

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90187

水酶法提取花生油过程中乳状液性质研究进展

Advance of progress on emulsion properties in aqueous enzymatic extraction of peanut oil

赵宇辉 陈复生 刘晨 高玉航

ZHAO Yu-hui CHEN Fu-sheng LIU Chen GAO Yu-hang

(河南工业大学粮油食品学院, 河南 郑州 450001)

(College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China)

摘要: 对水酶法提取花生油过程中乳状液形成的相关机理和物理、化学、生物等环境因素对其稳定性的影响进行了综述, 并对水酶法工业化应用中的破乳方法进行了展望。

关键词: 花生; 水酶法; 乳状液性质; 油脂; 破乳

Abstract: In this review, the mechanism of emulsion formation and the influence of physical, chemical, biological and other environmental factors on its stability were summarized, and the demulsification method in the industrial application of hydroenzymatic extraction of peanut oil was prospected.

Keywords: peanut; aqueous enzymatic method; properties of emulsion; lipidic; demulsification

花生又名“落花生”“长生果”, 含油量高达 50% 左右, 是中国重要的油料作物之一。中国花生用于榨油的比例要高于其他国家^[1]。花生油风味清香、色泽明亮, 同时易于消化, 是深受消费者喜爱的优质油脂。

花生油的传统提取方法有压榨法和浸出法。压榨法是利用机械压力将油脂从油料中分离出来, 具有工艺简单, 提取出的油风味纯正等特点, 但机械强度大, 提油率不高, 且会使蛋白变性。浸出法是使用有机溶剂萃取提油, 提油率可高达 95% 以上, 但工艺中正己烷等有机溶剂易燃易爆, 加工过程中会存在一定的危险, 且花生蛋白在湿粕高温脱溶中变性严重^[2]。水酶法是一种新型的提油方法, 其条件安全温和, 以水作为溶剂, 且用酶作为辅助提高了油脂的提取率, 在提取油脂的过程中也能高效回

收油料中其他价值组分。研究拟对水酶法提取花生油过程中乳状液形成的相关机理和物理、化学、生物等环境因素对其稳定性的影响进行综述, 并对水酶法工业化应用中的破乳方法进行展望, 旨在为学者们在水酶法提取花生油过程中乳状液破乳阶段的研究提供总结与参考。

1 水酶法

1.1 水酶法原理

花生油脂以两种存在形式, 一种是以脂滴和脂肪颗粒的形式存在于花生细胞中, 一种是与其他大分子结合, 如与碳水化合物结合形成脂多糖, 与蛋白质结合形成脂蛋白。水酶法能同时提取花生油和蛋白质, 该法以机械破碎和酶解为基础, 通过使用能降解油料细胞中的脂蛋白、脂多糖、细胞壁等大分子复合物的酶来处理油料, 达到破坏其组织结构、水解大分子复合体, 从而使油脂和蛋白质充分释放, 并利用各组分对油水的亲和力不同以及油水密度差不同将油和非油成分分离开, 使油游离出来^[3]。

1.2 水酶法工艺

20 世纪 50 年代, Sugarman 等^[4-5]用水作溶剂提取和分离油籽中蛋白和油脂, 引起了国内外众多学者的关注。但由于水剂法提油率不高, 得到的油脂也有蛋白残留, 限制了工业化生产。20 世纪 70 年代, Lanzani 等^[6]利用酶提取植物蛋白和油脂, 为水酶法工业化奠定了基础。

Zhang 等^[7]将花生种子在 190 °C、料水比 1 : 5 (g/mL)、酶浓度 2% 条件下烘烤 20 min 后, 游离油得率为 78.6%, 水解蛋白得率为 80.1%。用冻融法对残留乳状液进行破乳, 总游离油得率提高至 86%~90%。李鹏飞等^[8]提出了传统和新型水酶法工艺的技术路线图 (图 1), 传统水酶法的花生先经粉碎, 碱提后加酶辅助提取再进行离心。而此新型水酶法在加酶后碱提, 经离心得到含油 (77.89±1.24)% 乳状液, 再使用酶法破乳离心。

基金项目: “十三五”国家重点研发计划 (编号: 2018YFD0401100); 国家自然科学基金面上项目 (编号: 21676073)

