

葵花籽油挥发性风味物质研究进展

尹文婷, 师 瑞, 马雪婷, 赵文红, 汪学德, 王岸娜

(河南工业大学 粮油食品学院, 郑州 450052)

摘要:葵花籽油风味独特,深受大众喜爱。概述了冷、热榨葵花籽油中的主要挥发性风味物质及原料品种、炒籽、精炼、储藏、煎炸等因素对葵花籽油挥发性风味物质的影响。葵花籽油中主要挥发性风味物质包括萜烯类、吡嗪类和醛酮类,赋予葵花籽油独特的清香、坚果香、焙烤香等气味特征。炒籽中通过美拉德反应和脂质氧化反应形成多种风味产物,而脱色和脱酸处理可使大部分挥发性风味物质损失殆尽。储藏和煎炸过程中脂肪酸氧化产生的以醛类和酸类为主的物质导致了油脂异味的产生。高油酸葵花籽油比普通葵花籽油表现出了更好的风味稳定性。今后可利用分子感官科学的手段揭示葵花籽油的香气形成机理和调控机制,为风味品质控制提供理论依据,促进葵花籽油产业的健康发展。

关键词:葵花籽油;挥发性风味物质;风味;油脂加工

中图分类号:TS225.1;TQ646.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2021)01-0042-06

Review on volatile flavor components of sunflower seed oil

YIN Wenting, SHI Rui, MA Xueting, ZHAO Wenhong,
WANG Xuede, WANG Anna

(College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: Sunflower seed oil is a popular cooking oil due to its delicate fragrance. The main volatile flavor components of cold-pressed and hot-pressed sunflower seed oils were summarized, and the effects of seed variety, roasting, refining, storage and frying on volatile flavor components were reviewed. The main volatile flavor components in sunflower seed oil were terpenes, pyrazines, aldehydes and ketones, which contributed to the plant, nutty and roasted aroma of sunflower seed oil. Roasting generated many flavor compounds through Maillard reaction and lipid oxidation. After bleaching and deacidification, sunflower seed oil lost most of its aroma. During storage and frying, the formation of aldehydes and acids due to lipid oxidation led to the generation of off-flavor. High oleic acid sunflower seed oil showed better flavor stability than common sunflower seed oil. In the future, molecular sensory science could be used to investigate flavor formation pathways and regulation mechanism in sunflower seed oil to provide the scientific foundation for better quality control of flavor and to promote the healthy development of the sunflower seed oil industry.

Key words: sunflower seed oil; volatile flavor component; flavor; oil processing

向日葵别称向阳花,为菊科草本植物,在全球范

围内均有栽培。向日葵的可食部分葵花籽,可作为健康美味的休闲零食,也可经油脂加工工艺被制成食用葵花籽油^[1]。葵花籽油营养丰富,富含亚油酸和油酸,含量分别可达62.2%和23.8%^[2]。葵花籽油还含有甾醇和多种矿物质,且富含生育酚(约74.3 mg/100 g),其中 α -生育酚占总生育酚含量的96.7%,约为71.84 mg/100 g^[3]。此外,葵花籽油气

收稿日期:2020-04-20;修回日期:2020-09-06

基金项目:国家特色油料产业技术体系(CARS-14-1-29);河南工业大学高层次人才科研启动基金(2018BS060)

作者简介:尹文婷(1986),女,讲师,博士,主要从事谷物和油脂风味化学和感官评价的研究(E-mail) yin.wenting@hotmail.com。

味芬芳,烹饪后使食物具有独特的香气,备受消费者喜爱^[2]。

油脂的风味是评价其品质的重要指标,也是影响消费者对食用油接受度的重要因素^[4],不同油脂具有不同的风味特性^[5]。目前市面上常见的葵花籽油为冷榨葵花籽油和热榨葵花籽油。冷榨葵花籽油是葵花籽直接经压榨、冷却、沉淀过滤制得,以葵花籽本身的清香为主;热榨葵花籽油是葵花籽经烘烤、炒籽等加热处理后,再经压榨、冷却、沉淀过滤制得,颜色较深,风味成分较多,香气浓郁^[6-7]。

