

复合塑料泡罩包装浓香葵花籽油加速氧化期间 风味品质变化

李 颖, 李 思, 郑绣蓓, 刘昌树

(佳格投资(中国)有限公司, 上海 201103)

摘要:旨在为探究复合塑料泡罩包装浓香葵花籽油的稳定性及风味品质变化提供理论基础,对复合塑料泡罩包装浓香葵花籽油进行4个月的加速氧化试验,检测其酸值、过氧化值变化,采用气相色谱-离子迁移谱(GC-IMS)技术分析挥发性化合物并进行主成分分析,同时进行感官评价差异性测试,探究泡罩包装浓香葵花籽油在加速氧化过程中的风味品质变化。结果表明:加速氧化期间,泡罩包装浓香葵花籽油的酸值上升缓慢,而过氧化值上升明显,储藏4个月时过氧化值达到0.24 g/100 g,接近国标限值;通过GC-IMS指纹图谱分析,浓香葵花籽油中共检测到65种挥发性物质,其中20种挥发性物质的含量随着加速氧化时间延长而增加,5种挥发性物质的含量随着加速氧化时间延长而降低,其余40种挥发性物质含量无明显变化;定性了37种物质,主要包括醛类、酮类、醇类、酯类及其他类;通过主成分分析可以将不同加速氧化时间的浓香葵花籽油进行区分;感官评价差异性测试结果显示,与初始浓香葵花籽油相比,加速氧化样品均出现显著性差异。综上,复合塑料泡罩包装浓香葵花籽油在加速氧化储藏期间风味品质已发生明显变化。

关键词:复合塑料;泡罩;浓香葵花籽油;加速氧化;气相色谱-离子迁移谱;风味

中图分类号:TS225.1;TS201.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2025)05-0134-07

Flavor quality changes of composite plastic blister packaged fragrant sunflower seed oil during accelerated oxidation

LI Ying, LI Si, ZHENG Xiuqian, LIU Changshu

(Standard Investment(China) Co., Ltd., Shanghai 201103, China)

Abstract: In order to provide a theoretical basis for exploring the stability and flavor quality changes of composite plastic blister packaged fragrant sunflower seed oil, a 4-month accelerated oxidation test was conducted on the composite plastic blister packaged fragrant sunflower seed oil. The changes in acid value and peroxide value were determined. The volatile compounds were analyzed using gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) and the principal component analysis was carried out, while sensory evaluations differential test was also carried out to investigate the changes in flavor quality of blister packaged fragrant sunflower seed oil during the accelerated oxidation process. The results showed that during the accelerated oxidation period, the acid value of fragrant sunflower seed oil increased slowly, while the peroxide value increased significantly, reaching 0.24 g/100 g after 4 months of storage, which was close to the national standard limit. A total of 65 volatile compounds were detected in fragrant sunflower seed oil by GC-IMS fingerprinting, of which the contents of 20 volatile compounds increased with the increase of accelerated oxidation time, and 5 volatile compounds decreased with the

increase of accelerated oxidation time, and the contents of other 40 volatile compounds had no significant change. A total of 37 volatile compounds were identified, mainly including aldehydes, ketones, alcohols, esters and others.

收稿日期:2024-01-25;修回日期:2024-12-25

作者简介:李 颖(1999),女,初级研究员,主要从事食用油的風味研究(E-mail)yingli@sfworldwide.com.cn。

通信作者:刘昌树,博士(E-mail)tristanliu@sfworldwide.com.cn。

Differentiation of fragrant sunflower seed oil with different accelerated oxidation time was possible distinguished through principal component analysis. The results of sensory evaluations differential test showed that the accelerated oxidation samples showed significant differences compared with the initial fragrant sunflower seed oil. In conclusion, the flavor quality of composite plastic blister packaged fragrant sunflower seed oil has changed significantly during accelerated oxidation storage.

