油脂化学

DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240535

不同香型菜籽油对炸薯条风味的影响

郭 斐[1,2],王 鹏[1],于 淼[1],李昀翌[1],侯雯惠[1],苏晓霞[1],李 扬[1],卞 祺[1]

(1.中粮营养健康研究院有限公司,营养健康与食品安全北京市重点实验室,老年营养食品研究北京市工程实验室,北京 102209; 2.中粮集团有限公司,北京 100076)

摘要:旨在为油炸食品风味的优化提供参考,采用浓香型、鲜香型、清香型及风味较淡的精炼菜籽油制备炸薯条,探究菜籽油香型对炸薯条辛香味、土豆味、焦香味、生青味及炸鱼味的影响,采用固相微萃取-气相色谱质谱联用技术测定炸薯条挥发性化合物含量,并利用嗅闻技术和香气活度值分析不同香型菜籽油炸薯条风味化合物的异同。结果表明:浓香型、鲜香型菜籽油炸薯条的辛香味和焦香味较突出,苯代丙腈及3-甲硫基丙醛为其最关键的2个化合物;而清香型、精炼菜籽油炸薯条以生青味和土豆味为主,其中清香型菜籽油炸薯条中最关键化合物为3-甲硫基丙醛和(*E*,*E*)-2,4-庚二烯醛,精炼菜籽油炸薯条中最关键化合物为3-甲硫基丙醛和己醛。综上,菜籽油香气类型对炸薯条风味有明显影响。

关键词:炸薯条;风味;菜籽油;浓香型;鲜香型;清香型

中图分类号:TS225.1;TS201.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2025)12-0058-07

Effects of rapeseed oils with different fragrances on the flavor of French fries

GUO Fei[1,2], WANG Peng[1], YU Miao[1], LI Yunyi[1], HOU Wenhui[1], SU Xiaoxia[1], LI Yang[1], BIAN Qi[1]

(1. Beijing Engineering Laboratory for Geriatric Nutrition Food Research, Beijing Key Laboratory of Nutrition & Health and Food Safety, COFCO Nutrition and Health Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China; 2. COFCO Limited, Beijing 100076, China)

Abstract: In order to provide reference for optimizing the flavor of fried foods, the French fries were prepared using refined rapeseed oil and three typical rapeseed oils with different fragrances, namely strong fragrance, umami fragrance, and delicate fragrance. Five sensory attributes of French fries were evaluated, including spicy, potato-like, burnt, green and fried fish-like. In addition, the volatile compound content of French fries was determined by solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry technology, and olfactometry combined with odor activity value was applied to investigate the flavor of four French fries. The results showed that French fries prepared with strong fragrance rapeseed oil and umami fragrance rapeseed oil had more intensities of spicy and burnt attributes, and benzenepropanenitrile and 3-methylthiopropanal were the most critical compounds. However, French fries prepared with delicate fragrance rapeseed oil and refined rapeseed oil were mainly characterized by green and potato-like attributes. The most critical compounds in French fries prepared with delicate fragrance rapeseed oil were 3-methylthiopropanal and (*E*, *E*)-2, 4-heptadienal, while the most critical compounds in French fries prepared with refined rapeseed oil was 3-methylthiopropanal and hexanal. In summary, the fragrances of rapeseed oils have a significant impact on the flavor of French fries.

Key words: French fries; flavor; rapeseed oil; strong fragrance; umami fragrance; delicate fragrance

收稿日期:2024-09-04;**修回日期:**2025-07-11

基金项目:中粮营养健康研究院"现代感知平台建设和美味量化共性技术打造"项目〔(013)2024-N2-F002*〕

作者简介:郭 斐(1985),女,正高级工程师,博士,研究方向为食品感官与风味、消费者行为及心理(E-mail)guofei@cofco.com。

通信作者:李 扬,高级工程师,博士(E-mail)liyang18@cofco.com;卞 祺,高级工程师,硕士(E-mail)bianqi@cofco.com。

油炸是食品工业、餐馆和家庭厨房中最常见的烹饪方法之一,其将经过处理的食品原料浸入到加热的植物油(150 ~ 190 ℃)中[1],借助植物油的高温使食物迅速熟化并获得典型的感官特性。风味浓郁的炸薯条是深受消费者喜欢的油炸食品之一,其风味形成包括诱导、最佳和降解 3 个阶段,其中最佳阶段的炸薯条风味较好[2]。已报道的炸薯条的挥发性化合物累计超过 500 种[3],包括醛类、杂环类、酮类及醇类等,其中醛类和杂环类是对炸薯条风味影响最大的 2 类化合物[4-5]。

