

# 植物油加工工艺对风味物质影响的研究进展

肖新生, 周旭, 蒋黎艳

(湖南科技学院 化学与生物工程学院, 湖南 永州 425199)

**摘要:** 风味是植物油品质的重要特征之一, 除与油料本身有关外, 还与加工工艺密切相关。不同加工工艺生产的植物油风味物质在种类和含量上存在差异。综述了植物油风味物质产生的机理、不同加工工艺(烘烤、微波预处理、红外辐射、压榨法、溶剂浸出法、水酶法、超临界萃取法、亚临界萃取法和精炼等)对植物油风味物质影响的研究进展, 并对目前食用植物油在风味研究方面存在的问题进行了探讨, 旨在为风味植物油的生产提供一定的参考。

**关键词:** 植物油; 加工工艺; 风味物质

中图分类号: TS227; O652

文献标识码: A

文章编号: 1003-7969(2021)09-0051-07

## Progress on influence of vegetable oil processing technology on flavor compounds

XIAO Xinsheng, ZHOU Xu, JIANG Liyan

(College of Chemistry and Bio-engineering, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou 425199, Hunan, China)

**Abstract:** Flavor is one of the important characteristics of vegetable oil quality, which is not only related to the oilseed itself, but also closely related to the processing technology. There are differences in the types and contents of flavor compounds in vegetable oils produced by different processing technologies. The research progress on the production mechanism of flavor compounds in vegetable oil and the effects of different processing technologies (roasting, microwave pretreatment, infrared radiation, pressing, solvent extraction, aqueous enzymatic method, supercritical fluid extraction, subcritical fluid extraction, refining, etc.) on the flavor compounds in vegetable oil were reviewed. The problems existing in the flavor research of vegetable oils were also discussed, so as to provide a certain reference for the production of flavored vegetable oils.

**Key words:** vegetable oil; processing technology; flavor compound

植物油一般可通过机械压榨或其他方法从油菜籽、花生、大豆、葵花籽等植物油料中获得, 其主要成分为甘油三酯(TAG)。植物油在生产加工过程中, 油料中的脂质、蛋白质、糖和其他成分会发生一系列复杂的反应, 产生多种不同的挥发性风味物质, 从而

赋予植物油特殊的香气<sup>[1]</sup>。近年来, 具有独特风味和营养成分的小品种油发展迅速, 而风味物质在很大程度上决定了植物油的品质、用途和市场的可接受程度。当前食用油产品同质化严重, 需要通过产品差异化来提高产品质量和竞争力, 风味物质是体现产品差异化的一个非常重要的因素。植物油中的风味物质除与油料中的风味前体物质如脂质、氨基酸含量有关外, 还受加工工艺的影响。研究发现, 不同加工工艺制取的油茶籽油挥发性风味物质的种类及含量存在一定的差别, 这使得不同工艺制取的油茶籽油风味浓淡上存在差异<sup>[2]</sup>。因此, 研究不同加工工艺对植物油风味物质的影响在实际生产中具有重要意义。本文综述了植物油风味物质产生的机理、不同加工工艺(油料预处理、制油工艺和精炼)

收稿日期: 2020-08-24; 修回日期: 2021-05-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 21801075); 湖南省自然科学基金面上项目(2021JJ30289); 永州市科技创新指导性计划项目(永科发[2018]42号-2018ZD21); 湖南科技学院2021年度科研项目(21XKY045)

作者简介: 肖新生(1981), 男, 副教授, 博士, 研究方向为油脂化学(E-mail)58022849@qq.com。

通信作者: 蒋黎艳, 讲师(E-mail)lyj5423@163.com。

对植物油风味物质影响的研究进展,并对目前植物油在风味研究方面存在的问题进行了讨论,旨在为生产良好风味的植物油提供一定的参考。

## 1 植物油风味物质产生的机理

植物油的风味主要来源于其挥发性化合物,挥发性化合物不同,风味也不同。每种植物油都含有独特的挥发性化合物<sup>[1]</sup>。迄今为止,植物油中已鉴定出大量的挥发性风味成分,主要包括 N-杂环化合物、O-杂环化合物、S-化合物和呋喃类、醛类、醇类、酯类、挥发性酚类化合物<sup>[3]</sup>。一般来说,醛类化合物含量高、阈值低,对植物油的整体风味贡献大;呋喃类和酮类化合物具有水果味;酯类化合物对植物油的整体风味具有一定的软化作用,主要通过影响风味感知(口感、味觉和香气)、风味稳定性和风味生成来影响其风味<sup>[4]</sup>。

植物油中挥发性化合物的产生途径主要有三类:一是通过油料加工过程中美拉德反应等非酶促褐变产生的风味物质;二是油料本身含有的具有气味的挥发油;三是油脂氧化酸败产生的不良气味物质。