Key words: composite plastic; blister; fragrant sunflower seed oil; accelerated oxidation; GC - IMS; flavor

葵花籽是全球新兴油料中发展最快的品种之一。在我国,葵花籽油在食用油消费中排名第五位并呈快速增长的趋势^[1]。近年来,随着浓香型食用油市场需求不断增加,浓香葵花籽油受到关注^[2]。风味品质是影响消费者判断浓香型食用油产品质量以及是否选择复购的一个重要因素。然而,浓香型食用油在储藏期间往往会发生较明显的氧化反应,导致其风味物质发生变化^[3],影响产品品质。因此,研究浓香葵花籽油加速氧化储藏期间风味物质的变化具有重要意义。

目前食用油中挥发性风味物质的分析方法包括感官评价、固相微萃取-气相色谱-质谱法^[4]、全二维气相色谱-飞行时间质谱法^[5]、电子鼻法^[6]等,感官评价的操作过程烦琐,分析结果重复性不高且存在一定主观性^[7],而其他方法大都需要较复杂的样品前处理及数据建模。相比以上分析方法,气相色谱-离子迁移谱(GC-IMS)法无须样品预处理,灵敏度高,分析快,操作简便,且分析结果可将风味物质变化可视化^[8],目前已在国内外的一些食品领域研究中开展应用^[9-11]。陈通等^[12]基于 GC-IMS 技术对芝麻油、菜籽油、山茶油等进行了分类识别研究;陈通等^[13]基于 GC-IMS 技术对不同精炼程度的葵花籽油进行了分类识别研究;任凌云^[14]、肖岚^[15]等基于 GC-IMS 技术分别对花生油、不同植物油浸提的花椒油的风味成分进行了分析。但目前基于 GC-IMS 对浓香型食用油,尤其是浓香葵花籽油的相关研究还比较少。

根据前期消费者洞察资料,当代年轻人在购买食用油时,更倾向于购买规格较小,便于保鲜储存的产品。目前市面上食用油包装以普通 PET 塑料包装或玻璃瓶装为主,常见的小包装食用油规格有 1.8 L、900 mL 等。而我国社会家庭成员结构的变化、“单身经济”的兴起、现代烹饪需求的变化和消费者对健康的追求等因素将会继续推动小包装油的发展。复合塑料包装材料因其高阻隔性和良好加工

性能等优势,在国内外已有所研究应用^[16-17],而目前鲜有对复合塑料包装浓香葵花籽油的相关研究报道。

本文以复合塑料泡罩包装的浓香葵花籽油[该包装由高阻隔乙烯-乙醇共聚物(EVOH)塑料材质复合而成,规格为 10 mL/颗,满足单次单颗使用,用完即抛]为试验材料,对其进行加速氧化试验,测定其酸值、过氧化值,采用 GC-IMS 技术分析其挥发性物质,并进行感官评价,考察浓香葵花籽油在加速氧化期间的风味品质变化,以评估复合塑料泡罩包装浓香葵花籽油品质的稳定性。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

泡罩包装浓香葵花籽油(压榨一级),佳格投资(中国)有限公司。正酮 C₄~C₉(纯度 99%),山东海能科学仪器有限公司;25 mL 一次性透明品评杯,上海新尚酒店用品有限公司。

1.1.2 仪器与设备

气相色谱-离子迁移谱联用仪;Flavor Spec® 风味分析仪,德国 G. A. S 公司;FS-SE54 型色谱柱(15 m×0.53 mm×1 μm),山东海能科学仪器有限公司;ME3002E 电子天平(精密度 0.01 g),梅特勒-托利多仪器上海有限公司;HTC-500 恒温恒湿培养箱,上海三腾仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 加速氧化试验

取当日生产的泡罩包装浓香葵花籽油,置于恒温恒湿培养箱(温度 45℃、相对湿度 75%)中储藏,分别于储藏 0、2、3、4 个月取样,分别编号为 S₀、S₂、S₃、S₄。

1.2.2 酸值、过氧化值的测定

酸值测定参照 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》;过氧化值测定参照 GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》。

1.2.3 挥发性风味成分测定

采用 GC-IMS 技术分析浓香葵花籽油的风味成分。

称取约 1.00 g 油样至 20 mL 顶空瓶中,于 80 ℃ 下孵育 10 min,进行 GC-IMS 分析。GC 条件:FS-SE54 型色谱柱(15 m × 0.53 mm × 1 μm),柱温 60 ℃;进样针温度 85 ℃;进样量 200 μL;运行时间 12 min;载气为高纯 N₂(纯度 ≥ 99.999%),流速为 0~2 min 保持 2 mL/min,2~3 min 线性增至 5 mL/min,3~5 min 线性增至 10 mL/min,5~12 min 线性增至 100 mL/min。IMS 条件:迁移管温度 45 ℃;分析时间 12 min;漂移气为高纯 N₂(纯度 ≥ 99.999%),流速 150 mL/min。

