

胡麻油溶剂残留量测定方法优化

师新彩¹ 周 芹¹ 乌日古嘎¹ 李艺凡¹ 艾吉木²

(1. 乌兰察布市检验检测中心, 内蒙古 乌兰察布 012000;
2. 乌兰察布市农畜产品质量安全中心, 内蒙古 乌兰察布 012000)

摘要: [目的] 优化胡麻油溶剂残留量测定方法。[方法] 使用顶空气相色谱法, 采用含 6% 氰丙基—苯基的甲基聚硅氧烷毛细管柱分离测试胡麻油样品。[结果] 六号溶剂的线性相关系数为 0.999 9, 平均加标回收率为 91.0%~102.3%。胡麻油原干扰峰不在六号溶剂目标峰时间段出峰, 其他常见植物油也无峰面积较大的干扰峰。[结论] 气相色谱条件可用于常见植物油溶剂残留量的测定。

关键词: 胡麻油; 溶剂残留量; 方法优化; 顶空气相色谱法 (HS-GC); 气相色谱—质谱法 (GC-MS)

Determination method optimization for residual solvent in flaxseed oil

SHI Xincal¹ ZHOU Qin¹ Wuriguga¹ LI Yifan¹ Aijimu²

(1. Ulanqab Inspection and Testing Center, Ulanqab, Inner Mongolia 012000, China; 2. Ulanqab Agricultural and Livestock Product Quality and Safety Center, Ulanqab, Inner Mongolia 012000, China)

Abstract: [Objective] To optimize the determination method for residual solvent in flaxseed oil. [Methods] Test flaxseed oil samples are separated using a methyl polysiloxane capillary column containing 6% cyanopropyl-phenyl by headspace gas chromatograph (HS-GC). [Results] The linear correlation coefficient of solvent No. 6 is 0.999 9, and the average spiked recovery rate is 91.0% to 102.3%. The original interference peak of flaxseed oil does not appear within the time range of the target peak of solvent No. 6. Additionally, other common vegetable oils do not have interference peaks with large peak areas. [Conclusion] HS-GC can be used to determine the residual solvent in common vegetable oils.

Keywords: flaxseed oil; residual solvent; method optimization; headspace gas chromatography (HS-GC); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

亚麻 (通称) 为亚麻科亚麻属一年生草本, 全国各地皆有栽培, 但以北方和西南地区较为普遍^[1]。亚麻籽含油量高, 亚麻籽油 (胡麻油) 的 α -亚麻酸 ($C_{18:3}$) 含量高达 45.0%~70.0%^[2], 补充富含 α -亚麻酸的亚麻籽油可以提高健康老年人的语言流畅性^[3]。最新研究表明, 由于亚麻籽油具有抗氧化和抗炎特性, 因此可以有效减轻肝损伤并促进脂质代谢^[4], 有望作为非酒精性脂肪肝的治疗干预措施^[5], 可以减轻肝^[6]、肾毒性^[7], 重塑肠道稳态^[8]等。吴爽等^[9]研究表明, 日粮中添加亚麻籽油, 能够增加滩羊羊肉中氨基酸和脂肪酸含量, 提高羊肉品质。 α -亚麻酸也可用于制备脂质体^[10]。

目前, 常见的亚麻籽油提取方法主要有压榨法 (冷榨法和热榨法)、溶剂提取法和超临界 CO_2 萃取法等^[11]。在当地, 亚麻籽经冷榨工艺制得的油一般标注为亚麻籽油, 颜色为浅黄色至黄色, 热榨法的一般标注为胡麻油, 颜色较深, 一般为橙黄色至棕红色。亚麻籽油中共鉴定出 48 种挥发性化合物^[12]。胡麻油具有特殊的浓香味, 具有保健功能, 深受当地人们喜爱, 一些特色面食中通常会加入胡麻油。畜禽水产饲料中添加亚麻籽油可用于补充 ω -3 多不饱和脂肪酸。近 10 年, 中国食用植物油质量安全问题的主要风险因素为酸价、过氧化值、苯并 (a) 芘、溶剂残留量等超标^[13-14]。国内浸出油的生产多以六号溶剂油

通信作者: 师新彩 (1993—), 女, 乌兰察布市检验检测中心工程师, 硕士。E-mail: 1023110239@qq.com

收稿日期: 2025-05-26 改回日期: 2025-11-21

引用格式: 师新彩, 周芹, 乌日古嘎, 等. 胡麻油溶剂残留量测定方法优化[J]. 食品与机械, 2026, 42(4): 75-80.

