

花生品种对水酶法制油水相体系中油脂和蛋白质分布的影响

郭倩倩¹, 郭兴凤¹, 朱婷伟¹, 田亚东¹, 陈复生¹, 张明², 万昕冉¹

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 郑州 450001; 2. 济宁市机械设计研究院, 山东 济宁 272000)

摘要:为了明确花生品种对水酶法制油的影响,测定了不同品种花生(豫花23、豫花37、豫花9326)的基本成分,并研究了水酶法制油工艺条件对不同品种花生水相体系中油脂和蛋白质分布的影响。结果表明:3个花生品种中,豫花37的油脂、水分、灰分、可溶性糖、可溶性总酚含量均最高,豫花23的蛋白质含量最高(25.36%),豫花9326的粗纤维含量最高(6.59%);花生品种对水相体系中油脂和蛋白质的分布有显著影响;以水相体系中低油脂和高蛋白质分布为准则得到水酶法制油的最佳工艺条件为豫花37的粉碎时间90 s、豫花23和豫花9326的粉碎时间120 s,酶用量1.0%,酶解时间2 h,酶解温度50℃,此时豫花23、豫花37、豫花9326在水相体系中油脂分布分别为6.21%、4.19%、4.19%,蛋白质分布分别为50.99%、75.68%、63.84%。综上,豫花37能在更短的粉碎时间内使水酶法制油过程中花生水相体系中的油脂分布少,蛋白质分布多,更适用于水酶法制油。

关键词:花生品种;水酶法水相体系;油脂分布;蛋白质分布

中图分类号:TS222+.1;TS224 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)09-0115-06

Influence of peanut varieties on the distribution of oil and protein in the aqueous phase system during oil extraction by aqueous enzymatic method

GUO Qianqian¹, GUO Xingfeng¹, ZHU Tingwei¹, TIAN Yadong¹,
CHEN Fusheng¹, ZHANG Ming², WAN Xinran¹

(1. College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;
2. Jining Machinery Design and Research Institute, Jining 272000, Shandong, China)

Abstract: In order to clarify the influence of peanut varieties on oil extraction by aqueous enzymatic method, the basic compositions of different varieties of peanuts (Yuhua 23, Yuhua 37, Yuhua 9326) were determined, and the effects of peanut varieties as well as the process conditions for oil extraction by aqueous enzymatic method on the distribution of oil and protein in the aqueous phase system were investigated. The results showed that among the three peanut varieties, Yuhua 37 had the highest content of oil, moisture, ash, soluble sugar and soluble total phenol, Yuhua 23 had the highest content of protein (25.36%), and Yuhua 9326 had the highest content of crude fiber (6.59%); the peanut varieties had a significant effect on the distribution of oil and protein in the aqueous phase system; the optimal process conditions for aqueous enzymatic method were obtained by taking the low oil and high protein distribution in the aqueous phase system as a guideline: pulverization time of Yuhua 37 90 s, Yuhua 23 and Yuhua 9326 120 s, enzyme dosage 1.0%, enzymatic hydrolysis time 2 h, and enzymatic hydrolysis temperature

50℃. Under these conditions, the oil distributions of Yuhua 23, Yuhua 37, and Yuhua 9326 in the aqueous phase system were 6.21%, 4.19%, 4.19%, and the protein distributions were 50.99%, 75.68% and 63.84%, respectively. In conclusion, Yuhua 37 can make less oil distribution and more

收稿日期:2023-11-06;修回日期:2024-05-24

基金项目:国家自然科学基金区域创新发展联合基金重点支持项目(U21A20270)

作者简介:郭倩倩(1996),女,硕士研究生,研究方向为蛋白质资源开发和利用(E-mail) gqq4771229@163.com。

通信作者:郭兴凤,教授(E-mail) guoxingfeng@haut.edu.cn。

protein distribution in the aqueous phase system in the oil extraction by aqueous enzymatic method in shorter pulverization time, which is more suitable for oil extraction by aqueous enzymatic method.

