

水萃离心法提取3种油体富集物的理化性质和功能性质

周莉,赵路苹,刘莹,马彩红,尹彦霖,王丹,韩杰,丁秀臻

(山东农业大学食品科学与工程学院,山东省高等学校食品营养与健康重点实验室,
山东省粮食加工技术工程技术研究中心,山东泰安271018)

摘要:为了对比不同油体富集物理化性质及功能性质的差异,采用水萃离心法从大豆、花生、葵花籽3种大宗油料种子中提取油体富集物,对比研究了油体富集物的得率、基本成分、粒径、Zeta电位、蛋白质组成、黏度、起泡性、乳化性、分层稳定性以及冻融稳定性。结果表明:大豆油体富集物的得率和固形物含量都显著低于葵花籽和花生油体富集物的($p < 0.05$),且具有不易掩盖的豆腥味;3种油体富集物的基本成分之间都存在显著性差异($p < 0.05$),蛋白质的分子质量分布也不尽相同;3种油体富集物的粒径和Zeta电位绝对值由小到大顺序均为大豆油体富集物 < 葵花籽油体富集物 < 花生油体富集物;在黏度、起泡性、乳化性、分层稳定性、冻融稳定性方面,由大到小排序均为大豆油体富集物 > 葵花籽油体富集物 > 花生油体富集物。

关键词:水萃离心法;油体富集物;理化性质;功能性质

中图分类号:TQ641;TQ646

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2023)06-0047-07

Physicochemical properties and functional properties of three oil body enrichments extracted by water extraction centrifugation

ZHOU Li, ZHAO Luping, LIU Ying, MA Caihong, YIN Yanlin,
WANG Dan, HAN Jie, DING Xiuzhen

(Engineering and Technology Center for Grain Processing of Shandong Province, Key Laboratory of Food Nutrition and Healthy in Universities of Shandong, College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China)

Abstract: In order to compare the differences of physicochemical properties and functional properties of different oil body enrichments, oil body enrichments were extracted from soybean, peanut and sunflower seed by water extraction centrifugation method. The yield, composition, particle size, Zeta potential, protein composition, viscosity, foaming property, emulsification property, creaming stability and freeze-thaw stability of oil body enrichments were studied. The results showed that the yield and solid content of soybean oil body enrichment with beany flavor were significantly lower than those of sunflower seed and peanut oil body enrichments ($p < 0.05$). There were significant differences among the components of the three oil body enrichments ($p < 0.05$), and the molecular weight distribution of protein were also different. The order of particle size and the absolute of Zeta potential value of the three oil body

收稿日期:2022-04-02;修回日期:2023-03-26

基金项目:山东省重点研发公益类专项(2019GNC106075);
国家自然科学基金(31901637,31872889);山东省高等学校
科技计划项目(J18KA171)

作者简介:周莉(1998),女,硕士研究生,研究方向为粮
食、油脂与植物蛋白工程(E-mail)1179436326@qq.com。

通信作者:丁秀臻,讲师,博士(E-mail)xzd@sdau.edu.cn。

enrichments were soybean oil body enrichment < sunflower seed oil body enrichment < peanut oil body enrichment. In terms of viscosity, foaming property, emulsification property, creaming stability, freeze-thaw stability, the order was soybean oil body enrichment > sunflower seed oil body enrichment > peanut oil body enrichment.

Key words: water extraction centrifugation method; oil body enrichment; physicochemical property; functional property

油体是一种微胶囊结构,其表面是由磷脂和蛋白质构成的膜,核心是被膜包裹的脂质^[1],这种结构也可看作是稳定的乳化油滴粒子,因此将油体应用到乳液体系时,可以免除添加合成乳化剂和均质处理^[2-3]。此外,油体还富含多不饱和脂肪酸和天然小分子生物活性物质,如生育酚、植物甾醇等^[4],这些物质使油体在食品、化妆品、药品等乳液体系中有很好的应用前景。油体广泛存在于植物种子中,且在油料作物种子中含量尤其高,大豆、花生、向日葵这3种油料作物在我国种植范围广,其种子来源丰富且价格相对低廉,为油体的加工和利用奠定了物质基础^[5-6]。

油体的提取方法有水萃离心法、缓冲溶液提取法和酶辅助提取法。其中,水萃离心法是最基本的油体提取方法,此方法制备的油体富集物纯度较低,但安全、无有害化学物质,是一种环境友好型加工方法,适用于食品加工领域。在研究油体结构性质时,需要尽可能地提高油体富集物的纯度,但在食品加工领域应用时,需尽可能地提高油体的提取率,而对纯度的要求不太高,可以有较多外源性蛋白存在^[7]。

