

非热加工技术对食品中蛋白质结构和功能特性的影响

王 硕, 王俊平, 张 燕, 郭 峻

(天津科技大学食品工程与生物技术学院, 教育部食品营养与安全教育部重点实验室, 天津 300457)

摘 要:食品非热加工因其相对营养安全的加工特点,已成为目前食品加工领域的热点。蛋白质作为食品的主要物质及营养成分,其结构及功能特性的改变会对食品品质产生重要影响。综述了超高压、超声波、微波、辐照四种非热加工对蛋白质结构和功能的影响,并对相关研究及发展趋势进行了简要评述,为研究非热加工方式对蛋白质的影响提供参考。

关键词:非热加工;超高压;超声波;微波;辐照;蛋白质;结构与功能

doi:10.13304/j.nykjdb.2015.521

中图分类号:TS201.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-0864(2015)05-0114-07

Effect of Non-thermal Processing Technology on the Structure and Function of Protein in Food

WANG Shuo, WANG Jun-ping, ZHANG Yan, GUO Jun

(Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, Ministry of Education, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: Non-thermal processing technology has been the hot spot in food processing field, owing to its characteristics in keeping food nutrition and safety. Protein is the major food substance and nutrition element. Any changes in its structure and functional characteristics would bring about great influence on food quality. This paper expounded the effects of ultra high pressure, ultrasonic, microwave, irradiation, 4 non-thermal processing methods on food protein structure and function, wishing to provide references for studies on non-thermal processing technology and practical production.

Key words: non-thermal processing; ultra high pressure; ultrasonic; microwave; irradiation; protein; structure and function

热加工是目前最常用的食品加工技术,食品热加工技术能够杀灭食品中的微生物并且能够使酶失活,同时食品热加工所使用的设备也相对容易管理,因此食品热加工技术得到广泛的发展和应用。然而在某些极端条件下,热加工过程会引起食品发生化学及物理上的变化,从而影响食品的感官特性、减少食品中一些营养物质的活性成分含量及活性成分利用率^[1,2],甚至在某些加工条件下产生对人体有潜在危害、引起人类慢性病的有害成分如丙烯酰胺^[3]、呔喃^[4]、5-羟甲基糠醛^[5]等。因此,需要进一步开发新的温和的食品

加工技术,以获得高质量、高营养、新鲜甚至改善食品品质及功能的食品。非热物理加工技术能够最优化食品的生物及感官品质特性并且能够避免热加工过程中产生的有害物质,因此,非热物理加工技术得到了深入的研究。

新兴的食品非热加工技术包括超高压、辐射、脉冲电场、微波、超声波等,绝大多数的非热加工技术可以获得保持新鲜品质、营养安全的食品而得到普遍的认可。非热加工技术不仅能够起到杀菌、钝酶的作用,而且可以改善食品的功能营养成分,成为近些年来食品领域的研究热点。蛋白质

收稿日期:2015-09-01; 接受日期:2015-09-21

基金项目:国家 863 计划项目(2012AA101604)资助。

作者简介:王 硕,教授,博士生导师,主要从事食品科学与食品安全研究。E-mail:s.wang@tust.edu.cn

作为食品中的主要组成物质之一,在食品加工过程中对于食品的营养功能和感官特性均有重要作用。研究探讨蛋白质在加工过程中结构变化与功能特性的改变对加工过程中食品营养、品质及感官特性的影响有重要的指导意义。

1 食品主要非热加工技术简介

“非热加工”是与“热加工”相对应的概念,是一类技术的统称,其特点是不加热,在加工过程中食品温度低,产热少。非热加工技术可以避免使用高温来杀灭微生物,进而减少高温加热对食品功能成分、色泽、风味和新鲜度的破坏。

1.1 超高压技术

超高压技术是指在室温或温和加热条件下,利用 100~1 000 MPa 的压力处理食品,以达到杀菌、钝酶和加工食品的目的^[6]。超高压技术(或高静水压)是利用液体(油或者水)作为压力传导介质对样品进行加压处理。超高压技术主要作用于食品组分的非共价键,如氢键、疏水键和离子键,因此超高压技术对食品天然的颜色、风味、口感、质地的影响较小,对维生素等小分子物质没有影响,是一种相对于热加工更为有利的处理方法^[7,8]。