植物油是油炸过程中不可或缺的材料,一方面植物油作为热交换介质促使食物成熟[6],另一方面,植物油的脂肪酸在较高温度下会发生氧化降解,产生的含羰基的中间产物可促进美拉德反应的进行[7],或者进一步降解形成醛类、酮类等风味化合物,与美拉德反应形成的杂环类风味化合物共同赋予油炸食品风味[8]。研究表明,植物油种类对油炸食品风味有重要影响。赵梦瑶[9]分别采用葵花籽油、大豆油、菜籽油、棕榈油及花生油制备炸油条,结果发现,葵花籽油炸油条的总风味强度最大,其次为花生油炸油条、菜籽油炸油条、大豆油炸油条,风味强度最弱的为棕榈油炸油条。Enríquez - Fernández 等[10]采用三角测试的感官分析方法也证实了植物油种类对油炸食品风味有影响。这是因为不同种类植物油的脂肪酸组成不同,其氧化降解后形成的风味化合物也不同[11],从而导致了油炸食品风味的差异[12-13]。例如:以亚油酸为主的棉籽油制备的炸薯条中(*E*,*E*) - 2,4 - 癸二烯醛含量最高;以油酸为主的葵花籽油制备的炸薯条中 2 - 十一烯醛含量最高;以亚麻酸为主的亚麻籽油制备的炸薯条中(*E*,*E*) - 2,4 - 庚二烯醛含量最高[5]。

菜籽油是我国消费量最大的植物油之一,约占我国食用油消费总量的 20%[14]。近年来,为适应消费者日益多样化的消费需求,菜籽油的品类也在逐渐增加,其中香型菜籽油是经过炒籽和压榨后制备的一类风味浓郁的植物油,其产量占我国菜籽油总产量的 30% 以上[14],年消费量超过 150 万 t[15],是我国西南地区市场份额最大的植物油之一。团队前期研究发现,不同香型菜籽油的脂肪酸组成相似,但因其原料品种、产地及加工工艺的不同,导致菜籽油的风味化合物种类相似,但含量却差异显著,基于感官特性及风味化合物含量的差异可将这些菜籽油划分为浓香型、鲜香型及清香型 3 种[16]。其中:浓香型和鲜香型菜籽油的主要风味化合物均为腈类和杂环类,但后者含量较低;清香型菜籽油的主要风味化合物为腈类和酸类[16]。这些菜籽油的香型差异是否会影响油炸食品的风味还不明确。因此,本研究选择了浓香型、鲜香型、清香型及风味较淡的精炼菜籽油制备炸薯条,通过感官评价和风味化合物分析,探究菜籽油香型差异对炸薯条风味的影响,以期为油炸食品风味优化提供一些借鉴。

1　材料与方法

1.1　实验材料

浓香型菜籽油(三级),产地重庆市九龙坡区;清香型菜籽油(三级)、鲜香型菜籽油(一级),产地上海市浦东新区;精炼菜籽油,产地重庆市江津区;马铃薯,品种为云薯 304,产地云南;2 - 甲基 - 3 - 庚酮、辛癸酸甘油酯、C7 ~ C40 正构烷烃混合物,上海安谱实验科技股份有限公司。

GC7890B/MS5977A 气相色谱质谱联用仪、DB - Wax(30 m × 0.25 mm,0.25 μm)毛细管色谱柱,美国 Agilent 公司;Sniffer 9000 嗅辨仪,瑞士 Brechbühler 公司;50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取纤维头,美国 Supelco 公司。

1.2　实验方法

1.2.1　炸薯条的制备

参考文献[17]的方法,并略作调整制备炸薯条。将马铃薯洗净去皮,用切条机切成细条,再用手工刀切成尺寸 5 cm × 0.5 cm × 0.5 cm 的条状。将 200 g 薯条在 1 600 g 沸水中漂烫 3 min,用吸水纸吸干多余的水分,于 - 18 ℃冰箱中储存 12 h 后备用。在炸锅中加入 800 g 菜籽油,将 200 g 薯条放入油炸筐中,待油温稳定在 160 ℃后放入薯条,油炸 9 min 后取出,沥油 2 min 后待测。

浓香型菜籽油炸薯条(简称“浓香型薯条”)编号为 FF - S,鲜香型菜籽油炸薯条(简称“鲜香型薯条”)编号为 FF - U,清香型菜籽油炸薯条(简称“清香型薯条”)编号为 FF - D,精炼菜籽油炸薯条(简称“精炼薯条”)编号为 FF - R。