研究大宗油料油体富集物的理化性质和功能性质,对于促进其在食品加工领域的应用具有重要意义。因此,本研究以大豆、花生、葵花籽3种大宗油料种子为原料,通过水萃离心法制备油体富集物,对比3种油体富集物的得率、基本成分、粒径和 Zeta 电位,分析油体富集物的蛋白质组成、黏度、起泡性、乳化性、分层稳定性以及冻融稳定性,以期选择适用于不同食品加工体系的油体富集物。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

大豆,哈尔滨鑫恒德食品有限公司;葵花籽仁,宏盛农副产品加工厂;花生,花育16号,山东省农业科学院;大豆油,上海嘉里食品工业有限公司;浓硫酸,莱阳市康德化工有限公司;浓盐酸、石油醚、无水甲醇,天津市凯通化学试剂有限公司;甘油、三氨基甲烷(Tris)、甘氨酸,北京索莱宝科技有限公司;十二烷基硫酸钠(SDS)、溴酚蓝、叠氮化钠,国药集团化学试剂有限公司;冰乙酸、乙酸铵,天津巴斯夫化工有限公司;三甲基甘氨酸(Tricine)、四甲基乙二胺

(TEMED),北京百灵威科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

TDZ5-WS离心机,长沙湘仪离心机仪器有限公司;K9840自动凯氏定氮仪、SH220F石墨消解仪,山东海能科学仪器有限公司;UV-5100B紫外可见分光光度计,上海元析仪器有限公司;MCR120模块化智能流变仪,Anton Paar股份有限公司;ST 255 Soxtec全自动脂肪测定仪,FOSS公司;BLST4090-073磨浆机,上海家俬家用电器有限公司;ChemiDoc MP凝胶成像仪,美国Bio-Rad公司;MODEL BE-210垂直电泳仪,日本BIO CRAFT公司;T25 Digital高速分散机,德国IKA公司;J-26XPI高速离心机,美国贝克曼公司;Zetasizer-Nano-ZS激光纳米粒度分析仪,英国马尔文公司。

1.2 试验方法

1.2.1 油体富集物的制备

参考单秀民等^[8]的方法提取油体富集物。具体操作:大豆用清水清洗3遍后,用去离子水在4℃下浸泡10h,加入9倍大豆干质量的去离子水,磨成浆,用4层纱布过滤除去滤渣,以15000 r/min离心30min,收集上层油体;花生浸泡剥除红衣,洗去表面灰尘和杂质,加入9倍花生干质量的去离子水,磨成浆,用4层纱布过滤除去滤渣,以4000 r/min离心40min,收集上层油体;葵花籽仁用清水清洗3遍后,加入9倍葵花籽仁干质量的去离子水,磨成浆,用4层纱布过滤除去滤渣,以4000 r/min离心40min,收集上层油体。将收集的油体富集物置于4℃密封保存。

油体富集物的得率(y)按下式计算。

$$y = m_1 / m_2 \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_1 为油体富集物的质量,g; m_2 为原料的质量,g。

1.2.2 油体富集物成分的测定

水分含量测定,参考GB 5009.3—2010中直接干燥法;蛋白质含量测定,参考GB 5009.5—2010中凯氏定氮法得到3种油体富集物的含氮量,根据转换系数(花生为5.46,葵花籽为5.30,大豆为6.25)得到蛋白质含量;脂肪含量测定,参考GB 5009.6—2010中索氏抽提法。

根据水分含量(x_1)可得到油体富集物的固形物含量(x_2),按下式计算。

$$x_2 = 1 - x_1 \quad (2)$$

1.2.3 Tricine-SDS-PAGE 分析

配制质量分数为 10% 的油体富集物乳液(以固形物含量计,下同),按照体积比 1:1 将乳液与样品溶解液(质量分数 4% 的 SDS 溶液)混合,并加入溴酚蓝指示剂。浓缩胶和分离胶质量分数分别为 4% 和 16%。先配制 16% 的分离胶,用去离子水水封,放置 1 h 至凝固后将水倒出,注入 4% 浓缩胶,水平插入梳子,再次放置 1 h 至凝固后拔出梳子,用去离子水冲洗干净至无气泡。将玻璃板放入阴极槽固定并倒入阴极缓冲液,在阳极槽中倒入阳极缓冲液。用移液枪取 8 μL 样品加入电泳泳道中,调电压为 30 V,待样品跑至分离胶时调电压为 100 V,待溴酚蓝刚刚跑出分离胶时电泳结束。取下胶后放入固定液中固定 3 h,之后换为染色液染色 3 h,再换脱色液,脱色至有清晰的条带为止。用凝胶成像仪拍照,用 Image Lab 软件分析蛋白质条带的强度。