使用外标正酮 C₄~C₉ 校准作为参考,采用 GC × IMS Library Search 和 Laboratory Analytical Viewer (LAV)软件分析数据和谱图。通过内置 NIST 2020RI DB-5 数据库中迁移时间和保留时间定性挥发性物质。采用 Dynamic PCA 插件进行主成分分析(PCA),通过 Reporter 和 Gallery Plot 插件定量比较样品间挥发性风味物质的差异。

1.2.4 气味感官评价

根据 GB/T 12311—2012《感官分析方法 三点检验》进行气味差异性测试。由 24 名经过培训的评价员组成评估小组,在检验中,给每个评价员呈送 3 个样品,用随机编码标记每个样品,其中 2 个样品是相同的,另一个是不同的,评价员依次嗅闻后(嗅闻时 2 个样品之间需进行休息,避免嗅觉疲劳),选出 1 个认为与另外 2 个不同的样品。测试结束后,计算正确答案数,结果在 95% 置信区间内判断有无显著性差异。当出现显著性差异时,则进行消费者对该样品的总体接受程度测试,评价人员为 30 人的葵花籽油食用和消费人群,评价人员对该样品气味作出“接受”或“不接受”的选择。根据威布尔模型,当有 50% 的消费者对该样品评定为“不接受”时判定感官失效,即达到货架寿命终点。

1.2.5 数据处理

所有试验均重复 3 次,使用 Excel 2010 和 SPSS 25 软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 酸值和过氧化值分析

泡罩包装浓香葵花籽油加速氧化期间酸值和过氧化值的变化如图 1 所示。

由图 1 可以看出,随着加速氧化时间的延长,泡罩包装浓香葵花籽油的酸值呈现平缓上升趋势。这是因为在整个加速氧化期间,受温度、氧气、湿度等因素的影响,部分油脂氧化水解生成游离脂肪酸。

加速氧化 4 个月时,泡罩包装浓香葵花籽油的酸值(KOH)增长率为 122%,达到 0.60 mg/g,但仍远低于 GB 2716—2018 中食用植物油(包括调和油)酸值(KOH)的限量标准(≤3 mg/g),说明浓香葵花籽油的水解在该包装体系中比较缓慢。

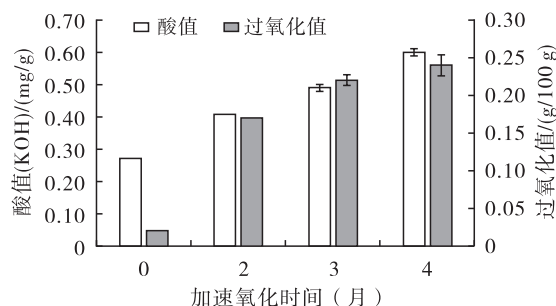


图 1 泡罩包装浓香葵花籽油加速氧化期间酸值和过氧化值的变化

Fig. 1 Changes in acid value and peroxide value of blister packaged fragrant sunflower seed oil during accelerated oxidation

由图 1 可以看出,加速氧化期间泡罩包装浓香葵花籽油的过氧化值上升较为明显,加速氧化 4 个月时,过氧化值增长率为 1 490%,达到 0.24 g/100 g,接近 GB 2716—2018 中食用植物油(包括调和油)过氧化值的限量标准(≤0.25 g/100 g)。

谭名等^[18]对葵花籽油在内的 5 种植物油进行 20 d 的 Schaal 烘箱法加速氧化劣变试验,发现葵花籽油在劣变过程中酸值呈现小幅度上升趋势,过氧化值呈现快速增长趋势且相较于其他植物油变化最快,并在加速氧化 4 d 时达到国标限值,该结果与本研究浓香葵花籽油酸值与过氧化值变化规律相似。

对常温保存的泡罩包装浓香葵花籽油样品进行定期理化指标检测,结果发现,在储藏 11 个月时,其过氧化值与加速储藏 1 个月的样品相同。表明该产品在加速条件下的氧化速度较快,可能是由于高温及高湿的储藏条件对复合塑料包装的阻隔性造成了一定影响。有报道^[19]使用含有天然抗氧化剂(儿茶素和槲皮素)的 EVOH 包装材料包装葵花籽油,考察葵花籽油在 37 ℃ 储藏条件下过氧化值的变化,结果显示,在 150 d 的储藏期间,含有抗氧化剂的 EVOH 包装材料包装的葵花籽油过氧化值明显低于普通 EVOH 包装材料包装的,表明具有抗氧化活性的包装材料能有效减缓油脂的氧化,该研究结果或可为本研究中泡罩包装浓香葵花籽油的包装体系改善提供新思路。