1.2.2　感官评价

采用定量描述感官评价法对炸薯条感官特性进行分析。感官评价小组由 10 位经验丰富的专家评价员组成。评价员针对待测样品的风味特征开展讨论并确定 5 个属性词,分别为辛香味、土豆味、焦香味、生青味及炸鱼味(表 1)。为保证评价员评价结果的一致性和可重复性,在每场测试中均会插入盲样进行验证。评价员使用 15 cm 的线性标度对感官属性进行评价,0 表示完全未识别此属性,15 表示此属性的强度最大。

表 1 薯条感官属性词

Table 1 Sensory attributes of French fries

属性词	定义
辛香味	让人联想到腌制蔬菜的气味
土豆味	让人联想到蒸土豆的气味
焦香味	让人联想到烤焦土豆的气味
生青味	让人联想到生菜籽的气味
炸鱼味	让人联想到炸鱼后混合着油脂的气味,略带腥味

1.2.3 挥发性化合物分析

1.2.3.1 提取分离

采用固相微萃取 - 气相色谱质谱联用(SPME - GC - MS)仪提取及分离样品中的挥发性化合物。称取(5.00 ± 0.01) g 样品,用刀切成绿豆大小颗粒,置于20 mL 顶空瓶中,加入 10 μL 2 - 甲基 - 3 - 庚酮溶液(0.816 mg/kg,溶于辛癸酸甘油酯)作为内标,于 60 ℃平衡 20 min 后,采用 2 cm 的 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取纤维头吸附 40 min。将萃取纤维头插入气相色谱进样口,于 250 ℃解吸 5 min 后取出,同时进行 GC - MS 分析。

GC - MS 条件:以氦气为载气,流速 1.20 mL/min;柱温箱初始温度 45 ℃,以 4 ℃/min 升温至 180 ℃,保持 2 min,再以 10 ℃/min 升温至 230 ℃,保持 6 min;电子能量 70 eV;离子源温度 250 ℃,扫描范围(m/z)40 ~ 500。

1.2.3.2 定性分析

通过 NIST.17L 谱库进行检索,选择正反匹配度大于 800 的挥发性化合物。同时,以 C7 ~ C40 正构烷烃作为标准品,记录各正构烷烃保留时间。按式(1)计算各挥发性化合物的保留指数(Retention index,RI),并与采用相同色谱柱的文献报道数值进行比较,辅助质谱检索结果对挥发性化合物进行定性分析[18]。

$$I = 100 \times \left(n + \frac{t - t_{C_n}}{t_{C_{n+1}} - t_{C_n}} \right) \quad (1)$$

式中:I 为保留指数;t 为挥发性化合物保留时间;t_{C_n}和 $t_{C_{n+1}}$分别为碳原子数为 n 和 $n+1$ 烷烃的保留时间。

1.2.3.3 定量分析

采用内标法对挥发性物质进行定量分析,按式(2)计算待测化合物含量。

$$C = \frac{A \times C_i}{A_i} \quad (2)$$

式中:C 为待测化合物的含量,μg/kg;A 为待测化合物的峰面积;A_i为内标物 2 - 甲基 - 3 - 庚酮的峰面积;C_i 为内标物的含量,μg/kg。

1.2.4 风味化合物分析

采用气相色谱 - 嗅闻(GC - O)技术对炸薯条的风味化合物进行分析。经气相色谱毛细管色谱柱分离的挥发性化合物按 1∶1 比例分别进入质谱及嗅闻检测口(嗅闻检测口温度为 200 ℃)。选择 5 名有经验的评价员(18 ~ 40 岁)参与嗅闻实验,记录保留时间和风味特征,当 3 名以上评价员同时识别某挥发性化合物时,则认为该化合物对样品的风味有贡献,为风味化合物。

以挥发性化合物含量与其阈值的比值计算香气活度值(OAV),以 OAV 来评价各化合物对样品风味的贡献。

1.2.5 数据统计与分析

使用 XLSTAT v. 2016 软件对炸薯条定量描述感官评价结果进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 炸薯条的感官评价