1.2.4 粒径和 Zeta 电位的测定

将质量分数为 10% 的 3 种油体富集物乳液分别用超纯水稀释 1 000 倍和 400 倍,采用激光纳米粒度分析仪测定油体富集物乳液的粒径和 Zeta 电位。

1.2.5 黏度的测定

将质量分数为 10% 的油体富集物乳液放置于模块化智能流变仪的测量托盘上,选用 PP50 平行板夹具,测试距离设为 1 mm,温度 26 $^{\circ}\text{C}$,剪切速率 1 ~ 100 s^{-1} ,采用 log 模式取点。幂律模型用来描述油体富集物乳液的流动行为和稠度系数(K),公式如下。

$$\eta = K \times \gamma^{n-1} \quad (3)$$

式中: η 为剪切压力, mPa; K 为稠度系数, $\text{mPa} \cdot \text{s}^n$; γ 为剪切速率, s^{-1} ; n 流体特征指数。

1.2.6 起泡性及泡沫稳定性的测定

参照 Chen 等^[9]的方法并稍作调整。取 30 mL 质量分数为 10% 的油体富集物乳液用高速分散机以 12 000 r/min 搅打 2 min,用量筒测量,记下泡沫体积(V_1),即为起泡性,静置 30 min 后记录剩下的泡沫体积(V_2),并观察泡沫状态。泡沫稳定性(S_F)按下式计算。

$$S_F = V_2/V_1 \times 100 \quad (4)$$

1.2.7 乳化性及乳化稳定性的测定

参照 Li 等^[10]的方法并稍作调整。制备质量分数为 1% 的油体富集物乳液,加入体积分数为 25% 的大豆油,用高速剪切机以 10 000 r/min 均质 2 min,在第 0 min 和第 10 min 从容器底部吸取乳

液,于质量分数为 0.1% 的 SDS 溶液中稀释 100 倍,测定 500 nm 下的吸光度。按下式分别计算乳化性(I_{EA})和乳化稳定性(I_{ES})。

$$I_{EA} = 2A_0 n T / (10\,000 C \varphi) \quad (5)$$

$$I_{ES} = A_0 / (A_0 - A_{10}) \times 10 \quad (6)$$

式中: A_0 为第 0 min 时的吸光度; n 为稀释倍数; T 为 2.303; C 为乳液质量浓度, g/mL; φ 为油相体积分数; A_{10} 为第 10 min 时的吸光度。

1.2.8 分层稳定性的测定

分层稳定性采用乳析指数进行评价。取质量分数为 1% 的油体富集物乳液至平底玻璃管中,添加叠氮化钠抑制微生物生长,封口密封,在室温下避光静置。每天观察乳液变化,记录分层高度。按下式计算乳析指数(H_1)。

$$H_1 = H_c / H_e \times 100\% \quad (7)$$

式中: H_c 为下层清液的高度, mm; H_e 为乳液总高度, mm。

1.2.9 冻融稳定性的测定

取质量分数为 1% 的油体富集物乳液于平底试管中,在 -18 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中冷冻 24 h 后取出,放置于室温下 3 h 至完全解冻。依照此方法,反复对乳液进行 3 次冻融处理,观察乳液状态变化,并记录分层高度。按下式分别计算冻融乳析指数(H_2)和冻融油析指数(H_3)。

$$H_2 = H_s / H_1 \times 100\% \quad (8)$$

$$H_3 = H_o / H_1 \times 100\% \quad (9)$$

式中: H_s 为下层清液的高度, mm; H_o 为上层油层的高度, mm; H_1 为乳液总高度, mm。

1.2.10 数据分析

所有试验均重复测定 3 次,用 SPSS 25 软件对数据进行处理,用 LSD 和邓肯法分析数据的显著性, $p < 0.05$ 表示具有显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 油体富集物的得率与基本成分

