

高压微射流处理对大豆分离蛋白结构 功能特性及其乳液性质的影响

朱明明, 宁方建, 温平威, 熊 华, 赵 强

(南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 南昌 330047)

摘要:采用高压微射流技术在不同压力条件下对大豆分离蛋白(SPI)进行处理,分析处理前后SPI结构、功能特性以及乳液性质的变化。结果表明:低压均质处理可使SPI的粒径降低,当均质压力增加至一定程度时,蛋白间的相互作用增加,颗粒粒径增加;均质压力在0~95 MPa范围内随着压力逐渐升高,SPI的溶解性得到了显著改善,而当均质压力增加到125 MPa和155 MPa时,溶解性反而降低;高压均质处理对乳化性的影响与溶解性变化趋势基本吻合;表面疏水性随着压力的增大而增大;内源荧光光谱结果表明,随着均质压力的增大,最大吸收波长红移,荧光强度降低,色氨酸残基暴露于极性环境中;SPI乳液粒径随着均质压力的增大(95 MPa除外)整体依次变小,SPI乳液在压力65 MPa处理时油脂氧化速率最快,SPI乳液在压力125、155 MPa处理时的初级氧化速率要低于未处理的乳液。

关键词:大豆分离蛋白;高压微射流;结构;功能特性;乳液

中图分类号:TS201.2;TS210.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2020)01-0061-07

Effects of high – pressure microfluidization on structure, functional and emulsion properties of soy protein isolate

ZHU Mingming, NING Fangjian, WEN Pingwei, XIONG Hua, ZHAO Qiang
(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

Abstract: The soy protein isolate (SPI) was treated under different pressures by dynamic high – pressure microfluidization (DHPM) technology. The changes of structure, functional and emulsion properties of SPI before and after DHPM treatment were analyzed. The results showed that the low – pressure homogenization treatment could reduce the particle size of SPI. When the homogenization pressure increased to a certain extent, the interaction between proteins increased, and the particle size with the same trends. With the homogenization pressure gradually increased from 0 MPa to 95 MPa, the solubility of SPI was significantly improved. However, when the homogenization pressure increased to 125 MPa and 155 MPa, the solubility decreased. The effect of high – pressure treatment on emulsifying ability was basically consistent with the change trends of solubility. The surface hydrophobicity increased with the increase of pressure. The endogenous fluorescence results showed that with the increase of homogenization pressure, the maximum absorption wavelength red shifted, the fluorescence intensity decreased, and the tryptophan residue were exposed to the polar environment. The particle size of SPI emulsion decreased with the increase

of homogeneous pressure except 95 MPa. The oxidation rates of the emulsion was the fastest when the pressure was 65 MPa, and the primary oxidation rates of the emulsion at 125 MPa and 155 MPa were lower than that of the untreated emulsion.

Key words: soy protein isolate; high – pressure microfluidization; structure; functional property; emulsion

收稿日期:2019-03-06;修回日期:2019-09-16

基金项目:国家“863”计划项目(2013AA102203-5);江西省教育厅青年基金项目(CJJ14222)

作者简介:朱明明(1993),男,硕士研究生,研究方向为食品蛋白质化学与营养(E-mail)1186453682@qq.com。

通信作者:赵 强,副研究员,硕士生导师,博士(E-mail)qiangzhao@ncu.edu.cn。

大豆分离蛋白(SPI)是以豆粕为原料,采用碱提酸沉法制备的一种大豆蛋白制品,具有极高的营养价值和优良的功能性质。随着国民生活水平的提高,大豆蛋白经常被用于食品添加剂来改善食品的品质,在食品的众多领域中被广泛地研究与应用。然而,大豆蛋白的功能特性一般较差,在一定程度上制约了其应用范围^[1]。大豆分离蛋白的自身结构会对其功能性质产生很大的影响,也会影响大豆蛋白制品的感官特性^[2]。因此,对大豆分离蛋白进行改性在食品生产与加工保藏方面具有重要作用^[3]。

