

# 高效液相色谱法测定聚氯乙烯固体药用硬片中17种添加剂

饶艳春,熊马剑,汪元亮,左军凤,常亮\*

(江西省药品检验检测研究院 国家药品监督管理局中成药质量评价重点实验室

江西省药品与医疗器械质量工程技术研究中心,江西 南昌 330029)

**摘要:**利用高效液相色谱(HPLC)同时测定聚氯乙烯(PVC)固体药用硬片中17种添加剂(9种紫外吸收剂、3种抗氧化剂和5种塑化剂),采用乙腈超声萃取, Titank C18 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)分离,以甲醇-0.1% 甲酸水溶液为流动相梯度洗脱,流速1.0 mL/min,柱温30 °C,二极管阵列检测器进行检测,外标法定量。结果表明:17种添加剂在相应浓度范围内线性关系良好,相关系数( $R^2$ )>0.999,检出限为0.12~0.78 μg/g,定量限为0.24~2.61 μg/g,平均回收率为88.45%~103.87%、相对标准偏差(RSD%,  $n=9$ )为1.21%~3.78%。该方法操作简单、精密度好、准确度高,适用于同时检测PVC固体药用硬片中17种添加剂,可以为分析塑料硬片中添加剂提供技术支持。

**关键词:**高效液相色谱;PVC固体药用硬片;紫外吸收剂;抗氧化剂;塑化剂

中图分类号:O657.63;TQ325.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3360(2023)06-0053-06

DOI:10.15925/j.cnki.issn1005-3360.2023.06.013

## Determination of 17 Kinds of Additives in PVC Sheet for Solid Preparation by HPLC

RAO Yan-chun, XIONG Ma-jian, WANG Yuan-liang, ZUO Jun-feng, CHANG Liang\*

(Jiangxi Institute for Drug Control, NMPA Key Laboratory of Quality Evaluation of Traditional Chinese Patent Medicine,

Jiangxi Province Engineering Research Center of Drug and Medical Device Quality, Nanchang 330029, China)

**Abstract:** A high performance liquid chromatography (HPLC) method was developed for the simultaneous determination of 17 kinds of additives (nine kinds of ultraviolet absorbers, three kinds of antioxidants and five kinds of plasticizers) in polyvinyl chloride (PVC) sheet for solid preparation. The samples were ultrasonically extracted with acetonitrile, and separated on a Titank C18 column (250 mm×4.6 mm, 5 μm) with a mobile phase of methanol-0.1% formic acid aqueous solution by gradient elution. The flow rate was 1.0 mL/min, the column temperature was 30 °C, the diode array detector was used, and the external standard method was used for quantification. The results show that 17 kinds of additives have a good linear relationship in the respective linear range, and the correlation coefficients ( $R^2$ ) are all greater than 0.999. The detection limits are 0.12~0.78 μg/g, and the quantitative limits are 0.24~2.61 μg/g. The average recoveries are 88.45%~103.87%, and the relative standard deviations (RSD%,  $n=9$ ) are 1.21%~3.78%. The method is simple, precise and accurate. It is suitable for the simultaneous detection of 17 kinds of additives in PVC sheet for solid preparation and provides technical support for the analysis of additives in plastic hard sheets.

**Key words:** High performance liquid chromatography; PVC sheet for solid preparation; Ultraviolet absorbers; Antioxidants; Plasticizer

聚氯乙烯(PVC)固体药用硬片是药品泡罩包装材料, 主要用于胶囊、片剂、丸剂等制剂包装<sup>[1]</sup>。PVC固体药用硬

收稿日期:2023-01-11

基金项目:江西省药品监督管理局科研项目(2021KY01)

\*联系人,823934680@qq.com

引用本文:饶艳春,熊马剑,汪元亮,等.高效液相色谱法测定聚氯乙烯固体药用硬片中17种添加剂[J].塑料科技,2023,51(6):53-58.

Citation: Rao Y C, Xiong M J, Wang Y L, et al. Determination of 17 kinds of additives in PVC sheet for solid preparation by HPLC[J]. Plastics Science and Technology, 2023, 51(6): 53-58.

