

# Progresses of Plastic Additive Research in Plastic Food Packaging

Lihong Yao, Shengjun Ji, Jingying Wang, Haibo Bo\*

Qinghai Normal University, Xining Qinghai

Email: 1248272000@qq.com, 937949098@qq.com, 839186507@qq.com, \*1025104004@qq.com

Received: Feb. 10<sup>th</sup>, 2016; accepted: Feb. 22<sup>nd</sup>, 2016; published: Feb. 26<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors 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

## Abstract

Here, we reviewed the information of the seven kinds of plastic additives (antioxidant, plasticizer, ultraviolet light absorber, foaming agent, fire retardant, colorant and surfactant) in plastic food packaging, which included its toxicity, migration, determination and applications. This paper revealed the necessity of research, and can serve as a theoretical base and reference for the further study.

## Keywords

Plastic, Food Packaging, Plastic Additive, Toxicity, Migration, Determination, Progresses

# 塑料食品包装材料中塑料添加剂检测研究进展

姚利红, 吉生军, 王静莹, 薄海波\*

青海师范大学, 青海 西宁

Email: 1248272000@qq.com, 937949098@qq.com, 839186507@qq.com, \*1025104004@qq.com

收稿日期: 2016年2月10日; 录用日期: 2016年2月22日; 发布日期: 2016年2月26日

## 摘要

本文对食品用塑料包装材料中所含的七大类塑料添加剂(抗氧化剂、增塑剂、紫外线吸收剂、发泡剂、阻

姚利红(1988-), 男, 硕士, 研究方向为食品安全与质量检测。

薄海波(1962-), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品分析。

燃剂、着色剂、表面活性剂)的毒性、迁移、检测、应用等情况作了综述,揭示了塑料添加剂研究的必要性,为后续研究工作提供理论依据和参考。

## 关键词

塑料, 食品包装材料, 塑料添加剂, 毒性, 迁移, 检测, 研究进展

## 1. 引言

随着人们生活水平的提高和生活方式的变化,塑料食品包装越来越多地出现在人们的生活中。在我国,用于食品包装的塑料制品包括饮料,如汽水、可乐、果汁、茶、矿泉水、纯净水等工业用的塑料包装瓶;液体食品,如牛奶、醋、酱油、食用油等包装用瓶或容器;冷冻食品,食糖,食盐及其它调味品等用的塑料包装袋;水果蔬菜保鲜膜、袋;粮食小包装用薄膜袋,还有食品包装用购物袋等。据推测,用于食品包装的塑料消费量约占总塑料包装制品的45%~55% [1]。用于食品包装的塑料种类主要有PE、PP、PVC、PS等通用塑料,PET、PC主要用于瓶类包装,PA、EVOH、PVDC主要用作阻透材料,PET也有较好的阻透性。其中有些因为含氯而带有一定的毒性,使用量正在下降。这些食品用塑料包装,由于与食品直接接触,食品中的酸性物质和油脂会促使塑料中的各种添加剂迁移到食品中,对人体健康造成潜在的威胁。

## 2. 塑料添加剂

为满足塑料的各种应用,在塑料的加工过程中需要加入一些助剂来改良其性能,或是增加其使用期限,赋予塑料良好的色泽、阻燃性、抗雾性,还有填料和增强材料,拓宽了塑料的应用领域,这些助剂统称为塑料添加剂。塑料添加剂的利用价值正逐渐为人们所认识。

食品包装用塑料添加剂主要有抗氧化剂、增塑剂、紫外吸收剂、着色剂、填充剂、发泡剂、润滑剂、表面活性剂、除雾剂、抗静电剂、除酸剂、防粘剂等,本文对大多数塑料食品包装中经常用到的七种添加剂进行了综述。

### 2.1. 抗氧化剂

抗氧化剂可以防止塑料在热和氧气的作用下发生老化,降低塑料材料自氧化反应速度,延长塑料的使用期,其应用几乎涉及所有的聚合物制品[2]。塑料中常加入的抗氧化剂有取代酚类、芳香族胺类、亚磷酸酯类、含硫酯类等几种[3]。目前,国际上开发的人工合成抗氧化剂有上百种,但被各国认可、符合安全、高抗氧化标准的只有十几种,最常用的有叔丁基对羟基茴香醚(BHA)和2,6-二叔丁基对甲酚(BHT)、特丁基对苯二酚(TBHQ)、没食子酸丙酯(PG)等[4]。

