

# 液相色谱法测定食品包装用油墨中 11 种光引发剂的含量

田野<sup>1</sup>, 王乐<sup>2\*</sup>, 王孜颖<sup>3</sup>, 陶琳<sup>3</sup>, 项海波<sup>4</sup>, 郭心迪<sup>5</sup>, 靳琳琳<sup>4</sup>, 黄平<sup>4</sup>

(1.淄博市张店区疾病预防控制中心, 山东 淄博 255020; 2.济南海关技术中心, 济南 255014;  
3.淄博海关综合技术服务中心, 山东 淄博 255086; 4.青岛海关技术中心, 山东 青岛 266000;  
5.哥伦比亚大学, 纽约 10027)

**摘要:** **目的** 建立油墨中光引发剂的检测方法, 从源头控制食品包装的安全。**方法** 油墨样品经乙酸乙酯和乙腈超声提取, 体积分数为 20% 的乙腈溶液定容, 固相萃取柱萃取后用乙腈定容, 使用液相色谱进行测定。**结果** 11 种成分在各自范围内线性关系良好 ( $R \geq 0.999 5$ ), 平均加样回收率为 90.0%~95.0%, 相对标准偏差 ( $n=6$ ) 小于 3.5%。**结论** 建立了液相色谱同时测定油墨中 2-甲基-1-(4-甲基硫代苯基)-2-(4-吗啉基)-1-丙酮、1-羟基环己基苯基酮、2-苯甲酰基苯甲酸甲酯、4-二甲氨基苯甲酸乙酯、4,4'-二(N,N-二甲氨基)二苯甲酮、安息香双甲醚、4-甲基二苯甲酮、4,4'-二(N,N-二乙氨基)二苯甲酮、对二甲氨基苯甲酸异辛酯、2-异丙基硫杂蒽酮、2,4-二乙基噻唑酮的方法。

**关键词:** 食品包装; 油墨; 光引发剂

**中图分类号:** TS802.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)23-0127-08

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.23.015

## Determination of 11 Photoinitiators in Ink for Food Packaging by High Performance Liquid Chromatography

TIAN Ye<sup>1</sup>, WANG Yue<sup>2\*</sup>, WANG Zi-ying<sup>3</sup>, TAO Lin<sup>3</sup>, XIANG Hai-bo<sup>4</sup>, GUO Xin-di<sup>5</sup>,  
JIN Lin-lin<sup>4</sup>, HUANG Ping<sup>4</sup>

(1. Disease Prevention and Control Center of Zhangdian District, Zibo, Shandong Zibo 255020, China;  
2. Technology Center of Jinan Customs, Jinan 255014, China; 3. Comprehensive Technical Service Center of Zibo Customs, Shandong Zibo 255086, China; 4. Technology Center of Qingdao Customs, Shandong Qingdao 266000, China;  
5. Columbia University, New York 10027, USA)

**ABSTRACT:** The work aims to establish a detection method of photoinitiator in ink to control the safety of food packaging from the source. The ink samples were extracted by ultrasonic with ethyl acetate and acetonitrile and subject to constant volume by the acetonitrile solution with a volume fraction of 20%. After extracted by solid phase extraction column, the samples were subject to constant volume with acetonitrile and determined by HPLC. The 11 components had good linear relationship within their respective ranges ( $R \geq 0.999 5$ ), the average recovery rate of sample addition was 90.0%~95.0%, and the relative standard deviation ( $n=6$ ) was less than 3.5%. A method is established, which can be used for the simultaneous determination of 2-methyl-1-(4-methylthiophenyl)-2-(4-morpholinyl)-1-acetone, 1-hydroxycyclohexylphenyl ketone, 2-benzoylbenzoate methyl ester, 4-dimethylaminobenzoate ethyl ester, 4,4'-bis (N, N-dimethylamino) benzophe-

收稿日期: 2023-04-13

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFF1100800); 海关总署科研项目(2020HK247); 山东省重点研发计划(2017GSF20116)

\*通信作者

none, benzoin dimethyl ether, 4-methylbenzophenone, 4,4'-bis (N,N-diethylamino) benzophenone, isooctyl p-dimethylaminobenzoate, 2-isopropylthioxanthone and 2,4-diethylthiazolidone in the ink.

