

Determination of Ten Kinds of Distyrene Styrene Fluorescent Whitening Agents in Flour and Starch by Reverse Phase High Performance Liquid Chromatography with Fluorescence Detector

Yan Liu¹, Junchao Li², Qingqing Qiao¹, Runxin Wei¹, Youyou Bo¹, Sheng Wang³, Shasha Chen¹

¹Henan Product Quality Supervision and Inspection Institute, Zhengzhou Henan

²hengzhou Huatao Testing Technology Co. Ltd., Zhengzhou Henan

³Zhengzhou Tobacco Research Institute, Zhengzhou Henan

Email: liuyan565356@163.com

Received: Oct. 25th, 2019; accepted: Nov. 6th, 2019; published: Nov. 13th, 2019

Abstract

A method for the determination of distyrene styrene fluorescent whitening agent in flour and starch by reverse phase high performance liquid chromatography with fluorescence detector was developed. The HPLC method was performed on column of Agilent XDB-C18 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm) by gradient elution using methanol and 0.02 mol/L ammonium oxalate solution as the mobile phases, and detected by the fluorescence detector at an excitation wavelength of 350 nm and an emission wavelength of 430 nm. The experimental results indicated that the ten kinds of distyrene styrene fluorescent whitening agents were separated well. Under optimized test conditions, the linear ranges of the method for FWA210, FWA220, FWA264, FWA353, FWA85, FWA113, FWA357, FWA5bm, FWA134, FWA71 were 0 to 200 μg/L, respectively. The correlation coefficients for all 10 target compounds were higher than 0.999. The limits of detection (LOD) (S/N = 3) were 0.020 mg/kg, 0.020 mg/kg, 0.020 mg/kg, 0.020 mg/kg, 0.020 mg/kg, 0.020 mg/kg, 0.010 mg/kg, 0.010 mg/kg, 0.005 mg/kg, 0.005 mg/kg for FWA210, FWA220, FWA264, FWA353, FWA85, FWA113, FWA357, FWA5bm, FWA134, FWA71, respectively. The limits of quantification (LOQ) (S/N = 10) were 0.050 mg/kg for FWA210, FWA220, FWA264, FWA353, FWA85, FWA113, FWA357, FWA5bm and 0.050 mg/kg for FWA134, FWA71, respectively. The recoveries rate were between 80.2%~99.4% for 5~1000 μg/kg additive levels and the relatively standard deviations (RSD, n = 6) were between 1.8%~6.7%. The proposed method was simple, accurate, high recovery rate, sensitive for determination of 10 kinds of illegally added distyrene styrene fluorescent whitening agents in grain processing products such as flour and starch.

Keywords

Distyrene Styrene Fluorescent Whitening Agent, High Performance Liquid

反相高效液相色谱 - 荧光检测法测定面粉、淀粉中10种二苯乙烯类阴离子型荧光增白剂

刘燕¹, 李俊超², 乔青青¹, 卫润鑫¹, 薄尤优¹, 王昇³, 陈莎莎¹

¹河南省产品质量监督检验院, 河南 郑州

²郑州华测检测技术有限公司, 河南 郑州

³郑州烟草研究院, 河南 郑州

Email: liuyan565356@163.com

收稿日期: 2019年10月25日; 录用日期: 2019年11月6日; 发布日期: 2019年11月13日

摘要

建立了反相高效液相色谱-荧光检测法检测面粉、淀粉中二苯乙烯类阴离子型荧光增白剂的方法。样品经过混合溶液(水 + 甲醇 + 三乙胺)超声提取后, 以C18反相柱(Agilent XDB -C18 250 mm × 4.6 mm, 5 μm)进行分离, 甲醇与四丁基溴化铵溶液为流动相, 梯度洗脱, 同时采用荧光检测器进行检测, 有效分离了10种二苯乙烯类阴离子型荧光增白剂。在最佳实验条件下, FWA210、FWA220、FWA264、FWA353、FWA85、FWA113、FWA357、FWA5bm、FWA134、FWA71的线性范围在0~200 μg/L, 相关系数均大于0.999, 10种二苯乙烯类阴离子型荧光增白物质的方法检出限分别为0.020 mg/kg、0.020 mg/kg、0.020 mg/kg、0.020 mg/kg、0.020 mg/kg、0.020 mg/kg、0.010 mg/kg、0.010 mg/kg、0.005 mg/kg、0.005 mg/kg。FWA210、FWA220、FWA264、FWA353、FWA85、FWA113、FWA357、FWA5bm八种物质方法定量限为0.050 mg/kg, FWA134、FWA71两种物质方法定量限为0.020 mg/kg。添加水平在10~1000 μg/kg时, 样品的回收率在80.2%~99.4%, 样品的相对标准偏差(RSD, n = 6)在1.8%~6.7%间。该方法前处理简单、灵敏度高、回收率高、精密度好, 适用于面粉、淀粉等粮食加工品中10种非法添加的二苯乙烯类阴离子型荧光增白剂的测定。

关键词

二苯乙烯类阴离子型荧光增白剂, 反相高效液相色谱 - 荧光检测, 面粉, 淀粉, 非法添加物

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

二苯乙烯类荧光增白剂(FWAs)是一种含有共轭双键、具有良好平面性的特殊结构的复杂有机化合物, 也称光学增白剂。这类物质具有高荧光量子产率、高化学稳定性和优良的水溶性, 能吸收紫外光, 进而激发出可见的蓝色或蓝紫色荧光, 其优异的增白性使其被广泛应用于纺织、洗涤、造纸、颜料、塑