2.2 挥发性风味成分差异化图谱分析

为了整体观察泡罩包装浓香葵花籽油在加速氧化期间挥发性化合物的差异变化,绘制了其差异化

图谱,结果如图 2 所示。图 2 中每个点代表不同的化合物。以初始葵花籽油作为参比,蓝色代表挥发性物质含量低于参比,红色代表挥发性物质含量高于参比,且颜色越深表示差异越大。

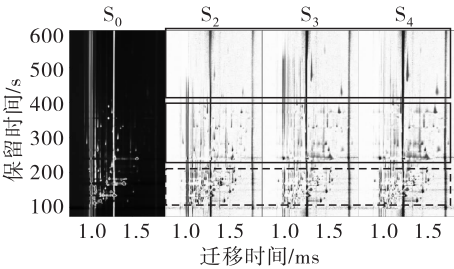


图 2 泡罩包装浓香葵花籽油加速氧化期间挥发性化合物的差异化图谱

Fig.2 Differential spectrum of volatile compounds in blister packaged fragrant sunflower seed oil during accelerated oxidation

从图 2 可以看出,在不同储藏时间内泡罩包装浓香葵花籽油挥发性化合物含量存在明显差异。实线框区域内,随着储藏时间的延长及氧化程度的加深,挥发性化合物含量大部分呈现逐渐增加的趋势;虚线框区域内,随着储藏时间延长及氧化程度的加深,大部分挥发性化合物含量增加的同时也有部分挥发性化合物含量逐渐降低。

2.3 挥发性风味成分定性及指纹图谱分析

泡罩包装浓香葵花籽油加速氧化期间挥发性风味物质指纹图谱如图 3 所示。图 3 中每个峰点都表征一个挥发性化合物及其含量大小。颜色越深面积越大表示含量越高,颜色越浅面积越小表示含量越低。泡罩包装浓香葵花籽油挥发性化合物定性结果如表 1 所示,表中仅列出单聚体。

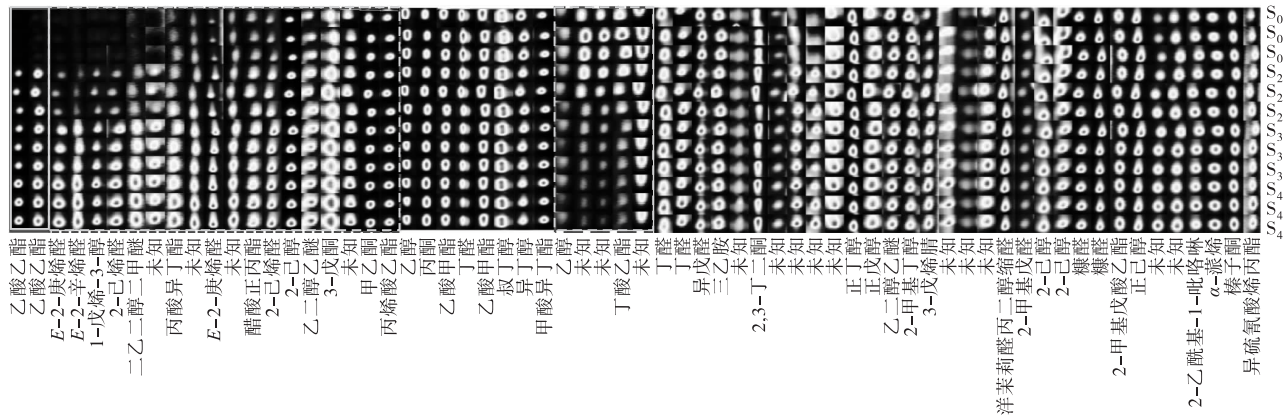


图 3 泡罩包装浓香葵花籽油加速氧化期间挥发性风味物质指纹图谱

Fig.3 Fingerprints of volatile flavor compounds in blister packaged fragrant sunflower seed oil during accelerated oxidation

表 1 泡罩包装浓香葵花籽油挥发性风味成分定性

Table 1 Characterization of volatile flavor compounds of blister packaged fragrant sunflower seed oil

