

## 菜籽油加工过程中香兰素含量的变化研究

王 澍<sup>1,2</sup>, 杨 永<sup>1,2</sup>, 高 盼<sup>2,3</sup>, 陈 哲<sup>1,2</sup>, 王公辉<sup>4</sup>, 李海梅<sup>4</sup>, 汪雄军<sup>4</sup>, 何东平<sup>2,3</sup>, 于 雷<sup>4</sup>

(1. 武汉食品化妆品检验所, 武汉 430040; 2. 国家市场监督管理总局重点实验室(食用油质量与安全), 武汉 430040; 3. 武汉轻工大学 食品科学与工程学院, 武汉 430023; 4. 中粮油脂控股有限公司, 北京 100020)

**摘要:**旨在明确菜籽油中香兰素来源以及不同加工工艺菜籽油中香兰素的背景水平, 为市场监管提供理论支撑。首先对比分析了不同种植地油菜秸秆、果荚及油菜籽中香兰素含量, 然后考察压榨法制取菜籽油各工序香兰素含量变化, 并进一步分析炒籽温度和炒籽时间对油菜籽中香兰素含量的影响, 最后测定不同工艺成品菜籽油中香兰素的含量。结果表明: 不同种植地油菜秸秆、果荚及油菜籽中香兰素含量差异较大, 从油菜不同生长部位来看, 油菜秸秆中香兰素含量最高, 其次是果荚, 油菜籽中香兰素含量最低; 在压榨法制取菜籽油过程中, 蒸炒后油菜籽中香兰素含量大幅增加, 菜籽原油中的香兰素含量低于预榨饼中的, 随着精炼的进行, 菜籽油中的香兰素含量逐渐降低; 随着炒籽时间延长和炒籽温度升高, 油菜籽中香兰素含量逐渐增加, 160 °C炒籽 50 min 时, 安徽安庆和内蒙古海拉尔油菜籽中香兰素含量分别从 74.0 μg/kg 和 259.0 μg/kg 升高到 636.1 μg/kg 和 1 284.0 μg/kg; 压榨法成品菜籽油中香兰素含量范围为 55.0 ~ 560.3 μg/kg, 浸出法成品菜籽油中香兰素含量范围为 0 ~ 370.5 μg/kg。综上, 菜籽油中含有内源性香兰素, 其主要来源于种植和加工阶段, 含量随着加工过程而变化。

**关键词:** 菜籽油; 油菜籽; 加工; 香兰素

中图分类号: TS225.1; TS202 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2025)06-0031-05

## Change of vanillin content during rapeseed oil processing

WANG Shu<sup>1,2</sup>, YANG Yong<sup>1,2</sup>, GAO Pan<sup>2,3</sup>, CHEN Zhe<sup>1,2</sup>, WANG Gonghui<sup>4</sup>,  
LI Haimei<sup>4</sup>, WANG Xiongjun<sup>4</sup>, HE Dongping<sup>2,3</sup>, YU Lei<sup>4</sup>

(1. Wuhan Institute of Food and Cosmetic Control, Wuhan 430040, China; 2. Key Laboratory of Quality and Safety of Edible Oil for State Market Regulation, Wuhan 430040, China; 3. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 4. COFCO Oils & Fats Holdings Limited, Beijing 100020, China)

**Abstract:** Aiming to clear the sources of vanillin in rapeseed oil and the background level of vanillin in rapeseed oil produced by different processes, and provide theoretical support for market supervision, firstly, a comparative analysis was conducted on the content of vanillin in rape straw, rape fruit pods, and rapeseed from different planting areas. Then, the changes in vanillin content in various processes of extracting rapeseed oil by pressing method were investigated, and the effects of frying temperature and frying time on vanillin content in rapeseed were further analyzed. Finally, the vanillin content in rapeseed oil produced by different processes was determined. The results showed that the contents of vanillin in rape straw, rape fruit pods and rapeseed varied greatly from different planting areas, and from the viewpoint of different parts of rape growth, vanillin content in rape straw was the highest, followed by

rape fruit pods, rapeseed had the lowest vanillin content. In the process of extracting rapeseed oil by pressing method, the vanillin content in rapeseed increased significantly after cooking. The vanillin content in crude rapeseed oil was

