

静态顶空-气相色谱质谱联用结合感官评价分析 3种胶黏剂中的气味物质

景波, 杨青华, 林勤保

(暨南大学 包装工程研究所, 广东 珠海 519070)

摘要: **目的** 探究纸包装材料用胶黏剂中挥发性气味物质及其影响。**方法** 选择10名感官评价员对3种胶黏剂样品的气味强度进行嗅辨分析, 使用顶空-气相色谱质谱法(Headspace-Gas Chromatography-Mass Spectrometry, HS-GC-MS)采集挥发性化合物数据, 利用MS-DIAL软件解卷积、NIST质谱库和保留指数实现对物质的定性分析, 计算各化合物的相对峰面积含量和相对气味活性值(Relative Odour Activity Value, ROAV), 用于确定样品气味特征的关键贡献物质及其影响。**结果** 3种胶黏剂样品的感官影响差异明显, 样品中共检测出45种挥发性物质, 以酯类、醇类、酮类和芳香烃等化合物为主, 其中可筛选出8种对胶黏剂的气味特征贡献最大的关键气味物质, 包括丙酸丁酯、乙酸丁酯、3-甲基-4-庚酮、乙苯等。**结论** 胶黏剂的气味主要与使用的复杂化学成分有关, 其生产加工过程应当引起高度关注。

关键词: 胶黏剂; 顶空-气相色谱-质谱法; 感官评价; 挥发性气味物质

中图分类号: TB484; TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)03-0073-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.03.009

Determination of Odour Substances from Three Adhesives Based on HS-GC-MS and Sensory Evaluation

JING Bo, YANG Qing-hua, LIN Qin-bao

(Research Institute of Packaging Engineering, Jinan University, Guangdong Zhuhai 519070, China)

ABSTRACT: The work aims to evaluate the volatile odour substances in adhesives used to paper packaging materials and their effects. Three adhesive samples were sniffed by ten sensory evaluators to assess odour intensity. The method of headspace-gas chromatography-mass spectrometry (HS-GC-MS) was applied to collect data on volatile substances. MS-DIAL deconvolution, NIST mass library and retention index were used to conduct qualitative analysis on the substances. The relative content of peaks and the relative odour activity value (ROAV) were calculated to determine key odour substances and their impacts. The results showed that the three adhesive samples had distinctive sensory effects. A total of 45 volatile compounds were detected, mainly including esters, alcohols, ketones and aromatic hydrocarbons substances. Eight key odour substances, for instance butyl propionate, butyl acetate, 3-methyl-4-heptanone and ethylbenzene, were determined, which mostly contributed to the odour of adhesive samples. The odour intensity from adhesive samples mainly originates from the complex chemical components, which should be paid with great attention during their production and processing.

KEY WORDS: adhesive; headspace-gas chromatography-mass spectrometry; sensory evaluation; volatile odour substances

收稿日期: 2022-05-03

作者简介: 景波(1979—), 男, 硕士生, 主攻食品药品包装

通信作者: 林勤保(1968—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品药品包装。

食品质量问题时常与接触的包装材料有关,食品包装越来越受到人们的关注。食品包装用纸和纸板是广泛使用的食品包装材料,比如巧克力纸盒,纸包装材料的气味能够对食品的风味产生重要影响。纸包装加工生产过程中的各种助剂都可能成为食品异味的根本原因,比如胶黏剂。

