

可食性大豆分离蛋白膜研究进展

贾云芝, 陈志周

(河北农业大学 食品科技学院, 河北 保定 071000)

摘要: 介绍了可食性大豆分离蛋白膜的成膜机理、成膜方法及其所具有的营养性、机械性、水蒸气渗透性、阻油性等特性, 综述了通过热、碱处理, 改变溶剂组成, 加入增塑剂、还原剂、交联剂、乳化剂, 与其他材料复合, 超声辐射, 高压处理等改善可食性大豆分离蛋白膜的方法, 展望了复合型可食性和可降解食品包装膜的研究与应用前景。

关键词: 包装; 可食性膜; 大豆分离蛋白膜

中图分类号: TS206.4

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2011)03-0070-05

Development of Study on Soy Protein Isolate Edible Film

Jia Yunzhi, Chen Zhizhou

(College of Food Science and Technology, Agriculture University of Hebei, Baoding Hebei 071000, China)

Abstract: Not only were the formation mechanisms and method of the soy protein isolate edible film introduced, but also the nutrient characteristics, the mechanical properties and the air permeability. The ways of modifying the properties of the soy protein isolate edible film were summed up, such as heating, alkali processing, changing the solvent, adding plasticizers, reductants, cross-linkers, emulsifiers, compounding with other materials, ultrasonic and high pressure treatment. The future of the study and application of the composite edible film and degradable food packaging film were prospected.

Key words: packaging; edible film; soy protein isolate

0 引言

可食性食品包装膜是一种新型的、以天然可食性物质为原料的多孔网络结构薄膜。其在实现包装功能后, 又可转变为一种食用原料。该包装材料不会产生废弃物, 能使资源得到最大限度的利用, 因此, 它是未来包装产业发展的重点之一。

可食性包装膜主要包括多糖类可食性包装膜、蛋白类可食性包装膜和脂肪类可食性包装膜。在已

有的可食性包装膜中, 可食性大豆分离蛋白 (soy protein isolate, 简称 SPI) 膜的研发备受包装材料研究者的青睐, 这主要是因为: 采用大豆分离蛋白制备的包装膜的透气性较低; 蛋白质分子之间的交联作用较为强烈, 因而膜的机械特性优于由多糖和脂肪制造的薄膜; 大豆蛋白可以提高食品的营养价值。因此, 本文拟综述近年来利用大豆分离蛋白制备可食性膜的研究现状, 以期可为可食性大豆蛋白膜的研发发展方向提供一定的理论依据。

收稿日期: 2011-02-25

基金项目: 河北省科技计划基金资助项目 (10225151)

作者简介: 贾云芝 (1985-), 女, 河北石家庄人, 河北农业大学硕士生, 主要研究方向为食品包装材料与技术,

E-mail: jiayunzhi3207@yahoo.com.cn

通信作者: 陈志周 (1970-), 男, 河北保定人, 河北农业大学副教授, 博士, 主要从事食品包装方面的教学与研究,

E-mail: chenzhizhou2003@yahoo.com.cn

1 大豆分离蛋白成膜机理及方法

1.1 成膜机理

蛋白质分子内因存在氢键、离子键、疏水交相互作用及范德华力、偶极相互作用和二硫键而具有稳定的结构。在溶液中,蛋白质分子紧密卷曲,有些甚至呈球形,表面被水化膜包围。高温、酸性、碱性条件和一些化学试剂可破坏蛋白质分子内的亚基结构,打断分子内的二硫键,使蛋白质分子伸展,暴露出其内部的疏水基团,并形成新的二硫键,加强了分子间的相互作用,从而形成立体网状结构。在合适条件下即可得到具有一定强度和阻隔性能的膜。

1.2 成膜方法

可食性蛋白膜的成膜方法主要有2种:一是流延成膜。借鉴糯米纸成膜工艺,采用原辅料→加入夹层锅→加水溶解→加热搅拌→过筛→加入加料斗→紫铜带上成膜→蒸汽干燥→卷膜→切割的流程。此方法适用于工业化制膜。二是涂布或喷雾成膜。果蔬保鲜常用此种成膜方法,将果蔬浸渍在膜液中,取出后进行风干或自然晾干,即可在其表面形成一层保护膜。亦可将膜液喷雾于食品表面,干燥后即形成薄膜。