对不同香型菜籽油炸薯条进行定量描述感官评价及主成分分析,结果如图 1 所示。

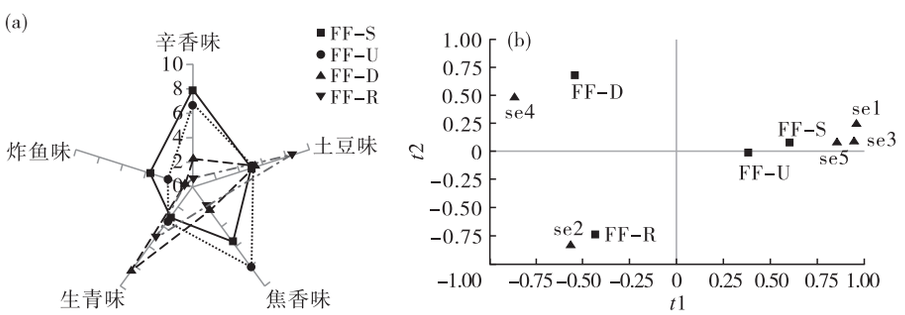

图 1 不同香型菜籽油炸薯条的感官雷达图(a)及主成分图(b)

Fig. 1 Radar plot(a) and PCA chart(b) of sensory attributes of French fries processed by rapeseed oils with different fragrances

由图 1a 所知:浓香型薯条(FF - S)的辛香味最为突出,评分为 8.0 ± 0.2,其他 4 个感官属性按评分由高到低依次为焦香味、土豆味、炸鱼味和生青味;鲜香型薯条(FF - U)的焦香味最为突出,评分为

8.2 ±0.1,其他 4 个感官属性评分排序为辛香味、土豆味、生青味和炸鱼味;清香型薯条(FF - D)的生青味最突出,评分为 8.6 ±0.4,其他 4 个感官属性排序为土豆味、焦香味、辛香味和炸鱼味;精炼薯条(FF - R)最突出的感官属性为土豆味,评分为 8.3 ±0.3,其次为生青味,其他 3 个感官属性较弱,评分均低于 2.0。由图 1b 可知,浓香型、鲜香型薯条的感官属性相似,与辛香味(se1)、焦香味(se3)和炸鱼味(se5)呈正相关,清香型薯条的感官属性与生青味(se4)呈正相关,精炼薯条的感官属性与土豆味(se2)呈正相关。根据以上结果可以看出,菜籽油的香型可极大程度影响炸薯条的感官属性。

2.2　炸薯条的挥发性化合物分析

不同香型菜籽油炸薯条中共检出 77 种挥发性化合物,包括 7 种腈类、1 种硫酯类、13 种杂环类、20 种醛类、11 种酮类、4 种酸类、6 种醇类、1 种醚类、3 种酚类及 11 种烃类。不同香型菜籽油炸薯条中的挥发性化合物含量如图 2 所示。

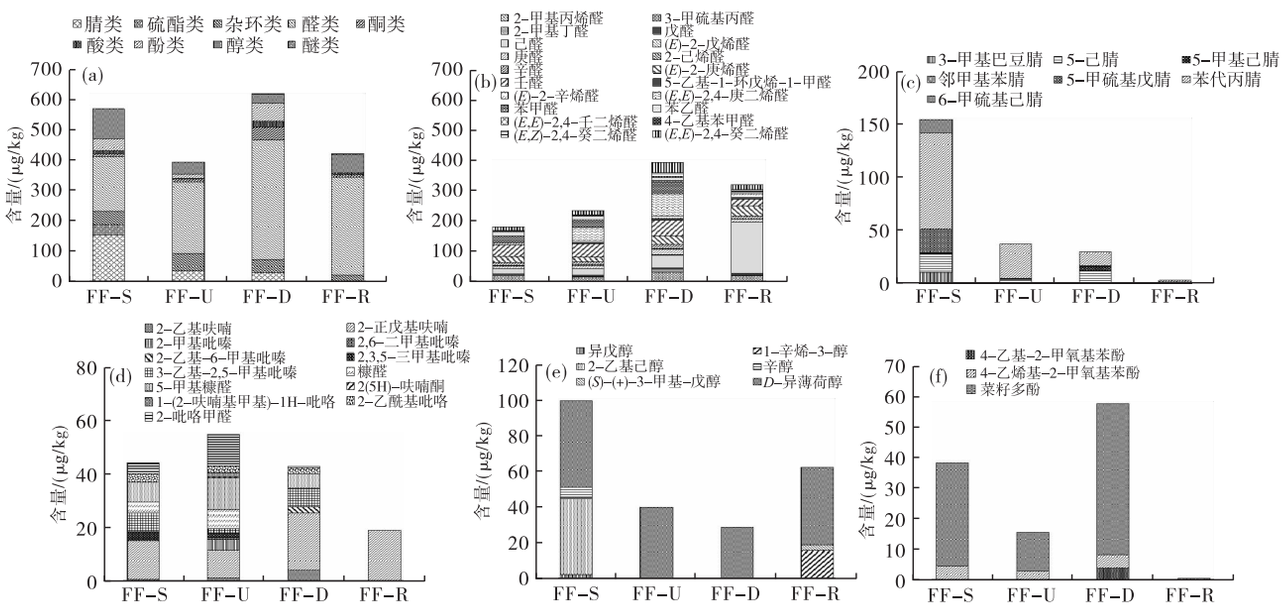

图 2　不同香型菜籽油炸薯条中的挥发性化合物含量

Fig. 2　Volatile compounds content in French fries processed by rapeseed oils with different fragrances