收稿日期: 2024-04-15; 修回日期: 2025-02-22

基金项目: 国家市场监督管理总局项目(2023MK151)

作者简介: 王 澍(1989), 男, 工程师, 硕士, 研究方向为食品安全检测(E-mail) wangshu8532@163.com。

通信作者: 于 雷, 高级工程师(E-mail) yulei@cofco.com。

lower than that in prepressed cake. With the increase of refining degree, the vanillin content in rapeseed oil gradually decreased. With the prolongation of frying time and the increase of frying temperature, the vanillin content in rapeseed increased, and after frying for 50 min at 160 °C, the vanillin content in rapeseed from Anqing, Anhui and Hailar, Inner Mongolia increased from 74.0 μg/kg and 259.0 μg/kg to 636.1 μg/kg and 1 284.0 μg/kg, respectively. The vanillin content in finished rapeseed oil produced by pressing method was 55.0 – 560.3 μg/kg, and the vanillin content in finished rapeseed oil produced by leaching method was 0 – 370.5 μg/kg. In conclusion, rapeseed oil contains natural vanillin, mainly comes from the planting and processing stages, and its content varies with the processing.

**Key words:** rapeseed oil; rapeseed; processing; vanillin

菜籽油作为我国主要的食用油之一,含有丰富的不饱和脂肪酸,营养价值高,同时具有独特的风味,备受消费者青睐<sup>[1-2]</sup>。菜籽油中的风味物质在油菜生长成熟、油菜籽储藏和菜籽油生产等环节会发生变化<sup>[3-4]</sup>。

香兰素是一种广泛存在于自然界中的有机化合物,具有独特的香气和抗氧化特性。在食品工业中,香兰素常作为食品添加剂使用,以增强食品的风味。但是有研究表明,大剂量的香兰素摄入可能会导致人产生头晕、恶心、呕吐等不良症状,严重的甚至会引起肝、肾等器官的损伤<sup>[5-7]</sup>。目前,GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中规定动植物油脂中不得添加香兰素,然而,不法商贩为了达到以次充好、以假乱真的目的,在油脂中违法添加香兰素。2021年,河北省某企业生产、销售伪劣芝麻香油一案引起了社会广泛关注,“香精油”事件让百姓对食用油的质量安全产生担忧,因此国家市场监督管理总局对部分油脂中的香精香料开展严格监测<sup>[8-10]</sup>。但也有研究表明,有些食品中存在内源性风味成分——香兰素,如芝麻油、大米其可能来源于农作物或加工过程<sup>[11-15]</sup>。

目前,针对植物油中香兰素的底水平及工艺调控的系统性研究仍较为有限。刘建国等<sup>[16]</sup>对油菜籽及菜籽油中香兰素、甲基香兰素和乙基香兰素含量进行了检测,明确了内源性香兰素的来源。研究表明,芝麻除自身含有少量香兰素外,经高温焙烤后芝麻皮中的木质素会降解产生大量香兰素,并迁移至芝麻香油中<sup>[17]</sup>。现有研究缺乏对国内外原料种植地、加工参数(如炒籽温度、炒籽时间)、加工工艺对菜籽油中香兰素含量影响的分析。因此,本文测定了不同种植地油菜不同生长部位中香兰素含量,探索了菜籽油加工过程中香兰素含量的变化,揭示加工过程对香兰素含量的影响,同时对市场上不同工艺的成品菜籽油中香兰素含量进行调查,以明

确不同加工工艺菜籽油中香兰素的底水平,为菜籽油含有内源性香兰素提供科学依据,为市场监管提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

