

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.01.011

# 油菜籽绿色加工技术研究进展

张鑫, 任元元, 王波, 孟资宽, 邹育, 张星灿, 王拥军

(四川省食品发酵研究工业设计院, 四川 成都 611130)

**摘要:** 油菜籽绿色加工技术在油菜产业中拥有广阔的前景。结合油菜籽传统加工工艺, 介绍了目前国内外关于微波、脉冲电场、脱壳、冷榨技术、水酶法、CO<sub>2</sub>超临界萃取、低温绿色精炼技术等加工技术以及副产物利用的研究进展, 并对其应用前景做出展望。

**关键词:** 油菜籽; 绿色加工工艺; 研究进展

中图分类号: TS222 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)01-0058-05

## Research progress on rapeseed green processing technology

ZHANG Xin, REN Yuan-yuan, WANG Bo, MENG Zi-kuan, ZHOU Yu,

ZHANG Xin-chan, WANG Yong-jun

(Sichuan Food Fermentation Industry Research and Design Institute, Sichuan Chendu 611130)

**Abstract:** Green processing technology has wide prospects in rapeseed industry. The research progress of process technologies including microwave, pulsed electric field, shelling, cold pressing, enzymatic hydrolysis, supercritical CO<sub>2</sub> extraction, low temperature green refining combined with the utilization of by-products at home and abroad were introduced, and their application prospects were further prospected.

**Key words:** rapeseed; green processing technology; research progress

近年来, 我国油菜在种植面积、单产和总产等方面都呈现不断上升的趋势, 根据联合国粮农组织 (FAO) 的数据显示, 在 2017 年我国油菜籽产量达到 1 327.4 万吨, 位居世界第二位<sup>[1]</sup>。在油菜籽加工过程中, 目前仍然存在一些问题, 以四川为例, 四川省内油脂加工企业一共 4 000 余家, 年加工量 200 万 t 左右, 但仅有 40 余家企业年加工量能达 2 万 t 以上, 其余大部分是油脂加工小企业或作坊。这些中小企业主要采用的是预榨浸出、物理化学精炼法的传统加工工艺, 能耗高, 产品技术含量低, 较少顾及到加工过程中

有害物质的控制以及对营养成分的保护, 不利于副产物的加工利用, 严重制约了油菜产业的发展, 同时也带来潜在的食品安全隐患<sup>[2]</sup>。

食品绿色加工技术是指在生产加工过程中遵循绿色环保理念, 采用科学的加工工艺, 保障食品安全的同时, 防止或尽量减少加工中营养物质的流失、降解, 加工过程对环境友好无污染。近年来国内外有较多的学者对油菜籽绿色加工技术进行研究, 通过采用微波调质、脱壳冷榨、超临界萃取技术、酶工程、膜法精炼等一系列绿色环保加工技术应用于菜籽油生产的各个环节, 提高菜籽油品质, 并提升副产物综合利用价值, 为油菜籽加工产业转型升级提供了技术保障。本文将阐述这些绿色加工技术在油菜籽加工领域的研究进展, 以期能为高品质的菜籽油产品生产以及油菜产业转型升级提供一定的参考。

收稿日期: 2019-08-19

基金项目: 优质粮油产业链关键技术集成研究与示范 (2017NZYZF0093)

