

物理处理在大豆蛋白结构及性质研究中的应用

王昱婷,王笑宇,孙志刚,付红,许晶*
(东北农业大学理学院,黑龙江哈尔滨150030)

摘要:综述近年来国内外处理大豆蛋白的物理方法(加热、超声、高压、高压均质、脉冲电场、微波、微射流等)及其对大豆蛋白结构及功能性质的影响,以期为大豆蛋白进一步应用提供理论依据及技术支持。

关键词:大豆蛋白;物理处理;功能性质;结构

Application of Physical Treated Methods in the Structure and Functional Character of Soy Protein

WANG Yu-ting, WANG Xiao-yu, SUN Zhi-gang, FU Hong, XU Jing*

(College of Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

Abstract: The physical methods (heat, ultrasound, high-pressure, high pressure homogenization, pulsed electric fields, microwave, micro-fluidization etc.) to treat soy protein were summarized. The structure and functional character transformations of physically modified soy protein were reviewed so as to provide a theoretical basis and technical support for the further application of soy protein.

Key words: soy protein; physical treatment; functional character; structure

大豆富含丰富的蛋白质,是国际上公认的一种全营养食品。大豆蛋白以其较高的营养价值、理想的功能性质和较低的成本已成为一种被广泛应用于食品工业的重要原料^[1]。大豆蛋白在食品中被广泛应用于肉类加工、营养饮料、婴儿配方奶粉和乳制品的替代品等,而含有至少90%的蛋白质(干基)的大豆分离蛋白(SPI),更成为一种重要的商业大豆蛋白产品^[2]。目前,人们对大豆蛋白的需求不只限于其营养特性,更重视的是它的功能特性。因此,如何对大豆蛋白进行适当的改性处理,有目的地强化和修饰某一项或多项功能特性是食品领域需要解决的关键问题。由于越来越多的消费者对高品质食品的需求,新的安全有效的大豆蛋白处理方法发展迅速。其中物理处理方法具有环保、安全、无毒的特性,目前在大豆蛋白加工中被广泛应用。本文对近年来国内外典型的大豆蛋白物理处理法(加热、超声、高压、高压均质、脉冲电场等)进行了

总结,综述了不同物理处理对大豆蛋白结构及功能性质的主要影响,以便有助于科研工作者通过物理处理方法改变大豆蛋白的结构和功能特性,进而更好地适应当今市场对大豆蛋白产品的要求。

1 大豆蛋白的组成、结构及其功能性质

大豆蛋白中90%的蛋白质以储藏蛋白的方式存在,大豆蛋白质分子的结构分为不同的层次:一级结构,指蛋白质多肽链中氨基酸的排列顺序,包括二硫键的位置;二级结构,指多肽主链借助氢键排列成沿一维方向具有周期性结构的构象(如 α -螺旋、 β -转角和 β -凸起等),并依靠氢键维持固定所形成的有规律性的结构;三级结构,指由二级结构元件(α -螺旋、 β -折叠、 β -转角、 β -凸起和无规则卷曲)折叠构建成的一个紧密堆积的三维结构;四级结构,指具有两条或两条以上独立三级结构的多肽链通过非共价键相互结合而形成的空间结构。

根据蛋白质的溶解性可将大豆蛋白分为两大类:清蛋白(非酸沉蛋白)和球蛋白(酸沉蛋白)。根据蛋白质分子大小,用超离心沉降法对水解浸出脱脂粕所得的蛋白进行测定,按溶液在离心机中沉降速度来分,可分为4个组分,即2S、7S、11S、15S(S为沉降系数)。

基金项目:国家自然科学基金(31301600);中国博士后特别资助(2014T70306);哈尔滨市应用技术与开发项目(2014RFQXJ123);黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12541008)

作者简介:王昱婷(1989—),女(汉),硕士,研究方向:植物蛋白工程。

*通信作者:许晶,副教授,硕士生导师。

2S 组分的主要成分是胰蛋白酶抑制剂和细胞色素 C, 占大豆蛋白的 15%。7S 组分由脂肪氧化酶、7S 球蛋白、血球凝集素和 β -淀粉酶组成, 占大豆蛋白的 34%。11S 组分比较单一, 到目前为止仅发现一种 11S 球蛋白, 占大豆蛋白的 41.9%。15S 组分可能是大豆球蛋白的缔合物, 有人认为它是双硫键结合的多聚体占大豆蛋白的 9.1%^[3]。