高压微射流技术是一种良好的物理改性方式。高压技术是通过柱塞作用将物料分散到可以分别调节压力大小的阀组中,流经工作区后,失去压力的物料以 1 000 ~ 1 500 m/s 的速度喷出,然后碰撞在冲击环上,产生剪切、空穴等作用从而把物料破碎的一种技术^[4]。在样品进行处理的过程中,物料同时受到多种机械力作用及其热效应,从而诱导生物大分子结构及其性质发生变化^[5]。近年来,高压微射流技术被广泛应用于大分子的改性。涂宗财等^[6]研究了超高压微射流均质对蛋清蛋白溶液粒度和流变性的影响,结果表明处理后的蛋清蛋白粒度、黏度都会发生变化。李杨等^[7]研究了低压均质处理对大豆分离蛋白溶解性及结构的影响,结果表明低压均质处理能够降低大豆分离蛋白的粒径,显著改善溶解性。Subirade 等^[8]发现高压均质处理对 β -乳球蛋白二级结构的影响较小,但对其三级结构的影响比较显著。Iordache 等^[9]探讨了高压微射流处理对变性乳蛋白溶液结构以及功能性质的影响,研究表明高压微射流处理可以使蛋白质的粒径降低,提高了蛋白质的溶解性。

目前,国内对于大豆蛋白乳液的研究越来越多^[10-11],但是对高压微射流处理对大豆蛋白结构或乳化性影响的相关研究较少。因此,本文研究高压微射流处理对大豆分离蛋白结构、功能性质及乳液性质的影响,对大豆制品的加工与应用具有重要的理论与实际意义。

1 材料与方法

1.1 实验材料

脱脂豆粕,哈高科大豆食品有限责任公司;一级大豆油,中粮福临门食品营销有限公司。1-苯胺基-8-萘磺酸, Sigma 公司;福林酚试剂,北京索莱宝科技有限公司;磷酸二氢钾、磷酸二氢钠、氯化钠、盐酸、氢氧化钠、十二烷基硫酸钠(SDS)、异辛烷、异丙醇、甲醇、丁醇、硫氰酸铵、氯化钡、硫酸亚铁、异丙苯氢过氧化物、三氯乙酸、硫代巴比妥酸、1,1,3,

3-四乙氧基丙烷等,均为分析纯。

T18 高速分散机,美国 IKA 公司;M-110EH 微射流均质机,美国 MFIC 公司;Nano-ZSE 马尔文粒度电位仪,英国 Malvern 公司;F4500 型荧光分光光度计,日本日立公司;TU-1900 双光束紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 大豆分离蛋白的制备

大豆分离蛋白(SPI)的制备采用碱提酸沉法,并稍作改动。称取 200 g 豆粕粉分散于 3 L 去离子水(质量体积比 1:15)中,用 2 mol/L NaOH 溶液调 pH 至 7.5,在室温下搅拌 1 h,离心(8 000 \times g, 20 min, 4 $^{\circ}$ C),弃沉淀物。将上清液 pH 调至 4.5,离心(5 000 \times g, 10 min, 4 $^{\circ}$ C),弃其上清液,所得沉淀物经两次水洗(pH 4.5)后,分散于适量的去离子水中,调 pH 至 7.5。充分溶解后置于去离子水透析 24 h,冷冻干燥后于 -20 $^{\circ}$ C 贮存备用。

1.2.2 高压微射流处理

称取一定量的 SPI 溶解于去离子水中,配成 10 mg/mL 的 SPI 溶液。采用高压微射流均质机,分别于 0、35、65、95、125、155 MPa 条件下循环均质 3 次。处理后的 SPI 溶液冷冻干燥, -20 $^{\circ}$ C 贮存备用。

1.2.3 SPI 乳液的制备

配制 50 mg/mL 的 SPI 溶液,用高压微射流在不同压力(0、35、65、95、125、155 MPa)条件下进行处理。然后分别向上述处理过的溶液中加入体积分数 20% 的大豆油,混合液用高速分散机(12 000 \times g)分散 10 min 后,于 35 MPa 下进行微射流处理 2 次,即得到新鲜乳液。将新鲜乳液在 37 $^{\circ}$ C 烘箱中储存 10 d,分别在 0、1、3、5、7、10 d 时对其油脂氧化状况进行分析测定。

1.2.4 SPI 的性质分析

1.2.4.1 粒径测定

参照张媛等^[12]的测定方法,采用马尔文粒度电位仪测定 SPI 的粒径分布。用 50 mmol/L 的中性磷酸盐缓冲液将 SPI 溶液样品稀释到 1 mg/mL,在室温(20 $^{\circ}$ C)条件下进行测量。