Key words: peanut variety; aqueous enzymatic method aqueous phase system; oil distribution; protein distribution

花生中油脂与蛋白质分别以油体(OB)和蛋白质体(PB)的形式储存在花生子叶的细胞中,细胞中的细胞壁具有致密的网状结构^[1]。水酶法制油过程中细胞壁的破坏程度直接影响油脂和蛋白质的释放^[2-4]。因此,通常采用机械的方法将花生组织破碎,再添加复合植物纤维素酶降解细胞壁,使油脂和蛋白质更好地释放^[2,5-6]。释放出的油脂和蛋白质会分散在乳相、水相和固相中,蛋白质作为两性物质,有助于油脂稳定存在于水相体系,造成总得油率低,因此水相体系中油脂和蛋白质的分布是影响水酶法制油效率的重要因素之一。不同花生品种的OB和PB的粒径、数量、特性存在差异,进而影响水酶法提油效果^[7],但是目前还尚未有关于花生品种对水相体系油脂和蛋白质分布影响的研究。因此,本研究将探讨水酶法制油过程中花生品种对水相体系中油脂和蛋白质分布的影响,以期寻找更适合于水酶法制油的花生品种。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

花生原料:豫花23购于河南孟州,豫花37购于河南邦农种业有限公司,豫花9326购于河南豫研种子科技有限公司。

复合植物水解酶 Viscozyme L(酶活5 086 U/mL,最适pH 3.3~3.5,最适温度40~50℃^[8]),食品级,诺维信生物技术有限公司;其他试剂均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

BT-9300s激光粒度分析仪,辽宁丹东百特仪器有限公司;MSHOT生物显微镜,广州市明美光电技术有限公司;K1160全自动凯氏定氮仪,山东济南海能仪器有限公司;722S可见光分光光度计,上海仪电分析仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 花生基本成分测定

油脂含量参照GB 5009.6—2016中索氏抽提法测定;蛋白质含量参照GB 5009.5—2016测定;灰分含量参照GB 5009.4—2016测定;水分含量参照GB 5009.3—2016中直接干燥法测定;粗纤维含量参照

GB/T 5009.10—2003测定;可溶性糖参照SN/T 4260—2015苯酚-硫酸法测定;可溶性总酚采用福林酚法^[9]测定。

1.2.2 花生水相体系制备

花生水相体系制备参考Zhou等^[10]的方法并适当改进。将花生仁在50℃烘箱中烘烤6h脱红衣。取30g花生仁,加入150mL去离子水,4℃浸泡14h,取出花生仁用去离子水洗涤2次,向花生仁中添加去离子水至总质量180g,用组织捣碎机以10 000 r/min粉碎一定时间得花生浆液,加入一定量复合植物水解酶,在一定温度下酶解一定时间,5 000 r/min离心15 min,取出水相,向沉淀中加入60 mL蒸馏水洗涤,离心取水相,将两次水相合并,即得花生水相体系。

1.2.3 花生浆液体积平均粒径的测定

采用激光粒度分析仪测定花生浆液的体积平均粒径。取适量1.2.2中制备的花生浆液,搅拌2h混匀,滴入BT-9300s激光粒度分析仪样品池,测定其体积平均粒径。

1.2.4 花生浆液微观形态观察

取1.2.2中制备的花生浆液1 mL,用去离子水稀释50倍,取适量滴于载玻片上,采用生物显微镜观察其微观形态。

1.2.5 花生水相体系油脂和蛋白质分布的测定

水相油脂含量的测定参考赵宇辉^[11]的方法,并稍加改进。准确称量10g花生水相体系加入2 mL的氨水,60℃下振荡15 min,冷却至室温。加入10 mL无水乙醇,混匀;加入25 mL无水乙醚,振摇60 s;再加入25 mL石油醚,振摇30 s。静置30 min,取出醚层,放入恒重的铝盒内,于102℃下干燥至恒重,称量。采用凯氏定氮法测定水相蛋白质含量。水相体系中油脂、蛋白质分布的计算分别见式(1)、式(2)。

$$X_1 = m_1/m_2 \times 100\% \quad (1)$$

$$X_2 = m_3/m_4 \times 100\% \quad (2)$$

式中: X_1 为水相体系油脂分布; m_1 为水相体系中油脂质量,g; m_2 为花生中油脂质量,g; X_2 为水相体系蛋白质分布; m_3 为水相体系中蛋白质质量,g; m_4 为花生中蛋白质质量,g。

