

葵花籽粕综合利用研究进展

杨晨¹,孔凡¹,田华¹,雷芬芬^{1,2,3},何东平^{1,2,3},郑竟成^{1,2,3}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院,武汉 430023; 2. 国家粮食局粮油资源综合开发工程技术研究中心,武汉 430023; 3. 大宗粮油精深加工教育部重点实验室,武汉 430023)

摘要:葵花籽粕是葵花籽提油后的副产品。葵花籽粕蛋白品质优,各氨基酸组成平衡,此外葵花籽粕中还含有绿原酸、黄酮等多种活性物质,营养价值高,具有广阔的应用前景。从葵花籽粕作为原料提取有效成分及作为饲料用原料两方面对葵花籽粕资源的综合利用情况进行了阐述,以期对葵花籽粕的进一步开发利用提供参考。

关键词:葵花籽粕;综合利用;有效成分;饲料

中图分类号:TS229;TQ645.9 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2020)05-0123-05

Progress in comprehensive utilization of sunflower seed meal

YANG Chen¹, KONG Fan¹, TIAN Hua¹, LEI Fenfen^{1,2,3},
HE Dongping^{1,2,3}, ZHENG Jingcheng^{1,2,3}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;
2. Grain and Oil Resources Comprehensive Exploitation and Engineering Technology Research Center of State Administration of Grain, Wuhan 430023, China; 3. Key Laboratory of Deep Processing of Major Grain and Oil, Ministry of Education, Wuhan 430023, China)

Abstract: Sunflower seed meal is by-product of sunflower seeds after extracting oil. Sunflower seed meal has excellent protein quality and balanced amino acid composition. In addition, sunflower seed meal also contains chlorogenic acid, flavonoids and other active substances. Therefore, it has high nutritional value and broad application prospects. The comprehensive utilization of sunflower seed meal resources was introduced from aspects of extracting active ingredients from sunflower seed meal and as feeding material so as to provide reference for further development and utilization of sunflower seed meal.

Key words: sunflower seed meal; comprehensive utilization; active ingredients; feeding

向日葵作为我国重要的油料作物,在各类土壤中均可以生长,具备较强的耐盐碱性、抗旱性等,生命力顽强,因此可以在各个地区种植。我国向日葵种植区域主要集中在新疆、内蒙古、宁夏、山西、河北及东北地区^[1]。目前,在世界向日葵栽种面积中,中国排名第4,且在我国全部的油料饼粕数量中,葵花籽饼粕排名第2,因此深度开发利用的市场前景很大^[2]。

葵花籽粕是葵花籽提油后的副产品。葵花籽粕营养成分种类繁多,其中29%~43%为植物蛋白,

还含有大量的生物活性钙、绿原酸、膳食纤维、黄酮、磷、烟酸、类脂、还原糖和天然食用红色素等^[3]。目前,葵花籽粕的利用率并不高,多用作蛋白饲料原料,造成资源浪费。本文从葵花籽粕作为原料提取有效成分和作为饲料用原料两方面出发,综述了其综合利用现状,以期为我国葵花籽粕的进一步开发利用提供参考。

1 从葵花籽粕中提取有效成分

1.1 提取蛋白

葵花籽粕中含有29%~43%的蛋白质,其构成为55%左右的球蛋白、1%~4%的醇溶蛋白、11%~17%的谷蛋白和20%左右的清蛋白^[3]。葵花籽粕蛋白作为一种重要的优质蛋白,富含必需氨基酸甲硫氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、缬氨酸、异亮氨酸和

收稿日期:2019-08-27;修回日期:2019-12-26

作者简介:杨晨(1996),女,在读硕士,研究方向为粮食、油脂及植物蛋白工程(E-mail)2547243071@qq.com。

通信作者:雷芬芬,讲师,博士(E-mail)fiona_lei@126.com。

亮氨酸,仅赖氨酸和色氨酸的含量略低于 FAO/WHO 的小孩的推荐值,但高于 FAO/WHO 的成人的推荐值^[4]。葵花籽粕蛋白相对分子质量分布在 10 ~ 66.2 kDa 之间,其中大部分相对分子质量在 20 ~ 45 kDa 之间,更适合人体吸收。葵花籽粕蛋白的提取方法分为碱提酸沉法、酶法和物理辅助法等^[5]。部分提取工艺所得葵花籽粕蛋白的提取率如表 1 所示。