料、油漆等领域[1]。二苯乙烯类荧光增白剂是二苯乙烯共轭体系延长的衍生物，常见的侧链中引入的有苯并噁唑基团、三嗪基团、磺酸基团、氰基、烯键等基团[2]。不同基团的引入，使二苯乙烯类荧光增白剂具有不同的耐酸性、耐摩擦、耐晒特性。优良的增白效果使二苯乙烯类荧光增白剂占有荧光增白剂市场 80% 的市场份额。但与此同时，来自环境、土壤、水、塑料包装、纸质包装中的二苯乙烯类荧光增白剂对粮食作物、食品污染的问题，不法商贩为牟取私利向生鲜猪肉、菇类制品中添加荧光增白剂带来的食品安全问题引起大众的广泛关注。二苯乙烯类荧光增白剂(FWA)普遍含有苯乙烯基结构和芳香胺结构，能较为活跃地迁移到角质层或者血液中去，对人体具有潜在的致癌性。王天娇[3]等人应用 UPLC-FLD 技术检测出蘑菇、杏鲍菇、金针菇含有 FWA 5bm、C.I.133、C.I.353、C.I.220、C.I.357、C.I.210、C.I.264 等荧光增白剂。李蓉[4]等人应用高效液相色谱 - 三重四极杆质谱法检测出面粉中含有 FWA135、FWA184、FWA185、FWA393 荧光增白剂。杜志峰[5]等人应用高效液相色谱 - 三重四极杆测定发泡塑料餐具中存在 5 种荧光增白剂的迁移，用其盛放食物存在荧光增白剂污染的隐患。吴钟玲[6]等人利用高效液相色谱法测定食品接触聚苯乙烯中存在 9 种荧光增白剂的迁移，用其盛放的安全性令人堪忧。

欧盟法规 2002/72/EC 和新版《GB9685-2016 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》明确规定食品接触材料中 FWA184 特异性迁移量(SML)不大于 0.6 mg/kg，纸包装类食品包装材料不允许使用荧光增白物质[7]。但是，目前的实际情况是食品包装材料国家监督抽查不抽检包装有食品的预包装产品的外包装，从某种角度上讲并不能如实地监督到食品所用包装材料的质量安全情况，监测部门也缺乏食品包装材料对食品造成污染的风险因子积累与风险数据的分析研判[8]。目前，国内外对二苯乙烯类荧光增白剂的检测方法主要采用紫外灯法[9]、紫外分光光度计法、荧光分光光度计法、液相色谱法、液相色谱 - 荧光检测法[10]-[15]、毛细管电泳法、拉曼光谱、液相色谱串联三重四极杆法[4] [16] [17]。紫外灯检测只能定性检测，荧光分光光度法只能定量测定却不能区分 FWAs 的种类，液相色谱串联三重四极杆法检测成本高且适合痕量物质的检测。液相色谱作为检测实验室常用的一种设备，价格适中，配备上荧光检测器具有较高的灵敏度，适合食品中荧光增白剂物质的检测。本研究选择 10 种常见的二苯乙烯类荧光增白剂物质 FWA220 (CAS:16470-24-9)、FWA210 (CAS:28950-61-0)、FWA264 (CAS:76482-78-5)、FWA353 (CAS:55585-28-9)、FWA85 (CAS:12224-06-5)、FWA113 (CAS:12768-92-2)、FWA357 (CAS:41098-56-0)、FWA5bm (CAS:13863-31-5)、FWA134 (CAS:3426-43-5)、FWA71 (CAS:16090-02-1) 作为研究对象，结合其光学特性，使用高效液相色谱法分离，配合荧光检测器检测，建立了面粉、淀粉中二苯乙烯类荧光增白物质的快速检测方法，该方法操作简单、可靠，适合大批量样品的筛选与检测。

2. 材料与方法

2.1. 材料与试剂

10 种 FWAs 标准物质: FWA113、FWA264 (CATO), FWA220 (源叶生物), FWA353、FWA210、FWA71 (ANPEL), FWA357、FWA5bm (IL)、FWA134、FWA85 (MANHAGE)。

甲醇(色谱纯)、乙腈(色谱纯)、四氢呋喃(色谱纯)购于 TEDIA;

三乙胺(色谱纯)、氨水(色谱纯)、乙二胺(色谱纯)购于科密欧;

四丁基溴化铵(色谱纯)购于 MACKLIN; 三乙基苄基氯化铵、四丁基硫酸氢铵购于国药集团化学试剂公司。

提取混合溶液: 甲醇、水、三乙胺(60+39+1)体积混合。

2.2. 仪器与设备

Waters e2695 高效液相色谱仪: 配有 2475FLR 荧光检测器;

SB-25-12DT 超声波发生器：宁波新芝生物科技股份有限公司；
 QL-866 涡旋混合器：海门市其林贝尔仪器制造有限公司；
 XA205DV 天平：感量分别为 0.000 1 g，梅特勒；
 RE-52B 旋转蒸发仪；
 CT 14RD TECHCOMP 离心机；
 JFSD-100 搅碎机；
 DCY-24G 氮吹仪；
 Agilent Cary Eclipse 荧光分光光度计；
 Agilent XDB -C18 250mm×4.6mm，5 μ m 柱；Diamonsil C18 250mm×4.6mm 5 μ m 柱。

2.3. 方法

2.3.1. 标准溶液的制备

标准储备液：称取适量各标准样品 FWA210、FWA220、FWA264、FWA353、FWA85、FWA113、FWA357、FWA5bm、FWA134、FWA71，用体积百分比 0.1%三乙胺溶液分别配制成浓度为 100 mg/L 的标准储备液，0 $^{\circ}$ C~4 $^{\circ}$ C 避光保存。有效期 3 个月。