片以PVC树脂为原料,生产中常加入紫外吸收剂、抗氧化剂<sup>[2]</sup>和塑化剂等添加剂,以改善其物理、机械和加工性能。包装与药品接触过程中,添加剂可能迁移至药品中,影响药品安全<sup>[3-4]</sup>。研究表明,酚类抗氧化剂具有弱雌激素效应,可以在人体内蓄积并干扰人体内分泌系统,危害人体健康<sup>[5]</sup>。苯并三唑类紫外吸收剂具有一定的生理毒性和生物累积性,导致甲状腺系统和脂肪酸代谢失衡<sup>[6]</sup>。邻苯二甲酸酯类(PAEs)塑化剂是一种环境激素,可干扰人体激素的平衡,影响人体正常生长发育<sup>[7]</sup>。欧盟、美国等已将PAEs列为优先控制污染物<sup>[8]</sup>,我国《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》(GB 9685—2016)和欧盟《食品接触塑料法规》(EU10/2011)均对食品接触塑料中紫外吸收剂、抗氧化剂和塑化剂等添加剂进行监管<sup>[9-10]</sup>,规定了允许使用的添加剂品种及使用限量。目前紫外吸收剂等添加剂的检测方法包括高效液相色谱法、液相色谱质谱联用法、气相色谱质谱联用法等<sup>[11-14]</sup>,主要是检测单一类别的化合物。鲁素雅等<sup>[15]</sup>采用高效液相色谱法同时测定化妆品中9种二苯甲酮类紫外吸收剂。余秋玲等<sup>[16]</sup>采用超高效液相色谱-串联质谱法对药用胶塞中的抗氧化剂进行筛查。PVC固体药用硬片中除紫外吸收剂外,还有抗氧化剂、塑化剂等其他添加剂,使用现有检测方法不能同时测定,需要分多次才能够完成,方法复杂。

本实验通过优化样品提取和色谱分离条件,采用高效液相色谱(HPLC)法同时测定PVC固体药用硬片中17种添加剂,并将其用于实际样品的检测。

## 1 实验部分

### 1.1 主要材料

19批PVC固体药用硬片(编号为1~19),来自6家药包材生产企业;邻苯二甲酸二甲酯(DMP),纯度 $\geq 99.0\%$ 、邻苯二甲酸二乙酯(DEP),纯度 $\geq 99.5\%$ 、邻苯二甲酸苄基丁基酯(BBP),纯度98.0%、邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯(DEHP),纯度98.0%,Stanford Chemicals公司;邻苯二甲酸二正辛酯(DNOP),纯度98.7%,中国食品药品检定研究院;三(3,5-二叔丁基-4-羟苯基)异氰尿酸酯(抗氧化剂3114),纯度98%,麦克林公司;2,4-二羟基二苯甲酮(UV0),纯度99.0%、2,2'-二羟基-4-甲氧基二苯甲酮(UV24),纯度99.0%、2-羟基-4-甲氧基二苯甲酮(UV9),纯度99.0%、2-(2H-苯并三氮唑-2-基)对甲苯酚(UV71),纯度99.0%、2,2'-亚甲基双-(4-甲基-6-叔丁基苯酚)(抗氧化剂2246),纯度99.0%、2,2'-亚甲基双-(4-叔丁基-4-乙基苯酚)(抗氧化剂425),纯度98.0%、2-羟基-4-正辛氧基二苯甲酮(UV531),纯度99.0%、2-(2'-羟基-5'-叔辛基苯基)苯并三唑(UV329),纯度98.0%、2-(5-氯-2-苯三唑基)-6-叔丁基-4-甲基苯酚(UV326),纯度98.0%、2-(2H-苯并三唑-2)-4,6-二(1-甲基-1-苯基乙基)苯酚(UV234)、2-(3,5-二叔丁基-2-羟苯基)-5-氯苯并三唑(UV327),纯度98.0%,阿拉丁公司;甲醇、乙腈,色谱纯,美国Sigma-Aldrich公司;甲酸,分析纯,西陇科学股份有限公司。