#### 2.1.1. 抗氧化剂的毒性

作为化学合成抗氧化剂,在提升材质性能的同时对人体具有极大的危害。如在注射器中的使用可能会导致医用橡胶塞中的BHT、BHA随着药液直接流入人体,危害人体健康。BHT的短时间暴露可引起人过敏反应,恶心、呕吐、呼吸困难、定向障碍,长期或反复暴露可能损害人体肝肺、甲状腺等器官,而一定量的TBHQ摄入可引起人体反胃、耳鸣、作呕,甚至会感到窒息和虚脱。

#### 2.1.2. 抗氧化剂的迁移

温度和时间是影响抗氧化剂迁移的主要因素。J.M. Lopez-Vilarino等[5]研究了LDFE中的Irganox1010、Irganox1076、BHT、Irgafos168,40℃条件下在水性食品食品模拟物中迁移10天,发现只有Irgafos168

被检出，其含量低于欧盟的特定迁移量。

抗氧化剂迁移与包装材料也会有关系。Monica Bertoldo 等[6]研究了水浸提两种不同结构的 PP 材料中 Irganox1010，研究发现，与 PE 共聚的 PP 材料 PP 均聚物材料在相同条件下更容易迁移出抗氧化剂，虽然在模拟物中使用高效液相色谱未能直接检测出 Irganox1010，但 Irganox1010 的氧化降解产物却一直存在并被检出；M. J. Galotto 等[7]对不同厚度的 LDPE 膜中的 Irganox1076，在 40℃，20 天，脂肪和水两类视频模拟物中的迁移试验进行研究，结果表明材料厚度越薄，迁移出抗氧化剂所需要的时间越短，相同条件下脂肪模拟物中迁移出的抗氧化剂量多于水性食品模拟物[8]。

### 2.1.3. 抗氧化剂的检测

塑料食品包装材料中，抗氧化剂的提取方法有索氏提取，微波辅助萃取，超临界流体萃取，加速溶剂萃取等，食品模拟物中抗氧化剂的提取方法有液液萃取，超声萃取，基质固相分散萃取等。

抗氧化剂 BHA、BHT、TBHQ 的检测已有国家标准(GB23373-2009)，许多研究者对其进行了改进，实验结果良好，定性和定量方面更具优势。

熊中强等[9]建立了气相色谱法测定高分子食品塑料包装材料中抗氧化剂 BHA、BHT、TBHQ 残留量的分析方法。用环己烷超声萃取、气相色谱柱 HP<sub>50+</sub>毛细管柱分离、ECD 检测、外标法定量，取得了很好的结果。

蔡发等[10]建立了一种 LC-MS/MS 法测定食品中抗氧化剂的分析方法。正己烷溶解样品，含抗坏血酸盐和棕榈酸盐的乙腈萃取，反相 C<sub>18</sub> 柱分离，乙腈 - 甲醇 - 水为流动相，梯度洗脱，MRM 检测，外标法定量，取得了相关系数良好、检出限低、平均回收率高、相对标准偏差较小的满意结果。

### 2.1.4. 抗氧化剂的应用

食品工业是目前抗氧化剂应用的最大领域，食品工业的快速发展极大地促进了抗氧化剂的研究、开发和生产，同时抗氧化剂的研究成果也推动了食品工业的发展。水溶性抗氧化剂能溶于水，能够防止食品氧化和脱色，主要在果蔬及果蔬饮料、肉及肉制品、啤酒等领域应用。脂溶性抗氧化剂主要在肉及肉制品、油脂及油脂食品、糖果制品和水产品种应用。

## 2.2. 增塑剂

塑化剂，是加入塑料体系中用以提高塑料可塑性，同时又不影响聚合物体系本质特性的物质。增塑剂的主要作用是削弱聚合物分子间的范德华力，增加聚合物分子链的移动性，降低聚合物分子链的结晶性，从而使塑料的硬度、软化温度和脆化温度都下降，伸长率、曲挠性和柔韧性都提高，即塑性增加。目前，增塑剂的添加对象包含了塑胶、混凝土、水泥与石膏等。