1.2 超声波技术

超声波是一种频率超过人类听觉范围的机械波(>16 kHz)。根据超声波的频率和产能的大小,超声波可以分为低频率高场强(频率为 16~100 kHz,场强为 10~1 000 W/cm²)和高频率低场强(频率为 100 kHz~1 MHz,场强<1 W/cm²)两种范围。高频率低场强的超声波主要应用于食品物理化学性质的分析技术,以测得如食品的硬度、糖含量、酸度等。低频率高场强的超声波可以产生空穴效应,通过在介质中传播时产生的强大的压力、剪切力改变食品物料物理及化学的特性,从而对食品的品质产生影响,在近些年中引起国内外学者的关注^[1,9]。

1.3 微波技术

微波是一种频率为 300 MHz~300 GHz 的电磁波,微波加热是由食品材料吸收微波的能量并转变为热量。在高频电磁场中,偏振的极性分子发生高频的重新排列,引起分子内摩擦而产热。

另外食品中离子的振荡迁移也是微波加热食品的机制之一^[10]。微波技术在食品加工中已获得广泛应用,主要有微波干燥、微波杀菌、微波烘焙食品等。微波作为新型的加热技术具有极高的加热效率极大地缩短了加热时间,相对于传统加热技术,微波加热能够较小的改变食品的营养品质和风味,因此得到广泛的研究和应用。

1.4 辐照技术

辐照一般分为电离辐射和非电离辐射两种。电离辐射包括 γ -射线、高能电子束和 X-射线等,非电离辐射包括紫外线、红外线等。食品辐照技术是利用电离或非电离辐射处理食品,以起到杀灭细菌、病毒以及杀虫的作用,是一种延长食品贮藏时间和改善品质的食品处理技术^[11]。允许用于食品加工过程的电离辐射源能量有一定的限量,由放射性元素 ⁶⁰Co γ 射线能量为 1.17 MeV、1.33 MeV, ¹³⁷Cs γ 射线能量为 0.662 MeV,高能电子束能量为 4~10 MeV, X-rays 的最大能量为 5 MeV^[12]。食品辐照处理除去能够起到除虫灭菌的作用之外,其对食品成分的物理化学性质及食品品质的影响也引起国内外研究者重视。

2 非热加工对食品中蛋白质结构及功能特性的影响

蛋白质作为食品中主要的基础功能成分对于决定食品的组织结构、感官及营养特性具有重要作用。蛋白质在食品加工贮藏过程中发生物理化学性质的变化直接影响食品的营养品质。蛋白质在食品中的作用及功能特性包括亲水性、起泡性、乳化性、凝胶性、持水性等。通过研究非热加工技术对蛋白结构及功能特性的影响对于研究非热加工处理方式的机理及应用具有指导意义。

2.1 超高压对蛋白质结构及功能特性的影响

蛋白质的一级结构是由肽链的氨基酸决定,两个氨基酸脱水缩合形成一个肽键,且为共价键,对压力不敏感,需要很高的压力才能使肽键断裂,改变氨基酸序列^[13]。目前使用超高压对蛋白质进行改性的压力范围在 0.1~900 MPa,主要是影响改变蛋白质的二级、三级和四级结构。

蛋白质二级结构主要包括 α -螺旋、 β -折叠、 β -转角和无规则卷曲,这些结构是肽链主链的局

部构象排布,由骨架上的羰基和酰胺基团之间形成的氢键维持。研究认为高铁肌红蛋白在 600 MPa 以上压力处理时, α -螺旋随着氢键迁移而展开^[14]。油菜籽蛋白随着压力的升高,其 α -螺旋的含量先上升后下降, β -折叠和无规则卷曲的含量先下降后上升, β -转角含量上升^[15]。菠萝蛋白酶在高压处理下其 α -螺旋、 β -折叠的含量也会因压力的上升呈先上升后下降的趋势^[16]。超高压处理蛋白质二级结构变化不一致,可能是因为蛋白质的种类及自身结构特性不同,但是通过超高压技术处理均会导致蛋白质二级结构的变化。