作者简介: 张鑫, 1993 年出生, 男, 硕士研究生, 研究方向为食品生物技术。

通讯作者: 任元元, 1986 年出生, 女, 高级工程师, 研究方向为食品工程。

## 1 油菜籽预处理技术

### 1.1 微波干燥技术在油菜籽中的应用

微波技术具有加热时间短、速度快、加热均匀、节能高效的特点,近年来被广泛的应用到食品加工领域中<sup>[3]</sup>。传统的油菜籽加工预处理技术是在原料除杂破碎后进行轧坯、蒸炒去除油菜籽中的水分。由于蒸炒时间较长且温度较高,因此菜籽中的蛋白质、维生素和各种营养物质遭到严重的破坏。通过微波技术对油菜籽进行干燥处理,微波能几乎全部被油菜籽吸收<sup>[4]</sup>,因此相较于传统的热空气干燥,微波辐射的能耗更低。有研究表明,在2 450 MHz、800 W的微波条件下对油菜籽处理7 min后所得冷榨油,仅需水洗、过滤或离心分离即可满足国家标准<sup>[5]</sup>。经过微波处理1 min后,油菜籽中的蛋白质在KOH中的溶解度可达79.3%,有效赖氨酸含量为0.85%;处理2 min后,其硫甙含量降到2.23 mg/g,能够达到饲喂的标准,蛋白质溶解度、有效赖氨酸含量将大幅下降<sup>[6]</sup>。此外,微波预处理后油菜籽中芥子酸会脱羧转化成为一种多酚类物质 Canolol,经微波处理后其含量可提高120倍之多<sup>[7]</sup>。Canolol具有抗氧化,抗炎和抗肿瘤等作用,同时具有较强的脂溶性,微波预处理后菜籽油中 Canolol 含量显著提高,因此油的氧化稳定性也得到明显改善<sup>[8]</sup>。但是目前对于微波处理能使芥子酸转化为 Canolol 的机理尚不明确,还有待进一步研究。

### 1.2 脉冲电场处理在油菜籽预处理中的应用

脉冲电场(PEF)处理是利用电流重复的短脉冲对两电极间的物质进行处理的方法,在上世纪90年代起成为食品加工行业中的研究热点。脉冲电场技术早期主要应用于液态食品中的杀菌、酶钝化等方面。近年来有学者将PEF技术应用于油菜籽颗粒的预处理过程中,油菜籽的出油率得到明显提高,由未经处理时的71.6%提高到95.21%<sup>[9]</sup>,在此基础上,菜籽油中的总酚以及 $\alpha$ -、 $\gamma$ -生育酚含量得到显著增加,油脂抗氧化能力增强,菜籽油的稳定性也得到提升<sup>[10]</sup>。

### 1.3 脱壳技术

油菜籽种皮中含有较多色素、单宁和芥子碱等,在压榨后会进入油中,影响毛油色泽,同时

会增加油脂精炼难度,也不利于菜籽油粕利用。因此,对油菜籽进行脱壳处理后能够去除大部分纤维和色素以及抗营养因子,提升菜籽油质量和饼粕的饲喂价值。在传统加工工艺中,油菜籽很少进行脱皮处理,而现代油菜籽预处理工艺中则把脱皮技术放在较为突出的位置。目前,通过采用气力撞击法、对辊搓碾法、变形分裂法等干法技术已经基本解决油菜籽的脱皮问题,脱皮率可达97%<sup>[11]</sup>。国内的研究主要集中在脱壳机的研制上,或对国外脱壳机进行改造,对于脱壳机的研制已有较多专利报道<sup>[12]</sup>,而对于脱皮后进行的冷榨技术仍是目前研究的热点。

## 2 菜籽油提取技术

传统的油菜籽加工主要采用预榨-浸出技术,通常是将油菜籽用轧胚来破碎菜籽表皮和油细胞壁,在100~130 °C条件下蒸炒30 min后,超过130 °C的温度下进行预榨处理,将油料的含油量从42%减少到16%~20%,然后用正己烷浸出预榨饼中的剩余大部分油脂。由于炒制和压榨温度较高,油菜籽中的营养物质得不到较好的保存,并且容易存在溶剂残留问题。目前,有研究表明在油脂工业上使用的正己烷对人体神经系统存在毒害作用<sup>[13]</sup>。因此,脱壳冷榨技术、水酶法技术和超临界CO<sub>2</sub>萃取等一系列绿色加工技术成为研究人员关注的热点。

### 2.1 冷榨技术

与传统工艺相比,冷榨加工可以使油菜籽中营养成分得到较好的保存,避免高温加工产生有害物质,如反式脂肪酸、苯并芘等,得到高品质的油脂与饼粕。通过对比冷榨与热榨工艺,冷榨油的出油率偏低,但冷榨油中生育酚和甾醇含量分别比热榨油高约7%和20%<sup>[14]</sup>。从研究报告来看,菜籽冷榨后冷榨饼中还含有12%~20%左右的残油,冷榨菜籽饼粕质地紧密,适当减小饼粕粒度能够降低饼粕中的残油率。