作者简介: 赵宇辉, 男, 河南工业大学在读硕士研究生。

通信作者: 陈复生 (1963—), 男, 河南工业大学教授, 博士。

E-mail: fushengc@haut.edu.cn

收稿日期: 2021-10-04 **改回日期:** 2022-03-11

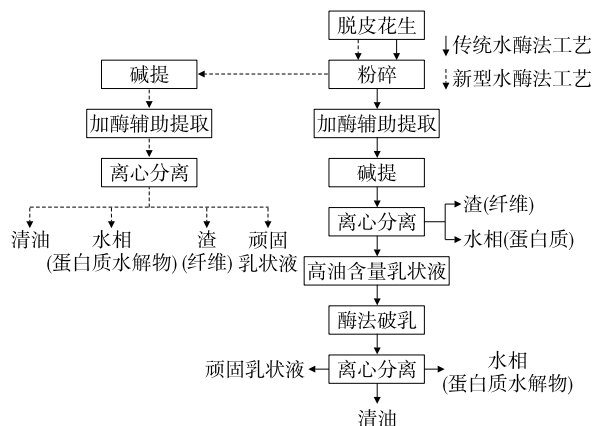


图1 传统水酶法和新型水酶法的工艺流程

Figure 1 The technological process of traditional and new aqueous enzymatic methods

新型水酶法(投料 500 kg)的油提取率可以达到 89.4% 以上。此法不但可以提高提油率,又降低了酶的用量,并保护了大部分花生蛋白不被破坏。

2 乳状液的组成与稳定机制

花生乳状液是混合体系,粒径为 100 nm~10 μm^[9]。王瑛瑶等^[10]用冲淡法测定水酶法花生乳状液的类型,发现与油相比,水更容易与乳状液接触,所以得出该乳状液是 O/W 型乳状液。花生水酶法乳状液成分见表 2,其大部分成分是水 and 油脂还有少部分的蛋白,其中蛋白质和淀粉、纤维等物质形成静电排斥和空间位阻,使得油滴之间聚集有了一定困难,保持了乳状液稳定性。

表 2 花生乳状液的主要成分

Table 2 The main components of peanut emulsion

g/100 g			
成分	含量	成分	含量
水	44.53±0.31	淀粉	2.11±0.27
蛋白质	5.59±0.19	纤维	3.68±0.17
油脂	43.97±0.20		

蛋白质是油水两亲性物质,在油水界面会自发形成一层界面蛋白膜。这种吸附过程有两种熵增驱动力:蛋白质分子去折叠过程和蛋白质疏水区脱水过程^[11]。Freer 等^[12]认为蛋白质吸附到界面上有 3 个阶段:① 自然状态构象下的初始吸附;② 进一步吸附和界面稳定后,蛋白质部分展开,暴露出疏水基团;③ 蛋白质继续展开,形成多层结构的网状或玻璃状状态。蛋白质在油水界面产生的吸附是水酶法破乳提取清油过程中的一个难题。蛋白质的柔性和聚集性导致在油/水界面吸附时形成黏弹性多层膜。这种界面蛋白膜同时具有一定的静电排斥和空间位阻,维持了花生乳状液的稳定性。胡存书等^[13]研究了花生乳状液界面吸附蛋白的提取工艺,并对其乳化性和