### 1.2 仪器与设备

高效液相色谱仪,LC-20ADXR,配SPD-M20A二级阵列管检测器,日本岛津株式会社;超纯水仪,Elix Essential,德国默克密理博公司。

### 1.3 溶液制备

#### 1.3.1 混合标准溶液制备

分别精密称取添加剂各约50 mg倒入50 mL棕色容量瓶,用乙腈溶解并稀释至刻度,配制成各添加剂质量浓度均为1 000  $\mu\text{g/mL}$ 的混合标准储备溶液,吸取适量的混合标准储备溶液,用乙腈逐级稀释成各添加剂质量浓度均为0.5、1.0、2.0、5.0、10.0、25.0、50.0  $\mu\text{g/mL}$ 系列线性混合标准溶液。

#### 1.3.2 供试品溶液制备

取样品适量,剪碎至0.2 cm $\times$ 0.2 cm,混匀后精密称取2 g,置于具塞锥形瓶,加入10 mL乙腈,超声(功率350 W,频率40 kHz)30 min,放冷,乙腈补足缺失的质量,摇匀,0.22  $\mu\text{m}$ 微孔滤膜滤过,取续滤液。

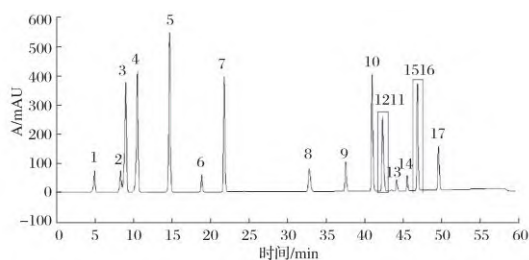
### 1.4 仪器色谱条件

色谱柱:Titank C18 色谱柱(250 mm $\times$ 4.6 mm, 5  $\mu\text{m}$ );流动相:A为0.1%甲酸水溶液,B为甲醇。梯度洗脱程序:0~17 min,60% B~85% B;17~27 min,85% B;27~43 min,85% B~100% B;43~54 min,100% B;54~55 min,100% B~60% B;55~60 min,60% B。流速为1.0 mL/min,进样量为20  $\mu\text{L}$ ,检测波长塑化剂为245 nm,抗氧化剂为280 nm,紫外吸收剂为290 nm,柱温30  $^{\circ}\text{C}$ 。

