

Research Progress on the Detection Technology of Fluorescent Brightening Agent in Food and Agricultural Products

Yan Liu, Ziting Xu, Runxin Wei, Ximei Zhao, Shasha Chen

Henan Product Quality Supervision and Inspection Institute, Zhengzhou Henan
Email: liuyan565356@163.com

Received: Oct. 15th, 2019; accepted: Oct. 28th, 2019; published: Nov. 5th, 2019

Abstract

The fluorescent brightening agent was added in food wrappers, food and catering appliances, food scour of tableware, food preservation by lawless. The main detection methods had qualitative analysis with ultraviolet wavelength of 254 nm or 365 nm in food and agricultural products, but no quantitative nation analysis and district analysis. The paper reviews the progress of the detection technology of fluorescent brightening agent in food and agricultural products and the problems in the detection process of fluorescent brightening agent.

Keywords

Fluorescent Brightening Agent, Food, Agricultural Products, Detection Technology

食品及农产品中荧光增白剂检测技术研究进展

刘燕, 徐子婷, 卫润鑫, 赵喜梅, 陈莎莎

河南省产品质量监督检验院, 河南 郑州
Email: liuyan565356@163.com

收稿日期: 2019年10月15日; 录用日期: 2019年10月28日; 发布日期: 2019年11月5日

摘要

食品荧光增白剂在食品包装材料、食品餐饮具、食品洗涤剂、食品保鲜中都存在非法添加情况。食品、农产品中荧光增白剂的检测方法主要有254 nm和365 nm的紫外波长照射定性方法, 目前还缺少定量的国家标准方法或地方标准方法。本文综述了食品、农产品中荧光增白剂的检测技术研究进展以及现阶段

荧光增白剂检测过程中存在的问题。

关键词

荧光增白剂, 食品, 农产品, 检测技术

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

荧光增白剂俗称“白色染料”，它是一种能吸收紫外光同时激发出蓝色或者蓝紫色荧光的复杂有机化合物，它的出现最初满足了人们对于造纸、纺织印染、合成洗涤剂、塑料制造业的需求[1]。近年来，荧光增白剂在涂料、电镀、保密防伪、油墨、液晶显示屏、昆虫病毒增效[2]研制等多个高科技领域获得了广泛的应用和发展。但与此同时，来自土壤、水、包装材料、一次性餐具中的荧光增白物质对粮食作物、食品、农产品产生的污染问题[3]，以及时有发生的不法商贩在食品中人为添加荧光增白剂危害食品安全的问题越来越受到大众和食品安全专家的关注。

荧光增白剂为多苯环结构[4]，组成复杂，与人体蛋白一旦结合，难以通过正常的代谢排出体外，它的存在会削弱人体的免疫力，同时对肝脏、肾脏等器官造成极大危害，是潜在的致癌因素。荧光增白物质按照不同的化学结构划分，可以划分成五大类：第一类是二苯乙烯类型的荧光增白物质，他们发出蓝色荧光，在棉纤维、合成纤维、造纸、制皂等工业中有着广泛的应用；第二类是香豆素类型的荧光增白物质，能有较强的蓝色荧光，在聚氯乙烯塑料等产品中有广泛的应用；第三类是吡啶啉型的荧光增白物质，他们具有绿色的荧光，在羊毛、聚酰胺、腈纶、纤维等产品中得到广泛应用；第四类是苯并氧氮型荧光增白物质，他们发出红色荧光，在聚氯乙烯、聚苯乙烯中有较多的应用；第五类是苯二甲酰胺型荧光增白物质，蓝色荧光，他们在涤纶、腈纶、锦纶中有较多的使用[5]。荧光增白剂根据用途分，有涤纶增白剂、洗涤增白剂等，如DT经常被人为称为涤纶增白剂，DCB常被称为腈纶增白剂[6]，这种分类方法存在缺陷，例如VBL (Fluorescent brightener 85, CAS: 12224-06-5)增白剂用在不同的行业中可以存在多种用途VBL (Fluorescent brightener 85, CAS: 12224-06-5)常被称为棉用增白剂，还被大量用于洗涤剂。在商业上，荧光增白剂可以按照离解性质分类，分为阳离子类、阴离子类和非离子类荧光增白剂，还可以按照使用方式分为直染型、分散型荧光增白剂[7]。其中直染型荧光增白剂是指一类水溶性荧光增白剂，这类物质可被织物纤维所吸附，有直接的增白作用，主要用于天然纤维素纤维的增白，也是农贸市场较为被添加在易褐变白色菌类与畜肉中的，分散型荧光增白剂指一些不溶于水的荧光增白剂，在使用前先经过研磨等加工工序同时借助于分散剂的作用制成均匀的分散液，用轧染热熔法或高温浸染法对底物进行增白。我国现阶段市场上使用量较大的荧光增白剂有三嗪氨基二苯乙烯型荧光增白剂、VBL (Fluorescent brightener 85, CAS: 12224-06-5)、CXT (Fluorescent brightener71, CAS: 16090-02-1)、三唑苯基香豆素、造纸用液体增白剂等产品[8]，主要的消费范围集中在白色塑料制品和合成洗涤剂产品上。