1.2.6 数据处理

每个实验重复3次,结果以“平均值±标准差”表示。使用SPSS Statistics 27进行ANOVA差异显著性分析,并用Duncan多重比较法检验各样品之间的差异显著性($p < 0.05$)。采用Origin 2022软件作图。

2 结果与分析

2.1 花生基本成分

3个品种花生的基本成分见表1。

表1 花生基本成分

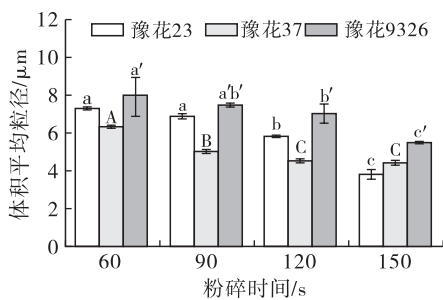
指标	豫花23	豫花37	豫花9326
油脂含量/%	48.32±0.03 ^a	49.47±0.09 ^a	47.89±0.02 ^a
蛋白质含量/%	25.36±0.05 ^a	21.20±1.00 ^b	24.29±0.12 ^a
水分含量/%	3.94±0.00 ^b	4.10±0.00 ^a	3.49±0.00 ^c
灰分含量/%	2.50±0.00 ^b	2.54±0.00 ^a	2.44±0.00 ^c
粗纤维含量/%	5.36±0.02 ^a	3.28±0.09 ^b	6.59±0.02 ^a
可溶性糖含量/%	5.40±0.00 ^b	6.31±0.00 ^a	6.21±0.00 ^a
可溶性总酚含量/%	2.28±0.00 ^a	2.43±0.00 ^a	2.39±0.00 ^a

注:同一行不同字母表示具有显著差异($p < 0.05$)

由表1可知:3个花生品种中豫花37的油脂、水分、灰分、可溶性糖、可溶性总酚含量均最高,分别为49.47%、4.10%、2.54%、6.31%、2.43%;豫花23蛋白质含量最高,为25.36%;豫花9326的粗纤维含量最高,为6.59%。

2.2 粉碎时间对不同品种花生浆液粒径和微观形态的影响

花生浆液粒径降低,酶对底物的作用效果提升,有利于油脂和蛋白质的释放^[12]。不同粉碎时间对不同品种花生浆液体积平均粒径的影响见图1。



注:同一品种不同字母表示具有显著差异($p < 0.05$)。下同

图1 不同粉碎时间下不同品种花生浆液的体积平均粒径

由图1可知,同一粉碎时间下,豫花37的浆液体积平均粒径最小,豫花9326的最大(除粉碎时间150s),且随着粉碎时间的延长,花生浆液体积平均粒径逐渐减小。

不同粉碎时间下不同品种花生浆液的微观形态见图2。

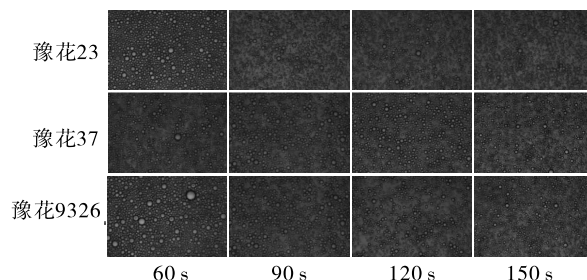
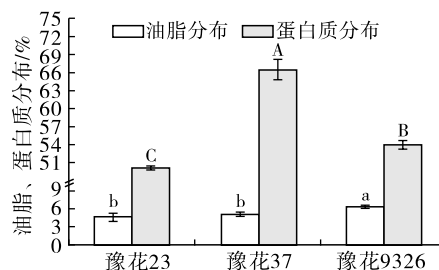


图2 不同粉碎时间下不同品种花生浆液的微观形态

由图2可知,3种花生中,豫花37的浆液粒径最小,豫花9326的粒径最大且分布最密集,且随着粉碎时间的延长,花生浆液粒径逐渐减小,当粉碎时间过长,颗粒分布密集,且粒径较小。因此,同一粉碎时间下,不同品种花生浆液的粒径存在差异。

2.3 花生品种对花生水相体系油脂和蛋白质分布的影响

在花生浆液粒径5 μm(豫花23粉碎120s,豫花37粉碎90s,豫花9326粉碎150s)、酶用量1.5%、酶解时间1.5h、酶解温度50℃条件下,研究花生品种对花生水相体系中油脂和蛋白质分布的影响,结果如图3所示。