Citation: SHI Xincal, ZHOU Qin, Wuriguga, et al. Determination method optimization for residual solvent in flaxseed oil[J]. Food & Machinery, 2026, 42(4): 75-80.

为萃取剂,六号溶剂以 $C_6 \sim C_8$ 烷烃类化合物为主要成分,尚含少量芳烃,长期接触会麻醉呼吸中枢,造成身体损害^[15]。GB 2716—2018 中规定食用植物油溶剂残留量 $\leq 20 \text{ mg/kg}$,压榨油溶剂残留量不得检出(检出值 $< 10 \text{ mg/kg}$ 时视为未检出)。加强对溶剂残留量的监控,有利于促进食用植物油加工环节的工艺控制,切实提高产品的安全品质^[15]。

GB/T 5009.37—2003 未给出六号溶剂的成分,该方法的测定误差主要来源于六号溶剂的内在组成,其内在组成受原料、生产工艺等因素影响,导致标准溶液的色谱响应差异较大^[15];GB 5009.262—2016 附录 A 给出了六号溶剂标准的气相色谱图,明确了六号溶剂的组分:2-甲基戊烷、3-甲基戊烷、正己烷、甲基环戊烷、环己烷和 2,3-二甲基戊烷,2025 年 5 月 22 日国标进行了勘误,将附图 A.1 说明 6 的 2,3-二甲基戊烷修改为 3-甲基己烷。修订后色谱参考条件将不锈钢色谱柱更换为含 5% 苯基的甲基聚硅氧烷的毛细管柱($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm}, 0.25 \mu\text{m}$),在实际检测中发现使用国标条件测定结果非常好,峰形尖,低浓度标准品出峰明显,但测定胡麻油时发现,第 5 号峰(环己烷)处有一个非常明显的干扰峰,极易错识别为环己烷,植物油浸提溶剂中正己烷含量最高^[16],无正己烷峰或者峰面积较小,明显存在问题,但气相色谱法仅以保留时间定性,有可能造成误判,影响定量。压榨油未使用浸提溶剂,检测出现假阳性可能与非烷烃类溶剂有关^[17],也可能为植物油受热生成的烷烃类物质^[18],或者是机械塑料部件因受热后逸出的成分^[19],非植物油抽提溶剂(六号溶剂)含量超标。生产过程中干燥环节温度偏高也可能造成溶剂残留的检出^[20],但不排除造假的可能,如浸出油冒充压榨油,将胡麻饼浸提再勾兑,或者是掺假。目前纳米比色传感技术可应用于检测食用油的种类^[21]。

亚麻是马铃薯茬效益较好的作物之一。溶剂残留量是一项重要的植物油食品安全理化指标,也是植物油主要的不合格项之一。目前,有关亚麻籽油(胡麻油)的研究主要集中在保健功能、品质提升、饲料应用、风味物质等方面,有关溶剂残留量测定中胡麻油本底存在干扰的情况尚未见报道。试验拟采用气相色谱—质谱联用仪(GC-MS)对胡麻油干扰峰进行谱库识别,对不同极性色谱柱进行筛选,以期优化植物油溶剂残留量测定的色谱条件,供检验检测人员参考,同时也为国标修订提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

基体胡麻油:溶剂残留量低于检出限(使用前在室温下经超声波脱气),市售;

胡麻油、花生油、芝麻油、葵花油、玉米油、橄榄油、大豆油:压榨植物油,市售;

玉米调和油:市售;

正庚烷:纯度 $\geq 99.0\%$,上海安谱实验科技股份有限公司;

N,N-二甲基乙酰胺:纯度 $\geq 99.8\%$,上海麦克林生化科技股份有限公司;

正己烷、环己烷:福晨(天津)化学试剂有限公司;

甲基环戊烷、2-甲基戊烷、2,3-二甲基戊烷、3-甲基戊烷:纯度 99%,上海易恩化学技术有限公司;

六号溶剂标准品:国家粮食和物资储备局科学研究院。

1.2 仪器与设备

气相色谱仪:TRACE 1300 型,配有顶空进样器、FID 氢火焰离子化检测器和 Chromeleon 7.2.10 色谱工作站,美国赛默飞公司;