蛋白质三级结构是由一条多肽链在二级结构或超二级结构甚至结构域基础上进一步盘绕、折叠,通过侧链氨基酸残基间的非共价键维持固定的特定空间结构。蛋白质四级结构是多肽亚基的空间分布和排列,是单肽通过非共价键作用而形成的。蛋白质本身具有一定的荧光性,当外界环境改变导致蛋白三级结构发生变化时,使得蛋白的一些荧光发射基团位置发生改变(暴露或藏于分子内部),导致蛋白固有的荧光性发生改变,荧光度的变化由蛋白质的种类及固有发光基团的数目和位置相关。研究报道经高压处理后,大豆种子铁蛋白的荧光强度会发生显著变化^[17]。在适度高压处理可使蛋白的四级结构发生变化,有研究报道 150 MPa 高压处理可使四聚体的尿酸氧化酶的四级结构发生不可逆的变化并发生聚合反应,酶活性在 200MPa 时完全被破坏^[18]。

蛋白质溶解性主要与二硫键、氢键和疏水键有关,对于大豆和金枪鱼鱼糜蛋白的研究表明蛋白在较低压力处理下溶解性下降之后随着压力的上升,蛋白质的溶解性会上升^[19~21]。超高压引起蛋白变性进而形成聚合物,大多由于二硫键的形成造成的。较高压力处理会使蛋白分子伸展,压力消除后,伸展的蛋白分子重新形成二、三级结构,会对蛋白质溶解性产生影响,使一些蛋白质可溶^[21]。

蛋白质的乳化性和乳化稳定性对食品品质极为重要,经超高压处理大豆分离蛋白、红薯蛋白的乳化性及乳化稳定性均增加。超高压处理后,蛋白分子伸展,与水作用的极性基团增多,同时,蛋白分子内部的疏水基团也暴露出来,使亲水、亲油性达到很好的平衡,使乳化性和稳定性提高^[22,23]。

蛋白质凝胶是液体蛋白质分子规律交联后所形成的占据原来液体空间的三维空间网络结构。凝胶性是食品蛋白质的主要功能特性之一。超高压处理可使肌纤维蛋白具有很高的持水性和凝胶强度^[24]。超高压处理可以促进大豆蛋白的凝胶化^[25]。超高压处理过程中,凝胶强度与疏水性、二硫键及自由巯基变化相关。

2.2 超声波对蛋白质结构及功能特性的影响

超声波对蛋白质结构的影响主要集中于改变蛋白质的高级结构。研究表明直径为 2.0 cm 的超声探头在 20 kHz 条件下对花生分离蛋白的改变主要是三级结构^[26]。在对乳清蛋白进行超声波处理也得到类似结果,其主要作用机理可能为超高压处理改变了蛋白质分子间的氢键^[27]。目前尚没有超声波技术改变蛋白质一级结构的报道,超声波技术对蛋白质二级结构的改变与蛋白质的种类和超声条件有关,存在差异。20 kHz 条件下,0.636 cm 的超声探头 150 W 超声 12 分钟可以改变黑豆蛋白的二级结构^[28]。20 kHz 条件下,2 cm 的超声探头 0~1 020 W 超声未能改变花生分离蛋白的二级结构^[26]。

超声波技术对蛋白质溶解性的改变会因蛋白的种类不同而有所差异。超声波能够增加牛奶、大豆分离蛋白和黑豆分离蛋白的溶解性,其机理可能为通过超声波处理蛋白形成了可溶性的聚集物,增加了溶解性^[29,30]。另有研究发现,20 kHz,直径为 13 mm 的超声探头处理没能改变乳清浓缩蛋白的溶解性,降低了卵白蛋白的溶解性^[31]。

超声波处理可以提高蛋白质的乳化性,Zhang 等^[26]研究报道在 20 kHz 条件下,用直径 2 cm 的超声探头超声波处理能够增强花生分离蛋白的乳化性。在 12.5 kHz 条件下,用直径为 5 mm 的超声探头处理牛奶浓缩蛋白,牛奶浓缩蛋白的乳化性得到增加^[29]。但超声波对蛋白乳化性的影响与蛋白质的种类相关,O'Sullivan 等^[32]研究发现 20 kHz 用直径 1.2 cm 的超声探头对酪蛋白酸钠、乳清提取蛋白和牛奶浓缩蛋白的乳化性没有影响。