### 2.2 水酶法技术

水酶法制油工艺的反应条件温和,无污染,对环境友好,反应体系中的产物不会和生物酶发生反应,菜籽油中的微量活性成分能够得到保留

和释放<sup>[15]</sup>。有学者分别使用复合细胞壁多糖酶和蛋白酶水解油菜籽浆,在固液比 1 : 5,反应时间 180 min 的条件下,菜籽油得率达到 88%的同时获得 93%的水解蛋白<sup>[16]</sup>。也有学者使用纤维素酶和果胶酶的复合酶提取菜籽油和菜籽蛋白,菜籽油与菜籽蛋白得率分别为 92.6%和 82.3%<sup>[17]</sup>。水酶法生产的菜籽油与浸出菜籽毛油、精炼油相比,酸值相对偏高,但是富含  $\beta$ -胡萝卜素与多酚,氧化稳定性最好<sup>[18]</sup>。

### 2.3 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取技术

超临界 CO<sub>2</sub> 萃取是一项新兴的绿色加工技术,同有机溶剂萃取相比具有诸多优势:(1) 萃取剂 CO<sub>2</sub> 无毒无味,对环境友好,具有安全生产性;(2) 萃取后无有机溶剂残留;(3) CO<sub>2</sub> 临界温度(31.06 ℃)和临界压力(7.38 MPa)较低,萃取条件较为温和,可以尽量保留油菜籽中的营养成分,提取效率较高<sup>[19]</sup>。目前国内对超临界 CO<sub>2</sub> 萃取在油菜籽加工工艺方面的研究不多,主要集中在工艺优化和菜籽油品质等方面。有研究显示,在此条件下萃取得到的菜籽油色泽浅,酸价和过氧化值都优于正己烷工艺,磷脂含量仅为 0.021 mg/g,为正己烷工艺的 3.82%,维生素 E 含量达到 17.26 μg/g,并且菜粕植酸含量低,蛋白溶解率高,品质明显优于正己烷萃取的脱脂粕<sup>[20]</sup>。目前我国的超临界流体萃取技术与世界先进水平差距较大,在研究的深度和广度上都与国外有相当大的差距,因此开发利用和研究的空间很大。

## 3 菜籽油精炼技术

油菜籽经过压榨或浸出处理后含有较多固体杂质、磷脂、游离脂肪酸等成分无法直接食用,需要通过精炼技术除去后才能提升菜籽油品质,达到国家标准(GB1536—2004)。目前,油脂加工企业普遍采用水化法脱去毛油中的磷脂与碱炼法脱脂肪酸。

### 3.1 脱胶工艺

传统的水化脱胶和酸法脱胶方法很难去除油料中的非水化磷脂,并且容易造成中性油乳化,增加油耗和皂角量。因此,国内外的研究者对酶法脱胶、膜法脱胶、吸附脱胶等操作条件温和,

能耗低,基本无污染的技术进行较为深入的研究,为高品质菜籽油的生产提供前提条件。

#### 3.1.1 酶法脱胶

酶法脱胶是利用磷脂酶将毛油中的非水化磷脂水解掉一个脂肪酸转化为水化磷脂,水化磷脂具有良好的亲水性可以通过水化作用去除,主要应用的磷脂酶有:磷脂酶 A1, 磷脂酶 A2、磷脂酶 B、磷脂酶 C、磷脂酶 D、磷脂酶 Lecitase10L 和 Lecitase Novo<sup>[2,21-22]</sup>。有学者对 Lecitase10L、Lecitase Novo 和磷脂酶 A1 三种酶的脱胶效果进行对比,结果表明磷脂酶 A1 脱胶效果最好,5 h 脱胶处理后,菜籽油中的磷脂含量降低到 10 mg/kg 以下<sup>[23]</sup>。使用磷脂酶 A2 对菜籽油进行脱胶,油脂中磷含量最低可达 4.65 mg/kg<sup>[21]</sup>。通过将海藻酸钠-明胶固定化磷脂酶用于冷榨菜籽油的脱胶,在初始 pH5.6,固定化酶添加量 240 mg/kg,反应温度 57 ℃ 的条件下处理 6 h,菜籽油含磷量可降到 4.12 mg/kg<sup>[24]</sup>。目前来看,酶法脱胶的效果较好,但是存在酶源较为缺乏、酶成本较高、稳定性较差和酶易失活等问题<sup>[25]</sup>。有研究显示,通过超声波处理可以适当提高酶法脱胶的效率,在一定程度上能够降低酶法脱胶的生产成本<sup>[26]</sup>。随着基因工程、酶工程等技术在未来不断进步,酶法脱胶成本较高、稳定性不足等问题将逐步被解决,酶工程技术在菜籽油加工产业中有广阔的前景,是未来菜籽油加工技术的新方向之一。

