

## 油料预处理对油脂品质影响的研究进展

朱家彬, 李研财, 苏彩虹, 李琪, 于修焯

(西北农林科技大学 食品科学与工程学院, 粮油功能化加工陕西省高校工程研究中心, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**油料预处理是油脂加工中一个重要的环节,对油脂的质量和风味有着重要的影响。为探究不同预处理技术对油脂质量和风味的影响,综述了不同油料在加工中的不同预处理技术,重点分析脱皮、高温烘烤、微波、挤压膨化、脉冲电场、红外线烘烤及超声波等油料预处理技术对油脂品质的影响,并探讨了油料预处理技术的发展方向。不同预处理技术对油脂品质的影响各不相同,多种油料预处理技术协同应用的加工工艺具有较大的发展潜力。

**关键词:**油料预处理;油脂品质;预处理技术

中图分类号:TS225.1;TS224.2 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)10-0016-09

### Research progress on effects of oilseeds pretreatment on oil quality

ZHU Jiabin, LI Yancai, SU Caihong, LI Qi, YU Xiuzhu

(Engineering Research Center of Grain and Oil Functionalized Processing in Universities of Shaanxi Province, College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

**Abstract:** Oilseeds pretreatment is an important part of oil processing and has important impact on the quality and flavor of oil. In order to investigate the effect of different pretreatment technologies on oil quality and flavor, the different pretreatment technologies used in the processing of different oilseeds were reviewed, focusing on the effects of peeling, high temperature roasting, extrusion, microwave, pulsed electric field, infrared ray roasting and ultrasonic pretreatment technologies. The development direction of oilseeds pretreatment was also discussed. Different pretreatment techniques have different impacts on oil quality. The synergistic application of multiple oilseeds pretreatment technologies has a large development potential.

**Key words:** oilseeds pretreatment; oil quality; pretreatment technology

油料预处理是指在制油之前对油料进行的清理、水分调节、剥壳、脱皮、破碎、软化、轧坯、膨化、干燥等一系列过程,其目的是除去杂质并将其制成具有一定结构性能的物料,以满足不同制油工艺的要求<sup>[1]</sup>。油料预处理工艺对油脂品质的影响较大,对油料进行预处理不仅能有效提高出油率和油脂中活

性成分的含量,还能很好地促进风味物质的生成,改善油脂的品质<sup>[2]</sup>。

传统的油料预处理工艺一般包括清理、破碎、软化、轧坯、生坯烘干等工序。近年来,脱皮、高温烘烤和挤压膨化技术等油料预处理工艺得到了快速发展,并广泛应用于生产实践中<sup>[1-2]</sup>。脉冲电场、红外线烘烤和超声波等新型油料预处理技术展现出较为明显的优势<sup>[3]</sup>,但在实际生产中的应用仍需进一步研究。本文主要以芝麻、大豆、油菜籽、亚麻籽、花生、油茶籽等油料为研究对象,综述了脱皮、微波、高温烘烤和挤压膨化等常规油料预处理技术及脉冲电场、红外线烘烤和超声波等新型油料预处理技术对油脂品质的影响,并探讨油料预处理工艺发展方向,以为油料预处理工艺的选择和优化提供参考。

收稿日期:2022-06-21;修回日期:2023-06-30

基金项目:2020年陕西省农业协同创新与推广联盟重大科技项目(LMZD202005)

作者简介:朱家彬(1998),男,在读硕士,研究方向为功能性油脂及安全检测(E-mail)zhujiabin7254@163.com。

通信作者:于修焯,教授,博士(E-mail)xiuzhuy@nwf.edu.cn。

## 1 常规油料预处理对油脂品质的影响

### 1.1 脱皮预处理

脱皮预处理工艺普遍应用于大豆油的生产中。油料皮壳中含有的粗纤维和其他杂质成分不仅会影

响饼粕的营养价值和适口性,也会造成油脂色泽加深和饼粕残油率增高。因此,对于含有皮壳的油料生产加工时,往往需要进行脱皮预处理<sup>[4]</sup>。表1为脱皮预处理对常见油料出油率及油脂品质的影响。

表1 脱皮预处理对常见油料出油率和油脂品质的影响

油料	脱皮方法	出油率	饼粕蛋白质提高率	油脂品质			参考文献
				理化指标	活性成分	色泽	
芝麻	碱法脱皮、酶法脱皮	提高	3%~4%	酸值降低,过氧化值增加	芝麻酚和V <sub>E</sub> 含量降低	更鲜亮,红、黄值低,透明度更好	[5-6]
大豆	热脱皮、冷脱皮	提高	3.5~5.0百分点	酸值、胶质含量降低		变浅	[7]
油菜籽	搓碾脱皮、剪切脱皮	提高	8%~13%	酸值降低,过氧化值增加		变浅	[8]
亚麻籽	干法机械脱皮、湿法脱皮、发芽脱皮	提高		无明显影响	木脂素含量降低	变浅	[9-10]

#### 1.1.1 芝麻脱皮预处理

芝麻油作为我国主要的食用油之一,因其富含不饱和脂肪酸和独特的芝麻香味,深受消费者喜爱。但是芝麻皮中含有大量草酸和人体不能消化的粗纤维,不仅会影响芝麻油的营养价值,还会使其口感苦涩,因此需要对芝麻进行脱皮预处理<sup>[6]</sup>。芝麻脱皮一般采用碱法脱皮,也称湿法脱皮。碱法脱皮中,由于淡碱水中和了游离脂肪酸和芝麻皮中的草酸,使脱皮芝麻油酸值降低;另一方面,脱皮芝麻在炒籽和制油过程中,表面油脂会直接与空气相接触,使芝麻油氧化速率加快,故过氧化值偏高<sup>[5]</sup>。此外,有研究采用酶法对芝麻进行脱皮预处理<sup>[6]</sup>。脱皮预处理对芝麻油脂肪酸组成的影响较小,变化较为明显的是棕榈一烯酸,其在未脱皮芝麻油中含量普遍较高<sup>[5-6]</sup>。芝麻皮中的色素类物质会使油脂色泽加深,因此脱皮后的芝麻油在色泽上比未脱皮芝麻油更为鲜亮,红值和黄值更低,透明度更好。在芝麻油的特征风味上,脱皮预处理并不会改变其风味,仍保持着生芝麻固有的风味<sup>[6,11]</sup>。从产品品质角度出发,芝麻脱皮预处理对芝麻油的品质具有显著的改善作用。