大豆蛋白的功能性质直接影响着其相关食品的制造加工以及产品的品质。大豆蛋白的功能性质可分为 3 大类: 1) 水化特性, 包括溶解性、润湿性、分散性、黏性和持水性; 2) 界面性质, 主要包括乳化性和起泡性; 3) 与蛋白质-蛋白质之间的相互作用有关的性质, 包括沉淀、凝胶和聚集特性^[4]。

2 物理处理方法对大豆蛋白结构及功能性质的影响

2.1 热处理

热处理为最常用的大豆蛋白物理处理方法。许多研究表明热处理对大豆蛋白的结构和功能性质有很大影响, 尤其是对各种亚基之间的相互作用, 蛋白质成分的稳定性, 以及导致凝胶结构形成的聚集行为影响明显。

Moure 等^[5]指出加热可使可溶性蛋白形成不溶性蛋白聚集, 而 Damodaran 等^[6]研究发现部分或完全热处理改性条件下可溶性蛋白聚集仍可具有较高的溶解度。到目前为止 Zhang 等^[7]从分子动力学角度指出热改性后蛋白质折叠和展开的细节和机制并不完全清楚。但 Schellman^[8]指出热改性过程可以描述为结构蛋白聚合到展开的状态。高溶解度和抗营养因子失活的可溶性大豆蛋白聚集可能是人类消费的最佳选择。

Li 等^[9]发现可溶性蛋白质聚集可以通过水热蒸煮的方法获得。Zheng 等^[10]通过 DSC 分析研究大豆蛋白发现低温短时间(LTST 80 °C~100 °C, <2 min)水热处理 (HTC) 诱导部分改性的蛋白聚集, 而高温长时间 (HTLT, 120 °C, 20 min)水热处理诱导完全改性的蛋白聚集。研究发现 HTC-HTLT 处理的蛋白质溶解度增强, HTC-LTST 处理的蛋白质在表观黏度、凝胶强度、发泡稳定性有显著提高, HTC-LTST 和 HTC-HTLT 处理的蛋白质在乳化性能上有所下降。Carbonaro 等^[11]通过 FT-IR 研究豆类蛋白发现高压蒸汽热处理也会影响未加工豆类蛋白的 β -折叠结构和分子间 β -折叠的聚集。

除此之外, Neus 等^[12]研究了热处理对杏仁和榛子牛奶物理化学性质和物理稳定性的影响。热处理杏仁

牛奶样品, 粒径显著减少, 粒子表面电荷, 清晰和白度指数增加, 样品的物理稳定性提高, 黏度和蛋白质的稳定性基本不变。榛子牛奶显示出类似的趋势, 但黏度显著提高, 流变行为发生变化, 这表明蛋白质构象发生了变化。

2.2 超声处理

超声波是高于人类听觉阈值频率(>16 kHz)的机械波, 主要用于食品物理或化学性质的改变, 其在食品工业中的应用受到了广泛的关注。根据能量强度超声波主要分为两大类: 一类是低强度超声波(高频 100 kHz~1 MHz, 能量水平<1 W/cm²), 另一类是高强度超声波(低频 16 kHz~100 kHz, 能量范围 10 W/cm²~1 000 W/cm²)。超声波的主要影响是由于其在液体系统中产生空化作用, 进而产生极端的温度(5 000 K)和压力(1.013×10⁵ kPa), 并在空化区域可以产生很高的剪切能量和湍流。此外, 超声波可以使水分子生成高活性自由基(H₂O→H· + OH·), 从而诱导其他分子进行反应。

Hu 等^[13]研究发现超声处理能明显降低大豆分离蛋白分散体的稠度系数, 增加大豆分离蛋白流变性能和微观结构的聚集。超声处理后, 蛋白的游离巯基含量、表面疏水性、溶解性、比表面积和乳化性增加。Hu 等还研究分析了高强度超声处理对分子二级结构影响。通过圆二色性的二级结构分析发现在低功率处理的大豆分离蛋白有少的 α -螺旋和无规则卷曲, 相反在高功率(600 W)处理的大豆分离蛋白有多的 α -螺旋和少的 β -折叠。