混合标准系列工作溶液：吸取适量每种标准储备液，用提取液稀释成 1.00 mg/L 的混合标准工作溶液，0 $^{\circ}$ C~4 $^{\circ}$ C 避光保存。有效期 3 个月。继续吸取适量混合标准工作溶液，用提取液配制成浓度为 0.005 mg/L、0.010 mg/L、0.020 mg/L、0.050 mg/L、0.100 mg/L 的标准系列工作液，临用时配制。

2.3.2. 试样处理

1) 制备

取 500 g 面粉或者淀粉样品，用捣碎机充分捣碎混匀，均分成两份，分别装入洁净容器作为试样，密封，并标明标记。将试样置于避光处保存。

2) 样品前处理

准确称取 1 g 试样(精确至 0.01 g)置于塑料离心管中，加入提取液 10 mL，涡旋震荡 1 min，超声提取 10 min 后，用 4000 r/min 离心 5 min，取上层清液，0.45 μ m 微孔滤膜过滤后进液相色谱仪进行分析。

2.3.3. 液相色谱操作条件

色谱柱：C18 柱，250 mm × 4.6 mm (i.d.)，5 μ m

流动相：流动相 A 相为甲醇，B 相为 0.025 mol/L 的四丁基溴化铵(TBA)溶液，流动相梯度洗脱条件如表 1。

Table 1. Instrument gradient elution setting

表 1. 仪器梯度洗脱设置

时间(min) Time	流动相 Flow phase	
	A (%)	B (%)
0	60	40
15	70	30
25	90	10
25.1	60	40
30	60	40