表 1 部分提取工艺所得葵花籽粕蛋白的提取率

提取工艺	葵花籽粕蛋白提取率/%	参考文献
碱提酸沉法	61.04 ± 0.24	[6]
碱提酸沉法	54.79 ± 0.89	[7]
碱提酸沉法	61.04 ± 2.5	[8]
超声处理结合碱提酸沉法	73.85	[9]
超声处理结合碱提酸沉法	54.26	[10]
SDS(十二烷基磺酸钠)/正辛醇/异辛烷反胶束体系萃取	58.46	[11]

探究葵花籽粕蛋白的功能性质和理化性质,并对其进行改性研究能够为葵花籽粕蛋白在工业上的应用提供参考。乔砥等^[8]将葵花籽粕蛋白与大豆蛋白的功能性质进行对比分析,发现葵花籽粕蛋白仅持水性略低,其溶解性、起泡性、起泡稳定性、乳化性和乳化稳定性均比大豆蛋白高,且持油性显著优于大豆蛋白。Malik 等^[12]研究了多酚类化合物对葵花籽和葵花籽仁分离蛋白的功能和流变学特性的影响,发现去除酚类化合物后从葵花籽粕中提取的分离蛋白具有较高的溶解性、乳化性、乳化稳定性、分散性、起泡性和起泡稳定性。蛋白质含量越高、酚类化合物含量越低的分离蛋白,其凝胶化浓度越低。Malik 等^[13]也采用高强度超声处理葵花籽粕分离蛋白,并对其流变学和结构特性进行了评价,发现超声处理后分离蛋白的二级结构和三级结构发生变化,形成的凝胶强度增加,热稳定性降低,表面形态发生较大变化,表现出更大的非均匀性和无序性。此外,他们还研究了 γ 辐照对脱酚葵花籽粕蛋白的理化

性质、抗氧化性能和功能特性的影响,从辐照的葵花籽粕分离蛋白获得的蛋白质溶液浊度更高并且粒径更大,抗氧化能力提高,溶解度、持油性、乳化性、起泡性均提高,而持水性下降, γ 辐射处理可以用来改变蛋白质的构象,从而提高蛋白质的功能特性,扩大其在食品领域的使用范围^[14]。陈珂珂等^[15]探究了不同温度对葵花籽粕蛋白的各种功能性质的影响情况,结果发现热处理温度为 92 °C 和 102 °C 时,起泡性得到改善,并且在 92 °C 时,不仅提高了乳化活性,乳化稳定性也最高。在热处理一段时间后,其溶解性降低,并且温度升高后,持水能力与持油能力增加,但泡沫稳定性降低。王殿友等^[16]研究了经过碱性蛋白酶水解不同时间后的葵花籽粕盐溶盐析法提取的葵花籽粕蛋白中的 11S 球蛋白的结构和功能性质,发现经过酶水解后,蛋白质的相对分子质量减小并且蛋白质的结构和功能特性得到了显著改善。另外,调节酶水解时间可以改善蛋白质的乳化性和起泡性。Ivanova 等^[17]研究了在 pH 2 ~ 10 时,低程度胃蛋白酶水解和转谷氨酰胺酶修饰对工业葵花籽粕分离蛋白功能的综合影响,研究表明葵花籽粕分离蛋白经胃蛋白酶水解后再经转谷氨酰胺酶处理,可制得具有较好溶解性、起泡能力和热稳定性的葵花籽粕分离蛋白用于食品工业。