注:同一指标不同字母表示具有显著差异($p < 0.05$)。下同

图3 花生品种对水相体系中油脂和蛋白质分布的影响

由图3可知,不同品种花生水相体系中油脂和蛋白质分布均有显著差异。豫花9326水相体系中油脂分布大于豫花37和豫花23。豫花37水相体系中蛋白质分布最多,原因可能是其可溶性糖含量较高(表1),蛋白质的游离氨基能与糖的亲水性羰基结合生成大分子物质,使蛋白质大分子亲水性增加^[13]。豫花23水相体系中的蛋白质分布最少,与郝莉花^[1]研究的蛋白质含量较高的花生经水酶法处理后,蛋白质提取率最低的结果一致。

按照水相体系中低油脂、高蛋白质分布的原则,综合来看,豫花37的提油效果最好。

2.4 水酶法制油工艺条件对不同品种花生水相体系油脂和蛋白质分布的影响

2.4.1 粉碎时间对不同品种花生水相体系油脂和蛋白质分布的影响

在酶用量1.5%、酶解时间1.5h、酶解温度

50℃条件下,考察粉碎时间对不同品种花生水相体

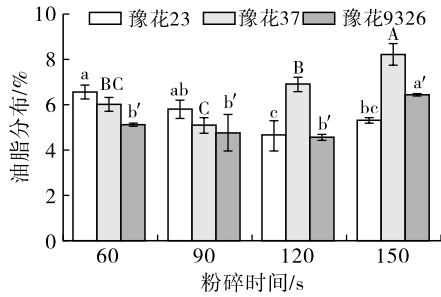
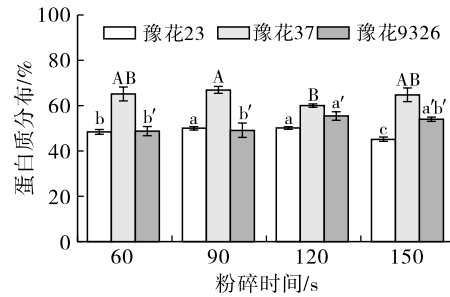


图4 粉碎时间对不同品种花生水相体系中油脂和蛋白质分布的影响

系中油脂和蛋白质分布的影响,结果如图4所示。由图4可知,随着粉碎时间的延长,不同品种花生水相体系油脂分布均呈现先降低后升高的趋势,当粉碎时间120 s时,豫花23和豫花9326水相体系中油脂分布最小,蛋白质分布最高,而豫花37在粉碎时间90 s时油脂分布就达到最小,蛋白质分布最高,粉碎效果达到最好,原因与豫花23和豫花9326的粗纤维含量较高(表1)有关。粗纤维是花生细胞壁的主要成分,粗纤维含量越高,则细胞壁越厚,越难被破坏^[14],进而影响细胞内油脂的释放。当继续延长粉碎时间时,水相体系中油脂和

蛋白质过度混合,加重乳化现象,使水相体系油脂分布增加^[15-16]。



因此,选择豫花37的粉碎时间为90 s,豫花23和豫花9326的粉碎时间为120 s。

2.4.2 酶用量对不同品种花生水相体系油脂和蛋白质分布的影响

在豫花37粉碎时间90 s、豫花23和豫花9326粉碎时间120 s,酶解时间1.5 h,酶解温度50℃条件下,考察酶用量对不同品种花生水相体系中油脂和蛋白质分布的影响,结果如图5所示。

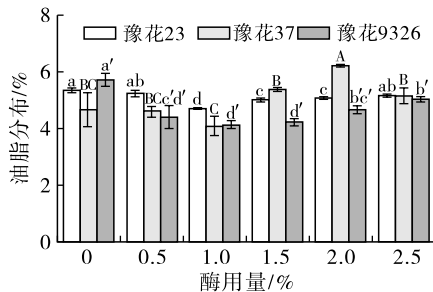


图5 酶用量对不同品种花生水相体系中油脂和蛋白质分布的影响

相体系中油脂分布最少,蛋白质分布最多。因此,选择最佳酶用量为1.0%。2.4.3 酶解时间对不同品种花生水相体系油脂和蛋白质分布的影响

在豫花37粉碎时间90 s、豫花23和豫花9326粉碎时间120 s,酶用量1.0%,酶解温度50℃条件下,考察酶解时间对不同品种花生水相体系中油脂和蛋白质分布的影响,结果如图6所示。