**KEY WORDS:** food packaging; ink; photoinitiator

光引发剂作为油墨的主要成分广泛应用于食品包装中,而残留的光引发剂会在一定条件下通过化学迁移或者物理接触污染被包装物,潜在威胁人们的身体健康<sup>[1-4]</sup>。有研究证明<sup>[5]</sup>,2-异丙基硫杂蒽酮作为一种脂溶性化合物,与细胞磷脂层之间作用力较强,影响细胞膜的硬度和移动,从而对人体的内分泌产生影响,而4-甲基二苯甲酮也被证实具有生殖毒性、皮肤毒性和致癌性<sup>[6]</sup>。

为此,欧盟、中国等国家相继出台了针对光引发剂的限制要求。2007年,在ResAP(2002) I决议《关于拟与食品接触的纸和纸板材料及制品》中,4,4'-双(二甲基氨基)二苯甲酮和4,4'-双(二乙基氨基)二苯甲酮被欧盟禁止使用<sup>[7]</sup>。在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》<sup>[8]</sup>规定油墨中对2,4-二羟基二苯甲酮的特定迁移量(SML)为6 mg/kg。2016年,中国环境保护部颁布了环境标准HJ 2542—2016《环境标志产品技术要求 胶印油墨》,该标准明确规定二苯甲酮、异丙基硫杂蒽酮、2-甲基-1-[(4-甲基硫代)苯基]-2-(4-吗啉基)-1-丙酮不能作为光引发剂添加到能量固化油墨中<sup>[9]</sup>。

目前文献报道较多的是有关食品或者食品包装中光引发剂中的检测方法<sup>[10-13]</sup>,但对油墨中光引发剂的检测方法研究较少。为保证食品包装的安全,很有必要从原材料进行控制,建立食品包装用油墨中多种光引发剂的检测方法。本实验通过对光引发剂在液相色谱柱上分离条件及紫外吸收光谱的研究,对样品前处理条件进行优化,建立油墨中11种光引发剂的高效液相色谱检测方法。

## 1 实验

### 1.1 仪器、试剂与材料

主要仪器:高效液相色谱仪 Agilent 1100 配备有 DAD 检测器(美国 Agilent 公司); AE260 电子分析天平(0.000 1 g, 瑞士 Mettler 公司); MS3 basic 涡旋混合器(德国 IKA 公司); KQ-100E 超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); Milli-Q Biocel A10 超纯水制备仪(美国 Millipore 公司); 离心机, 转速 $\geq$  6 000 r/min,

主要试剂与材料: 11 种光引发剂标准物质包括 2-甲基-1-(4-甲基硫代苯基)-2-(4-吗啉基)-1-丙酮

(IPs 1, C<sub>15</sub>H<sub>21</sub>NO<sub>2</sub>S, CAS: 71868-10-5)、1-羟基环己基苯基酮 (IPs 2, C<sub>13</sub>H<sub>16</sub>O<sub>2</sub>, CAS: 947-19-3)、2-苯甲酰基苯甲酸甲酯 (IPs 3, C<sub>15</sub>H<sub>12</sub>O<sub>3</sub>, CAS: 606-28-0)、4-二甲氨基苯甲酸乙酯 (IPs 4, C<sub>11</sub>H<sub>15</sub>NO<sub>2</sub>, CAS: 10287-53-3)、4,4'-二(N,N-二甲氨基)二苯甲酮 (IPs 5, C<sub>17</sub>H<sub>20</sub>N<sub>2</sub>O, CAS: 90-94-8)、安息香双甲醚 (IPs 6, C<sub>16</sub>H<sub>16</sub>O<sub>3</sub>, CAS: 24650-42-8)、4-甲基二苯甲酮 (IPs 7, C<sub>14</sub>H<sub>12</sub>O, CAS: 134-84-9)、4,4'-二(N,N-二乙基氨基)二苯甲酮 (IPs 8, C<sub>21</sub>H<sub>28</sub>N<sub>2</sub>O, CAS: 90-93-7)、对二甲氨基苯甲酸异辛酯 (IPs 9, C<sub>17</sub>H<sub>27</sub>NO<sub>2</sub>, CAS: 21245-02-3)、2-异丙基硫杂蒽酮 (IPs 10, C<sub>16</sub>H<sub>14</sub>OS, CAS: 5495-84-1)、2,4-二乙基噻唑酮 (IPs 11, C<sub>17</sub>H<sub>16</sub>OS, CAS: 82799-44-8); 乙酸乙酯、乙腈、甲醇(色谱纯, 上海 CNW 公司); 固相萃取柱, 装填量为 200 mg/6 mL, Oasis PRiME HLB 小柱或效果相当者。

### 1.2 试验方法

称取 0.5 g (精确到 0.000 1 g) 试样于 10 mL 具塞离心管中, 加 1 mL 乙酸乙酯, 涡旋混匀 1 min, 加入 9 mL 乙腈, 超声波提取 10 min, 以 6 000 r/min 离心 5 min, 取 5 mL 上清液转移至 50 mL 比色管中, 并用体积分数为 20% 的乙腈溶液稀释至 50 mL, 待固相萃取柱净化。