类别	化合物	CAS 号	分子式	保留指数	气味 ^[20-26]
醛类	丁醛	123-72-8	C ₄ H ₈ O	532.3	-
	异戊醛	590-86-3	C ₅ H ₁₀ O	668.4	苹果香
	2-己烯醛	505-57-7	C ₆ H ₁₀ O	843.5	青草香
	洋茉莉醛丙二醇缩醛	61683-99-6	C ₁₁ H ₁₂ O ₄	760.1	-
	2-甲基戊醛	123-15-9	C ₆ H ₁₂ O	748.8	-
	糠醛	98-01-1	C ₅ H ₄ O ₂	822.5	焦糖味
	E-2-庚烯醛	18829-55-5	C ₇ H ₁₂ O	953.2	糊味
	E-2-辛烯醛	2548-87-0	C ₈ H ₁₄ O	1 055.3	油脂味
酮类	丙酮	67-64-1	C ₃ H ₆ O	484.2	-
	甲乙酮	78-93-3	C ₄ H ₈ O	582.1	-
	2,3-丁二酮	431-03-8	C ₄ H ₆ O ₂	626.8	-
	3-戊酮	96-22-0	C ₅ H ₁₀ O	690.8	-
	榛子酮	81925-81-7	C ₈ H ₁₄ O	972.4	-

续表 1

类别	化合物	CAS 号	分子式	保留指数	气味 ^[20-26]
醇类	乙醇	64-17-5	C ₂ H ₆ O	454.4	酒精味
	叔丁醇	75-65-0	C ₄ H ₁₀ O	546.2	-
	异丁醇	78-83-1	C ₄ H ₁₀ O	613.9	-
	正丁醇	71-36-3	C ₄ H ₁₀ O	659.1	-
	正戊醇	71-41-0	C ₅ H ₁₂ O	755.9	-
	2-甲基丁醇	137-32-6	C ₅ H ₁₂ O	727.9	-
	正己醇	111-27-3	C ₆ H ₁₄ O	866.2	草腥味
	2-己醇	626-93-7	C ₆ H ₁₄ O	790.2	-
	1-戊烯-3-醇	616-25-1	C ₅ H ₁₀ O	676.8	水果香
酯类	乙酸甲酯	79-20-9	C ₃ H ₆ O ₂	512.5	-
	甲酸异丁酯	542-55-2	C ₅ H ₁₀ O ₂	643.1	-
	丙烯酸乙酯	140-88-5	C ₅ H ₈ O ₂	691.1	-
	乙酸乙酯	141-78-6	C ₄ H ₈ O ₂	599	甜果香
	醋酸正丙酯	109-60-4	C ₅ H ₁₀ O ₂	741.5	-
	2-甲基戊酸乙酯	39255-32-8	C ₈ H ₁₆ O ₂	933	-
	异硫氰酸烯丙酯	57-06-7	C ₄ H ₅ NS	857.4	-
	丁酸乙酯	105-54-4	C ₆ H ₁₂ O ₂	821.1	-
	丙酸异丁酯	540-42-1	C ₇ H ₁₄ O ₂	822.7	-
其他类	三乙胺	121-44-8	C ₆ H ₁₅ N	692.1	-
	3-戊烯腈	16529-66-1	C ₅ H ₇ N	706.1	-
	乙二醇乙醚	110-80-5	C ₄ H ₁₀ O ₂	733.2	-
	2-乙酰基-1-吡咯啉	85213-22-5	C ₆ H ₉ NO	903.6	-
	α-蒎烯	80-56-8	C ₁₀ H ₁₆	933.4	松针味
	二乙二醇二甲醚	111-96-6	C ₆ H ₁₄ O ₃	979.3	-

注：“-”表示未查阅到
Note: “-” indicates not found

由图 3 可见,泡罩包装浓香葵花籽油中共检测到 65 种挥发性物质,实线框内的物质仅在 S₂ ~ S₄ 中出现,即为加速氧化后出现的特征标识峰,且随氧化程度加深,该物质含量呈逐渐增大的趋势,定性为乙酸乙酯,具有甜果香。其余物质均为 S₀ ~ S₄ 共有,其中 18 种物质的含量随氧化程度加深而增大,分别定性为 *E*-2-庚烯醛、*E*-2-辛烯醛、1-戊烯-3-醇、2-己烯醛、二乙二醇二甲醚、丙酸异丁酯、醋酸正丙酯、2-己醇、乙二醇乙醚、3-戊酮等,这些挥发性成分都具有特殊的气味,如 *E*-2-庚烯醛具有糊味,*E*-2-辛烯醛具有油脂味,1-戊烯-3-醇具有水果香等。还有 5 种物质的含量随氧化程度加深而降低,分别定性为乙醇和丁酸乙酯及 3 种未知化合物,乙醇具有酒精味,其余 40 种物质含量在加速氧化前后无明显变化。以上挥发性成分的气味特征和含量共同形成葵花籽油的整体风味。