油菜秸秆、果荚和部分油菜籽分别从重庆、湖北、江苏、江西、湖南、四川、云南、新疆、内蒙古取样;其他油菜籽分别从四川广元(1#、2#)、广东湛江(3#)、重庆江津(4#)、内蒙古海拉尔(5#)、湖北浠水(6#)、新疆伊犁(7#)、加拿大阿尔伯塔省(8#)、江苏海安(9#)、加拿大萨斯喀彻温省(10#)、湖南益阳(11#)、安徽巢湖(12#)、湖北咸宁(13#)、湖北黄州(14#)、安徽安庆(15#)、安徽芜湖(16#)、湖北仙桃(17#)、四川德阳(18#)、云南曲靖(19#)、江西湖口(20#)、江西彭泽(21#)取样;油菜籽、蒸炒料、预榨饼、菜籽油(包括原油、碱炼油、脱臭油、成品油),中粮油脂(荆门)有限公司(1#)、中粮油脂(黄冈)有限公司(2#);压榨法成品菜籽油样品58个,其中市场采购46个,企业采样10个,实验室自制2个;浸出法成品菜籽油样品26个,均为市场采购。香兰素标准品(纯度>99.9%),上海安谱科学仪器有限公司;甲醇、正己烷、乙腈、甲酸均为色谱纯,德国默克集团;氯化钠为化学纯,中国医药集团有限公司;实验用水为经超纯水器净化处理后的超纯水。

#### 1.1.2 仪器与设备

LC 30A 超高效液相色谱,日本岛津公司;4500三重四极杆质谱仪,美国 AB Sciex 公司;ME204 分析天平,梅特勒-托利多仪器有限公司;Milli-Q 超纯水器,美国 Millipore 公司;Allegra X-15R 冷冻离心机,美国贝克曼库尔特公司;SK8200LHC 超声波清洗器,上海科导超声仪器有限公司;VXMNAL 涡旋振荡器,奥豪斯仪器(常州)有限公司。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 香兰素含量的测定

采用高效液相色谱-质谱(HPLC-MS/MS)法测定样品中香兰素含量。

标准溶液的配制:准确称取20 mg 香兰素标准品(精确至0.1 mg)于10 mL容量瓶中,用甲醇溶解并定容,混匀,配制成2 000 mg/L的标准储备溶液,转移至棕色玻璃容器内,-18℃下避光保存。准确吸取1 mL标准储备溶液于10 mL容量瓶中,用甲醇定容,混匀,配制成200 mg/L的标准中间溶液。移取适量标准中间溶液于10 mL容量瓶中,用甲醇定容,混匀,配制成质量浓度分别为0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0 mg/L的标准工作溶液。

菜籽油预处理:称取1.00 g混匀后的菜籽油,加入5 mL水,涡旋振荡1 min,加入20 mL乙腈,涡旋振荡2 min,超声提取30 min后,加入3 g氯化钠,涡旋振荡30 s,加入3 mL正己烷,涡旋振荡1 min,5℃、4 000 r/min下离心10 min,取10 mL中间液至试管中,于40℃氮吹至近干,加入1 mL甲醇溶解残渣,用水定容至10 mL,使该样液以小于1 mL/min的流速通过C18固相萃取柱。样液全部流出后,用5 mL水淋洗,负压抽干,10 mL甲醇-水(体积比4:1)溶液洗脱,负压抽干,收集洗脱液,40℃氮吹至近干,准确加入1 mL甲醇-水(体积比4:1)溶液溶解残渣,过0.22 μm微孔滤膜后,待HPLC-MS/MS测定。以保留时间和特征离子定性,外标法定量。每个样品平行测定3次。