1.2.4.2 荧光光谱分析

根据蒋将等^[13]的方法,将 20 mg/mL SPI 溶液稀释在 0.01 mol/L pH 7.0 的磷酸盐缓冲液中,终质量浓度调整为 1 mg/mL,采用荧光分光光度计在激发波长 290 nm(狭缝宽 5 nm)条件下以 20 nm/s 的扫描速度得到 300 ~ 400 nm 之间的发射光谱(狭缝宽 5 nm),以 pH 7.0 的 0.01 mol/L 的磷酸盐缓冲液为空白。

1.2.4.3 表面疏水性的测定

采用1-苯胺基-8-萘磺酸荧光探针法测定表面疏水性。将SPI样品溶解于0.01 mol/L、pH为7.0的磷酸盐缓冲液中,质量浓度范围为0.1~2.0 mg/mL。取样品液2 mL,加入50 μ L的ANS振荡,静置5 min。设定激发波长为360 nm(狭缝校正5 nm),发射波长为480 nm(狭缝校正5 nm),测定荧光强度。以荧光强度对蛋白质质量浓度作曲线,曲线初始阶段的斜率即为蛋白质分子的表面疏水性指数。

1.2.4.4 溶解性的测定

溶解性测定根据Zhao等^[14]的方法,稍作改动。取0.2 g样品溶解于20 mL去离子水中,搅拌30 min后调节pH至中性,再搅拌30 min,离心(5 000 \times g)10 min,取适量上清液稀释,用福林酚法测定上清液中蛋白质含量,以BCA为标准蛋白。

溶解性 = 上清液中蛋白质含量 / 样品总蛋白质含量 \times 100%

1.2.4.5 乳化性与乳化稳定性的测定

采用比浊法测定乳化性及乳化稳定性。在圆底离心管中加入1 mg/mL的样品溶液16 mL和4 mL大豆油,用匀浆机以12 000 r/min高速剪切1 min,立即从底部0.5 cm处移取乳状液50 μ L,加入1 mg/mL SDS溶液5 mL稀释,涡旋振荡混匀,在500 nm处测吸光值(A_0),10 min后再次移取50 μ L乳状液,用SDS溶液稀释后测定其吸光值(A_{10})。按下式计算SPI的乳化性(EAI , m^2/g)及乳化稳定性(ESI , %)。

$$EAI = \frac{2 \times 2.303}{C \times (1 - \Phi) \times 10^4 \times A_0} \quad (1)$$

$$ESI = A_{10} / A_0 \times 100\% \quad (2)$$

式中: C 为样品溶液质量浓度,1 mg/mL; Φ 为油相所占体积分数,0.20。

1.2.5 SPI乳液的性质分析

1.2.5.1 乳液粒径的测定

采用马尔文粒度电位仪对制备的新鲜乳液进行粒径测定,用蒸馏水作为分散介质,每次测定重复3次。

1.2.5.2 乳液Zeta电位的测定

将新鲜乳液用蒸馏水稀释100倍,采用Malvern Zetasizer Nano ZS (ZEN 3600)测定仪测定乳液Zeta电位。每个样品测定重复3次,取平均值。

1.2.5.3 氢过氧化物的测定

参考Shantha等^[15]的方法。取0.3 mL乳液于小离心管中,加入1.5 mL异辛烷和异丙醇的混合物(异辛烷和异丙醇的体积比为3:1),充分振荡

(10 s,3次),然后进行离心(1 000 \times g,2 min),取有机层(上层清液)200 μ L,加入到2.8 mL体积比为2:1的甲醇和丁醇混合物中,然后再分别加入15 μ L 3.94 mol/L的硫氰酸铵和15 μ L二价铁离子溶液(0.132 mol/L氯化钡和0.144 mol/L硫酸亚铁以1:1的比例混合,过0.22 μ m滤膜),反应20 min后,于510 nm波长下测定吸光值。通过异丙苯氢过氧化物标准曲线计算样品中氢过氧化物浓度。

1.2.5.4 TBARS值的测定

参考McDonald等^[16]的方法。取1 mL乳液加入到带有螺旋塞的试管中,之后加入2 mL TBA测试液(15%三氯乙酸和0.375%的硫代巴比妥酸溶于0.25 mol/L HCl),沸水浴15 min后于流动水下冷却至室温10 min,然后用1.2 μ m的微孔滤膜进行过滤,滤液于532 nm下测定吸光值。乳液中硫代巴比妥酸反应物的浓度通过1,1,3,3-四乙氧基丙烷标准曲线进行计算。