### 2.2.1. 增塑剂的毒性

许多权威的科学家和研究机构对增塑剂的毒性进行研究，发现其可对机体产生多种不良影响，如生殖发育毒性、诱变性和致癌性、一般毒性、内分泌干扰作用以及诱导肿瘤产生等[11]。Agarwal 等[12]研究了 DEHP 对成年小白鼠的致畸与致突变影响发现，经 DEHP 处理后的小鼠表现出致死和致突变作用。1982 年，美国国家毒理规划署的研究报告确证了大鼠和小白鼠长期吸收 DEHP 可引发肝癌[13]。此外，欧盟毒物、生物的毒理和环境委员会在实验室检测中发现，DINP 对肝脏和肾脏有副作用，DEHP 会损伤心血；而 MEP 和 DEP 的代谢物将增加对精子 DNA 的损伤[14]。邻苯二甲酸酯的雌激素效应可能与生物体的生殖系统发育异常、生殖功能障碍、生殖系统及内分泌系统肿瘤以及神经系统发育和功能损伤有关[15]。Hauser 等[16]分析了 379 名不育男性自身精子 DNA 的损伤程度和尿中邻苯二甲酸酯类增塑剂浓度的关系后，发现 DEP 及经 DEHP 氧化代谢物标化过的 MEHP 与精子 DNA 的损伤有关。

### 2.2.2. 增塑剂的迁移

影响增塑剂迁移的因素很多,包括物质性质、迁移物质的浓度、温度、时间、接触物质的种类等。

朱勇等[17]研究了食品包装用 PVC 薄膜中 DEHP 的迁移,食品模拟物为蒸馏水、稀酸溶液、乙醇/水混合物、脂肪食品模拟物。研究发现,随着时间延长,DEHP 迁移量逐渐增大;温度越高,迁移量越大,不同温度,迁移量相同;初始浓度越大,迁移量越大;脂肪食品模拟物中,DEHP 前一辆大于睡醒食品模拟物。

杨涛等[18]综述了 PVC 中增塑剂的迁移问题,指出迁移物相对分子质量越大,越不容易迁移;温度越高,越易迁移;在一定范围内,增塑剂含量增大使增塑剂更容易扩散。一般增塑剂都易于被汽油或油类溶剂抽出,难于被水抽出。在迁移初期速率较快。迁移到表面上的增塑剂浓度与迁移时间的平方根成线性关系。之后随时间的延长迁移速率逐渐减小。到一定时间(720 h 左右)后,达到平衡。

### 2.2.3. 增塑剂的检测

目前,邻苯二甲酸脂类增塑剂因其对人体潜在的毒性而被人们所熟知,许多研究人员对其在食品包装材料、食品、化妆品中的含量进行了测定。

据文献报道,对邻苯二甲酸脂类增塑剂的检测方法有:分光光度法、荧光光度法、气相色谱法、高效液相色谱法和气质联用法等。随着研究的深入和检测要求的提高,气质联用法应用日益广泛。

谢利、张国柱等[19]建立了一种 GC-FID 法层顶塑料中增塑剂的测定方法,用来测定食品级瓶盖垫圈中五种邻苯二甲酸脂类增塑剂 DEHP、DINP、DIDP、BBP、DBP。采用甲苯提取,索氏提取 5h。结果表明,酒精饮料、罐头瓶盖垫圈中含有 DEHP,其余三种垫圈中不含这五种增塑剂。

### 2.2.4. 增塑剂的应用

塑化剂在塑料制品、香蕉、塑料薄膜、降解塑料、高分子材料、化学材料、汽车制造、电子电器、纳米材料、航空航天、食品卫生、涂料与粘合剂、纺织印染、造纸、油墨工业、清洗剂、化妆品、皮革、清洗剂等众多行业都有相当普遍的应用[20]。

随着人们环保意识的增强和相关环境法规、公约的强制执行,PVC 增塑剂的研究和应用正向绿色环保方向发展。我国大豆、柠檬酸等无毒增塑剂原料资源非常丰富,随着国内柠檬酸酯类、换杨磊等无毒增塑剂的研究和应用的发展在不久的将来无毒增塑剂将成为 PVC 用增塑剂的主导产品[21]。

## 2.3. 紫外吸收剂

紫外线吸收剂,是一种使用广泛的抗老化塑料添加剂,它能有效吸收阳光中的紫外线,且不发生光化反应,从而使塑料耐受更长时间的阳光照射,延长塑料的使用寿命。依据我国强制性国标 GB 9685-2008 的规定,紫外线吸收剂在塑料食品包装材料中的使用必须在一定的限量范围内,且有些是有毒有害的[22]。

### 2.3.1. 紫外吸收剂的迁移

目前,国内外对抗氧化剂、增塑剂等迁移行为的研究,较多见诸报端,而紫外吸收剂迁移行为的研究很少。

艾连峰、郭春海等[23]研究了在不同条件下,HDPE 中四种紫外线吸收剂向水、10%乙醇溶液(体积分数)、3 g/L 乙酸和精炼橄榄油 4 种食品模拟物中迁移的规律。结果表明,紫外吸收剂只在脂肪食品模拟物中迁出;迁移率和迁移量随温度升高而增加;材料厚度增加,迁移量增加,迁移率降低;紫外吸收剂初始浓度越大,迁移量越大,迁移率越低。