美拉德反应是植物油加工过程中产生风味物质的重要途径<sup>[5]</sup>。美拉德反应产物与受热时间和温度有关,一般来说,当受热时间较短、温度较低时,主要反应产物除了 Strecker 醛类外,还有具有香气的内酯类、吡喃类和呋喃类化合物;当受热时间较长、温度较高时,还会生成有焙烤香气的吡嗪类、吡咯类、吡啶类化合物。

植物油在环境中氧气的作用下自动氧化生成氢过氧化物,氢过氧化物极不稳定,进一步分解为醛、酮、醇、酸等化合物,除这四类产物外,还可以生成环氧化合物、碳氢化合物等。分解产物中生成的醛易进一步氧化成相应的酸,还可以多聚或缩合生成新的化合物,例如己醛三聚生成三戊基三噁烷,具有强烈的气味。

## 2 加工工艺对植物油风味物质的影响

### 2.1 油料预处理对植物油风味物质的影响

#### 2.1.1 烘烤

烘烤是植物油产生香气的关键步骤,在烘烤过程中,美拉德反应会产生多种挥发性化合物,这些挥发性化合物是风味的主要来源<sup>[6]</sup>。Gracka 等<sup>[7]</sup>采用气相色谱-嗅觉仪(GC-O)测定未烘烤和烘烤油菜籽制备的菜籽油的主要风味物质变化,发现烘烤前二甲基硫醚、己醛和辛醛是菜籽油中的主要挥发性成分,烘烤后二甲基硫醚、二甲基三硫醚、2,3-二乙基-5-甲基吡嗪、2,3-丁烯二酮、辛醛、3-异丙基-2-甲氧基吡嗪和苯乙醛是菜籽油中

的主要挥发性成分,烘烤改善了菜籽油的风味。

烘烤温度对植物油风味物质的形成具有显著性影响,当烘烤温度过低时,不利于风味物质的形成,而烘烤温度过高,则会破坏风味物质。吡嗪类化合物是烘烤植物油中的主要风味物质,在一定温度范围内,高温能促进吡嗪类化合物的生成。Potocnik 等<sup>[8]</sup>将南瓜籽在 90~200℃下烘烤,结果发现,低温烘烤南瓜籽油风味物质以醛类和醇类化合物为主,高温烘烤以吡嗪类化合物为主,吡嗪类化合物赋予南瓜籽油烤香味。同样,在芝麻油中,当芝麻的烘烤温度从 213℃升高至 247℃时,芝麻油中吡嗪类化合物含量逐渐增加<sup>[9]</sup>。但烘烤温度过高,也会引起植物油感官性状和某些风味物质的减少。朱晓阳等<sup>[10]</sup>发现随着炒籽温度的升高,油茶籽油的黄色评分降低,而红色和褐色加深,清香味减少。因此,有效控制烘烤温度是形成植物油风味物质的关键步骤之一。

烘烤时间对植物油主体特征风味形成也起着关键性的作用。如在 180℃下,随着烘烤时间的延长,棕榈仁油中的 O-杂环化合物含量增加<sup>[11]</sup>。Liu 等<sup>[12]</sup>研究发现,花生烘烤 40~50 min 会形成大量的 N-、O-杂环化合物,尤其是吡嗪类化合物,赋予烘烤花生油典型的烘焙/坚果风味。Kwon 等<sup>[13]</sup>将紫苏籽在 240℃下烘烤,随着烘烤时间从 8 min 延长到 14 min,吡嗪类化合物含量从 15.5 μg/g 显著增加到 259.5 μg/g。但也有研究表明,烘烤时间过长,会造成某些风味物质的减少,如芝麻油中挥发性风味成分醇类、烃类和环氧烃类等化合物随着烘烤时间的延长其相对含量逐渐减少<sup>[14]</sup>。因此,在烘烤过程中有效控制烘烤时间对植物油的关键风味物质形成具有重要作用。烘烤时间过短,美拉德反应、脂质氧化等一系列复杂反应不充分,不能形成大量风味物质;烘烤时间过长,原有风味物质受热被破坏,导致风味浓度降低或失去原有风味。

此外,烘烤在很大程度上还能减少植物油中刺激性气味的产生。菜籽油中硫代葡萄糖苷降解产物的相对含量随着烘烤温度的升高逐渐降低,在高温烘烤时,菜籽油中由硫代葡萄糖苷(如 4-异硫氰酸酯-1-丁烯)引起的刺鼻性气味明显减少<sup>[15]</sup>。菜籽油中辛辣味是硫苷降解产物的主要成分之一,硫苷降解产物随着烘烤温度的升高其含量逐渐降低,这可能与高温对硫苷酶的破坏作用有直接关系<sup>[16]</sup>。