此外, Jambrak 等^[14]应用高强度超声对蛋白质的功能和物理特性进行直接修饰, 如溶解性、凝胶、乳化和起泡性。高强度超声处理显著改变了大豆浓缩蛋白的电导率和流变特性, 增加溶解度, 比表面积和乳化活性指数, 以及商业大豆分离蛋白的蛋白质溶解度和胶凝能力^[15]。Arzeni 等^[16]研究发现高强度超声处理大豆分离蛋白会改变大豆分离蛋白分散体的粒径分布, 减小其粒度, 大大增加表面疏水性, 降低蛋白质黏稠指数, 轻微增加聚集。随超声时间的延长大豆分离蛋白的游离巯基含量也会增加, 但不改变其总巯基含量。因此高强度超声不仅代表了一种快速、高效和可靠的选择和提高食物蛋白质质量的技术, 也有用于食品行业开发新产品的潜能。

还有一些相类似的其他蛋白的研究, Jian 等^[17]研究多频超声[扫频和脉冲超声波(SFPU)和连续双频率超声波(SDFU)]对玉米蛋白粉酶解的影响。结果表明,

多频超声波预处理明显改善玉米蛋白的水解度和转化率。SFPU 预处理对玉米蛋白的二级结构影响不大,而 SDFU 预处理使 α -螺旋增加 β -折叠显著下降。扫描电子显微镜显示两种预处理破坏了谷蛋白和 CGM 的微观结构。总之,由于多频超声波预处理对分子构象以及蛋白质微观结构的声化效应,使其在蛋白质水解上是一种有效的方法。

Sun 等^[18]研究超声预处理对复原乳浓缩蛋白物理和功能特性的影响。超声预处理 5 min 后复原乳浓缩蛋白溶解度从 35.78% 显著增加到 88.30%。此外,随着样品超声处理时间的延长复原乳浓缩蛋白的乳化活性显著增加。乳液稳定性超声处理 1 min 开始显著增加。超声预处理促进了复原乳浓缩蛋白储能模量的增加。然而,SDS-PAGE 凝胶电泳显示蛋白质的分子量无显著变化。

2.3 高压处理

高压处理技术常用于大豆蛋白的修饰和其产品功能性质的改善。高压处理对大豆蛋白的物理化学性能及功能特性的影响主要有表面疏水性、游离巯基含量、DSC 特点、溶解性、乳化活性、热处理凝胶性能。Molina 等^[19]研究发现在 200 MPa~600 MPa 的高压处理下,蛋白的溶解性有略微的逐渐下降,表面疏水性有显著地提高,乳化活性指数有显著地增加,但乳化稳定性指数减小。大豆分离蛋白游离巯基含量在 200 MPa 处理下有显著地增加,但随着压力增加略微减少。高压处理对大豆蛋白功能性质的影响主要依赖于处理过程中大豆分离蛋白溶液的蛋白浓度,因此我们可以利用高压处理技术,通过选择适当的压力和蛋白质浓度,对大豆蛋白进行改性。

Puppo 等^[20]研究发现高于 200 MPa 的高压力下,蛋白质表面疏水性和聚合的增加,游离巯基减少,观察在 pH 8 时高压处理的大豆分离蛋白样品的 7S 和 11S 局部展开。二级结构改变且结构更加无序,并引发蛋白质的解离和聚合。Puppo 等还用圆二色性光谱(远 UV-CD)研究高压处理的影响,并指出随压力水平增加 α -螺旋含量减少和无规则卷曲含量增加。然而,在这篇文献中估计未经处理的 SPI 的 α -螺旋含量在 pH 3 约 37% 和 pH 8 约 40%,远高于先前对 11S 球蛋白的预测报道^[21]。Zhang 等^[22]还指出在 500 MPa 处理 10 min 后,球蛋白的 α -螺旋和 β -构成的一些有序结构被破坏,转化为无规卷曲。