1.2 提取多肽

多肽广泛存在于生物体中,是由氨基酸分子的 α -羧基和 α -氨基脱水缩合形成肽键后构成的长链化合物。生物活性多肽具备较多功能,可直接作为药物或作为药物的前体物质,对生物体进行免疫调节、激素调节、酶调节,还可以抗病毒、抗氧化、降血压和降血脂等,日益受到人们的重视^[18]。血管紧张素转换酶 (ACE) 抑制肽是一类从食源性蛋白质中分离获得的活性多肽,有降血压的生物功能。因为 ACE 抑制肽降血压功效好,并且使用安全,不会像一般降压药物引起毒副作用从而引发了广大学者的关注^[19]。葵花籽粕蛋白是一种优质植物蛋白,使用其制备的葵花籽粕多肽如表 2 所示。

表 2 部分工艺所得的葵花籽粕多肽

制备工艺	多肽	结果	参考文献
碱性蛋白酶水解	葵花籽粕 ACE 抑制肽	ACE 抑制率 (85.49 ± 0.80) %	[20]
碱性蛋白酶水解	葵花籽粕 ACE 抑制肽	ACE 抑制率 (62.34 ± 0.57) %	[21]
碱性蛋白酶与风味蛋白酶分步水解	葵花籽粕 ACE 抑制肽	ACE 抑制率 67.80%	[21]
碱性蛋白酶与风味蛋白酶协同水解	葵花籽粕 ACE 抑制肽	ACE 抑制率 (65.23 ± 0.58) %	[21]
酶解 - 膜分离耦合技术	葵花籽粕抗氧化肽	抗氧化肽得率 76.7%	[22]
碱性蛋白酶和木瓜蛋白酶水解	葵花籽粕抗氧化肽	对超氧阴离子自由基和羟基自由基清除率分别为 68.06% 和 50.12%	[23]

续表 2

制备工艺	多肽	结果	参考文献
微波预处理后采用碱性蛋白酶和木瓜蛋白酶水解	葵花籽粕抗氧化肽	对超氧阴离子自由基和羟基自由基清除率分别为 72.78% 和 54.13%	[24]
超声波预处理后采用碱性蛋白酶和木瓜蛋白酶水解	葵花籽粕抗氧化肽	对超氧阴离子自由基和羟基自由基清除率分别为 67.11% 和 52.47%	[25]
中性蛋白酶水解	葵花籽粕多肽	多肽得率为 10.042%	[26]
风味蛋白酶水解	具有鲜味的葵花籽蛋白酶解肽	制备的酶解产物鲜味强度值最高为 11.54	[27]

1.3 提取绿原酸

绿原酸 (Chlorogenic acid) 是由咖啡酸与奎尼酸生成的缩酚酸类物质, 目前已发现有很多生物学功能, 主要为清除自由基和抗氧化、抗炎、抗微生物、免疫调节等^[28]。在葵花籽粕中酚类物质占 3% ~ 4%, 其中绿原酸占大部分。当前工业生产绿原酸大部分把价格较高昂的金银花、杜仲等中草药材作为原材料, 相比之下, 用葵花籽粕作为原料价格十分低廉, 是降低加工成本的可取方法之一^[29], 且经提取绿原酸的葵花籽粕作为饲料的附加利用价值更高。绿原酸的提取方法可分为传统提取法(即最常用的水提法和醇提法)、物理辅助提取法(以传统提取法为基础, 加以超声波、微波、超高压等物理方式进行的辅助提取)和生物酶法, 而在这些方法中使用最广泛的为醇提法^[30]。李彩云等^[31]采用微波超声技术辅助乙醇醇提法提取葵花籽粕中绿原酸, 绿原酸得率为 3.095%。邓本兴等^[32]也选用了醇提法, 但以甲醇溶液为溶剂从葵花籽粕中提取绿原酸, 绿原酸得率为 3.13%。袁粉粉等^[33]在微波系统中采用醇提法得到葵花籽粕中的绿原酸, 绿原酸得率为 4.925%。罗丰收等^[34]采用超声波辅助醇提法提取新疆地区葵花籽粕中的绿原酸, 选择体积分数为 60% 的乙醇为溶剂, 并确定了最优的超声条件, 最终绿原酸得率为 2.338 2%。