气质联用仪:GCMS-QP 2010 型,配有 Lab Solution 色谱工作站,日本岛津公司;

DB-1301 毛细色谱柱($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm}, 0.25 \mu\text{m}$)、DB-17 毛细色谱柱($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm}, 0.25 \mu\text{m}$)、HP-5 毛细色谱柱($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm}, 0.25 \mu\text{m}$)、DB-5MS 毛细色谱柱($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm}, 0.25 \mu\text{m}$):美国 Agilent J&W 公司;

InertCap-WAX 毛细色谱柱: $30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm}, 0.25 \mu\text{m}$,日本 GL Sciences 公司。

1.3 方法

1.3.1 气相色谱条件 参照 GB 5009.262—2016。色谱柱为 DB-1301 毛细色谱柱($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm}, 0.25 \mu\text{m}$);升温程序:40℃保持 5 min,以 1℃/min 升至 45℃,以 30℃/min 升至 200℃,保持 3 min;载气(N_2)流速 0.8 mL/min,进样量 500 μL ;分流比 50:1,进样口温度 250℃,检测器温度 300℃。

1.3.2 GC-MS 条件 色谱柱为 DB-5MS 毛细色谱柱($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm}, 0.25 \mu\text{m}$)。升温程序:50℃保持 3 min,以 1℃/min 升至 52℃。载气(He)流速 1.0 mL/min,进样量 500 μL ;不分流进样;进样口温度 250℃。质谱条件:电子轰击离子源(EI 源);离子源温度 250℃,接口温度 270℃,溶剂延迟时间 0.51 min,Scan 质量扫描范围 m/z 35~550。

1.4 数据处理与统计分析

由气相色谱工作站根据内标法自动计算出溶剂残留量,加标回收试验选取 10, 20, 100 mg/kg 3 个加标浓度,每一浓度进行 6 次平行独立试验,使用 Excel 软件计算平均加标回收率及相对标准偏差(RSD);使用 NIST14.lib 谱库进行相似度检索。

2 结果与分析

2.1 测定方法优化

试验发现,弱极性色谱柱相较于中等极性、强极性色谱柱更适合溶剂残留量的测定。由图1可知,使用中等极性色谱柱DB-17测定溶剂残留量,在目标峰时间段(3.5~

5.1 min),胡麻油无干扰物质,各组分峰均可以分开,但与HP-5相比峰形较宽,峰高较低,不理想,且橄榄油在3.6 min处有峰面积较大的干扰峰,无法用于橄榄油的溶剂残留量测定。使用强极性色谱柱InertCap-WAX测定溶剂残留量,各组分峰难以分开,不适合溶剂残留量测定。