油菜秸秆、果荚和油菜籽预处理:取适量样品粉碎后,过0.600 mm(30目)筛,后续预处理过程同菜籽油。每个样品平行测定3次。

HPLC条件:Waters XBridge C18色谱柱(150 mm×2.1 mm,5.0 μm);流动相为0.1%甲酸水溶液(A)和甲醇(B);进样量2 μL;柱温30℃;流速0.3 mL/min;洗脱方式为梯度洗脱,梯度洗脱程序如表1所示。

表1 梯度洗脱程序

Table 1 Gradient elution program

时间/min	A/%	B/%
0	85	15
1.0	50	50
2.5	10	90
6.0	5	95
9.0	10	90

MS/MS条件:多反应监测(MRM)扫描,正离子

模式(ESI<sup>+</sup>),幕气压力0.24 MPa,雾化器压力0.34 MPa,辅助加热器压力0.38 MPa,离子喷射电压4 500 V,离子源温度450℃,碰撞气体为氮气。表2为香兰素的质谱条件和保留时间。

表2 香兰素的质谱条件和保留时间

Table 2 Mass spectrometry conditions and retention time of vanillin

质谱条件				保留时间/ min
前体离子 ( <i>m/z</i> )	产物离子 ( <i>m/z</i> )	去簇电压/ V	碰撞能量/ eV	
153.2	93.0 *	70	19	3.60
	124.9	70	14	

注:\*表示定量离子

Note: \* indicates quantitative ions

### 1.2.2 数据处理

采用SPSS Statistics 22软件对数据进行ANOVA差异显著性分析, $p < 0.05$ 表示差异显著。采用Origin 9.0软件进行数据分析及图表处理。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同种植地油菜秸秆、果荚及油菜籽中香兰素含量

不同种植地油菜秸秆、果荚及油菜籽中香兰素含量变化见图1。

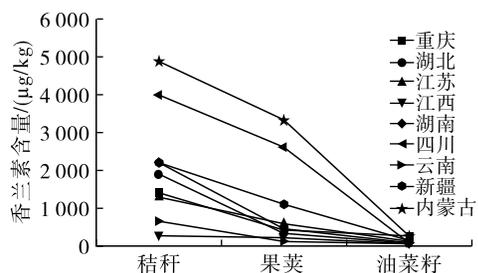


图1 不同种植地油菜秸秆、果荚及油菜籽中香兰素含量变化

Fig. 1 Changes in vanillin content in rape straw, rape fruit pods, and rapeseed from different origins

由图1可知,各种种植地油菜秸秆、果荚及油菜籽中均有香兰素检出,但由于各地气候(主要是温度、光照、降雨量)、成熟度、种植品种等不同,油菜各生长部位香兰素含量差异较大。油菜秸秆中香兰素含量范围为124.7~4 883.8 μg/kg,油菜果荚中香兰素含量范围为129.9~3 340.2 μg/kg,其中内蒙古种植油菜的秸秆和果荚中香兰素含量最高。油菜籽中香兰素含量范围为51.1~264.1 μg/kg。从油菜不同生长部位来看,油菜秸秆中香兰素含量最高,其次是果荚,油菜籽中香兰素含量最低。

另取不同产地油菜籽,进一步研究油菜籽中香兰素的含量,结果见图2。

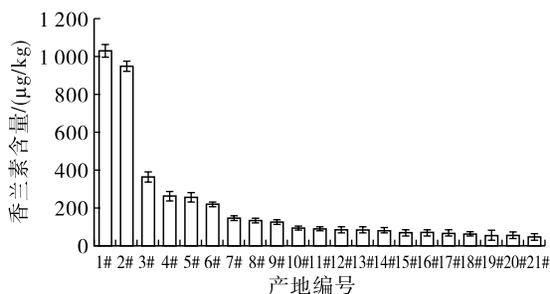


图2 不同产地油菜籽中香兰素含量

Fig. 2 Vanillin content in rapeseed from different origins

由图2可知,不同产地油菜籽(共21个样品)中香兰素含量范围为51.1~1 035.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,其中四川广元的2个油菜籽样品(1#、2#)中香兰素含量最高,但由于两者收获时间不一样,香兰素含量也有一定差异。大部产地油菜籽中香兰素含量在400  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 以下。