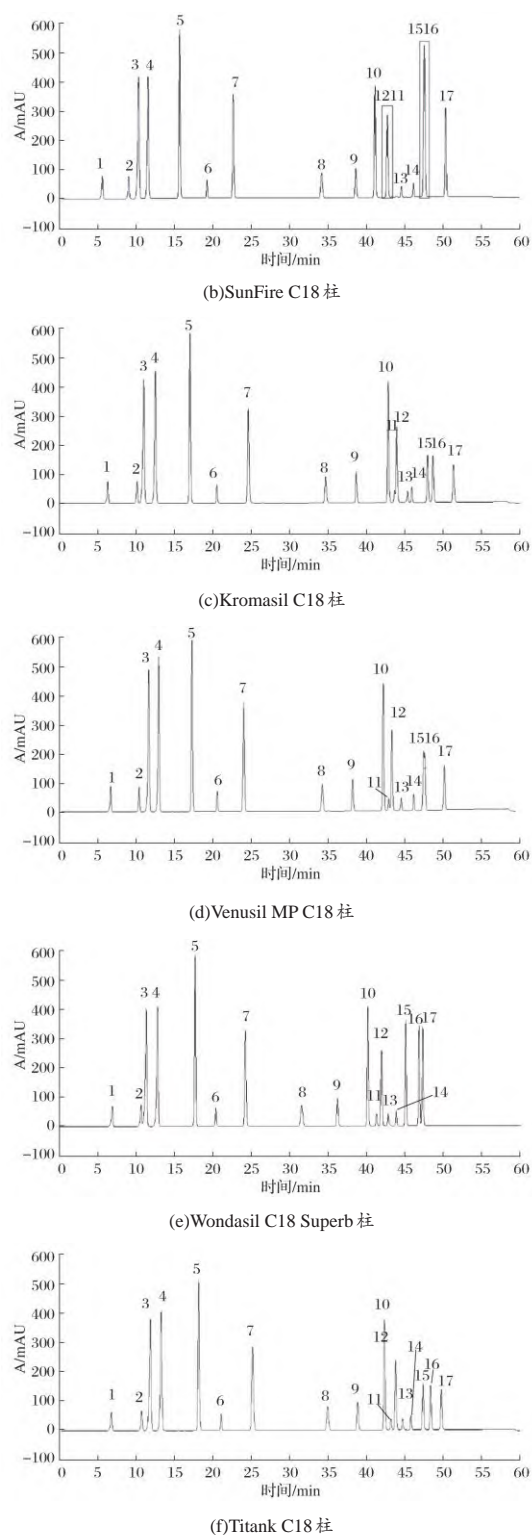
## 2 结果与讨论

### 2.1 色谱柱的选择

17种添加剂为非极性或弱极性有机化合物,选取反相色谱柱,以C18色谱柱进行分离。由于C18填料的物理性能如含碳量、硅烷化覆盖率及键合技术和硅烷基封尾基团不同,同填料、同规格色谱柱,色谱保留行为也存在差别<sup>[17-18]</sup>。通过比较ZORBAX Edipse XDB、SunFire、Kromasil、Venusil MP、Wondasil C18 Superb、Titank共6种品牌,规格为250 mm $\times$ 4.6 mm,5  $\mu\text{m}$ 的C18色谱柱对17种添加剂的分离效果,Titank柱能够对17种添加剂完全分离,峰形尖锐且对称,其他5种色谱柱均存在部分色谱峰重叠,分离效果较差的问题。采用ZORBAX Edipse XDB柱和SunFire柱,DEHP与UV329、UV326与UV234色谱峰完全重合,分离出15个色谱峰。因此,试验选用Titank色谱柱进行分析。图1为17种添加剂在不同色谱柱的液相色谱图。



(a)ZORBAX Edipse XDB-C18 柱



注: 1-DMP; 2-DEP; 3-UV0; 4-UV24; 5-UV9; 6-BBP; 7-UV71; 8-抗氧化剂2246; 9-抗氧化剂425; 10-UV531; 11-DEHP; 12-UV329; 13-DNOP; 14-抗氧化剂3114; 15-UV326; 16-UV234; 17-UV327

图1 17种添加剂在不同色谱柱的液相色谱图( $\lambda=280\text{ nm}$ )

Fig.1 HPLC chromatograms of 17 kinds of additives on different chromatographic columns ( $\lambda=280\text{ nm}$ )

## 2.2 流动相的选择

流动相的组成对待测化合物的色谱峰的峰形和分离效果有显著影响<sup>[19-20]</sup>。C18色谱柱常用有机流动相为甲醇和乙腈,考察两种流动相的分离效果,结果基本无差异。

从成本和环境污染考虑,以甲醇有机流动相,同时在流动相中加入少量甲酸,可改善色谱峰拖尾,待测化合物峰形较好。因此,试验选用甲醇-0.1%甲酸水为流动相,采用不同梯度洗脱程序对17种添加剂进行分析,初始采用高比例甲醇,可使各待测物分析时间缩短,但出峰快的待测化合物不能有效分离,调整甲醇的初始比例为60%,延长梯度洗脱时间,出峰快的待测化合物得到有效分离,但DEHP和UV329峰分离度差,且整体分析时间延长。采用1.4所用的梯度洗脱程序,各待测物获得较好分离效果。

## 2.3 波长的选择

图2为17种添加剂在不同检测波长下液相色谱图。在190~800 nm范围内对17种添加剂进行全波长扫描,得到17种添加剂不同波长下的特征吸收峰。各添加剂均在203 nm灵敏度较高,但此处色谱基线不平稳,易受杂质干扰,结合各成分检测灵敏度和干扰情况。塑化剂检测波长为245 nm,抗氧化剂检测波长为280 nm,紫外吸收剂检测波长为290 nm。

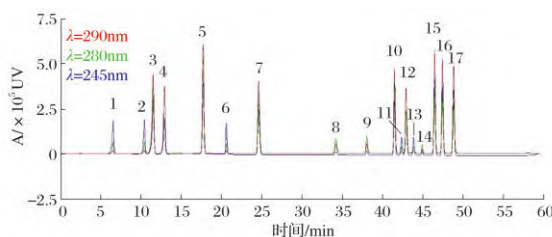


图2 17种添加剂在不同检测波长下液相色谱图

Fig.2 HPLC chromatograms of 17 kinds of additives at different detection wavelengths