流速：1.0 mL/min。柱温：30 $^{\circ}$ C。检测器：激发光波长 350 nm，发射光波长 430 nm。进样量：20 μ L。

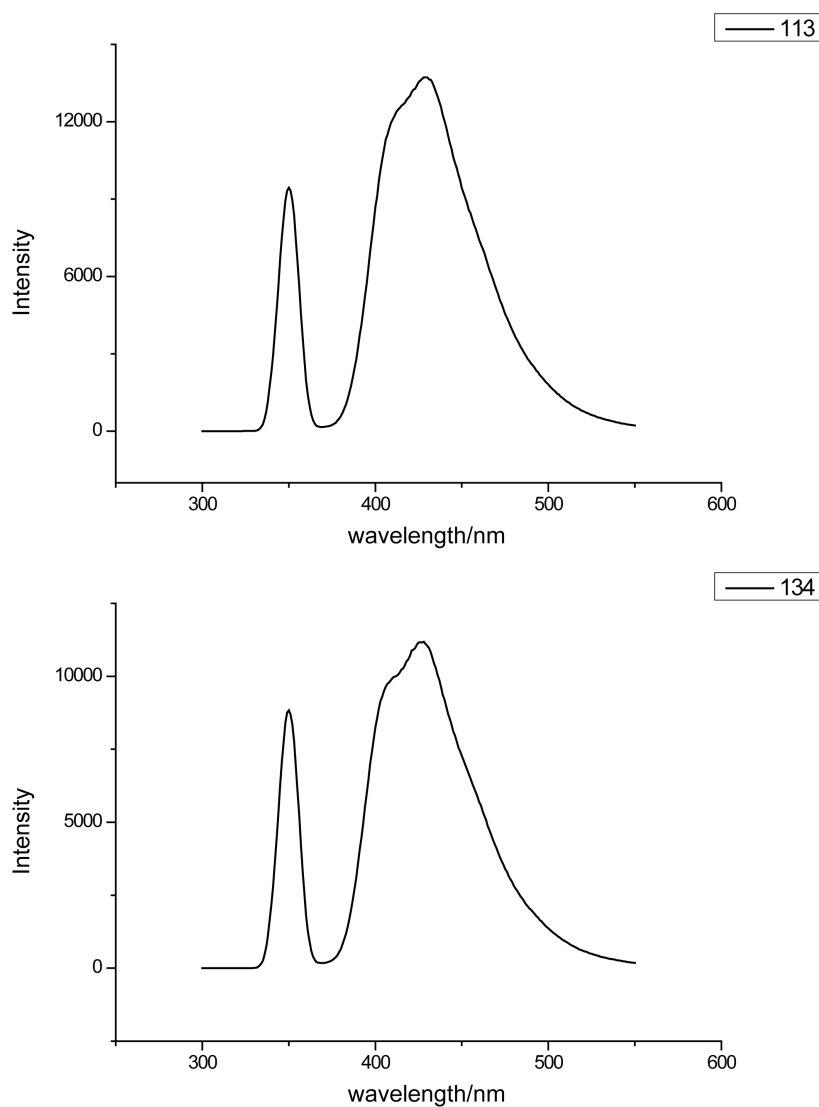
2.3.4. 分析步骤

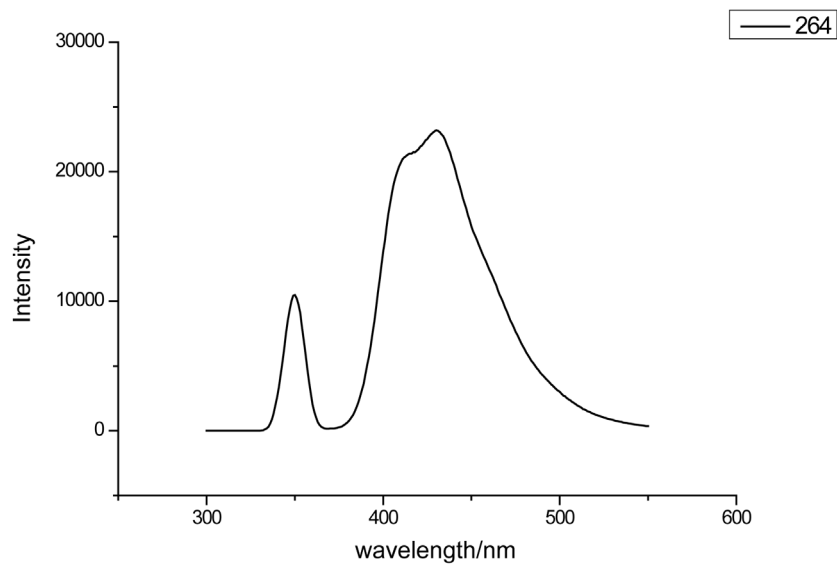
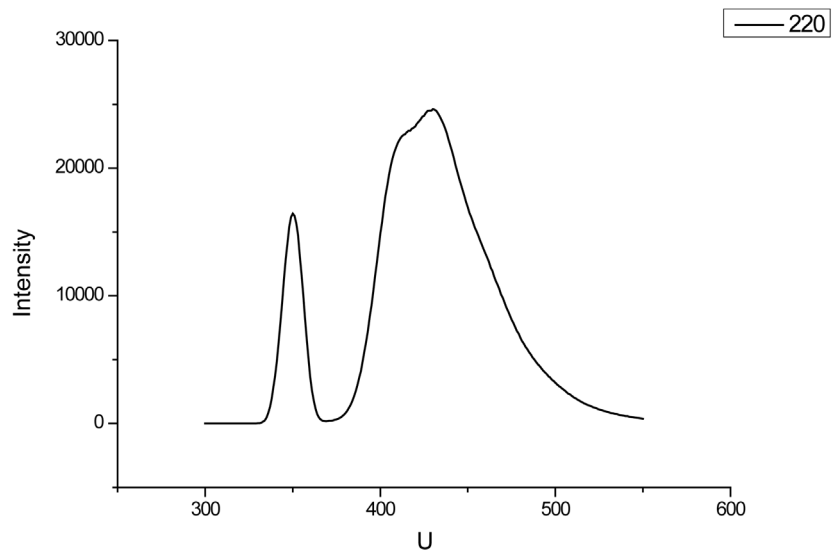
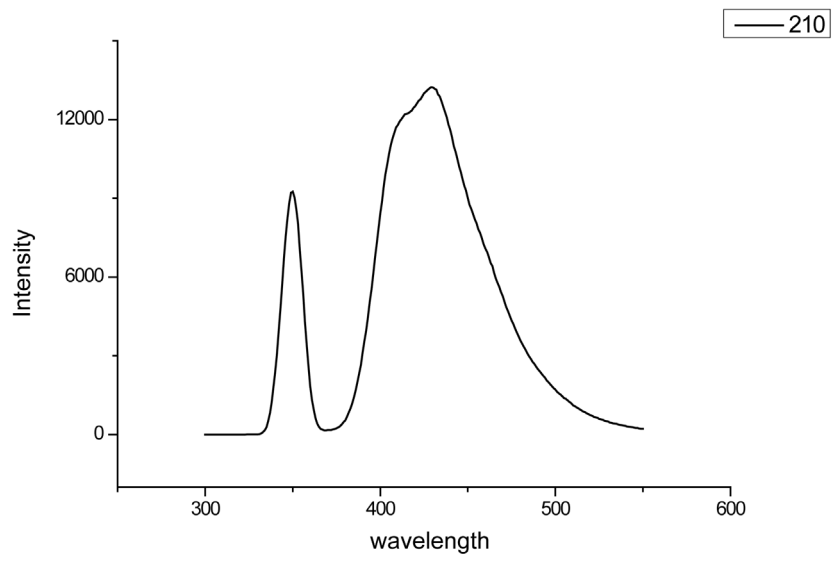
将 2.3.1 中的标准系列工作溶液分别按照液相色谱参考条件 2.3.3 进行测定, 得到相应的标准溶液色谱峰的面积, 以标准工作溶液浓度为横坐标, 以色谱峰的峰面积为纵坐标, 绘制标准曲线。同时, 将试样溶液按照色谱条件进行测定, 得到相应的样品溶液色谱峰面积, 根据标准曲线得到待测液中目标物的浓度, 平行测定次数两次。