超声波处理对蛋白质起泡性的影响同样与处理条件及蛋白种类有关,直径 13 mm 的探头 20 kHz 条件下卵白蛋白起泡性和稳定性下降^[31]。20 kHz 或 40 kHz 条件下超声 15 min 和 30 min 则会提高大豆分离蛋白及大豆浓缩蛋白的起

泡性^[33]。

超声波处理能够增加蛋白的凝胶特性。研究表明 24 kHz 探头发声器和 130 kHz 平板发声器处理后的酪蛋白其新形成的凝胶的弹性和牢固性均得到显著增加^[34]。在直径为 13 mm 的超声探头 800 W 条件下对山羊奶进行超声处理后,山羊奶凝胶的凝胶强度、弹性、交联程度及持水性均得到显著增加^[35]。

2.3 微波处理对蛋白质结构及功能特性的影响

目前对于微波影响蛋白质分子结构的机理尚不明确,从能量水平来看,微波的光子能量并不足以断开分子中的共价键^[36],在特定条件下,微波处理能更高效地破坏肽链的肽键,如在弱酸环境中微波处理相对传统方法能更快速地破坏肽键,且具有选择性,微波裂解肽键的位置一般在天冬氨酸残基羧基和氨基末端^[37]。

微波处理能够影响蛋白质的二级结构,且与蛋白质的种类及处理强度有关。微波处理能够显著减少大麦蛋白的 α -螺旋及 β -折叠,其减少量与微波处理持续时间成正比。同时 α -螺旋相对于 β -折叠的比率不断增高,表明微波处理对蛋白质的结构组成有较大影响^[38]。而微波处理米糠蛋白时,随着微波强度的加大,米糠蛋白的 α -螺旋及 β -转角呈现下降后上升的趋势, β -折叠成下降趋势^[39]。

微波处理能够显著影响蛋白质的功能特性。郝天舒和王长远^[39]研究报道微波处理能够提高米糠蛋白的溶解性,随着微波强度的加大,溶解性呈先上升后下降的趋势。微波处理大豆浓缩蛋白其溶解性得到提高,相同功率下随时间加长呈上升趋势,随着微波功率的加大则呈现先上升后下降的趋势^[40]。而 Erkan 等^[41]研究报道微波对小麦蛋白溶解性、起泡性和乳化性影响显著,与微波的功率及处理时间有关,随着微波强度的加大,蛋白溶解性逐渐降低,乳化性显著降低。因此微波处理对蛋白质结构及功能特性的影响与蛋白质的种类及微波处理强度及时间相关。

2.4 辐照处理对蛋白质结构及功能特性的影响

辐照处理能使蛋白质中二硫键、氢键等非共价键断裂,从而改变蛋白质的二级和三级结构。研究表明 10 kGy 的 γ -射线能够完全破坏纯化的红芸豆凝集素蛋白的二级、三级结构,使凝集素蛋

白失活。50 kGy 的 γ -射线能使红芸豆种子中 50% 的凝集素蛋白失活。豆类蛋白中含有较高含量的 β -折叠,经 γ -射线处理的凝集素蛋白 α -螺旋显著增多从而改变了其二级结构。10 kGy 的 γ -射线照射减少了提纯的凝集素蛋白中色氨酸残基的荧光强度表明该蛋白的三级结构受到破坏^[42]。陈勇等^[43]对经辐照处理的红豆分离蛋白的结构研究表明,辐照处理使红豆分离蛋白的二、三级结构发生变化,随着辐照剂量的增加,红豆分离蛋白的二级结构中 α -螺旋结构向无规则卷曲结构转变,色氨酸残基荧光强度先上升后下降,表明蛋白质的三级结构发生改变,随辐射剂量的上升,蛋白分子伸展使原先在分子内部的生色基团暴露,之后蛋白分子发生弯曲折叠,使生色基团包于分子内部,发生荧光猝灭现象。

辐照处理对蛋白质结构的影响与蛋白质的形态有关。固态及溶解状态的 β -乳球蛋白经辐照不同剂量(10 kGy、25 kGy、50 kGy)的 γ -射线照射处理发现,50 kGy 的 γ -射线照射处理对蛋白二级、三级结构无显著影响。溶解状态的 β -乳球蛋白经辐照处理色氨酸残基荧光强度下降表明蛋白的三级结构被破坏。低浓度的溶解状态的 β -乳球蛋白在高剂量辐射下蛋白质的二级结构也发生变化^[44]。