溶解性进行研究,与大豆、菜籽蛋白相比,得到的花生吸附蛋白乳化性最好,溶解性最差。说明花生蛋白更容易与水 and 油形成稳定乳状液,对破乳工艺有更高的要求。

乳状液的界面膜组成与性质和液滴大小与分布是影响界面膜的主要因素。根据 stockes 定理,乳状液液滴越小、沉淀速度越慢且粒径分布范围越窄,乳状液越稳定^[14]。张杏辉等^[15]对花生蛋白脂肪乳状液中脂肪球油滴的大小分布进行了测定。花生脂肪球油滴如果未经过匀浆处理,油滴直径达到 28 μm,经过匀浆后,油滴直径分布在 1~10 μm,随着匀浆时间的增加,脂肪球油滴直径可分散至 0.3~9.0 μm。所以花生乳状液经过匀浆后,粒径变小,乳状液稳定性增加。朱凯艳等^[16]利用小型中药粉碎机在粉碎 11 次(8 s/次)后将花生体积平均粒径减小到 28 μm,继续粉碎花生乳状液发生严重乳化现象导致乳状液稳定性增加。这可能是当粒径降低到极限后继续被粉碎,由于蛋白与油过度分散,接触面积增加,加入到水相再混合蛋白质分子,在油水界面的分子层越致密导致的结果。因此破乳阶段需要增大乳状液的粒径,使油滴聚集且蛋白质分子层减少从而降低乳状液的稳定性。界面蛋白膜具有一定的界面张力,Zhang 等^[17]研究发现,界面蛋白张力为花生分离蛋白>花生乳状液的界面蛋白>经过冻融处理后剩余乳状液蛋白,说明经过冻融处理能改变乳状液稳定机制,为破乳奠定了理论基础。刘向军等^[18]发现花生乳状液界面蛋白在水相和花生油模拟体系中的乳化稳定性显著优于花生分离蛋白和非界面蛋白,可能是由于界面蛋白中含有分子量较大的组分和分子量较小的花生油体蛋白,其二硫键含量、表面疏水性均高于花生分离蛋白和非界面蛋白。内源荧光光谱分析表明:界面蛋白和非界面蛋白分子展开程度高于花生分离蛋白。这种稳定性使得花生乳状液难以破乳,限制了水酶法的工业化。Niu 等^[19]用核磁共振波谱检测了水酶法花生乳状液中 5 种磷脂。其中,在油体稳定性中起重要作用的磷脂酰胆碱最为丰富。因此除了蛋白,磷脂也会对乳状液起到稳定作用。

3 影响乳状液稳定性的因素

3.1 物理因素

3.1.1 温度 乳状液温度越高,油滴布朗运动加剧,粒子间相互作用减弱,分子流动阻力降低,黏度相应变低,液滴间聚集增大,从而一定程度上降低了乳状液稳定性。在冷冻过程中,乳状液中出现油相结晶,晶体刺入水相,相邻油滴之间脂肪晶体结晶,会刺穿界面蛋白膜,降低乳状液稳定性从而使得油滴聚集^[20]。Brygida 等^[21]研究发现,未加热蛋白形成的乳状液稳定性较差仅有 42.4%,而预热温度提高到 90 °C 可使乳状液稳定性提高到 50.4%;经过预热的油可以得到更稳定的乳状液;随着温度从 60 °C 升至 95 °C,乳状液的稳定性由 52.2% 下降到

48.2%。这可能是因为在较高温度下,更多的蛋白质会散布在乳液滴界面上,因此乳液的粒径增大。刘晨等^[22]研究发现,90℃烘烤得到的水酶法花生含油乳状层油脂的粒径显著大于60℃烘烤条件下的,且由许多小油滴汇聚成大的油滴,形状呈不规则状。90℃烘烤得到的水酶法花生含油乳状层较60℃烘烤预处理的更易于破乳。Lin等^[23]证明了冻融作用诱导破乳的渐进过程,并认为水结冰的体积膨胀和油水界面张力被确定为破乳的主要驱动力,且最佳的冷冻方法为低温或干冰中冷冻。王瑛瑶等^[10]用水酶法提取花生蛋白和油脂过程中产生的乳状液在90℃高温下加热10 min,以3 000 r/min离心20 min,破乳率仅为32.7%。同时对乳状液进行融冻破乳处理,破乳率高达91.6%。由此推测温度对花生乳状液影响较大,其中冷冻比高温影响更大。因此在水酶法工艺上,采用烘烤升温预处理和冻融破乳是一个较好的选择。

3.1.2 微波和高压 微波辐射形成高频变化的电磁场,使分子旋转到高速,破坏油水界面膜等电层结构,扰乱其电荷分布。此外分子自由地上下运动,碰撞和聚结,使油和水分离^[24]。Liu等^[25]将微波破乳方法与加热、冻融等常规破乳方法进行比较,与加热破乳相比,盐助微波破乳获得了更高的游离油得率。微波破乳法得油率与冻融法相似,且时间较短。在最佳破乳条件下,CaCl₂辅助微波破乳时间仅为2 min,油得率可达92.3%。Deng等^[26]研究发现,短波红外辐射破坏了细胞微结构和油体膜,有利于油的提取。与不加短波红外的对照组相比,出油率显著提高了8.74%,说明通过微波等物理手段可以辅助水酶法提取花生油的工艺,增大水酶法的得油率。

