

大豆酸溶蛋白/大豆多糖纳米乳液的制备及表征

齐军茹¹, 翁静宜¹, 康燕辉¹, 冯纪璐¹, 刘倩茹¹, 刘李森¹, 廖劲松²

(1. 华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640) (2. 福建省泉州市味博食品有限公司, 福建泉州 362400)

摘要: 纳米乳液具有抗沉降和抗乳析动力学稳定性, 是提高脂溶性物质的水溶性和生物利用度的有效手段。本论文探索了大豆酸溶蛋白 (acid soluble soy protein, ASSP) /大豆多糖 (soy soluble polysaccharides, SSP) 纳米乳液的制备工艺, 系统分析了 pH 条件、加油量、压力、质量比、热处理等因素对纳米乳液形成以及稳定性的影响。结果表明: 在 pH 3.0~4.0 范围内, 酸溶蛋白与大豆多糖质量比 1:4, 400 bar 的压力下, 可以很好地包埋 5%~20% 的油, 此时制备的乳液粒径为 269.33 ± 2.26 nm, 并且储存 60 天粒径无显著性变化 ($P > 0.05$)。pH 条件、高压以及热处理对乳液的稳定性具有显著影响 ($P < 0.05$), ASSP/SSP 纳米乳液适合食品工业中的酸性介质、高温以及高盐环境下的应用。通过果胶酶水解大豆多糖, 对酸溶蛋白/大豆多糖纳米乳液的形态学进行了研究分析, 结果表明酸溶蛋白/大豆多糖纳米乳液的微滴表面被多糖覆盖, 大豆多糖能够很好地固定在微滴表面并使得纳米乳液微滴稳定和分散。

关键词: 酸溶性蛋白; 大豆多糖; 乳液; 粒度分布

文章编号: 1673-9078(2015)6-136-141

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.6.022

Preparation and Characterization of Nano-sized Emulsions Produced from Acid-soluble Soy Protein and Polysaccharide Complexes

QI Jun-ru¹, WENG Jing-yi¹, KANG Yan-hui¹, FENG Ji-lu¹, LIU Qian-ru¹, LIU Li-sen¹, LIAO Jin-song²

(1. School of Light Industry and food sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. WeiBo Food CO., LTD, Quanzhou 362400, China)

Abstract: Due to its superior stability during storage, against aggregation and creaming, nano-sized emulsion is an effective method to improve the bioavailability and solubility of fat-soluble substances. The preparation process of nano-sized emulsion produced from acid-soluble soy protein (ASSP) and soluble soy polysaccharide (SSP) complex were investigated, the effect of changes in pH, oil content, pressure, ASSP to SSP ratio, and temperature on the formation and stability of the resulting emulsions were also analyzed. The results showed that a stable emulsion (i.e. having a mean droplet size of 269.33 ± 2.26 nm) was obtained with 400 bar pressure, pH between 3.0 and 4.0, ASSP to SSP ratio of 1:4, and 5% to 20% oil content; the average droplet size of the resulting emulsion did not change significantly ($p > 0.05$) after 60 days. In addition, pH values, high pressure, and heat treatment had a significant effect on the emulsion stability ($p < 0.05$); emulsion prepared from ASSP and SSP complex can be used in acidic medium, high temperature, and high salt concentration in the food industry. Furthermore, the morphology of the emulsion produced from ASSP and SSP complex was also studied through the addition of pectinase. As the complex was well fixed on the surface of the emulsion droplets, the emulsions exhibited excellent long-term stability and dispersion property.

Key words: acid soluble soy protein; soluble soy polysaccharide; emulsions; droplet size

乳液长久以来广泛应用于化妆品, 制药和食品工业, 乳液稳定性取决于乳化剂表面覆盖范围, 表面电荷密度, 乳化剂层厚度和大部分物理化学条件等因素^[1]。蛋白质吸附层在油-水界面可以防止液滴凝聚和稳定乳液, 例如乳蛋白和大豆蛋白^[2]。大豆蛋白作为重