2. 荧光增白剂在食品、农产品中的非法使用状况

荧光增白剂除了具有增白、增亮的效果之外，也能起到一定的防腐、保鲜的功能。据报道，部分不法商贩将其添加到面粉[9]、蘑菇[10]中，有效改良了产品的感官品相，延长了菌类的褐变周期。2012年，

北京市某校学生张皓对北京市多个菜市场购买的菇类产品进行荧光灯定性检测,发现食用菌尤其是鲜食用菌不同程度地喷洒或者浸泡过荧光增白剂物质。针对该事件,暨南大学食品研究所主任傅亮告诉该事件调查记者由于荧光增白物质在暗室中经过紫外灯照射才会发出荧光,正常食品中几乎不含有此类荧光物质,食用菌表面呈现荧光性基本属于人为添加荧光增白物质。2014年,湖南长沙菜市场,工商管理局检查人员在抽检农产品时发现,某商户出售的茭白、百合产品在荧光灯下检测有斑状、点状荧光现象。2018年5月,汉中南郑区市场监督管理局联合汉中公安局立案查处两起出售生鲜猪肉摊点,该摊点商贩在猪肉表皮涂抹国家明令禁止的荧光增白物质,以使猪肉达到增鲜增白的效果。卫生部早在2008年先后公布了五批食品中可能违法添加的非食用物质和易滥用的食品添加剂名单,序号第33指出荧光增白物质易被添加在双孢蘑菇、金针菇、白灵菇、面粉中,对蘑菇样品的检测可以通过紫外灯照射进行定性检测,而面粉样品目前则缺少相应的检测方法。除了面粉、菇类产品,其它食品、农产品中也存在添加荧光增白剂达到增白、增鲜的可能性。荧光增白剂是一种复杂的有机化合物,市场上出现的直接非法添加在农产品、食品中的主要是水溶性好、价格低、容易获得的三嗪基氨基二苯乙烯类阴离子型荧光增白剂,这类物质应是食品、农产品等产品今后建立荧光增白物质定量检测方法时重点关注的方向。

三嗪基氨基二苯乙烯类阴离子型荧光增白剂[11]属于二苯乙烯类荧光增白剂的一种。二苯乙烯类荧光增白剂(FWAs)是一种含有共轭双键、具有良好平面性的结构特殊的复杂有机化合物,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。二苯乙烯类荧光增白剂是二苯乙烯共轭体系延长衍生物,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,见图1。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。这类物质是国内添加剂市场较易获得的产品,使用时和水即可溶解,对于那些低门槛、小成本、对食品安全法等法律法规学习欠缺的某些商贩而言,这类材料容易获得,和水即能溶解使用,还能有效改善产品感官性状,存在被非法使用的风险。

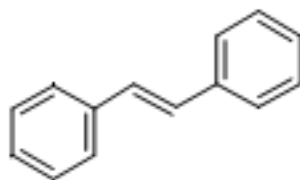


Figure 1. Basic structure of fluorescent whitening agent for distyrene (The substituted groups are benzoxazole group, triazine group, sulfonic group, cyano group, etc on benzene ring)

图 1. 二苯乙烯类荧光增白剂基本结构(苯环上的取代基团有苯并噁唑基团、三嗪基团、磺酸基团、氰基等)

3. 食品包材、餐饮器具中的荧光增白剂使用现状

2012年8月,白家、日清、康师傅等众多知名品牌商品经过检测发现,食品包装杯面外层均不符合食品纸样中最大荧光面积不得超过5平方厘米要求,荧光增白剂有迁移到泡面杯浸泡物的风险以及食用者在口腔接触面杯时荧光增白物质经过唾液进入口腔的风险。2013年4月,国际食品包装协会对北京5家影院出售的爆米花桶质量进行调查,其中三家爆米花桶内侧较白较亮,在紫外分析仪下呈现刺眼蓝色,爆米花桶中的荧光增白物质是否会迁移至固体爆米花中以及迁移的含量为多少,需要利用食品固态模拟物进行迁移研究的一项课题。除此之外,能和食品接触到的塑料袋[12]、一次性塑料餐饮具、一次性筷子、聚乙烯和树脂类水杯、吸管、面粉包装袋均有在紫外荧光灯下检出荧光的现象,需要通过定性定量确证