二氧化碳对非极性物质有强亲和力,溶解在油相中使油/水乳状液的油滴膨胀,导致密度降低。油相和水相之间的密度差异增强了破乳。二氧化碳溶于水形成碳酸。作为电解质,碳酸破坏了水包油乳状液的电荷平衡,油水界面的表面活性剂层变得不稳定^[27]。李杨等^[28]确定了水酶法蒸汽破乳的最优工艺条件为蒸汽压力18.2 MPa,温度115℃,蒸汽处理时间21 s,此时破乳率为93.49%,总油提取率为89.54%,且高压蒸汽破乳效果明显优于水浴加热破乳。高压蒸汽破乳虽然破乳率高,但所需温度过高,成本大,不利于水酶法破乳的工业化生产。

3.2 化学因素

3.2.1 离子强度 蛋白质形成的界面膜通常相对较薄且带电荷,因此防止蛋白质稳定乳液中液滴絮凝的主要机制是静电排斥而不是空间排斥。花生乳状液对离子强度的影响特别敏感^[29]。水酶法乳状液液滴表面存在电位差和双电层,当油滴间互相靠近时,油滴表面上的双电层相互重叠,静电排斥力使油滴分开,从而乳状液保持稳定。当体系中pH接近蛋白质等电点时,电荷之间的排斥作用

力迅速降低,油滴迅速聚集,乳状液稳定性降低^[30]。Zhou等^[31]将CaCl₂和Alcalase 2.4 L联合用于花生水酶法工艺,作为一种破乳方法。粒径和 ζ -电位测试表明,CaCl₂使乳状液的稳定性急剧下降。Zhang等^[32]在盐助微波破乳条件下,破乳时间仅为5 min,得油率为80%~90%,且CaCl₂的破乳效率优于KCl和NaCl。无机盐作为一种强电解质,在乳状液中可以快速解离成自由移动的离子;其能吸收微波,在油体表面形成一个温度高于环境温度的“热点”加速反应。此外,无机盐降低了油水界面双电子层的厚度,增强了相分离能力。何秋实等^[33]针对水酶法乳状液难以破除的问题,选取NaCl浓度、盐反应时间、盐反应温度3个因素为自变量,以乳状液得油率为响应值,通过SAS 9.2进行响应面试验设计,确定了最佳破乳率工艺条件为盐浓度5.6%,盐反应温度93.5℃,盐反应时间16 min,破乳后得油率为87.92%,说明盐离子不但可以单独破乳而且可以与其他破乳方法联用。

3.2.2 有机溶剂 乙醇对水相有强亲和作用,这改变了水相和水膜的原有结构,改变了支撑分散相界面膜两亲表面活性组分。乙醇对亲水端有吸附作用,这种拉力改变了界面膜的稳定性,有利于油滴聚集成大液滴,逐渐浮入上层形成油相,导致花生乳状液不稳定,从而得到较高的破乳率。迟延娜等^[34]在冻融条件下利用乙醇辅助水酶法对花生乳状液进行破乳,使破乳率由81.50%提高到90.00%。因此,醇类可以对破乳起辅助作用,对提升出油率有重要意义。