目前,胶黏剂中挥发性有机化合物已经受到广泛研究, Vera 等^[1]使用顶空固相萃取(Headspace Solid Phase Extraction, SPE)、顶空固相微萃取(Headspace Solid Phase Microextraction, HS-SPME)和气相色谱-嗅辨-质谱联用仪(Gas Chromatography-Olfactometry-Mass Spectrometry, GC-O-MS)对常用于食品包装材料上的热熔胶(HM)、乙烯-醋酸乙烯共聚物(VAE)胶、聚乙酸乙烯酯(PVA)胶、丙烯酸(ACR)胶和淀粉(Starch)胶等中挥发性有机化合物进行研究分析,发现即使在不同类型胶黏剂样品之中也能检测出5种以上的气味物质。此外,乙酸、2-乙基己醇2种气味物质具有较大的迁移量和安全影响^[2]。Denk 等^[3]采用高分辨二维气相色谱-嗅辨-质谱法(High Resolution Two Dimensional Gas Chromatography-Olfactory-Mass Spectrometry, HRGC×GC-O-MS)结合感官评价方法,发现甲基丙烯酸、苄基丙烯酸等丙烯酸酯类胶黏剂中可检测27种气味物质。Bauer 等^[4]研究了20种丙烯酸胶黏剂中气味物质的分子质量和气味阈值之间的关系,丙烯酸单体是潜在的异味物质,并且羧基类物质表现出更加明显的气味特征。相较于其他化学方法,对胶水进行感官评估是最为有效的气味影响的分析策略^[5]。由此可见,胶黏剂的挥发性气味物质是影响包装材料和食品质量的重要因素。

本研究利用静态顶空-气相质谱联用法(HS-GC-MS)结合感官评价,对3种均符合国内外食品接触包装材料法规要求^[6-7]的合成高分子乳液胶黏剂中挥发性气味物质进行分析,并且通过计算挥发性气味物质的相对峰面积含量和相对气味活性值(Relative Odour Activity Value, ROAV),评估胶黏剂样品中气味物质的影响,为研究和改善胶黏剂气味问题提供方法。

1 实验

1.1 材料

主要材料:3种胶黏剂样品,编号为A1—A3,具体样品的物理指标见表1。

1.2 试剂与仪器

主要试剂:正构烷烃(C7—C40)混合标准品(1 000 mg/L),Sigma-Aldrich 贸易有限公司。

主要仪器:7890A-5975C型气相色谱-质谱联用仪、7697A型顶空进样器,美国Agilent公司;AR224CN型电子天平,中国常州奥豪斯仪器有限公司;DRK203B型测厚仪,中国济南德瑞克仪器有限公司。

表1 研究中胶黏剂样品的具体信息
Tab.1 Details of adhesive samples used in the present study

编号	样品描述	固含量/%	黏度/ (mPa·s)	pH
A1	纯白色匀质乳液	56.9±0.12	2 051.7±18.41	4.52±0.12
A2	乳白色匀质乳液	52.2±0.08	8 400.0±86.41	7.72±0.05
A3	淡黄色匀质乳液	52.9±0.36	8 100.0±81.65	8.06±0.05

1.3 仪器条件

HS 条件:平衡温度和平衡时间分别设置为150 °C、30 min;定量环温度和传输线温度分别为160、170 °C;进样时间、压力平衡时间和GC循环时间为0.5、0.5和45 min。

GC 条件:使用Agilent DB-5MS UI(30 m×0.25 mm×0.25 μm)色谱柱进行物质分离;前进样口温度设置为250 °C,选用氦气作为载气,色谱柱恒定流速为1.0 mL/min,不分流进样量为1 mL;柱温箱采用升温程序,初始温度为40 °C,持续2 min后以10 °C/min的速度将柱温升至280 °C,保持6 min。

MS 条件:离子源、四极杆和传输线温度分别设置为230、150和280 °C, EI 电离能量为70 eV,全扫描质量范围(m/z)为35~550。

1.4 方法

1.4.1 嗅辨测试样品处理

分别移取15.0 g胶黏剂样品(A1—A3)至直径为90 mm、高度为16 mm的塑料细菌培养皿中,置于室温条件存放1 h后,进行样品气味的嗅辨测试。

1.4.2 嗅辨测试评价标准

选定10位感官测试员,分别对胶黏剂样品进行嗅辨并评分。评分按照以下准则进行:无法嗅辨到样品气味时计0分;能察觉异常气味但无法辨别时计1分;识别到轻微异常味道时计为2分;识别明显异常味道时计为3分;具有强烈异常味道计为4分^[8]。