#### 3.1.2 膜法脱胶

膜法脱胶是以压力差为驱动力,根据磷脂与甘油三酯、溶剂性质差别以及与膜表面相互作用的不同实现分离的技术。根据膜孔的大小以及分离物质的差别,大致可以分为微滤、超滤、反渗透 3 类,其中超滤膜在膜法脱胶应用的较多。膜法脱胶工艺具有工序简单、能耗较低、废水量较少等优点。近年来国内外对膜法脱胶的研究主要集中在耐高温高压和耐溶剂性的膜材料研发上。有研究报道,使用聚砜膜和聚酰亚胺膜进行脱胶,磷脂截流率分别可达到 96.5%和 99.9%<sup>[27]</sup>。有学者制备醋酸纤维素超滤膜、聚砜超滤膜和醋酸纤维素、聚砜共混超滤膜应用于菜籽油脱胶中,结

果显示,三种膜的脱胶率分别可达到88.2%、89.9%和88.7%,其中聚砜超滤膜的抗污染能力和耐酸碱能力最好<sup>[28]</sup>。目前,膜法脱胶技术存在膜成本较高,滤膜抗污染能力较差的问题,制约膜法技术在工业中的广泛应用。当前的报道中,膜法脱胶主要应用于大豆油、油茶籽油、花生油、葵花籽油等,针对菜籽油的研究偏少,我国菜籽油产量很大,因此应用的前景十分广阔。

### 3.2 脱酸工艺

油脂脱酸的主要目的是除去游离脂肪酸,因为游离脂肪酸是油脂腐败变质的主要底物,因此脱酸技术的研究成为国内外学者较为关注的热点<sup>[29]</sup>。目前传统脱酸技术主要包括碱炼脱酸和物理脱酸,其工艺炼耗偏高,精炼得率低,容易产生大量的皂角和废水污染。为克服传统脱酸技术效率低,易残留等缺点,近年来新技术如膜法脱酸、超临界萃取脱酸、吸附脱酸等被不断开发和应用到菜籽油精炼过程中。

#### 3.2.1 膜法脱酸

膜法脱酸没有传统脱酸技术的中间碱炼工序,具有操作温度低,节约能耗,微量营养成分保留多等优点。膜法脱酸过程中截留分子量是影响膜法脱酸的一个重要因素,有研究表明,分别用分子量1000和分子量500两种材料的膜对萃取液进行分离,截留分子量500的膜对脂肪酸平均截流率仅为50.25%,而截留分子量为1000的膜则没有表现出截留作用<sup>[30]</sup>。这是由于脂肪酸的分子量低于300,甘油酯分子量大于800,对于膜法脱酸而言其分子量差别太小,因此直接膜法脱酸的效果不佳。目前多数膜法脱酸研究更多的是与溶剂萃取或酸碱处理结合使用,单独使用超滤膜脱酸处理后的滞留组分中含有甘油三酯,选择性并不好,这制约了膜法脱酸在工业中的应用。

#### 3.2.2 超临界萃取脱酸

超临界流体萃取使用的溶剂主要有:CO<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O等<sup>[31]</sup>。CO<sub>2</sub>具有无污染、无毒、选择性高以及损失率低等特点,因此应用最为广泛。在达到临界压力和温度后,脂肪酸在CO<sub>2</sub>中的溶解度会高于甘油三酯,因此压力和温度是影响萃取效率的主要因素。目前的研究中,

超临界CO<sub>2</sub>萃取的温度一般不超过60℃,萃取压力在10~40 MPa之间。有学者以菜籽油为原料,研究超临界CO<sub>2</sub>逆流工艺,结果表明在60℃和压力20~26 MPa下,通过增加压力和CO<sub>2</sub>流量,分离脂肪酸的效率能明显提高<sup>[32]</sup>。