1.2.6 统计分析

样品进行3组平行实验,SPSS17.0方差分析法(ANOVA)分析实验数据,结果表示为“平均值 \pm 标准偏差”,图表中不同的上角标表示显著性差异($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 SPI的性质

2.1.1 溶解性

溶解性是蛋白质最重要的一个功能性质,蛋白质的其他功能性质如起泡性、乳化性都与溶解性相关。高压微射流处理对SPI溶解性的影响如图1所示。

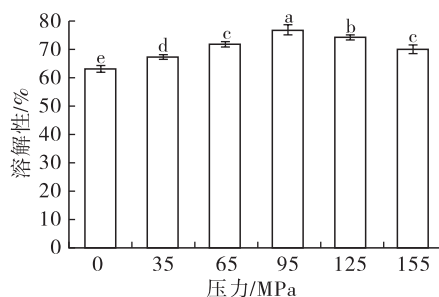


图1 高压微射流处理对SPI溶解性的影响

由图1可知,没有经过高压微射流处理的样品溶解性约为64%,随着均质压力的逐渐增大,SPI的溶解性快速增加。当压力达到95 MPa时,SPI的溶解性达到最大,为76%。相比较未经高压微射流处理的样品,SPI的溶解性增加幅度较大。这主要是由于在较低的均质压力下,SPI在剪切力和冲击力的双重作用下,其粒径变小,相对应的比表面积增

加,增大了蛋白与水相的接触面积,溶解性得以提高。这与文献[17-19]所报道的相一致,即当粒径减小时,蛋白质分子的表面区域增大,分子的活性基团得以暴露出来,通过氢键与水的作用提高了蛋白的溶解性。许艳华等^[20]的研究则认为,当压力达到一定程度时,大豆蛋白的分子间就会出现解聚集现象,变成更小的亚基单位,蛋白质分子的二硫键、静电相互作用和氢键被破坏,蛋白质分子展开,蛋白质内部极性基团和疏水基团被暴露出来,这一定程度增强了溶剂与分子的相互作用,从而使得溶解性提高。

由图1可知,当均质压力增加至125、155 MPa时,SPI溶解性出现下降的趋势。这是由于蛋白质分子在解折叠过程中的过度展开,使得分子间的疏水作用以及静电引力增强而产生聚集体,从而使其溶解性降低。Floury等^[21]的研究表明,当均质压力超过150 MPa时,大豆蛋白的11S球蛋白溶解性降低,推测的原因是由于蛋白质变性、聚集引起的,该结果与本文得到的结果相一致。

2.1.2 乳化性与乳化稳定性(见图2、图3)

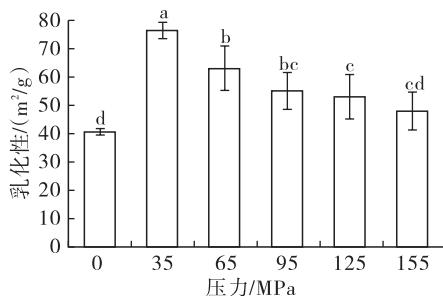


图2 高压微射流处理对SPI乳化性的影响

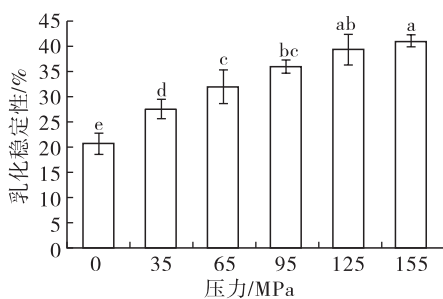


图3 高压微射流处理对SPI乳化稳定性的影响

由图2可知,SPI的乳化性随着均质压力的升高呈现先升高后降低的趋势。高压均质对SPI乳化性的影响与对溶解性影响的规律基本吻合。蛋白溶解性提高时,越来越多的蛋白溶于水中,从而大大提高了蛋白的迁移率,使其吸附到油水界面的概率大大增加,从而改善了蛋白的乳化性。当均质压力达到35 MPa时,SPI乳化性达到最大,为76.56 m²/g,相比较未经高压微射流处理的样品,其乳化性得到了很