葵花籽油的独特香气是由多种挥发性风味物质共同作用而成。本文综述了冷榨和热榨葵花籽油挥发性风味物质组成及其影响因素,旨在为葵花籽油风味的进一步研究提供参考。

1 葵花籽油挥发性风味物质组成

1.1 挥发性风味物质的萃取

油脂挥发性风味物质检测方法有顶空固相微萃取法(HS-SPME)、同时蒸馏萃取法(SDE)和溶剂辅助风味蒸发法(SAFE)等。目前,国内外萃取葵花籽油挥发性风味物质的主要技术为HS-SPME^[6,8-13]。HS-SPME是利用涂有吸附剂或固定相的纤维头在顶空浓缩并萃取挥发性物质,操作简单,检测速度快,灵敏度高,但是对高沸点化合物的萃取效果较差^[14]。SDE是样品瓶和溶剂瓶同时沸腾,挥发性风味物质在水蒸气的带动下与溶剂相遇,根据相似相溶原理,得到有机溶剂萃取液,再对萃取液进行浓缩^[15]。SDE应用范围广,适用于萃取较低沸点的挥发性风味物质,萃取效率高,但加热过程中可能导致其他物质的产生。SAFE是在常温、高真空条件下利用蒸馏装置萃取挥发性物质,该法对挥发性物质破坏较小,可保留萃取物原有香味,已经被应用在南瓜籽油^[16]、花椒油^[17]、大蒜油^[18]、豌豆粉^[19]等食品中挥发性风味物质的萃取,但尚未被应用到葵花籽油中。由于葵花籽油中的挥发性风味物质多种多样,不同物质的沸点、挥发性、极性、物理化学性质不同,为了更有效地萃取葵花籽油挥发性风味物质,建议在今后的研究中采用多种萃取方法相结合的方式。

1.2 主要挥发性风味物质

1.2.1 醛酮类化合物

冷榨葵花籽油中醛酮类物质主要为壬醛、*E*-2-癸烯醛、2-十一烯醛、己醛和龙脑烯醛^[6,13],热榨葵花籽油中醛酮类物质主要是己醛、糠醛、壬醛、2,4-癸二烯醛、*E*-2-辛烯醛、2-甲基丁醛、*E*-

2-庚烯醛^[6]。壬醛、己醛和2,4-癸二烯醛是油酸和亚油酸等脂肪酸氧化降解后的典型挥发性产物^[20],壬醛气味特征为油脂味和柑橘味^[21],己醛表现为草味、油脂味,糠醛表现为面包香和焦糖香,2,4-癸二烯醛带有刺激性气味。*E*-2-辛烯醛气味特征为油脂香和花香,2-甲基丁醛气味特征为杏仁香和麦芽香^[21]。周萍萍等^[10]在热榨葵花籽油中鉴定出了较高含量的己醛和2,4-癸二烯醛,其中2,4-癸二烯醛气味阈值较低,是油脂异味的主要来源之一^[22]。

1.2.2 萜烯类化合物

冷榨葵花籽油中的萜烯类物质是其风味的主要来源,特别是 α -蒎烯和 β -蒎烯,气味特征表现为松香味或松油气息,是葵花籽油的固有植物清香^[23]。萜烯类化合物在植物中主要是通过甲基赤藓醇-4-磷酸和甲羟戊酸两种途径生成,经过一系列酶促反应后形成萜烯类化合物的前体物质即二甲基烯丙基焦磷酸,其在异戊二烯合成酶直接催化下可形成异戊二烯,而经不同酶催化后再在萜烯合酶催化下则可形成单萜和倍半萜^[24-25]。Bendini等^[26]对意大利市场上的冷榨葵花籽油的感官品质进行了表征,发现葵花籽味、坚果味以及 α -蒎烯表现出的松香味是评价冷榨葵花籽油感官品质的重要指标。洪振童等^[6]研究发现,冷榨葵花籽油中萜烯类物质含量为38.96%,而经170℃和190℃炒籽后制得的热榨葵花籽油中萜烯类物质含量减少。陈洁等^[9]研究发现采用微波加热制取的热榨葵花籽油中萜烯类物质含量随着微波辐射的增强而降低。这可能是由于随着烘焙温度的升高(一定程度)和微波辐射的增强,部分萜烯类物质发生异构化,同时吡嗪等杂环类物质的生成量增加,导致萜烯类物质的含量降低^[9]。