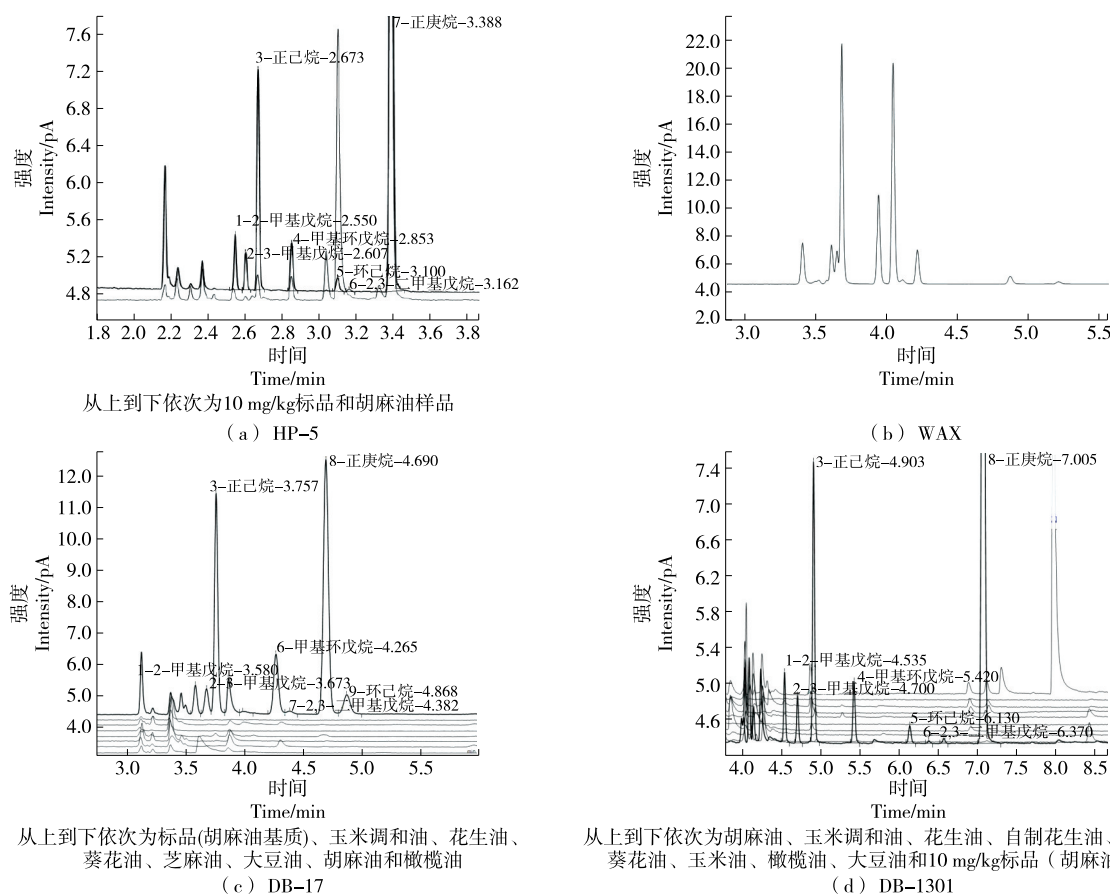


图1 六号溶剂气相色谱图
Figure 1 Gas chromatogram of solvent No.6

使用弱极性色谱柱DB-1301测定溶剂残留量,各组分峰均能较好分开,峰形瘦高,第1个有效标曲浓度点10 mg/kg出峰明显且线性良好。由表1和图2可知,六号溶剂在0~200 mg/kg线性范围内回归方程为 $y=0.0182x-0.0125$,相关系数为0.99995。由表2可知,加标回收率及精密度结果理想,10 mg/kg加标浓度下平均加标回收率为102.3%,RSD为2.66%,20 mg/kg加标浓度下平均加标回收率为96.3%,RSD为0.80%,100 mg/kg加标浓度下平均加标回收率为91.0%,RSD为1.05%。以信噪比为3:1检测方法的检出限,为1.46 mg/kg。测定结果显示,10 mg/kg浓度的测定结果的正确度和精密度均满足要求,定量限为10 mg/kg。胡麻油原干扰峰在8 min左右出峰,未在六号溶剂目标峰时间段4.4~7.4 min,较理想,解

表1 六号溶剂的线性回归方程、相关系数、检出限及定量限

Table 1 Linear regression equation, correlation coefficient, detection limit, and quantification limit of solvent No.6

名称	线性方程	相关系数	检出限/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	定量限/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
六号溶剂	$y=0.0182x-0.0125$	0.99995	1.46	10
2-甲基戊烷	$y=0.0859x-0.3792$	0.99970	0.06	
3-甲基戊烷	$y=0.0604x-0.1941$	0.99965	0.09	
正己烷	$y=0.3741x-1.8697$	0.99962	0.02	
甲基环戊烷	$y=0.0895x-0.1311$	0.99957	0.07	
环己烷	$y=0.0303x-0.2227$	0.99966	0.24	
3-甲基己烷	$y=0.0033x-0.0751$	0.99753	1.46	

表 2 样品加标回收率及精密度
Table 2 Sample spiked recovery rate and precision

加标含量/ (mg·kg ⁻¹)	实测含量/(mg·kg ⁻¹)					平均值/ (mg·kg ⁻¹)	平均回 收率/%	相对标准 偏差/%	
	1	2	3	4	5				
10	10.082 5	10.118 0	9.906 5	10.447 9	10.653 5	10.155 9	10.23	102.3	2.66
20	19.217 3	19.355 2	19.284 2	19.087 7	19.150 1	19.519 6	19.27	96.3	0.80
100	90.978 9	90.084 7	90.477 7	90.964 0	92.775 7	90.485 2	90.96	91.0	1.05