### 2.2 压榨法制取菜籽油各工序香兰素含量变化

考察压榨法制取菜籽油各工序香兰素含量变化,结果见图3。

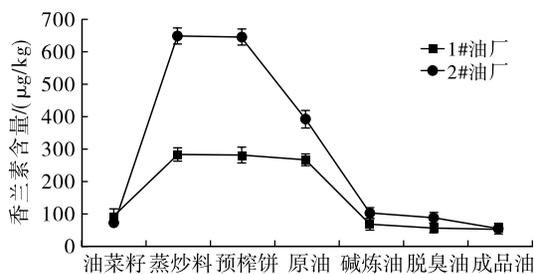
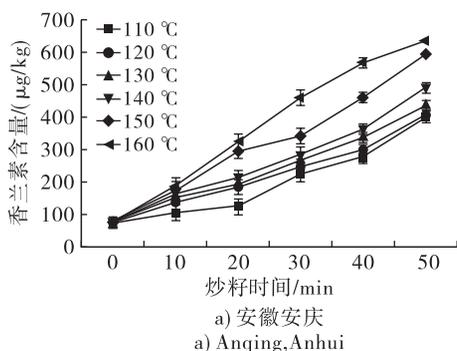


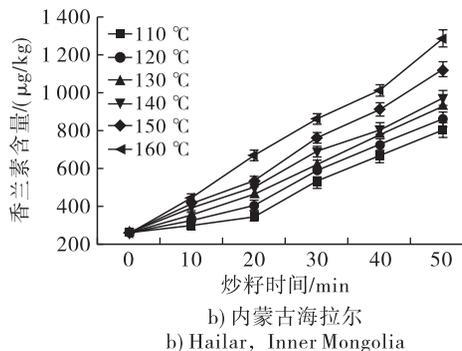
图3 菜籽油加工阶段香兰素含量变化

Fig. 3 Changes in vanillin content during rapeseed oil processing stage

从图3可以看出,1#和2#油厂的油菜籽原料均



a) Anqing, Anhui



b) Hailar, Inner Mongolia

图4 炒籽温度和炒籽时间对蒸炒料香兰素含量的影响

Fig. 4 Effect of frying temperature and frying time on vanillin content in cooked flakes

由图4可看出,在同一炒籽温度下,随着炒籽时间的延长,蒸炒料中香兰素含量逐渐升高。同一炒籽时间下,炒籽温度越高,香兰素含量越高。安徽安庆油菜籽原料中香兰素含量为74.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在110  $^{\circ}\text{C}$ 下炒籽20 min时蒸炒料中香兰素含量为124.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在160  $^{\circ}\text{C}$ 下炒籽20 min时达到324.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,是

含有香兰素,含量分别为91.8  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和73.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,油菜籽经过炒籽后形成的蒸炒料中香兰素含量大幅升高,分别达到283.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和648.8  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,这可能是油菜籽经过软化、压坯后,油料被破碎,在炒籽阶段促进了香兰素的生成和释放。蒸炒前,2个油菜籽样品中香兰素含量相差不大,蒸炒后,2#油厂的蒸炒料中香兰素含量是1#油厂蒸炒料的2.3倍,这可能是2#油厂蒸炒料在炒籽工序的设置温度(130  $^{\circ}\text{C}$ )比1#油厂蒸炒料(110  $^{\circ}\text{C}$ )高,蒸炒时间比1#油厂蒸炒料长10 min导致的。预榨饼中的香兰素含量与蒸炒料相差不大。经过碱炼后,菜籽油中香兰素含量相比原油大幅降低,这可能是因为碱炼过程中香兰素随着皂脚被分离出来。脱臭后,菜籽油中香兰素含量继续下降,这可能是因为香兰素等香味物质被蒸汽混合物携带出来。精炼后的2个成品菜籽油样品中香兰素含量均低于100  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。菜籽油加工阶段香兰素含量变化说明了香兰素来源于原料油菜籽及其加工过程,同时,精炼会降低菜籽油中香兰素的含量。

