

亚麻籽油营养特性、感官评价及主要挥发性物质分析

谢亚萍^{1,2}, 张建平¹, 王利民¹, 党 照¹, 李闻娟¹, 齐燕妮¹,
赵 玮¹, 李 雯², 赵丽蓉², 任稳江³

(1. 甘肃省农业科学院 作物研究所, 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学 农学院, 兰州 730070;
3. 甘肃省会宁县农业技术推广中心, 甘肃 会宁 730799)

摘要:旨在为综合评价亚麻籽油提供参考,以不同产地的6份亚麻籽油为研究对象,对亚麻籽油的质量指标、营养特性(脂肪酸组成、生育酚含量)、感官评价(坚果味浓度)及挥发性物质进行分析。结果表明:亚麻籽油中 α -亚麻酸含量为48.91%~54.35%,总生育酚含量为50.7~78.5 mg/100 g,其中 α -生育酚含量最高;亚麻籽油坚果味分值在1.02~3.87之间;亚麻籽油主要挥发性物质有杂环类、醇类、醛类、腈类和酮类等化合物;亚麻籽油中坚果香味主要受挥发性物质中占比较大的杂环类化合物吡嗪类、呋喃类和吡咯类的影响。产地和加工工艺对亚麻籽油中 α -亚麻酸含量、生育酚含量、坚果味分值和主要挥发性物质种类及含量均有显著影响。

关键词:亚麻籽油;营养特性;感官评价;挥发性物质

中图分类号:TS225.1;TS201.4 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)07-0103-06

Analysis of nutrition property, sensory evaluation and major volatile components of flaxseed oil

XIE Yaping^{1,2}, ZHANG Jianping¹, WANG Limin¹, DANG Zhao¹,
LI Wenjuan¹, QI Yanni¹, ZHAO Wei¹, LI Wen²,
ZHAO Lirong², REN Wenjiang³

(1. Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;

2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 3. Agricultural

Technology Extension Center of Huining County in Gansu Province, Huining 730799, Gansu, China)

Abstract: In order to provide reference for comprehensive assessment of flaxseed oil, six flaxseed oil from different producing areas were used as materials, and the quality indexes, nutrition properties (fatty acid composition, tocopherol content), sensory evaluation (nutty flavor concentration), and volatile components of flaxseed oil were analyzed. The results showed that the α -linolenic acid content was between 48.91% and 54.35%, and the total tocopherol content ranged from 50.7 mg/100 g to 78.5 mg/100 g, of which the α -tocopherol content was the highest. The nutty flavor value of flaxseed oil was

1.02-3.87, and the major volatile components in flaxseed oil were heterocycles, alcohols, aldehydes, nitriles and ketones compounds. The nutty flavor of flaxseed oil was mainly influenced by pyrazines, furans and pyrroles of heterocyclic compounds accounting for a relative larger proportion of volatile components. In general, the producing areas and processing technology have significant effects on the α -linolenic acid content, tocopherol content, nutty flavor value, and the type and content of major volatile

收稿日期:2022-05-29;修回日期:2023-05-02

基金项目:甘肃省农业农村厅“甘肃省特色优势农产品评价—会宁胡麻油”(TYNPZ2020-21);甘肃省农科院农业科技创新项目(2021GAAS20,2019GAAS32,2020GAAS08);甘肃省重大专项(21ZD4NA022-02);国家特色油料产业技术体系(MOF和MARA)

作者简介:谢亚萍(1976),女,副研究员,硕士生导师,博士,主要从事胡麻高产高效栽培及油脂营养研究(E-mail)xiieyp2012@126.com。

通信作者:张建平,研究员,硕士生导师(E-mail)1400992920@qq.com。

components of flaxseed oil.

Key words: flaxseed oil; nutritional property; sensory evaluation; volatile components

胡麻,又称油用亚麻,是全世界重要的油料作物之一,在我国主要分布在西北和华北的甘肃、新疆、宁夏、内蒙古、山西和河北等省(自治区)的高原地区,有“高山上的深海鱼油”的美称^[1]。亚麻籽油,即胡麻油,是一种富含必需脂肪酸 α -亚麻酸的植物油,而 α -亚麻酸具有降低胆固醇、调节血脂、抗炎、抗癌、增强记忆力、延缓衰老及预防某些皮肤病等多种重要的生理功能^[2-3]。此外,亚麻籽油还含有丰富的生育酚和类胡萝卜素^[4]。因此,亚麻籽油是一种功能性保健食品。