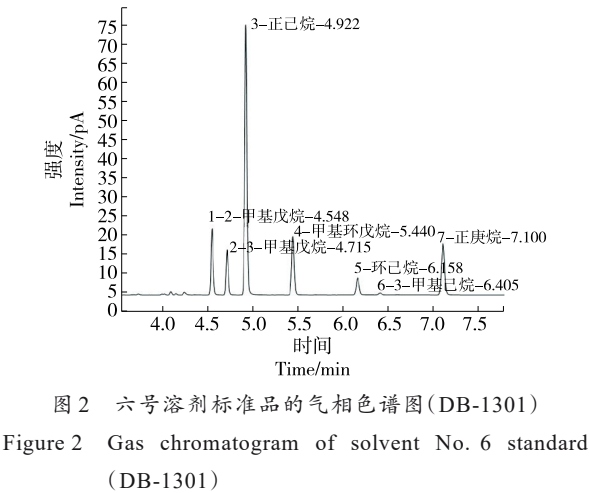


图 2 六号溶剂标准品的气相色谱图(DB-1301)
Figure 2 Gas chromatogram of solvent No. 6 standard (DB-1301)

决了由检测技术的局限性带来的误判问题。测试大豆油、橄榄油、玉米油、葵花油、芝麻油、花生油均无面积较大的干扰峰,试验提供的气相色谱条件可用于常见植物油溶剂残留量的测定。

由图 3 可知,在顶空气相系统进行 DB-1301 色谱柱单标定,2,3-二甲基戊烷出峰时间与标准品第 6 号峰出峰时间不同,测定结果不支持标准品中第 6 号峰为 2,3-二甲基戊烷。由图 4 可知,标准品前 5 个峰与国标附录 A 附图标注名称一致,但第 6 号峰匹配度最高的为 3-甲基己烷,相似度为 93,分子式为 C₇H₁₆,不是 2,3-二甲基戊烷。筛选“六号溶剂”标准品时,使用国标程序,气相色谱图谱显示另一厂家的标准品第 5、6 号峰不能完全分离,与附录 A 附图不同,弃之;更换厂家,色谱图与附图无异,第 5、6 号峰可以完全分离。市面上至少存在两种“六号溶剂”标准品,若第 6 号峰为 2,3-二甲基戊烷,理论上是更难分离的,怀疑国标将第 6 号峰标注错误,这可能是存在多种标准品的原因之一。2025 年 5 月 22 日国标进行了勘误,将第 6 号峰标注修改为 3-甲基己烷,与试验测试结果相同。“六号溶剂”成分复杂,2,3-二甲基戊烷和 3-甲基己烷均为已报道过的六号溶剂成分,标准勘误明确了“六号溶剂”需要检测的具体成分,可以进一步统一标准品生产市场。将初始温度由国标的 50 ℃ 降至 40 ℃,载气流速由 1.0 mL/min 降至 0.8 mL/min,使用试验气相色谱条件可以实现环己烷和 2,3-二甲基戊烷的分离。

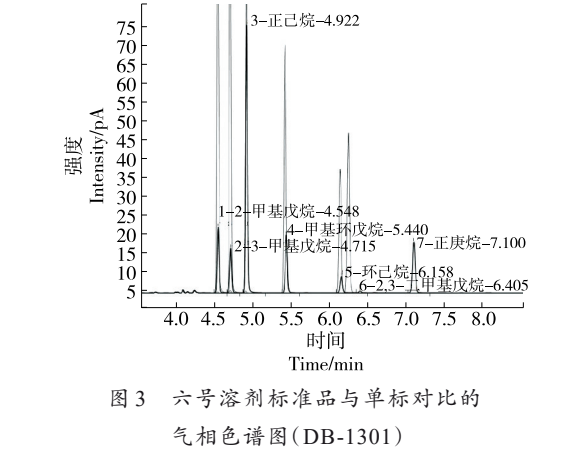


图 3 六号溶剂标准品与单标对比的气相色谱图(DB-1301)
Figure 3 Gas chromatogram of solvent No. 6 standard compared with single standard (DB-1301)