近年来,出现了负压和微波处理相结合的脱皮工艺,与传统碱法脱皮相比,该脱皮工艺具有无碱液残留、营养价值不变和环境友好等优势<sup>[12]</sup>。

#### 1.1.2 大豆脱皮预处理

大豆的脱皮工艺大体上分为冷脱皮和热脱皮。

冷脱皮工艺是将清理后的大豆先在干燥塔中热风干燥,使大豆水分降至10%左右,然后在储仓中保存1~3d,待大豆冷却至室温后再进行脱皮。而热脱皮是使大豆始终在加热状态下进行处理,更有利于皮仁的分离,不易产生粉末,脱皮效率也比较高,目前应用最为广泛<sup>[1,13]</sup>。

未脱皮大豆制得的原油质量较差,饼粕外观及适口性都不好,并且其种皮含水溶性花色素,能与蛋白质反应,从而降低油和饼粕的营养价值<sup>[14]</sup>。脱皮预处理是去除大豆油中单宁最有效的方法之一<sup>[15]</sup>。此外,大豆皮中含色素、胶质较多,脱皮大豆制取的原油胶质含量更低,但是色泽变浅<sup>[7]</sup>。大豆脱皮预处理对大豆油风味的影响仍需要进一步探究。

#### 1.1.3 油菜籽脱皮预处理

油菜籽的种皮中含有一些色素以及芥子碱、单宁等物质<sup>[8]</sup>,对油菜籽进行脱皮预处理后再制取油脂,可以有效降低抗营养因子含量,提高饼粕蛋白质含量,从而达到改善饼粕质量的目的。

油菜籽的脱皮方法有搓碾脱皮、剪切脱皮、复合脱皮等。研究发现,脱皮预处理可使菜籽油中游离脂肪酸含量下降,但会导致过氧化值增大,同时脱皮冷榨菜籽油中检测到由二甲基硫醚引起的较为明显的“卷心菜”风味,而这种风味在未脱皮冷榨菜籽油中较低<sup>[16]</sup>。另有研究表明,脱皮预处理工艺能有效减少来自种皮的异味,对菜籽油品质有一定的改善作用<sup>[8]</sup>。

### 1.1.4 亚麻籽脱皮预处理

亚麻籽不仅含有丰富的油脂,还富含各种生物活性成分<sup>[17]</sup>。亚麻籽外皮坚硬厚实光滑、呈扁平状,皮仁所占比例相当,脱皮与分离难度很大。目前亚麻籽的脱皮方法主要有干法机械脱皮、湿法脱皮和发芽脱皮,每种方法对亚麻籽脱皮的影响各不相同,并且亚麻籽品种差异也会影响脱皮效果<sup>[10]</sup>。

Mridula 等<sup>[9]</sup>研究发现,脱皮预处理可提高亚麻籽出油率,而出油率与脱皮率和其他因素有关。未脱皮亚麻籽直接压榨制取的亚麻籽油中存在胶质物残留,而脱皮预处理能有效减少胶质物含量<sup>[10]</sup>。脱皮预处理对亚麻籽油酸值、过氧化值等影响相对较小,不会改变其理化性质,同时脱皮预处理也不会对亚麻籽油中的  $\omega-3$  脂肪酸含量产生影响,且不改变其脂肪酸组成。由于亚麻籽皮中含有色素,直接压榨制油可加深油脂色泽,而脱皮压榨制取的油脂色泽相对较浅<sup>[18]</sup>,因此脱皮预处理能在一定程度上改善亚麻籽油的品质。

综上所述,脱皮预处理对于含有皮壳或种皮的油料不仅能够有效改善油脂色泽和质量较差等问题,还能进一步提高饼粕的利用价值。近年来,出现了利用重力或静电技术等来分离外壳和种皮的脱皮工艺,通过提高油料脱皮率,达到快速高效制取油脂的目的。随着市场对油脂品质需求的提高和对风味要求的改变,脱皮预处理工艺也需要不断的优化,以满足市场需求。

### 1.2 高温烘烤预处理工艺

高温烘烤一般是指利用烘箱或滚筒等设备对油料进行高温处理,是油料常用的预处理方法之一。适度烘烤油料有助于增强相应的风味和香气,而过度烘烤不仅会导致油脂色泽加深,还会产生异味甚至是有害污染物,如多环芳烃等<sup>[19]</sup>。因此,控制好油料烘烤条件对油脂品质和风味意义重大。烘烤预处理对不同油料的影响有所不同,表 2 为烘烤预处理对常见油料出油率和油脂品质的影响。

表 2 烘烤预处理对常见油料出油率和油脂品质的影响

油料	烘烤条件	出油率	油脂品质				参考文献
			理化指标	活性成分	色泽	风味	
油菜籽	165 °C、 20 ~ 100 min	提高	酸值增加, 过氧化值先增 加后减小	生育酚、植物 甾醇和酚类化 合物含量增加	加深	辛辣味、青草 味减少,烘 烤和坚果 香增加	[20 - 21]
花生	120 ~ 190 °C、 10 ~ 30 min	提高	酸值增加, 过氧化值先增 加后减小	生育酚和角鲨 烯含量增加	加深,从深 黄色变为 红棕色	烘烤和坚果 香增加	[22 - 23]
油茶籽	65 ~ 140 °C、 5 min	提高	酸值变化不明显, 过氧化值增加	生育酚含量变化 不明显,总酚、 总黄酮含量 先增加后减少	逐渐变为深 黄色且透明 度下降	烘烤和坚果 香、香草 味增加	[24 - 25]
芝麻	180 ~ 220 °C、 10 ~ 30 min	提高	过氧化值 先增加后减小	生育酚 含量增加	加深	烘烤和坚果 果香增加	[26 - 27]