2 大豆分离蛋白膜的特性

营养特性 大豆分离蛋白膜的营养特性主要来自于它的基料——大豆蛋白,一是大豆蛋白含有人体所必需的8种氨基酸,且比例适当;二是大豆蛋白的消化率高达90%以上,容易被人体吸收;三是大豆蛋白具有健脑益智等功效,可作保健食品。

蛋白质成膜依赖于蛋白质中氨基酸间的交联作用,高pH值或加入交联剂会降低其营养特性^[1],但添加玉米淀粉可缓解其营养价值的下降。

机械特性 机械特性通常用拉伸强度(S_T)、断裂伸长率(E)和抗刺强度(S_p)等来衡量。蛋白质分子由20种氨基酸组成,由于其特殊结构,分子之间的交联作用较为强烈,所成膜的机械特性优于多糖和脂肪膜。然而,膜的机械性能会随着存储环境温度的降低和湿度的增大而减弱。

阻氧性能 阻氧性能是衡量包装膜的重要指标,对氧气阻隔性能好能延缓食品的氧化变质,对二氧化碳的透性低则有利于气调包装,延长食品的货架寿命^[2]。大豆分离蛋白膜对氧气、二氧化碳的屏障特性通常好于多糖膜、其他蛋白膜和一些合成材料,对于阻止氧气渗入和防止包装食品的氧化均有较好效果,特别适用于油性食品的包装。

水蒸气渗透性能 由于大豆蛋白具有亲水特性,因此,以其为原料制得的薄膜亦具有较强的吸水性,阻止水蒸气迁移的能力较差。通常以水蒸气透过系数(water vapor permeability,简称WVP)来说明膜的渗透性能,其值越低,说明膜的阻水性能越好。而WVP值的高低直接关系到包装产品质量的好坏,WVP值越高,水蒸气迁移速度越快,产品所处的小包装环境湿度变化越大,越容易变质;反之,水蒸气扩散越慢,产品所处环境越稳定,货架期越长。

阻油性能 大豆分离蛋白膜具有较好的阻油性能,能延缓油脂的迁移和扩散,保证产品质量的稳定。这主要有2方面原因:一是大豆分离蛋白质分子的分子量较大,分子密度较高,分子间存在大量的二硫键,键合作用较强,因而结合较牢固,使得分子间空穴很小;二是大豆分离蛋白的凝胶性能使得胶质溶液具有一定的浓度和黏度,形成致密的薄膜。此外,薄膜厚度增大,而环境温、湿度较低时,薄膜的阻油性能提高。

3 大豆分离蛋白膜性能改善方法

3.1 热、碱处理

适当的热、碱处理可以使蛋白质大分子得到一定程度的伸展,分子内部的硫基和疏水性基团暴露在分子表面,分子间的相互作用得到加强,因而,形成的网状结构更为致密,膜的强度增大,阻气性能更好。韩兆鹏等人探讨了pH和加热温度对SPI膜性能的影响,结果表明:pH值为10.0,80℃下处理20min后所制得薄膜的WVP值最小,阻氧性能最佳,但热处理温度过高或加热时间过长,均会使蛋白质分子链断裂,分子发生解离,不利于网状结构的形成,且WVP值迅速增大^[3]。

Gennadios等人的研究表明,蛋白质膜液在70℃条件下加热20min后所制得膜的 S_T 最大,而不同加热条件下 E 值的变化不大,均值为137%。pH值在1~3和6~12之间均能成膜,且后者所成膜的机械性能和阻隔性能均优于前者,但膜呈黄色,且随pH值增大,颜色逐渐加深。在等电点附近,蛋白质容易沉降凝聚,难以成膜^[4]。

王强等人研究了pH值对SPI膜性能的影响,当pH值小于10.0时,膜的 S_T 值随pH值的增加而增大;pH值为10.0时,膜的 S_T 值达最大,为8.96MPa;当pH值大于10.0后, S_T 值随pH值的增大而降低,这可能是因为:高pH值条件下,蛋白质分子链上的负电荷过度增加,蛋白质分子间的排斥力增大,从而降低