大的提高。这可能是由于随着均质压力的增大,对蛋白质分子的剪切力增强,使得蛋白质分子的粒径降低,从而提高了蛋白的乳化性。文献[22-23]也证实了该结论。当均质压力大于35 MPa时,蛋白的乳化性呈现下降的趋势,这是由于当均质压力达到一定值时,分子间的静电引力变大,从而乳化性也随之降低。杨盛楠等^[24]则认为这是由于随着均质压力的增大,受到机械作用和热效应的相互影响,导致蛋白发生一定程度的变性,使得蛋白表面疏水性降低,从而SPI的乳化性随之下降。

由图3可知,随着均质压力的不断提高,SPI的乳化稳定性不断增大。

2.1.3 荧光光谱分析

荧光光谱是用来分析蛋白三级结构的一种方法,主要以色氨酸残基侧链为发射基团,通过蛋白质分子侧链的变化分析其三级结构的变化^[25]。图4为高压微射流处理的SPI的内源荧光光谱和最大吸收波长。

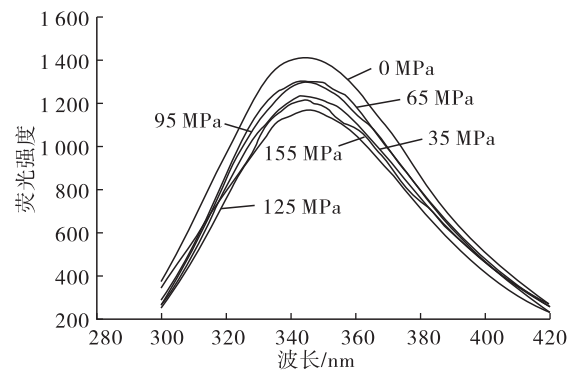


图4 高压微射流处理的SPI的内源荧光光谱和最大吸收波长

由图4可知,不同均质压力处理使得SPI的色氨酸内源荧光光谱发生变化,主要表现在最大吸收波长的增大(发生红移)和荧光强度的降低。而最大吸收波长的大小与色氨酸残基所在的周边环境有关,最大吸收波长大于330 nm说明色氨酸残基暴露在蛋白质所处的外部极性环境中,色氨酸残基所处的微环境极性越强,最大吸收波长越大^[26]。从图中可以看出,未经处理和处理过的样品的最大吸收波长均大于330 nm,这表明色氨酸残基暴露于蛋白质分子所处的极性环境之中。高压微射流作用使SPI的最大吸收波长增大,发生红移,这表明高压处理增大了色氨酸暴露的程度,而且使蛋白质分子的三级结构变得更加疏散。

2.1.4 表面疏水性(见图5)

由图5可知,高压微射流处理对SPI的表面疏水性有显著的影响。随着均质压力的增大,SPI的

表面疏水性逐渐增大,蛋白质的表面疏水性与处理的压力呈现正相关关系。这是由于当高压处理时,蛋白质的结构会变得较为松散,进而使得疏水残基得以暴露出来,从而使其疏水性增加。在95~155 MPa处理时,表面疏水性随着均质压力的增大急速上升,这可能是由于在较高压力处理下,加速了蛋白质分子的展开,使之展开更加完全。这与Wang等^[27]得到的结果相一致。

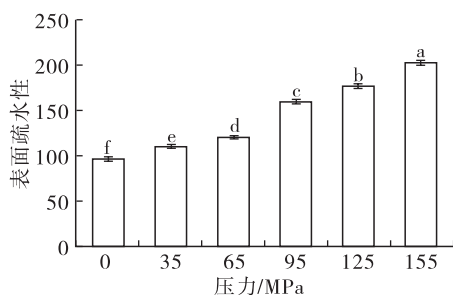


图5 高压微射流处理对SPI表面疏水性的影响

2.1.5 粒径(见图6)

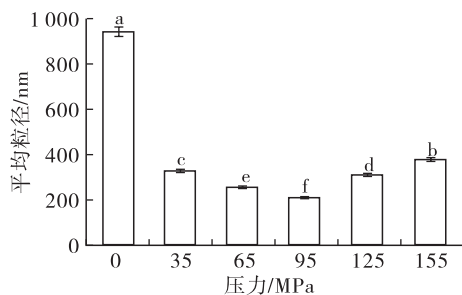


图6 高压微射流处理对SPI粒径的影响

由图6可知,在0~95 MPa压力下,SPI的平均粒径随着均质压力的升高而降低。这是由于均质过程中SPI在有限的空间中不断撞击,导致聚合体的解聚和破碎,变成更小的颗粒,从而使得SPI的平均粒径变小。当均质压力进一步增大至125、155 MPa时,SPI的平均粒径却逐渐增大。这是由于均质压力继续增大时,SPI分子之间的相互作用力也会随着增大,形成了更多的蛋白聚集体,从而增大了SPI的平均粒径。