#### 1.2.1 油菜籽高温烘烤预处理

高温烘烤预处理是提高油菜籽出油率的方法之一。由表 2 可知,高温烘烤预处理会促使游离脂肪酸含量增加,导致菜籽油酸值上升,过氧化值则表现出先增加后减小的趋势。同时由于烘烤预处理使不饱和脂肪酸氧化,导致不饱和脂肪酸含量降低,但总体上对脂肪酸组成的影响不显著<sup>[28]</sup>。研究表明,在一定烘烤温度范围内,生育酚、植物甾醇和酚类化合物等生物活性成分的含量随温度升高而增加<sup>[29]</sup>。

由表 2 可知,高温烘烤后菜籽油色泽加深,这是由于色素和美拉德反应产物的不断累积造成的<sup>[20,30]</sup>。高温烘烤预处理后制得的菜籽油可以检

出 200 多种挥发性化合物,其中硫代葡萄糖苷的降解产物是主要的特征风味物质,如 1-异硫氰酸丁烷、异硫氰酸烯丙酯和 4-异硫氰酸基-1-丁烯,是造成菜籽油产生辛辣味和青草味的主要原因。相较于未烘烤或轻度烘烤,深度烘烤后菜籽油中的吡嗪和呋喃类化合物的含量更高,赋予其烘烤和坚果香<sup>[21,28]</sup>。烘烤过程中生成的吡嗪、呋喃化合物及其衍生物可进一步作为菜籽油中的特征性生物标志物,成为监测、增强或调节风味质量的指标,这也有助于生产不同香型的菜籽油以满足消费者需求。

#### 1.2.2 花生高温烘烤预处理

高温烘烤是浓香花生油加工常用预处理方法之

一。研究发现,高温烘烤预处理后花生油的酸值增加,过氧化值呈先增加后减小的趋势<sup>[23]</sup>。将花生170~190℃烘烤20~30 min,花生油的脂肪酸组成未发生明显变化,但反式脂肪酸含量随烘烤温度升高或烘烤时间延长而增加,生育酚和角鲨烯等生物活性成分含量逐渐增加,油脂的氧化稳定性提高<sup>[22]</sup>。

高温烘烤预处理会导致花生油从深黄色变为红棕色,并且随着烘烤时间的延长,褐变指数增大,色泽不断加深<sup>[23]</sup>,相较于未烘烤或轻度烘烤后制备的花生油,深度烘烤后其香气更浓郁,而在轻度烘烤后制备的花生油中,醛类则是主要的挥发性化合物<sup>[31]</sup>。因此,高温烘烤预处理中时间和温度是浓香花生油生产的关键。

### 1.2.3 其他油料高温烘烤预处理

适宜的高温烘烤预处理能显著增加山茶油中总酚和总黄酮等生物活性物质的含量,提高其营养价值<sup>[24]</sup>,另外,高温烘烤使山茶油色泽逐渐变为深黄色且透明度下降<sup>[32]</sup>,其风味物质以杂环类、醛类和醇类化合物为主,表现出烘烤和香草等气味,与山茶油的典型风味一致<sup>[25]</sup>。

研究发现,由于美拉德反应,对芝麻进行高温烘烤预处理后芝麻油的色泽加深,并且在一定温度范围内芝麻油中生育酚、总酚含量和氧化稳定性随着烘烤时间的延长而增加,过氧化值先增加后减小<sup>[26-27]</sup>。值得注意的是,在200℃高温烘烤预处理

下,芝麻的出油率大幅增加,并且芝麻品种和生长条件等因素会影响高温烘烤预处理后油脂的品质,因此在高温烘烤预处理前需要充分考虑芝麻品种等差异<sup>[26]</sup>。由此可见,高温烘烤的温度、时间以及油料品种的差异对油脂理化性质及风味特性有重要影响,在工业化生产中控制好烘烤条件对保证油脂品质十分关键<sup>[33]</sup>。

目前高温烘烤技术大部分仍是利用烘箱或滚筒进行烘烤,虽然成本较低且相对简便,但是直接烘烤的方式由于受热的不均匀性,容易破坏油脂体的单层膜结构,使油脂体的稳定性降低,应用性能下降。因此,研究出新的烘烤预处理工艺如微波加热和红外辐射等技术,对促进油脂加工发展具有重要意义。此外,有研究表明高温烘烤和其他预处理技术相结合,能够进一步优化油脂的感官品质和营养价值,是油脂生产发展的又一方向<sup>[19]</sup>。

### 1.3 微波预处理工艺

微波预处理作为食品生产中绿色高效的加工技术,被广泛应用于油料的生产加工中<sup>[34]</sup>。作为一种现代加工技术,微波处理具有省时、高效以及受热均匀等优点,应用于油料预处理中能有效改善油脂色泽和风味,显著提高油料的出油率<sup>[35]</sup>。尽管微波预处理对油脂的理化性质有影响(见表3),但微波技术主要的研究与应用集中在提高油脂营养价值和改善油脂风味上<sup>[36]</sup>。

表3 微波预处理对常见油料出油率和油脂品质的影响

油料	处理条件	出油率	理化指标	活性成分	色泽	风味	参考文献
油菜籽	800 W 0~3 min	提高	酸值、过氧化值增加,多不饱和脂肪酸含量下降	生育酚和总酚含量增加	加深	刺激性气味减弱,烘烤、坚果、木香味愈加浓郁	[36-37]
芝麻	160~640 W 1~7 min	提高	酸值、脂肪酸组成变化不大,过氧化值波动	生育酚,芝麻素和芝麻林素含量先增加后减少	变浅	烘烤、坚果香和焦糖风味逐渐浓郁	[38-39]
花生	700 W 1~5 min; 800~1 000 W 16~20 min	提高	酸值、过氧化值增加,不饱和脂肪酸含量略有下降	生育酚和植物甾醇含量增加	浅黄色逐渐变为浅棕色,透明度下降	坚果和烘烤风味逐渐浓郁	[40-41]
油茶籽	640 W 6~8 min	提高	酸值、过氧化值下降;不影响脂肪酸组成	植物甾醇和角鲨烯含量增加	偏黄,颜色加深	烘烤、面包和坚果的香味逐渐浓郁	[42-43]
亚麻籽	140~700 W 3~5 min	提高	酸值、过氧化值增加,碘值降低	黄酮含量增加,多酚类物质和植物甾醇含量先增加后减少	加深		[44]