收稿日期: 2014-10-15

基金项目: 国家自然科学基金青年面上连续资助项目 (31370036); 福建省区域重大科技项目 (2010N3008)。

作者简介: 齐军茹 (1977-), 女, 副教授, 研究方向: 蛋白质化学与工程

通讯作者: 廖劲松 (1976-), 男, 教授级高工, 研究方向: 食品生物技术、

农产品深加工及利用

要的食品工业原料, 在肉制品行业中应用广泛。然而, 蛋白稳定的乳液对酸性 pH 条件, 离子强度和温度等环境压力非常敏感^[3-5], 并且因为受到其本身溶解性的限制, 在酸性饮料加工领域的应用十分有限。因此当乳液中 pH 值接近蛋白等电点或较高盐浓度时, 蛋白吸附层的静电斥力降低, 容易发生聚结和絮凝^[6]。此外为了巴氏杀菌或者消毒, 乳液被热处理, 蛋白质变性而发生液滴聚结进而发生絮凝^[7]。因此, 研究在酸性条件下具有高溶解性的大豆蛋白产品, 是制备具有优越稳定性蛋白乳液的基础。

蛋白乳状液的稳定性可通过共价键产生的蛋白质

-多糖缀合物或静电引力增强形成的多糖复合物而提高^[6, 8-11]。与化学结合相比,蛋白/多糖静电作用是一种绿色过程。McClements 和他的同事们发现,乳液稳定性可以通过添加多糖,从而形成一种均质后的吸收蛋白层的界面络合物,也就是形成“双层”或者“逐层”涂覆微滴而改善^[12]。含有多层涂覆的微滴乳液比那些含有双层涂覆的微滴更稳定。此外,交联的多糖包衣层可以通过避免界面复合物分解而增加乳液的稳定性。大豆水溶性多糖具有高水溶性,低粘度,高温稳定性,并能够形成强的界面膜^[14-16]。多糖还含有少量的疏水蛋白,这有助于它的界面活性^[14]。水溶性大豆多糖已经被用作在酸性饮料乳液的乳化剂和稳定剂。Corredig 和他的同事们报道,大豆水溶性多糖包衣可以在中性 pH 和在 pH 3.0~4.0 范围内,增强大豆蛋白隔离乳液的稳定性^[13]。

本章利用双酶法提取的大豆酸溶蛋白,进而与大豆多糖发生相互作用,利用高压微射流制备纳米乳液。通过对酸溶蛋白/大豆多糖乳液乳化性能的研究,系统分析了乳液微滴粒径的变化,通过对乳液结构和形态的研究,探讨了乳液微滴具有长期稳定性的根本原因。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料与试剂

水溶性大豆多糖,福建味博食品有限公司;低温脱脂豆粕,山东新嘉华股份有限公司;氢氧化钠,天津市耀华化学试剂有限公司;盐酸,广州东红化工厂;磷钨酸,美国 sigma 公司;叠氮化钠,天津市耀华化学试剂有限公司;玉米油,本地联华超市购得;胃蛋白酶,上海伯奥生物科技有限公司;植酸酶,上海伯奥生物科技有限公司;牛血清白蛋白, sigma 公司。所有溶液使用去离子水制备。

1.1.2 主要仪器

精密电子天平, PL403, METTLER TOLEDO (上海)有限公司; pH 计, Brion3 STAR, 美国 Thermo 公司; 电子天平, BSA2245, 德国 Sartorius 公司; 标准筛 100 目, 浙江上虞市五司纱筛厂; 电动搅拌机, RW20, 德国 IKA 公司; 高速冷冻离心机, CR22G, 日立(Hitachi)公司; 紫外可见分光光度计, Genesys 10, 美国 Thermo 公司; Zeta 电位及纳米粒度分析, Nano-ZS, 英国 Malvern 公司; 手提式高温灭菌, YX280D, 合肥华泰有限公司; 恒温水浴锅, HSG-IB, 上海仪表(集团)供销公司; 冷冻干燥机, AlpHa-4, 德国 MATRIN CHRIST 公司; 高速剪切机, T25, 德国