## 4 油菜籽加工副产物综合利用技术

### 4.1 油菜饼粕

油菜饼粕是油菜籽压榨和精炼过程中的副产品,是油菜籽加工中的主要副产物。油菜饼粕的主要成分是中性油、水分及其他类脂物,还有少量的蛋白质、糖类、蜡和色素,以及有机杂质和无机杂质。目前国内的油菜饼粕主要用于肥料和动物饲料,利用率较低,由于饼粕中含有较多的抗营养因子,如硫代葡萄糖苷、植酸、酚类物质等,容易对动物造成不良影响,影响动物对蛋白质和微量元素的吸收<sup>[33]</sup>。针对这一现象,部分学者采用多菌种混合固态发酵的方法改善油菜饼粕质量,有效降低菜籽粕中的硫苷含量,硫苷降解率达53.4%,提高菜饼中的粗蛋白、菜籽肽、氨基酸含量和蛋白质的体外消化率<sup>[34-35]</sup>。也有报道显示,通过将脱毒后的油菜饼粕和黄豆作为主要原料,采用混合菌种制曲保温发酵22天,能够得到具有油菜籽饼粕特有香气,粘稠适度的风味豆酱<sup>[36]</sup>。

### 4.2 油脚的综合利用

菜籽油脚是菜籽油精炼后的副产物,富含磷脂、脂肪酸、维生素、不皂化物等营养物质。以菜籽油脚为主要原料,提取其中的磷脂、脂肪酸、维生素E是目前的研究热点,能够实现油菜籽的加工增值。菜油脚中的杂质较为复杂,尤其是含硫杂质,使得菜籽油脚磷脂精制相对困难。有学者以菜籽油脚为原料,使用溶剂分提法结合柱色谱分离法提取脑磷脂,在分提时间20 min,温度40℃,溶剂比1:7的条件下提取3次,脑磷脂含量达到46.3%<sup>[37]</sup>。也有研究人员通过油脚中的中性油制取生物柴油,降低生物柴油的生产成本,同时减少对环境的污染<sup>[38]</sup>。

## 5 展望

近年来,我国的油菜加工产业发展迅速,规

模和技术有很大的提升,但是目前比较先进的绿色加工技术仍没有达到大规模的普及和应用,部分中小企业只注重油菜籽加工的出油率而忽视对油菜籽优质营养成分的保护,生产观念仍较落后。高昂的成本是制约中小企业使用绿色加工技术的重要原因,降低其成本是未来油脂加工行业的重要发展方向。我国是油料进口大国,为提高我国食用油自给率,保障食用油质量与安全,大力发展高效节能的油菜籽绿色加工技术势在必行。通过推广油菜绿色加工技术,可以帮助油菜加工产业实现转型升级,提高油菜产业的综合利用产值,实现产业增值,带动农民创收。