了蛋白质分子间的结合程度^[5]。

3.2 改变溶剂组成

水、乙醇或二者的混合液常被用来溶解大豆分离蛋白,制备膜液。乙醇分子与水分子间存在相互作用,乙醇的加入能削弱蛋白质分子与水分子间的相互作用,从而加强蛋白质分子之间的键合作用,形成具有较高机械性能和阻湿性能的薄膜。刘国琴等人研究发现,随着溶剂中乙醇体积比的增大,SPI膜的 S_T 值先增大后降低,WVP值呈先减小后增大的趋势。添加10%乙醇时,薄膜的 S_T 值最大,WVP值最小^[6]。张华江等人的研究也印证了这一变化规律,并且还发现,添加适量的乙醇能够提高薄膜的阻气性能。但当乙醇用量过大时,膜的阻湿性能和 S_T 值都会降低^[7]。

3.3 加入增塑剂

增塑剂是小分子化合物,分子易于运动并渗透到大分子聚合物之间,减少相邻蛋白质聚合链间的分子内相互作用,从而增加薄膜的柔韧性,但薄膜的机械强度会有所降低。增塑剂减少了分子内部的氢键作用,增加了分子内部空间和链的运动,从而导致膜的渗透性能增大。姜燕等人研究了山梨醇与甘油的质量比为1:1时,3种甘油增塑剂对SPI膜性能的影响,结果表明:随甘油添加量的增大,膜的 S_T 值和表面疏水性能减小, E 值和透光率增大,但是其WVP值几乎不受影响^[8]。雷俊等人研究发现,随甘油添加量的逐渐增大,SPI膜的 S_T 值逐渐减小,WVP值逐渐增大,膜的过氧化值(Power of voice, POV)值先减小后增大^[9]。张华江等人也在研究中也发现了这一规律。增塑剂浓度增大,氧气、二氧化碳和氮气的渗透性增大, S_T 值下降,WVP值上升。因此在使用时,需慎重选择增塑剂种类及添加量^[10]。

3.4 加入还原剂

加入的还原剂可打断蛋白质分子内的二硫键($-S-S-$),使分子展开,促进蛋白质分子间二硫键的形成,有利于得到致密的网状结构,增大薄膜的机械强度;还原剂还可以降低多肽链的分子量,暴露其内部疏水基团,增强膜的阻隔性能。张华江等人研究了pH值为8.0时还原剂葡萄糖、亚硫酸钠对大豆分离蛋白膜性能的影响。结果表明,与对照薄膜相比,经亚硫酸钠处理的SPI膜的 S_T 值提高了29%,WVP下降了20%,透氧和透二氧化碳性能均有所降低,其使用性能得到较大改善;但经葡萄糖处理的SPI膜各项性能均逊于对照薄膜^[10]。

3.5 加入交联剂

在成膜液中加入交联剂,可加强蛋白质分子间

或分子内的键合作用,形成更为致密的网状结构,有利于改善膜的机械性能和阻湿性能。常见的交联剂有钙离子交联剂、戊二醛、环氧基交联剂、磷酸盐交联剂和酶。 Ca^{2+} 的添加减少了巯基的数量,使大量 $-SH$ 转变成 $-S-S-$ 或 $-S-Ca-S-$,增大蛋白质分子的凝胶性能,提高薄膜的均匀性与表现效果。钙盐的溶解度越大, Ca^{2+} 的释放速度越快,薄膜越脆,越适合作为涂层。周红锋等人研究了环氧基交联剂对膜性能的影响,结果表明:当环氧基交联剂添加量为4 g/L时,膜的 S_T 值高达8.98 MPa,提高了211%,大大提高了可食性膜的机械性能,但对膜的其他性能影响较小^[11]。姜燕等人的研究表明:以较小的谷丙酰胺转氨酶(Tgase)浓度改性大豆分离蛋白,即可显著增大SPI膜的 S_T 值和表面疏水性,并降低膜的 E 值和透光率,酶浓度越高, E 值下降越多。当Tgase浓度为4 U/g时, S_T 值增大16.7%,表面疏水性增大39.2%, E 值减小33.8%,透光率减小10.3%^[12]。