由图5可知,随着酶用量的增加,不同品种花生水相体系中油脂分布总体呈现先减少后增加的趋势,原因是酶用量的增加可促进蛋白质从花生细胞壁中释放,导致水相中蛋白质分布增加,但由于底物有限,且酶本身也是一种蛋白质,过多的酶会对油脂产生吸附作用^[17-18],进而导致水相中油脂分布增加。当酶用量为1.0%时,3个品种花生水相体系中油脂分布均最少,蛋白质分布最多,其中豫花37水

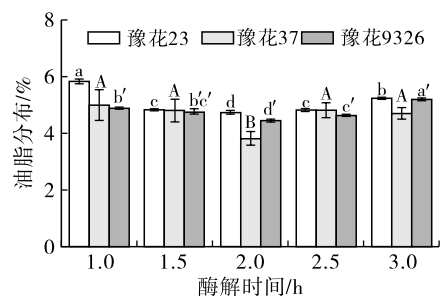
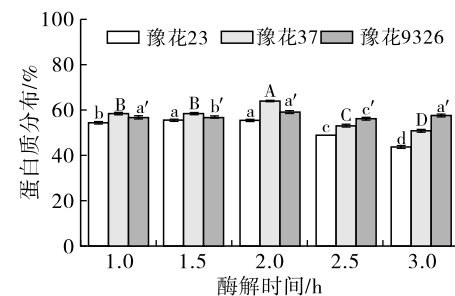
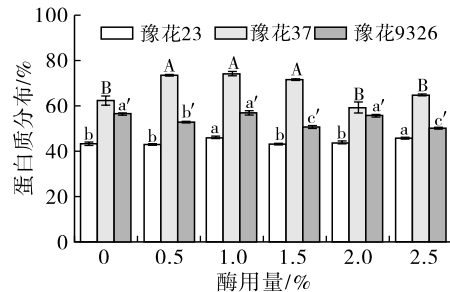


图6 酶解时间对不同品种花生水相体系中油脂和蛋白质分布的影响



由图6可知,在酶解时间为2 h时,3个品种花生水相体系中油脂分布最少,蛋白质分布最多,其中豫花37水相体系中油脂分布最少,蛋白质分布最多。酶解2 h后,花生水相体系中蛋白质分布逐渐减少,油脂分布增加,与熊浩然等^[8]研究所得花生水酶法制油过程中随着酶解时间延长,水相残油率先降低后升高的结果一致。推测原因是酶解时间过长,底物消耗完全以及酶解产物对酶的抑制作用导致蛋白质溶出速率减缓,且已经溶出的蛋白质长时

间处在较高温度,造成蛋白质聚集沉淀^[19-20],进而导致油滴表面的蛋白膜被破坏,促进油脂释放进入水相。因此,选择酶解时间为2 h。

2.4.4 酶解温度对不同品种花生水相体系油脂和蛋白质分布的影响

在豫花37粉碎时间90 s、豫花23和豫花9326粉碎时间120 s,酶用量1.0%,酶解时间2 h条件下,考察酶解温度对不同品种花生水相体系中油脂和蛋白质分布的影响,结果如图7所示。