#### 1.3.1 油菜籽微波预处理

微波预处理可以显著提高油菜籽的出油率。由

表3可知,在800 W微波预处理2~4 min时油菜籽出油率可提高3%~10%,以此为原料制备的菜籽

油酸值、过氧化值升高,总酚和生育酚含量增加,多不饱和脂肪酸含量下降约 10%,但脂肪酸组成变化不大<sup>[36-37]</sup>。但也有研究表明,微波预处理并不影响油脂中不饱和脂肪酸的含量,这种差异可能与微波处理时间、功率和油料品种的不同有关<sup>[37,45]</sup>。

硫化物、硫苷降解产物、杂环类化合物和醛类化合物对菜籽油风味的影响较大,其中硫代葡萄糖苷的分解产物会产生木质涩味和刺鼻的气味,令人难以接受<sup>[36]</sup>。Ren 等<sup>[37]</sup>研究发现,微波预处理后菜籽油中刺激性化合物 4-异硫氰酸基-1-丁烯的相对含量减少 70%~95%,同时随着美拉德反应产生吡嗪和呋喃等杂环类化合物,菜籽油的刺激性气味减弱,烘烤、坚果和木香味愈加浓郁,但过度的微波预处理会使吡嗪等杂环类化合物发生聚合,产生不可接受的刺激性烘烤气味<sup>[9,37]</sup>。另外,微波预处理会导致菜籽油色泽加深。因此,在浓香菜籽油加工中控制好工艺参数,对其产生良好风味具有重要意义。

### 1.3.2 芝麻微波预处理

鞠阳等<sup>[38]</sup>研究发现,微波预处理可有效提高芝麻出油率,对芝麻油酸值影响较小,过氧化值随着微波处理时间的延长及微波功率的增大呈波动变化,但是微波预处理基本不影响芝麻油中脂肪酸组成。但对白芝麻,微波预处理会使芝麻油脂肪酸组成发生略微变化<sup>[46]</sup>,这可能与芝麻品种的差异相关。此外,适当的微波处理可使芝麻油的生育酚、芝麻素和芝麻林素含量增加,以提高油脂营养价值<sup>[28]</sup>。

微波预处理可以明显改善传统工艺造成的芝麻油色泽深且透明度差的问题,使消费者接受程度更高<sup>[38]</sup>。微波预处理诱导美拉德反应、Strecker 降解和脂质氧化,使芝麻油中吡嗪和呋喃类化合物、己醛和 2-庚烯醛等含量增加,促进芝麻油烘烤、坚果香和焦糖风味的形成<sup>[38,47]</sup>。微波处理时间对油脂挥发性物质的影响较大,通常在较短时间处理后杂环类化合物和醛类物质的含量会显著增加<sup>[39]</sup>。此外,芝麻的品种和地理环境差异也会导致微波预处理对油脂的影响有所不同<sup>[26]</sup>。

### 1.3.3 花生微波预处理

微波预处理会导致花生仁中蛋白质变性,单个脂质体周围的脂蛋白膜受损,从而使花生出油率显著增加,Hu 等<sup>[40]</sup>在微波功率 700 W 下处理花生 5 min,花生的出油率最高可增加 13.9%左右。微波预处理对花生油特征脂肪酸无显著影响,不饱和脂肪酸的含量略有下降,棕榈酸含量略有增加,但变化均相对较小。同时,微波预处理使花生油的酸值和

过氧化值略微增加<sup>[40,48]</sup>。此外,随着微波处理时间的延长,花生油中植物甾醇和生育酚含量显著增加,氧化稳定性增强<sup>[41,48]</sup>。

Raigar 等<sup>[49]</sup>研究发现,微波预处理后花生油色泽从浅黄色逐渐变为浅棕色,透明度下降,微波预处理后制取的花生油可检测出 100 多种挥发性化合物,其中 2,5-二甲基吡嗪与花生油的风味高度相关,使花生油呈现出浓郁的坚果和烘烤风味,同时,微波技术即使在较低的温度下也能在短时间内通过热处理促使花生油风味物质吡嗪类化合物的形成。

### 1.3.4 其他油料的微波预处理

研究发现,油茶籽经微波预处理后,其出油率得到显著提高,同时山茶油中的植物甾醇和角鲨烯等活性成分含量显著增加,酸值和过氧化值下降,由于微波预处理能增加山茶油中的类胡萝卜素含量,从而使其色泽偏黄,颜色加深<sup>[42-43]</sup>。总之,适当的微波预处理不仅可以提高油茶籽的出油率,而且会对山茶油的氧化稳定性和生物活性成分产生一定影响。

适当的微波预处理有利于亚麻籽油中黄酮、多酚类物质和植物甾醇的提取,但使亚麻籽油酸值、过氧化值显著增加,碘值降低<sup>[44]</sup>。

微波预处理不仅可有效提高油料的出油率,还可以增加油脂中植物甾醇、生育酚等天然生物活性成分的含量,以提高油脂品质。值得注意的是,微波预处理在油脂色泽方面的研究仍相对较少,对叶绿素、类胡萝卜素等色素类物质的生成和降解机制尚不清楚,对油料制油后饼粕中蛋白质等营养成分或抗营养因子含量的影响也值得深入探讨。