1.4 提取其他活性物质

黄酮类化合物是一种植物的多酚类次级代谢产物。目前已经发现这类化合物具有抗氧化、抗肿瘤、抗癌、抗菌、免疫调节、抑制身体机能紊乱等方面的作用, 同时具有低毒、高活性等优点, 具有较大的应用空间^[35]。目前对葵花籽粕中黄酮的提取研究较少。张海容等^[36]采用超声波辅助提取葵花籽粕中的黄酮类化合物, 并测定其体外抗氧化能力, 在最佳条件下, 葵花籽粕中黄酮得率可达 1.91%, 对抗氧化活性的研究结果显示, 葵花籽黄酮对 DPPH· 的清除率比 BHT 高。

膳食纤维是一种高分子碳水化合物, 但在人体

胃肠道分泌的消化酶不可以将其分解, 所以难以被人体消化, 最终在结肠中被肠道菌群产生的细菌酶分解。膳食纤维具有改善肠道微环境、防止便秘、降低血脂和血糖、减少患直肠癌和结肠癌的风险等生理功能^[37]。陈永胜等^[38]选择酶法和化学法对葵花籽粕中的膳食纤维进行提取, 对比发现这两种方法中酶法的提取率较高, 因此将酶法进行了优化, 确定的最优参数为: 植物精提复合酶的用量 0.4%, 水解时间 150 min; 酸性蛋白酶的用量 0.2%, 水解时间 45 min。在最优条件下膳食纤维的得率可达 78.3%。褚盼盼等^[39]选择水提醇沉法提取葵花籽粕中的水溶性膳食纤维, 最高得率为 29.40%, 进一步研究葵花籽粕水溶性膳食纤维的物理化学性质, 结果表明, 葵花籽粕中的水溶性膳食纤维具有优异的物理和化学性质, 可用作吸附剂、乳化剂、稳定剂等。因此, 膳食纤维不仅能作为“第七大营养素”加强食用产品的营养价值, 而且还能够作为食品添加剂或功能性保健品, 从而拓宽了葵花籽粕的应用领域。

2 葵花籽粕作饲料用原料

葵花籽粕作为重要的植物蛋白来源已被应用于饲料行业, 在将葵花籽粕用作禽类的蛋白质饲料原料时, 除了含有的绿原酸可能会对禽类的生长发育有不良影响外, 是当前唯一没有被检测出含有有毒有害成分的杂粕蛋白饲料^[40]。周国安等^[41]将不同比例的葵花籽粕添加到如皋草鸡的日粮中, 以产蛋能力、常规蛋品质以及生产成本为考察指标, 结果显示葵花籽粕替代豆粕的效果较为理想, 豆粕被适量的葵花籽粕替代可以有效提高经济效益。邹轶等^[42]提出肉鸡饲料中葵花籽粕的最大添加量为 10% ~ 15%, 但在具体应用中, 若添加的葵花籽粕中粗纤维含量较低, 并且加入了可以水解纤维素的纤维素酶和非淀粉多糖酶, 则可根据实际情况增加葵花籽粕的添加量。周锦龙等^[43]试验结果发现在蛋鸡日粮中加入 3% ~ 9% 的葵花籽粕不仅可以减少饲料原料成本, 而且对蛋鸡产蛋性能和蛋壳品质影响不大。葵花籽粕也作为奶牛日粮的潜在蛋白资