辐照处理对蛋白质结构的影响也与蛋白质的种类有关。研究表明,较低剂量的 γ -射线(0.5 ~ 10 kGy)照射处理能够破坏 10 mmol/L 的卵清蛋白及卵类黏蛋白的共价键,5 kGy 照射可使蛋白的肽键断裂,进而生成蛋白质聚合物,破坏了蛋白质的一级结构。 γ -射线照射处理使卵清蛋白的 α -螺旋减少,卵类黏蛋白的 β -折叠也同样减少,两种蛋白的无规则卷曲增多,使蛋白质的二级结构发生变化^[45]。

辐照处理对蛋白的凝胶特性有显著影响。研究表明, γ -射线能有效提高猪皮明胶和牛皮明胶的凝胶强度^[46,47],有利于提高大豆分离蛋白的凝胶特性^[48]。辐照主要通过使肽链降解为短肽链,空间位阻减小更有益于聚集重排,增强肽链交联和凝胶网络结构的紧密度,以提高凝胶强度^[49]。

辐照对蛋白起泡性的影响与蛋白质的种类、辐照类型和剂量有关。1~5 kGy 的 γ -射线能够提高蛋清蛋白液的起泡特性,但对蛋清粉的改善效果不佳^[50,51];用 0~10 kGy 的高能电子束辐照蛋

清蛋白液反而减低其起泡特性^[52]。辐照改善蛋白起泡性的机理可能是辐照改变了蛋白质的分子构象,使蛋白质表面疏水性增大,另外辐照可以促使蛋白降解,蛋白溶解性增大,界面表面张力降低,提高蛋白液的起泡性,同时辐照促进蛋白质分子交联,有利于提高蛋白分子泡沫的稳定性^[53,54]。

辐照能够改善蛋白质的乳化特性,如经 10 kGy 的 γ -射线处理,大豆浓缩蛋白及分离蛋白乳化性都得到了改善^[48,55]。辐照对蛋白的改性与蛋白的种类状态、辐照方式和剂量有关。紫外辐照能够提高蛋清蛋白的乳化特性^[53],而 0.4 kGy 的 γ -射线处理蛋清蛋白,使其乳化性下降^[51]。辐照能改善蛋白的乳化特性是通过改变蛋白质分子构象,破坏蛋白质次级键、二硫键,是蛋白分子伸展,使分子内疏水集团暴露,使亲油性和亲水性增强,蛋白质界面张力降低,使蛋白乳化特性得到提高^[53]。

3 展望

蛋白质作为食品的主要组成及功能成分,研究加工中蛋白结构和功能特性对食品加工有重要意义。非热加工技术能够较显著的改变蛋白质的结构和功能特性,几种加工方式主要通过改变蛋白质的二、三级结构以达到改善蛋白功能特性的目的。非热加工处理方式对蛋白结构及改性的影响与蛋白质的种类、状态,加工处理方式及处理强度有关,因此非热加工对蛋白质结构影响的具体机理以及实际加工应用条件有待我们进一步研究明确。前期的研究报道集中在不同加工方式对蛋白质改性研究的方面,而研究蛋白质结构特性及在加工过程中的变化,对食品加工的应用及蛋白改性具有理论指导意义,已成为目前的研究热点。目前关于非热加工技术与其他加工技术结合应用的报道较少,这也是今后的研究重点。另外,超高压、微波、超声波技术在处理食品过程中也会产生热量或是能量,尤其是高蛋白质或含糖食物,在加工过程中有无有害物质的产生,及对处理后蛋白的营养及消化性的影响有待进一步地研究。

参 考 文 献

[1] Soria A C, Villamiel M. Effect of ultrasound on the

technological properties and bioactivity of food: A review [J]. Trends Food Sci. Technol., 2010, 21(7): 323-331.