油脂的脂肪酸组成以及有益脂质伴随物是评价食用油品质的重要指标,此外,油脂挥发性物质产生的气味也是消费者是否接受的重要因素之一。已有许多专家学者针对某一地域亚麻籽油挥发性物质进行研究。杨金娥等^[5]研究发现,产自张家口的热榨亚麻籽油中含有大量糠醛及以吡嗪、吡咯、吡啶为主的芳香杂环类化合物。魏长庆等^[6]研究表明,新疆亚麻籽油挥发性物质中醛类、杂环类和醇类物质相对含量较高。卢银洁等^[7]研究发现,山西胡麻油中挥发性物质有醛类、醇类、杂环类、酮类、烷烃类、酸类和酯类。Krist等^[8]分析了来自奥地利和德国的亚麻籽油,研究发现其主要挥发性成分为醇类、醛类和酸类。此外,吕虹霞^[9]研究了低温烘烤亚麻籽对亚麻籽油挥发性成分的影响,发现亚麻籽油的挥发性成分中醛类和醇类物质相对含量较高。

本文从不同产地亚麻籽油的质量指标、营养指标、感官评价(坚果味浓度)及挥发性成分等方面进行比较分析,以期对综合评价亚麻籽油提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

市面销售的来自甘肃、青海、宁夏和山西的当年产亚麻籽压榨的6个品牌亚麻籽油,其信息详见表1。

α -生育酚(纯度 $\geq 97.2\%$)、 β -生育酚(纯度 $\geq 96.4\%$)、 γ -生育酚(纯度 $\geq 99.4\%$)、 δ -生育酚标准品(纯度 $\geq 95.0\%$),北京三区生物技术有限公司;无水甲醇、无水乙醇,均为色谱纯,上海安谱实验科技股份有限公司;超纯水,实验室自制。

表1 亚麻籽油来源及类型

样品编号	品牌	名称	产地	生产日期	制取工艺
油样1	春泉	热榨胡麻油	甘肃	2020-08-13	压榨
油样2	香泰乐	热榨亚麻籽油	甘肃	2020-08-17	压榨
油样3	香泰乐	低温压榨亚麻籽油	甘肃	2020-07-17	压榨
油样4	清清油	青海土榨油	青海	2020-07-29	压榨
油样5	彭源香	胡麻油	宁夏	2020-10-08	压榨
油样6	康瑞鑫福	亚麻籽油	山西	2020-09-26	压榨

1.1.2 仪器与设备

GCMS-QP2020NX 气相色谱-质谱联用仪、GC-2014C 气相色谱仪(配有氢火焰离子化检测器),日本岛津公司;固相微萃取装置,50/30 μm 二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲硅氧烷(DVB/CAR/PDMS)萃取头,美国 Supelco 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 质量指标测定

色泽参照 GB/T 5009.37—2003 测定,透明度、气味、滋味参照 GB/T 5525—2008 测定,酸值参照 GB 5009.229—2016 测定,过氧化值参照 GB 5009.227—2016 测定。

1.2.2 脂肪酸组成测定

参照 GB 5009.168—2016 采用气相色谱法测定脂肪酸组成。

1.2.3 生育酚含量测定

参照 GB 5009.82—2016 测定生育酚含量。

1.2.4 坚果味浓度的感官评价

依据 GB/T 10221—2021《感官分析 术语》、GB/T 16291.1—2012《感官分析 选拔、培训与管理评价员 一般导则 第1部分:优选评价员》、GB/T 16291.2—2010《感官分析 选拔、培训和管理评价员 一般导则 第2部分:专家评价员》选择10名评价员,且为了获取消费者的认同信息,按评价员与普通消费者2:1的比例邀请5名普通消费者对亚麻籽油进行感官评价。10名评价员为一组,5名普通消费者为一组。对亚麻籽油坚果味的浓度从无到浓进行评分,对应分值为0(无)、1(非常淡)、2(淡)、3(中等)、4(浓)和5(非常浓),最终结果取15人的平均值。

1.2.5 挥发性物质含量测定

参考文献[10]采用固相微萃取-气相色谱-

质谱法测定挥发性成分组成和含量。

1.2.6 数据处理

采用 Excel 2010 软件对数据进行整理, SPSS 22.0 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 亚麻籽油质量指标