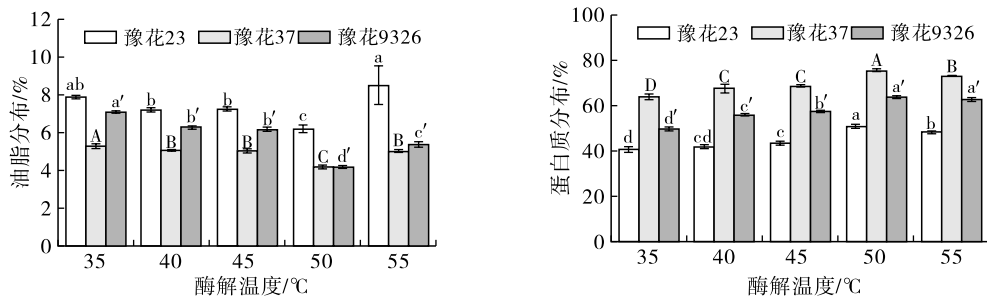


图7 酶解温度对不同品种花生水相体系中油脂和蛋白质分布的影响

由图7可知,当酶解温度为50℃时,豫花23、豫花37、豫花9326水相体系中油脂分布最少,分别为6.21%、4.19%、4.19%,蛋白质分布最多,分别为50.99%、75.68%、63.84%,其中豫花37和豫花9326水相体系中的油脂分布比豫花23的低。当酶解温度过高时,水相体系蛋白质分布减少,原因是酶解温度过高会引起蛋白质变性,蛋白质的疏水基团暴露,蛋白质分子聚集,溶解度降低^[21-22]。此外,过高的温度会增强水相体系中油脂的流动性,进而增大其与蛋白质结合的概率,使水相体系中油脂分布增加^[8]。因此,选择酶解温度为50℃。

3 结论

花生品种对水相体系中油脂和蛋白质分布均有显著影响。以水相体系低油脂和高蛋白质分布为原则,确定了3个品种花生水酶法制油的最佳工艺条件:豫花37的粉碎时间为90 s、豫花23和豫花9326的粉碎时间为120 s,酶用量为1.0%、酶解时间为2 h、酶解温度为50℃,此时豫花23、豫花37、豫花9326的水相体系中油脂分布分别为6.21%、4.19%、4.19%,蛋白质分布分别为50.99%、75.68%、63.84%。3个花生品种中豫花37能在更短的粉碎时间内使水相体系中油脂分布少,蛋白质分布多,更适用于水酶法制油。

参考文献:

[1] 郝莉花. 酶法同步提取花生蛋白和油脂体机理的研究[D]. 郑州:河南工业大学, 2017.
[2] MENG Z, WEI S, QI K, et al. Secondary structure of

proteins on oil release in aqueous enzymatic extraction of rapeseed oil as affected hydrolysis state[J]. *Int J Food Prop*, 2018, 21(1): 119-127.

[3] LIU C, HAO L, CHEN F, et al. Study on extraction of peanut protein and oil bodies by aqueous enzymatic extraction and characterization of protein[J/OL]. *J Chem*, 2020(7): 5148967[2023-11-06]. <https://doi.org/10.1155/2020/5148967>.
[4] MWAURAH P W, KUMAR S, KUMAR N, et al. Novel oil extraction technologies: Process conditions, quality parameters, and optimization[J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2020, 19(1): 3-20.
[5] MAT YUSOFF M, GORDON M H, NIRANJAN K. Aqueous enzyme assisted oil extraction from oilseeds and emulsification de-emulsifying methods: A review[J]. *Trends Food Sci Tech*, 2015, 41(1): 60-82.
[6] NIU R, CHEN F, LIU C, et al. Composition and rheological properties of peanut oil bodies from aqueous enzymatic extraction[J]. *J Oleo Sci*, 2021, 70(3): 375-383.
[7] 郝莉花,陈复生,刘昆仑,等. 不同品种花生油脂体粒径电位和蛋白质组成的分析[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(18): 279-284.
[8] 熊浩然,郭兴凤,郭倩倩,等. 响应面法优化花生水酶法制油水相体系中残油工艺[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2024, 45(1): 57-63.
[9] 张盼盼. 真空协同茶多酚浸渍对巨峰葡萄蒙藏过程中品质特性的影响研究[D]. 郑州:河南工业大学, 2021.

(下转第149页)