## 2.4 柱温的确定

使用Titank C18色谱柱,分别比较25、30、35、40 °C柱温对17种添加剂的分离效果。随着柱温升高,各添加剂色谱分离时间也相应缩短。柱温25 °C和30 °C,各添加剂均能较好分离,各色谱峰峰形良好;柱温35 °C时,DEHP和UV329色谱峰未能实现基线分离;柱温40 °C时,仅分离出16个色谱峰,DEHP与UV329重叠,DEP和UV0分离较差,说明检测时不是色谱柱的温度越高越好,从分离时间和分离度考虑,试验选择柱温为30 °C。

## 2.5 样品提取条件确定

### 2.5.1 提取溶剂的选择

图3为乙腈和甲醇对17种添加剂的提取效果。

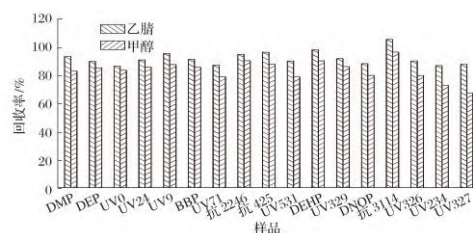


图3 乙腈和甲醇对17种添加剂提取效果

Fig.3 Extraction effect of acetonitrile and methanol on 17 kinds of additives

从图3可以看出,甲醇对17种添加剂提取回收率为67.82%~96.85%,其中UV234、UV327回收率低于75%。乙腈提取效率相对较高,回收率为86.92%~105.82%,说明乙腈作为提取溶剂的提取效率更好。

### 2.5.2 超声条件优化

超声功率和超声时间影响待测成分提取效率,超声功率增加、超声时间延长可促进待测成分溶出<sup>[21]</sup>。但超声功率过大,产生的大量空泡通过反射声波可能减少能量传递,降低提取溶剂穿透力,使待测物溶出效率降低;超声的高能量及长时间提取增加热效应,可能造成待测成分的降解或异构化。选择超声频率为40 Hz,考察不同超声功率和超声时间对17种添加剂提取效率的影响,图4和图5分别为测试结果。从图4可以看出,各待测化合物回收率随超声功率增加而增大,当功率达到350 W,回收率趋于平衡。因此,以350 W为样品超声功率。从图5可以看出,超声30 min,可充分提取,回收率达到86%以上,继续增加超声时间,回收率变化不明显。因此,选择超声时间为30 min。

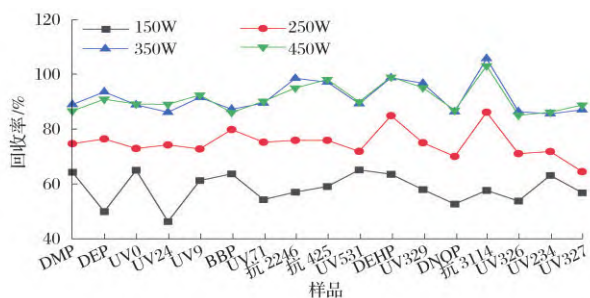


图4 超声功率对17种添加剂提取效率影响

Fig.4 Effect of ultrasonic power on extraction efficiency of 17 kinds of additives

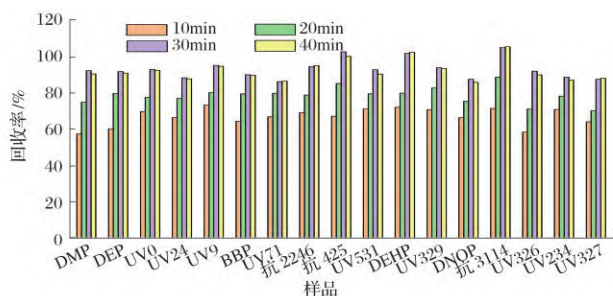


图5 超声时间对17种添加剂提取效率影响

Fig.5 Effect of ultrasonic time on extraction efficiency of 17 kinds of additives

### 2.6 线性关系、检出限与定量限

表1为17种添加剂的线性方程、检出限及定量下限。以各待测组分的峰面积为纵坐标(y),相应的质量浓度为横坐标(x)作标准曲线,得到各待测组分的线性方程。以各待测组分3倍信噪比与10倍信噪比对应的浓度,计算检出限(LOD, S/N=3)与定量限(LOQ, S/N=10)。