### 2.3.2. 紫外吸收剂的检测

紫外线吸收剂的测定方法主要有 GC-MS 法、LC 法及 LC-MS/MS 法等,在化妆品安全性分析和环境



监测中发挥作用。国内外，对 PVC 和 PE 塑料中紫外线吸收剂测定的报道很少。

林维宣、孙兴权等[24]建立了液相色谱 - 串联质谱检测方法测定防晒化妆品中 11 种紫外线吸收剂，乙腈-0.1%甲酸水溶液为流动相梯度洗脱，多反应监测(MRM)模式进行质谱检测，保留时间及质谱图中特征离子风度定性，外标法定量，结果表明，该方法对于膏状和乳状防晒化妆品中 11 种紫外线吸收剂有较好的适用性。

### 2.3.3. 紫外线吸收剂的应用

目前，紫外线吸收剂主要在纺织、环境和防晒化妆品中应用较多。进入现代社会，世界工业迅速发展，人们在过分追求生产力高速增长的同时，忽略了对环境造成的破坏，致使臭氧层出此案了空洞，各种防紫外线用品越来越受到人们的青睐。紫外线吸收剂发挥的作用也越来越大。

二苯甲酮类紫外线吸收剂在聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、ABS、聚苯乙烯、聚酰胺等高聚物以及纺织材料的后整理中广泛使用；水杨酸酯类紫外线吸收剂价格便宜，可吸收可见光，又能与高聚物很好向亲，常用于纤维素、聚酯、PVC、PE、聚偏乙烯、聚苯乙烯等高聚物；取代丙烯腈类紫外线吸收剂用于聚氯乙烯、缩醛树脂、环氧树脂、聚烯烃、聚氨酯和硝酸纤维素等[25]。

## 2.4. 着色剂

我们接触到的大部分物质都需要添加着色剂，使其呈现五彩缤纷的颜色。任何可以使物质显现设计需要颜色的物质都称为着色剂。根据心理学家的分析结果，人们凭感觉接受的外界信息中，83%的印象来自视觉。产品外观的重要性，这其中特别是外观颜色尤为重要。产品生产中着色剂的使用，就是为了迎合人们的这种感官需求，使产品能更吸引消费者，从而获得更高的收益。

### 2.4.1. 着色剂的迁移和毒性。

着色塑料中颜料的迁移性和塑料材料分析链的刚性和分子间的紧密性相关，换言之，颜料的迁移性与塑料的玻璃化温度紧密相关，塑料玻璃化温度低于塑料日常使用温度容易发生迁移[26]；当塑料中加入其他添加剂时，分子间距离增大，结构变得疏松，聚合物链的相互作用减小，着色剂更容易发生迁移；在聚烯烃颜料着色时，着色浓度与渗色和起霜严重程度成正比，对于聚氯乙烯，加入增塑剂可抑制渗色和起霜；在塑料加工中颜料的沾色也是一种迁移，完全被聚氯乙烯润湿的颜料不会向表面迁移。

据报道，江苏常州检验检疫局食品接触材料国家重点实验室在对有色塑料饭盒、塑料杯等食品接触材料进行检测时，发现部分样品存在着色剂迁移(脱色)的现象。着色剂的安全使用问题逐渐引起了人们的注意。很多无机着色剂含有 Hg、Cd、Cr、Pb 等重金属，有机着色剂许多是偶氮类、杂环类和苯胺衍生物，有些会分解释放一些致癌、致突变等物质，这些着色剂通过与食品接触进而进入人体，势必会对人的健康产生威胁。

### 2.4.2. 着色剂的测定

无机着色剂因为含有一些金属离子，所以可以采用原子吸收分光光度法或等离子发射光谱法测定。理论上，有机着色剂可采用气相色谱，或液相色谱，或与质谱仪联用，进行定性和定量分析。

目前通用的合成着色剂检测方法是国标方法，此方法用聚酰胺粉吸附色素，然后通过垂融漏斗抽滤，洗脱出合成着色剂，进高效液相色谱仪进行测定[27]。

国内外对食品在加工时加入的着色剂，特别是人工合成着色剂的测定研究较多[28]-[34]，而对塑料食品包装加工时加入，并向食品中迁移的着色剂的测定可谓凤毛麟角，有待进一步完善之。