IKA 公司; 高压微射流纳米均质机, M-110EH-30, 美国 MFIC 公司; 透射电镜, JEM-2100F, 日本电子株式会社(JEOL)。

1.2 方法

1.2.1 酸溶性大豆蛋白 (ASSP) 的制备

酸溶性大豆蛋白的提取采用双酶法^[17]。称取低温脱脂豆粕 50 g, 用高速粉碎机磨成粉状, 加入去离子水 0.5 L, 调 pH 为 7.0, 充分搅拌。搅拌 2 h, 之后在 25 °C 离心 (4000 g) 20 min, 取上清液调 pH 4.5, 溶液出现乳白色沉淀。将溶液在 25 °C 离心 (2000 g) 20 min, 取沉淀, 加入湿重 5 倍的去离子水, 调 pH 4.5, 45 °C 恒温水浴 30 min。加入胃蛋白酶溶液, 恒温水浴酶解 30 min 后, 升温至 85 °C 后恒温水浴灭酶 20 min。之后, 37 °C 恒温水浴 30 min, 加入植酸酶 (500 u/g, 5000 u/mL) 酶解 30 min, 调 pH 3.5, 并高温灭菌锅 120 °C 处理 15 min, 冷却至室温, 离心 (8000 g) 20 min, 上清液调 pH 3.5 后冷冻干燥, 得大豆酸溶蛋白。

1.2.2 酸溶蛋白/大豆多糖乳液的制备

大豆酸溶蛋白和可溶性大豆多糖分别溶解于 pH 3.5 去离子水中, 加入 0.02% 的叠氮化钠, 搅拌备用。将大豆酸溶蛋白储液加入到多糖储液中, 使体系中蛋白浓度为 5 mg/mL, 蛋白与多糖的质量比为 1:5, 体系稳定 pH 3.5。搅拌 2 h 后, 加入 10% 的玉米油 10000 r/min 下搅拌 1 min, 然后利用高压微射流纳米均质机 500 bar 均质 3 min, 80 °C 加热 1 小时得到纳米乳液^[18]。所有乳液贮藏条件为 4 °C 下贮藏。

1.2.3 溶解度的测定

将 1.2.1 所述的大豆酸溶蛋白样品用蒸馏水配成 1% (m/V) 的蛋白溶液, 采用 Lorry 法^[19]测定蛋白质含量, 为总蛋白含量。将 1% (m/V) 大豆酸溶蛋白溶液充分溶解 1 h 后, 调节 pH 至 4.0。取 1 mL 在 25 °C 下离心 (10000 g) 20 min, 取 100 μL 上清液定容稀释至 5.0 mL, 充分混匀后, 取 1 mL 稀释液于洁净干燥试管中作为待测样品, 采用 Lorry 法^[17]测定蛋白质含量, 以牛血清白蛋白(BSA)为标准物做标准曲线测定上清液中蛋白质的浓度, 氮溶指数为上清液蛋白浓度与总蛋白浓度的比值。

1.2.4 粒度的测定

Zeta 电位及纳米粒度分析仪器测量粒径时激光散射仪在 90° 散射角下进行的。乳液稀释使蛋白浓度为 7.5×10^{-3} mg/mL。在 25 °C 条件下进行测试, 每个样品至少重复测量三次取其平均值。

1.2.5 不同加油量对纳米乳液制备的影响

1.2.2 制备蛋白/多糖纳米乳液过程中, 加油量为变

量,分别加 0%、5%、10%、15%、20%、25% 的压力,测定不同加油量制备的乳液的粒度分布。考察不同加油量对于乳液稳定性的影响。

1.2.6 高压处理对乳液的影响

1.2.2 制备蛋白/多糖纳米乳液过程中,压力条件为变量,分别施加 400、500、600、700、800、1000 bar 的压力,分析不同压力下制备的乳液的粒度分布。考察不同压力对于乳液稳定性的影响。

1.2.7 不同乳化 pH 对纳米乳液制备的影响

1.2.2 制备蛋白/多糖纳米乳液过程中,乳化 pH 条件为变量,调节体系 pH 值为 2.00、3.00、3.25、3.50、3.75、4.00、5.00、6.00、7.00、8.00。测试不同乳化 pH 值下乳液的粒度分布,考察不同 pH 值对乳液稳定性的影响。