Tang 等^[23]通过 SEC-MALLS 和 FT-IR 研究大豆分离蛋白,发现在 200 MPa 较低压力水平处理导致明显

的不溶性大豆分离蛋白聚集形成,而在 600 MPa 的高压力水平,导致不溶性聚集转换为可溶性。在 400 或 600 MPa 比 200 MPa 形成的可溶性聚集的平均分子量(MW)少得多,并且在分子量分布也更加均匀。FT-IR 分析证实了高压处理引起二级和三级结构的变化。这些结果可以提供直接证据或解释高压处理对大豆蛋白的改性影响。

高压处理对其他蛋白功能性质的影响也有报道。He 等^[24]研究发现从 50 MPa~200 MPa 高压处理 5 min,花生分离蛋白的持水性、油结合力和热凝胶性能逐渐增加,且表面疏水性显著增加。高压(100 MPa)处理后热凝胶的硬度增长了 50%,但压力进一步增加,其逐渐减少。高压处理 50 MPa~200 MPa, -S-S-含量明显增加,但 -SH 含量降低。结果表明,在适当的压力很短的时间内高压处理可以用来改性 PPI。

2.4 高压均质

高压均质处理是大分子分离或变性的一种新技术^[25],在食品科学领域应用广泛,尤其是对大豆蛋白功能性质的影响已被广泛研究。高压均质处理过程中,空化、剪切、湍流和温度上升被同时作用,使得蛋白质分子之间的非共价键断裂,产生分子间或分子内的重聚集,破坏分子间的疏水作用和静电吸引作用,改变蛋白质的结构和功能性质,但是高压均质处理对氢键没有影响^[4]。

龙小涛^[26]研究发现高压均质处理使 7S 富集组分乳化活性降低,但可提高其乳化稳定性;乳化活性随均质压力的升高而降低,均质次数对其影响不明显,随着均质压力的升高和均质次数的增多 7S 富集组分乳化稳定性逐渐提高,高压均质改性的 7S 富集组分制备的乳状液粒径更小,并且乳析率下降,均质压力不变时,一次均质的 7S 富集组分比两次均质的 7S 富集组分形成的乳状液粒径更大,但乳析率降低。Puppo 等^[27]研究了超过 100 MPa 高压均质对大豆蛋白质的影响,已经证明高压均质对大多数球蛋白的三级和四级结构有破坏性影响,而对二级结构几乎没有影响。研究结果表明,高压均质的作用机理与热处理有所不同。

2.5 脉冲电场

脉冲电场处理是以较高的脉冲频率、较短的脉冲宽度和较高的电场强度对半固体和液体食品进行处理,能够组成连续杀菌和无菌灌装的生产线,是一种新型的非热食品加工和保藏方法。

Li 等^[28]研究了脉冲电场处理对大豆分离蛋白质和聚集情况的影响,研究结果表明,处理后的大豆分

离蛋白乳化性、溶解度及起泡性有所提高,表观黏度和 pH 略微降低;在较强的脉冲条件下,大豆分离蛋白的表面疏水性和游离巯基含量下降,反之,表面疏水性和游离巯基含量提高。同时 Li 等还研究了脉冲处理时间对大豆分离蛋白粒径分布和分子量的影响,研究发现,脉冲处理时间较短时,大豆蛋白的粒径分布和分子量基本不变化;对大豆蛋白的结构进行分析,结果表明,脉冲电场能够诱导蛋白分子的极化,破坏蛋白的氢键、二硫键、疏水相互作用和静电相互作用等,使其四级结构遭到破坏,脉冲电场还可以使蛋白的疏水集团暴露,亚基发生解离,变化后的亚基相互吸引形成更大的分子聚集体。

李迎秋等^[29]分别研究了高压脉冲电场对大豆分离蛋白结构特征和功能性质的影响。在结构特征方面,在其他脉冲条件固定时,脉冲处理时间的长短对结构特征方面的影响不同,当处理时间小于 288 μs 时,蛋白的粒径、分子量和二级结构变化很小;当处理时间大于 432 μs 时,蛋白的粒径、分子量发生变化,蛋白质分子会变性、亚基会发生解离,蛋白分子相互聚集重新形成大分子的聚集体^[30]。在功能性质方面,分别研究了脉冲强度和对其的影响,研究结果表明:蛋白的功能性质(疏水性、乳化性、起泡性和溶解度)随着脉冲处理时间的延长和强度的增大有所增加;但是当脉冲处理时间太长和强度太大时,蛋白的功能性质下降,当脉冲强度为 40 kV/cm 时,大豆蛋白疏水性和巯基含量有所下降^[31]。