- [2] Ashokkumar M, Sunartio D, Kentish S, *et al.*. Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: A preliminary study on a model system [J]. Innov. Food Sci. Emerg. Technol., 2008, 9(2):155-160.
- [3] Stadler R H, Blank I, Varga N, *et al.*. Acrylamide from maillard reaction products [J]. Nature, 2002, 419: 449-450.
- [4] European Food Safety Authority. Report of the scientific panel on contaminants in the food chain on provisional findings of furan in food [J]. EFSA J., 2004, 137:1-20.
- [5] Kroh L W. Caramelisation in food and beverages [J]. Food Chem., 1994, 51: 373-379.
- [6] 张 晓,王永涛,李仁杰,等.我国食品超高压技术的研究进展[J].中国食品学报, 2015, 15(5): 157-165.
Zhang X, Wang Y T, Li R J, *et al.*. Advances of high hydrostatic pressure for food processing in China [J]. J. Chin. Institute Food Sci. Technol., 2015, 15(5): 157-165.
- [7] Galazka V B, Dickinson E, Ledward D A. Influence of high pressure processing on protein solutions and emulsions [J]. Curr. Opin. Coll. Interface Sci., 2000, 5:182-187.
- [8] Tewari G, Jayas D S, Holley R A. High pressure processing of foods: An overview [J]. Sci. des Aliments, 1999, 19(6):619-661.
- [9] Rastogi N K. Opportunities and challenges in application of ultrasound in food processing [J]. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 2011, 51(8): 705-722.
- [10] Datta A K, Davidson P M. Microwave and radio frequency processing [J]. J. Food Sci., 2000, 65: 32-41.
- [11] Farkas J, Mohacsi-Farkas C. History and future of food irradiation [J]. Trends Food Sci. Technol., 2011, 22: 121-126.
- [12] Commission C A. Codex STAN 106-1983 Codex general standard for irradiated foods [S].CAC, 2003.
- [13] Chen W Q, Heymann G, Kursula P, *et al.*. Effects of gigapascal level pressure on protein structure and function [J]. J. Physical Chem. B, 2012, 116:1100-1110.
- [14] Floriano W B, Nascimento M A C, Domont G B, *et al.*. Effects of pressure on the structure of metmyoglobin: Molecular dynamics predictions for pressure unfolding through a molten globule intermediate [J]. Protein Sci., 1998, 7(11): 2301-2313.
- [15] He R, He H, Chao D, *et al.*. Effects of high pressure and heat treatments on Physicochemical and gelation properties of rapeseed protein isolate [J]. Food Bioproc. Technol., 2014, 7: 1344-1353.
- [16] 刘 平,胡志和,吴子健,等.超高压引发胰蛋白构象变化与酶活性间的关系. [J].光谱学与光谱分析, 2015, 35(5): 1335-1339.
- [17] Zhang T, Lv C, Yun S, *et al.*. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) on structure and activity of phytoferritin [J]. Food Chem., 2012, 130(2):273-278.
- [18] Arnold M R, Kremer W, Lüdemann H D, *et al.*. 1H-NMR parameters of common amino acid residues measured in aqueous