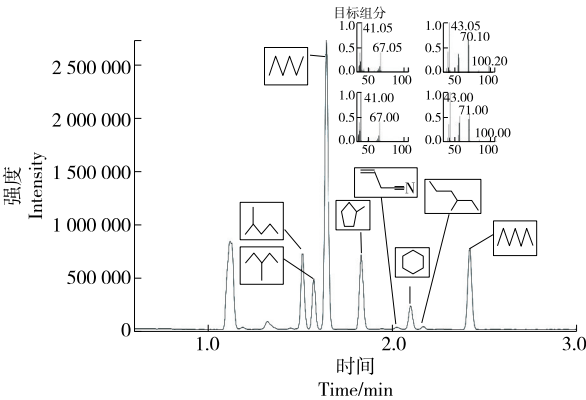


图 4 六号溶剂标准品 TIC 图(胡麻油基质)
Figure 4 TIC diagram of solvent No. 6 standard (flaxseed oil matrix)

GB 2716—2018 规定,六号溶剂<10 mg/kg 均可视为未检出,压榨油不得检出,植物油本身含有挥发性物质,因此没有面积较大的干扰物质是方法优化最先考虑的。气相系统各组分无法完全分开,但气质系统能分开,检测器类型的不同是主要影响因素,有可能造成误判,而且干扰峰面积较大可能影响定量,更换色谱柱是最快速的优化方法。同时,若检出 3 种(含六号溶剂)特征性成分且总含量<0.5 mg/kg 的样品可判定为压榨植物油^[19]。目前,植物油浸出溶剂以正己烷为主要成分,若正己烷峰面积

比例明显不对,则可能存在本底影响。

2.2 干扰成分的鉴定与分析

如图4所示,气相色谱—质谱仪使用DB-5MS毛细色谱柱进行检测,图谱结果显示与气相系统不同,干扰物质(2.0 min)和第5号峰(环己烷 2.1 min)可以分离,使用NIST14.lib进行相似度检索,匹配度最高的为3-丁烯腈,相似度为93,分子式为 C_4H_5N 。如图5所示,样品干扰物质前一个峰(1.9 min)匹配度最高的为2-丁烯腈,相似度为95,分子式为 C_4H_5N 。腈类物质是在油脂风味中少见的一种挥发性物质,这两种腈类物质的出现极有可能是热榨工艺所致。衡新蕊^[22]分析了冷、热榨亚麻籽油的香气物质,仅在热榨油中检出腈类物质,其中3-丁烯腈具有刺鼻的青草味;张丽涵^[23]在小作坊生产的热榨油中检出2-丁烯腈;杨金娥等^[24]仅在经140℃烤籽处理后的油中检出2-丁烯腈和3-丁烯腈两种腈类物质,并认为是由亚麻籽中毒性化合物生氰糖苷分解产生的,推测140℃热处理后生氰糖苷会分解。生氰糖苷在人体内会水解生成氢氰酸(HCN),从而导致细胞缺氧型中毒。热脱毒法是亚麻籽常见的脱毒方式,常用煮沸、热烘等预处理方式进行脱毒^[25]。亚麻品种对亚麻籽内的生物活性物质有一定的影响^[26],品种也可能是油中腈类物质含量的影响因素。

除胡麻油外的6种油均无腈类物质(图1),该物质可能是胡麻油的特征成分,残留量极大可能取决于提纯工艺以及炒籽环节的温度控制,后续将针对该组分进一步研究明确关键的工艺控制点,并结合风味物质探究胡麻油“浓香”的原因。

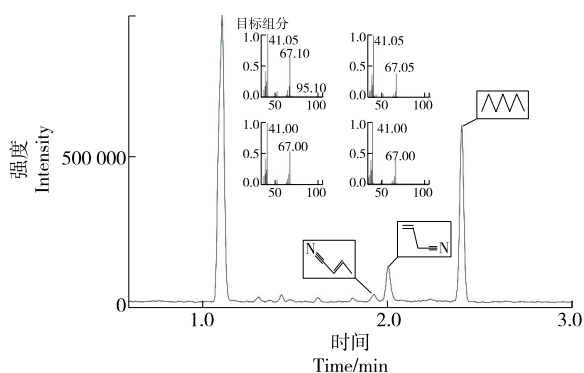


图5 胡麻油样品 TIC 图

Figure 5 TIC diagram of flaxseed oil sample

3 结论

对胡麻油溶剂残留量测定方法进行了优化。结果表明,优化方法简便易行,胡麻油样品的原干扰峰在8 min左右出峰,未在六号溶剂目标峰时间段4.4~7.4 min,解决了由检测技术的局限性带来的误判问题,其他常见植物油也无峰面积较大的干扰峰,试验的气相色谱条件可用