依次用 3 mL 甲醇、3 mL 水活化, 弃去流出液; 将 50 mL 待净化液移入固相萃取柱, 控制液体流速不超过 1 滴/s; 待样液完全流出后, 用 3 mL 水、3 mL 体积分数为 10% 的乙腈溶液洗涤, 继续保持液体流速为 1 滴/s; 直到柱中液体完全排出后, 用 4 mL 乙腈洗脱, 收集洗脱液, 将洗脱液于 35 °C 水浴中氮吹浓缩至近干, 用乙腈定容至 1.0 mL, 溶液过 0.22 μm 有机相滤膜得到试样待测液。

### 1.3 液相色谱分析条件

Thermo scientific Hypersil Gold 柱 (4.6 mm×250 mm, 5.0 μm), 柱温为 30 °C; 流动相为水 (A)-乙腈 (B), 流速为 1.0 mL/min, 进样量为 10 μL; 二极管阵列检测器 (DAD), 检测波长为 260、360、320 nm。梯度洗脱程序为 0~10 min, 45% (A)~30% (A); 10~15 min, 30% (A); 15~18 min, 30% (A)~20% (A); 18~23 min, 20% (A)~45% (A)。

## 2 结果与分析

### 2.1 前处理条件的优化

光引发剂属于低极性化合物, 提取溶剂宜选用有机溶剂, 文献报道的提取溶剂以乙腈和乙酸乙酯为主<sup>[14-16]</sup>, 而强溶剂乙酸乙酯中的油墨高分子聚合物基体进入色谱中, 色谱图的峰形拖尾严重, 而溶剂置换费时费力还容易造成目标物的损失。本研究采用乙酸乙酯溶解、乙腈为沉淀剂将基质杂质等聚合物除去。此外, 为提高目标物的准确度和精密度, 本实验选用固相萃取柱进行富集。根据光引发剂的极性, 选择 HLB 柱和 PEP 柱进行比较。结果表明, HLB 柱的回收率为 90.4%~98.4%, 而 PEP 柱的回收率为 85.4%~92.3%, 对同一种目标物, HLB 的回收率大于 PEP 柱。因此, 选择填料类型为 N-乙基吡咯烷酮和二乙烯基苯亲水亲脂平衡性填料的 HLB 柱性能更优。

### 2.2 色谱条件的优化

文献报道<sup>[10-13]</sup>食品包装中光引发剂中的检测方法有液相色谱质谱法、气相色谱质谱法等, 这些检测方法虽检出限较低, 但成本和费用较高, 生产企业配备较少。考虑到油墨中的光引发剂较食品包装中的含量高, 本研究选择普及率高以及费用低的液相色谱-DAD 检测器法, 能实现光引发剂的定性和定量, 方法推广应用价值高。

光引发剂易溶于甲醇和乙腈, 微溶于水, 选择反相色谱常用的乙腈-水和甲醇-水体系进行考察。结果表明, 乙腈-水体系流动相灵敏度更高, 峰形尖锐不拖尾, 分离度更好。优化条件下, 11 种光引发剂的液相色谱图见图 1。

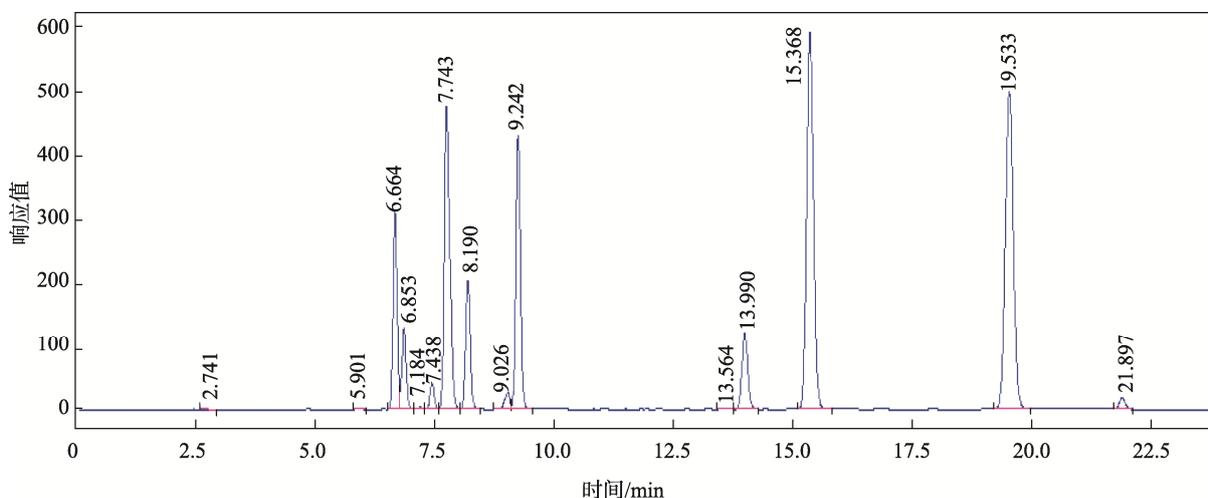


图 1 IPs 1~IPs 11 液相色谱图 (260 nm)