- solutions of the linear tetrapeptides Gly-Gly-X-Ala at pressures between 0.1 and 200 MPa [J]. *Biophys. Chem.*, 2001, 96(2-3):129-140.
- [19] Ma X, Yi S, Yu Y, *et al.* Changes in gel properties and water properties of *Nemipterus virgatus* surimi gel induced by high-pressure processing [J]. *Food Sci. Technol.*, 2015, 61: 377-384.
- [20] Molina E, Papadopoulou A, Ledward D A. Emulsifying properties of high pressure treated soy protein isolate and 7S and 11S globulins [J]. *Food Hydrocolloids*, 2001, 15: 263-269.
- [21] Tang C, Ma C. Effect of high pressure treatment on aggregation and structural properties of soy protein isolate [J]. *Food Sci. Technol.*, 2009, 42:606-611.
- [22] Khan N M, Mu T, Zhang M, *et al.* The effects of pH and high hydrostatic pressure on the physicochemical properties of a sweet potato protein emulsion [J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 35:209-216.
- [23] Kajiyama N, Isobe S, Uemura K, *et al.* Changes of soy protein under ultra-high hydraulic pressure [J]. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 1995, 30:147-158.
- [24] Angsupanich K, Edde M, Ledward D A. Effects of high pressure on the myofibrillar proteins of cod and Turkey muscle [J]. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, 47:92-99.
- [25] Speroni F, Beaumal V, de Lamballerie M, *et al.* Gelation of soybean proteins induced by sequential high-pressure and thermal treatments [J]. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23: 1433-1442.
- [26] Zhang Q T, Tu Z C, Xiao H, *et al.* Influence of ultrasonic treatment on the structure and emulsifying properties of peanut protein isolate [J]. *Food Bioproducts Proc.*, 2014, 92(1): 30-37.
- [27] Jambrak A R, Mason T J, Lelas V, *et al.* Effect of ultrasound treatment on particle size and molecular weight of whey proteins [J]. *J. Food Engin.*, 2014, 121: 15-23.
- [28] Jiang L Z, Wang J, Li Y, *et al.* Effects of ultrasound on the structure and physical properties of black bean protein isolates [J]. *Food Res. Int.*, 2014, 62: 595-601.
- [29] Sun Y J, Chen J H, Zhang S W, *et al.* Effect of power ultrasound pre-treatment on the physical and functional properties of reconstituted milk protein concentrate [J]. *J. Food Engin.*, 2014, 124: 11-18.
- [30] Tang C H, Wang X Y, Yang X Q, *et al.* Formation of soluble aggregates from insoluble commercial soy protein isolate by means of ultrasonic treatment and their gelling properties [J]. *J. Food Engin.*, 2009, 92(4): 432-437.
- [31] Arzeni C, Martinez K, Zema P, *et al.* Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality [J]. *J. Food Engin.*, 2012, 108(3): 463-472.
- [32] O'Sullivan J, Arellano M, Pichot R, *et al.* The effect of ultrasound treatment on the structural, physical and emulsifying properties of dairy proteins [J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 42(15):386-396.
- [33] Jambrak A R, Lelas V, Mason T J, *et al.* Physical properties of ultrasound treated soy proteins [J]. *J. Food Engin.*, 2009, 93(4): 386-393.
- [34] Madadlou A, Emam-Djomeh Z, Mousavi M E, *et al.* Acidinduced gelation behavior of sonicated casein solutions [J]. *Ultrasonics Sonochem.*, 2010, 17(1): 153-158.
- [35] Zhao L, Zhang S W, Uluko H, *et al.* Effect of ultrasound pretreatment on rennet-induced coagulation properties of goat's milk [J]. *Food Chem.*, 2014, 165(15): 167-174.
- [36] Kapper C O A. *Microwaves in Organic and Medicinal Chemistry* [M]. Weinheim: Wiley-VCH, 2005.
- [37] Wu C Y, Chen S T, Chiou S H, *et al.* Specific peptide-bond cleavage by microwave irradiation in weak acid solution [J]. *J. Protein Chem.*, 1992, 11(1): 45-50.
- [38] Yan X G, Khan N A, Zhang F Y, *et al.* Microwave irradiation induced changes in protein molecular structures of barley grains: Relationship to changes in protein chemical profile, protein subfractions, and digestion in dairy cows [J]. *J. Agric. Food Chem.*, 2014, 62(28): 6546-6555.
- [39] 郝天舒,王长远.微波处理对米糠蛋白结构及功能性的影响[J].天然产物研究与开发, 2015, 27: 774-779, 784.
- [40] 熊 捷,冯凌凌,叶 君.微波辐射对大豆浓缩蛋白溶解性的影响[J].食品与发酵工业, 2006, 32(1): 107-110.
- [41] Erkan Y, Ozge S, Gulum S, *et al.* Functional properties of microwave-treated wheat gluten [J]. *Eur. Food Res. Technol.*, 2008, 227:1411-1417.
- [42] Mallikarjunan N, Marathe S, Rajalakshmi D, *et al.* Effect of ionizing radiation on structural and functional attributes of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lectin [J]. *Food Sci. Technol.*, 2014, 59:300-307.
- [43] 陈 勇,王 晶,江连洲,等.不同辐照剂量对红豆分离蛋白结构及特性的影响[J].中国粮油学报, 2015, 30(4): 39-43.
- Chen Y, Wang J, Jiang L Z, *et al.* Different irradiation dose on the structure and functional effects of red bean protein isolates [J]. *J. Chin. Cereals Oils Assoc.*, 2015, 30(4): 39-43.
- [44] Hoz L D L, Netto F M. Structural modifications of β -lactoglobulin subjected to gamma radiation [J]. *Int. Dairy J.*, 2008, 18:1126-1132.
- [45] Moon S, Song K B. Effect of γ -irradiation on the molecular properties of ovalbumin and ovomucoid and protection by ascorbic acid [J]. *Food Chem.*, 2001, 74:479-483.
- [46] Bessho M, Kojima T, Okuda S, *et al.* Radiation-induced cross-linking of gelatin by using gamma-rays: Insoluble gelatin hydrogel formation [J]. *Bull. Chem. Soc.*, 2007, 80(5): 979-985.
- [47] 耿胜荣,廖 涛,李 新,等.⁶⁰Co-射线不同剂量辐照对明胶特性的影响[J].食品科学技术学报, 2013, 31(4): 28-31.
- [48] Pednekar M, Das A K, Rajalakshmi V, *et al.* Radiation processing and functional properties of soybean (*Glycine max*) [J]. *Radiation Physics Chem.*, 2010, 79(4): 490-494.
- [49] Wihodo M, Moraru C I. Physical and chemical methods used to enhance the structure and mechanical properties of protein films: A review [J]. *J. Food Engin.*, 2013, 114(3): 292-302.