### 2.3 炒籽温度和炒籽时间对油菜籽香兰素含量的影响

2.2中研究发现蒸炒可使油菜籽中香兰素含量大幅升高,为进一步研究炒籽温度和炒籽时间对油菜籽中香兰素含量的影响,分别取5 kg安徽安庆和内蒙古海拉尔2个不同产地的油菜籽,调质原料水分含量为10%后,倒入已升温的炒籽机中,在110、120、130、140、150、160  $^{\circ}\text{C}$ 下炒籽50 min,每10 min取出一份油菜籽并迅速冷却,测定其香兰素含量。炒籽温度和炒籽时间对蒸炒料中香兰素含量的影响见图4。

110  $^{\circ}\text{C}$ 下的2.6倍,在160  $^{\circ}\text{C}$ 下炒籽50 min时蒸炒料中香兰素含量升高到636.1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ;内蒙古海拉尔油菜籽原料中香兰素含量为259.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在110  $^{\circ}\text{C}$ 下炒籽40 min时蒸炒料中香兰素含量为667.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,160  $^{\circ}\text{C}$ 下炒籽40 min时达到1 013.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,是110  $^{\circ}\text{C}$ 下的1.5倍,在160  $^{\circ}\text{C}$ 下炒籽50 min时蒸炒料中香兰素

含量升高到 1 284.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。综上,炒籽温度和炒籽时间对蒸炒料中香兰素含量的增长有正向作用,可能是炒籽过程中,在水分、温度和机械搅拌的联合作用下,细胞壁破裂,促使更多的香兰素生成和释放。

#### 2.4 不同工艺成品菜籽油中香兰素含量

对采集的 58 个压榨法成品菜籽油样品、26 个浸出法成品菜籽油样品中香兰素含量进行测定,结果见图 5。

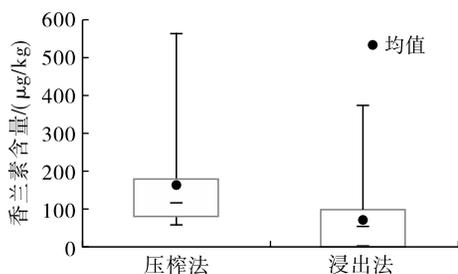


图 5 压榨法与浸出法成品菜籽油中香兰素含量差异

Fig. 5 Difference in vanillin content between pressed and leached rapeseed oil

从图 5 可以看出,压榨法成品菜籽油中香兰素含量范围为 55.0 ~ 560.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,浸出法成品菜籽油中香兰素含量范围为 0 ~ 370.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ (低于方法定量限 50  $\mu\text{g}/\text{kg}$  时按 0 计)。经过单因素方差分析,压榨法成品菜籽油中香兰素含量显著高于浸出法成品菜籽油( $p < 0.05$ )。这可能是由于压榨法是通过机械压榨的方式从油菜籽中提取油脂,后续的精炼程度较低,因此保留了更多的天然成分和风味物质。而浸出法则是利用有机溶剂将油菜籽中的油脂溶解出来,再通过加热和蒸发的方式去除溶剂,经过脱臭等多道精炼工序得到成品菜籽油,可能会损失部分风味物质,因此浸出法成品菜籽油中香兰素含量相对较低。