#### 参考文献:

- [1] 廖伯寿,殷艳,马霓. 中国油料作物产业发展回顾与展望[J]. 农学报, 2018, 8(1): 107-112.
- [2] 刘昌盛. 冷榨菜籽油低温精炼技术及其品质特性研究[D]. 中国农业科学院, 2012.
- [3] HARASYM J, OLEĐZKI R. The mutual correlation of glucose, starch, and beta-glucan release during microwave heating and antioxidant activity of oat water extracts[J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(4): 874-884.
- [4] LUPINSKA A, ARASZKIEWICZ M, KOZIOL A, et al. Microwave drying of rapeseeds on a semi-industrial scale with inner emission of microwaves[J]. Drying Technology, 2009, 27(12): 1332-1337.
- [5] 杨湄,李文林,刘昌盛,等. 基于微波预处理油菜籽的压榨油和浸出油理化品质比较[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(2): 263-268.
- [6] 卢炳元,徐学明. 微波处理对油菜籽品质的影响[J]. 中国油脂, 2008(4): 25-27.
- [7] MAŁGORZATA W, AGNIESZKA R, ALEKSANDER S, et al. Microwave pretreatment effects on the changes in seeds microstructure, chemical composition and oxidative stability of rapeseed oil[J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 68: 634-641.
- [8] 张苗. 微波预处理对油菜籽及其加工产品中主要芥子酸衍生物和抗氧化活性的影响[D]. 中国农业科学院, 2015.
- [9] 王丽娟,钱建亚. 脉冲电场处理双低油菜籽提高出油率及对主要脂肪酸的影响[J]. 中国油脂, 2016, 41(10): 6-10.
- [10] GUDERJAN M, PEDRO ELEZ-MARTÍNEZ, KNORR D. Application of pulsed electric fields at oil yield and content of functional food ingredients at the production of rapeseed oil[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2007, 8(1): 0-62.
- [11] 李诗龙,刘协舫. 砂辊式油菜籽脱皮机的研制[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(4): 54-56.
- [12] 王安体,王长严. 油菜籽脱皮分离设备[P]. 中国专利: 103567147 A, 2014.
- [13] 胡淑珍,王振,李树君,等. 浸出制油技术研究进展[J]. 2009, 24(11): 153-157.
- [14] 赵丹,汪学德,张润阳,等. 制油工艺对油脂品质的影响研究[J]. 2018, 43(6): 20-24.
- [15] ROSENTHAL A. Aqueous and enzymatic processes for edible oil extraction Enzyme. Microb Technol[J]. Enzyme & Microbial Technology, 1996, 19(6): 402-420.
- [16] 章绍兵,王璋. 水酶法从菜籽中提取油及水解蛋白的研究[J]. 农业工程学报, 2007(9): 213-219.
- [17] 刘志强,贺建华,曾云龙,等. 酶及处理参数对水酶法提取菜籽油和蛋白质的影响[J]. 中国农业科学, 2004(4): 592-596.
- [18] 张亮,李世刚,曹培让,等. 制油工艺对菜籽油微量成分和氧化稳定性的影响[J]. 中国油脂, 2017, 42(2): 1-6.
- [19] 徐响,刘光敏,高彦祥. 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取植物油的研究进展[J]. 粮油食品科技, 2008(1): 31-35.
- [20] 万楚筠,胡双喜,钮琰星,等. 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取双低油菜籽中油脂及其品质研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(7): 32-36.
- [21] 毛涛,李维琳,喻子牛,等. 磷脂酶 A<sub>2</sub> 用于菜籽油脱胶[J]. 中国油脂, 2007(11): 20-22.
- [22] 赵光辉,董平,姜伟,等. 油脂脱胶技术现状及发展方向[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(11): 14-16.
- [23] 李秋生,杨继国,杨博,等. 不同磷脂酶用于植物油脱胶的研究[J]. 中国油脂, 2004(1): 19-22.
- [24] 王瑾,李振岚,王玉,等. 固定化磷脂酶用于冷榨菜籽油脱胶[J]. 食品工业科技, 2010, 31(9): 276-278.
- [25] 王瑛瑶,栾霞,魏翠平,等. 酶技术在油脂加工业中的应用[J]. 中国油脂, 2010, 35(7): 8-11.
- [26] 任晓锋,徐保国,齐文慧,等. 超声波处理对磷脂酶脱除菜籽油中磷脂的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(7): 76-81.
- [27] SUBRAMANIAN R, NAKAJIMA M. Membrane degumming of crude soybean and rapeseed oils[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1997, 74(8): 971-975.
- [28] 陈佳丹. 超滤膜的制备及其在菜籽油脱胶中的应用[D]. 武汉工业学院, 2012.
- [29] CHEW S C, TAN C P, NYAM K L. Optimization of neutralization parameters in chemical refining of kenaf seed oil by response surface methodology[J]. Industrial Crops & Products, 2017, 95: 742-750.
- [30] 张国栋,陈宝琳,袁永俊,等. 菜籽油溶剂-膜法脱酸的研究[J]. 中国油脂, 2005(4): 18-20.
- [31] 刘军海,任慧兰. 食用油脱酸新方法研究进展[J]. 粮食与油脂, 2008(2): 1-6.
- [32] ZACCHI P, BASTIDA S C, JAEGER P, et al. Countercurrent de-acidification of vegetable oils using supercritical CO<sub>2</sub>: Holdup and RTD experiments[J]. Journal of Supercritical Fluids, 2008, 45(2): 238-244.
- [33] 陈娟,刘军,张云鹏,等. 微生物降解菜籽粕中抗营养因子的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2010(7): 40-42.
- [34] 王刚,蔡国林,陆健. 微生物发酵改善菜籽粕品质的研究[J]. 中国油脂, 2011, 36(7): 24-28.
- [35] 何小丽,李冲,张妮妮,等. 生物发酵法改善菜粕品质的研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(11): 85-91.
- [36] 陈济洋,魏登,李超,等. 油菜籽饼粕风味豆酱生产工艺研发[J]. 中国调味品, 2018, 43(10): 137-142.
- [37] 高媛媛,张维农,战东胜,等. 菜籽油脚中脑磷脂的提取与纯化工艺研究[J]. 中国油脂, 2011, 36(5): 48-51.
- [38] 黎丽,胡建华. 油脚制备生物柴油工艺的选择与确定[J]. 油脂工程 2008, 2: 56-58. 