1.4.3 GC-MS 测试样品处理

分别向20 mL顶空进样瓶中准确加入1.0 g胶黏剂样品(精准至0.001 g),每个样品准备3个平行,待进行HS-GC-MS分析。

1.4.4 MS-DIAL 定性分析

文中使用NIST谱库、MS-DIAL结合保留指数辅助定性分析胶黏剂样品中的挥发性化合物。移取100 μL稀释后的正构烷烃标准溶液(10 mg/L)于20 mL顶空瓶后密封,按照上述的实验条件(1.3节)进行分析检测。利用GC-MS ChemStation工作站检索并记录各正构烷烃的出峰信息和保留时间,用于保留指数的计算^[9-10]。

MS-DIAL (<http://prime.psc.riken.jp/compms/msdial/main.html>) 能对色谱峰进行解卷积、样品峰对齐。参数设置如下: 质量扫描范围设置与 MS 全扫描参数一致 (40~550 u), 峰特征最小高度为 2 000; 峰定性时保留指数容差为 20, 质荷比容差为 0.5 u, EI 电离碎片相似度不低于 80%, 总体得分不低于 80%; 按照峰保留时间进行峰对齐, 保留时间容差设置为 0.075 min, EI 电离碎片相似度大于 80%。逐一检查峰对齐定性结果, 减少结果假阳性。按照空白样品结果, 扣除胶黏剂样品无关的色谱峰。

1.4.5 相对气味活性值评价方法

文中以相对气味活性值 (ROAV) 表征评价气味物质对胶黏剂样品气味特征的贡献程度^[11]。气味物质的相对峰面积含量通过各组分特征峰面积与总峰面积的归一计算获得, 并根据式 (1) 计算得到其 ROAV。其中, 当某气味物质的 ROAV ≥ 1 , 即认为该物质能够对样品的整体气味特征起到主要贡献作用^[11], 而文中将 ROAV ≥ 10 的物质作为重点关注的挥发关键挥发性气味化合物。

$$R_x = 100 \times \frac{c_x}{c_t} \times \frac{d_t}{d_x} \quad (1)$$

式中: R_x 为某物质的相对气味活性值 (ROAV); c_x 为某物质的相对峰面积含量, %; c_t 为参照物质 (最高 ROAV 物质) 的相对峰面积含量, %; d_x 为气味物质的气味阈值, mg/m^3 ; d_t 为参照物质的气味阈值, mg/m^3 。

2 结果与分析

2.1 感官分析

10 名测试员通过嗅辨对 3 种胶黏剂样品进行气味强度的评估, 结果如图 1 所示。大多数评价员认为样品 A1 的气味强度小于其余 2 种样品的气味强度, 并且气味比较轻微不明显。在 3 种样品之中, 胶黏剂样品

A3 的气味最明显。对各位测试员对样品气味评分取平均值分析, 3 种样品 (A1、A2、A3) 的评分均值分别为 1.75、2.40、3.15。以上感官结果表明, 3 种胶黏剂样品的气味强度并不完全相同, 样品 A3 的气味特征最强烈, 样品 A1 和 A2 都表现出比较轻微的气味。

2.2 样品中挥发性物质分析

对 3 种胶黏剂样品中的挥发性化合物进行 HS-GC-MS 分析, 比如样品 A3 中挥发性化合物的总离子流图见图 2, 然后利用 MS-DIAL 软件对样品色谱峰特征数据进行解卷积、定性匹配和峰对齐处理。检索相关文献资料和风味物质数据库 (<https://www.flavornet.org/>)^[9], 并且计算挥发性气味物质的相对峰面积含量和 ROAV, 用于描述其气味特征^[12], 结果见表 2。

在 3 种胶黏剂样品中, 经过 MS-DIAL 分析和手动检查, 共初步定性出 45 种挥发性化合物。其中, 主要可分为 15 种酯类物质、7 种酮类物质、6 种醇类化合物、8 种苯环结构化合物和其余 9 种化合物。如图 3 所示, 醚类和烯烃类化合物的相对峰面积含量较低, 相对峰面积较高的物质是酯类、醇类和酮类化合物。样品 A1 中的酯类、酮类和醇类化合物的相对峰面积含量分别为 35.00%、26.72% 和 17.64%。样品 A2 中主要是酯类化合物 (72.00%), 其次是醇类化合物 (23.34%), 近似地, 样品 A3 中的酯类和醇类化合物相对峰面积含量分别为 50.00%、40.61%。