由表 1 可知,共确定 37 种化合物,包括酯类 9 种、醇类 9 种、醛类 8 种、酮类 5 种,其他类 6 种(包括 1 种杂环化合物和 1 种萜烯类化合物),与相关研究^[27-29]有相似之处。通常认为醛类、酮类物质与油

脂的氧化酸败有关^[30],醇类、酯类物质影响葵花籽油的整体香气特性^[29]。本研究中检测到的杂环化合物较少,可能与浓香葵花籽油生产过程中的温度有关,这些物质一般在较高的炒籽温度下产生^[29]。

综上,指纹图谱特征区域的挥发性化合物含量的直观变化规律及加速氧化后的样品所特有的风味物质,可以反映浓香葵花籽油在加速氧化期间的挥发性风味成分差异,这对于判别其储藏时间的长短也具有重要意义。

2.4 挥发性风味成分 PCA

PCA 是一种多变量数据处理技术,可以将复杂变量规律化。PCA 的累积贡献率大于 60% 能反映样本所有信息,样本挥发性化合物成分越相似,在 PCA 中的距离就越近^[31]。泡罩包装浓香葵花籽油挥发性物质的 PCA 如图 4 所示。

由图 4 可以看出,PC1 贡献率为 69%,PC2 贡献率为 9%,累积贡献率为 78% (>60%),说明该 PCA 分析具有可行性。S₂ 与 S₀ 的距离最远,S₃ 与 S₂、S₄ 与 S₃ 之间的距离逐渐缩小。表示加速氧化 2 个月后泡罩包装浓香葵花籽油的风味物质整体上发

生了明显变化,到加速氧化 3 个月和 4 个月时,变化程度稍有减小。说明氧化后期泡罩包装浓香葵花籽油的风味变化逐渐趋于稳定。同时,4 个样品之间没有重叠部分,表明 PCA 可以很好地将样品区分开来,并且在距离上呈现一定的规律性。这表示每个储藏阶段样品产生了属于该阶段的特征风味变化,这与指纹图谱上显示的挥发性风味物质的变化规律相呼应。张菁菁等^[32]研究亚麻籽油在煎炸过程中的品质变化时发现,随着煎炸时间延长,亚麻籽油劣变程度增加,通过 PCA 可以将不同煎炸程度的亚麻籽油区分为 3 组,该研究结果与本研究泡罩包装浓香葵花籽油在加速氧化期间的 PCA 结果具有一定的相似性。

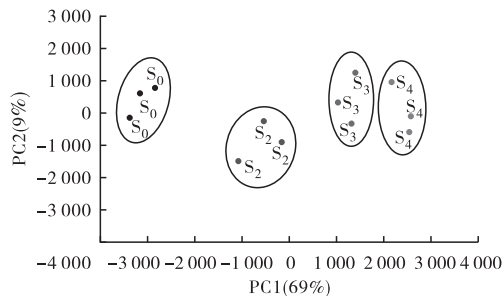


图 4 泡罩包装浓香葵花籽油加速氧化期间挥发性物质的 PCA

Fig. 4 PCA of volatiles in blister packaged fragrant sunflower seed oil during accelerated oxidation

2.5 感官评价分析

泡罩包装浓香葵花籽油感官评价结果如表 2 所示。

表 2 泡罩包装浓香葵花籽油感官评价结果

Table 2 Sensory evaluation results of blister packaged fragrant sunflower seed oil

样品	气味差异性测试	总体接受程度/%
S ₀		
S ₂	有显著性差异	67
S ₃	有显著性差异	40
S ₄	有显著性差异	

由表 2 可知,S₂、S₃、S₄ 相对于 S₀ 均出现了显著性差异,S₂ 总体接受程度为 67%,而 S₃ 总体接受程度为 40%,判定为感官失效。差异性测试结果与指纹图谱和 PCA 结果相对应,一定程度上说明泡罩包装浓香葵花籽油在加速氧化储藏期间出现了明显的风味变化。这可能是 E-2-庚烯醛等化合物的含量变化及氧化后产生的一些新物质导致的,也有可能是多种化合物共同作用的结果。