6 份亚麻籽油的主要质量指标如表 2 所示。由表 2 可见, 6 个亚麻籽油样品的酸值 (KOH) 介于

0.9~2.1 之间, 油样 5 的酸值 (KOH) 达到 GB/T 8235—2019 中一级亚麻籽油的规定 (≤ 1.0 mg/g), 其他 5 个油样的酸值 (KOH) 达到二级亚麻籽油规定 (≤ 3.0 mg/g)。6 个油样过氧化值介于 0.13~0.63 mmol/kg 之间, 其中油样 4 的过氧化值最高, 油样 1 的过氧化值最低, 但均达到 GB 2716—2018 中植物油过氧化值的规定 (≤ 9.85 mmol/kg)。

表 2 6 份亚麻籽油的主要质量指标

油样	色泽	气味、滋味	透明度	酸值(KOH)/(mg/g)	过氧化值/(mmol/kg)
油样 1	黄色	亚麻籽油固有的气味和滋味	透明	1.5	0.13
油样 2	黄色	亚麻籽油固有的气味和滋味	透明	1.5	0.41
油样 3	黄色	亚麻籽油固有的气味和滋味	透明	1.7	0.21
油样 4	黄色	亚麻籽油固有的气味和滋味	透明	1.6	0.63
油样 5	黄色	亚麻籽油固有的气味和滋味	透明	0.9	0.23
油样 6	黄色	亚麻籽油固有的气味和滋味	透明	2.1	0.15

2.2 亚麻籽油营养特性

2.2.1 脂肪酸组成

亚麻籽油的营养品质与其脂肪酸组成密切相关。6 份亚麻籽油的脂肪酸组成及含量如表 3 所示。由表 3 可知: 油样 2 的 α -亚麻酸含量比来自同一家公司的油样 3 的 α -亚麻酸含量低 1.15 百分点, 这可能与两种油样生产工艺不同有关, 油样 5 的 α -亚麻酸含量最高, 为 54.35%, 且与油样 2、油

样 3 和油样 6 之间差异不显著 ($p > 0.05$); 亚麻籽油中多不饱和脂肪酸含量在 64.90%~70.91% 之间, 且油样 2、油样 3、油样 5 和油样 6 之间差异不显著 ($p > 0.05$)。本研究结果显示, 同一企业同批次热榨亚麻籽油 α -亚麻酸含量比低温压榨亚麻籽油中的低, 这与糟帆等^[11] 研究结果一致, 亚麻籽油中 α -亚麻酸含量受原料品种、原料产地和加工工艺等多因素影响^[12]。

表 3 6 份亚麻籽油的脂肪酸组成及含量

样品	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	α -亚麻酸	多不饱和脂肪酸
油样 1	6.17a	4.67a	21.38b	16.34a	51.44b	67.78b
油样 2	5.70a	4.04a	19.12b	16.97a	52.94a	69.91a
油样 3	5.71a	4.55a	20.12b	15.24a	54.09a	69.33a
油样 4	5.62a	4.06a	25.43a	15.99a	48.91b	64.90c
油样 5	5.63a	4.28a	19.80b	15.94a	54.35a	70.29a
油样 6	5.71a	4.10a	18.82b	16.80a	54.11a	70.91a

注: 同列不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。下同

2.2.2 生育酚含量

6 份亚麻籽油中的生育酚含量如表 4 所示。由表 4 可知: 亚麻籽油中生育酚总量介于 50.7~78.5 mg/100 g 之间, 生育酚总量最高的是油样 6; 油样 6 中 α -生育酚和 γ -生育酚含量最高, 油样 1 和油样 2 中 β -生育酚的含量较高, 且二者差异不显著

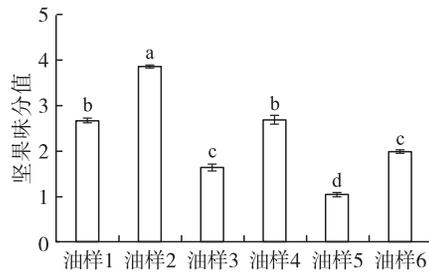
($p > 0.05$), 6 个油样中 δ -生育酚含量差异不显著 ($p > 0.05$); 4 种生育酚的含量由大到小依次为 α -生育酚 $>$ γ -生育酚 $>$ δ -生育酚 $>$ β -生育酚。另外, 本研究中 6 份亚麻籽油的生育酚含量因原料产地、加工工艺等因素影响存在一定差异, 这与周洋等^[13] 研究结果一致。