由图 2a 可知,不同香型菜籽油炸薯条的挥发性化合物中醛类含量最高,这与 Xu[19]、姚凌[5]等报道的结果一致。浓香型薯条(FF - S)、鲜香型薯条(FF - U)、清香型薯条(FF - D)及精炼薯条(FF - R)中醛类含量分别为 178.6、234.2、392.0 μg/kg 和 319.9 μg/kg。除醛类外,4 种炸薯条的其他类别化合物组成有明显不同:浓香型薯条中腈类含量最高,为 153.0 μg/kg;鲜香型薯条中杂环类含量最高,为 54.9 μg/kg;清香型薯条中酚类含量最高,为 57.7 μg/kg;精炼薯条中醇类含量最高,为 62.0 μg/kg。

由图 2b 可知:浓香型薯条中共检测出 15 种醛类物质,其中壬醛和苯甲醛含量最高,分别为 39.1 μg/kg 和 22.7 μg/kg;鲜香型薯条中共检出 18 种醛类物质,含量最高的为(*E*,*E*)-2,4-庚二烯醛和壬醛,分别为 44.7 μg/kg 和 43.0 μg/kg;清香型薯条中也检出 18 种醛类物质,含量最高的也为(*E*,*E*)-2,4-庚二烯醛和壬醛,分别为 73.8 μg/kg 和 50.9 μg/kg;精炼薯条中共检出 16 种醛类物质,己醛和(*E*)-2-庚烯醛含量最高,分别为 166.8 μg/kg 和 30.9 μg/kg。

由图 2c 可知:浓香型、鲜香型及清香型薯条腈类物质中苯代丙腈含量均最高,分别为 90.0、31.9 μg/kg 和 12.3 μg/kg;精炼薯条中仅检出 2 种腈类,分别为 3-甲基巴豆腈和苯代丙腈,二者的含量均在 1.5 μg/kg 左右。

由图 2d 可知,2-正戊基呋喃为浓香型、清香型及精炼薯条中含量最高的杂环类物质,在 14.5 ~ 21.3 μg/kg 范围内。5-甲基糠醛和 2-吡咯甲醛为鲜香型薯条中含量最高的杂环类化合物,其次为 2-正戊基呋喃,这些杂环类化合物均由美拉德反应生成[20-22]。

由图 2e 可知,*D*-异薄荷醇为 4 种炸薯条中含量最高的醇类物质,在 28.9 ~ 48.4 μg/kg 范围内。

由图 2f 可知,不同香型菜籽油炸薯条中仅检出 3 种酚类化合物,包括 4-乙基-2-甲氧基苯酚、4-乙烯基-2-甲氧基苯酚和菜籽多酚,其中菜籽多酚含量最高,在 0.4 ~ 49.7 μg/kg 范围内。

综上,菜籽油香型的差异导致了炸薯条主要挥

发性化合物有一定区别。

2.3 炸薯条的风味化合物分析

GC－O是以人鼻子为检测器,对挥发性化合物的风味特征及其对样品风味贡献大小进行评估的方式,可被GC－O识别的化合物为风味化合物。研究表明,OAV大于1的化合物对样品风味有重要影响,OAV介于0.1～1之间的化合物对样品风味也有一定贡献[23]。为评估挥发性化合物对炸薯条风味的影响,采用GC－O及OAV对其进行进一步分析。炸薯条风味化合物的OAV如表2所示。