加强控制。

食品包装安全性以及食品接触材料的安全性直接影响食品安全质量。根据《GB2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用卫生标准》、《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》、欧盟法规 2002/72/EC, 食品中严禁添加荧光增白剂, 荧光增白剂除 FWA184 以外其它是不能够在食品接触材料中使用且有限量要求。《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》中明确规定食品接触材料中 FWA184 特异性迁移量(SML)不能大于 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。然而, 某些不法商贩为牟取私利, 置国家法律、法规于不顾, 利用回收的废旧塑料垃圾、农用薄膜、医疗废弃物等原料回炉加工, 在加工过程中大量加入钛白粉、荧光增白剂等物质以期达到美观效果。制成的再生包装材料流入市场后, 如果将其用于食品包装或其它食品盛装, 有毒有害物质有从包装器皿或包装材料中迁移到食品中将给食品安全造成隐患。对于食品用纸包装材料, 我国颁布的《食品包装用原纸卫生管理办法》中有明确规定, 用于食品包装用的原纸禁止添加荧光增白剂等有害食品添加剂助剂。我国 2018 年纸包装印刷量在 3800 万吨以上, 生产用的纸板中通常会因为有一些杂质、细菌存在, 而在生产过程中加入各种功能性助剂如湿强剂、荧光增白剂、消泡剂、防油剂等可以有效改善纸张卫生和感官状况[13]。同时由于植物资源的短缺和人类环保理念的增强, 废纸在制浆工业中应用越来越多。消费者普遍认为“100%纯木浆”制造的纸制品不会使用荧光增白剂, 但是我国外购的大量纯木浆普遍含有荧光增白剂, 并非“100%纯木浆”就是绿色的、纯天然的。所以使用这种原材料生产的食品包装纸就绝不含有荧光增白剂的错误观念会使企业和使用者造成误判。如果纸品中含有荧光增白剂一般是在造纸的以下三个阶段加入: 一是浆内添加, 该方法用得较为广泛, 就是把荧光增白剂直接加入纸浆再进行抄纸; 二是表面施胶加入; 三是加工纸涂布, 即将荧光增白剂加到加工纸涂布液中。食品用纸选用原生纸的原则对食品用纸质量安全更为可靠。

关于食品包装材料中荧光增白剂是否会对盛装食品迁移的问题, 近年来不少科研工作者做了相关研究。焦艳娜[14]等建立了以 20 mL 三氯甲烷为提取剂超声提取食品接触塑料制品(食品包装袋)中荧光增白剂的高效液相色谱-荧光检测法, 采用 EclipseXDB-C18 (250 mm × 4.6 mm × 5 μm)分析柱, 以 5 mmol/L 的乙酸铵溶液和乙腈为流动相进行梯度洗脱, 结果显示 4 种荧光增白剂(FWA199、FWA367、FWA378 和 FWA184)可以较好地分离, 该方法简便、准确、灵敏度高, 能够满足进出口食品包装材料及塑料制品中荧光增白剂的日常检测。杜志峰[15]等人采用高效液相色谱-三重四极杆测定出发泡塑料餐具中存在 5 种荧光增白剂的迁移, 用其盛放食物存在食物被荧光增白剂污染的可能。吴钟玲[16]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, 用其盛放的食物存在安全隐患。烟草研究院王艳[17]等人采用高效液相色谱法, 对 64 个烟滤嘴成型纸采用 N,N-二甲基甲酰胺提取后进行成份分析测定, 检出 4 批次卷烟滤嘴成型纸中含有 VBL (Fluorescent brightener 85, CAS: 12224-06-5)成分。2014 年国家食品安全风险评估中心蒋定国[18]、邱汉泉等人对北京市市售食品包装材料中的多种双三嗪氨基二苯乙烯型荧光增白剂(DSD-FWAS)含量进行调查测试, 使用乙腈-水-三乙胺(40:60:1, V/V)进行提取, 使用 Symmetry C₁₈ 柱进行分离, 二极管阵列检测器串联荧光检测器进行检测, 发现双三嗪氨基二苯乙烯型荧光增白剂类的检出率高达 41.4%, 市售纸质食品包装材料普遍存在非法添加 DSD-FWAS 的情况。