2.6 其他处理方法

为了提高大豆分离蛋白的功能特性,Wang 等^[32]应用了微波辅助磷酸化处理大豆蛋白,结果表明,在 600 W 微波加热 3 min 后,大豆分离蛋白的磷酸化水平达到 35.72 mg/g,乳化活性和稳定性、溶解度增加,表观黏度下降。电荷密度、巯基含量、表面疏水性显著增加;酰胺 I 区和荧光光谱的变化暗示了大豆分离蛋白的二、三级结构变到一个紧凑的构象。相比常规磷酸化,微波辅助磷酸化处理 SPI 的时间要短得多。

沈兰^[33]通过测定溶解度、乳化性、疏水性和差示扫描量热仪分析、圆二色光谱分析探讨不同压力微射流处理对大豆分离蛋白构象和功能特性的影响。不同压力微射流处理诱导不溶性蛋白聚合物解聚,增加大豆分离蛋白的溶解度、乳化活性指数和疏水性。差示扫描量热仪分析图谱表明,处理后的大豆分离蛋白变性温度基本维持不变,但变性焓值呈现下降趋势。圆二色光谱分析表明,不同压力微射流处理对大豆分离蛋

白的二级、三级结构没有明显的影响。

3 结语

目前,物理处理被认为是当前最安全、最环保的处理方法,其潜在的应用价值十分巨大。物理处理既能满足经济效益对工业规模及技术的要求,又实现了有价值的增长。通过物理处理对大豆蛋白进行改性,生产出功能特性各异的大豆蛋白产品满足现代工业及市场对食品生产加工过程及产品品质的需求已成为食品科学工作者关注研究的焦点。相信随着科技的进步,更为简洁、实用、高效、安全、环保的蛋白物理处理方法将不断涌现,这对满足世界人民对功能特性各异的专用大豆蛋白系列产品的需要具有重要意义。

参考文献:

- [1] VOHRA P, KRATZER F H. Evaluation of soybean meal determines adequacy of heat treatment[M]. Proceedings of the aquaculture feed processing and nutrition workshop, Thailand and Indonesia: American Soybean Association, 1991:226-241
- [2] CHEN L, CHEN J, REN J, et al. Modifications of soy protein isolates using combined extrusion pre-treatment and controlled enzymatic hydrolysis for improved emulsifying properties[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 887-897
- [3] 杨昱萍,章世元,仲伟方,等.大豆蛋白的利用及存在的问题[J].饲料研究,2004(10):28-31
- [4] 博源恩.亚基解离与重聚集对大豆蛋白结构和功能特性的影响[D].广州:华南理工大学,2012:1-2
- [5] MOURE A, SINERIO J, DOMINGUEZ H, et al. Functionality of oilseed protein products: A review[J]. Food Res Int, 2006, 39(9):945-963
- [6] DAMODARAN S, KINSELLA J E. Effect of conglycinin on the thermal aggregation of glycinin[J]. J Agric Food Chem, 1982, 30(5): 812-817
- [7] ZHANG Z, ZHU Y, SHI Y. Molecular dynamics simulations of urea and thermal-induced denaturation of S-peptide analogue[J]. Biophys Chem, 2001, 89(2):145-162
- [8] SCHELLMAN J A. Fifty years of solvent denaturation[J]. Biophys Chem, 2002, 96(2): 91-101
- [9] LI X, LI Y, HUA Y, et al. Effect of concentration, ionic strength and freeze-drying on the heat-induced aggregation of soy proteins[J]. Food Chem, 2007, 104(4):1410-1417
- [10] ZHENG H G, YANG X Q, TANG C H, et al. Preparation of soluble soybean protein aggregates (SSPA) from insoluble soybean protein concentrates (SPC) and its functional properties[J]. Food Res Int, 2008, 41(2):154-164
- [11] CARBONARO M, MASELLI P, NUCARA A. Relationship between digestibility and secondary structure of raw and thermally treated