3 结 论

本研究对泡罩包装浓香葵花籽油样品在加速氧化储藏期间的理化指标进行了测试,利用 GC-IMS

技术分析挥发性风味物质,并进行了 PCA 和感官评价分析。结果表明,泡罩包装浓香葵花籽油酸值变化较小,而过氧化值增长较快,成为反映油脂氧化程度的敏感指标。通过指纹图谱观察到储藏过程中泡罩包装浓香葵花籽油原有风味物质的消失和新的特征风味物质产生,这些风味化合物含量发生了明显变化。通过 PCA 可将不同加速氧化时间的浓香葵花籽油进行区分。感官差异性测试结果与指纹图谱及 PCA 结果趋势一致,不仅验证了 GC-IMS 技术在风味物质分析中的可靠性,同时也为优化产品感官体验提供了重要依据。然而,本研究尚存在一些局限性,如复合塑料包装材料对油样储存期间挥发性风味成分的影响及产品货架期尚未明确,需进一步进行对比试验探究。此外,为了更全面地掌握挥发性风味物质变化与感官嗅闻气味之间的相关性,开展更详尽的感官评价研究将是未来研究的重要方向。

参考文献:

[1] 王瑞元. 我国葵花籽油产业现状及发展前景[J]. 中国油脂, 2020, 45(3): 1-3.

[2] 周易枚, 刘尧刚, 王忠强. 浓香葵花籽油加工工艺实践[J]. 粮食与食品工业, 2020(5): 33-35.

[3] 连四超, 刘玉兰, 孙国昊, 等. 浓香和精炼葵花籽油加速氧化过程中综合品质变化的差异[J]. 中国油脂, 2022, 47(2): 79-84, 103.

[4] 王李平, 张乐, 林晨, 等. 花生油挥发性风味物质 SPME-GC/MS 指纹图谱的研究[J]. 食品工业, 2020(7): 162-165.

[5] 周茜, 黄倩, 王红, 等. 基于顶空 GC×GC-TOF/MS 的两种等级菜籽油特征挥发性风味物质的研究[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2022(5): 36-41, 55.

[6] WEI X, SHAO X, WEI Y, et al. Rapid detection of adulterated peony seed oil by electronic nose[J]. J Food Sci Technol, 2018, 55(6): 2152-2159.

[7] 朱联旭, 李崇勇, 孟怡璠, 等. 基于气相色谱-离子迁移谱分析镇巴腊肉贮藏过程中挥发性风味成分变化[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(15): 4832-4839.

[8] 朱烨, 陈晓婷, 乔琨, 等. 气相色谱及其联用技术在食品风味中的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(6): 200-210.

[9] 周晨曦, 郑福平, 孙宝国. 离子迁移谱技术在食品风味分析中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019(18): 309-318.

[10] 王辉, 田寒友, 李文采, 等. 基于顶空气相色谱-离子迁移谱技术的冷冻猪肉贮藏时间快速判别方法[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 269-274.

[11] 朱玲, 蔡尽忠, 刘奔. 气相-离子迁移谱法对三种不同香型白酒的风味分析[J]. 广东化工, 2020(5): 53-55.