## 1.4 挤压膨化预处理工艺

挤压膨化是使油料充分混合、加热、加压、胶合和糊化而产生组织结构的变化。在油料的预处理方法中,挤压膨化因成本低、用途广泛、操作简便等优势而备受关注<sup>[1,50]</sup>。挤压膨化工艺对粉末状油料或高含油油料的一次性浸出尤为适用,21 世纪初美国 90% 的棉籽和 80% 的大豆都会经过挤压膨化预处理后再进行提油处理<sup>[51]</sup>。

以大豆油挤压膨化加工为例,大豆在挤压膨化过程中通常会发生多种物理和化学变化,如交联、裂解、裂解片段的再交联和热降解反应等,从而使挤压膨化预处理后大豆油脂浸出率显著提高<sup>[50]</sup>,并且挤压膨化预处理后大豆油中游离脂肪酸含量低于直接溶剂萃取和直接压榨大豆油中的含量,并且氧化稳定性也更高<sup>[52]</sup>。挤压膨化预处理后磷脂酶活化,能有效氧化非水化磷脂,减少大豆原油中的磷脂含量,

使其含磷量降至5~10 mg/kg,防止在保存时磷脂发生自然水化产生大量沉淀和在后续使用中磷脂产生大量泡沫等<sup>[53]</sup>。

大豆油中的植物甾醇、色素和烃类等不皂化物含量会随挤压膨化温度升高而增加,但在燕麦麸皮挤压膨化预处理提油的研究中,生物活性成分随挤压膨化温度的升高变化不明显,这可能与油料品种的差异有关<sup>[54]</sup>。挤压膨化预处理后制取的大豆油与直接压榨、溶剂萃取的大豆油在色泽上没有明显差异<sup>[55]</sup>。挤压膨化对大豆油风味影响方面的研究很少,挥发性成分的变化过程也不明确,需要更深入的研究以完善挤压膨化预处理工艺。

综上所述,挤压膨化技术相对来说是一种比较高效和便捷的油料预处理方法,可以达到改善油脂品质的效果。但是,如何防止挤压膨化预处理过程中蛋白质过度变性,以及挤压膨化预处理对油脂风味影响的研究都鲜有报道,需要进一步探究。

## 2 新型预处理技术

### 2.1 脉冲电场预处理技术

脉冲电场作为一种非热食品加工技术,近年来得到了越来越广泛的关注。油料的脉冲电场预处理技术实际上是以较高的电场强度、脉冲频率和较短的脉冲宽度对油料进行处理,以增加细胞膜的通透性,从而提高出油率<sup>[55]</sup>。

油菜籽在进行脉冲电场预处理后不影响其油脂碘值和皂化值,生物活性成分如生育酚、植物甾醇和多酚含量有一定的增加,与未处理的菜籽油相比,预处理后 $\alpha$ -生育酚含量增加了20%,多酚含量增加了3倍<sup>[56]</sup>。类似地,在对油橄榄果进行脉冲电场预处理后其油脂中生物活性成分含量也增加,不同的是橄榄油中 $\alpha$ -生育酚的含量并没有显著变化,且非热处理的脉冲电场技术不会对油脂的挥发性化合物产生影响<sup>[57]</sup>。因此,脉冲电场技术可用作油料制油前的预处理工艺,在非热条件下提高油脂产量和生物活性成分的含量,但是由于其对于不同油料具体的应用参数不同,需要不断的研究和完善。

### 2.2 红外线烘烤预处理技术

红外线预处理技术是通过辐射将能量从红外线发生器传递到油料,油料分子吸收红外线并将红外线转化为热能以达到均匀加热的目的。与传统的烘烤方法相比,红外线烘烤能量消耗更低,是一种新型绿色的烘烤工艺<sup>[58]</sup>。

研究发现,适宜的红外线烘烤工艺能够显著提高油菜籽的出油率,且油脂的酸值、过氧化值均比传统高温烘烤的更低,氧化稳定性更好;同时红外线烘

烤能使油菜籽细胞壁发生热膨胀,促进酚类物质的释放,增加活性成分的含量,以改善菜籽油的品质<sup>[58-59]</sup>。Yu等<sup>[58]</sup>通过与传统高温烘烤对比,考察红外线烘烤对菜籽油风味的影响。结果发现,红外线烘烤对菜籽油特征风味化合物的影响不大,硫代葡萄糖苷降解产物腈和异硫氰酸酯含量与传统高温烘烤基本相同,但是在美拉德反应产物上,红外线烘烤对吡嗪和呋喃等杂环类化合物有更明显的促进作用,因此菜籽油的坚果、烘烤风味会更加浓郁。也有研究表明,与传统高温烘烤预处理相比,红外线烘烤对美拉德反应的促进作用并不明显,这可能与烘烤条件和油料品种差异有关<sup>[60]</sup>。总之,红外线烘烤预处理在油脂色泽、理化性质和生物活性成分等方面比传统高温烘烤的更优,品质更佳。因此,红外线烘烤技术比传统高温烘烤技术有着更大的优势,能更显著地增加生物活性成分的含量,改善油脂的营养和风味。

### 2.3 超声波预处理技术

作为一种新兴加工技术,超声波技术主要作为水酶法制油的预处理工艺,以提高油脂的提取率<sup>[61]</sup>,同时不会改变油脂的特征性脂肪酸<sup>[62]</sup>。然而,有研究指出,超声波处理后不仅会增加油脂的酸值、过氧化值,还会诱导油脂生成过氧自由基,使油脂氧化稳定性和生物活性成分含量降低,从而降低油脂品质<sup>[63]</sup>。

研究发现,超声波预处理会钝化酶的活性,抑制风味物质的生成,使油脂的挥发性风味物质含量减少,但是随着超声波处理时间的延长,空化效应使脂肪酸发生分解,反而为挥发性风味物质的生成提供了前体物质,其含量又会有所增加<sup>[63-64]</sup>,但对油脂风味可能产生一定的不良影响<sup>[64]</sup>。目前关于油料超声波预处理的研究相对较少,对于油脂品质和风味具体的影响机制需要进一步探究。