于常见植物油溶剂残留量的测定。干扰成分经鉴定为腈类物质,后续可针对该组分进一步明确关键的工艺控制点,以期提供工艺的改进方向,解决“假阳性”的问题。

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 43卷: 1分册[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 102.
- [2] Editorial Committee of Flora of Chinese Academy of Sciences. Flora of China: volume 43: volume1[M]. Beijing: Science Press, 1998: 102.
- [3] 全国粮油标准化技术委员会. 亚麻籽油: GB/T 8235—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019: 2.
- [4] Grains and Oils. Flaxseed oil: GB/T 8235—2019[S]. Beijing: Standards Press of China, 2019: 2.
- [5] OGAWA T, SAWANE K, OOKOSHI K, et al. Supplementation with flaxseed oil rich in alpha-linolenic acid improves verbal fluency in healthy older adults[J]. Nutrients, 2023, 15(6): 1499.
- [6] KHAN W A, INAM-UR-RAHEEM M, RASHEED H, et al. Comparative effect of olive oil and flaxseed oil on drug induced hepatotoxicity in rats[J]. Food Science & Nutrition, 2024, 12(11): 9673-9681.
- [7] NAMDAR A B, OMIDVAR D, AMERIZADEH F, et al. The efficacy of flaxseed oil on non-alcoholic fatty liver disease: a randomised controlled trial[J]. Journal of Herbal Medicine, 2024, 48: 100967.
- [8] REN J Y, ZUO J S, YIN B W, et al. Flaxseed oil alleviates PFOS-induced liver injury by regulating hepatic cholesterol metabolism[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2024, 72(42): 23465-23477.
- [9] FAROKHI N, RANJBAR A, MEHRI F, et al. The novel nephroprotective activity of flaxseed oil on diazinon-induced kidney damage in male rats[J]. Cell Biochemistry and Biophysics, 2025, 83(1): 837-843.
- [10] LIU J, LI Y W, SHEN W K, et al. Dietary supplementation of alpha-linolenic acid-rich flaxseed oil enhances anti-PD-1 protection against orthotopic hepatocellular carcinoma by reshaping gut homeostasis and improving anti-tumor immunity via gut-liver axis in mice[J]. Journal of Functional Foods, 2024, 116: 106157.
- [11] 吴爽, 王倩, 杨冲, 等. 多不饱和脂肪酸对滩羊屠宰性能、氨基酸和脂肪酸含量的影响[J]. 饲料工业, 2024, 45(20): 55-62.
- [12] WU S, WANG Q, YANG C, et al. Effects of polyunsaturated fatty acids on slaughter performance, amino acid and fatty acid content of Tan sheep[J]. Feed Industry, 2024, 45(20): 55-62.
- [13] 刘彦君, 潘丽, 常振刚, 等. 植物甾醇α-亚麻酸酯的制备及在负载虾青素脂质体中的应用[J]. 食品与机械, 2022, 38(12): 133-138, 144.
- [14] LIU Y J, PAN L, CHANG Z G, et al. Preparation of phytosterol α-linolenic acid ester and its application in astaxanthin-loaded liposomes[J]. Food & Machinery, 2022, 38