2.2 SPI乳液的性质

2.2.1 Zeta电位(见图7)

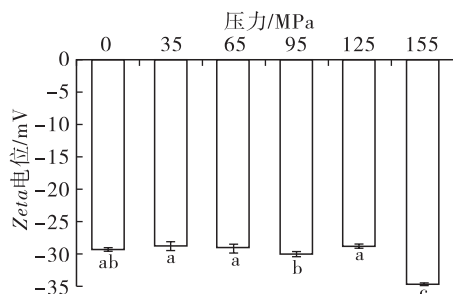


图7 高压微射流处理对SPI乳液Zeta电位的影响

由图7可知,未经高压微射流处理的SPI乳液液滴表现出较低的负电位,随着均质压力的增大,乳液的Zeta电位绝对值变化不大。当均质压力增加到155 MPa时,SPI乳液的Zeta电位绝对值增大,这可能是由于处理压力达到一定程度时,乳液液滴间的静电排斥作用增强,乳液的稳定性提高,从而Zeta电位的绝对值得以提高。

2.2.2 粒径分布(见图8)

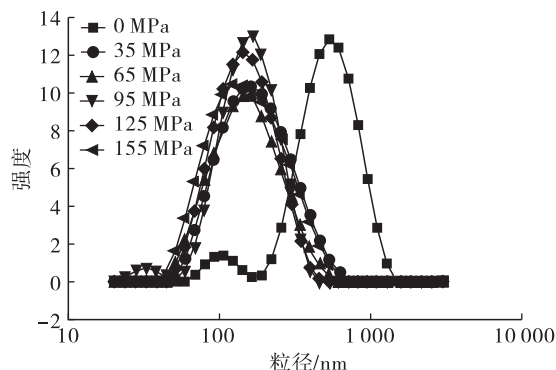


图8 高压微射流处理对SPI乳液粒径分布的影响

由图8可知:乳液制备过程中经相同的压力处理,乳液的粒径分布较为均一化;对于未经高压微射流处理的SPI,其乳液液滴绝大部分平均粒径在600 nm左右,少量分布在100 nm左右;经过高压微射流处理后,SPI乳液的粒径分布峰值都向较小粒径的方向移动,平均粒径在150 nm左右;同时随着均质压力的增大(除95 MPa处理外),整体粒径分布依次向较小粒径移动。经过高压微射流处理后的SPI乳化性得到了一定程度的提高。一般地,蛋白乳化能力的提高可以使乳液中油滴的体积平均粒径降低。因此,蛋白经压力处理一定程度上减小了蛋白乳液的平均粒径,提高了乳液稳定性。

2.2.3 氢过氧化物

乳液中油脂的氧化程度是判断乳状液食品质量的一项非常重要的指标。初级氧化产物即脂质氢过氧化物的生成量则可以直观地反映乳液中油脂的初级氧化情况^[28]。图9为高压微射流处理下SPI乳液储存10 d内油脂的初级氧化状况。

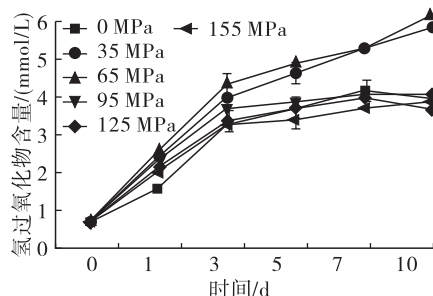


图9 高压微射流处理下SPI乳液储存10 d内油脂氢过氧化物的生成情况

由图9可知,乳液在压力为65 MPa处理时油脂氧化速率最快,乳液在压力为125、155 MPa处理时的初级氧化速率总体上要低于未处理的乳液。这可能是由于均质压力越大,乳液油滴界面的蛋白浓度相应增高,油滴界面周围SPI起到一定程度的抗氧化作用。

2.2.4 TBARS值

乳液中油脂的次级氧化是指油脂初级氧化得到的产物进一步分解成醛、酸等小分子物质的过程,这些小分子具有刺鼻气味,是乳液中油哈味的内在根源^[29]。图10是高压微射流处理下SPI乳液储存10 d内油脂次级氧化产物的生成情况。