#### 2.1.2 微波预处理

微波预处理与烘烤类似,通过微波预处理可以增加吡嗪类、呋喃类、Strecker 醛类、吡咯类和挥发性

含硫化合物的产生,使植物油具有良好的风味<sup>[3]</sup>。从珊等<sup>[17]</sup>研究发现,随着微波预处理温度的升高,芝麻油中吡嗪类、呋喃类、酚类等特征性风味物质含量逐渐增多。周琦等<sup>[18]</sup>从微波预处理压榨的菜籽油中共鉴定出13种具有焙烤风味的挥发性风味成分,主要包括9种吡嗪类化合物,醇类、醛类、呋喃类和噻唑类化合物各1种,这些物质对菜籽油中焙烤风味具有重要的贡献。

微波预处理技术由于具有加热速度快、受热均匀的优势,因此在较短时间内就能达到理想效果。Zhou等<sup>[19]</sup>研究发现,微波预处理3min的菜籽油与未处理的菜籽油相比,具有刺激性的化合物4-异硫氰酸酯-1-丁烯降低了97%,微波预处理6min,菜籽油中出现吡嗪类化合物,呈现良好的烘烤味。随着微波预处理时间的延长,菜籽油的主要特征性风味物质由硫苷降解产物转变为吡嗪类物质,整体风味由菜青味、硫味转变为烘烤香、坚果香<sup>[20]</sup>。黄颖等<sup>[21]</sup>将芝麻进行微波预处理5~9min,芝麻油呈现出较好的风味特征。Zhou等<sup>[22]</sup>将核桃仁在微波频率2450MHz、微波功率600W的条件下处理2min或更长时间,核桃油中吡嗪类化合物的浓度显著增加,可感受到明显的烘烤味。

### 2.1.3 红外辐射

红外辐射(波长0.78~1000 $\mu\text{m}$ )是一种以电磁波形式使用的新型能量,具有加热均匀、传热效率高、质量损失小、节能效果好等优点<sup>[23]</sup>。在红外辐射过程中,辐射能被原料吸收,引起分子振动状态的变化,从而引起辐射直接加热<sup>[24]</sup>。目前,红外辐射已被应用于油料预处理,并在一些研究中取得了积极的结果。Deng等<sup>[25]</sup>在花生水酶法制油前,在150 $^{\circ}\text{C}$ 下对花生进行了不同时间的短波红外辐射,结果发现,红外辐射的花生油中吡嗪类和吡咯类化合物的相对含量与市售热榨油中的含量相近,具有浓郁的坚果香气。因此,红外辐射可以有效地提高植物油中挥发物的含量和强度,赋予其香气。

## 2.2 制油工艺对植物油风味物质的影响

### 2.2.1 压榨法

压榨法是工业制油的传统方法,其操作简单,能够保持油品特有的色泽和风味。压榨分冷榨和热榨。

典型的冷榨菜籽油为深黄色,带有涩味和微坚果味<sup>[7]</sup>。冷榨菜籽油含有丰富的己醛、3-甲基戊烷、1-丁烯、4-异硫氰酸盐等化合物<sup>[26]</sup>。于文龙等<sup>[27]</sup>在冷榨亚麻籽油中共鉴定出14种特征性香气成分,包括6种醛类、4种醇类、3种酸类、1种酯类

化合物,其中乙酸是冷榨亚麻籽油特有的香气成分。Dun等<sup>[28]</sup>从冷榨花生油样品中检出64种挥发性化合物,主要成分为醛类、醇类、烃类、呋喃类和酮类化合物,其中特征香味化合物表现出新鲜的坚果味。

热榨植物油比冷榨植物油风味更加浓郁、丰富。姚英政等<sup>[29]</sup>对冷榨菜籽油和热榨菜籽油的挥发性风味物质进行分析,结果发现,两者挥发性物质组成存在较大差异,热榨菜籽油的挥发性成分比冷榨菜籽油更为复杂,热榨菜籽油主要呈现坚果味和烘烤味等特征风味,这可能与醛、氧环化合物、氮环化合物、氮化合物等挥发性成分密切相关,冷榨菜籽油主要呈现青草味和刺激味等特征风味,这可能与醛、酸、醇、氮环化合物等挥发性成分密切相关。方昭西<sup>[30]</sup>研究了热榨和冷榨制油工艺对亚麻籽油关键风味物质的影响,发现两种压榨制油工艺制得的亚麻籽油的关键风味物质主要包括醇类、醛类、酮类、呋喃类化合物和二甲基硫醚等,关键风味物质呈味次序均为二甲基硫醚、己醛、丙醛、2-丁醇、1-己醇、3-甲基-1-丁醇、3-戊烯醇、2-甲基丙醇、2-甲基丁醇等,但热榨工艺制得的亚麻籽油最关键的呈味物质二甲基硫醚的气味活度(OVAs)值是冷榨工艺的2.1~3倍,次关键呈味物质醛类化合物的OVAs值是冷榨工艺的1.5~2.3倍,这两类物质呈现的主要为青味、青草味、鱼腥味、土腥味和泥土味,因此热榨亚麻籽油的青味或腥味比冷榨亚麻籽油重。