## 3 总结与展望

油料预处理是油脂加工中一个重要的环节,对油料出油率、饼粕营养价值和油脂的品质均有影响。其中:脱皮预处理能除去皮壳中的粗纤维和其他杂质成分,提高饼粕蛋白质含量,减少油脂来自种皮的异味;挤压膨化预处理操作相对简便,对油料的利用率比较高,能在较低能耗下达到改善油脂品质的目的;高温烘烤、微波预处理和红外线烘烤预处理都是对油料的加热处理,均能显著提高油料出油率和油脂中的活性成分,促进油脂中烘烤、坚果等风味的形成,但微波预处理和红外线烘烤预处理作为现代加热技术,其改善效果要比传统高温烘烤的更佳;新兴

的脉冲电场预处理技术能在非热条件下提高油料出油率和油脂品质,在油脂加工中的应用前景十分广阔。

油料预处理工艺的研究已经取得了良好进展,但是还需要在以下几个方面继续深入探究:①优化脱皮、挤压膨化等预处理技术,如设计简单高效的脱皮方法以提高油料脱皮率,研究在挤压膨化过程中避免饼粕中蛋白质的过度变性等,使其更好地适应现代加工;②深化新型预处理技术的研究内容,如深入探究微波技术对油脂色泽、超声波技术对油脂风味的影响,充分发挥脉冲电场的非热温和处理、红外线烘烤的高效率低能耗的优势等,使其能够更好地应用于油脂加工生产中;③改进两种及以上预处理技术协同应用时油脂的加工工艺,如在应用微波-挤压膨化、超声波-微波技术时对生产工艺的研究设计,使其充分发挥两者的优势。在现代新型油脂加工的背景下,多种预处理技术协同应用的加工工艺极具发展潜力,能在保证不同技术充分发挥各自优势的前提下,获得更为优质的食用油脂。

#### 参考文献:

- [1] 柏云爱,张春辉. 我国油料预处理技术的现状及发展趋势[J]. 中国油脂, 2005,30(7):12-17.
- [2] 邓秋华,占佳凤. 我国油脂工业技术发展的现状研究[J]. 食品安全导刊, 2014(26):81-82.
- [3] KASEKE T, OPARA U L, FAWOLE O A. Novel seeds pretreatment techniques: effect on oil quality and antioxidant properties; a review[J]. J Food Sci Technol, 2021, 58(12): 4451-4464.
- [4] 袁榕. 我国油脂加工技术现状和发展趋势[J]. 中国油脂, 2014, 39(11):1-4.
- [5] 刘兵戈,汪学德,黄维,等. 原料脱皮和制油工艺对芝麻油品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2013, 34(6):32-36.
- [6] 檀静,汪学德,葛正法,等. 脱皮对芝麻香油以及蛋白质的影响[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(6):35-39.
- [7] 汪学德,刘玉兰,张百川,等. 大豆脱皮与等级豆粕生产工艺的研究[J]. 中国油脂, 2003,28(2):8-11.
- [8] 刘大川,张麟,周光,等. 油菜籽脱皮、挤压膨化、浸出制油新工艺的中试研究[J]. 中国油脂,2003,26(1):17-20.
- [9] MRIDULA D, BARNWAL P, SINGH K K. Screw pressing performance of whole and dehulled flaxseed and some physico-chemical characteristics of flaxseed oil[J]. J Food Sci Technol, 2015, 52(3): 1498-1506.
- [10] SHIM Y Y, GUI B, WANG Y, et al. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil processing and selected products[J]. Trends Food Sci Technol, 2015, 43(2): 162-177.
- [11] 宋国辉,黄纪念,张丽霞,等. 脱皮对主要芝麻制品的品质影响初探[J]. 农产品加工, 2017,16(3):1-5,8.
- [12] 祝水兰,周巾英,罗晶,等. 一种芝麻脱皮方法: CN110226729A[P]. 2019-09-13.
- [13] 黄鑫,白宏伟,王强,等. 大豆脱皮技术研究进展[J]. 中国油脂, 2019, 44(11):13-16.
- [14] 左青,郭华,王宏平,等. 大豆热脱皮工艺及设备[J]. 中国油脂, 2012, 37(5):6-9.
- [15] 张洪伟. 提高大豆脱皮率对豆粕残油和蛋白影响的研究[J]. 现代食品, 2020,6(21):88-91.
- [16] GRACKA A, RACZYK M, HRADECKÝ J, et al. Volatile compounds and other indicators of quality for cold-pressed rapeseed oils obtained from peeled, whole, flaked and roasted seeds [J/OL]. Eur J Lipid Sci Technol, 2017, 119(10): 1600328 [2022-06-21]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600328>.
- [17] 周政. 我国亚麻籽油产业发展现状及存在问题[J]. 中国油脂, 2020, 45(9):134-136.
- [18] MRIDULA D, BARNWAL P, SINGH K K. Dehulling characteristics of selected flaxseed varieties [J]. Food Bioprocess Technol, 2013, 6(11): 3284-3289.
- [19] ZHANG Y, LI X, LU X, et al. Effect of oilseed roasting on the quality, flavor and safety of oil: a comprehensive review[J/OL]. Food Res Int, 2021, 150: 110791 [2022-06-21] <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110791>.
- [20] REKAS A, WRONIAK M, ŚCIBISZ I. Microwave radiation and conventional roasting in conjunction with hulling on the oxidative state and physicochemical properties of rapeseed oil [J/OL]. Eur J Lipid Sci Technol, 2017, 119(7): 1600501 [2022-06-21]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.2016000501>.
- [21] ZHANG Y, WU Y, CHEN S, et al. Flavor of rapeseed oil: an overview of odorants, analytical techniques, and impact of treatment[J]. Compr Rev Food Sci F, 2021, 20(4): 3983-4018.
- [22] ZHANG D, LI X, CAO Y, et al. Effect of roasting on the chemical components of peanut oil [J/OL]. LWT - Food Sci Technol, 2020, 125: 109249 [2022-06-21]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109249>.
- [23] CIOU J Y, CHEN H C, CHEN C W, et al. Relationship between antioxidant components and oxidative stability of peanut oils as affected by roasting temperatures [J/OL]. Agriculture, 2021, 11(4): 300 [2022-06-21]. <https://doi.org/10.3390/agriculture/1040330>.
- [24] YANG K M, HSU F L, CHEN C W, et al. Quality characterization and oxidative stability of camellia seed oils produced with different roasting temperatures [J/OL]. J Oleo Sci, 2018: ess17190 [2022-06-21]. <https://doi.org/10.5650/jos.ess17190>.