表 4 6 份亚麻籽油中生育酚含量

样品	α -生育酚	β -生育酚	γ -生育酚	δ -生育酚	合计
油样 1	20.3b	7.2a	15.7c	13.1a	56.3b
油样 2	20.8b	6.5a	15.5c	13.0a	55.8b
油样 3	19.4b	1.7c	18.8b	12.9a	52.8c
油样 4	21.2b	0.2d	18.6b	13.1a	53.1c
油样 5	19.6b	0.4d	18.4b	12.3a	50.7d
油样 6	35.9a	3.1b	25.4a	14.1a	78.5a

2.3 亚麻籽油的坚果味浓度感官评价

6份亚麻籽油坚果味评价结果如图1所示。



注:不同字母表示差异显著($p < 0.05$)

图1 6份亚麻籽油感官评价坚果味分值

由图1可知,油样2坚果味分值最高,达3.87,之后依次是油样4、油样1、油样6、油样3和油样5,坚果味分值分别为2.69、2.67、1.99、1.64和1.02。油样2和油样5的坚果味分值与其他油样间差异显著($p < 0.05$)。油样1与油样4之间,油样3与油样6之间的坚果味分值差异不显著($p > 0.05$)。油脂既为人类提供能量,也对改善或提高食品的色、香、味起着至关重要的作用。已有研究表明,亚麻籽产地、加工工艺和储存条件均影响亚麻籽油风味^[12],本研究结果也证明亚麻籽油风味与产地和加工工艺有关。

2.4 亚麻籽油主要挥发性物质

对6份亚麻籽油的主要挥发性成分进行分析,结果表明,油样1的挥发性成分有腈类、杂环类、烷烃类、酮类、醛类、酯类、醇类、烯炔类和酸类共9类76个组分,油样2的挥发性成分有杂环类、醛类、醇类、烷烃类、酮类、烯炔类、酯类、酚类、酸类和胺类共10类63个组分,油样3的挥发性成分有杂环类、醛类、醇类、烷烃类、酮类、烯炔类、酯类和腈类共9类68种组分,油样4的挥发性成分有醇类、醛类、杂环类、烷烃类、酮类、腈类、烯炔类、酯类和酸类共9类62个组分,油样5的挥发性成分有醛类、醇类、杂环类、烷烃类、酮类、烯炔类、酯类和酸类共8类62个组分,油样6的挥发性成分有腈类、杂环类、烯炔类、烷烃类、醛类、醇类、酯类、酮类、酸类、胺类、碱类和砜类共12类69个组分。6个油样中含量居前17的挥发性成分分别见表5~表10。

表5 油样1中含量居前17的挥发性成分

挥发性成分	含量/%
5-甲基戊腈	23.97
2-丁烯腈	7.87
2,3-二氢呋喃	4.65
1-戊烯-3-醇	3.09

续表5

挥发性成分	含量/%
己醛	2.97
4-甲基-2-吡啶啉-5-酮	2.86
D-酪氨酸叔丁酯	2.46
4,6-二甲基嘧啶	2.40
(S)-(+) -5-甲基-1-己醇	1.90
丁酸	1.85
醋酸	1.73
2,4-二甲基己烷	1.39
2-甲基吡嗪	1.09
5-乙基-4-甲基-3-庚酮	1.07
(+) -柠檬烯	1.00
2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	0.98
2-蒎烯	0.96

表6 油样2中含量居前17的挥发性成分

挥发性成分	含量/%
2-甲基吡嗪	7.95
5-甲基呋喃醛	6.37
3-糠醛	4.70
2-正丙基呋喃	4.63
4,6-二甲基嘧啶	4.24
3-呋喃甲醇	3.84
2-吡咯甲醛	3.50
2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	3.38
2-乙基-5-甲基吡嗪	2.67
2-乙基-6-甲基吡嗪	2.62
2,3,5-三甲基吡嗪	2.17
2-乙基吡嗪	1.53
3,5-辛二烯-2-酮	1.50
2-乙酰基吡咯	1.39
醋酸	1.38
1-(6-甲基-2-吡嗪基)乙酮	1.29
2,3-二甲基吡嗪	1.07

表7 油样3中含量居前17的挥发性成分

挥发性成分	含量/%
3,5-辛二烯-2-酮	11.92
醋酸	4.31
2-正丙基呋喃	3.84
丙酸	2.81
己醛	2.74
月桂烯	2.62
2,3-二氢呋喃	2.50
正己醇	2.45
反式-2-戊烯醇	2.43