- [12] 陈通, 陆道礼, 陈斌. GC-IMS 技术结合化学计量学方法在食用植物油分类中的应用[J]. 分析测试学报, 2017(10): 1235-1239.
- [13] 陈通, 谷航, 陈明杰, 等. 基于气相离子迁移谱对葵花籽油精炼程度的检测[J]. 食品科学, 2019(18): 312-316.
- [14] 任凌云, 董斌, 王瑞杰, 等. 基于气相色谱-离子迁移谱技术的花生油风味成分分析方法研究[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(6): 149-155.
- [15] 肖岚, 幸勇, 唐英明, 等. 气相色谱-离子迁移谱分析不同植物油浸提的花椒油的挥发性成分[J]. 中国油脂, 2020, 45(8): 138-144.
- [16] 徐萌, 高达利, 张师军. 食品包装高分子材料技术进步与升级[J]. 中国塑料, 2021, 35(3): 74-82.
- [17] SANGRONIZ A, ZHU J B, TANG X, et al. Packaging materials with desired mechanical and barrier properties and full chemical recyclability [J/OL]. Nat Commun, 2019, 10(1): 3559 [2024-01-25]. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11525-x>.
- [18] 谭名, 张海波, 叶萍萍, 等. 植物油加速氧化过程中品质变化进程的研究[J]. 食品科技, 2022, 47(6): 203-210.
- [19] LÓPEZ-DE-DICASTILLO C, PEZO D, NERÍN C, et al. Reducing oxidation of foods through antioxidant active packaging based on ethyl vinyl alcohol and natural flavonoids [J]. Packag Technol Sci, 2012, 25(8): 457-466.
- [20] 丁丽琼, 罗清, 覃茜, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 分析墨兰不同花器官香气成分[J]. 热带作物学报, 2023, 44(9): 1879-1888.
- [21] 尹文婷, 师瑞, 马宇翔, 等. 浓香葵花籽油气味活性物质的 HS-SPME 萃取条件优化及 GC-O-MS 分析[J]. 中国油脂, 2023, 48(2): 91-97.
- [22] 师瑞, 尹文婷, 马雪停, 等. SDE-GC-O-MS 鉴定浓香葵花籽油香气活性物质[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(8): 113-117.
- [23] 杨学博, 陈秋翰, 刘寿春, 等. 基于气相色谱-离子迁移谱和偏最小二乘判别分析技术分析酵母-藿香复合对罗非鱼脱腥效果的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024(12): 319-326.
- [24] 黄宇杏, 方炜聪, 徐纯伟, 等. GC-MS-O 结合 OAV 鉴定花生油特征香气成分[J]. 现代食品科技, 2023(4): 278-288.
- [25] 仲琴. 菜籽油精炼和储藏过程中品质及香气成分变化研究[D]. 四川 绵阳: 西南科技大学, 2021.
- [26] 曾桥, 吕生华, 段洁, 等. 基于气相离子迁移谱技术分析杜仲叶茯砖茶加工过程中挥发性成分[J]. 食品工业科技, 2021, 42(21): 73-82.
- [27] 袁桃静, 赵笑颖, 庞一扬, 等. 基于电子鼻、HS-GC-IMS 和 HS-SPME-GC-MS 对 5 种食用植物油挥发性风味成分分析[J]. 中国油脂, 2020, 45(9): 102-111.
- [28] 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.
- [29] 尹文婷, 师瑞, 马雪停, 等. 葵花籽油挥发性风味物质研究进展[J]. 中国油脂, 2021, 46(1): 42-47.
- [30] WANG D, DONG Y, WANG Q, et al. Limonene, the compound in essential oil of nutmeg displayed antioxidant effect in sunflower oil during the deep-frying of Chinese Maye[J]. Food Sci Nutr, 2020, 8(1): 511-520.
- [31] SONG J, SHAO Y, YAN Y, et al. Characterization of volatile profiles of three colored quinoas based on GC-IMS and PCA[J/OL]. LWT-Food Sci Technol, 2021, 146: 111292 [2024-01-25]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111292>.
- [32] 张菁菁, 王艳, 刘笑笑, 等. 亚麻籽油在煎炸过程中的品质变化[J]. 食品工业科技, 2022, 43(16): 50-58.
-
- (上接第 124 页)
- [12] 程威威. 植物油精炼中缩水甘油酯生成及其吸附消除机制研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [13] SIM B I, MUHAMAD H, LAI O M, et al. New insights on degumming and bleaching process parameters on the formation of 3-monochloropropane-1, 2-diol esters and glycidyl esters in refined, bleached, deodorized palm oil[J]. J Oleo Sci, 2018, 67(4): 397-406.
- [14] 任我行. 油脂精炼过程 3-MCPD 酯和缩水甘油酯的控制与脱除研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.
- [15] 杨威, 刘辉, 雷芬芬, 等. 花生油制取工艺主要工段 3, 4-苯并(a)芘及 3-氯丙醇酯的产生及脱除[J]. 食品科学, 2020, 41(8): 27-35.
- [16] SCHURZ K. Method for reducing the 3-MCPD content in refined vegetable oils: WO10063450 [P]. 2010-06-10.
- [17] PUDEL F, BENECKE P, FEHLING P, et al. On the necessity of edible oil refining and possible sources of 3-MCPD and glycidyl esters[J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2011, 113(3): 368-373.
- [18] HEW K S, ASIS A J, TAN T B, et al. Revising degumming and bleaching processes of palm oil refining for the mitigation of 3-monochloropropane-1, 2-diol esters (3-MCPDE) and glycidyl esters (GE) contents in refined palm oil [J/OL]. Food Chem, 2020, 307: 125545 [2024-12-30]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125545>.
- [19] 张亚昕. 碳基吸附剂对食用油中多环芳烃的脱除研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023.
- [20] 纪俊敏, 侯杰, 姜苗苗, 等. 吸附法脱除植物油中多环芳烃的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2023, 44(3): 129-140.
- [21] 罗凡, 费学谦, 方学智, 等. 脱色工艺中不同脱色剂对油茶籽油中苯并芘脱除效果的影响[J]. 中国油脂, 2012, 37(6): 47-50.