3 种油体富集物的外观见图 1。由图 1 可知,大豆油体富集物和花生油体富集物呈半固体状态,且大豆油体富集物流动性大于花生油体富集物,葵花籽油体富集物呈固体状态,这与三者水分含量及蛋白质相互作用不同有关。大豆油体富集物呈淡黄色,花生油体富集物呈乳白色,而葵花籽油体富集物呈浅黄灰色,这是由于不同的植物种子本身所含色素不同导致的^[11]。不同油体富集物的气味也不同,花生和葵花籽油体富集物带有淡淡的植物种子自身的清香,而大豆油体富集物带有一定的豆腥味,且在 4 $^{\circ}\text{C}$ 储存后,豆腥味加重。

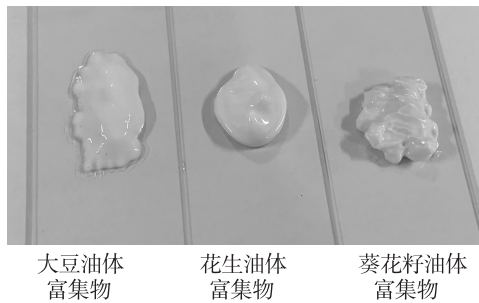


图1 油体富集物外观

3种油体富集物的得率和基本成分见表1。由表1可知,大豆油体富集物的得率为 $(18.81 \pm 1.37)\%$,显著低于花生油体富集物和葵花籽油体富集物的($p < 0.05$),后两者得率分别为 $(51.27 \pm 6.45)\%$ 和 $(49.74 \pm 1.10)\%$ 。大豆的油脂含量是 $16\% \sim 22\%$,花生的油脂含量是 $40\% \sim 51\%$,葵花

籽的油脂含量是 $45\% \sim 54\%$ ^[12]。由此可见,油体富集物的得率与原料种子的品种有关,且与原料种子的油脂含量呈正相关。大豆油体富集物的水分含量为 $(56.24 \pm 0.96)\%$,显著高于花生油体富集物和葵花籽油体富集物的($p < 0.05$)。由油体富集物的水分含量可知大豆、花生、葵花籽油体富集物的固形物含量分别为 $(43.76 \pm 0.96)\%$ 、 $(77.81 \pm 0.77)\%$ 、 $(69.18 \pm 0.95)\%$ 。大豆油体富集物的得率和固形物含量都较其他2种富集物的低,不利于大规模的工业化生产。3种油体富集物的脂肪、蛋白质含量都存在显著性差异($p < 0.05$),且脂肪含量高的油体富集物蛋白质含量低,这是由于植物种子的品种和油体结构不同导致的^[13-14]。

表1 油体富集物得率和基本成分(湿基)

样品	得率	水分含量	脂肪含量	蛋白质含量
大豆油体富集物	18.81 ± 1.37^b	56.24 ± 0.96^a	36.82 ± 1.48^c	6.15 ± 0.02^a
花生油体富集物	51.27 ± 6.45^a	22.19 ± 0.77^c	76.10 ± 1.23^a	1.03 ± 0.07^c
葵花籽油体富集物	49.74 ± 1.10^a	30.82 ± 0.95^b	64.43 ± 1.58^b	3.76 ± 0.03^b

注:同列不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同

2.2 油体富集物的蛋白质组成

3种油体富集物的蛋白质组成如图2所示。由图2可知,在相同固形物含量的情况下,大豆油体富集物的条带深度远高于其他2种,而花生油体富集物的条带最浅,说明大豆油体富集物中蛋白质含量最高,花生油体富集物中蛋白质含量最低,这与2.1中的结论相符合。花生油体富集物所含蛋白质的分子质量分布范围比较集中,蛋白质种类较少,大豆和葵花籽油体富集物中蛋白质的分子质量相对来说比较宽泛,蛋白质种类较多。