Fig.1 HPLC diagram of IPs 1~IPs 11 (260 nm)

### 2.3 检测波长的选择

使用 DAD 检测器对 11 种光引发剂标准品进行全波长扫描, 得到图 2。IPs 1、IPs 2、IPs 3、IPs 4、IPs 8、IPs 9、IPs 10 的最大吸收波长为 260 nm, IPs 6、IPs 7、IPs 11 的最大吸收波长为 320 nm, IPs 5 的最大吸收波长为 360 nm。根据需要, 选择 260、320 和 360 nm 作为检测波长。

### 2.4 标准曲线及检出限、定量限

分别配制含有 IPs 1~IPs 11 系列标准溶液, 在优化实验条件下依次进样, 以峰面积为纵坐标 ( $y$ ), 质量浓度为横坐标 ( $x$ ), 绘制样品浓度与峰面积的标准曲线。以信噪比 ( $S/N=3$ ) 方法确定 IPs 1~IPs 11 的检出限, 以 10 倍信噪比确定 IPs 1~IPs 11 的定量限 ( $S/N=10$ ), 结果见表 1。

### 2.5 加标回收率和精密度

以空白油墨样品加标使基质中光引发剂最终含量为定量限、2 倍定量限和 10 倍定量限, 按照 2.1 节前处理方法和 2.2 节色谱条件进行加标回收实验, 重复 6 次。计算 IPs 1~IPs 11 的加标回收率和相对标准偏差 (RSD), 结果见表 2。

### 2.6 实际样品测定

用本方法对市售 10 份油墨样品进行 11 种光引发剂的测定。从检测结果看, 1 份样品中检出 4,4'-(N,N-二乙氨基)二苯甲酮、1 份样品中检出 2,4-二乙基噻唑酮、2 份样品中检出 2-异丙基硫杂蒽酮、2 份样品中检出对二甲氨基苯甲酸异辛酯, 其余样品为阴性样品, 典型色谱图见图 3。结果表明, 本方法测定油墨样品中的 11 种光引发剂, 能一次性将光引发剂进行有效分离, 重现性高, 分离速度快。