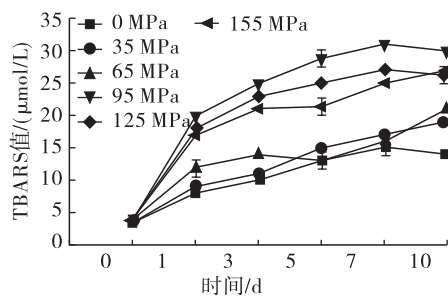


图10 高压微射流处理下SPI乳液储存10 d内TBARS的生成情况

由图10可知,在压力为35、95、125、155 MPa的条件下,乳液油脂次级氧化产物生成速率的变化趋势与初级氧化速率变化趋势相一致,而在压力为65 MPa的条件下,乳液油脂次级氧化产物生成速率的变化趋势与初级氧化速率的变化相比存在一定差异。这表明乳液油脂初级氧化产物分解成小分子的过程和油脂的初级氧化过程有一定的差别,次级氧化产物生成的速率还与初级氧化产物的累积有关。

3 结论

高压微射流处理对SPI的粒径、表面疏水性、溶解性、乳化性、乳化稳定性以及对SPI乳液的Zeta电位、氧化稳定性均产生显著影响。随着压力的增大,SPI粒径呈现先降低后升高的趋势;荧光光谱表明,处理后的SPI色氨酸残基暴露在蛋白质所处的外部极性环境中,最大吸收波长增大(发生红移)、荧光强度降低;较低压力的处理可以增大SPI的溶解性,而随着压力的进一步增大,蛋白质分子间的疏水作用和静电引力增强,产生新的聚集体,导致其溶解性下降;当均质压力大于35 MPa时,分子间的静电引力变大,SPI乳化性呈现下降的趋势;高压微射流处理可明显降低SPI乳液的平均粒径,提高乳液稳定性;SPI乳液在一定的压力下初级氧化速率要低于未处理的乳液。

参考文献:

- [1] 苏丹,李树君,赵凤敏,等.超高压对大豆蛋白结构和功能性影响研究进展[J].包装与食品机械,2009,27(5):111-115.
- [2] 张少兰,曾庆孝.高静压处理对大豆分离蛋白功能特性的改善[J].现代食品科技,2003,19(2):1-4.
- [3] 余海霞.动态高压微射流对半纤维素性质和结构的影响[D].南昌:南昌大学,2008.
- [4] 锥亚洲,鲁永强,王文磊.高压均质机的原理及应用[J].中国乳品工业,2007,35(10):55-58.
- [5] 尹寿伟,唐传核,温其标,等.微射流处理对芸豆分离蛋白构象和功能特性的影响[J].华南理工大学学报(自然科学版),2009,37(10):112-116.
- [6] 涂宗财,王辉,刘成梅,等.动态超高压均质对蛋清蛋白溶液的粒度和流变性影响[J].食品科学,2007,28(6):27-29.
- [7] 李杨,李明达,张毅方,等.低压均质处理对大豆分离蛋白溶解性及结构的影响[J].农业机械学报,2019,50(3):345-351.
- [8] SUBIRADE M, LOUPIL F, ALLAIN A F, et al. Effect of dynamic high pressure on the secondary structure of beta-lactoglobulin and on its conformational properties as determined by Fourier transform infrared spectroscopy [J]. Int Dairy J, 1998, 8(2): 738-744.
- [9] IORDACHE M, JELEN P. High pressure microfluidization treatment of heat denatured whey proteins for improved functionality[J]. Innov Food Sci Emerg Technol, 2003, 4(4): 367-376.
- [10] 李芳,郭亚丽,朱亚军,等.热处理对大豆蛋白乳液稳定性的影响研究[J].粮食与饲料工业,2016(3):35-39.
- [11] 王金梅,夏宁,杨娟,等.天然和热处理大豆蛋白稳定乳液的性质研究[J].中国粮油学报,2012,27(9):16-20.
- [12] 张媛,姜帆,刘骞,等.超高压均质对大豆分离蛋白乳化特性的影响[J].食品研究与开发,2017,38(1):10-14.
- [13] 蒋将.pH偏移处理诱导熔球态大豆蛋白的结构变化及功能性质的改善[D].江苏无锡:江南大学,2011.
- [14] ZHAO Q, SELOMULYA C, XIONG H, et al. Comparison of functional and structural properties of native and industrial process-modified proteins from long-grain indica rice [J]. J Cereal Sci, 2012, 56(3): 568-575.
- [15] SHANTHA N C, DECKER E A. Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids [J]. J AOAC Int, 1994, 77(2): 421-424.
- [16] MCDONALD R E, HULTIN H O. Some characteristics of the enzymic lipid peroxidation system in the microsomal