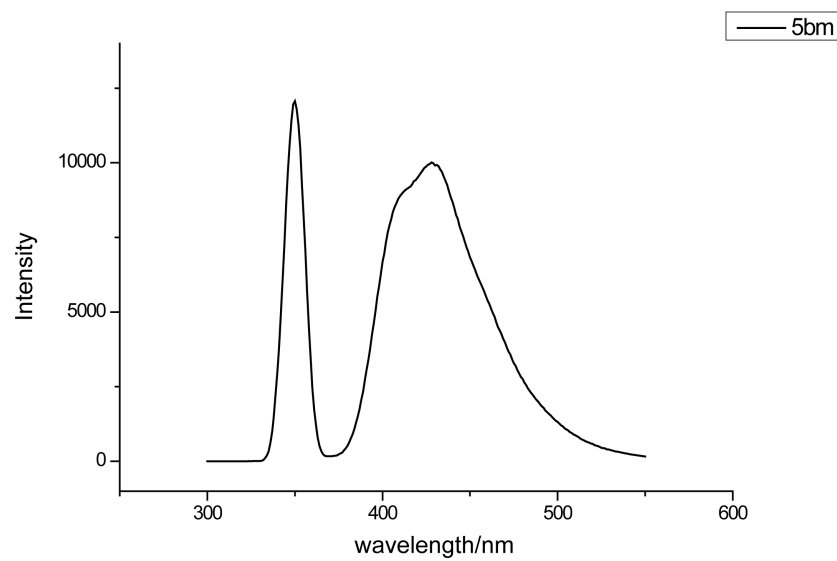
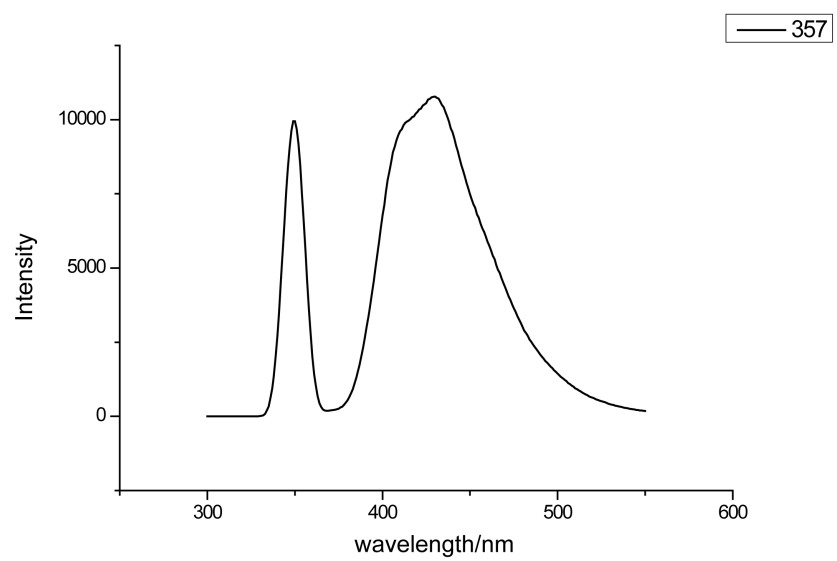
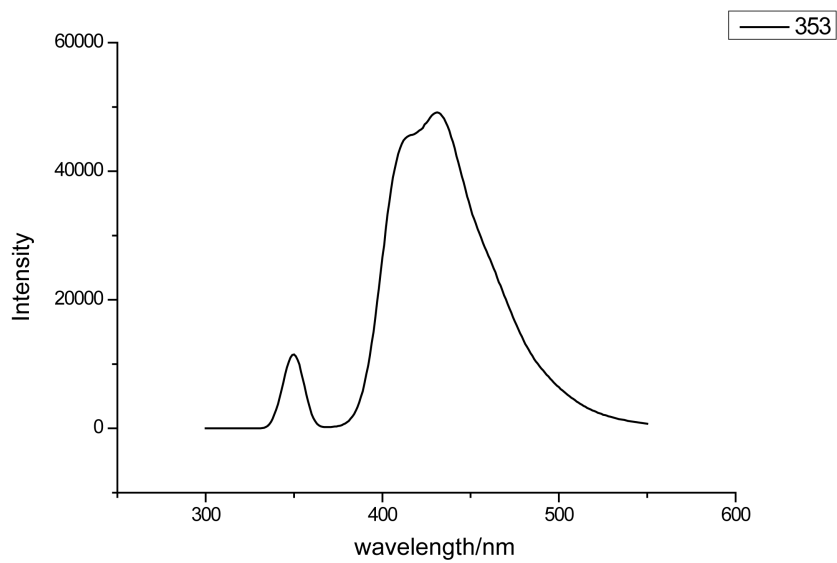
3. 结果与分析

3.1. 检测波长的选择

本实验中所采用的荧光增白剂标准物质均具有三嗪基氨基二苯乙烯阴离子结构, 以水溶液做空白液体, 对 0.10 mg/L 标准溶液进行荧光光谱扫描。选取 350 nm 为激发波长进行扫描, 获得最佳发射波长, 再固定最佳发射波长对激发波长进行扫描, 获得最佳的发射波长和激发波长。十种物质最大激发波长和发射波长基本一致, 故经过荧光光谱扫描, 选取 350 nm 为激发波长, 选取 430 nm 为发射波长进行定量测定。具体见图 1。