此外,压榨法与其他工艺相比也具有一定的优势。李梓铭等<sup>[31]</sup>采用HS-SPME/GC-MS对不同制油工艺获得的油茶籽油进行挥发性成分分析,发现醛类化合物是油茶籽油的主要风味成分,加工工艺对酮类、烯炔类等其他成分具有较大影响,压榨油茶籽油中杂环类化合物峰面积比例明显高于精炼及溶剂浸出油茶籽油。

### 2.2.2 溶剂浸出法

溶剂浸出法操作简单、成本低、油脂萃取率高,是目前最常用的植物油提取方法之一。但是溶剂浸出法提油的风味物质比其他制油工艺要少。柴杰等<sup>[32]</sup>研究发现,溶剂浸出法、烘烤后压榨法、压榨法、水酶法4种制油工艺制得的葵花籽油中鉴定出的挥发性风味成分分别为12、51、38种和18种,溶剂浸出法、烘烤后压榨法、压榨法、水酶法4种制油工艺制得的葵花籽油挥发性风味成分中蒎烯含量最多,分别占挥发性风味成分总量的49.1%、59.8%、75.7%、72.0%,烘烤后压榨法制得的葵花籽油检测出的挥发性风味成分最多。

### 2.2.3 水酶法

水酶法是一种环境友好型的油脂提取方法,可以同时从油料中提取油脂和蛋白质,具有安全性高、反应条件温和、绿色、经济、环保等优点<sup>[33]</sup>。同时,温和的提取条件不会破坏油脂的固有风味成分。

梁慧<sup>[34]</sup>研究发现,不同烘烤温度(不烘烤,130、160、190、220℃)下水酶法制备的花生油分别含有48、37、42、42、40种风味物质,当烘烤温度从190℃升高到220℃时,水酶法花生油中吡嗪类化合物相对含量从6.73%增加到22.71%。董林均等<sup>[35]</sup>通过HS-SPME-GC-MS检测市售的古法、冷榨和热榨花生油与自制的未烘烤和烘烤水酶法花生油中的挥发性风味物质,结果发现,古法、冷榨、热榨、未烘烤水酶法和烘烤水酶法花生油中的挥发性物质种类分别为41、39、41、56种和56种,水酶法提取的花生油挥发性风味物质种类最多。这与柴杰等<sup>[32]</sup>有关葵花籽油加工工艺对挥发性风味物质种类的研究结果不同,其原因可能是原料品种的差异。Shende等<sup>[36]</sup>采用酶辅助水提取玉米胚芽油,在最佳工艺条件下,所得玉米胚芽油呈淡黄色,具有较好的坚果味。从相关研究结果来看,采用水酶法提取的植物油品质好、风味物质多,且节能环保。

### 2.2.4 超临界萃取法

超临界流体萃取技术是利用CO<sub>2</sub>在超临界状态下对溶质溶解力很强,而在正常状态下对溶质溶解能力很低的特点来提取植物油,可以更好地保留植物油中的天然风味,但是能耗较大<sup>[37]</sup>。该方法目前在大宗植物油工业生产应用相对较少,在一些小品种或植物精油提取中应用较多。张春丽<sup>[38]</sup>对热榨法、冷榨法、浸出法、水代法、超临界CO<sub>2</sub>萃取法5种工艺制备的油茶籽油风味进行了比较,结果发现,采用顶空气相色谱法检测,热榨法、冷榨法、浸出法、水代法、超临界CO<sub>2</sub>萃取法分别检出32、31、27、28种和27种挥发性风味物质,电子鼻对超临界CO<sub>2</sub>萃取法和热榨法制取的油茶籽油的响应信号强,对浸出法制取的油茶籽油响应信号最弱,氮氧化物、硫化物传感器响应值变化最为明显。马会芳等<sup>[39]</sup>采用气相色谱-离子迁移质谱技术结合主成分分析法对热榨法、超临界CO<sub>2</sub>萃取法、水代法3种方法提取的牛油果油中的挥发性香气成分进行鉴定与质量评价,结果表明,热榨法提取的牛油果油香气质量评分最高,水代法的评分最低,超临界CO<sub>2</sub>萃取法的评分中等。超临界CO<sub>2</sub>萃取法提取的牛油果油中,1-丙醇、2-己烯醇、正己醇、庚醛(M)、正辛醛、丙酸乙酯、2-乙酰基噻唑7种风味物质,与水代法、热

榨法提取的牛油果油存在显著差异。范进填<sup>[40]</sup>采用超临界CO<sub>2</sub>萃取法分离了柑桔油的风味物质,并对比了冷榨和超临界CO<sub>2</sub>萃取工艺,发现冷榨油的2-萜二烯易于自动氧化,产生不愉快的风味,而超临界CO<sub>2</sub>萃取的油则可以避免该问题。张郁松<sup>[41]</sup>比较了超临界CO<sub>2</sub>萃取与有机溶剂萃取的蚕蛹油理化性质等指标,发现超临界CO<sub>2</sub>萃取的油脂没有异味,而有机溶剂法萃取的油脂有轻微异味。