- (12): 133-138, 144.
- [11] 卢银洁. 胡麻油贮存品质的研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2017: 1-43.
- LU Y J. Research on storage quality of flaxseed oil[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2017: 1-43.
- [12] YUAN B H, ZHENG C, YUE Y, et al. Identification of potential aroma indicators in light and strong intensity flaxseed oil by molecular sensory science technology[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2025, 140: 107189.
- [13] 杨朝慧, 吴炜亮, 张朵, 等. 2015—2020 年我国食用植物油质量安全风险因素分析[J]. 中国油脂, 2021, 46(12): 69-78.
- YANG Z H, WU W L, ZHANG D, et al. Quality and safety risk factors of edible vegetable oil in China from 2015 to 2020 [J]. China Oils and Fats, 2021, 46(12): 69-78.
- [14] 唐寅, 符冰, 薛晓明, 等. 2019—2023 年食用油、油脂及其制品国家食品安全监督抽检结果分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(10): 278-284.
- TANG Y, FU B, XUE X M, et al. Analysis of national food safety supervision sampling results of edible oils, fats and their products from 2019 to 2023[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(10): 278-284.
- [15] 汪海峰, 鞠兴荣, 杨晓蓉, 等. 食用植物油中残留溶剂的高温顶空气相色谱分离与测定[J]. 食品科学, 2006, 27(2): 235-238.
- WANG H F, JU X R, YANG X R, et al. Isolation and determination of residual solvents in edible vegetable oils by high temperature headspace gas chromatography[J]. Food Science, 2006, 27(2): 235-238.
- [16] 王乐华. 食用植物油浸出溶剂评价及溶剂残留检测方法研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2013: 1-10.
- WANG L H. Study on detection method of evaluation of edible vegetable oil extraction solvent and solvent residue[D]. Suzhou: Soochow University, 2013: 1-10.
- [17] 金俊, 张友峰, 陈金平, 等. 几种常见食用植物油溶剂残留量检测和残留溶剂组分分析[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(12): 75-78.
- JIN J, ZHANG Y F, CHEN J P, et al. Detection and analysis of residue of solvent in common edible vegetable oils[J]. Cereals & Oils, 2016, 29(12): 75-78.
- [18] 陈同强, 李灿, 邓鸣, 等. 压榨植物油溶剂残留量超标问题研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(10): 104-106, 111.
- CHEN T Q, LI C, DENG M, et al. Excessively residual solvent in pressed vegetable oil[J]. China Oils and Fats, 2018, 43(10): 104-106, 111.
- [19] 杨柳, 周侃侃, 尚素微, 等. 顶空—气质联用法鉴别压榨植物油和浸出植物油[J]. 中国油脂, 2023, 48(9): 138-143.
- YANG L, ZHOU K K, SHANG S W, et al. Identification of pressed vegetable oil and extracted vegetable oil by headspace-gas chromatography-mass spectrometry[J]. China Oils and Fats, 2023, 48(9): 138-143.
- [20] 张凤梅, 郭晓霖. 压榨食用植物油溶剂残留量超标分析[J]. 农产品加工(创新版), 2011(12): 73-74.
- ZHANG F M, GUO X L. Analysis of exceeded residual solvent about squeezing edible vegetable oils[J]. Farm Products Processing, 2011(12): 73-74.
- [21] 黄杏, 李大鹏, 文韬, 等. 纳米比色传感技术检测食用油的种类[J]. 食品与机械, 2025, 41(7): 46-50.
- HUANG X, LI D P, WEN T, et al. Detection of edible oil types based on nanocolorimetric sensor technology[J]. Food & Machinery, 2025, 41(7): 46-50.
- [22] 衡新蕊. 亚麻籽油的特征风味物质分析[D]. 天津: 天津科技大学, 2023: 9-55.
- HENG X R. Analysis of characteristic flavor compounds in flaxseed oil[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2023: 9-55.
- [23] 张丽涵. 亚麻籽油风味分析及其在肉制品中的应用[D]. 锦州: 渤海大学, 2021: 7-50.
- ZHANG L H. Flavor analysis of flaxseed oil and its application in meat products[D]. Jinzhou: Bohai University, 2021: 7-50.
- [24] 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.
- YANG J E, HUANG Q D, ZHOU Q, et al. Comparative research on volatile compounds in cold- & hot-pressed flaxseed oils[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2013, 35(3): 321-325.
- [25] 郑瑞, 崔楠楠, 周大勇, 等. 预热处理方式对亚麻籽油体乳液稳定性的影响[J]. 中国油脂, 2025, 50(6): 87-93.
- ZHENG R, CUI N N, ZHOU D Y, et al. Effect of preheating treatments on the stability of flaxseed oil body emulsion[J]. China Oils and Fats, 2025, 50(6): 87-93.
- [26] 孙强, 王丽艳, 荆瑞勇, 等. 不同品种亚麻籽 8 种生物活性物质含量及其主成分分析[J]. 食品与机械, 2022, 38(9): 40-45, 145.
- SUN Q, WANG L Y, JING R Y, et al. Determination and principal component analysis of 8 kinds of bioactive substances in different flaxseed varieties[J]. Food & Machinery, 2022, 38(9): 40-45, 145.