1.2.8 热处理对乳液的影响

1.2.2 制备蛋白/多糖纳米乳液过程中,是否加热为变量,80 °C 加热 1 h 或不加热制备乳液后调节到不同的 pH 贮藏,考察加热对于乳液稳定性的影响。

1.2.9 不同蛋白/多糖比例对乳液制备影响

1.2.2 制备蛋白/多糖纳米乳液过程中,蛋白/多糖质量比为变量,按照不同的蛋白/多糖质量比(WR) 2:1、1:1、1:2、1:3、1:4、1:5、1:6、1:7,制备乳液后,然后调节 pH,测定 pH 3.5, pH 5.0 和 pH 6.0 乳液中粒度分布。

1.2.10 果胶酶的多糖消化

复合乳液中的大豆多糖通过果胶酶水解,水解在 25 °C 和 pH 5.0 下进行,通过缓慢水解,实时 DLS 测量监控尺寸变化。在 DLS 测量中,3 μL 的 0.5% 果胶酶溶液加入到聚苯乙烯试管中,其含有用 3ml pH 5.0 的水溶液稀释 5 μL 原始乳液的稀释乳液。然后,微滴粒径在酶解过程中前 80 min 中每 10 min 测量一次,之后每 15 min 测量一次。

1.2.11 透射电子显微镜(TEM)测量

复合乳液中的大豆多糖通过果胶酶水解,水解在 40 °C 和 pH 5.0 下进行。果胶酶消化前后的复合乳液的 TEM 观察,电压:80 千伏,将蛋白浓度 5 mg/mL,蛋白多/糖比例 1:5 的复合乳液稀释 300 倍沉积在镀碳铜网格上,并磷钨酸进行染色处理后放至通风处干燥 24 h。

1.3 数据统计

数据平行测定 3 次取平均值,并用 Origin8.0、SPSS 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 酸溶性大豆蛋白溶解性质

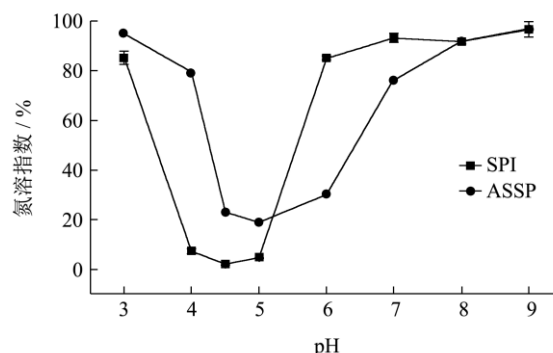


图 1 酸溶蛋白和大豆分离蛋白的溶解度曲线比较

Fig.1 Solubility curve comparison of acid-soluble protein and soy protein isolate

由图 1 可以看出,酸溶蛋白的等电点在 pH 5.0 左右,与大豆分离蛋白(SPI)等电点 pH 4.5 比较,向右偏移了 0.5 个 pH 单位。酸溶性蛋白溶解性在 pH 3.0~5.0 的 pH 范围内比大豆分离蛋白的溶解性要好很多,特别在 pH 4.0 左右的时候相对于大豆分离蛋白,酸溶蛋白的溶解性很突出。大豆酸溶蛋白的等电点相较于大豆分离蛋白向右偏移,这是由于植酸酶的处理使得蛋白结合的植酸减少,而植酸带负电荷,酸溶蛋白在酸性条件下所带的正电荷增强,等电点向右偏移。

2.2 加油量对大豆酸溶蛋白/大豆多糖乳液制备的影响

从图 2 可以看出,当含油量为 25% 时粒径很大,很快乳液就会发生层析,说明此时体系很不稳定。当不含油时,蛋白多糖乳液也会很快分层。当含油量在 5%~20% 时,粒径没有明显变化,乳液体系比较稳定,且在储存 60 d 后,乳液仍然有着稳定的体系,没有分层。说明加油量 5%~20% 时,对所制备的乳液保持良好的稳定性有重要作用,加油量太大时,蛋白质吸附层在油-水界面全部吸附油滴,从而导致液滴凝聚现象发生。

2.3 压力对大豆酸溶蛋白/大豆多糖乳液制备的影响

当压力为零时,酸溶蛋白/大豆多糖乳液会立刻分层。乳液在微射流均质机中被进一步增速,然后在极小空间发生撞击,过程中瞬间转化大部分能量,产生巨大的压力降,从而使得液体颗粒高度破碎。由图 3 显示的是,加 400 bar 的压力后,随着压力的不断增