3 种胶黏剂样品中均检测出较高相对峰面积含量的酯类化合物。比如乙酸丁酯、丙酸丁酯、丁酸丁酯等, 是油漆、天然胶和合成树脂等的重要溶剂, 乙酸乙酯对甲基丙烯酸酯树脂也具有较好溶解性能。此外, 3 种样品中均检测出二甲苯类化合物, 是与乙酸丁酯等酯类溶剂混合使用的工业溶剂。在样品 A2、A3 中检测出少量的丙烯酸异辛酯, 可作为生产胶黏剂的单体材料。丙烯酸异辛酯可由 2-乙基己醇和丙烯酸通过连续催化脱水生产。值得注意的是, 仅在样品 A1 中检测出 2, 2, 4-

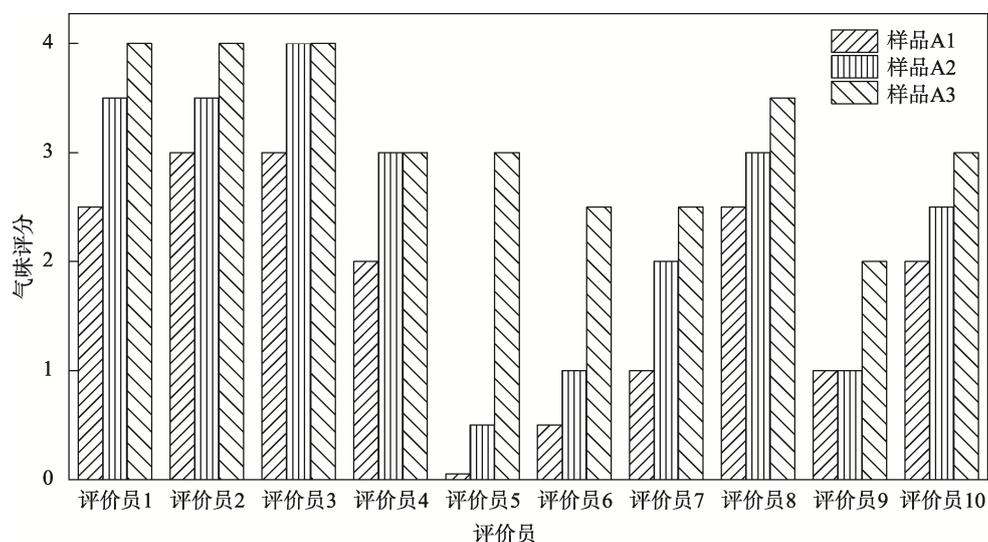


图 1 3 种胶黏剂样品的气味感官评价

Fig.1 Sensory odour evaluation of three adhesive samples

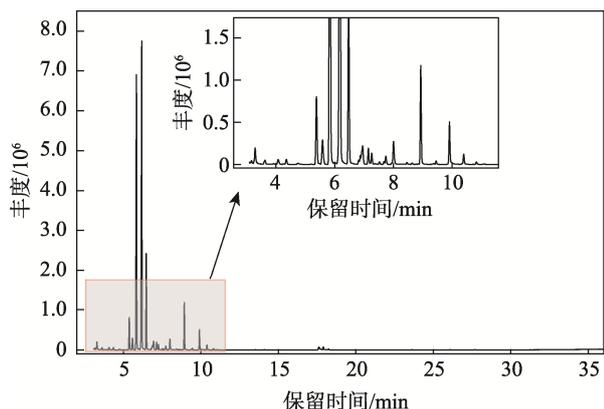


图2 胶黏剂样品 A3 的 HS-GC-MS 总离子流图

Fig.2 Total ion chromatogram (TIC) of adhesive sample A3 based on HS-GC-MS

三甲基-1, 3-戊二醇双异丁酸酯, 这种化合物可在各种增塑溶胶、滚塑和滚塑操作中用作黏度控制剂, 在乳胶漆中也能够用作聚结助剂。2-己酮也是胶黏剂、油漆、脱漆剂和丙烯酸涂料等材料的工业溶剂。2-辛酮常用于加工生产消沫剂、表面活性剂。醛类物质能够在胶黏剂的生产过程中发挥重要作用, 比如甲醛可以提高胶黏剂乳液的初黏性能^[13]。聚乙烯醇也可以用于改善聚醋酸乙烯乳液聚合的乳化稳定性。焦剑等^[14]使用聚乙烯醇研制出复塑纸盒高速封口胶。