1.2.3 杂环类化合物

葵花籽油挥发性风味物质中的杂环类化合物主要包含吡嗪、吡咯、呋喃和吡啶^[6,8-12],且这些物质主要存在于热榨葵花籽油中。吡嗪、吡咯和吡啶类物质是氨基酸和蛋白质在油料加热过程中发生美拉德反应而生成的^[27-28],呋喃类物质是脂质氧化^[29]或果糖和葡萄糖的热降解^[21]形成的。Guo等^[21]采用HS-SPME-GC-MS在烤葵花籽中鉴定出114种挥发性风味物质,其中吡嗪类一般在较高炒籽温度下产生,并赋予葵花籽油独特的焙烤香味和坚果香,且吡嗪类被认为是对葵花籽油整体香气轮廓贡献较大的物质^[6]。除此之外,吡咯类物质如2-乙酰基吡咯,气味特征为烤香味和坚果香味,也是葵花

籽油呈现烤香味的原因之一^[6,9-10]。吡啶在较高温度烘烤的葵花籽和热榨葵花籽油中被检测到^[6,10-11,21], 气味特征为烟熏味和焦糊味^[21]。周萍萍等^[8]对热榨葵花籽油进行挥发性风味物质萃取和分析发现, 杂环类物质对葵花籽油香味有重要作用, 含量最丰富的物质为 2-戊基呋喃(类似豆味、草味气息)和 2,5-二甲基吡嗪(焙烤香味)。

1.2.4 其他类化合物

油脂氧化过程中或者油料加热过程中会产生醛酮类化合物, 同时也会生成烃类、醇类和酯类等物质, 这些挥发性风味物质虽然在葵花籽油中含量较少, 但也影响着葵花籽油的整体香气特性。洪振童等^[6]对冷榨和热榨葵花籽油采用 HS-SPME-GC-MS 分析发现, 冷、热榨葵花籽油均含有少量烷烃类和酸类挥发性物质, 但二者对葵花籽油的香气几乎没有贡献。

葵花籽油中已发现的挥发性风味物质超过 120 种, 但不是所有的挥发性物质对葵花籽油的香气形成都具有贡献, 只有在葵花籽油中的自然浓度大于其气味阈值的挥发性物质, 才对葵花籽油的整体气味具有贡献, 这些物质被称为香气活性物质^[4]。目前有文献对葵花籽中的香气活性物质进行了定性分析^[21-22], 尚缺乏对葵花籽油香气活性成分准确的定性和定量分析。葵花籽经压榨得到葵花籽油, 两者的挥发性风味物质的类别、浓度、比例和气味阈值都存在较大差异。很多葵花籽中的香气活性物质在葵花籽油中也被鉴定为挥发性物质, 然而其在葵花籽油中是否具有香气活性还有待研究。可以预见, 葵花籽油的香气活性物质组分与葵花籽的有一定的相似性, 但是也必然存在差异, 今后可以开展有关葵花籽油香气活性物质的鉴定和分析。

2 葵花籽油挥发性风味物质的影响因素

2.1 原料品种

不同品种葵花籽的营养成分有所差异, 造成制油过程中发生的美拉德反应及油脂氧化程度不同, 最终造成葵花籽油挥发性风味物质的差异。同时原料品种也会影响油脂的风味稳定性。Petersen 等^[30]研究发现, 在 80℃ 的加速氧化过程中, 普通葵花籽油中醛类物质的增加速度高于高油酸葵花籽油, 导致普通葵花籽油异味产生较快。

2.2 炒籽

葵花籽是否经过高温炒制, 是导致冷榨和热榨葵花籽油风味差异的主要原因。冷榨油中萜烯类、烷烃类和醛酮类是主要挥发性风味物质, 萜烯类化合物含量较多, 呈现出松香味、松油味, 因此冷榨葵