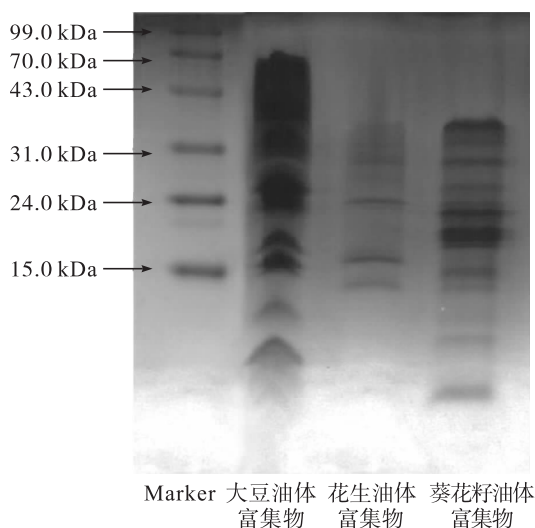
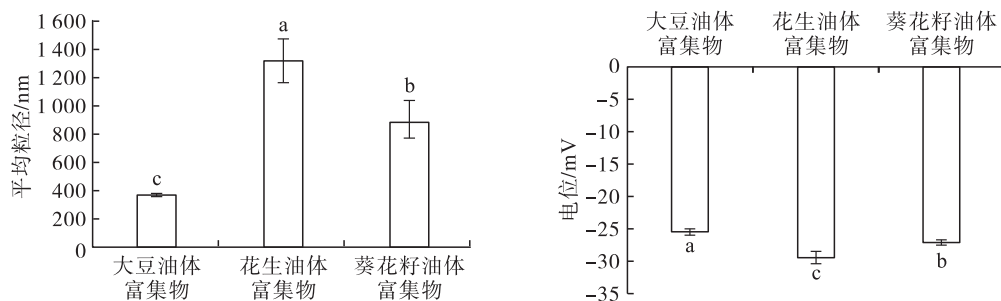


图2 油体富集物的 Tricine-SDS-PAGE 图

2.3 油体富集物的粒径与 Zeta 电位

3种油体富集物的平均粒径与 Zeta 电位见图3。由图3可知,3种油体富集物的平均粒径从大到小依次为花生油体富集物 > 葵花籽油体富集物 > 大豆油体富集物,且存在显著性差异($p < 0.05$),这与崔春利等^[15]的研究结果相符合。有研究表明,油体的粒径大小由油料作物的品种决定,且和其脂肪与蛋白质含量的比值有关,脂肪与蛋白质含量的比值越大,油体粒径越大,反之则越小^[16-17]。本试验中3种油体富集物的脂肪与蛋白质含量的比值由大到小为花生油体富集物 > 葵花籽油体富集物 > 大豆油体富集物(见2.1),与粒径分析结果一致。

由图3还可知,3种油体富集物 Zeta 电位的绝对值从大到小依次为花生油体富集物 > 葵花籽油体富集物 > 大豆油体富集物,与崔春利等^[15]发现大豆油体的 Zeta 电位绝对值显著高于葵花籽油体和花生油体的结果相悖,这可能是由于油体提取方式不同导致的。本试验在油体提取过程中没有使用洗涤剂进行洗涤,油体表面吸附了大量蛋白质,导致了油体富集物整体电位绝对值的改变。不同油体表面携带的蛋白质种类和数量不同,所以 Zeta 电位绝对值改变的程度不同。



注:同一指标不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同

图3 油体富集物的粒径与 Zeta 电位

2.4 油体富集物乳液的黏度

3种油体富集物乳液的黏度曲线如图4所示。由图4可知,3种油体富集物乳液的黏度都随着剪切速率的增大而减小,呈现剪切变稀的行为,这是由液滴絮凝引起的^[18]。在剪切速率较低时,较小的剪切力无法破坏乳液中液滴之间的相互作用,液滴形成的聚集体使油体富集物乳液黏度较大;随着剪切速率增加,乳液中的液滴聚集体被破坏,油体富集物乳液的黏度降低^[19]。3种油体富集物乳液的黏度由大到小依次为大豆油体富集物乳液 > 葵花籽油体富集物乳液 > 花生油体富集物乳液。

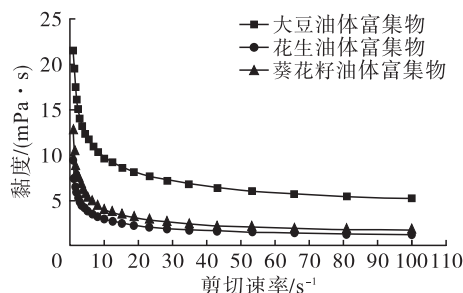


图4 油体富集物乳液的黏度

根据幂律模型计算得到3种油体富集物乳液的流体特征指数(n)和稠度系数(K),结果见表2。

由表2可知,3种油体富集物乳液的流体特征指数都小于1,属于非牛顿流体,与图4中的剪切变稀行为相符合。大豆油体富集物乳液的稠度系数为

19.727 $\text{mPa} \cdot \text{s}^n$,显著高于花生油体富集物乳液(7.751 $\text{mPa} \cdot \text{s}^n$)和葵花籽油体富集物乳液(10.725 $\text{mPa} \cdot \text{s}^n$)的($p < 0.05$),与图4的结论一致。