2.3 气味物质分析

结合检索的风味物质网站和文献, 文中在所有挥发性有机化合物中初步筛选出 22 种气味物质 (见表 2)。样品 A1 中的 2-己酮 (19.29%)、丙酸异丁酯 (8.55%)、2, 2, 4-三甲基-1, 3-戊二醇双异丁酸酯 (8.55%)、乙酸丁酯 (6.72%)、2-辛酮 (5.96%) 等气味物质具有较高的相对峰面积含量, 而样品 A2 中主要气味物质是乙酸丁酯 (15.43%) 和丙烯酸丁酯

(9.72%) 等, 样品 A3 中的主要气味物质是丙酸异丁酯 (34.97%) 和丙酸丁酯 (11.25%)。

乙酸丁酯、丙酸异丁酯、丙酸丁酯和丁酸丁酯可能是来自胶黏剂样品中的溶剂残留, 常表现出愉悦的水果味、甜味或花香味等气味特征。此外, 较低的气味阈值会使得这些酯类化合物容易被感知察觉到, 因此多数酯类气味物质作为残留单体或聚合物分散体时, 胶黏剂就会表现出不愉快的强烈气味。此外, 加工过程可能会形成一些未知的丙烯酸酯物质, 从而影响聚合物分散体和终产品的气味特性^[4]。丙烯酸异辛酯具有令人愉悦的气味特征, 但是该物质被列入了减少使用的物质, 以确保生产油墨和油漆中残留量不会超过法规限量。一些芳香烃化合物, 比如间二甲苯、乙苯等, 通常表现出刺激的芳香气味。

研究中, 将 ROAV 大于 10 的气味物质作为胶黏剂样品的主要气味贡献物质^[15], 见图 4。2-己酮、丙酸异丁酯、3-甲基-4-庚酮、丙酸丁酯和 2, 2, 4-三甲基-1, 3-戊二醇双异丁酸酯等均是样品 A1 的主要气味来源, 其中 2, 2, 4-三甲基-1, 3-戊二醇双异丁酸酯具有最高的 ROAV, 表现出一种霉味特征。然而, 样品 A2 的气味主要是由于 3-甲基-4-庚酮 (ROAV 为 100) 的水果味、丙酸异丁酯的甜味或水果味, 或乙苯的强烈芳香气味特征引起的, 从而组成了样品 A2 轻微刺鼻的复杂气味。样品 A3 的主要气味物质与样品 A2 中的物质相似, 丙酸异丁酯的 ROAV 最大。

综上所述, 3 种胶黏剂样品的气味特征不同, 样品 A3 和样品 A1 的气味分别表现出最高和最低的强度。感官评价结果与气味物质检测的结果具有一致性, 能够相互解释验证。值得注意的是, 样品 A2 和 A3 的结果差异原因可能是 ROAV 是以气味物质的气味阈值和残留量为计算指标, 而在文中仅以相对峰面积进行气味物质半定量, 容易带来气味分析结果的不确定性。感官评价和 HS-GC-MS 方法能够成为分析胶黏剂样品中气味物质来源的有效方法, 同时还需要注意感官评价和物质定量分析的准确性。