表2 炸薯条风味化合物的OAV

Table 2 OAV of aroma compounds in French fries

化合物	CAS	RI	风味描述	阈值/(mg/kg)[24]	OAV			
					FF－S	FF－U	FF－D	FF－R
腈类								
苯代丙腈	645－59－0	2 048	香辛料味	0.015	6.00±1.01	2.13±0.11	0.82±0.08	0.09±0.02
杂环类								
2－正戊基呋喃	3777－69－3	1 239	黄油味、豆腥味	0.1	0.14±0.03	0.11±0.00	0.21±0.02	0.19±0.05
2,6－二甲基吡嗪	108－50－9	1 325	烘焙食品味、爆米花味	0.13	ND	0.01±0.00	ND	ND
2－乙基－6－甲基吡嗪	13925－03－6	1 402	蒸米饭味、焙烤味、甜味	0.04	ND	ND	0.06±0.00	ND
糠醛	98－01－1	1 473	烤面包味	0.008	0.51±0.15	0.89±0.23	ND	ND
2－乙酰基吡咯	1072－83－9	1 983	干酪味、发霉味、酸味		NA	NA	NA	NA
酮类								
甲基庚烯酮	110－93－0	1 341	爆米花味	1	ND	ND	0.02±0.00	ND
酸类								
己酸	142－62－1	1 846	汗臭味	0.7	ND	ND	ND	ND
辛酸	124－07－2	2 067	汗味、腊味、脂肪味	3	ND	ND	ND	ND
壬酸	112－05－0	2 144	花香味、果香味、刺鼻味	0.05	0.10±0.01	ND	0.18±0.04	0.07±0.01
醛类								
己醛	66－25－1	1 097	青草味	0.12	0.15±0.02	0.19±0.01	0.33±0.04	1.39±0.12
庚醛	111－71－7	1 188	生青味	0.05	0.20±0.02	0.21±0.03	0.34±0.01	0.20±0.02
辛醛	124－13－0	1 292	生青味	0.056	0.20±0.02	0.16±0.03	0.24±0.06	0.18±0.02
(*E*)－2－庚烯醛	18829－55－5	1 323	生青味、油炸味	0.05	0.35±0.04	0.31±0.06	0.59±0.08	0.62±0.10
壬醛	124－19－6	1 390	柑橘味、牛油味、脂肪味	0.15	0.26±0.06	0.29±0.06	0.34±0.09	0.16±0.01
(*E*)－2－辛烯醛	2548－87－0	1 437	油炸味	0.12	0.05±0.00	0.05±0.01	0.07±0.01	0.11±0.02
3－甲硫基丙醛	3268－49－3	1 480	薯条味、烤土豆味	0.000 52	38.50±4.08	26.79±3.75	60.08±7.37	38.00±5.33
(*E*,*E*)－2,4－庚二烯醛	4313－03－5	1 494	油脂味	0.05	0.01±0.00	0.89±0.05	1.48±0.04	0.01±0.00
苯甲醛	100－52－7	1 534	杏仁味、木香味	0.69	0.03±0.00	0.04±0.00	0.06±0.01	ND
苯乙醛	122－78－1	1 663	虾条味	0.022	0.55±0.03	0.52±0.14	0.51±0.15	0.25±0.06
(*E*,*E*)－2,4－壬二烯醛	5910－87－2	1 704	生青味	0.001 5	ND	ND	ND	1.13±0.21
(*E*,*E*)－2,4－癸二烯醛	25152－84－5	1 826	油炸味、生青味	0.066	0.17±0.02	0.21±0.01	0.54±0.02	0.26±0.00

续表 2

化合物	CAS	RI	风味描述	阈值/(mg/kg)[24]	OAV			
					FF－S	FF－U	FF－D	FF－R
醇类								
辛醇	111－87－5	1 561	脂肪味、花香味、青草味	0.027	0.23±0.05	ND	ND	ND
D－异薄荷醇	23283－97－8	－	酸臭味、麻皮椿味		NA	NA	NA	NA
酚类								
4－乙基－2－甲氧基苯酚	2785－89－9	2 033	熏培根味、丁香味	0.05	ND	ND	0.08±0.01	ND
4－乙烯基－2－甲氧基苯酚	7786－61－0	2 203	干木香味、中药味		NA	NA	NA	NA

注：ND. 含量低于仪器检出限未进行计算；NA. 因缺少阈值数据未进行 OAV 计算；－. 不适用

Note: ND. Not calculated due to content below detection limit; NA. The OAVs was not obtained due to lack of threshold data; －. Not applicable