3.6 加入乳化剂

乳化剂具有亲水基团和疏水基团,加入乳化剂可改变原来体系的亲水性和疏水性组分,从而改变大豆蛋白分子间以及大豆蛋白分子和溶剂之间的相互作用力,提高薄膜的阻水性能和机械性能。马丹等人研究了硬脂酸、蜂蜡和斯潘60等11种乳化剂对大豆蛋白膜阻湿性能的影响,结果表明:乳化剂复合使用不如单一使用时的改善效果好,3 g/L蜂蜡对SPI膜阻水性能的改善作用最好,使WVP值达到 $18.9 g \cdot mm / (m^2 \cdot d \cdot kPa)$,缩减为未加乳化剂时的54%^[13]。F. Marí a Monedero等人探讨了油酸和蜂蜡对SPI膜性能的影响。结果表明:当蜂蜡在脂质中的比例一定时,随脂质与蛋白比值增大,膜的 S_T 值和 E 值都减小。脂质与蛋白比例一定时,蜂蜡在脂质中所占比例增大,膜的 S_T 值和 E 值没有明显变化。但是当蜂蜡比例大于60%时,膜的 S_T 值显著增大, E 值显著减小;比例为100%时,膜的 S_T 值与对照膜相当, E 值明显低于对照膜。脂质与蛋白比例和蜂蜡在脂质中所占比例的变化对膜的WVP值影响不大,但加入脂质可显著降低膜的WVP值^[14]。王强等人的研究结果表明,十二烷基磺酸钠添加量为大豆蛋白的20%时,膜的 E 值和透光率最大,分别提高了305%和98%,WVP值降低了20.1%^[15]。

3.7 制备大豆分离蛋白复合膜

将大豆分离蛋白与其它具有优良性能的成膜材料进行复合,可提高SPI膜的机械性能与阻隔性能。宋臻善等人研究了大豆分离蛋白/羟丙基纤维素

(SPI/HPC)复合薄膜,研究表明,随着HPC浓度增加,SPI/HPC膜的 S_T 值增大, E 值减小。当HPC的添加浓度大于15%时,膜的 S_T 值减小, E 值增大,而表面疏水性一直增大^[16]。贾冬英等人对魔芋葡甘聚糖/壳聚糖/大豆分离蛋白三重复合薄膜进行了研究,结果表明,葡甘聚糖与壳聚糖的浓度比为1:1时,随大豆蛋白浓度的增大,膜的机械性能降低,可能是因加入蛋白使另外2种基质复合薄膜的性能下降。当蛋白浓度一定时,随着葡甘聚糖浓度的降低或壳聚糖浓度的增大,薄膜的 S_T 值减小, E 值增大。当葡甘聚糖和壳聚糖比例一定,蛋白含量从0增大到0.25%时,WVP值随其增大而减小;从0.25%增大到0.45%时,WVP值随其增大而增大。与SPI相比,葡甘聚糖和壳聚糖亲水性更强,所以加入少量蛋白可降低膜的WVP值^[17]。

苏俊峰等人研究了大豆分离蛋白/聚乙烯醇(SPI/PVA)复合薄膜,结果表明:随着PVA添加量的逐渐增大,膜的 S_T 值明显减小, E 值显著增大,WVP值先减小后增大;当PVA的添加质量分数为20%时,薄膜的WVP值最低,为 $7.2 \text{ g} \cdot \text{mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{kPa})$, E 值为76%,但是薄膜的 S_T 值仅为 16.3 MPa ^[18]。苏俊峰等人还发现,随着PVA添加量的增大,膜的黄色减弱,透光率增大,为其实际应用提供了保障,但是PVA的加入使膜的降解性能有所降低^[19]。

3.8 其他方法

除以上方式外,一些物理方法如紫外辐射、微波、超声波、超高压处理等也能改善大豆分离蛋白膜的性能。宋臻善等人研究了超声辐射频率为20 kHz,功率为800 W条件下,不同处理时间对SPI膜性能的影响。结果表明:经超声辐射处理2 min,膜的 S_T 值提高了64.08%,WVP值降低了25.7%, E 值减小了50%^[20]。毕会敏等人研究了高压处理对SPI膜性能的影响,结果表明:高压处理可提高膜液的稳定性,使膜的 S_T 值增大, E 值和透氧率减小,膜的表面更加平滑、致密、透明^[21]。周红锋等人的研究表明,经过微波处理后,膜的 S_T 值为 $4.26 \pm 0.75 \text{ MPa}$,提高了47.2%,且WVP值降低了11%,证实了微波处理能提高大豆分离蛋白膜抗拉强度的猜测^[22]。

4 前景展望

从已有国内外研究情况看,虽然已采用多种方法对大豆分离蛋白膜进行了改性,但是其机械强度和阻湿性能仍然较差,不能满足包装薄膜的使用要求,限制了其在商业上的广泛应用。同时,大豆分