3.3 生物因素

Niu等^[35]使用木瓜蛋白酶在55℃,酶水解比1:3(g/mL),酶浓度1 400 U/g,水解时间3 h,与水解前的乳状液相比,酶水解后水相氨基酸含量较高,花生乳状液黏度较低,乳状液粒径明显变大,说明木瓜蛋白酶可以降低花生乳状液内的蛋白质,并将其溶解在水中。油体的外侧失去了由膜蛋白提供的静电排斥和空间位阻的保护,从而导致乳状液系统的黏度和分子空间位阻降低。Zhang等^[36]发现花生乳状液的酶解失稳现象Mi-fong[®] 2709破乳效果优于Protex 6L,可能是蛋白酶水解界面蛋白,从而破坏强黏弹性界面膜,并使得油滴聚结。Li等^[37]研究了物理(加热、冻融)、盐(CaCl₂和NaCl)和酶处理(Protex 6L、Protex 7L、Protex 50FP、Alcalase 2.4L、木瓜蛋白酶、磷脂酶和淀粉酶)对花生乳状液中游离提油率的影响,与盐和物理方法相比,蛋白酶的破乳效果更好。Chen等^[38]研究发现花生中存在一种双链天冬氨酸蛋白酶,对花生蛋白有着较高亲和力,水解的最佳pH为4.0,温度为60℃,天冬氨酸蛋白酶不仅水解乳状液内源蛋白,而且水解乳状液外源蛋白,具有一定的破乳效果。因此探究不同酶对破乳效果的影响,对水酶法的工业化生产有重大意义。

4 展望

随着固定化酶技术的不断成熟,酶制剂的种类不断增多,水酶法具有更加广泛的开发和应用前景。通过对花生乳状液性质的研究,从影响乳状液稳定性机理出发,找到最合适的破乳方法,从而提高提油率。影响乳状液稳定性的物理、化学、生物等因素较多,但物理方法所需能源较多、化学方法需要引入有机溶剂,工艺上存在安全隐患;生物酶法所需酶制剂成本较高,亟需一种绿色环保高效且成本低的破乳方法。比如用花生自身的脂肪酸破乳对提高水酶法提取花生油工艺上的出油率以及降低成本有重大研究前景,对乳状液体系的理论研究和应用开发有着重要意义,学者们需要进一步研究乳状液的稳定机制,探讨其在工业中的应用前景。

参考文献

- [1] 王瑞元. 我国花生生产、加工及发展情况[J]. 中国油脂, 2020, 45(4): 1-3.
WANG R Y. Peanut production, processing and development in China[J]. China Oil, 2020, 45(4): 1-3.
- [2] KAMESWARA R K, PAXTON P, RANDEEP R, et al. Proteomics analysis of mature seed of four peanut cultivars using two-dimensional gel electrophoresis reveals distinct differential expression of storage, anti-nutritional, and allergenic proteins[J]. Plant Science, 2008, 175(3): 321-329.
- [3] 陈复生, 郝莉花, 江连州, 等. 酶技术制取植物油脂的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2015, 36(5): 106-112.
CHEN F S, HAO L H, JIANG L Z, et al. Research progress in preparation of vegetable oil by enzyme technology[J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2015, 36(5): 106-112.
- [4] SUGARMAN N. Process for simultaneously extracting oil and protein oleaginous materials: US 2762820[P]. 1956-09-11.
- [5] SUBRAHMANYAN V, BHATIA D S, KALBAG S S, et al. Integrated processing of peanut for the separation of major constituents[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1959, 36(2): 66-70.
- [6] LANZANI A, PETRINI M C, COZZOLI O, et al. On the use of enzymes for vegetable-oil extraction: A preliminary report[J]. Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse, 1975, 21: 226-229.
- [7] ZHANG S B, LU Q Y, YANG H S, et al. Aqueous enzymatic extraction of oil and protein hydrolysates from roasted peanut seeds[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2011, 88(5): 727-732.
- [8] 李鹏飞. 水酶法提取花生油及蛋白质[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 17-18.
LI P F. Extraction of peanut oil and protein by aqueous enzyme method[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017: 17-18.
- [9] FRIBERG S E, LARSSON K. Food emulsions[M]. New York: Marcel Dekker, 1997: 23-30.
- [10] 王瑛瑶, 王璋, 罗磊. 水酶法提花生油中乳状液性质及破乳方法[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 259-263.