国际上对荧光增白剂迁移检测使用的是检测荧光增白剂与食品包装纸结合牢度的方式进行, 方法是《EN648: 与食品接触的纸和纸板-荧光增白剂牢度的测定》。该方法使用含有荧光增白剂的食品包装纸, 将其做成一定的尺寸, 将该包装纸双面与浸过稀醋酸、碳酸钠、橄榄油的两张玻璃纤维纸贴合紧密, 盖上玻璃板轻压后用聚酯膜保持湿润, 在(23 ± 2)℃环境下保持一定的时间, 在该段时间内, 食品包装纸中的荧光增白剂可以逐渐迁移至玻璃纤维纸上, 取出玻璃纤维纸, 将该玻璃纤维纸与滴有一系列标准荧光增白剂试液的标准对照品在紫外灯下对比, 通过直观可视评价结果, 将对比结果分为 1~5 个等级。该种

测定方法较好地模拟食品包装纸与食品接触的过程,对荧光增白剂的迁移规律进行了一定地研究。

4. 食品、农产品中荧光增白剂的分析研究现状

荧光增白剂的分析方法有薄层层析法、紫外灯定性检测法、分子荧光分光光度法、紫外分光光度法、高效液相色谱法、毛细管电泳法、拉曼光谱法、高效液相色谱-质谱联用分析法等方法[19][20][21][22]。薄层色谱分析方法操作过程较为繁琐,属于半定性半定量方法。紫外灯定性检测法不能准确定量,而且容易取样不均,可能造成测量结果的误差。紫外分光光度计方法和分子荧光分光光度计方法可以测定荧光增白剂的总量值,却不能定性检测荧光增白物质。高效液相色谱方法自动化程度较高,可以很好地对荧光增白剂进行定性定量测定。高效液相色谱-质谱联用分析法检出限比液相色谱分析方法检出限低,适用于对食品中被污染、痕量物质检测与分析。毛细管电泳在使用时一般会结合紫外检测器共同使用,样品进样体积小、检测光程短,但是灵敏度很难满足复杂样品中痕量物质直接分析要求。拉曼光谱作为非接触式检测的关键技术,快速、没有预处理,缺点是其作为间接性检测技术分析系统在实际应用时会有光谱重叠、光谱非线性变化以及训练样本数量较少等问题。

对于食品、农产品中荧光增白剂定量检测近年来研究得较多,主要集中在色谱方法、色谱质谱方法。由于荧光增白剂品种较多,制订快速、多种类物质的检测技术有助于市场监督管理部门以及公安机关对于非法添加物立案查处时提供确凿的技术证据与支持。三明出入境检验检疫局的张云[23]、陈泽宇等人采用凝胶渗透色谱系统净化, Eclipse XDB-C₁₈柱为分析柱,以四氢呋喃和 5 mmol/L 乙酸铵作为流动相,建立了高效液相色谱法分析食物油中荧光增白物质的分析方法,通过对市售的瓶装食用油进行检测,发现市售油有被荧光增白剂 FWA52、FWA185、FWA199 污染的情况,最高含量达到 0.27 mg/kg。李蓉、何春梅[24]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 荧光增白物质,由于检出的荧光增白剂含量较低,存在包装材料污染面粉导致检出的可能性,需要对面粉包装材料做进一步检测确认。面粉、淀粉、粮食加工品等食品中出现来自包装材料中有毒有害物质污染的一个重要原因是食品包材监督抽查产品涵盖范围有所缺失。食品包装材料国家监督抽查不抽检食品预包装产品的外包装,产品发证抽检的食品包装材料与食品生产过程中所用包装材料有质量等级不一致的安全隐患。市场监督管理局应加强工作力度真实地监督到流通领域食品包装使用材料的质量状况,食品安全监测部门也缺乏来自食品包装材料对食品造成污染的风险项目筛查与相关工作数据的分析研判。

针对市场上不法商贩在食品、农产品中添加较大剂量荧光增白剂以期产品感官更佳的情况,各地方食品药品检验机构、进出口检验检疫机构、质量监督检验机构都有做过调研和研究方法开发工作。广东省江门市质量计量监督检测所的练习中、陈梅斯[25]等人通过对淀粉、食用菌类纯水提取, strata-X-AW 固相萃取柱净化提取液,采用四丁基硫酸氢铵为离子对试剂,高效液相色谱法分析提取液,检测发现市售菌类存在喷洒荧光增白剂的情况。王天娇[26]等人应用 UPLC-FLD 技术检测出蘑菇、杏鲍菇、金针菇含有多种 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。