离蛋白膜的应用还受其他诸多因素的影响,如耐水性与包装热封性能差,微生物稳定性能不好,成本较高,工业化生产工艺设备不成熟等。复合型可食性和可降解食品包装膜的研究与应用是包装材料发展的新趋势,可将大豆分离蛋白与其他材料(如多糖、脂类、其他蛋白质、可降解合成高分子材料)共混,制成复合薄膜,强化其机械性能,提高膜的阻湿性能和耐水性能,使其具有更普遍的应用性。此外,向膜液中添加防腐剂或酶制剂等生物活性物,开发集防腐、保健等功能为一体,能满足不同需要的可食性食品包装膜有着重大意义和广泛的应用前景。

另外,大豆蛋白膜液符合微胶囊壁材的特性要求,因此,可以将可食性包装和微胶囊化两大彼此独立的新技术结合起来,以大豆蛋白膜液为壁材原料,制备微胶囊,保护食品中那些不稳定但需保留的成分,如色素、维生素等。这方面的研究,有待进一步加强。

参考文献:

- [1] 欧仕益,郭乾初.大豆分离蛋白在成膜后的营养特性变化[J].食品科学,2002,23(4):139-142.
Ou Shiyi, Guo Qianchu. Change of Nutritional Quality of Soy Protein Isolate after Filming[J]. Food Science, 2002, 23(4): 139-142.
- [2] Ayranci E, Tunc S A. Method for the Measurement of the Oxygen Permeability and the Development of Edible Films to Reduce the Rate of Oxidative Reactions in Fresh Foods [J]. Food Chemistry, 2003, 80(3): 423-431.
- [3] 韩兆鹏,元晓梅,王璋.可食性大豆分离蛋白膜制备和基础特性分析[J].食品科学,2004,25(增刊):19-20.
Han Zhaopeng, Yuan Xiaomei, Wang Zhang. Preparation and Basic Characteristics Analysis of Soy Protein Isolate Film[J]. Food Science, 2004, 25(S1): 19-20.
- [4] Gennadios Aristippos, Brandenburg Alice H, Weller Curtis L, et al. Effects of pH on Properties of Wheat Gluten and Soy Protein Isolate Film[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1993, 41(11): 1835-1839.
- [5] 王强,段纯明,董海洲,等.pH和AOT添加物对大豆分离蛋白基生物可降解膜机械性能的影响[J].食品与发酵工业,2008,34(8):75-78.
Wang Qiang, Duan Chunming, Dong Haizhou, et al. Effect of pH and AOT on the Mechanical Properties of Degradable Soy Protein Isolate Based Films[J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 34(8): 75-78.
- [6] 刘国琴,李琳,胡松青,等.共混改性对大豆分离蛋白膜物理性能影响的研究[J].食品工业科技,2005,26