源, Oliveira 等^[44] 研究表明随着日粮中葵花籽粕(未脱壳的葵花籽进行溶剂提油后得到)含量的增加,奶牛的产奶量、乳蛋白含量和氮泌乳转化效率均降低,目前研究的结果归因于对葵花籽粕中葵花籽壳的纤维消化率低,建议继续研究脱壳后葵花籽粕的应用。葵花籽粕在替换仔猪饲料中的蛋白成分时, Dadalt 等^[45] 发现与高蛋白葵花籽粕相比,豌豆分离蛋白具有较好的生长猪可消化氨基酸谱,然而,当日粮中添加多糖酶时,大多数氨基酸的消化率没有差异。朱丽萍等^[46] 使用品质较优的葵花籽粕和菜籽饼饲养生长猪,结果表明葵花籽粕和菜籽饼可以用于生长猪的日粮中替代豆粕。不同来源的葵花籽粕质量差异比较大,夏明亮等^[47] 建议在乳仔猪日粮中谨慎使用葵花籽粕,生长猪日粮中可使用 5%~10% 的优质葵花籽粕,育肥猪日粮可使用 10% 以上的优质葵花籽粕。

3 结束语

随着人民生活水平的不断提高,我国葵花籽油的消费量不断增加,葵花籽油的市场需求旺盛,据统计,2017/2018 年度,我国国产葵花籽油的产量约为 30 万 t,在我国食用油的消费中,仅次于大豆油、菜籽油、棕榈油和花生油。作为葵花籽油加工的副产物,我国葵花籽粕资源丰富,可从葵花籽粕中提取蛋白质、多肽、绿原酸等高附加值产品,但目前葵花籽粕的利用率并不高,多用作蛋白饲料原料,造成了资源的浪费。因此,加大对葵花籽粕精深加工的应用研究,不仅能有效地促进葵花籽粕资源的综合利用,进一步提高葵花籽粕的经济效益,还可以推动葵花籽整个加工产业的健康发展,具有重大意义。

参考文献:

- [1] 左成山. 油葵品种 CN1268 的选育及栽培技术要点[J]. 种子世界, 2018(3): 51.
- [2] 赵微微, 李松华. 新型复合葵花籽粕多肽功能茶饮料的研制[J]. 现代食品, 2018(22): 165-169.
- [3] 冯云龙, 丁泽人, 杨晓君. 利用葵花籽粕基于美拉德反应合成天然麦香味风味物质的探究[J]. 中国调味品, 2018, 43(5): 34-39.
- [4] 王建平, 任健, 宋春丽, 等. 反胶束法萃取葵花籽蛋白的结构及营养特性分析[J]. 粮油食品科技, 2013, 21(5): 43-46.
- [5] 罗丰收. 葵花籽粕蛋白提取及其改性研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014.
- [6] 拉升·再尼西, 李伟, 敬思群, 等. 葵花籽粕蛋白提取及分离纯化[J]. 食品科技, 2018, 43(6): 259-264.
- [7] 刘媛媛. 水媒法提取葵花籽油与蛋白质[D]. 江苏无锡: 江南大学, 2016.
- [8] 乔砥, 敬思群, 岳海涛. 葵花籽粕蛋白制备及其功能性性质分析[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(9): 34-39.
- [9] 朱效兵, 石晶红, 郭瑞, 等. 超声处理结合碱提酸沉法提取葵花粕蛋白的工艺研究[J]. 食品工业, 2017, 38(8): 95-99.
- [10] DABBOUR M, HE R, MA H, et al. Optimization of ultrasound assisted extraction of protein from sunflower meal and its physicochemical and functional properties[J/OL]. J Food Proc Eng, 2018, 41(5): e12799 [2019-08-27]. <http://doi.org/10.1111/jfpe.12799>.
- [11] 赵萍, 佐玲, 郭求实, 等. SDS/正辛醇/异辛烷反胶束体系萃取葵花籽粕蛋白工艺研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(8): 262-267.