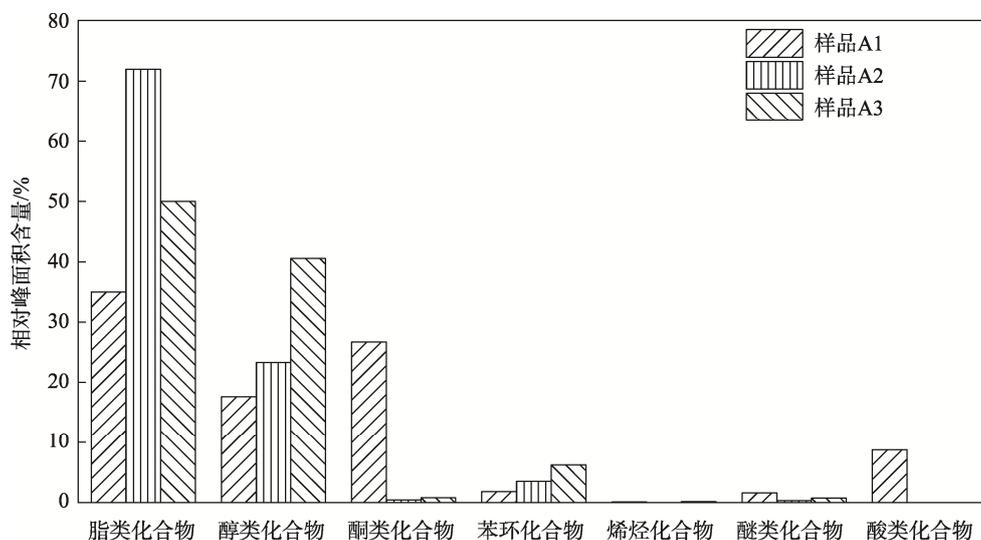


图3 胶黏剂样品中的不同种类挥发性化合物的相对峰面积含量

Fig.3 Relative peak area content of different volatile compounds in adhesive samples

表 2 3 种胶黏剂样品中气味物质的分析
 Tab.2 Analysis of odour substances in three adhesive samples

编号	化合物	CAS	气味特性 ^[5]	气味阈值 ^[8] / (mg·m ⁻³)	A1		A2		A3		
					相对峰面 积含量/%	ROAV	相对峰面 积含量/%	ROAV	相对峰面 积含量/%	ROAV	
1	乙酸丁酯	123-86-4	水果味、甜味	0.7	6.72±0.222	1.57	15.43±0.129	19.08	0.31±0.030	0.14	
2	丙酸异丁酯	540-42-1	菠萝味	0.11	8.55±0.407	12.73	9.38±0.115	73.80	34.97±3.402	100.00	
3	丙酸丁酯	590-01-2	甜味、红果、 草莓味	0.19	4.61±0.115	3.97	9.72±0.022	44.28	11.25±0.592	18.62	
酯类	4	丁酸异丁酯	539-90-2	甜味、水果、 苹果或草莓味	0.009 4	0.00±0.007	0.08	0.08±0.003	7.29	0.06±0.002	2.08
	5	丁酸丁酯	109-21-7	花香味	0.028	3.89±0.256	22.74	2.29±0.021	70.90	3.01±0.075	33.78
	6	丙烯酸异 辛酯	103-11-7	愉悦气味	0.55	—	—	0.01±0.001	0.01	0.18±0.013	0.10
	7	2,2,4-三甲 基-1,3-戊 二醇双异丁 酸酯	6846-50-0	霉味	0.014	8.55±0.878	100.00	—	—	—	—
醇类	8	2-甲基-1- 戊醇	105-30-6	甜味、水果味	0.10	1.96±0.249	3.20	0.04±0.000	0.37	0.01±0.001	0.03
	9	正己醇	111-27-3	香蕉、花草味	0.034	0.08±0.040	0.37	0.08±0.002	2.09	0.01±0.002	0.08
	10	2-乙基己醇	104-76-7	油脂味、轻微 花香	0.8	0.26±0.031	0.05	—	—	1.50±0.092	0.59
酮类	11	2-己酮	591-78-6	丙酮气味	0.098	19.29±0.785	32.22	0.03±0.001	0.25	0.02±0.002	0.07
	12	环戊酮	120-92-3	石油、薄荷味	31	0.22±0.062	0.00	0.07±0.012	0.00	0.05±0.080	0.00
	13	3-甲基-4- 庚酮	15726-15-5	水果味	0.001 8	0.23±0.049	20.85	0.21±0.002	100.00	0.50±0.019	87.27
	14	2-辛酮	111-13-7	脂肪的、芳香 的、霉味	0.23	5.96±0.166	4.24	0.06±0.005	0.22	0.01±0.001	0.01
醛类	15	糠醛	98-01-1	杏仁、烤土 豆味	2.8	0.05±0.027	0.00	0.03±0.002	0.01	0.09±0.006	0.01
	16	苯甲醛	100-52-7	苦杏仁、焦糖、 樱桃、麦芽、 烤椒味	0.085	0.34±0.045	0.65	0.19±0.006	1.95	0.67±0.056	2.49
苯类	17	甲苯	108-88-3	甜的、刺鼻的、 苯味	0.30	0.31±0.044	0.17	0.93±0.005	2.68	0.28±0.005	0.29
	18	乙苯	100-41-4	芳香味	0.026	1.11±0.019	6.96	2.01±0.013	66.91	4.05±0.199	49.01
	19	间二甲苯	108-38-3	芳香味	0.18	0.03±0.013	0.02	0.19±0.002	0.93	0.18±0.015	0.32
	20	邻二甲苯	95-47-6	芳香味	1.6	0.27±0.018	0.03	0.09±0.001	0.05	0.61±0.007	0.12
	21	异丙苯	98-82-8	芳香味	0.041	0.04±0.023	0.16	0.13±0.003	2.69	0.55±0.045	4.25
	22	正丙苯	103-65-1	甜的、刺鼻的、 苯味	0.019	0.05±0.015	0.39	0.10±0.002	4.33	0.42±0.034	6.93