- legume proteins: a Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopic study[J]. *Amino Acids*, 2012, 43(2):911-921
- [12] NEUS B, MAITE C, JULIA R G, et al. Effect of high pressure homogenisation and heat treatment on physical properties and stability of almond and hazelnut milks[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2015, 62(1): 488-496
- [13] HU H, WU J, LI-CHAN E C Y, et al. Effects of ultrasound on structural and physical properties of soy protein isolate (SPI) dispersions [J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 30(2):647-655
- [14] JAMBRAK A R, LELAS V, MASON T J, et al. Physical properties of ultrasound treated soy proteins[J]. *J Food Eng*, 2009, 93(4):386-393
- [15] SORIA A C, VILLAMIEL M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review[J]. *Trends Food Sci Tech*, 2010, 21(7):323-331
- [16] ARZENI C, MARTINEZ K, ZEMA P, et al. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality[J]. *J Food Eng*, 2012, 108(3): 463-472
- [17] JIAN J, HAILE M, KAI W, et al. Effects of multi-frequency power ultrasound on the enzymolysis and structural characteristics of corn gluten meal[J]. *Ultrason Sonochem*, 2015, 24: 55-64
- [18] 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 Eng*, 2014, 124: 11-18
- [19] MOLINA E, LEDWARD D A. Effects of combined high-pressure and heat treatment on the textural properties of soya gels[J]. *Food Chem*, 2003, 80(3):367-370
- [20] PUPPO C, CHAPLEAU N, SPERONI F, et al. Physicochemical modifications of high-pressure-treat soybean protein isolates[J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52(6):1564-1571
- [21] CHOI S M, MA C Y. Conformational study of globulin from common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) by Fourier transform infrared spectroscopy and differential scanning calorimetry[J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53(20):8046-8053
- [22] ZHANG H, LI L, TATSUMI E, et al. Influence of high pressure on conformational changes of soybean glycinin[J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2003, 4(3):269-275
- [23] TANG C H, MA C Y. Effect of high pressure treatment on aggregation and structural properties of soy protein isolate[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2009, 42(2):606-611
- [24] HE X H, LIU H Z, LIU L, et al. Effects of high pressure on the physicochemical and functional properties of peanut protein isolates [J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 36:123-129
- [25] YANG B, JIANG Y, WANG R, et al. Ultra-high pressure treatment effects on polysaccharides and lignins of longan fruit pericarp[J]. *Food Chem*, 2009, 112(2): 428-431
- [26] 龙小涛, 罗东辉, 赵谋明, 等. 高压均质对大豆 β -伴球蛋白富集组分乳化特性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2009, 35(1):5-8
- [27] PUPPO M C, SPERONI F, CHAPLEAU N, et al. Effect of high-pressure treatment on emulsifying properties of soybean proteins[J]. *Food Hydrocolloids*, 2005, 19(2):289-296
- [28] LI Y, CHEN Z, MO H. Effects of pulsed electric fields on physico-chemical properties of soybean protein isolates[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2007, 40(7):1167-1175
- [29] 李迎秋, 陈正行. 高压脉冲电场对大豆分离蛋白功能性质的影响[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(8):194-198
- [30] 李迎秋, 章万忠, 陈正行. 高压脉冲电场对大豆分离蛋白结构特征的影响[J]. *食品科学*, 2007, 28(3):42-46
- [31] 李迎秋, 陈正行. 高压脉冲电场对大豆分离蛋白疏水性和巯基含量的影响[J]. *食品科学*, 2006, 27(5):40-43
- [32] WANG X B, CHI Y J. Microwave-Assisted Phosphorylation of Soybean Protein Isolates and their Physicochemical Properties[J]. *Czech J Food Sci*, 2012, 30(2):99-107
- [33] 沈兰, 王昌盛, 唐传核. 高压微射流处理对大豆分离蛋白构象及功能特性的影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(3):72-76

收稿日期 2015-06-15

社会主义核心价值观

【国家】富强 民主 文明 和谐

【社会】自由 平等 公正 法治

【公民】爱国 敬业 诚信 友善