- [2] 刘壮, 刘萱, 罗日明, 等. 植物油精炼过程中缩水甘油酯和3-氯丙醇酯的形成及脱除研究进展[J]. 中国油脂, 2023, 48(3): 64-70.
- [3] 马云肖, 周龙长. 粗油中非水化磷脂的产生及脱除方法[J]. 粮油加工, 2009(7): 41-43.
- [4] 李杉杉, 程倩, 谢亮, 等. 大豆原油酶法脱胶[J]. 中国油脂, 2022, 47(9): 30-34.
- [5] 李世磊, 程倩, 黄昭先, 等. 酶法脱胶在大豆油脱胶中的应用[J]. 中国油脂, 2021, 46(10): 1-5.
- [6] 余榛榛, 常明, 刘睿杰, 等. 磷脂酶C在酶法脱胶中研究进展[J]. 中国油脂, 2013, 38(7): 19-22.
- [7] 康佳惠子, 王秀秀, 贾敏, 等. 脂肪酶位置选择性的影响因素[J]. 中国油脂, 2023, 48(7): 115-119.
- [8] 张帆, 程路峰, 曹红, 等. 基于酶反应动力学理论优化脂肪酶活力测定体系[J]. 中国油脂, 2023, 48(5): 146-152.
- [9] HAMM W, HAMILTON R J, CALLIAUW G. Edible oil processing[M]. 2nd ed. Chichester, West Sussex: John Wiley&Sons, Ltd., 2000.
- [10] 左青, 郭华, 吕瑞, 等. 关于加工微量变质巴西大豆损失的评估[J]. 中国油脂, 2014, 39(6): 23-24.
- [11] 丁安帮, 陆利霞, 熊晓辉, 等. 用大豆脱臭馏出物制备脂肪胺甲酯和 V_E 及预处理技术[J]. 粮油加工, 2010(1): 27-29.
- [12] 左青, 卞青德. 冷冻水系统与冰冷系统在脱臭真空系统中的应用[J]. 中国油脂, 2014, 39(6): 93-97.
- [13] 梁少华, 董彩文, 赵西周, 等. 脱臭工艺条件对棉籽油中反式脂肪酸含量的影响[C]//中国粮油学会油脂分会第十八届年会论文集. 北京: 中国粮油学会油脂分会, 2009.
- [14] 杜宣利. 反式脂肪酸与人体健康[J]. 中国油脂, 2004, 29(7): 64-67.
- [15] FRANKE K, STRIJOWSKI U. Influence of chemical refining process and oil type on bound 3-chloro-1,2-prapanediol content in palm oil and rapeseed oil[J]. LWT - Food Sci Technol, 2009, 42(10): 1751-1754.
- [16] 陈华勇, 唐小红, 王永华, 等. GC-MC定性分析食用油中缩水甘油酯有害物[J]. 中国油脂, 2012, 37(3): 66-69.
-
- (上接第119页)
- [10] ZHOU L Z, CHEN F S, HAO L H, et al. Peanut oil body composition and stability[J]. J Food Sci, 2019, 84(10): 2812-2819.
- [11] 赵宇辉. 水酶法同步分离花生油和蛋白过程中乳液体特性及破乳机制研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023.
- [12] LIU C, CHEN F S, NIU R H, et al. Effects of pretreatment on the yield of peanut oil and protein extracted by aqueous enzymatic extraction and the characteristics of the emulsion[J]. J Oleo Sci, 2020, 69(11): 1445-1453.
- [13] 薛远, 宋春丽, 任健. 糖含量对大豆蛋白起泡性的影响[J]. 中国食品学报, 2023, 23(10): 118-124.
- [14] 郭华, 罗军武, 周建平, 等. 几种油料的子叶细胞形态与主要化学成分分析[J]. 现代食品科技, 2006, 22(4): 33-36.
- [15] 熊浩然. 花生水酶法制油水相体系中油脂和蛋白的稳定机制研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023.
- [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.
- [17] 范康俊, 吴士筠, 艾廷阳, 等. 水酶法提取红花籽油的工艺优化及其抗氧化性研究[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(8): 61-65, 94.
- [18] TEIXEIRA C B, MACEDO G A, MACEDO J A, et al. Simultaneous extraction of oil and antioxidant compounds from oil palm fruit (*Elaeis guineensis*) by an aqueous enzymatic process[J]. Bioresour Technol, 2013, 129: 575-581.
- [19] 黄亚芳, 李罗明, 李俊杰, 等. 水酶法提取杨梅核仁油的工艺优化[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 65-70.
- [20] 曹盼, 朱科学, 彭伟, 等. 酶法制备燕麦浆工艺研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(8): 309-313.
- [21] JEEVAN KUMAR S P, VIJAY KUMAR G, DASH A, et al. Sustainable green solvents and techniques for lipid extraction from microalgae: A review[J]. Algal Res, 2017, 21: 138-147.
- [22] KHAN N R, RATHOD V K. Microwave assisted enzymatic synthesis of speciality esters: A mini-review[J]. Process Biochem, 2018, 75: 89-98.