从表1可以看出,17种添加剂在相应浓度范围内线性关系良好,相关系数均大于0.999。17种添加剂的LOD与

LOQ分别为0.12~0.78  $\mu\text{g/g}$ 和0.24~2.61  $\mu\text{g/g}$ 。

表1 17种添加剂的线性方程、检出限及定量下限

Tab.1 The linear equations, detection limits and quantitation limits of 17 kinds of additives were obtained

化合物	线性方程	相关系数 ( $R^2$ )	线性范围/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )	LOD/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	LOQ/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )
DMP	$y=7402.8x+994.18$	1.0000	0.53~52.96	0.53	1.32
DEP	$y=7402.8x+994.18$	1.0000	0.51~50.54	0.51	1.26
UV0	$y=6220x+430.11$	1.0000	0.48~47.60	0.12	0.24
UV24	$y=61283x+2889.1$	1.0000	0.48~48.79	0.12	0.24
UV9	$y=56592x+2263.1$	1.0000	0.50~50.01	0.13	0.25
BBP	$y=66066x+8579.3$	1.0000	0.54~54.39	0.54	1.90
UV71	$y=4711.2x+1511.2$	1.0000	0.48~48.00	0.12	0.48
抗氧化剂 2246	$y=44801x+2691.5$	0.9997	0.48~48.11	0.48	1.20
抗氧化剂 425	$y=15081x+4178.6$	1.0000	0.47~47.47	0.47	1.19
UV531	$y=13848x+992.47$	1.0000	0.51~50.53	0.13	0.25
DEHP	$y=47200x+5033.3$	1.0000	0.52~52.14	0.78	2.61
UV329	$y=3450.7x+939.58$	1.0000	0.49~49.35	0.25	0.62
DNOP	$y=32066x+3442.5$	0.9999	0.50~50.36	0.76	2.52
抗氧化剂 3114	$y=4178.7x+515.57$	0.9999	0.49~49.39	0.74	2.47
UV326	$y=5177.5x+192.42$	1.0000	0.49~49.39	0.12	0.49
UV234	$y=20656x+2546.5$	0.9999	0.48~48.45	0.12	0.48
UV327	$y=19967x+4523.8$	0.9999	0.49~48.92	0.24	0.73

### 2.7 回收率和重复性

精密称取剪碎至0.2 cm×0.2 cm的样品2 g(编号13, DMP为9.68  $\mu\text{g/g}$ , UV531为14.15  $\mu\text{g/g}$ ),置于具塞锥形瓶中,加入高(40  $\mu\text{g/mL}$ )、中(10  $\mu\text{g/mL}$ )、低(2.5  $\mu\text{g/mL}$ )质量浓度的混合标准溶液各10 mL,按照供试品溶液的制备方法,每个浓度平行制备3份样品,按最优色谱条件测定,计算回收率和相对偏差(RSD)。表2为17种添加剂平均回收率和重复性。从表2可以看出,17种添加剂平均加标回收

率为88.45%~103.87%、RSD为1.21%~3.78%，表明该方法具有良好的准确性和重复性。

表2 17种添加剂平均回收率和重复性(n=9)

Tab.2 The average recovery and repeatability of 17 kinds of additives(n = 9)