花籽油呈现出葵花籽固有的清香味^[6]。而葵花籽固有的植物清香、炒籽过程中美拉德产物和脂质氧化分解产物共同构成热榨葵花籽油的特有风味^[9]。洪振童等^[6]研究发现, 炒籽温度在 110、130℃ 和 150℃ 时以萜烯类为主, 但是当油料加热温度提高到 170℃ 和 190℃ 时, 热榨葵花籽油中萜烯类物质减少, 以吡嗪为主的杂环类物质增加, 同时葡萄糖等糖类物质发生降解生成呋喃类物质, 氢过氧化物氧化降解生成醛酮类小分子化合物。柴杰等^[11]研究发现, 烘烤有利于葵花籽油香气的产生, 热榨葵花籽油挥发性风味物质有 51 种, 而冷榨葵花籽油挥发性风味物质只有 38 种。

此外, 炒籽前是否经过脱壳工艺, 对葵花籽油的风味也有一定的影响。孙国昊等^[12]研究发现, 脱壳热榨葵花籽油的醛类物质含量高于未脱壳热榨葵花籽油, 这可能是由于脱壳后葵花籽更易发生脂质氧化, 其中:壬醛、E-2-庚烯醛、(E, E)-2,4-癸二烯醛、正己醛、蘑菇醇、正戊醇对脱壳热榨葵花籽油风味形成贡献较大; 相比之下, 苯乙醛、正辛醛、己酸、醋酸对未脱壳热榨葵花籽油风味形成贡献较大。感官分析显示, 脱壳热榨葵花籽油的油脂味、清香味较强, 而未脱壳葵花籽油的焦糊味较浓烈, 二者的坚果味、烘烤味、甜香味差别不显著。

2.3 精炼

油脂精炼经过脱胶、脱酸、脱色、脱蜡和脱臭处理, 其中碱炼脱酸过程会造成风味物质的破坏和减少, 脱臭过程的高真空可导致挥发性风味物质进入脱臭馏出物中而损失^[31]。而对于脱色过程对葵花籽油风味物质的影响, 朱正伟等^[32]研究发现活性白土脱色后, 葵花籽油的挥发性风味物质总体减少, 特别是以吡嗪类为主的杂环类物质减少最为明显, 而醛酮类物质增多。主要原因可能是活性白土具有较强的酸性, 导致杂环类等挥发性风味物质的破坏和减少, 同时在此过程中不饱和脂肪酸的分解导致醛酮类物质的增加^[31]。使用适度碱化的活性白土对热榨葵花籽油进行脱色处理后, 葵花籽油异味产生减少, 葵花籽油本身香气特征得到了更好的保留。

2.4 储藏

油脂在储藏过程中发生的自氧化反应是造成油脂异味产生的主要原因。油脂自氧化为链式反应, 经初级氧化过程会产生氢过氧化物, 氢过氧化物进一步发生分解产生带有异味的小分子物质^[33]。葵花籽油富含亚油酸, 亚油酸二级氧化产物己醛呈现为草味和油脂味, 戊醛呈现为焦糖味、水果味和霉味, 戊醇呈现为油脂味、甜味, 辛醛呈现为水果味、甜

味,庚醛呈现为果香,1-辛烯-3-醇有蘑菇味^[34],同时在氧化反应中还会伴随己酸、戊烷、戊醛、戊酸、庚烯、庚酮、庚酸、2-壬烯醛、2,4-壬二烯醛等的生成^[35]。这些油脂氧化产物影响着葵花籽油的风味和品质,使葵花籽油呈现出哈喇味或者其他异味。Villiere等^[33]研究了葵花籽油乳状液在黑暗中50℃储存10d的氧化过程中气味的变化,发现随着储存时间的延长,挥发性风味物质增多,且这些物质主要来自于油酸和亚油酸的氧化,同时发现氧化产生的21种挥发性风味物质主要为醛类物质,使得乳状液气味从新鲜油脂气味最终演变为油漆味。