大,对乳液粒径的大小没有明显的影响,储存 60 d 后乳液也没有分层。说明经过高压 400 bar 微射流处理后的乳液,有着很好的稳定性。由于液体颗粒在 400 bar 微射流处理后已经高度破碎,不断增大压力后粒径也不会有明显改变。

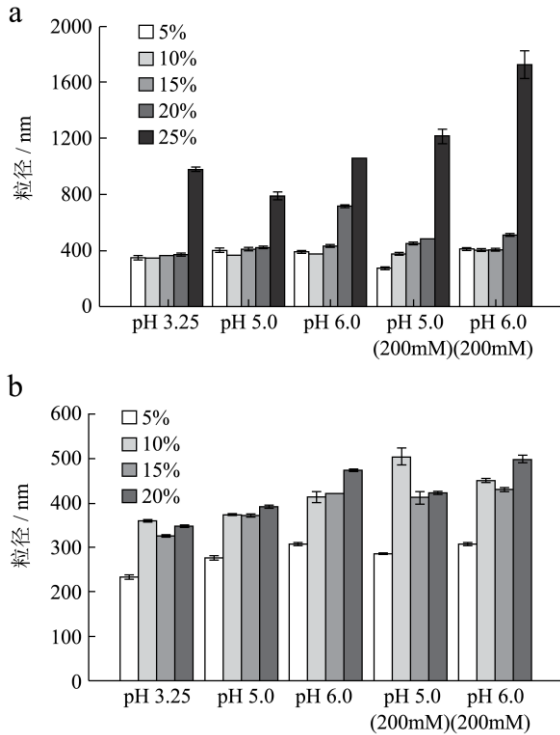


图 2 不同含油量的蛋白多糖纳米乳液粒径的变化

Fig.2 Changes in droplet size of the emulsion with different oil contents before and after 60 days

注: b 为 60 天后。

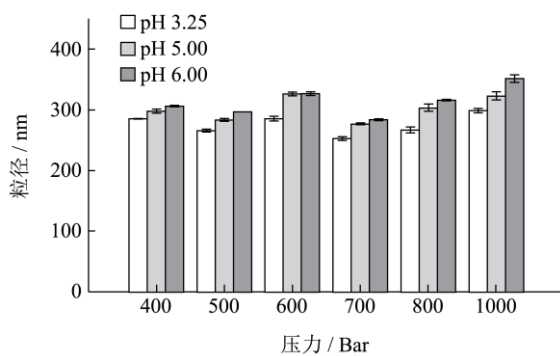


图 3 不同压力对蛋白多糖复合乳液制备粒径的影响

Fig.3 Changes in droplet size of the emulsions at different values of pressure

2.4 不同乳化 pH 条件下制备的大豆酸溶蛋白/大豆多糖复合纳米乳液的稳定性分析

多糖的加入可以形成吸收蛋白层的界面络合物,此外,交联的多糖包衣层可以通过避免界面复合物分

解而增加乳液的稳定性。大豆水溶性多糖可以改变电荷以及增加的界面层的厚度,增强了微滴的亲水性和空间排斥力。由表 1 表明,在 pH 3.0~4.0 范围内制备的乳液具有窄小微滴尺寸分布;并且大约 276 nm 的微滴粒径在 60 d 储存后无显著性变化 ($P>0.05$)。然而,在 pH 5.0~8.0 的范围内制备的乳液具有明显增大的粒径值和更宽的粒径分布,而且贮存后形成乳状液分层。由此可见,在 pH 值范围为 3.0~4.0 的水溶液中形成的大豆蛋白/大豆多糖复合物具有优越的乳化能力并且具有优越地乳化稳定性能。