表2 油体富集物乳液黏度曲线的幂律定律常数

样品	n	$K/(\text{mPa} \cdot \text{s}^n)$	R^2
大豆油体富集物	0.705 ± 0.046	19.727 ± 1.699^a	0.994
花生油体富集物	0.592 ± 0.026	7.751 ± 0.256^b	0.991
葵花籽油体富集物	0.581 ± 0.035	10.725 ± 0.500^b	0.992

2.5 油体富集物的起泡性

3种油体富集物的起泡性、泡沫稳定性及泡沫状态见表3。由表3可知,大豆、花生、葵花籽油体富集物的起泡性分别为(18.67 ± 2.75) mL、(6.23 ± 1.17) mL和(17.67 ± 1.52) mL。花生油体富集物的起泡性最差,显著低于大豆和葵花籽油体富集物的($p < 0.05$)。油体富集物的起泡性主要是由其蛋白质的种类和含量决定的,一般来说起泡能力随蛋白质含量升高而增强,花生油体富集物起泡性最差可能是由于其蛋白质含量低^[20-22]。花生油体富集物的泡沫稳定性(24.23 ± 0.51)最佳,葵花籽油体富集物的泡沫稳定性(13.25 ± 0.77)最差。泡沫状态表现最好的是葵花籽油体富集物,在第0 min和静置30 min后都保持着细密均匀的状态,应用在冰淇淋中更有利于形成均匀稳定的结构。

表3 油体富集物的起泡性、泡沫稳定性及泡沫状态

样品	起泡性/mL	泡沫稳定性	泡沫状态
大豆油体富集物	18.67 ± 2.75^a	21.13 ± 1.68^a	泡沫体积中等,大小比较均匀;静置30 min后泡沫体积减小
花生油体富集物	6.23 ± 1.17^b	24.23 ± 0.51^a	泡沫体积较大,大小不均匀;静置30 min后泡沫状态无明显变化
葵花籽油体富集物	17.67 ± 1.52^a	13.25 ± 0.77^b	泡沫细密均匀;静置30 min后泡沫仍细密均匀

2.6 油体富集物的乳化性

3种油体富集物的乳化性和乳化稳定性如图5所示。由图5可知,大豆油体富集物、花生油体富集物和葵花籽油体富集物的乳化性呈现显著性差异($p < 0.05$),乳化性分别为(19.92 ± 0.15) m^2/g 、

(5.65 ± 0.25) m^2/g 和(11.57 ± 0.08) m^2/g 。大豆油体富集物的乳化稳定性(37.21 ± 2.53)显著高于花生油体富集物(16.90 ± 0.99)和葵花籽油体富集物(17.30 ± 0.73)的($p < 0.05$)。油体的良好乳化性是由油体表面的磷脂和蛋白质提供的^[23]。3种油

体富集物的乳化性和乳化稳定性都与其蛋白质含量呈正相关。综上所述,3种油体富集物乳化性最佳的是大豆油体富集物,最差的是花生油体富集物。

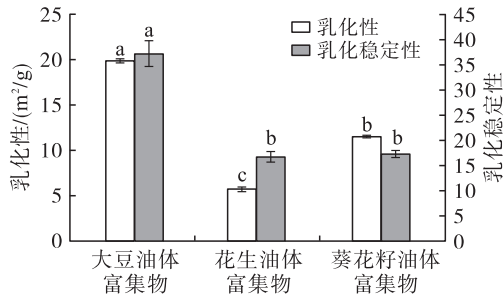


图5 油体富集物的乳化性和乳化稳定性

2.7 油体富集物的分层稳定性

3种油体富集物的分层稳定性如图6所示。

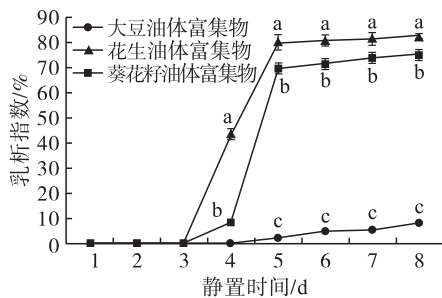
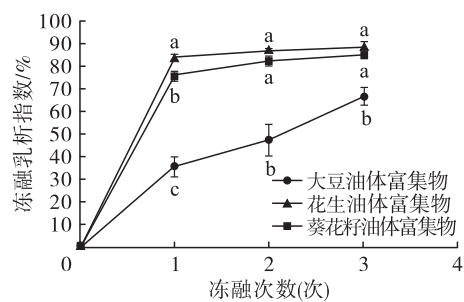