- [25] HE J, WU X, ZHOU Y, et al. Effects of different preheat treatments on volatile compounds of *Camellia* (*Camellia oleifera* Abel.) seed oil and formation mechanism of key aroma compounds [J/OL]. *J Food Biochem*, 2021, 45(3): e13649 [2022-06-21]. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13649>.
- [26] AHMED I A M, USLU N, ÖZCAN M M, et al. Effect of conventional oven roasting treatment on the physicochemical quality attributes of sesame seeds obtained from different locations [J/OL]. *Food Chem*, 2021, 338: 128109 [2022-06-21]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128109>.
- [27] XU T, YANG R, HUA X, et al. Improvement of the yield and flavour quality of sesame oil from aqueous extraction process by moisture conditioning before roasting [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2019, 54(2): 471-479.
- [28] JING B, GUO R, WANG M, et al. Influence of seed roasting on the quality of glucosinolate content and flavor in virgin rapeseed oil [J/OL]. *LWT - Food Sci Technol*, 2020, 126: 109301 [2022-06-21]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109301>.
- [29] SIGER A, JÓZEFIAK M. The effects of roasting and seed moisture on the phenolic compound levels in cold-pressed and hot-pressed rapeseed oil [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2016, 118(12): 1952-1958.
- [30] 孟令杰,张宏荣. 烘烤预处理对冷榨菜籽油贮藏品质的影响[J]. *粮食科技与经济*, 2021, 46(3):110-113.
- [31] LIU X, JIN Q, LIU Y, et al. Changes in volatile compounds of peanut oil during the roasting process for production of aromatic roasted peanut oil [J]. *J Food Sci*, 2011, 76(3): C404-C412.
- [32] LUO F, FEI X. Maillard reaction derived from oil-tea camellia seed through roasting [J]. *J Sci Food Agric*, 2019, 99(11): 5000-5007.
- [33] WASZKOWIAK K, SIGER A, RUDZIŃSKA M, et al. Effect of roasting on flaxseed oil quality and stability [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2020, 97(6): 637-649.
- [34] KAYANAN B U R, SAGUM R S. Microwave and ultrasound pretreatment of *Moringa oleifera* Lam. seeds: effects on oil expression, oil quality, and bioactive component [J]. *J Oleo Sci*, 2021, 70(7): 875-884.
- [35] KARRAR E, SHETH S, WEI W, et al. Effect of microwave heating on lipid composition, oxidative stability, color value, chemical properties, and antioxidant activity of gurma (*Citrullus lanatus* var. *colocynthis*) seed oil [J/OL]. *Biocatal Agric Biotechnol*, 2020, 23: 101504 [2022-06-21]. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101504>.
- [36] 张欢欢,曾志红,高飞虎,等. 预处理技术对冷榨双低菜籽油品质及挥发性风味成分的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(18):233-238.
- [37] REN X, WANG L, XU B, et al. Influence of microwave pretreatment on the flavor attributes and oxidative stability of cold-pressed rapeseed oil [J]. *Dry Technol*, 2019, 37(3): 397-408.
- [38] 鞠阳,汪学德,高锦鸿. 微波预处理对芝麻油品质影响[J]. *粮食与油脂*, 2015, 28(3):31-34.
- [39] JIA X, ZHOU Q, WANG J, et al. Identification of key aroma-active compounds in sesame oil from microwaved seeds using E-nose and HS-SPME-GC×GC-TOF/MS [J/OL]. *J Food Biochem*, 2019, 43(10): e12786 [2022-06-21]. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12786>.
- [40] HU H, LIU H, SHI A, et al. The effect of microwave pretreatment on micronutrient contents, oxidative stability and flavor quality of peanut oil [J/OL]. *Molecules*, 2018, 24(1): 62 [2022-06-21]. <https://doi.org/10.3390/molecules.24010062>.
- [41] 黄克霞,李进伟,曹培让,等. 微波处理对花生油品质及风味的影响[J]. *中国油脂*, 2017, 42(7):30-34.
- [42] YE M, ZHOU H, HAO J, et al. Microwave pretreatment on microstructure, characteristic compounds and oxidative stability of *Camellia* seeds [J/OL]. *Ind Crops Prod*, 2021, 161: 113193 [2022-06-21]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113193>.
- [43] 叶敏倩. 产地、微波预处理和精炼工艺对红花山茶油品质的影响[D]. 杭州:浙江农林大学, 2021.
- [44] 李媛媛,吴雪辉,段卓. 微波处理对亚麻籽油品质的影响[J]. *中国油脂*, 2015, 40(1):55-58.
- [45] POP F. Effect of microwave heating on quality and fatty acids composition of vegetable oils [J]. *Stud Univ Babeş-Bolyai Biol*, 2018, 63(2): 43-52.
- [46] JI J, LIU Y, SHI L, et al. Effect of roasting treatment on the chemical composition of sesame oil [J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2019, 101: 191-200.
- [47] ZHANG W, XU T, YANG R. Effect of roasting and grinding on the processing characteristics and organoleptic properties of sesame butter [J/OL]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2019, 121(7): 1800401 [2022-06-21]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800401>.
- [48] AL JUHAIMI F, ÖZCAN M M. Influence of oven and microwave roasting on bioproperties, phenolic compounds, fatty acid composition, and mineral contents of nongerminated peanut and germinated peanut kernel and oils [J/OL]. *J Food Process Preserv*, 2018, 42(2): e13462 [2022-06-21]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13462>.
- [49] RAIGAR R K, UPADHYAY R, MISHRA H N. Optimization of microwave roasting of peanuts and