- [12] MALIK M A, SAINI C S. Polyphenol removal from sunflower seed and kernel: effect on functional and rheological properties of protein isolates[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 63: 705-715.
- [13] MALIK M A, SAINI C S. Rheological and structural properties of protein isolates extracted from dephenolized sunflower meal: effect of high intensity ultrasound[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 81: 229-241.
- [14] MALIK M A, SAINI C S. Gamma irradiation of alkali extracted protein isolate from dephenolized sunflower meal[J]. LWT - Food Sci Technol, 2017, 84: 204-211.
- [15] 陈珂珂, 任健. 热处理对葵花分离蛋白功能性质的影响[J]. 食品工业, 2015, 36(7): 183-185.
- [16] 王殿友, 任健. 酶解时间对葵花 11S 球蛋白结构和功能性质的影响[J]. 中国油脂, 2017, 42(1): 89-92.
- [17] IVANOVA P, CHALOVA V I, KALAYDZHEV H, et al. Pepsin - assisted transglutaminase modification of functional properties of a protein isolate obtained from industrial sunflower meal[J]. Food Technol Biotechnol, 2017, 55(3): 420-428.
- [18] 张亚, 苏品, 廖晓兰, 等. 多肽的分离纯化技术研究进展[J]. 微生物学杂志, 2013, 33(5): 87-91.
- [19] 王晓丹, 薛璐, 胡志和, 等. ACE 抑制肽构效关系研究进展[J]. 食品科学, 2017, 38(5): 305-310.
- [20] 拉升·再尼西, 李伟, 敬思群, 等. 酶解法制备葵花籽粕 ACE 抑制肽[J]. 食品工业, 2018, 39(9): 32-35.
- [21] 罗鹏. 葵花籽 ACE 抑制肽的分离纯化、结构分析与稳态化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
- [22] 孙玲, 邢政, 廖国艳, 等. 酶解-膜分离耦合制备葵花籽粕抗氧化肽的研究[J]. 食品工业, 2018, 39(4): 221-225.
- [23] 董聪, 李芳, 王琳, 等. 双酶酶解葵花籽粕蛋白制备抗氧化多肽的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(11): 116-121, 126.
- [24] 董聪, 李芳, 王琳, 等. 微波预处理葵花籽粕蛋白制备抗氧化多肽的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 308-311, 316.