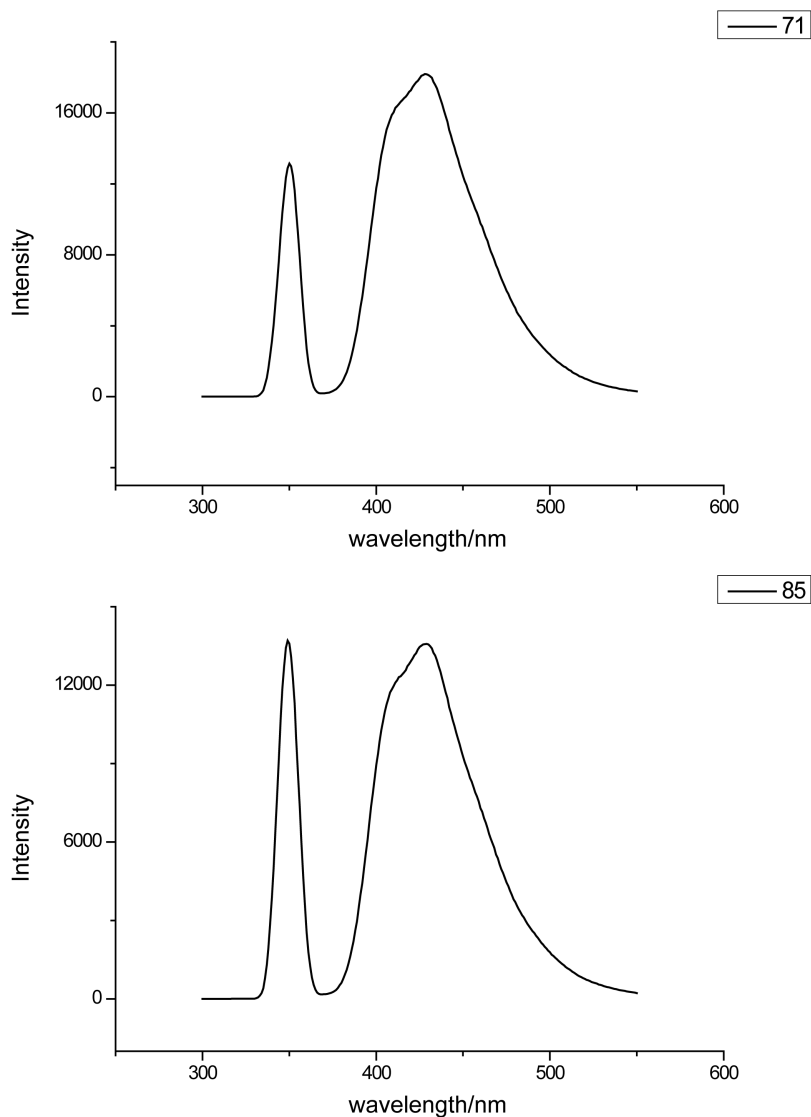


Figure 1. Absorption and emission wavelengths from 0.10 mg/L Standard concentrations of FWA210, FWA220, FWA264, FWA353, FWA85, FWA113, FWA357, FWA5bm, FWA134, FWA71

图 1. 0.10 mg/L 标准浓度的 FWA210、FWA220、FWA264、FWA353、FWA85、FWA113、FWA357、FWA5bm、FWA134、FWA71 的吸收波长和发射波长

3.2. 调节酸碱度(pH)提取液试剂的选择

本实验中, 分别考察无机氨水、乙二胺、三乙醇胺等碱性试剂配制提取液对标准物质和样品分析的影响。通过测定结果发现, 荧光增白剂在含有机胺的提取液中更稳定, 其在流动相中峰形要比无机氨水作为提取液的峰形更加对称, 且不发生拖尾现象。原因在于有机胺可以更加有效地与 C18 柱上固定相的硅羟基结合紧密, 使固定相的吸附、解吸附性能更强。查得资料显示, 在工业生产中, 三乙醇胺是荧光增白剂常用的稳定剂, 所以该实验选择三乙醇胺作为提取液的酸碱度调节剂。

3.3. 离子对试剂作为流动相的选择

本实验考查的碱性离子对试剂有四丁基溴化铵、三乙基氯化铵、四丁基硫酸氢铵。烷基链的长度与

荧光增白剂和固定相结合的程度成正比, 与流动相的溶解度成反比。碱性条件时, 阴离子型荧光增白剂以离子形式存在溶液中, 即使有机溶剂含量很低, 保留时间也相当短, 如图 2 所示, 以 FWA220 为例, 出峰时间很短。离子对试剂中离子与被测物形成疏水性离子对, 它具有较长烷基链大大增加和固定相结合力, 延迟了出峰时间, 达到良好的分离效果。本实验选择烷基链长短居中的阳离子型四丁基溴化铵作为实验使用的离子对试剂。实验证明, 即使有机相含量高达 60%~70% 的情况下, 荧光增白剂 FWA220 的出峰时间也能控制在 5~7 min, 有效地与杂质进行了分离。同时考查离子对试剂浓度对荧光增白剂出峰情况的影响, 发现随着离子对试剂浓度的增加, 保留时间增加, 当离子对试剂达到一定浓度时, 保留时间变化不大, 本实验考虑到离子对试剂在高浓度有机流动相条件下易产品盐析现象, 所以最后选择离子对试剂最佳使用浓度在 0.025 mol/L。

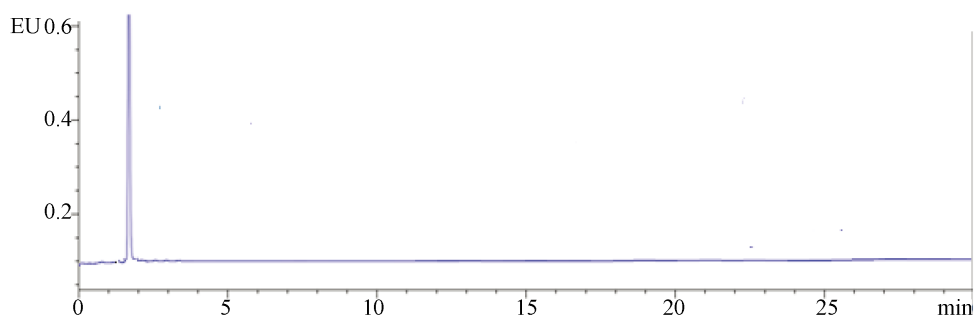
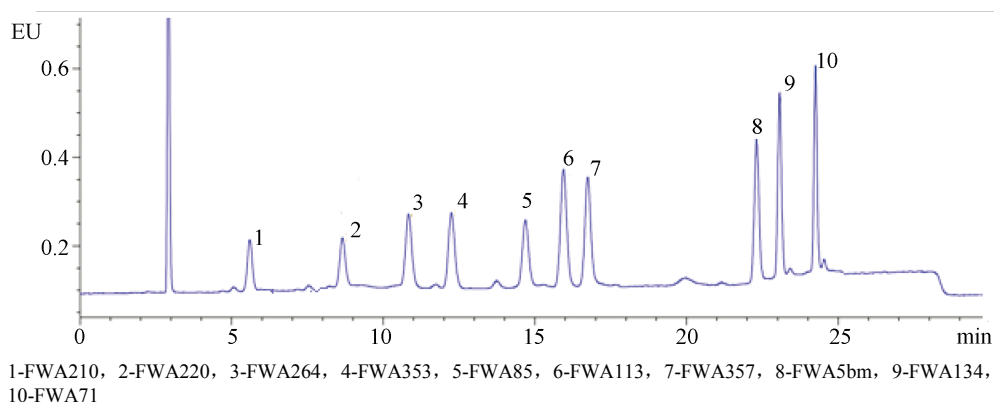