WANG Y Y, WANG Z, LUO L. Properties and demulsification methods of aqueous enzymatic extraction of peanut oil[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2008, 24(12): 259-263.
- [11] 万芝力. 大豆蛋白-甜菊糖苷相互作用及对界面主导食品体系的调控研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016: 19-23.
WAN Z L. Interaction between soybean protein and stevioside and its regulation on interface leading food system[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016: 19-23.
- [12] FREER E M. Interfacial rheology of globular and flexible proteins at the hexadecane/water interface: Comparison of shear and dilatation deformation[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2004, 108: 3 835-3 844.
- [13] 胡存书, 章绍兵, 王子伟, 等. 花生乳状液界面吸附蛋白提取工艺及其乳化性质的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2015, 36(1): 17-21.
HU C S, ZHANG S B, WANG Z W, et al. Study on extraction process and emulsification properties of peanut emulsion interface adsorbed protein[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2015, 36(1): 17-21.
- [14] BALDURSDOTTIR S G, FULLERTON M S, NIELSEN S H, et al. Adsorption of proteins at the oil/water interface-Observation of protein adsorption by interfacial shear stress measurements[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2010, 79: 41-46.
- [15] 张杏辉, 陈全斌, 陈国汉, 等. 花生蛋白脂肪乳状液中脂肪球的大小分布[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 1994(3): 59-65.
ZHANG X H, CHEN Q B, CHEN G H, et al. Size distribution of fat globules in peanut protein fat emulsion[J]. Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition), 1994(3): 59-65.
- [16] 朱凯艳, 张文斌, 杨瑞金, 等. 粉碎处理对花生水酶法提取油脂和蛋白质的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 119-122.
ZHU K Y, ZHANG W B, YANG R J, et al. Effect of crushing treatment on enzymatic extraction of oil and protein from peanut[J]. Food & Machinery, 2012, 28(2): 119-122.
- [17] ZHANG S B, LU Q Y. Characterizing the structural and surface properties of proteins isolated before and after enzymatic demulsification of the aqueous extract emulsion of peanut seeds[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 47: 51-60.
- [18] 刘向军. 花生乳状液体系蛋白质的酶解动力学及破乳机制研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013: 33-34.
LIU X J. Enzymatic hydrolysis kinetics and demulsification mechanism of protein in peanut emulsion system[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2013: 33-34.
- [19] NIU R H. Composition and rheological properties of peanut oil bodies from aqueous enzymatic extraction: Biochemistry and biotechnology[J]. Journal of Oleo Science, 2021, 70(3): 375-383.
- [20] 李杨, 李秋慧, 王海晴, 等. 大豆蛋白-磷脂酶解物共建乳化体系性质研究[J]. 中国食品学报, 2015, 15(11): 41-47.
LI Y, LI Q H, WANG H Q, et al. Study on the properties of co construction emulsification system of soybean protein