表 1 不同 pH 值条件下酸溶蛋白/大豆多糖乳液的 DLS 结果

Table 1 DLS result of emulsions prepared at different pH

乳化 pH	新鲜乳液		60 天后	
	粒径/nm	PDI	粒径/nm	PDI
3.0	274.31±3.54 ^d	0.11±0.01	278.38±4.02 ^d	0.10±0.01
3.25	277.8±4.13 ^d	0.10±0.02	276.84±3.72 ^d	0.10±0.02
3.5	275.36±3.27 ^d	0.13±0.02	272.33±1.80 ^d	0.12±0.01
3.75	279.34±2.15 ^d	0.13±0.01	269.31±6.24 ^d	0.12±0.01
4.0	282.09±2.52 ^d	0.12±0.02	279.35±7.33 ^d	0.13±0.02
5.0	489.42±21.36 ^c	0.49±0.05		
6.0	1797.82±65.14 ^b	0.78±0.08		
7.0	1893.67±93.34 ^b	0.83±0.05		分层
8.0	2034.18±105.06 ^a	0.73±0.12		

注: 字母 a~d 代表显著性差异 ($P<0.05$)。

2.5 热处理对大豆酸溶蛋白/大豆多糖乳液的影响

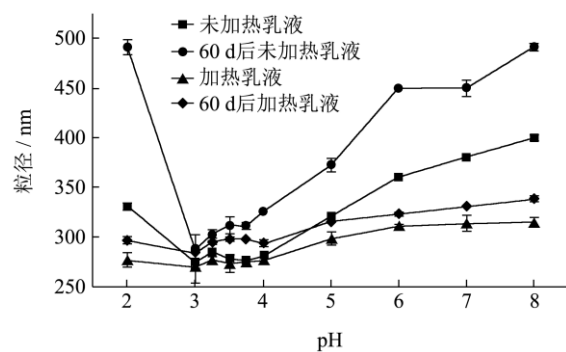


图 4 加热对不同 pH 条件下乳液微滴粒径的影响

Fig.4 Changes in droplet size of the emulsions at different pH with or without heat treatment

一般来说,热处理能够诱导蛋白质的不可逆变性,但当体系中存在多糖时,加热反而可以产生更强的蛋白/多糖复合膜。由图 4 可知,在 pH 2.0 和 pH 5.0~8.0 范围,未加热乳液的微滴粒径大小改变比加热乳液大的多。pH 3.0~4.0 的范围内,未加热和加热乳液的粒

径改变都相对较小。储存 60 d 后, 加热乳液粒径大小增加趋势明显比未加热乳液粒径大小增加的趋势小。图 4 说明了加热能有效避免乳液的聚集情况的发生, 更好地保持乳液的稳定性。图 4 显示加热能有效避免乳液的聚集情况的发生, 说明加热处理可以使对酸溶蛋白/大豆多糖的复合界面行为更强, 从而可以更好地保持乳液的稳定性。

2.6 不同比例对大豆酸溶蛋白/大豆多糖乳液制备的影响

表 2 蛋白与多糖的质量比 (WR) 对于乳液微滴粒径的影响

样品	粒度/nm				
	pH 3.5	pH 5.0	pH 6.0	pH 5.0+0.2 mol/L NaCl	pH 6.0+0.2 mol/L NaCl
2:1	283.61±7.92 ^{df}	315.83±22.31 ^{nop}	464.17±13.75 ^c	982.56±11.47 ^a	564.67±15.36 ^b
1:1	324.27±6.67 ^{lmno}	349.55±7.91 ^{ijkl}	352.06±2.53 ^{jk}	442.87±9.25 ^{cd}	381.46±7.11 ^{gh}
1:2	307.93±0.64 ^{nopq}	326.82±3.85 ^{klmn}	313.37±1.14 ^{nop}	318.73±3.48 ^{mnop}	355.46±5.92 ^{ij}
1:3	268.07±4.82 ^f	299.36±4.87 ^{opq}	320.33±0.92 ^{mnop}	350.42±2.47 ^{jk}	317.23±3.21 ^{mnop}
1:4	269.33±2.26 ^f	304.12±2.07 ^{nopq}	329.18±1.68 ^{klmn}	309.89±0.92 ^{nop}	328.73±4.45 ^{klmn}
1:5	263.04±7.42 ^f	414.87±5.83 ^{ef}	436.82±3.56 ^{de}	432.37±0.89 ^{de}	420.22 ^{def} ±4.51
1:6	294.39±8.82 ^{pq}	343.14±3.63 ^{klm}	361.62±6.67 ^{hij}	347.29±7.21 ^{ijkl}	357.36±2.62 ^{hij}
1:7	328.62±25.0 ^{klmn}	379.04±1.03 ^{ghi}	399.2±0.42 ^g	389.73±0.64 ^g	388.83±3.55 ^g