2.5 煎炸

煎炸过程中食用油的挥发性风味物质浓度和数量会发生变化。近年来,越来越多的研究者们开始重视煎炸油^[36-39]以及油炸食品中异味物质的产生^[40]、组成和特性^[41]。葵花籽油加热过程中发生的反应和自氧化相似,只是速度不同,高温会加快热氧化反应^[42],生成醛、酮、醇、酸、内酯等,饱和醛类又可进一步氧化生成不饱和醛,醛类进一步氧化生成酸,这些挥发性风味物质是油脂带有油炸风味和异味的原因^[43]。研究者在煎炸油和油炸食品中发现了大量的醛,如己醛、庚醛、戊醛和2,4-癸二烯醛^[44-45]。Ontanon等^[46]研究发现,高油酸葵花籽油加热期间,随着加热温度升高,醛类物质增加较多,挥发性风味物质中的羧酸、饱和醛(烷醛)和不饱和醛均表现出气味特征,其中饱和醛和不饱和醛是造成煎炸过程中特有气味的主要原因。2,4-癸二烯醛具有刺激性气味,是葵花籽油中亚油酸的主要氧化产物之一。Sonmezdag等^[40]发现精炼葵花籽油在煎炸土豆过程中,随着煎炸次数的增加,醛类物质浓度也随之增加,煎炸后葵花籽油中主要挥发性风味物质为(*E,E*)-2,4-癸二烯醛、*E*-2-庚烯醛和己醛。此外,Karademir等^[47]使用葵花籽油煎炸薯片,180℃煎炸6h后,薯片中2,4-癸二烯醛含量达到最高值29mg/kg。然而,葵花籽油加热过程中,在不同温度下产生的挥发性风味物质以及萜烯类化合物、杂环类化合物的变化,尚未有明确报道,这是今后需要研究的方向。

3 结论和展望

葵花籽油中的挥发性风味物质主要为吡嗪类、萜烯类、醛酮类等,这些物质赋予葵花籽油坚果香、焙烤香、植物清香等气味特征。炒籽和精炼工艺对葵花籽油的风味形成影响较大,热榨葵花籽油的挥发性成分比冷榨葵花籽油丰富,香气更浓郁,经过脱色、脱酸处理的葵花籽油几乎不具有香气。葵花籽

油在储存和煎炸过程中产生的醛类和酸类等挥发性风味物质,导致了葵花籽油异味的产生。高油酸葵花籽油比普通葵花籽油在储藏过程中表现出了更好的风味稳定性,异味产生较慢。现有的文献主要局限在葵花籽油挥发性风味物质的鉴定,没有对其香气活性物质进行准确的定性和定量分析,缺少关键香气化合物在加工、储藏和煎炸过程中变化规律的研究。在今后的研究中,可以采用分子感官科学的手段和方法揭示葵花籽油的香气形成机制,如利用气相色谱-嗅闻-质谱联用仪(GC-O-MS)及全二维气相色谱与飞行时间质谱联合技术(GC×GC-TOFMS),结合香气提取物稀释分析法(AEDA)和气味活度值法(OAV),利用稳定同位素稀释分析(SIDA)准确地定性和定量分析葵花籽油中关键香气活性物质,并研究其在加工、储藏和煎炸过程中的变化规律和调控机制。

参考文献:

- [1] FLAGELLA Z, ROTUNNO T, TARANTINO E, et al. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime [J]. *Eur J Agron*, 2002, 17(3): 221-230.
- [2] 王瑞元. 葵花籽油是中国的优质食用油源 [J]. *粮食与食品工业*, 2015, 22(6): 1-3.
- [3] 温运启, 刘玉兰, 王璐阳, 等. 不同食用植物油中维生素E组分及含量研究 [J]. *中国油脂*, 2017, 42(3): 35-39.
- [4] LI C, HOU L. Review on volatile flavor components of roasted oilseeds and their products [J]. *Grain Oil Sci Technol*, 2018, 1(4): 151-156.
- [5] HU W, ZHANG L, LI P, et al. Characterization of volatile components in four vegetable oils by headspace two-dimensional comprehensive chromatography time-of-flight mass spectrometry [J]. *Talanta*, 2014, 129(21): 629-635.
- [6] 洪振童, 陈洁, 范璐, 等. HS-SPME-GC-MS分析冷榨和热榨葵花籽油的挥发性物质 [J]. *中国油脂*, 2015, 40(2): 90-94.
- [7] 魏贞伟, 王俊国. 冷、热榨葵花籽油品质及生物活性物质的研究 [J]. *粮食与油脂*, 2017, 30(5): 28-30.
- [8] 周萍萍, 黄健花, 宋志华, 等. 浓香葵花籽油挥发性风味成分的鉴定 [J]. *食品工业科技*, 2012, 33(14): 128-131.
- [9] 陈洁, 洪振童, 刘国琴, 等. 微波焙炒对葵花籽油品质和挥发性物质的影响 [J]. *现代食品科技*, 2015, 31(8): 211-218.
- [10] 周萍萍, 黄健花, 李佳, 等. 烘烤条件对葵花籽油风味

- 和品质的影响 [J]. 中国油脂, 2013, 38(12): 1-5.
- [11] 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.
- [12] 孙国昊, 刘玉兰, 李锦, 等. 脱壳炒籽压榨对浓香葵花籽油风味的影响 [J]. 中国油脂, 2020, 45(4): 32-40.
- [13] 陈侨侨, 张生万, 李美萍, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法对食用植物油中易挥发成分的分析 [J]. 食品科学, 2014, 35(14): 97-101.
- [14] 张茜, 刘伟伦, 路亚楠, 等. 顶空气相色谱-质谱联用技术的应用进展 [J]. 色谱, 2018, 36(10): 28-37.
- [15] ZHU M, XU S, CHEN J, et al. Determination of volatile compounds of Chinese traditional aromatic sunflower seeds (*Helianthus annulus* L.) [J]. Int J Food Eng, 2015, 11(1): 85-95.
- [16] POEHLMANN S, SCHIEBERLE P. Characterization of the aroma signature of Styrian pumpkin seed oil (*Cucurbita pepo* subsp. *pepo* var. *styriaca*) by molecular sensory science [J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(12): 2933-2942.
- [17] 孙丰义, 王丹, 陈海涛, 等. SPME 和 SAFE 对比分析炸花椒油挥发性风味成分 [J]. 精细化工, 2016, 33(1): 53-58, 65.
- [18] 陈海涛, 李萌, 孙杰, 等. 新鲜大蒜与炸蒜油挥发性风味物质的对比分析 [J]. 精细化工, 2018, 35(8): 1355-1362.
- [19] MURAT C, GOURRAT K, JEROSCH H, et al. Analytical comparison and sensory representativity of SAFE, SPME, and Purge and Trap extracts of volatile compounds from pea flour [J]. Food Chem, 2012, 135(3): 913-920.
- [20] DOMÍNGUEZ R, GÓMEZ M, FONSECA S, et al. Influence of thermal treatment on formation of volatile compounds, cooking loss and lipid oxidation in foal meat [J]. LWT - Food Sci Technol, 2014, 58(2): 439-445.
- [21] GUO S, JOM K N, GE Y. Influence of roasting condition on flavor profile of sunflower seeds: a flavoromics approach [J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 881-888.