### 3 结论

不同种植地油菜秸秆中香兰素含量范围为 124.7 ~ 4 883.8  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,油菜果荚中香兰素含量范围为 129.9 ~ 3 340.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,油菜籽中香兰素含量范围为 51.1 ~ 1 035.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,其中四川广元油菜籽中香兰素含量最高。从油菜不同生长部位来看,油菜秸秆中香兰素含量最高,其次是果荚,油菜籽中香兰素含量最低。在压榨法制取菜籽油过程中,蒸炒后油菜籽中香兰素含量大幅增加,菜籽原油中的香兰素含量低于压榨饼中的,且随着精炼的进行,菜籽油中的香兰素含量逐渐降低。随着炒籽时间延长和炒籽温度升高,油菜籽中香兰素含量增加。压榨法成品菜籽油中香兰素含量范围为 55.0 ~ 560.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,浸出法成品菜籽油中香兰素含量范围为 0 ~ 370.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。综上,成品菜籽油中含有内源性香兰

素,主要来源于种植和加工阶段,其含量随着加工过程而变化。本研究结果明确了菜籽油中的香兰素来源,更加明晰了菜籽油中香兰素本底水平,为菜籽油的质量评价提供了理论数据。

#### 参考文献:

- [1] 张瑶, 吴邦富, 吕昕, 等. 油料作物中特异性脂类伴随物及其分析方法研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2021, 43(3): 530-541.
- [2] 周琦, 郑畅, 万楚筠, 等. 不同种植区域双低品种浓香菜籽油的呈香特征[J]. 食品科学, 2023, 44(22): 287-295.
- [3] 金瑚. 浓香菜籽油关键风味物质研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2023.
- [4] 张友峰. 浓香菜籽油的香气特征及其关键呈香物质的形成与变化机制[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2021.
- [5] 刘川, 林浩, 姚静, 等. 稳定同位素内标-高效液相色谱串联质谱法测定植物油中香兰素、甲基香兰素、乙基香兰素和乙基麦芽酚[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(9): 271-278.
- [6] 陈仁熙, 孙莹莹, 王玉晶, 等. 大米中内源性香兰素的研究[J]. 食品安全导刊, 2023(19): 76-78.
- [7] 魏宇, 胡文艳, 刘文, 等. 气相色谱-离子迁移谱法同时检测婴儿食品中 3 种香兰素类化合物[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(14): 219-226.
- [8] 徐彦辉. 固相萃取-液相色谱-串联质谱法测定植物油脂中香兰素[J]. 化学分析计量, 2022, 31(8): 22-25.
- [9] WANG M, LU Y, YANG Y, et al. Source identification of vanillin in sesame oil by HPLC-MS/MS[J/OL]. Food Contr, 2023, 143: 109283 [2024-04-15]. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109283>.
- [10] 徐幸, 彭飞进, 舒平, 等. 顶空固相微萃取-气质联用法测定奶茶中的香兰素和乙基香兰素[J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 79-83, 92.
- [11] 王梦颖, 杨永, 卢跃鹏, 等. 市售芝麻油中香兰素、甲基香兰素、乙基香兰素的含量水平研究[J]. 中国油料作物学报, 2023, 45(2): 413-418.
- [12] 孟庆顺, 卜媛媛, 陈长毅, 等. 气相色谱法快速测量米粉中香兰素和乙基香兰素含量[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(5): 90-95.
- [13] 阳曦, 冯锦聪, 王继刚, 等. 液相色谱-串联质谱法同时测定食用植物油中 5 种香料[J]. 中国油脂, 2023, 48(2): 103-107, 132.
- [14] 杨康, 尹琦, 张淋, 等. 香兰素检测技术研究进展[J]. 现代食品, 2023, 29(14): 47-51.
- [15] 薛亚珊. HPLC 法测定婴幼儿配方奶粉中香兰素含量的方法研究[J]. 中国食品, 2023(24): 154-156.
- [16] 刘建国, 张琪, 王盛宇, 等. 菜籽油中内源性香兰素的形成及含量研究[J]. 中国油脂, 2024, 49(11): 55-58.
- [17] 赵天培, 贺孟轲, 高会会, 等. 芝麻香油中内源性香兰素形成机制研究进展[J]. 中国油脂, 2024, 49(12): 35-43.