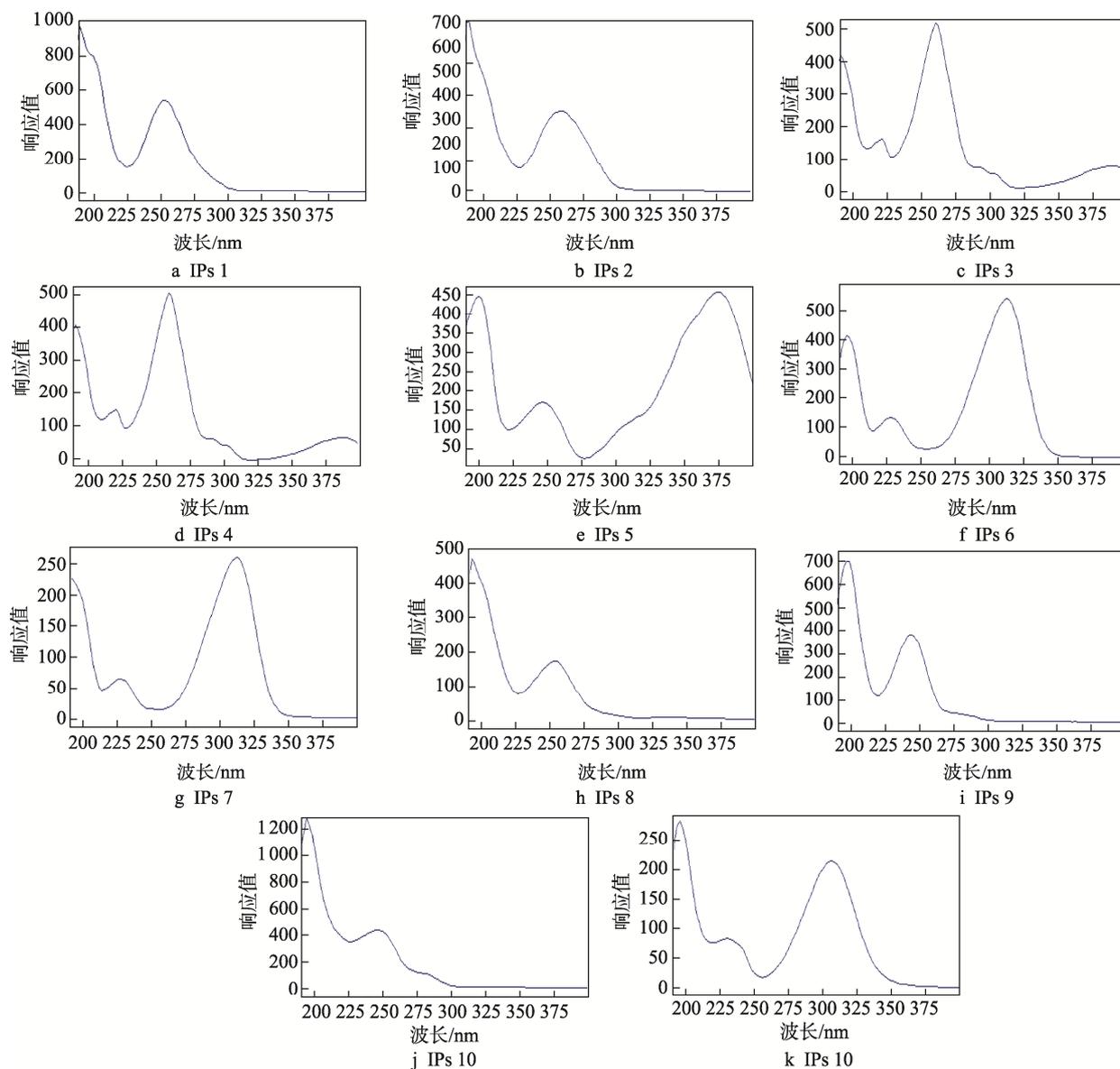


图2 11种光引发剂 (IPs 1~IPs 11) 全波长扫描图  
Fig.2 Full wavelength scanning image of 11 photoinitiators (IPs 1 to IPs 11)

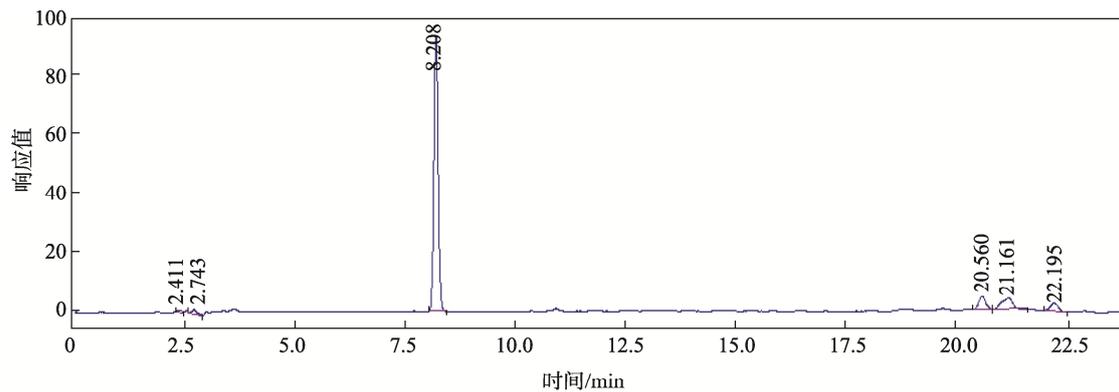
表1 IPs 1~IPs 11 的线性回归方程、相关系数、线性范围及检出限

Tab.1 Linear regression equation, correlation coefficient, linear range, and detection limit for IPs 1 to IPs 11