Figure 2. Chromatography of styrene fluorescent whitening agent FWAS 220 when ion pair reagent is not used in mobile phase

图 2. 流动相未使用离子对试剂时荧光增白剂的色谱图

3.4. 分离条件的优化

本实验所用设备高效液相色谱中选择使用的有机流动相有三种, 分别是四氢呋喃、乙腈、甲醇。经实验证明使用四氢呋喃作为流动相时, FWA113 与 FWA357 不能完全基线分离, FWA5bm 与 FWA134 不能完全基线分离。用纯乙腈作为流动相, 色谱峰和甲醇同样都能够实现基线分离, 但是色谱峰拖尾较为严重, 影响精密分析的要求。Agilent XDB -C18 250 mm × 4.6 mm, 5 μ m 柱与 Diamonsil C18 250 mm × 4.6 mm 5 μ m 柱对比, Agilent XDB -C18 250 mm × 4.6 mm, 5 μ m 柱的峰形与分离度良好。考查不同梯度条件后, 2.3.3 节中的洗脱条件下可获得最佳分离效果。10 种荧光增白剂混合标准溶液的分离色谱图如图 3 所示。



1-FWA210, 2-FWA220, 3-FWA264, 4-FWA353, 5-FWA85, 6-FWA113, 7-FWA357, 8-FWA5bm, 9-FWA134, 10-FWA71

Figure 3. High performance liquid chromatography from 10 μ g/L Standard concentrations of FWA210, FWA220, FWA264, FWA353, FWA85, FWA113, FWA357, FWA5bm, FWA134, FWA71

图 3. 浓度为 10 μ g/L 荧光增白剂标准溶液的高效液相色谱图

3.5. 线性关系、检出限和定量限(表 2)

Table 2. Linear relationships, limits of detection (LOD, S/N = 3) and limits of quantification (LOD, S/N = 10) of the analytes

表 2. 目标物的线性关系与检出限、定量限

目标物 Analyte	线性范围 Linear range/($\mu\text{g/L}$)	线性方程 Linear equation	相关系数 Correlation coefficient (r^2)	检出限 LOD/(mg/L)	定量限 LOQ/(mg/L)
FWA210	0~200	$y = 2693x - 1490$	0.9992	0.020	0.050
FWA220	0~200	$y = 2845x - 1479$	0.9999	0.020	0.050
FWA264	0~200	$y = 3338x - 3388$	0.9998	0.020	0.050
FWA353	0~200	$y = 3201x - 1013$	0.9994	0.020	0.050
FWA85	0~200	$y = 3150x - 1510$	0.9990	0.020	0.050
FWA113	0~200	$y = 4147x - 2351$	0.9992	0.020	0.050
FWA357	0~200	$y = 3965x - 1654$	0.9994	0.010	0.050
FWA5bm	0~200	$y = 5625x - 748$	0.9999	0.010	0.050
FWA134	0~200	$y = 4650x - 2556$	0.9994	0.005	0.020
FWA71	0~200	$y = 7636x - 3816$	0.9995	0.005	0.020

y: peak area; x: mass concentration, mg/L

3.6. 方法回收率和精密度

取空白样品进行加标测定回收率和精密度。准确称取空白面粉、淀粉样品 1 g, 分别添加高、中、低 3 个水平的混合标准溶液, 按照 2.3.2. 2) 样品处理方法平行处理, 并按照 2.3.3 节色谱条件进行检测, 每一加标水平平行测定 6 次, 计算平均回收率。得到 10 种目标组分(FWA210、FWA220、FWA264、FWA353、FWA85、FWA113、FWA357、FWA5bm、FWA134、FWA71) 的加标回收率和精密度, 结果见表 3。在不同的加标水平下, 10 种目标化合物回收率稳定, 精密度良好, 可以满足样品中 10 种 FWAs 测定的分析要求。

Table 3. Recoveries and precision of 10 FWAS from flour samples

表 3. 10 种目标物的方法回收率和精密度

化合物 Analyte	添加量 Add the amount/($\mu\text{g/kg}$)	面粉回收率 recovery rate in flour/%	淀粉回收率 recovery rate in starch/%	面粉相对标准偏差 Relative standard deviation in flour/%	淀粉相对标准偏差 Relative standard deviation in starch/%
FWA210	10	95.4	96.4	6.6	4.2
	100	96.3	95.3	3.2	2.8
	1000	98.2	92.2	5.0	4.5
FWA220	10	87.2	88.0	4.4	5.6
	100	97.6	96.3	3.8	4.2
	1000	95.3	90.1	5.9	2.5
FWA264	10	90.7	95.4	4.7	4.2
	100	96.3	93.2	4.9	3.2
	1000	99.2	98.2	5.0	5.9
FWA353	10	92.7	95.4	4.1	5.0
	100	91.0	92.3	3.2	6.1
	1000	98.4	96.7	3.6	4.7
FWA85	10	93.2	98.2	3.2	3.9
	100	98.6	99.4	3.5	2.1
	1000	91.1	90.0	4.2	3.0