注：“—”表示物质未检出。

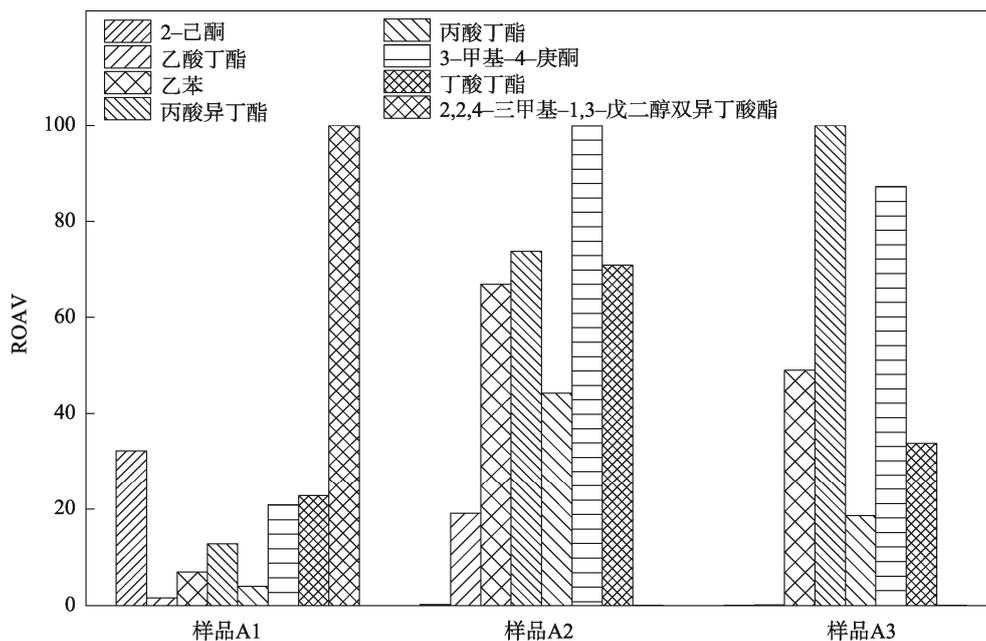


图4 胶黏剂样品中关键气味物质 (ROAV>10) 及其相对气味活性值
Fig.4 Key odour substances (ROAV>10) and ROAV in adhesive samples

3 结语

文中通过静态顶空-气相色谱质谱联用结合感官评价方法分析 3 种常用于纸包装材料胶黏剂样品中的挥发性气味物质。感官评价结果表明, 3 种胶黏剂表现出差异的气味强度和特征。利用 HS-GC-MS 方法可在 3 种样品中初步定性出 45 种挥发性化合物, 包括以酯类、酮类、醇类、芳香烃和烷烃类等化合物。其中, 酯类化合物在 3 种样品中的相对峰面积含量最大, 分别为 35.00%, 72.00%和 50.00%。2, 2, 4-三甲基-1, 3-戊二醇双异丁酸酯常用作聚结助剂, 是样品 A1 的主要气味贡献物质; 而样品 A2、A3 的主要气味特征是 3-甲基-4-庚酮的水果味、丙酸异丁酯的甜味和乙苯的刺激气味, 可能来自于胶黏剂样品中的溶剂残留。文中为分析胶黏剂的气味问题提供了快速的实验方法, 为研究和改善胶黏剂气味问题提供了借鉴。