- [22] FU M, SHEN X, PENG H, et al. Identification of rancidity markers in roasted sunflower seeds produced from raw materials stored for different periods of time [J]. LWT - Food Sci Technol, 2020, 118(1): 108-118.
- [23] BOCCI F, FREGA N. Analysis of the volatile fraction from sunflower oil extracted under pressure [J]. J Am Oil Chem Soc, 1996, 73(6): 713-716.
- [24] KESZLER A, HEBERGER K. Identification of volatile compounds in sunflower oil by headspace SPME and ion-trap GC/MS [J]. J High Resolut Chromatogr, 1997, 21(6): 368-370.
- [24] 林霞. 蜡梅属植物中挥发性成分的研究进展 [J]. 福建农业科技, 2019(7): 57-64.
- [25] 张冬桃, 孙君, 叶乃兴, 等. 茶树萜烯类香气物质合成相关酶研究进展 [J]. 茶叶学报, 2015, 56(2): 68-79.
- [26] BENDINI A, BARBIERI S, VALLI E, et al. Quality evaluation of cold pressed sunflower oils by sensory and chemical analysis [J]. Lipid Sci Technol, 2011, 113(11): 1375-1384.
- [27] 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.
- [28] KARANGWA E, ZHANG X, MUREKATETE N, et al. Effect of substrate type on sensory characteristics and antioxidant capacity of sunflower Maillard reaction products [J]. Eur Food Res Technol, 2014, 240(5): 939-960.
- [29] BARBARA S, MICHAEL M. Changes in chemical composition of pumpkin seeds during the roasting process for production of pumpkin seed oil (Part 2: volatile compounds) [J]. Food Chem, 2004, 84(3): 367-374.
- [30] PETERSEN K D, KLEEBERG K K, JAHREIS G, et al. Assessment of the oxidative stability of conventional and high-oleic sunflower oil by means of solid-phase microextraction-gas chromatography [J]. Int J Food Sci Nutr, 2012, 63(2): 160-169.
- [31] 邓龙. 菜籽油特征香气成分和营养物质组成的研究 [D]. 南昌:南昌大学, 2017.
- [32] 朱正伟, 曹伟伟, 马建国, 等. 浓香葵花籽油精炼脱色剂及脱色工艺的研究 [J]. 中国油脂, 2015, 40(11): 16-21.
- [33] VILLIERE A, ROUSSEAU F, BROSSARD C, et al. Sensory evaluation of the odour of a sunflower oil emulsion throughout oxidation [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2007, 109(1): 38-48.
- [34] RUTH S M V, ROOZEN J P, JANSEN F J H M. Aroma profiles of vegetable oils varying in fatty acid composition vs. concentrations of primary and secondary lipid oxidation products [J]. Nahrung, 2000, 44(5): 318-322.
- [35] KESZLER A, KRISKA T, NEMETH A. Mechanism of volatile compound production during storage of sunflower oil [J]. J Agric Food Chem, 2000, 48(12): 5981-5985.
- [36] MARTINEZ-PINEDA M, FERRER-MAIRAL A, VERCET A, et al. Physicochemical characterization of changes in different vegetable oils (olive and sunflower) under several frying conditions [J]. Cyta - J Food,