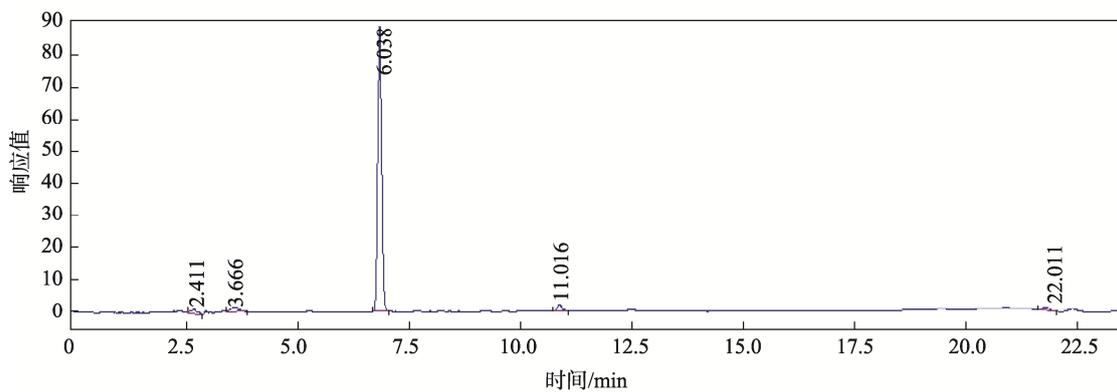
化合物	回归方程	相关系数 $R^2$	线性范围/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	检出限/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	定量限/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
IPs 1	$y=58.66x+21.12$	0.999 9	0.13 ~ 74.12	0.16	0.53
IPs 2	$y=59.55x+9.19$	0.999 9	0.30 ~ 86.73	0.36	1.2
IPs 3	$y=112.99x+26.84$	0.999 9	0.10 ~ 72.76	0.12	0.4
IPs 4	$y=109.68x+27.12$	0.999 9	0.33 ~ 90.25	0.4	1.33
IPs 5	$y=17.17x+36.44$	0.999 5	0.33 ~ 89.42	0.4	1.33
IPs 6	$y=60.71x+11.53$	0.999 9	0.07 ~ 70.26	0.08	0.27
IPs 7	$y=35.58x+11.48$	0.999 9	0.17 ~ 73.12	0.2	0.67
IPs 8	$y=26.41x+2.62$	0.999 9	0.40 ~ 94.54	0.48	1.6
IPs 9	$y=19.27x+4.92$	0.999 9	0.53 ~ 95.12	0.64	2.13
IPs 10	$y=38.53x+5.16$	0.999 9	0.23 ~ 80.40	0.28	0.93
IPs 11	$y=24.05x+1.03$	1	0.20 ~ 78.46	0.24	0.8

表 2 加样回收及精密度数据 ( $n=6$ )  
 Tab.2 Recovery and precision data of sample addition ( $n=6$ )

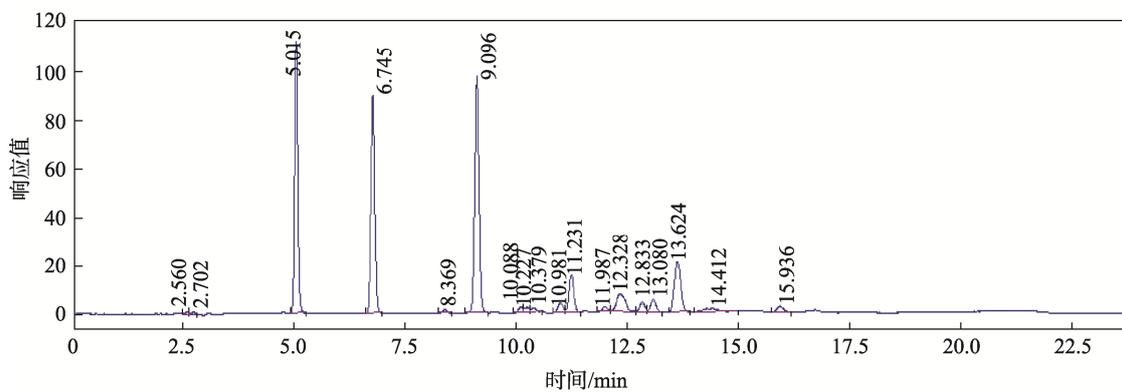
化合物	加标浓度/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	测定平均浓度/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	平均回收率/%	RSD 值 ( $n=6$ ) /%
IPs 1 (2-甲基-1-(4-甲基硫代苯基)-2-(4-吗啉基)-1-丙酮)	0.53	0.48	89.6	5.4
	1.06	0.96	90.6	4.9
	5.30	4.86	91.7	4.6
IPs 2 (1-羟基环己基苯基酮)	1.20	1.08	90.0	4.3
	2.40	2.17	90.4	4.1
	12.00	10.98	91.5	3.8
IPs 3 (2-苯甲酰基苯甲酸甲酯)	0.40	0.35	87.5	6.3
	0.80	0.72	90.0	6.0
	4.00	3.62	90.5	4.6
IPs 4 (4-二甲氨基苯甲酸乙酯)	1.33	1.21	90.9	5.1
	2.66	2.43	91.3	5.2
	13.30	12.28	92.3	3.2
IPs 5 (4,4'-二(N,N-二甲氨基)二苯甲酮)	1.33	1.19	89.5	6.2
	2.66	2.42	90.9	5.8
	13.30	12.22	91.9	5.2
IPs 6 (安息香双甲醚)	0.27	0.24	88.9	6.8
	0.54	0.49	90.7	5.4
	2.70	2.43	90.0	5.6
IPs 7 (4-甲基二苯甲酮)	0.67	0.60	89.6	5.8
	1.34	1.21	90.3	5.2
	6.70	6.03	90.0	3.9
IPs 8 (4,4'-二(N,N-二乙氨基)二苯甲酮)	1.60	1.46	91.2	5.2
	3.20	3.01	94.1	6.3
	16.00	14.46	90.4	4.5
IPs 9 (对二甲氨基苯甲酸异辛酯)	2.13	1.91	89.7	5.1
	4.26	3.98	93.4	4.8
	21.30	20.10	94.4	3.6
IPs 10 (2-异丙基硫杂蒽酮)	0.93	0.83	89.2	4.9
	1.86	1.68	90.3	4.2
	9.30	8.61	92.6	4.4
IPs 11 (2,4-二乙基噻唑酮)	0.80	0.73	91.2	5.3
	1.60	1.44	90.0	3.9
	8.00	7.35	91.9	3.6