### 2.2.5 亚临界萃取法

亚临界流体萃取通常是采用丙烷和丁烷为溶剂,在相对超临界较低的温度和压力下萃取,热敏性成分不易被破坏,能有效地保护油料中的活性功能成分,且萃取后溶剂残留低,可在后续精炼中去除<sup>[42]</sup>。谷令彪<sup>[43]</sup>采用亚临界二甲醚萃取葫芦巴籽油,所得葫芦巴籽油外观较好,具有浓郁的特殊香味。Zhang等<sup>[44]</sup>对亚临界丙烷萃取辣椒籽油进行了研究,发现在萃取时间为4~6 min、7~9 min、10~12 min和13~15 min时,样品中分别鉴定出74、67、75种和67种挥发性化合物,而在0~3 min时取样检测到93种挥发性化合物,表明萃取时间对辣椒籽油中的挥发性风味化合物有显著影响。但是吕斌杰<sup>[45]</sup>的研究表明,辣椒籽油挥发性化合物成分多样,包括烷烃、醇、苯、吡嗪、酯、醛和烯等,其中吡嗪类化合物包括2,5-二甲基吡嗪、2,5-二甲基-3-乙基吡嗪和2,3,5,6-四甲基吡嗪3种。但是辣椒籽油挥发性成分的总数并不算多,这与亚临界萃取辣椒籽油时压缩机抽出有机溶剂时造成挥发性成分的大量损失有关,该结论与Zhang等<sup>[44]</sup>的研究结果存在一定的差异。

### 2.3 精炼对植物油风味物质的影响

精炼是植物油生产过程中重要的一环,主要是去除植物油中不需要的杂质,使之符合食用标准。但精炼会引起植物油中风味物质种类和含量的变化,例如在脱色和脱臭过程中一些挥发性风味成分会被脱除,从而造成某些香味成分的损失。苏晓霞等<sup>[46]</sup>研究发现,菜籽油中的醛类、酮类、烷烃类以及杂环类化合物,随着精炼程度的加深呈现先增加后降低的趋势,而吡嗪类化合物、硫苷降解产物在种类和含量方面均显著降低。王笑园等<sup>[47]</sup>研究发现:精炼前亚麻籽原油的挥发性风味成分共77种,主要包括醇类、酚类、酸类、酯类、醛酮类、杂环类、烷烃类化合物以及微量的腈类和胺类化合物,其中醛酮类和杂环类化合物是构成亚麻籽原油浓香烤香味的主要物质;精炼后亚麻籽油的挥发性风味成分显著减少,共18种,主要包括醛酮类、烷烃类、酸类和少量的醇

类化合物,无杂环类、酚类和酯类化合物,风味较清香。谢婧等<sup>[48]</sup>研究发现,精炼前菜籽原油的主要挥发性风味成分为硫苷降解产物、氧化挥发物(醛、醇、酮等)及杂环类化合物,精炼后菜籽油的挥发性风味成分主要为氧化挥发物,精炼后菜籽油特征性风味不足,主要是精炼过程中硫苷降解产物及杂环类芳香物质的减少所致。

精炼会造成一些风味物质的损失,但同时也会增加一些风味物质。李梓铭等<sup>[49]</sup>对精炼前后油茶籽油的挥发性风味成分进行分析,发现精炼后油茶籽油中酯类化合物相对含量增加了3倍以上,这大大提高了油茶籽油的果香味。此外,还有研究发现菜籽原油经脱胶、脱酸、脱色、脱臭、脱水等处理后,一级油中产生的醛、醇、酮、烃等氧化挥发物种类增多,相对含量提高<sup>[50]</sup>。

将压榨原油在精炼过程中,采用冷冻凝香工艺处理也能对植物油风味产生影响。张盛阳等<sup>[51]</sup>研究了冷冻凝香工艺对菜籽油品质及主要挥发性风味物质的影响,发现冷冻凝香工艺可增加菜籽油的特殊风味物质硫苷降解产物,起到了留香提味的作用。

### 3 目前食用植物油在风味研究方面存在的问题

(1)对于食用植物油中挥发性成分和风味之间的关联还不明晰。有些挥发性物质含量高,但其并不一定是对风味贡献最大的成分,而各种挥发性物质对风味的交互作用研究还很薄弱。

(2)对于风味比较明显的植物油,尽管对其风味可能的来源物质鉴定取得了一定进展,但对于其在油料中的产生机制、风味物质的前体、油料加工过程的生成机理、油脂储存过程中的变化规律等研究尚有待系统化。

(3)食用植物油加工过程中,形成风味物质的重要途径是美拉德反应,而美拉德反应需要高温,且反应程度精准控制有一定难度。在高温下生成风味物质的同时,可能伴随着一些不健康物质的产生。如何控制好油料预处理工艺条件,平衡风味和营养之间的关系,需要进一步的研究。