续表 7

挥发性成分	含量/%
4,6-二甲基嘧啶	1.70
丁酸	1.42
氧杂环丁烷	1.40
3-甲基巴豆腈	1.26
己酸	1.14
2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	1.12
异戊醇	1.07
2-己烯醛	1.02

表 8 油样 4 中含量居前 17 的挥发性成分

挥发性成分	含量/%
正己醇	19.58
己醛	7.87
2,3-二氢呋喃	5.82
3,5-辛二烯-2-酮	2.76
2-甲基丁醇	2.72
1-戊醇	2.60
2-蒎烯	2.22
4-五烯-2-醇	2.02
(R)-(-)-2-丁醇	1.70
γ -丁内酯	1.63
环丁-1-烯基甲醇	1.61
己酸	1.54
氧杂环丁烷	1.42
醋酸	1.20
2-庚烯醛	1.11
正辛醇	1.05
十一烷	1.02

表 9 油样 5 中含量居前 17 的挥发性成分

挥发性成分	含量/%
正己醇	8.52
2-正丙基呋喃	7.59
2,3-二氢呋喃	6.80
3,5-辛二烯-2-酮	5.45
己醛	5.34
反式-2-戊烯醇	3.16
顺式-1,2-二甲基环丙烷	2.84
(Z,Z)-3,5-辛二烯	1.94
(E)-2-庚烯醛	1.66
壬醛	1.65
2,4-二甲基己烷	1.58
2-己烯醛	1.39
2-庚酮	1.32
1-五烯-3-醇	1.27
3-辛烯-2-酮	1.12
正辛醇	0.97
苯甲醛	0.94

表 10 油样 6 中含量居前 17 的挥发性成分

挥发性成分	含量/%
2-丁烯腈	25.21
(+)-柠檬烯	7.48
甲基丙烯腈	6.64
乙烯基乙酸	4.64
4,6-二甲基嘧啶	2.88
2-正丙基呋喃	2.09
2-甲基吡嗪	1.42
2,3-二氢呋喃	1.39
4-甲基-2-吡啶啉-5-酮	1.36
2-乙基-5-甲基吡嗪	1.28
巴豆酸	0.60
月桂烯	1.21
2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	1.13
γ -萜品烯	1.13
苯代丙腈	0.97
3,5-辛二烯-2-酮	0.95
2,3,5-三甲基吡嗪	0.87

由表 5~表 10 可知:油样 1 的前 17 种挥发性成分中,腈类化合物占比最大,其次是杂环类化合物;油样 2 的前 17 种挥发性成分中,杂环类化合物占比最大,以 2-甲基吡嗪、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、2-乙基-5-甲基吡嗪、2-乙基-6-甲基吡嗪和 2,3,5-三甲基吡嗪等吡嗪类化合物为主,其次是杂环醛类和杂环醇类化合物;油样 3 的前 17 种挥发性成分中,酮类化合物占比最大,其次是酸类和杂环类化合物;油样 4 的前 17 种挥发性成分中,醇类化合物占比最大,其次是醛类和杂环类化合物;油样 5 的前 17 种挥发性成分中,杂环类化合物占比最大,其次是醇类化合物;油样 6 的前 17 种挥发性成分中,腈类化合物占比最大,其次是杂环类和烯炔类化合物。

本试验将甘肃、青海、宁夏和山西 4 个不同产地亚麻籽油挥发性物质进行比较分析,结果表明,不同产地的亚麻籽油挥发性物质种类和相对含量差异显著。结合坚果味浓度感官评价,油样 1 和油样 6 中前 17 种挥发性成分都是腈类化合物占比最大,且油样 1 中含量最高的是 5-甲硫基戊腈(23.97%),油样 6 中含量最高的是 2-丁烯腈(25.21%)。马国财等^[14]研究指出,5-甲硫基戊腈是芜菁花 4 种香气成分之一,这可能是油样 1 比油样 6 坚果味分值高的原因之一,另外坚果味分值还与油样中腈类和杂环类化合物的种类、含量及其相互间的比例以及其他挥发性成分的组成和含量有关。油样 2 和油样 3 相比较,油样 2 的坚果味分值是油样 3 的 2.36