参考文献:

- [1] VERA P, ULIAQUE B, CANELLAS E, et al. Identification and Quantification of Odorous Compounds from Adhesives Used in Food Packaging Materials by Headspace Solid Phase Extraction and Headspace Solid Phase Microextraction Coupled to Gas Chromatography-Olfactometry-Mass Spectrometry[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2012, 745: 53-63.
- [2] VERA P, CANELLAS E, NERÍN C. Migration of Odorous Compounds from Adhesives Used in Market Samples of Food Packaging Materials by Chromatography Olfactometry and Mass Spectrometry (GC-O-MS)[J]. *Food Chemistry*, 2014, 145: 237-244.
- [3] DENK P, BUETTNER A. Sensory Characterization and Identification of Odorous Constituents in Acrylic Adhesives[J]. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2017, 78: 182-188.
- [4] BAUER P, DENK P, FUSS J M, et al. Correlations between Odour Activity and the Structural Modifications of Acrylates[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2019, 411(21): 5545-5554.
- [5] JOHNSON A E, NURSTEN H E. Methods of Assessing the Odours of Glues (and Gelatines)[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 1971, 22(3): 149-155.
- [6] GB 9685—2016, 食品安全国家标准 食品接触材料及制品用添加剂使用标准[S].
GB 9685—2016, National Food Safety Standard — Standard for Uses of Additives in Food Contact Materials and Their Products[S].
- [7] CFR 175.300, Resinous and Polymeric Coatings[S].
- [8] DIN EN 1230—1, Paper and Board Intended to Come into Contact with Foodstuffs - Sensory Analysis - Part 1: Odour[S].
- [9] 张宜彩, 林勤保, 黄湛艳, 等. 顶空-气相色谱-质谱法结合保留指数分析食品包装用纸中挥发性气味成分[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(13): 268-273.
ZHANG Yi-cai, LIN Qin-bao, HUANG Zhan-yan, et al.

- Determination of Volatile Odor Compounds from Food Packaging Paper by Headspace Gas Chromatography-Mass Spectrometry Coupled with Retention Indices[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(13): 268-273.
- [10] FULLER J, WHITE D, YI Hui-jun, et al. Analysis of Volatile Compounds Causing Undesirable Odors in a Polypropylene High-Density Polyethylene Recycled Plastic Resin with Solid-Phase Microextraction[J]. Chemosphere, 2020, 260: 127589.
- [11] 宋雪超, 林勤保, 方红, 等. GC-MS 结合保留指数分析聚苯乙烯发泡餐盒中化学成分[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 198-202.
- SONG Xue-chao, LIN Qin-bao, FANG Hong, et al. Application of GC-MS Coupled with Retention Indices to Identify the Chemical Compounds of Polystyrene Food Container[J]. Food Science, 2016, 37(10): 198-202.
- [12] GEMERT L J V. Compilations of Odour Threshold Values in Air, Water and Other Media[M]. Second Enlarged and Revised Edition: Oliemans Punter & Partners BV, 2011.
- [13] 龙波. 高速纸盒包装胶黏剂的研制[J]. 粘接, 1999, 20(1): 17-18.
- LONG Bo. Preparation of Adhesive for Packing of Paper-Box at a High Speed[J]. Technology on Adhesion & Sealing, 1999, 20(1): 17-18.
- [14] 焦剑, 张爱波, 齐暑华. 复塑纸盒高速封口胶的研制[J]. 粘接, 2001, 22(5): 14-15.
- JIAO Jian, ZHANG Ai-bo, QI Shu-hua. Preparation of a Package Adhesive for Plastic/Paper Laminating Box[J]. Technology on Adhesion & Sealing, 2001, 22(5): 14-15.

责任编辑: 曾钰婵