(4)许多植物油中的风味物质是在加工过程中产生的,这些物质在食用植物油精炼的脱胶、碱炼、脱色和脱臭后续工艺均可能发生损失<sup>[52]</sup>,如何平衡食用植物油的精炼程度,最大限度地保留风味且确保质量安全,也是另一个需要深入研究的问题。

(5)食用植物油氧化酸败产生的不良气味对油脂风味产生不良影响。油脂氧化过程中产生的小分子醛、酮和酸与风味物质交互作用,从而使风味的格调发生变化。因此,有必要对风味油储存过程中的

稳定性进行深入的研究。

### 4 结束语

植物油在食品、医药、饲料等行业的应用不仅取决于营养品质,还取决于其风味特征。从现有的文献研究情况来看,在加工工艺中已鉴定出大量的挥发性风味成分,主要包括醛类、醇类、酮类、酯类、烃类、N-杂环化合物、O-杂环化合物、S-化合物和挥发性酚类化合物等。不同加工工艺生产的植物油风味物质存在差异,如何在加工过程中增强植物油风味,提高其稳定性,以及如何严格控制加工时间与方式,从而有效避免植物油中挥发性风味物质的损失将是未来的主要研究方向。

### 参考文献:

- [1] LI C C, HOU L X. Review on volatile flavor components of roasted oilseeds and their products [J]. *Grain Oil Sci Tech*, 2018, 1(4): 151-156.
- [2] 韩小苗,吴苏喜,吴美芳,等.不同工艺制取的菜籽油挥发性风味成分分析[J]. *中国油脂*, 2018, 43(1): 39-42.
- [3] ZHANG W C, CAO X, LIU S Q, et al. Aroma modulation of vegetable oils—a review [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2020, 60(9): 1538-1551.
- [4] GUICHARD E. Interactions between flavor compounds and food ingredients and their influence on flavor perception [J]. *Food Rev Int*, 2002, 18(1): 49-70.
- [5] 刘晓君. 炒籽对花生油风味和品质的影响[D]. 江苏无锡: 江南大学, 2011.
- [6] MCDANIELI K A, WHITE B L, DEAN L L, et al. Compositional and mechanical properties of peanuts roasted to equivalent colors using different time/temperature combinations [J]. *J Food Sci*, 2012, 77(12): 1293-1299.
- [7] GRACKA A, JELEN H H, MAJCHER M, et al. Flavoromics approach in monitoring changes in volatile compounds of virgin rapeseed oil caused by seed roasting [J]. *J Chromatogr A*, 2016, 1428: 292-304.
- [8] POTOČNIK T, KOSIR I J. Influence of roasting temperature of pumpkin seed on PAH and aroma formation [J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2017, 119(3): 1-8.
- [9] PARK M H, JEONG M K, YEO J D, et al. Application of solid phase-microextraction (SPME) and electronic nose techniques to differentiate volatiles of sesame oils prepared with diverse roasting conditions [J]. *J Food Sci*, 2011, 76(1): 80-88.
- [10] 朱晓阳,龙奇志,钟海雁.炒籽温度对茶油关键香气成分及感官品质的影响[J]. *食品与机械*, 2019, 35(5): 48-54.
- [11] ZHANG W, WANG R, YUAN Y, et al. Changes in volatiles of palm kernel oil before and after kernel roasting