序号	化合物	加标量/ μg	测得量/ μg	回收率/ %	平均回 收率/%	RSD/ %	序号	化合物	加标量/ μg	测得量/ μg	回收率/ %	平均回 收率/%	RSD/ %
1	DMP	26.48	44.03	93.02	93.09	1.31	10	UV531	25.26	52.14	94.15	92.81	2.15
		105.93	118.70	93.73					101.06	119.94	90.60		
		423.72	411.43	92.51					404.24	407.15	93.68		
2	DEP	25.27	22.22	87.94	92.55	3.78	11	DEHP	26.07	26.50	101.66	99.54	2.53
		101.09	95.27	94.24					104.27	104.80	100.51		
		404.37	386.03	95.46					417.09	402.36	96.47		
3	UV0	23.80	20.54	86.31	90.50	3.57	12	UV329	24.68	23.25	94.20	95.74	1.82
		95.20	87.51	91.92					98.71	94.05	95.28		
		380.79	355.22	93.29					394.83	385.91	97.74		
4	UV24	24.39	21.63	88.67	90.26	1.65	13	DNOP	25.18	22.22	88.25	88.45	1.56
		97.57	87.93	90.12					100.73	88.86	88.22		
		390.30	359.01	91.98					402.91	358.09	88.87		
5	UV9	25.01	23.40	93.58	95.48	2.14	14	抗氧剂 3114	24.70	25.56	103.50	103.87	1.33
		100.03	95.44	95.41					98.78	103.18	104.45		
		400.12	389.98	97.47					395.14	409.58	103.66		
6	BBP	27.20	25.10	92.29	92.21	1.21	15	UV326	24.70	22.63	91.64	94.08	2.29
		108.78	98.93	90.94					98.78	95.24	96.41		
		435.12	406.41	93.40					395.14	372.16	94.19		
7	UV71	24.00	21.01	87.53	89.20	1.86	16	UV234	24.23	22.47	92.77	89.12	3.14
		95.99	85.64	89.21					96.90	84.99	87.71		
		383.96	348.83	90.85					387.61	336.74	86.88		
8	抗氧剂 2246	24.06	22.84	94.95	98.26	2.87	17	UV327	24.46	21.95	89.76	90.72	1.69
		96.23	94.81	98.53					97.84	90.40	92.40		
		384.91	389.88	101.29					391.37	352.28	90.01		
9	抗氧剂 425	23.74	23.51	99.05	101.93	3.14							
		94.94	98.25	103.48									
		379.77	392.17	103.27									

## 2.8 溶液稳定性

取回收率试验中加标10 μg/mL的供试品溶液,在室温条件下放置0、1、2、4、8、12、16、24 h后,分别按最优色谱条件进样测定,结果17种添加剂峰面积的RSD为0.65%~1.92%(n=8),表明各添加剂在室温放置24 h稳定。

## 2.9 样品的测定

按照建立的方法,对收集的19批样品进行测定,以标准曲线法计算样品中添加剂的含量。图6为编号16的样品液相色谱图。表3为样品中17种添加剂测定结果。从表3可以看出,样品中有4种添加剂被检出,分别为塑化剂DMP,紫外吸收剂UV531、UV329、UV234;其余13种添加剂未检出。UV531在18批样品中被检出,检出率94.74%,

含量为1.41~14.15 μg/g,5批样品检出UV329,含量为0.54~1.13 μg/g,3批样品中分别检出DMP和UV234,含量分别为5.64~9.68 μg/g和1.24~2.59 μg/g。

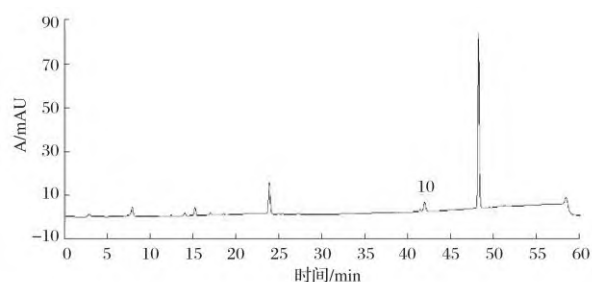


图6 样品16的液相色谱图

Fig.6 HPLC chromatogram of sample 16

表3 样品中17种添加剂测定结果  $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$   
Tab.3 Determination results of 17 kinds of additives in samples  $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$

样品编号	DMP	UV531	UV329	UV234
1	—	5.65	0.95	—
2	—	7.06	1.13	—
3	—	—	0.62	—
4	—	3.71	—	—
5	—	5.26	—	—
6	—	4.22	—	—
7	—	3.78	—	—
8	—	4.86	—	—
9	—	5.27	—	—
10	—	1.41	—	—
11	—	4.82	—	—
12	—	4.25	—	—
13	9.68	14.15	—	—
14	—	4.73	—	1.24
15	5.64	4.84	—	2.59
16	—	3.61	—	—
17	—	4.64	0.54	—
18	—	4.90	—	—
19	—	4.90	0.62	—