我国现有涉及食品和食品相关行业荧光增白剂的定性检测方法主要有《DB51/T907-2009 食用菌中荧光增白剂检验规程》、《NY/T1257-2006 食用菌中荧光物质的检测》、《GB/T5009.78-2003 食品包装用原纸卫生标准的分析方法》。包材产品定量检测方法有《GB/T27741-2018 纸和纸板 可迁移性荧光增白剂的测定》、《GB31604.47-2016 食品安全国家标准 食品接触材料及制品纸、纸板及纸制品中荧光增白剂的测定》,该类检测方法主要是针对食品包装材料中 VBL (Fluorescent brightener 85, CAS: 12224-06-5) 含量的检测方法。现阶段,有关荧光增白剂检测方法的报道多是食品包装材料中荧光增白剂迁移规律的研究[27][28],而对于基体复杂的食品体系、农畜产品,相关的检测方法报道还非常少。卫生部发布的被

滥用的食品添加剂及非法添加物名单中的荧光增白物质检测确证仍缺少应有的检测方法, 对于那些有荧光斑、荧光点的菌菇类物质使用紫外-荧光灯尚可进行肉眼的定性检测, 而对于那些面粉以及颗粒类粮食制品在紫外-荧光灯下由于自身的颜色干扰以及受污染颗粒尺寸的限制很难区分被污染颗粒, 需要更加先进、准确、精密的检测设备和分析方法进行该类物质的化学分析、定量确证, 从而为食品安全部门进一步打击食品生产、流通、餐饮服务中违法使用非食用物质的不良行为提供有力的技术支撑。同时制标部门应加快食品、农产品领域的科研与制标工作, 使监管部门有标可依, 更好地为市场把关, 杜绝非法添加物来源, 有效保障消费者的食品安全。

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] 喻坤, 韩熠, 张承明, 等. 荧光增白剂分析方法研究进展[J]. 化学试剂, 2013, 35(5): 417-422.
- [4] 仲伟鉴, 董妙珠, 肖萍, 等. 卫生纸中荧光增白剂的光毒、光敏和致突变性研究[J]. 上海预防医学, 1999, 11(11): 521-523.
- [5] 王明娟. 荧光增白剂在洗涤剂中的应用及其发展[J]. 日用化学工业, 2001(1): 39-40.
- [6] Stephen, C. and Stephen, D.R. (1994) A Study of the Photodegradation of Fluorescent Whitening Agents Applied to Wool, Using Real-Time Fluorescence Spectroscopy. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 77, 277-282. [https://doi.org/10.1016/1010-6030\(94\)80054-5](https://doi.org/10.1016/1010-6030(94)80054-5)
- [7] 沈永嘉, 李红斌, 路玮. 荧光增白剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [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] 盖希特. 塑料添加剂手册[M]. 北京: 中国石化出版社, 1992.
- [13] 张红杰, 胡惠仁, 李群, 等. 造纸用荧光增白剂的结构特点及其影响因素[J]. 天津造纸, 2007(8): 11-15.
- [14] 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.
- [15] 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): 3014-3015.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Wang, S.P. and Huang, S.P. (2001) Separation of Stilbenes by Capillary Electrophoresis and High-Performance Liquid Chromatography. *Electrophoresis*, 22, 2222-2223. [https://doi.org/10.1002/1522-2683\(20017\)22:11<2222::AID-ELPS2222>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/1522-2683(20017)22:11<2222::AID-ELPS2222>3.0.CO;2-I)
- [21] 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. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.10.025>

-
- [22] Shu, W.C. and Ding, W.H. (2009) Determination of Fluorescent Whitening Agents in Infant Clothes and Paper Materials by Ion-Pair Chromatography and Fluorescence Detection. *Journal of the Chinese Chemical Society*, **56**, 797-803. <https://doi.org/10.1002/jccs.200900118>
- [23] 张云, 陈泽宇, 吕水源, 等. 高效液相色谱法测定食用油中 10 种荧光增白剂迁移量[J]. 食品工业科技, 2015, 36(24): 82-85.
- [24] 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.
- [25] 练习中, 陈梅斯, 郑丽斯, 等. 高效液相色谱法测定食品中荧光增白剂[J]. 现代食品科技, 2011, 27(10): 1281-1284.
- [26] 王天娇, 吴平谷, 汤璽, 等. 食品及食品相关产品中荧光增白剂检测技术现状[J]. 中国卫生检验杂志, 2014, 24(24): 3645-3648.
- [27] 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.
- [28] 范约明, 张瑞合, 竹百均, 等. 走向世界的我国荧光增白剂工业[J]. 精细化工原料及中间体, 2010(5): 14-21.