- [J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2016, 73: 432 - 441.
- [12] 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):404 - 412.
- [13] KWON T Y, PARK J S, JUNG M Y, et al. Headspace - solid phase microextraction - gas chromatography - tandem mass spectrometry (HS - SPME - GC - MS2) method for the determination of pyrazines in perilla seed oils: impact of roasting on the pyrazines in perilla seed oils[J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(36): 8514 - 8523.
- [14] 赵赛茹,张丽霞,黄纪念,等. 焙炒时间对芝麻油风味及芝麻氨基酸含量的影响[J]. *中国粮油学报*, 2016, 31(8):30 - 38.
- [15] WEI F, YANG M, ZHOU Q, et al. Varietal and processing effects on the volatile profile of rapeseed oils[J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2012, 48(2): 323 - 329.
- [16] 吴浪,徐俐,谢婧,等. 不同炒制温度对菜籽毛油挥发性风味物质的影响[J]. *中国油脂*, 2012, 37(11):39 - 43.
- [17] 从珊,黄纪念,张丽霞,等. 微波焙烤温度对芝麻油特征风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(22): 265 - 268.
- [18] 周琦,张敏,贾潇,等. 油菜籽微波过程对油中焙烤风味形成的影响[J]. *中国油脂*, 2018, 43(12):35 - 40.
- [19] ZHOU Q, YANG M, HUANG F, et al. Effect of pretreatment with dehulling and microwaving on the flavor characteristics of cold - pressed rapeseed oil by GC - MS - PCA and electronic nose discrimination[J]. *J Food Sci*, 2013, 78(7):961 - 970.
- [20] 张欢欢,曾志红,高飞虎,等. 不同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.
- [21] 黄颖,郭萍梅,郑畅,等. 微波预处理对芝麻油营养品质及抗氧化能力的影响[J]. *中国油脂*, 2019, 44(2): 1 - 4.
- [22] ZHOU Y, FAN W, CHU F, et al. Improvement of the flavor and oxidative stability of walnut oil by microwave pretreatment[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2016, 93(11): 1563 - 1572.
- [23] LI B, ZHAO L, CHEN H, et al. Inactivation of lipase and lipoxigenase of wheat germ with temperature - controlled short wave infrared radiation and its effect on storage stability and quality of wheat germ oil[J/OL]. *Plos One*, 2016, 11(12):0167330 [2020 - 08 - 24]. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0167330>.
- [24] RASTOGI N K. Recent trends and developments in infrared heating in food processing[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2012, 52(9): 737 - 760.
- [25] DENG B, LI B, LI X, et al. Using short - wave infrared radiation to improve aqueous enzymatic extraction of peanut oil: evaluation of peanut cotyledon microstructure and oil quality[J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2018, 120(2):1 - 27.
- [26] MCDOWELL D, ELLIOTT C T, KOIDIS A, et al. Characterization and comparison of UK, Irish, and French cold pressed rapeseed oils with refined rapeseed oils and extra virgin olive oils[J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2017, 119(8):1 - 12.
- [27] 于文龙,郝楠,吴凯晋,等. HS - SPME - GC - MS - O 联用分析不同加工工艺亚麻籽油特征香气成分[J]. *食品科学*, 2019, 40(18):266 - 272.
- [28] DUN Q, YAO L, DENG Z, et al. Effects of hot and cold - pressed processes on volatile compounds of peanut oil and corresponding analysis of characteristic flavor components[J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2019, 112: 1 - 13.
- [29] 姚英政,董玲,梁强,等. 脱胶与脱酸对菜籽油挥发性组分的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(6):247 - 252.
- [30] 方昭西. 加工及储存条件对亚麻油关键性风味物质及氧化稳定性影响的研究[D]. 广州:华南理工大学, 2015.
- [31] 李梓铭,庾庐山,黄军,等. 不同加工方式茶籽油挥发性风味成分聚类分析[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(17): 276 - 279, 284.
- [32] 柴杰,金青哲,薛雅琳,等. 制油工艺对葵花籽油品质的影响[J]. *中国油脂*, 2016, 41(4):56 - 61.
- [33] YUSOFF M M, GORDON M H, EZEH O, et al. High pressure pre - treatment of *Moringa oleifera* seed kernels prior to aqueous enzymatic oil extraction[J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2017, 39: 129 - 136.
- [34] 梁慧. 水酶法制备花生油的风味和氧化稳定性研究[D]. 郑州:河南工业大学, 2013.
- [35] 董林均,刘国琴,李琳. 五种制油工艺对花生油风味物质种类的影响[J]. *粮油食品科技*, 2020, 28(2): 14 - 21.
- [36] SHENDE D, SIDHU G K. Response surface methodology to optimize enzyme - assisted aqueous extraction of maize germ oil[J]. *J Food Sci Tech Mys*, 2016, 53(8): 3282 - 3295.
- [37] 黄鑫,张利军,张保艳. 油茶籽油提取方法对比分析[J]. *中国油脂*, 2019, 44(6):9 - 13.
- [38] 张春丽. 制取工艺对茶籽油品质与风味影响及天然增香技术开发[D]. 长沙:长沙理工大学, 2015.
- [39] 马会芳,刘义军,涂行浩,等. 基于主成分分析法构建牛油果油香气质量评价模型[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2020, 49(5):600 - 607.