倍,油样 2 具有浓郁坚果香味,前 17 种挥发性成分中,油样 2 的杂环类化合物中吡嗪类化合物种类多、占比大,这与 Qian^[15]、Liu^[16] 等对具有烤坚果香味的热榨花生油挥发性物质研究结果一致。可见,坚果香味与杂环类中吡嗪类化合物密切相关。对坚果味分值最大的油样 2 和最小的油样 5 进行比较,油样 2 的坚果味分值是油样 5 的 3.79 倍,而油样 2 中占比较大的前 17 位挥发性物质中杂环类物质含量是油样 5 的 3.24 倍。可见,坚果味可能与杂环类物质的种类和含量有关,这需进行进一步深入相关研究。此外,本试验中 6 个油样挥发性物质含量占比与杨金娥^[5]、魏长庆^[6]、卢银洁^[7]、Krist^[8] 等对亚麻籽油中挥发性物质含量占比排序不完全一致,但挥发性物质种类基本一致。一方面与本试验中分析比较的是亚麻籽油占比较大的前 17 种挥发性物质,而文献分析比较的是亚麻籽油所有检测出的挥发性物质;另一方面与产地和制油工艺有关,这一点从前面几个学者专家在亚麻籽油及雷春妮等^[17] 在橄榄油挥发性成分的研究中得到印证。

3 结 论

对 6 份不同产地和制取工艺的亚麻籽油产品分析表明, α -亚麻酸含量在 48.91%~54.35% 之间,生育酚含量在 50.7~78.5 mg/100 g 之间,坚果味分值在 1.02~3.87 之间,主要挥发性物质有杂环类、醇类、醛类、腈类和酮类等化合物。亚麻籽油浓郁的香味与其杂环类化合物吡嗪类、呋喃类和吡咯类含量和种类密切相关。产地和加工工艺对亚麻籽油的 α -亚麻酸含量、生育酚含量、坚果味分值、挥发性物质种类及含量均有显著影响。

参考文献:

[1] 党占海. 胡麻产业现状及其发展对策[J]. 农产品加工, 2008, 32(7): 48-56.

[2] GOYAL A, SHARMA V, UPADHYAY N, et al. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine and modern functional food[J]. J Food Sci Technol, 2014, 51(9):1633-1653.

[3] SINGH K K, MRIDULA D, REHAL J, et al. Flaxseed: a potential source of food, feed and fiber[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2011, 51(3): 210-222.

[4] SURII K, SINGH B, KAUR A, et al. Influence of microwave roasting on chemical composition, oxidative stability and fatty acid composition of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil[J]. Food Chem, 2020, 326:126978-

126983.

[5] 杨金娥, 黄庆德, 周琦, 等. 冷榨和热榨亚麻籽油挥发性成分比较[J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(3): 321-325.

[6] 魏长庆, 周琦, 刘文玉. HS-SPME-GC-MS 分析新疆胡麻油挥发性成分的技术优化[J]. 食品科学, 2017, 38(14):151-157.

[7] 卢银洁, 狄建兵, 郝利平, 等. 热榨和冷榨胡麻油挥发性物质与关键风味物质组成的分析[J]. 中国油脂, 2017, 42(3): 44-47, 52.

[8] KRIST S, STUEBIGER G, BAIL S. Analysis of volatile compounds and triacylglycerol composition of fattyseed oil gained from flax and false flax[J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2006, 108: 48-60.

[9] 吕虹霞. 低温烘烤胡麻籽对胡麻油挥发性成分的影响[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(3): 94-98.

[10] 张岩, 纪俊敏, 侯利霞, 等. 不同热处理葵花籽方式对葵花籽油品质的影响[J]. 中国调味品, 2022, 47(5): 5-14.

[11] 糟帆, 丁彩云, 马玉婷, 等. 冷/热榨亚麻籽油品质及抗氧化活性研究[J/OL]. 中国油脂, 2021: 210479 [2022-05-29]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.210479>.

[12] 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.

[13] 周洋, 黄健花, 金青哲, 等. 不同产地冷榨亚麻籽油的脂质组成比较[J]. 中国油脂, 2018, 43(9):125-128.

[14] 马国财, 李雅雯, 王丽君, 等. 不同种质资源茺菁花菜香气成分的研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(11): 161-164.

[15] QIAN D, 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/OL]. LWT - Food Sci Technol, 2018, 112(12): 107648 [2022-05-29]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.084>.

[16] LIU X J, JIN Q Z, LIU Y F, 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: C404-C412.

[17] 雷春妮, 张雅琦, 李经纬, 等. 不同品种与加工工艺对初榨橄榄油挥发性风味成分的影响[J]. 中国油脂, 2019, 43(10): 35-41.