注：“—”表示未检出。

### 3 结论

本实验采用超声萃取结合高效液相色谱技术,对样品的前处理条件、色谱分析条件进行优化,方法的线性、回收率、稳定性等参数进行验证,建立了检测聚PVC固体药用硬片中17种添加剂含量的方法,并用于实际样品的检测。该方法具有较好的线性关系、准确性和重复性,不同检测波长提高了各成分的分析灵敏度,可同时对紫外吸收剂、抗氧化剂和塑化剂进行测定,降低了检测成本,节省了样品处理和分析时间,提高了检测效率。此检测方法为大批量样品分析提供了方便,适用于PVC固体药用硬片中17种添加剂同时检测,可为塑料硬片中添加剂的分析提供技术支持。

### 参考文献

- [1] 国家食品药品监督管理局.国家药品包装容器(材料)标准 氯乙烯固体药用硬片:YBB 00212005—2015[S].北京:中国医药科技出版社,2015.
- [2] 祝爱萍,韩红,张华,等.耐热塑料制品中抗氧化剂风险监测分析[J].中国标准化,2022(21):228-231.
- [3] 付进,闻诚,马明明,等.食品包装材料中塑料添加剂的检测研究进展[J].现代食品,2021(8):66-68.
- [4] 汪晓鹏.塑料食品包装材料检验检测及安全分析[J].西部皮革,2022,

- 44(5):38-41.
- [5] 蓝敏怡,李会茹,胡立新,等.塑料食品包装材料的环境污染综述[J].生态毒理学报,2021,16(5):186-210.
- [6] 勾新磊,池海涛,赵新颖,等.超高效液相色谱-串联质谱法测定食品接触塑料中3种苯并三唑类紫外吸收剂的特定迁移量[J].分析仪器,2018(1):178-183.
- [7] 陈灿辉,吴文铮.食品塑料包装材料中化学物质的残留和分析[J].食品安全导刊,2018(12):109.
- [8] 陆雨顺,张燕停,刘政波,等.GC-MS法测定人参中19种邻苯二甲酸酯类塑化剂及初步风险评估[J].中草药,2022,53(7):2003-2010.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.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:GB 9685—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [10] 王琦,卫艳玲,赵有中.近年来欧盟食品接触材料法律法规的修订[J].塑料包装,2020,30(6):32-36.
- [11] 任正东,夏辉,蒋国振,等.三重四极杆气质联用仪检测食用植物油中邻苯二甲酸酯方法探索[J].粮食与食品工业,2022,29(2):50-54.
- [12] 保琦蓓,傅科杰,胡峰,等.高效液相色谱法同时测定纺织品中11种二苯甲酮类紫外吸收剂[J].理化检验(化学分册),2020,56(5):511-518.
- [13] 杨铭,胡丹,王晨蕾.气相色谱法同时测定防晒类化妆品中13种紫外吸收剂[J].理化检验(化学分册),2018,54(11):1324-1328.
- [14] 卢姗,伍志航,刘海卿.高效液相色谱法测定食用油中7种抗氧化剂的含量[J].现代食品,2022,28(19):190-194.
- [15] 鲁素雅,邢海艳,吴义春,等.高效液相色谱法同时测定化妆品中9种二苯甲酮类紫外吸收剂[J].化学分析计量,2021,30(10):50-54,104.
- [16] 余秋玲,张永梅,邱月,等.超高效液相色谱-串联质谱法快速筛查药用胶塞中12种抗氧化剂[J].分析测试学报,2022,41(6):910-915.
- [17] 陈利辉.超高效液相色谱测定饮料中的食品添加剂[J].食品安全导刊,2021,322(29):81,83.
- [18] 王然然,王楠楠,苗育可,等.高效液相色谱法同时测定食品中8种食品添加剂[J].现代食品,2021(5):148-150.
- [19] 赵莹.高效液相色谱法测定复配添加剂中抗氧化剂1010、1076和168的含量[J].精细与专用化学品,2019,27(4):37-40.
- [20] 张旭龙,刘银,巩治国,等.超高效液相色谱-串联质谱法同时测定聚合物食品包装材料中8种添加剂[J].色谱,2014,32(8):827-831.
- [21] 尹洪雷,戴金兰,程立军,等.气相色谱法测定橡胶中的苯胺类物质含量[J].橡胶工业,2022,69(8):629-634.