- evaluation of its physicochemical and sensory attributes [J]. *J Food Sci Technol*, 2017, 54(7): 2145–2155.
- [50] 马佳乐. 挤压膨化花生浸油工艺的优化研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2016.
- [51] 徐红华, 申德超, 许岩. 挤压膨化技术对大豆油脂及豆粕质量的影响[J]. *农机化研究*, 2004, 26(6): 60–62.
- [52] WANG T, JOHNSON L A. Survey of soybean oil and meal qualities produced by different processes[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2001, 78(3): 311–318.
- [53] 王玮, 刘恩岐. 挤压加工对食品营养品质的影响[J]. *农产品加工: 学刊*, 2008, 4(3): 71–74.
- [54] LIU J, JIN S, SONG H, et al. Effect of extrusion pretreatment on extraction, quality and antioxidant capacity of oat (*Avena sativa* L.) bran oil [J/OL]. *J Cereal Sci*, 2020, 95: 102972 [2022–06–21]. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102972>.
- [55] 熊强, 董智勤, 朱芳州. 脉冲电场技术在食品工业上的应用进展[J]. *现代食品科技*, 2022, 38(2): 326–339, 255.
- [56] GUDERJAN M, ELEZ – MARTÍNEZ P, KNORR D. Application of pulsed electric fields at oil yield and content of functional food ingredients at the production of rapeseed oil[J]. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 2007, 8(1): 55–62.
- [57] VENEZIANI G, ESPOSTO S, TATICCHI A, et al. Extra-virgin olive oil extracted using pulsed electric field technology: cultivar impact on oil yield and quality[J/OL]. *Front Nutr*, 2019: 134 [2022–06–21]. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00134>.
- [58] YU J, WANG M, ZHANG M, et al. Effect of infrared ray roasting on oxidation stability and flavor of virgin rapeseed oils[J]. *J Food Sci*, 2021, 86(7): 2990–3000.
- [59] WANG Z, LI S, GE S, et al. Review of distribution, extraction methods, and health benefits of bound phenolics in food plants[J]. *J Agric Food Chem*, 2020, 68(11): 3330–3343.
- [60] SURI K, SINGH B, KAUR A, et al. Influence of dry air and infrared pre-treatments on oxidative stability, Maillard reaction products and other chemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.) oil [J]. *J Food Sci Technol*, 2022, 59(1): 366–376.
- [61] 李杨, 江连洲, 齐宝坤, 等. 超声波辅助水酶法提取花生油工艺[J]. *中国油脂*, 2012, 37(3): 10–13.
- [62] AL JUHAIMI F, USLU N, ÖZCAN M M. The effect of preultrasonic process on oil content and fatty acid composition of hazelnut, peanut and black cumin seeds [J/OL]. *J Food Process Preserv*, 2018, 42(1): e13335 [2022–06–21]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13335>.
- [63] PHAN V M, JUNYUSEN T, LIPLAP P, et al. Effects of ultrasonication and thermal cooking pretreatments on the extractability and quality of cold press extracted rice bran oil [J/OL]. *J Food Process Eng*, 2019, 42(2): e12975 [2022–06–21]. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12975>.
- [64] 乔泽茹, 刘国琴, 李琳. 预处理对低温压榨花生油风味物质的影响[J]. *粮油食品科技*, 2020, 28(2): 22–29.
- 
- (上接第 15 页)
- [8] 张志刚, 姚玉军, 顾翔宇, 等. 植物油中塑化剂、苯并芘来源及沙棘籽油风险减控方法[J]. *中国油脂*, 2021, 46(10): 88–91, 115.
- [9] 张娅娣. 植物油中苯并芘的来源及检测方法研究进展[J]. *粮食科技与经济*, 2021, 46(2): 80–83.
- [10] 张东, 李秀娟, 李晓宁, 等. 不同制油工艺及去除红衣对花生黄曲霉毒素的影响[J]. *中国油脂*, 2018, 43(11): 69–72.
- [11] 李培武, 张道宏, 杨扬, 等. 粮油制品中黄曲霉毒素脱毒研究进展[J]. *中国油料作物学报*, 2010, 32(2): 315–319.
- [12] 刘国栋, 熊丽云, 潘建伟, 等. 真菌毒素吸附物理脱毒的研究进展[J]. *粮食与饲料工业*, 2018(2): 29–33.
- [13] 孙萍. 亚麻籽油中的苯并(a)芘的脱除工艺及其生产线设计研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
- [14] 姜德铭, 刘晓萌, 邹球龙, 等. 4种黄曲霉毒素吸附剂对花生油综合品质的影响[J]. *中国油脂*, 2023, 48(4): 75–80.
- [15] 柳漆利, 张珊, 张蕊, 等. 凹凸棒土吸附处理梨果汁中棒曲霉素的工艺研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(9): 2575–2580.
- [16] 李冯程, 金文闻, 张永强, 等. 冷榨油茶籽毛油脱胶与脱色工艺研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(7): 2728–2737.
- [17] 罗林飞, 葛源, 居树萍, 等. 改性膨润土的吸附性能研究[J]. *安徽化工*, 2021, 47(6): 55–56.
- [18] 谷风, 翦英红, 刘虹. 响应曲面法优化废弃食用油脂脱色工艺[J]. *化学试剂*, 2020, 42(12): 1446–1452.
- [19] 孙思远. 蒙脱土有机改性及对花生油中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 吸附研究[D]. 山东 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [20] 张小涛, 刘玉兰, 赵欢欢. 吸附法同时脱除菜籽油苯并芘及色泽最佳工艺条件研究[J]. *中国油脂*, 2013, 38(12): 10–14.
- [21] 吕雅芳. 改性活性炭和碳纳米管对花生油中黄曲霉毒素吸附脱除的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2022.
- [22] SING K S W, EVERETT D H, HAUL R A W, et al. Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity[J]. *Appl Chem*, 1985, 57(4): 603–619.