- 2011, 9(4): 301 – 306.
- [37] AN K, LIU Y, LIU H. Relationship between total polar components and polycyclic aromatic hydrocarbons in fried edible oil [J]. Food Addit Contam A, 2017, 34(9): 1596 – 1605.
- [38] ANJUMA F, ANWARA F, JAMILA A, et al. Microwave roasting effects on the physico – chemical composition and oxidative stability of sunflower seed oil [J]. J Am Oil Chem Soc, 2006, 83(9): 777 – 783.
- [39] 李涛, 盛喜霞, 马鹏飞, 等. 葵花籽油加热过程中异丁烯醛含量变化趋势的分析 [J]. 食品科技, 2013, 38(6): 163 – 166.
- [40] SONMEZDAG A S, KESEN S, AMANPOUR A, et al. LC – DAD – ESI – MS/MS and GC – MS profiling of phenolic and aroma compounds of high oleic sunflower oil during deep – fat frying [J]. J Food Process Pres, 2019, 43(3): 1 – 9.
- [41] ZHANG Q, WAN C, WANG C Z, et al. Evaluation of the non – aldehyde volatile compounds formed during deep – fat frying process [J]. Food Chem, 2018, 243: 151 – 161.
- [42] ZHANG Q, SALEH A S, CHEN J, et al. Chemical alterations taken place during deep – fat frying based on certain reaction products: a review [J]. Chem Phys Lipids, 2012, 165(6): 662 – 681.
- [43] XIAO L, LI C, CHAI D, et al. Volatile compound profiling from soybean oil in the heating process [J]. Food Sci Nutr, 2020, 8(2): 1139 – 1149.
- [44] FULLANA A, CARBONELL – BARRACHINA A A, SIDHU S. Volatile aldehyde emissions from heated cooking oils [J]. J Sci Food Agr, 2004, 84(15): 2015 – 2021.
- [45] KATRAGADDA H R, FULLANA A, SIDHU S, et al. Emissions of volatile aldehydes from heated cooking oils [J]. Food Chem, 2010, 120(1): 59 – 65.
- [46] ONTANON I, CULLERE L, ZAPATA J, et al. Application of a new sampling device for determination of volatile compounds released during heating olive and sunflower oil: sensory evaluation of those identified compounds [J]. Eur Food Res Technol, 2013, 236(6): 1031 – 1040.
- [47] KARADEMIR Y, GÖKMEN V, ÖZTOP H M. Investigation of lipid – derived formation of decadien – 1 – amine, 2 – pentylpyridine, and acrylamide in potato chips fried in repeatedly used sunflower oil [J]. Food Res Int, 2019, 121(7): 919 – 925.
-
- (上接第 31 页)
- [5] CALVO P, ÁNGEL L C, MARÍA T H. Effects of microcapsule constitution on the quality of microencapsulated walnut oil [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2011, 113(10): 1273 – 1280.
- [6] 聂斌英. 沙棘油及其微胶囊制品过氧化值的测定与比较 [J]. 食品工业科技, 2010, 31(1): 144 – 146.
- [7] CHUNG C, SANGUANSRI L, AUGUSTIN M A. In vitro lipolysis of fish oil microcapsules containing protein and resistant starch [J]. Food Chem, 2011, 124: 1480 – 1489.
- [8] TIMILSENA Y P, ADHIKARI R, BARROW C J. Digestion behaviour of chia seed oil encapsulated in chia seed protein – gum complex coacervates [J]. Food Hydrocoll, 2017, 66 (Complete): 71 – 81.
- [9] CHEW S C, TAN C P, NYAM K L. In – vitro, digestion of refined kenaf seed oil microencapsulated in β – cyclodextrin/gum arabic/sodium caseinate by spray drying [J]. J Food Eng, 2018, 225: 34 – 41.
- [10] SARKAR A, HORNE D S, SINGH H. Pancreatin – induced coalescence of oil – in – water emulsions in an in vitro duodenal model [J]. Int Dairy J, 2010, 20(9): 589 – 597.
- [11] GOYAL A, SHARMA V, SIHAG M K. Development and physicochemical characterization of microencapsulated flaxseed oil powder: a functional ingredient for *omega* – 3 fortification [J]. Powder Technol, 2015, 286: 527 – 537.
- [12] EDRIS A E, KALEMBA D, ADAMIEC J. Microencapsulation of *Nigella sativa* oleoresin by spray drying for food and nutraceutical applications [J]. Food Chem, 2016, 204: 326 – 333.
- [13] HUR S J, LIM B O, DECKER E A. In vitro human digestion models for food applications [J]. Food Chem, 2011, 125(1): 1 – 12.
- [14] KOSARAJU S L, WEERAKKODY R, AUGUSTIN M A. In – vitro evaluation of hydrocolloid – based encapsulated fish oil [J]. Food Hydrocoll, 2009, 23(5): 1413 – 1419.
- [15] CHEONG A M, TAN C P, NYAM K L. In vitro evaluation of the structural and bioaccessibility of kenaf seed oil nanoemulsions stabilised by binary emulsifiers and β – cyclodextrin complexes [J]. J Food Eng, 2016, 189: 90 – 98.
- [16] 李钊垚, 蹇瑜璇, 窦纯. 红景天苷对呋喃所致小鼠肝损伤的保护作用研究 [J]. 农产品加工, 2019(15): 53 – 57, 60.
- [17] 于悦卿, 张明明, 赵培, 等. 山楂叶总黄酮对 *ApoE* 基因敲除小鼠血浆炎症、凋亡和应激相关蛋白的影响及意义 [J]. 河北医药, 2019, 41(18): 2762 – 2765.