- [50] Liu X D, Jang A, Kim D H, *et al.*. Effect of combination of chitosan coating and irradiation on physicochemical and functional properties of chicken egg during room-temperature storage [J]. *Radiation Physics Chem.*, 2009, 78 (7-8):589-591.
- [51] 黄小波,马美湖,李文革.辐照杀菌对鸡蛋蛋白液特性的影响[J].*农业工程学报*, 2009, 25(5):244-247.
Huang X B, Ma M H, Li W G. Effects of irradiation sterilization on the characteristics of liquid egg white [J]. *Trans. CASE*, 2009, 25(5):244-247.
- [52] Min B, Nam K C, Jo C, *et al.*. Irradiation of shell egg on the physicochemical and functional properties of liquid egg white [J]. *Poultry Sci.*, 2012, 91(10):2649-2657.
- [53] Kuan Y H, Bhat R, Karim A A. Emulsifying and foaming properties of ultraviolet-irradiated egg white protein and sodium caseinate [J]. *J. Agric. Food Chem.*, 2011, 59(8):4111-4118.
- [54] Song H P, Kim B, Choe J H, *et al.*. Improvement of foaming ability of egg white product by irradiation and its application [J]. *Radiation Physics Chem.*, 2009, 78(3):217-221.
- [55] 张振山,刘玉兰,王娟娟,等.辐照对大豆中蛋白质品质的影响[J].*食品工业科技*, 2013, 34(2):104-107.
Zhang Z S, Liu Y L, Wang J J, *et al.*. Effect of irradiation on the quality of soy protein [J]. *Sci. Technol. Food Ind.*, 2013, 34(2):104-107.

中国园艺学会设施园艺分会 2015 年学术年会

为了总结和交流十二五期间设施园艺在设施结构与性能、设施装备新技术和新设备、设施环境调控、设施栽培方面的新理念和新成果,进一步规范十三五期间设施园艺的发展蓝图,提升设施园艺科技含量、装备档次和技术水平,促进我国设施园艺产业的现代化,由中国园艺学会设施园艺分会主办,山西农业大学承办的“2015 中国设施园艺学术年会”拟定于 2015 年 11 月上旬(会期暂定 3 天)在山西太原召开。

一、会议组织:

主办单位:中国园艺学会设施园艺分会

承办单位:山西农业大学

二、会议时间、地点:

2015 年 11 月 1~3 日,山西省 太原市

三、会议议题:

我国十二五期间设施园艺发展进程、现状、经验和成就总结;园艺设施结构与性能、设施装备新材料和新设备;园艺设施环境调控新理论、新技术、新设备;设施园艺作物栽培技术及其新理念和新成果;设施园艺园区管理、物联网技术、精准肥水一体化管理技术;其他方面(包括集约化育苗、无土栽培、土壤生态修复、作物逆境调控、作物生长模拟模型等)。

四、联系方式:

联系人:张毅

电 话:0354-6285901;18404969601

E-mail: sheshinianhui2015@163.com