- (6): 76-78.
Liu Guoqin, Li Lin, Hu Songqing, et al. Study on the Effect of Blend on the Physical Properties of Soy Protein Isolate Films[J]. Science and Technology of Food Industry, 2005, 26(6): 76-78.
- [7] 张华江, 迟玉杰, 夏宁, 等. 可食性大豆复合蛋白膜的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(9): 73-77.
Zhang Huajiang, Chi Yujie, Xia Ning, et al. Study on the Soy Protein Blend Films[J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 34(9): 73-77.
- [8] 姜燕, 唐传核, 温其标, 等. 增塑剂对大豆蛋白可食膜特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(11): 112-116.
Jiang Yan, Tang Chuanhe, Wen Qibiao, et al. Effect of Plasticizer on the Characteristic of Soy Protein Edible Films [J]. Food and Fermentation Industries, 2005, 31(11): 112-116.
- [9] 雷俊, 杨海燕, 邹平, 等. 大豆分离蛋白膜阻隔性能影响因素的研究[J]. 新疆农业大学学报, 2008, 31(4): 58-61.
Lei Jun, Yang Haiyan, Zou Ping, et al. A Study on Influencing Factors of Obstruct Properties of Film Prepared for Soybean Protein Isolate[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2008, 31(4): 58-61.
- [10] 张华江, 迟玉杰, 穆莹. 可降解大豆分离蛋白复合薄膜制备技术的研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(8): 32-37.
Zhang Huajiang, Chi Yujie, Mu Ying. Study on the Preparation Technology of Degradable Soy Protein Isolate Film[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(8): 32-37.
- [11] 周红锋, 张子勇, 欧仕益. 环氧基交联剂对可食性大豆分离蛋白膜性能的影响[J]. 中国油脂, 2006, 31(8): 34-35.
Zhou Hongfeng, Zhang Ziyong, Ou Shiyi. Effect of Epoxy Group Cross-Linker on Edible Soy Protein Isolate Film[J]. China Oils and Fats, 2006, 31(8): 34-35.
- [12] 姜燕, 温其标, 唐传核, 等. 谷氨酰胺转移酶对大豆分离蛋白成膜性能的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(4): 24-28.
Jiang Yan, Wen Qibiao, Tang Chuanhe, et al. Effect of Glutamintransferase on Soy Protein Isolate Film[J]. Journal of Food Science and Biotechnolog, 2006, 25(4): 24-28.
- [13] 马丹, 马越, 张超, 等. 乳化剂提高大豆分离蛋白可食性膜透水性的研究[J]. 中国油脂, 2009, 34(8): 21-24.
Ma Dan, Ma Yue, Zhang Chao, et al. Improvement of the Water Vapor Permeability of Edible Film from Soybean Protein Isolate by Emulsifier[J]. China Oils and Fats, 2009, 34(8): 21-24.
- [14] María Monedero F, María José Fabra, Pau Talens, et al. Effect of Oleic Acid-Beeswax Mixtures on Mechanical-Optical and Water Barrier Properties of Soy Protein Isolate Based Films[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 91: 509-515.
- [15] 王强, 段纯明, 董海洲, 等. 十二烷基磺酸钠在大豆分离蛋白基可食性膜中应用[J]. 粮食与油脂, 2008(3): 21-23.
Wang Qiang, Duan Chunming, Dong Haizhou, et al. Sodium Dodecyl Sulfate Treatment Improves Properties of Cast Films from Soy Protein Isolate[J]. Cereals and Oils, 2008(3): 21-23.
- [16] 宋臻善, 叶君, 熊健. 可食性SPI/HPC膜的性能[J]. 现代食品科技, 2009, 25(5): 481-483.
Song Zhenshan, Ye Jun, Xiong Jian. The Properties of SPI/HPC Edible Films[J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 25(5): 481-483.
- [17] Jia Dongying, Fang Yu, Yao Kai. Water Vapor Barrier and Mechanical Properties of Konjac Glucomannan-Chitosan-Soy Protein Isolate Edible Films[J]. Food and Bioproducts Processing, 2009, 87: 7-10.
- [18] Su Junfeng, Huang Zhen, Liu Ka, et al. Mechanical Properties, Biodegradation and Water Vapor Permeability of Blend Films of Soy Protein Isolate and Poly(Vinyl Alcohol) Compatibilized by Glycerol[J]. Polymer Bulletin, 2007, 58: 913-921.
- [19] Su Junfeng, Yuan Xiaoyan, Huang Zhen, et al. Properties Stability and Biodegradation Behaviors of Soy Protein Isolate/Poly(Vinyl Alcohol) Blend Films[J]. Polymer Degradation and Stability, 2010, 95: 1226-1237.
- [20] 宋臻善, 熊健. 超声辐射对大豆蛋白膜性能的影响[J]. 食品工业科技, 2007, 28(5): 94-97.
Song Zhenshan, Xiong Jian. Effect of Ultrasonic Radiation on Properties of Soy Protein Isolate Films[J]. Science and Technology of Food Industry, 2007, 28(5): 94-97.
- [21] 毕会敏, 马中苏, 闫革华, 等. 膜液的高压处理对大豆分离蛋白膜性能的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(3): 49-51.
Bi Huimin, Ma Zhongsu, Yan Gehua, et al. Study on Effects of High Pressure Solution Treatment on SPI Edible Films[J]. Food Science, 2004, 25(3): 49-51.
- [22] 周红锋, 张子勇, 欧仕益. 大豆分离蛋白可食膜的制备及微波处理对性能的影响[J]. 包装工程, 2006, 27(2): 28-30.
Zhou Hongfeng, Zhang Ziyong, Ou Shiyi. Preparation of an Edible Film Composed of Soy Protein Isolate and Microwave Processing Effect on Property[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(2): 28-30.

(责任编辑: 蔡燕飞)