- phospholipase hydrolysate[J]. *Journal of Chinese Food*, 2015, 15(11): 41-47.
- [21] DYBOWSKA B E. Properties of milk protein concentrate stabilized oil-in-water emulsions[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 88(4): 507-513.
- [22] 刘晨, 李宇健, 陈复生, 等. 烘烤对水酶法提取花生油品质及乳状液稳定性的影响[J]. *中国油脂*, 2020, 45(6): 1-5.
LIU C, LI Y J, CHEN F S, et al. Effect of baking quality and emulsion stability of aqueous enzymatic extraction of peanut oil[J]. *Chinese Journal of Oils and Fats*, 2020, 45(6): 1-5.
- [23] LIN C, HE G H, LI X C, et al. Freeze/thaw induced demulsification of water-in-oil emulsions with loosely packed droplets [J]. *Separation and Purification Technology*, 2007, 56(2): 51-61.
- [24] FANG C S, CHANG B K L, LAI P M C, et al. Microwave demulsification[J]. *Chemical Engineering Communications*, 1988, 73(1): 227-239.
- [25] LIU W, XIAO B, YANG G L, et al. Rapid salt-assisted microwave demulsification of oil-rich emulsion obtained by aqueous enzymatic extraction of peanut seeds[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2020, 122(2): 31-40.
- [26] DENG B X. Using short-wave infrared radiation to improve aqueous enzymatic extraction of peanut oil: Evaluation of peanut cotyledon microstructure and oil quality[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2018, 120(2): 30-38.
- [27] NAGAO S, TAKAHASHI T, SHONO A, et al. Effects of high-pressure carbon dioxide on the demulsification of O/W emulsion[J]. *Desalination and Water Treatment*, 2010, 17(1/2/3): 44-45.
- [28] 李杨, 齐宝坤, 隋晓楠, 等. 水酶法提取花生油高压蒸汽破乳工艺研究[J]. *大豆科技*, 2019(S1): 425-428.
LI Y, QI B K, SUI X N, et al. Study on high pressure steam demulsification of peanut oil extracted by aqueous enzymatic method[J]. *Soybean Science and Technology*, 2019 (S1): 425-428.
- [29] HOME D S. Protein-stabilized emulsions[J]. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 1996(6): 305-313.
- [30] MCCLEMENTS D J. *Food emulsions: Principles, practices, and techniques*, second edition [M]. Boca Raton: CRC Press, 2004: 23-30.
- [31] ZHOU L Z, CHEN F S, LIU K L, et al. Combination of Alcalase 2.4L and CaCl₂ for aqueous extraction of peanut oil[J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(6): 71-80.
- [32] ZHANG S B, WANG T. Destabilization of emulsion formed during aqueous extraction of peanut oil: Synergistic effect of tween 20 and pH[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2016, 93(11): 1 551-1 561.
- [33] 何秋实. 响应面优化无机盐破乳工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(24): 304-306.
HE Q S. Study on the optimization of the demulsification process of inorganic salt with response surface[J]. *Food Industry Technology*, 2012, 33(24): 304-306.
- [34] 迟延娜, 张文斌, 杨瑞金, 等. 顽固乳状液的破乳处理提高花生游离油提取率[J]. *农业工程报*, 2014, 30(8): 257-264.
CHI Y N, ZHANG W B, YANG R J, et al. Demulsification of stubborn emulsion improves the extraction rate of peanut free oil[J]. *Acta Agriculturae Engi Sinica*, 2014, 30(8): 257-264.
- [35] NIU R H, CHEN F S, ZHAO Z T, et al. Effect of papain on the demulsification of peanut oil body emulsion and the corresponding mechanism[J]. *Journal of Oleo Science*, 2020, 69(6): 617-625.
- [36] ZHANG S B, LIU X J, LU Q Y, et al. Enzymatic demulsification of the oil rich emulsion obtained by aqueous extraction of peanut seeds[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2013, 90(8): 1 261-1 270.
- [37] LI P F, ZHANG W B, HAN X, et al. Demulsification of oil-rich emulsion and characterization of protein hydrolysates from peanut cream emulsion of aqueous extraction processing[J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 204: 67-72.
- [38] CHEN Y M. A two-chain aspartic protease present in seeds with high affinity for peanut oil bodies[J]. *Food Chemistry*, 2018, 241: 443-451.
-
- (上接第 151 页)
- [20] 于怀智, 陈东杰, 姜沛宏. 近红外光谱对蒙阴黄桃硬度和可溶性固形物的在线检测[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(14): 216-221.
YU H Z, CHEN D J, JIANG P H, et al. Online prediction of soluble solids and firmness of Mengyin peaches based on Vis/NIR diffuse-transmission spectroscopy [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(14): 216-221.
- [21] 周慧娟, 杜纪红, 苏明申, 等. 水蜜桃果皮中色素和芳香物质变化与其内在品质的相关性[J]. *经济林研究*, 2019, 37(1): 1-10.
ZHOU H J, DU J H, SU M S, et al. Relationship of content changes of pigments and aromatic compounds in pericarp with internal quality of honey peach fruits[J]. *Non-Wood Forest Research*, 2019, 37(1): 1-10.
- [22] 曹梦珂. 六个品种苹果采后品质变化表征因子及低温货架期预测模型研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2021: 21-24.
CAO M K. Research on characterization factors of postharvest quality change and low temperature shelf life prediction model of six apple varieties [D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2021: 21-24.
- [23] 周慧娟, 苏明申, 叶正文, 等. 桃果实采后生理生化及冷害研究进展[J]. *果树学报*, 2017, 34(9): 1 204-1 212.
ZHOU H J, SU M S, YE Z W, et al. Advances in the research into physiological and biochemical characteristics and chilling injury of peach fruits after harvest[J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34(9): 1 204-1 212.
- [24] 张博. 苹果贮藏期动态品质及最佳贮藏时间预测模型研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2021: 31.
ZHANG B. Study on the prediction model of dynamic quality and optimal storage time of apple[D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2021: 31.