaft,1996,51:504-509.

[16] López-Fandiño R,Carrascosa A V,Olano A. The effects of high pressure on whey protein denaturation and cheese-making properties of raw milk [J]. J Dairy Sci,1996,79(6):929-936.

[17] Hinrichs J,Rademacher B. Kinetics of combined thermal and pressure-induced whey protein denaturation in bovine skim milk [J]. Int Dairy J,2005,15(4):315-323.

[18] Kleber N,Maier S,Hinrichs J. Antigenic response of bovine β-lactoglobulin influenced by ultra-high pressure treatment and temperature [J]. Innovat Food Sci Emerg Tech,2007,8(1):39-45.

[19] Liu R,Xue W T. High-pressure treatment with silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) protein and its allergic analysis [J]. High Pressure Res,2010,30(3):438-442.

[20] Dong X Y,Gao M X,Pan J R,et al. Effects of different treatments on molecular weight and antigenicity of shrimp allergenic protein [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica,2010,24(3):548-554. (in Chinese)
董晓颖,高美须,潘家荣,等. 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.

[21] Jankiewicz A,Baltes W,Bögl K W,et al. Influence of food processing on the immunochemical stability of celery allergens [J]. J Sci Food Agr,1997,75(3):359-370.

[22] Yamamoto S,Takanohashi K,Hara T,et al. Effects of a high-pressure treatment on the wheat alpha-amylase inhibitor and its relationship to elimination of allergenicity [J]. J Phys Conf Ser,2010,215(1):1-4.

[23] Naoyuki N,Masatomo M,Takashi H,et al. Elimination of the allergenicity of food protein by high pressure [J]. Rev High Pressure Sci Technol,2006,16(1):11-16.

[24] Husband F A,Aldick T,van der Plancken I,et al. High-pressure treatment reduces the immunoreactivity of the major allergens in apple and celeriac [J]. Mol Nutr Food Res,2011,55(7):1087-1095.

[25] Kato T,Katayama E,Matsubara S,et al. Release of allergenic proteins from rice grains induced by high hydrostatic pressure [J]. J Agric Food Chem,2000,48(8):3124-3129.

[26] Peñasa E, Préstamoa G, Polo F, et al. Enzymatic proteolysis, under high pressure of soybean whey: Analysis of peptides and the allergen Gly m 1 in the hydrolysates [J]. Food Chem, 2006, 99(3): 569-573.
[27] Chicón R, Belloque J, Alonso E, et al. Hydrolysis under high hydrostatic pressure as a means to reduce the binding of beta-lactoglobulin to immunoglobulin E from human sera [J]. J Food Prot, 2008, 71(7): 1453-1459.
[28] Chicón R, López-Fandiño R, Alonso E, et al. Proteolytic pattern, antigenicity, and serum immunoglobulin E binding of beta-lactoglobulin hydrolysates obtained by pepsin and high-pressure treatments [J]. J Dairy Sci, 2008, 91(3): 928-938.
[29] Silva J L, Foguel D, Royer C A. Pressure provides new insights into protein folding, dynamics and structure [J]. Trends Biochem Sci, 2001, 26(10): 612-618.
[30] Chapleau N, Mangavel C, Compoint J P, et al. Effect of high-pressure processing on myofibrillar protein structure [J]. J Sci Food Agr, 2004, 84(1): 66-74.
[31] Huppertz T, Fox P F, Kelly A L. High pressure treatment of bovine milk: Effects on casein micelles and whey proteins [J]. J Dairy Res, 2004, 71(1): 97-106.
[32] Kresic G, Lelas V, Herceg Z, et al. Effects of high pressure on functionality of whey protein concentrate and whey protein isolate [J]. Lait, 2006, 86(4): 303-315.
[33] Iametti S, Transidico P, Bonomi F, et al. Molecular modifications of β-lactoglobulin upon exposure to high pressure [J]. J Agric Food Chem, 1997, 45(1): 23-29.
[34] Iametti S, Donnizzelli E, Vecchio G, et al. Macroscopic and structural consequences of high-pressure treatment of ovalbumin solutions [J]. J Agric Food Chem, 1998, 46(9): 3521-3527.
[35] Iametti S, Donnizzelli E, Pittia P, et al. Characterization of high-pressure-treated egg albumen [J]. J Agric Food Chem, 1999, 47(9): 3611-3616.
[36] Tedford L A, Smith D, Schaschke C J. High pressure processing effects on the molecular structure of ovalbumin, lysozyme and β-lactoglobulin [J]. Food Res Int, 1999, 32(2): 101-106.
[37] Young E, Stoneham M D, Petruckevitch A, et al. A population study of food intolerance [J]. Lancet, 1994, 343(8906): 1127-1130.

Advances in High Pressure Processing Reducing the Allergenicity of Food Proteins

LONG Fang-Yu[1,2], SHI Xue-Ping[3], WANG Rong-Rong[2], JIANG Bin[2], DONG Peng[2], HU Xiao-Song[2]

(1. *College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling* 712100, *China*;
2. *College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing* 100083, *China*;
3. *College of Animal Science and Technology, Qingdao Agricultural University, Qingdao* 266109, *China*)

Abstract: As a new non-thermal technology, high pressure processing destroys vegetative microorganisms and inactivates enzymes, whereas fresh flavour, colour, mineral balance and vitamins mostly persist. In addition, high pressure processing has been investigated to decrease the allergenicity of food protein. Combination with other treatments (such as thermal) and agents (such as enzyme), allergenicity can be almost eliminated. This paper reviews literature on the recent advances in eliminating or decreasing the allergenicity of food protein by high pressure treatment. The mechanisms of high pressure treatment induced alteration of allergenicity are also discussed.

Key words: high pressure processing; allergenicity; food processing