- fraction of flounder skeletal muscle[J]. J Food Sci, 2010, 52(1): 15-21.
- [17] SHILPASHREE B G, ARORA S, CHAWLA P, et al. Succinylation of sodium caseinate and its effect on physicochemical and functional properties of protein [J]. LWT - Food Sci Technol, 2015, 64(2): 1270-1277.
- [18] CHEN C, CHI Y J, XU W. Comparisons on the functional properties and antioxidant activity of spray-dried and freeze-dried egg white protein hydrolysate[J]. Food Bioprocess Technol, 2012, 5(6): 2342-2352.
- [19] MAB S, MARESCA P, PATARO G, et al. Effect of pulsed light treatment on structural and functional properties of whey protein isolate[J]. Food Res Int, 2016, 87: 189-196.
- [20] 许艳华, 赵光远, 敬思群, 等. 高压微射流对大豆分离蛋白化学性质及结构的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(3): 44-48.
- [21] FLOURY J, DESRUMAUX A, LEGRAND J. Effect of ultra-high-pressure homogenization on structure and on rheological properties of soy protein-stabilized emulsions [J]. J Food Sci, 2010, 67(9): 3388-3395.
- [22] BAIER D, SCHMITT C, KNORR D. Changes in functionality of whey protein and micellar casein after high pressure-low temperature treatments [J]. Food Hydrocolloid, 2015, 44: 416-423.
- [23] DISSANAYAKE M, VASILJEVIC T. Functional properties of whey proteins affected by heat treatment and hydrodynamic high-pressure shearing [J]. J Dairy Sci, 2009, 92(4): 1387-1397.
- [24] 杨盛楠, 翟爱华. 高压均质对大豆分离蛋白功能性质的影响[J]. 中国酿造, 2014, 33(12): 89-93.
- [25] NATARAJAN S, XU C, BAE H, et al. Proteomic and genetic analysis of glycinin subunits of sixteen soybean genotypes [J]. Plant Physiol Biochem, 2007, 45(6): 436-444.
- [26] VIVIAN J T, CALLIS P R. Mechanisms of tryptophan fluorescence shifts in proteins [J]. Biophys J, 2001, 80(5): 2093-2109.
- [27] WANG X S, TANG C H, LI B S, et al. Effects of high-pressure treatment on some physicochemical and functional properties of soy protein isolates [J]. Food Hydrocolloid, 2008, 22(4): 560-567.
- [28] 邵云. 大豆蛋白稳定乳液的物化性质及油脂氧化稳定性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [29] HORN A F, NIELSEN N S, ANDERSEN U, et al. Oxidative stability of 70% fish oil-in-water emulsions: impact of emulsifiers and pH [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2011, 113(10): 1243-1257.

· 广告 ·

上海久星导热油股份有限公司

上海股权托管交易中心挂牌 简称:久星股份 代码:E100341



久星导热油 导热永长久

10 多项导热油创新成果助推行业发展

20 多年精细化管理铸就久星品牌

30 多年专业积累汇集《导热油应用手册》

1 0000 多个用户使用数据完整建档

15 0000 多吨导热油销往全国和世界各地



久星官方微信 久星官方网站

油脂行业推荐产品

L-QB300导热油 (高新成果项目、适用于开式系统)

L-QC320合成高温导热油 (最高允许使用温度达320°C)

久星股份创始于20世纪90年代,是集研发、生产、销售和服务于一体的导热油和导热油节能清洗修复剂的专业厂商,中国锅炉水处理协会理事单位。公司荣获高新技术企业、上海五星级诚信创建企业等荣誉称号,通过GB/T 19001-2016/ISO 9001-2015质量体系认证,公司生产产品各项理化指标全部符合GB 23971-2009要求。

地址:上海茂兴路86号22D 总机:021-58708588 热线:4008 810 018 13331833379 生产基地:上海老港工业园良乐路229号