注: 字母a-r代表显著性差异 (P<0.05)。

2.7 乳液的结构和形态

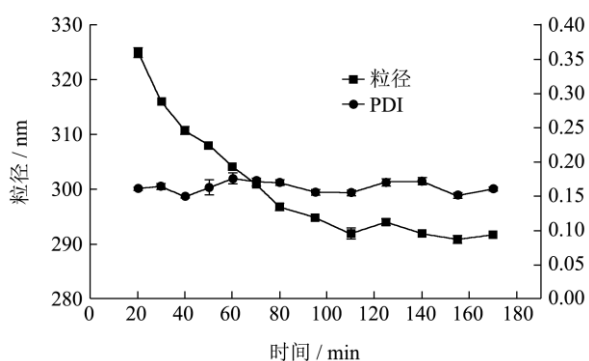


图 5 果胶酶消化的纳米乳液的粒径变化

Fig.5 Changes in droplet size of complex emulsion digested by pectinase

果胶酶用于水解乳液中的大豆多糖, 将稀释的乳液与果胶酶混合, pH 5.0、25 °C 下缓慢消化多糖, 同时 DLS 实时测量。pH 5.0、25 °C 下缓慢消化多糖, 同时 DLS 实时测量。由图 5 可知, 在添加果胶酶之前, 乳液微滴的粒径是 328 nm。在添加果胶酶之后, 微滴粒径逐渐减少到 292 nm, 趋于稳定。整个过程中乳液

由表 2 可知, pH 3.5 时, 当 WR 从 2:1 变到 1:1 时, 乳液微粒粒径从 283 nm 增加到 324 nm, 进一步把 WR 从 1:1 变到 1:4, 粒径减少到 269 nm, 质量比 1:4 到 1:7, 乳液微滴粒径上下波动, 没有明显趋势; pH 值为 3.5 的乳液除了 WR 为 1:3 的乳液外, 其他在 60 d 的储存之后, 粒径基本不变。储存 60 d 之后的乳液, 在 pH 值为 5.0 和 6.0, 和含有 0.2 mol/L NaCl 的介质中, 对于 WR 为 1:5, 1:6, 1:7, 微滴粒径的改变是轻微的。结果显示, 质量比为 1:4 时乳液粒径较小, 且在高盐存在和不同 pH 的条件下相对稳定。

的 PDI 没有显著改变, 这表明在测量时微滴没有聚集。从 DH 值在消化前后的下降, 我们可以估计微滴的多糖层大约是 36 nm。

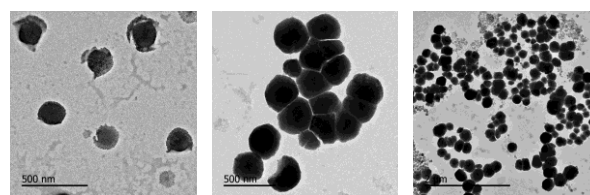


图 6 果胶酶消化前后的复合物乳液的 TEM 图像

Fig.6 Transmission electron microscopy images of complex emulsion before (left) and after (middle and right) polysaccharide digestion by pectinase

注: 左图果胶酶消化前, 中图和右图果胶酶消化后。

图 6 显示的是果胶酶消化多糖前后乳液的 TEM 图像。由图所示, 消化之前没有絮凝和聚集发生在乳液中, TEM 图像显示每个微滴都是分散的, 消化之后, 液滴的一些边界消失, 从图中看出乳液微滴发生了明显地聚集融合。这是因为多糖是蛋白的稳定剂, 多糖消化从而消失后, 静电相互作用消失, 引起大豆蛋白聚集现象发生。TEM 图像进一步证实了大豆多糖固定

在微滴表面并使得微滴稳定和分散。

3 结论

本论文系统研究了大豆酸溶蛋白/大豆多糖纳米乳液的制备工艺,探讨了加油量、压力、质量比、热处理及 pH 等条件下的乳化能力的变化,分析了各种因素对于乳液稳定性的影响。研究表明:

3.1 大豆酸溶蛋白/大豆多糖纳米乳液的制备工艺优化条件是,在 pH 3.0~4.0 范围内,酸溶蛋白与大豆多糖质量比 1:4,400 bar 的压力下,可以很好地包埋 20% 的油,此时制备的乳液粒径为 $269.33 \pm 2.26\text{nm}$,并且储存 60 d 粒径无显著性变化 ($P>0.05$)。其中,加热能有效避免乳液的聚集情况的发生,使对酸溶蛋白/大豆多糖的复合界面行为更强,从而可以更好地保持乳液的稳定性;乳液在微射流均质机中产生巨大的压力降,使液体颗粒高度破碎;交联的多糖包衣层可以改变电荷以及避免界面复合物分解而增加乳液的稳定性。

3.2 乳液的 TEM 分析结果显示,酸溶蛋白/大豆多糖纳米乳液的微滴表面被多糖覆盖,如果利用果胶酶水解大豆多糖,则蛋白发生明显聚集。证明大豆多糖能够固定在微滴表面并使得纳米乳液微滴稳定和分散。

参考文献

- [1] Gharsallaoui A, Saurel R, Chambin O, et al. Utilisation of pectin coating to enhance spray-dry stability of pea protein-stabilised oil-in-water emulsions [J]. Food Chemistry, 2010, 122(2): 447-454
- [2] McClements D J. Protein-stabilized emulsions [J]. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 2004, 9(5): 305-313
- [3] Guzey D, McClements D J. Formation, stability and properties of multilayer emulsions for application in the food industry [J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2006, 128: 227-248
- [4] Dickinson E. Flocculation of protein-stabilized oil-in-water emulsions [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2010, 81(1): 130-140
- [5] Pongsawatmanit R, Harnsilawat T, McClements D J. Influence of alginate, pH and ultrasound treatment on palm oil-in-water emulsions stabilized by β -lactoglobulin [J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2006, 287(1): 59-67
- [6] Dickinson E. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(6): 1473-1482
- [7] Diftis N, Kiosseoglou V. Stability against heat-induced aggregation of emulsions prepared with a dry-heated soy protein isolate-dextran mixture [J]. Food Hydrocolloids, 2006, 20(6): 787-792
- [8] Schmitt C, Turgeon S L. Protein/polysaccharide complexes and coacervates in food systems [J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2011, 167(1): 63-70
- [9] E Bouyer, G Mekhloufi, I L Potier, et al. Stabilization mechanism of oil-in-water emulsions by β -lactoglobulin and gum Arabic [J]. J. Colloid Interface Sci., 2011, 354(2): 467-477
- [10] Corredig M, Sharafbafi N, Kristo E. Polysaccharide-protein interactions in dairy matrices, control and design of structures [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(8): 1833-1841
- [11] Dickinson E. Mixed biopolymers at interfaces: competitive adsorption and multilayer structures [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(8): 1966-1983
- [12] McClements D J, Li Y. Structured emulsion-based delivery systems: Controlling the digestion and release of lipophilic food components [J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2010, 159(2): 213-228
- [13] Roudsari M, Nakamura A, Smith A, et al. Stabilizing behavior of soy soluble polysaccharide or high methoxyl pectin in soy protein isolate emulsions at low pH [J]. Journal of agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(4): 1434-1441
- [14] Nakamura A, Yoshida R, Maeda H, et al. Study of the role of the carbohydrate and protein moieties of soy soluble polysaccharides in their emulsifying properties [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(17): 5506-5512
- [15] Nakamura A, Yoshida R, Maeda H, et al. Soy soluble polysaccharide stabilization at oil-water interfaces [J]. Food Hydrocolloids, 2006, 20(2): 277-283
- [16] Nakamura A, Takahashi T, Yoshida R, et al. Emulsifying properties of soybean soluble polysaccharide [J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18(5): 795-803
- [17] 郭睿. 功能性大豆蛋白的制备及应用[D]. 华南理工大学, 2011.34-38
- [18] Yin B, Deng W, Xu K, et al. Stable nano-sized emulsions produced from soy protein and soy polysaccharide complexes [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2012, 380(1): 51-59
- [19] Lowry Oliver H., Rosebrough Nira J., Farr A. Lewis. Protein measurement with the folin pH enol reagent [J]. The Journal of Biological Chemistry. 1951, 265-275