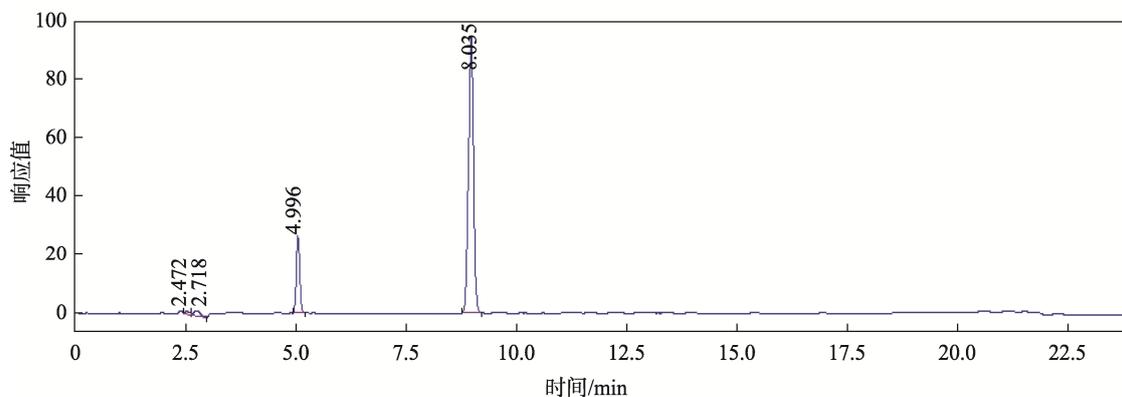
a 检出4,4'-二(N,N-二乙氨基)二苯甲酮的样品



b 检出对二甲氨基苯甲酸异辛酯的样品



c 检出2-异丙基硫杂萘酮的样品



d 检出2,4-二乙基噻唑酮的样品

图3 典型样品色谱图  
Fig.3 Typical sample chromatogram

### 3 结语

本研究针对油墨中的风险物质-光引发剂, 通过液相色谱建立了食品包装用油墨中 11 种光引发剂的检测方法, 能够准确地对 11 种光引发剂进行定性、定量。分析结果表明, 11 种成分在各自范围内线性关系良好 ( $R \geq 0.9995$ ), 定量限为 0.27~2.13 mg/kg, 平均加样回收率为 90.0%~95.0%, 相对标准偏差 ( $n=6$ ) 小于 3.5%。选取市售 10 份油墨样品进行检测, 检出阳性样品 6 份, 满足实际样品的检测需求。此方法精密度高、费用低、推广应用价值高, 既能用于生产企业的自检自控, 提高产品质量, 也满足现有食品包装中油墨相关限量的要求, 用于油墨的安全检验监管。