由表 2 可知，4 种炸薯条的 77 种挥发性化合物中共有 26 种化合物可被 GC－O 识别，包括 1 种腈类、5 种杂环类、1 种酮类、3 种酸类、2 种酚类、12 种醛类及 2 种醇类。4 种炸薯条中 OAV 大于 1 的风味化合物有 5 种，分别为苯代丙腈（香辛料味）、己醛（青草味）、3－甲硫基丙醛（薯条味、烤土豆味）、(*E*,*E*)－2,4－庚二烯醛（油脂味）及(*E*,*E*)－2,4－壬二烯醛（生青味）。其中，苯代丙腈在棕榈油炸薯条及沸水蒸煮、空气炸制、传统炭烤的薯条中未检出[12,25]，且此化合物为浓香菜籽油的重要风味化合物之一[26]，因此推测炸薯条中的此化合物来源于菜籽油。Kim 等[27]报道，牛油制备的炸薯条中也可检出牛油中含有的 2－甲基丁酸及 3－甲基丁酸等化合物，这与本研究的结论相似。己醛、(*E*,*E*)－2,4－庚二烯醛及(*E*,*E*)－2,4－壬二烯醛由脂肪酸氧化降解形成。其中，己醛由亚油酸氧化降解形成[28]，(*E*,*E*)－2,4－庚二烯醛由亚麻酸氧化降解形成[29]，而关于(*E*,*E*)－2,4－壬二烯醛形成途径的报道相对较少，还有待进一步研究。3－甲硫基丙醛由蛋氨酸经美拉德反应生成[30]。此外，2－正戊基呋喃（黄油味、豆腥味）、糠醛（烤面包味）、壬酸（花香味、果香味及刺鼻味）、庚醛（生青味）、辛醛（生青味）、(*E*)－2－庚烯醛（生青味、油炸味）、壬醛（柑橘味、牛油味及脂肪味）、(*E*)－2－辛烯醛（油炸味）、苯乙醛（虾条味）、(*E*,*E*)－2,4－癸二烯醛（油炸味、生青味）以及辛醇（脂肪味、花香味、青草味）这 11 种化合物的 OAV 在 0.1～1 之间，对薯条风味也有一定贡献。有研究报道，2－正戊基呋喃、苯乙醛、糠醛均由美拉德反应生成[21－22]，其中，浓香型、鲜香型薯条中糠醛 OAV 在 0.1～1 之间，而清香型、精炼薯条中未检出此化合物。除上述 3 种化合物外，其他 8 种风味化合物由脂肪酸的氧化降解形成。

由表 2 还可看出，4 种炸薯条的风味化合物具有明显区别，浓香型、鲜香型薯条中苯代丙腈及 3－甲硫基丙醛的 OAV 最高，为最关键的两个化合物，而清香型薯条中最关键的化合物为 3－甲硫基丙醛和(*E*,*E*)－2,4－庚二烯醛，精炼薯条中最关键化合物为 3－甲硫基丙醛和己醛。可见，菜籽油的香型对炸薯条的关键风味化合物组成有重要影响。推测一方面是因为菜籽油原有的风味化合物可能不同程度地迁入到炸薯条中，另一方面是因为不同香型菜籽油原有成分（如 γ－生育酚）的含量差异影响了脂肪酸氧化降解与美拉德反应[31－32]，从而导致了炸薯条中关键风味化合物的差异，进而导致了炸薯条感官特性的不同。

3　结　论

本研究从感官特性及风味化合物两个方面分析了浓香型、鲜香型、清香型及精炼菜籽油对炸薯条风味的影响。结果表明，菜籽油香型可显著影响炸薯条的风味。浓香型、鲜香型薯条的风味属性较为接近，以辛香味、焦香味等为主，最关键的 2 个风味化合物均为苯代丙腈及 3－甲硫基丙醛；而清香型、精炼薯条均以土豆味和生青味为主，清香型薯条中最关键化合物为 3－甲硫基丙醛和(*E*,*E*)－2,4－庚二烯醛，精炼薯条中最关键化合物为 3－甲硫基丙醛和己醛。未来还需对影响菜籽油香气类型的因素及菜籽油风味化合物迁入油炸食品的机制进行深入研究，以期为油炸食品风味优化提供更多的技术参考。

参考文献：

[1] MULTARI S, MARSOL－VALL A, HEPONIEMI P, et al. Changes in the volatile profile, fatty acid composition and other markers of lipid oxidation of six different vegetable oils during short－term deep－frying [J]. Food Res Int, 2019, 122: 318－329.

[2] 徐立荣, 常佳睿, 梅雪,等. 不同煎炸阶段薯条和煎炸油中关键风味成分分析[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(1): 28－38.

[3] WAGNER R K, WERNER G. Key odorants of French fries [J]. J Am Oil Chem Soc, 1998, 75: 1385－1392.

[4] 徐健, 刘琳, 姜红,等. 炸薯条和薯片的风味物质及影响因素[J]. 中国马铃薯, 2023, 37(1): 62－69.

[5] 姚凌, 徐立荣, 蔡志鹏,等. 11 种煎炸油煎炸薯条挥发性成分的组成[J]. 中国油脂, 2022, 47(2): 39－46.

[6] SANTOS C, MOLINA－GARCIA L, CUNHA S C, et al. Fried potatoes: Impact of prolonged frying in monounsaturated oils [J]. Food Chem, 2018, 243: 192－210.