- [25] 董聪,李芳,王琳,等. 超声波预处理葵花籽粕蛋白制备抗氧化多肽的研究[J]. 食品研究与开发,2015,36(24):10-14.
- [26] 徐姗姗,阮美娟,李广鹏. 葵花籽粕多肽的提取工艺研究[J]. 食品工业科技,2012,33(20):245-247.
- [27] 付娅男. 呈鲜味的葵花籽蛋白酶解肽的制备及其结构表征[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2018.
- [28] 代重山,李道稳,汤树生,等. 绿原酸的生物学功能及其在动物生产中的应用[J]. 中国饲料,2015(19):5-8,16.
- [29] 邓本兴,张维刚,陈敬欢,等. 葵花籽粕中绿原酸提取工艺的研究进展[J]. 广东化工,2011,38(1):82-83.
- [30] 孙阳,黄和,胡焱. 绿原酸提取纯化方法的研究进展[J]. 化学试剂,2017,39(3):257-262.
- [31] 李彩云,康健,刘晓娜,等. 微波超声辅助优化葵花籽粕绿原酸的提取工艺[J]. 中国油脂,2016,41(2):88-91.
- [32] 邓本兴,张维刚,陈敬欢,等. 葵花籽粕中提取绿原酸的工艺优化[J]. 广东化工,2011,38(9):10-11,18.
- [33] 袁粉粉,余长坡. 葵花籽粕中绿原酸的微波提取工艺研究[J]. 湖南饲料,2018(5):32-36.
- [34] 罗丰收,杨海燕,绪建荣,等. 超声波辅助醇提法脱除脱脂葵花籽粕绿原酸工艺研究[J]. 食品工业,2014,35(9):23-27.
- [35] 肖咏梅,李明,毛璞,等. 黄酮类化合物生物改性及活性的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2019,40(2):123-131,139.
- [36] 张海容,贺泽民,高瑞苑,等. 超声辅助提取葵花籽黄酮及其抗氧化活性研究[J]. 中国油脂,2018,43(8):133-136,142.
- [37] 宁建红,张杰,李霞. 膳食纤维的生理功能、制备方法和改性技术的研究进展[J]. 中国食物与营养,2019,25(1):43-45.
- [38] 陈永胜,李志光,钟慧敏. 葵花脱脂粕膳食纤维提取工艺的研究[J]. 食品科学,2007(12):211-215.
- [39] 褚盼盼,胡筱,林智杰. 葵花粕水溶性膳食纤维的提取工艺及其理化性质研究[J]. 食品科技,2016,41(12):203-207.
- [40] 伦志国. 蛋白饲料原料葵花籽粕的应用[J]. 饲料广角,2017(4):46-47.
- [41] 周国安,宗俊贤,卢建,等. 葵花籽粕替代豆粕对如皋草鸡产蛋性能、常规蛋品质 and 经济效益的影响[J]. 中国家禽,2011,33(9):27-30.
- [42] 邹轶,刘松柏,彭运智,等. 葵花籽粕在肉鸡饲料中的应用[J]. 动物营养学报,2018,30(8):2894-2901.
- [43] 周锦龙,罗华军,王慧,等. 日粮中不同添加比例葵花粕对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响[J]. 湖南饲料,2019(2):38-43.
- [44] OLIVEIRA A S, CAMPOS J M S, OGUNADE I M, et al. Performance and utilization of nutrients in dairy cows fed with sunflower meal[J]. J Agric Sci, 2018, 156(10):1233-1240.
- [45] DADALT J C, VELAYUDHAN D E, NETO M A T, et al. Ileal amino acid digestibility in high protein sunflower meal and pea protein isolate fed to growing pigs with or without multi-carbohydrase supplementation[J]. Anim Feed Sci Technol, 2016, 221: 62-69.
- [46] 朱丽萍,MANFRED W. 葵花籽粕可促进仔猪茁壮生长[J]. 国外畜牧学(猪与禽),2017,37(4):35-37.
- [47] 夏明亮,程璐. 葵花籽粕的营养价值及其在养猪生产中的合理使用[J]. 饲料研究,2019,42(4):87-90.
- [48] 王强,龙洁,任彦荣,等. 响应面法优化阿魏酰基脂肪酸酯合成工艺及产物稳定性[J]. 食品科学,2015,36(12):17-21.
- [49] 辛嘉英,陈林林,张蕾,等. 无溶剂体系脂肪酶催化阿魏酸油酸甘油酯合成研究[J]. 中国粮油学报,2009,24(5):74-79.
- [50] LASZLO J A, COMPTON D L. Enzymatic glycerolysis and transesterification of vegetable oil for enhanced production of feruloylated glycerols[J]. J Am Oil Chem Soc,2006,83(9):765-770.
- [51] 周文雅. 不同反应体系中酶催化阿魏酸乙酯与甘二酯酯交换反应规律的研究[D]. 郑州:河南工业大学,2014.
- [52] SUN S D, SONG F F, BI Y L, et al. Solvent-free enzymatic transesterification of ethyl ferulate and monostearin: optimized by response surface methodology[J]. J Biotechnol,2013, 164(2):340-345.
- [53] SUN S D, HU B X, SONG F F, et al. Ionic liquids improve the selective synthesis of hydrophilic glyceryl ferulates by the enzymatic transesterification of ethyl ferulate with monostearin: comparison with organic solvents[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2015, 117(8):1171-1178.
- [54] SUN S D, HU B X, QIN F, et al. Comparative study of soybean oil and the mixed fatty acids as acyl donors for enzymatic preparation of feruloylated acylglycerols in ionic liquids[J]. J Agric Food Chem, 2015, 63(32):7261-7269.
- [55] SUN S D, ZHU S. Enzymatic preparation of castor oil-based feruloylated lipids using ionic liquids as reaction medium and kinetic model[J]. Ind Crop Prod,2015,73:127-133.

(上接第122页)