#### 参考文献:

- [1] SANCHES-SILVA A, ANDRE C, CASTANHEIRA I, et al. Study of the Migration of Photoinitiators Used in Printed Food-Packing Materials into Food Simulants[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(20): 9516-9523.
- [2] RHODES M C, BUCHER J R, PECKHAM J C, et al. Carcinogenesis Studies of Benzophenone in Rats and Mice[J]. Food & Chemical Toxicology An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association, 2007, 45(5): 843-851.
- [3] HSIEH M, GRANTHAM E, B, MACAPAGAL R, et al. In Utero Exposure to Benzophenone-2 Causes Hypospadias Through an Estrogen Receptor Dependent Mechanism[J]. Journal of Urology, 2007, 178(2):1637
- [4] COOK N, FREEMAN S. Report of 19 Cases of Photoallergic Contact Dermatitis to Sunscreens Seen at the Skin and Cancer Foundation[J]. Australasian Journal of Dermatology, 2001, 42(4): 257-259.
- [5] GIANNI A D, BONGIOVANNI R, PRIOLA A, et al. UV-Cured Fluorinated Coatings for Plastics: Effect of the Photoinitiator and of the Substrate Filler on Adhesion[J]. International Journal of Adhesion and the Adhesives, 2004, 24(6): 513-518.
- [6] BARNES K A, SINCLAIR C R, WATSON D H. Chemical Migration and Food Contact Materials[M]. Oxford: CRC Press, 2007.
- [7] Policy Statement Concerning Paper and Board Materials and Articles Intended to Come into Contact with Foodstuffs of 02 December 2009[EB/OL]. [2009-12-02]. <http://www.foodcontactmaterials.com/materials/policy%20document%20paper.pdf>
- [8] 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 Standards for the Use of Additives for Food Contact Materials and Products[S].
- [9] 徐莹. 食品包装行业中 UV 油墨光引发剂的危害、法规要求及其替代[J]. 绿色包装, 2017(10): 54-58.  
XU Ying. Hazards, Regulations and Alternatives of UV Ink Photoinitiators in Food Packaging Industry[J]. Green Packaging, 2017(10): 54-58.
- [10] 袁琳嫣, 杨建平, 赵镭. 液相色谱-串联质谱法检测纸质食品接触材料印刷 UV 油墨中 18 种光引发剂的残留量[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(4): 1065-1071.  
YUAN Lin-yan, YANG Jian-ping, ZHAO Lei. Determination of 18 Photoinitiator Residues in Paper-Made Food Packaging Materials with Printing UV-Ink by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(4): 1065-1071.
- [11] 李中皓, 唐纲岭, 王庆华, 等. 超高效液相色谱法测定卷烟包装纸中的二苯甲酮和 4-甲基二苯甲酮[J]. 现代食品科技, 2011, 27(10): 1276-1280.  
LI Zhong-hao, TANG Gang-ling, WANG Qing-hua, et al. Determination of Benzophenone and 4-Methylbenzophenone Residual Content in Cigarette Packing Paper by Ultra Performance Liquid Chromatography[J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(10): 1276-1280.
- [12] 王红松, 周志荣, 陈明, 等. 气相色谱-质谱法同时测定 UV 油墨中的紫外光引发剂二苯甲酮和 4-甲基二苯甲酮[J]. 检验检疫学刊, 2012, 22(2): 34-37.  
WANG Hong-song, ZHOU Zhi-rong, CHEN Ming, et al. Simultaneous Determination of Ultraviolet Initiator Benzophenone and 4-Methyl Benzophenone in UV Printing Ink by GC-MS[J]. Quality Safety Inspection and Testing, 2012, 22(2): 34-37.
- [13] 王玉, 李莹, 李海山, 等. 气相色谱-质谱法同时测定

- 环保型烟标胶印紫外光固化油墨中 10 种光引发剂的残留量[J]. 理化检验-化学分册, 2022, 58(2): 161-165.
- WANG Yu, LI Ying, LI Hai-shan, et al. Simultaneous Determination of Residues of 10 Photoinitiators in Ultraviolet Curing Offset Ink for Eco-Friendly Cigarette Labels by Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2022, 58(2): 161-165.
- [14] 刘艳, 张强, 顾华, 等. 气相色谱-质谱同时测定食品包装材料中 9 种光引发剂[J]. 分析科学学报, 2017, 33(6): 812-816.
- LIU Yan, ZHANG Qiang, GU Hua, et al. Simultaneous Determination of Nine Photoinitiators in Food Packaging Materials by GC-MS[J]. Journal of Analytical Science, 2017, 33(6): 812-816.
- [15] 姬厚伟, 张丽, 刘剑, 等. 食品及食品包装材料中光引发剂分析方法的研究进展[J]. 理化检验-化学分册, 2017, 53(2): 242-248.
- JI Hou-wei, ZHANG Li, LIU Jian, et al. Recent Progress of Research of Analytical Methods for Photoinitiators in Food and Food Packaging Materials[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2017, 53(2): 242-248.
- [16] 沈东旭, 练鸿振, 丁涛, 等. 光引发剂残留分析研究进展[J]. 岩矿测试, 2011, 30(1): 104-109.
- SHEN Dong-xu, LIAN Hong-zhen, DING Tao, et al. A Review on the Analysis of Photoinitiator Residues[J]. Rock and Mineral Analysis, 2011, 30(1): 104-109.

责任编辑: 曾钰婵