Continued

FWA113	10	88.8	90.2	5.4	4.6
	100	84.5	86.3	3.6	4.4
	1000	82.0	84.2	5.1	5.0
FWA357	10	94.5	88.4	4.2	2.6
	100	93.5	87.6	3.2	3.3
	1000	90.1	89.2	2.7	5.0
FWA5bm	10	94.6	99.0	4.8	4.5
	100	95.7	92.1	3.2	4.5
	1000	97.0	94.2	3.5	5.0
FWA134	10	93.5	80.2	3.5	3.6
	100	94.7	81.5	3.8	4.0
	1000	88.0	89.0	4.8	1.8
FWA71	10	88.4	87.4	2.0	1.8
	100	84.0	86.0	3.2	3.2
	1000	80.7	90.0	5.5	5.6

3.7. 实际样品的分析

应用所建立的方法对市场 40 批次的预包装面粉、10 批次预包装淀粉以及 15 批次散装面粉、10 批次散装淀粉进行检测, 发现 1 批次散装面粉中有 FWA71 检出, 含量在 0.022 mg/kg, 该物质的检出可能来自环境的污染, 同时不排除人为非法添加的。

4. 讨论

本文建立了面粉、淀粉等十种食品中二苯乙烯类荧光增白剂的高效液相色谱检测方法, 该方法填补了国家标准中面粉、淀粉制品中违法添加二苯乙烯类荧光增白剂定量检测的方法空白, 增加了技术储备。该方法前处理简单、准确、灵敏, 方法的重现性和线性关系均能满足定量分析要求。由于二苯乙烯类荧光增白剂在日常生活中应用广泛, 塑料、洗涤、纸包、纺织、染料等领域均能接触到, 也易造成环境污染, 直接影响消费者的食品安全和人身健康。因此, 监督部门应针对该情况加强对食品及农产品中二苯乙烯类荧光增白剂的检验监管工作。

基金项目

河南省科技攻关项目, 项目编号 152102310429。

参考文献

- [1] 董金狮. 食品包装与食品安全[J]. 今日印刷, 2013, 25(3): 10-14.
- [2] 杨新玮. 国内外荧光增白剂发展状况[J]. 质量探索, 2012(8): 17.
- [3] 王天娇, 吴平谷, 胡争艳, 等. 应用 UPLC-FLD 技术检测食用菌荧光增白剂[J]. 预防科学, 2018, 30(10): 1007-1010.
- [4] 李蓉, 何春梅, 薄艳娜, 等. 高效液相色谱-三重四极杆质谱法测定面粉中 7 种荧光增白剂[J]. 色谱, 2017, 35(2): 162-168.
- [5] 杜志峰, 洗燕萍, 刘付建, 等. LC-MS/MS 法测定发泡塑料餐具中 5 种荧光增白剂[J]. 现代食品科技, 2013, 29(12): 3014-3018.
- [6] 吴钟玲, 陈树东, 林晓佳, 等. 高效液相色谱法测定食品包装材料聚苯乙烯中的 9 种荧光增白剂[J]. 现代食品科技, 2013, 29(11): 275-2761.
- [7] 蒋定国, 邱含泉, 陈立松, 等. 市售纸质食品包装材料中荧光增白剂含量的调查研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2014, 26(6): 592-595.
- [8] 蒋治国, 吴冬梅, 堵燕钰, 等. 食用菌中荧光增白剂的风险评估[J]. 环境与可持续发展, 2010(5): 47-49.

- [9] 潘可亮, 杨利, 刘勇, 等. 荧光增白剂 VBL 的荧光光谱及测定方法研究[J]. 化学研究与应用, 2010, 22(9): 1210-1213.
- [10] 焦艳娜, 丁利, 朱绍华, 等. 高效液相色谱-荧光检测法测定食品接触材料塑料制品中荧光增白剂[J]. 色谱, 2013, 31(1): 83-87.
- [11] 季浩, 蒲爱军, 李春梅, 等. 荧光增白剂中三嗪杂质的测定方法研究[J]. 染料与染色, 2011, 48(6): 52-56.
- [12] 沈永嘉, 李红斌, 路玮. 荧光增白剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [13] 袁跃华, 朱永军, 田茂忠. 荧光增白剂的应用及发展趋势[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2010, 26(5): 40-43.
- [14] 孙边成, 张艳. 高效液相色谱法测定面粉中荧光增白剂[J]. 实用预防医学, 1998, 5(3): 136-137.
- [15] 王艳. 卷烟接装纸、成型纸中荧光增白剂 ABP、VBL 的 HPLC 测定[J]. 烟草科技, 2007(11): 40-44.
- [16] 吕水源, 张云, 唐庆强, 等. LC-MS/MS 测定塑料食品接触材料中荧光增白剂[J]. 食品工业, 2014, 35(10): 251-252.
- [17] Chen, H.C., Wang, S.P. and Ding, W.H. (2006) Determination of Fluorescent Whitening Agents in Environmental Waters by Solid-Phase Extraction and Ion Pair Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *Journal of Chromatography A*, **1102**, 135-142.