[7] MASTROCOLA D, MURINA M, CIOROI M, et al. Interaction between Maillard reaction products and lipid oxidation in starch－based model systems [J]. J Sci Food Agric, 2000, 80(6): 684－690.

[8] SHAHIDI F, HOSSAIN A. Role of lipids in food flavor generation [J/OL]. Molecules, 2022, 27(15): 5014 [2024－09－04]. https://doi. org/10. 3390/molecules 27155014.

[9] 赵梦瑶. 五种油煎炸油条风味物质组成研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2018.

[10] ENRÍQUEZ－FERNÁNDEZ B E, ÁLVAREZ DE LA C Y L, SOSA－MORALES M E. Influence of oil type and freshness on the sensory perception of fried foods [J]. J Culin Sci Technol, 2012, 10: 145－153.

[11] BOUCHON P. Understanding oil absorption during deep－fat frying [J]. Adv Food Nutr Res, 2009, 57: 209－234.

[12] 徐立荣. 食品煎炸过程最佳风味区间的定义、表征及影响因素[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2021.

[13] 刘家伟. 高油酸菜籽油及其配方油的煎炸性能研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2018.

[14] 王瑞元. 中国菜籽油的生产和消费情况[J]. 中国油脂, 2019, 44(11):1－2.

[15] ZHANG Y, ZHEN C, ZHAO B, et al. Comparative characterization of key odorants and aroma profiles of fragrant rapeseed oil under different roasting conditions [J/OL]. Food Res Int, 2023, 163: 112195[2024－09－04]. https://doi. org/10. 1016/j. foodres. 2022. 112195.

[16] GUO F, MA M, YU M, et al. Classification of Chinese fragrant rapeseed oil based on sensory evaluation and gas chromatography－olfactometry [J/OL]. Front Nutr, 2022, 9: 945144[2024－09－04]. https://doi. org/10. 3389/fnut. 2022. 945144.

[17] GUO F, WANG P, LI Y, et al. Flavoromics approach in monitoring changes of aroma profiles in rapeseed oils with different fragrance styles caused by frying and heating processes[J]. Int J Food Eng, 2023, 19(7/8): 337－348.

[18] 李扬, 李妍, 李栋, 等. 基于 ROAV 和嗅闻技术分析乳脂的关键风味化合物[J]. 食品科学, 2023, 44(6): 262－267.

[19] XU L, JI X, WU G, et al. Influence of oil types and prolonged frying time on the volatile compounds and sensory properties of French fries [J]. J Oleo Sci, 2021, 70(7): 885－899.

[20] 郭栋. 利用蛋黄磷脂提高炸鱼和薯条香气的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2020.

[21] 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.

[22] 杨平. 武夷岩茶焙火过程中关键 Maillard 反应香气成分及形成途径研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2022.

[23] 段桂媛, 张曼, 唐鑫静,等. 乌红杂交鲜天麻质量评价研究[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(5): 157－167.

[24] GEMERT L J V. Compilations of odour threshold values in air, water and other media [M]. 2nd ed. The Netherlands: Oliemans Punter & Partners BV, 2011.

[25] 李凯峰, 周远平, 王琼,等. 3 种烹调方式下马铃薯风味化合物组分构成的品种间差异比较[J]. 食品科学, 2020, 41(20): 159－166.

[26] 彭洁, 陈甜甜, 潘亚瑜,等. 四川浓香型菜籽油中硫苷降解产物的分析研究[J]. 食品与发酵科技, 2021, 57(1): 51－55.

[27] KIM H J, LINDSAY R C. Volatile fatty acids in flavors of potatoes deep－fried in a beef blend[J]. J Am Oil Chem Soc, 1991,68: 294－298.

[28] 杜乐. 油脂中 C18 不饱和脂肪酸氧化产物的分析[D]. 天津: 天津科技大学, 2019.

[29] LI J, SUN X, LIU Y. Analysis and detection of edible oil oxidation [J]. Lipid Technol, 2016, 28(8/9): 145－148.

[30] OLIVIER M, DUCKHAM S C, AMES J M. Volatile compounds from potato－like model systems[J]. J Agric Food Chem, 1999, 47(6): 2355－2359.

[31] 谢丹. 精炼及储藏对菜籽油品质的影响[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2012.

[32] 杜玥,熊倩,李可瑶,等. 亚麻籽炒籽过程美拉德反应底物变化及其模拟体系产物的抗氧化活性[J]. 中国油脂, 2022, 47(8): 62－70.