图6 油体富集物的分层稳定性

乳析指数越小,乳液在常温下的分层稳定性越好。由图6可知,葵花籽油体富集物乳液和花生油体富集物乳液在静置4 d时出现分层,大豆油体富集物乳液在静置5 d时出现分层。3种油体富集物乳液的分层稳定性由大到小顺序为大豆油体富集物



乳液 > 葵花籽油体富集物乳液 > 花生油体富集物乳液,且存在显著性差异($p < 0.05$)。3种油体富集物乳液的分层稳定性与其平均粒径呈现负相关,油体富集物粒径越小,乳液的分层稳定性越好。有研究表明,在同种油体中,油体富集物乳液粒径越小其稳定性越高^[24],本试验的3种油体富集物乳液符合此规律。

2.8 油体富集物的冻融稳定性

3种油体富集物的冻融乳析指数及冻融油析指数见图7。冻融乳析指数表示乳液冻融后的乳析分层速度,其值越小则体系越稳定均一。冻融过程中形成的小冰晶会刺破油体的膜结构,造成油体内部油脂的释放析出,此过程称为破乳^[25]。冻融油析指数越大,代表乳液稳定性越差。由图7可知,根据冻融乳析指数得到3种油体富集物的稳定性由大到小为大豆油体富集物 > 葵花籽油体富集物 > 花生油体富集物。在3次冻融循环之后,大豆油体富集物无破乳油析现象,所以大豆油体富集物冻融稳定性最好,葵花籽油体富集物次之,花生油体富集物最差,与根据冻融乳析指数得出的结论一致。有研究表明,粒径越小、蛋白质含量越高,越难以破乳^[26],这与3种油体富集物粒径和蛋白质含量结果相符合。综上,3种油体富集物的冻融稳定性由大到小依次为大豆油体富集物 > 葵花籽油体富集物 > 花生油体富集物。

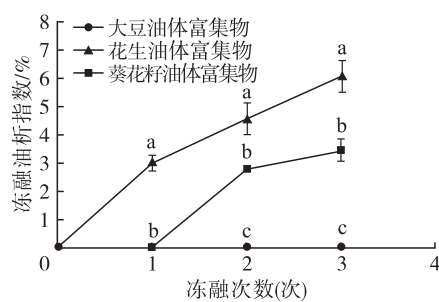


图7 油体富集物的冻融稳定性

3 结论

本文分析了水萃离心法提取的大豆、花生、葵花籽3种油体富集物的理化性质和功能性质。结果表明:大豆油体富集物的得率显著低于花生油体富集物和葵花籽油体富集物的($p < 0.05$),并且3种油体富集物的基本成分之间都存在显著性差异($p < 0.05$),蛋白质的分子质量分布也不尽相同;3种油体富集物的粒径和Zeta电位绝对值由小到大顺序为大豆油体富集物 < 葵花籽油体富集物 < 花生油体

富集物;3种油体富集物乳液都呈现剪切变稀的特性,大豆油体富集物乳液的黏度显著高于其他2种油体富集物乳液的($p < 0.05$);在起泡性、乳化性、分层稳定性和冻融稳定性方面,大豆油体富集物的最优,花生油体富集物的最差。虽然大豆油体富集物的综合性质优于其他2种油体富集物,但其得率和固形物含量都显著低于其他2种油体富集物($p < 0.05$),不利于工业化的大量生产,并且具有豆腥味,添加到产品中时需要添加香料进行掩盖。

参考文献:

- [1] 赵路苹, 陈业明, 张彩猛, 等. 提取条件对大豆油体表面蛋白质去除效果的研究[J]. 大豆科学, 2013, 32(6): 835-839.
- [2] 田其英, 华欲飞, 孔祥珍, 等. 大豆油体的提取及其功能性质[J]. 食品工业, 2019, 40(3): 13-16.
- [3] 闫尊浩, 何辉, 杨兆琪, 等. 大豆油体对豆腐凝胶性质的影响研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(2): 30-33, 49.
- [4] CHEN Y M, CAO Y Y, ZHAO L P, et al. Macronutrients and micronutrients of soybean oil bodies extracted at different pH[J]. J Food Sci, 2014, 79(7): 255-273.
- [5] 陈雅静. 花生水相加工过程中内源性蛋白酶的作用机制研究[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2018.
- [6] 周振亚, 李建平, 张晴, 等. 中国植物油产业发展现状、问题及对策研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(32): 92-97.
- [7] 徐泽健, 章绍兵. 花生粗油体制备工艺研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(7): 5-9.
- [8] 单秀民, 彭姣, 陈业明. 葵花籽粗油体中内源性蛋白酶系的性质探究以及鉴定[J]. 中国油脂, 2020, 45(11): 68-72.
- [9] CHEN X, CHEN Y, ZOU L Q, et al. Plant-based nanoparticles prepared from proteins and phospholipids consisting of a core-multilayer-shell structure; fabrication, stability, and foamability[J]. J Agric Food Chem, 2019, 67(23): 6574-6584.
- [10] LI C, HUANG X J, PENG Q, et al. Physicochemical properties of peanut protein isolate-glucomannan conjugates prepared by ultrasonic treatment[J]. Ultrason Sonochem, 2014, 21(5): 1722-1727.
- [11] 陈雅静, 赵路苹, 华欲飞, 等. 植物种子油体的提取及其性质的初步研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(5): 62-67.
- [12] 李晓虎, 李剑, 孙才新, 等. 植物油中提取的环保液体绝缘材料[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2005, 28(1): 36-41.
- [13] CHEN B C, MCCLEMENTS D J, GRAY D A, et al. Physical and oxidative stability of pre-emulsified oil bodies extracted from soybeans[J]. Food Chem, 2012, 132(3): 1514-1520.
- [14] MURPHY D J, CUMMINS I, KANG A S. Synthesis of the major oil-body membrane protein in developing rapeseed (*Brassica napus*) embryos. Integration with storage-lipid and storage-protein synthesis and implications for the mechanism of oil-body formation[J]. Biochem J, 1989, 258(1): 285-293.
- [15] 崔春利, 张鸿超, 王秋岭, 等. 温度对不同油料作物油脂体理化稳定性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(3): 1-6.
- [16] SILOTO R M P. The accumulation of oleosins determines the size of seed oilbodies in *Arabidopsis*[J]. Plant Cell, 2006, 18(8): 1961-1974.
- [17] TING J, LEE K, RATNAYAKE C, et al. Oleosin genes in maize kernels having diverse oil contents are constitutively expressed independent of oil contents[J]. Planta, 1996, 199(1): 158-165.
- [18] NIKIFORIDIS C V, BILIADERIS C G, KIOSSEOGLOU V. Rheological characteristics and physicochemical stability of dressing-type emulsions made of oil bodies-egg yolk blends[J]. Food Chem, 2012, 134(1): 64-73.
- [19] CAMPANELLA O H, DORWARD N M, SINGH H. A study of the rheological properties of concentrated food emulsions[J]. J Food Eng, 1995, 25(3): 427-440.
- [20] 杜娟, 解春艳, 侯晓强, 等. 苦杏仁蛋白质功能特性的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(7): 1605-1610.
- [21] 王悦. 反胶束法提取核桃蛋白及蛋白理化性质的研究[D]. 河北 邯郸: 河北工程大学, 2018.
- [22] 王标诗, 曾亿均, 娄孟, 等. 番木瓜籽蛋白质的提取工艺及其功能性质[J]. 食品工业科技, 2017, 38(14): 181-187.
- [23] DELEU M, VACA-MEDINA G, FABRE J F, et al. Interfacial properties of oleosins and phospholipids from rapeseed for the stability of oil bodies in aqueous medium[J]. Colloid Surface B, 2010, 80(2): 125-132.
- [24] NIKIFORIDIS C V, KIOSSEOGLOU V. Physicochemical stability of maize germ oil body emulsions as influenced by oil body surface-xanthan gum interactions[J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(1): 527-532.
- [25] LI P, ZHANG W, HAN X, et al. Demulsification of oil-rich emulsion and characterization of protein hydrolysates from peanut cream emulsion of aqueous extraction processing[J]. J Food Eng, 2017, 204: 64-72.
- [26] 彭姣, 张彩猛, 孔祥珍, 等. 利用芝麻内源性蛋白酶破乳的影响因素探究[J]. 中国油脂, 2020, 45(10): 41-46, 51.