## 参考文献:

- [1] 任佳,符雪鹏,王巍,等.天然酯绝缘油的发展历程、性能及展望[J].摩擦学学报,2020,40(1):135-142.
- [2] 杨涛,张小勇,王天,等.新型高燃点环保型液体绝缘介质——植物绝缘油[J].中国油脂,2016,41(11):41-45.
- [3] KUMAR S S, IRUTHAYARAJAN M W, BAKRUTHEEN M. Analysis of vegetable liquid insulating medium for applications in high voltage transformers [C]//IEEE International Conference on Science, Engineering and Management Research Chennai. India: IEEE,2014:1-5.
- [4] 袁飞,李沐,王华兴,等.天然酯绝缘油的基础特性及其应用研究[J].中国油脂,2020,45(6):58-61,68.
- [5] 张重远,范名琳,赵涛,等.纤维素颗粒和水分对天然酯绝缘性能影响试验研究[J].华北电力大学学报,2020,47(3):41-48.
- [6] 杨涛,寇晓适,潘浩伟,等.热故障下天然酯绝缘油中溶解气体分析[J].绝缘材料,2018,51(3):74-78.
- [7] 杨涛,王吉,王震宇,等.传统矿物绝缘油配电变压器直接更换天然酯绝缘油可行性研究[J].绝缘材料,2018,51(2):39-43.
- [8] 杨涛,张慧,景冬冬,等.脱酸方式对天然酯绝缘油性能的影响[J].绝缘材料,2017,50(3):54-56.
- [9] 蔡胜伟,李华强,黄芝强,等.天然酯绝缘油变压器技术发展及应用概况[J].绝缘材料,2019,52(11):9-16.
- [10] 国内首款 220 kV 天然酯绝缘油变压器诞生[EB/OL]. (2019-08-27)[2020-10-28]. [http://shsjb.com/sjb/html/2019-08/27/content\\_54300.html](http://shsjb.com/sjb/html/2019-08/27/content_54300.html).
- [11] 王普照,段庆华.植物油制备可生物降解基础油的工艺现状及展望[J].石油商技,2016,34(6):10-19.
- [12] 刘宣池.对植物油基基础油倾点改进的研究[D].乌鲁木齐:新疆大学,2016.
- [13] 杨超.生物柴油低温流动性及其改进研究[D].上海:上海应用技术大学,2016.
- [14] 寇凌峰,王金丽,宋祺鹏,等.不同混合绝缘油性能的试验研究[J].绝缘材料,2017,50(2):76-80.
- [15] 杨涛.环保新型变压器油——植物绝缘油应用技术[M].北京:中国电力出版社,2019:151-154.
- [16] IEEE Guide for acceptance and maintenance of natural ester fluids in transformers: IEEE Std C57.147-2018[S]. New York:IEEE,2018.
- [17] 王珊珊,周竹君,梁嗣元.变压器用植物绝缘油的低温特性试验研究[J].电工电气,2014(12):48-50.
- [18] BIOTEMP®—Cold start procedure for distribution transformers[Z/OL][2020-10-28]. <http://www.docin.com/p-872311493.html>.
- [19] DELVECCHIO R, RAPP K J. Cold start of a 240 MVA generator step-up transformer filled with natural ester fluid[C]//Transmission & Distribution Conference & Exposition. Dallas, TX, USA:IEEE,2016.
- [20] 罗质.油脂精炼工艺学[M].北京:中国轻工业出版社,2016:146-154.
- [21] 王兴国,金青哲.油脂化学[M].北京:科学出版社,2012:95-99.
- [22] 柏云爱,梁少华,刘恩礼,等.油脂改性技术研究现状及发展趋势[J].中国油脂,2011,36(12):1-6.
- [23] 王宏平,徐斌,李健.油脂分提工艺的进展与应用[J].中国油脂,2004,29(7):23-25.
- [24] 蔡丽丽,钱林.油脂分提工艺研究进展与应用[J].粮食与油脂,2006(10):22-25.
- (上接第56页)
- [40] 范进填.超临界 CO<sub>2</sub> 分离柑桔油的风味物质[J].广州食品工业科技,1989(3):23-24.
- [41] 张郁松.蚕蛹油超临界萃取与有机溶剂萃取的比较研究[J].粮油加工,2009(2):45-46.
- [42] WANG L, WU M, LIU H, et al. Subcritical fluid extraction of Chinese quince seed: optimization and product characterization[J]. Molecules, 2017, 22(4):528-543.
- [43] 谷令彪.亚临界萃取葫芦巴籽油及其籽粕的开发利用研究[D].郑州:郑州大学,2017.
- [44] ZHANG R, LIU H, MA Y, et al. Characterization of fragrant oil extracted from pepper seed during subcritical propane extraction[J]. LWT - Food Sci Technol, 2019, 110:110-116.
- [45] 吕斌杰.亚临界低温萃取浓香型辣椒籽油及产香机理研究[D].郑州:郑州大学,2017.
- [46] 苏晓霞,郭斐,黄一珍,等.精炼过程对菜籽油风味成分的影响[J].中国油脂,2019,44(3):41-47.
- [47] 王笑园,宋章弈,张延琦,等.精炼过程对亚麻籽油风味物质的影响[J].食品工业科技,2016,37(18):55-59.
- [48] 谢婧,徐俐,吴浪,等.SPME-GC-MS对菜籽毛油和精炼菜籽油挥发性风味成分的分析[J].中国油脂,2012,37(8):84-87.
- [49] 李梓铭,李玉平,余佳荣,等.精炼过程对茶籽油脂肪酸与挥发性物质的影响[J].食品工业科技,2018,39(8):34-38.
- [50] 杨涓,刘昌盛,周琦,等.加工工艺对菜籽油主要挥发性风味成分的影响[J].中国油料作物学报,2010,32(4):551-557.
- [51] 张盛阳,孙建军,杜京京,等.冷冻凝香工艺对菜籽油品质及主要挥发性风味成分的影响[J].安徽农业科学,2017,45(29):65-67,71.
- [52] ZHANG N, SUN B, MAO X, et al. Flavor formation in frying process of green onion (*Allium fistulosum* L.) deep-fried oil[J]. Food Res Int, 2019, 121:296-306.