### 2.4.3. 着色剂的应用

塑料主要是通过添加无机和有机颜料来着色的，要求有较高的着色强度和艳度，良好的透明性、遮

盖性、分散性、耐候性、热稳定性、化学稳定性、电气稳定性和环保性能。

多数天然食品着色剂具有抗氧化能力，很多天然着色剂具有防腐效果、保健和药理作用，一些天然着色剂还能提供人体所需的一些微量元素和维生素。天然着色剂在加工保存过程中容易推色变色，因此需要加入合成着色剂来改善食品的感官性质。合成着色剂作为天然着色剂的替代品用来替代能引起消费者过敏的成分。

天然着色剂资源的开发潜力巨大，开发天然着色剂，除了改进生产工艺，增加首旅外还考虑多向发展，综合利用。有节奏地开发合成着色剂，将正在使用的合成着色剂进行各种各样的毒理学和分析化学研究，同时加强综合治理，防治着色剂在生产、加工、运输、贮藏过程受到污染[35]。

## 2.5. 发泡剂

发泡剂又称起泡剂、泡沫剂。是能促进发生泡沫，形成闭孔或联孔结构的物质。在塑料生产过程中加入发泡剂，在一定的外界条件下，产生大量气泡，使塑料层形成许多连续的、互不相通的微细的泡孔结构，从而起到降低塑料密度，降低产品重量，节省成本的目的。同时在很多应用中，发泡材料的隔热、吸震性能也比致密塑料好。目前还没有比较系统的发泡剂分类。合成工业上习惯把发泡剂分为两类：物理发泡剂和化学发泡剂[36]。化学发泡剂按结构分，有有偶氮化合物、N-亚硝基化合物、酰肼类化合物等。

虽然在食品、采矿等领域广泛使用发泡剂发泡，但目前对于发泡剂尚无文献记载其向其他物质或食品模拟物中迁移规律及毒性研究，也没有相关检测方法报道。可以想象，化学发泡剂的运用，势必对人体健康存在潜在的威胁。

## 2.6. 表面活性剂

表面活性剂，是指具有固定的亲水和疏水基团，在溶液的表面能定向排列，并能使表面张力显著下降，增加分散质在溶剂中的分散能力，使体系均匀的物质。它是一大类有机化合物，他们的性质极具特色，应用极为灵活、广泛，主要起增溶、乳化、润湿、起泡和消泡、消毒杀菌、抗硬水、去垢洗涤的作用。

### 2.6.1. 表面活性剂的危害

表面活性剂的应用范围日益扩大，在使用过程中会不可避免地进入环境中，引起环境问题。表面活性剂一旦进入水体，会在水体表面形成大量泡沫，组织水与大气进行气体交换；同时，会使水生动植物因缺氧而导致死亡，使水体情况进一步恶化，变绿，变臭，成为蚊蝇等的滋生地，引起地区性的环境污染。同时，表面活性剂还会通过动物取食、皮肤渗透等方式进入动物体内[37]。当表面活性剂的浓度过高时，就可进入动物的脑、血液、肾、胆囊和肝胰腺，并对他们产生毒性影响[38]-[40]。这些被表面活性剂污染了的水生动物，可能会通过食物链，将其体内的表面活性剂富集到人体中。研究表明，负离子表面活性剂对动物有一定的损害，但不存在长期性，也不存在致癌、致畸、致突变性[41]。

### 2.6.2. 表面活性剂的测定方法

表面活性剂可引起许多问题，尤其是环境问题，因此许多学者对其进行了研究。杨俞杰，张新申等[42]综述了表面活性剂的测定方法，包括分光光度法、电化学分析法、色谱法、共振散射分析、毛细管电泳法、示波极谱法等。

除了上述 6 中测定方法外，原子吸收分光光度方法[43]、萃取荧光光度法[44] [45]等也在测定其他样品中的表面活性剂含量上发挥着作用。

### 2.6.3. 表面活性剂的应用

表面活性剂因其良好的性能和特点,已在食品、塑料加工、橡胶、涂料、洗涤剂生产、化妆品行业、制药、化纤、纺织品、石油化工、金属加工工业、制革、建筑业、制浆造纸等多个行业领域内发挥着重要作用,已成为工业上不可或缺的工业生产助剂。特别是近年来,随着科技的不断进步和新的表面活性剂的研发及应用,其应用更是无所不入。在生物工程领域,可以充当发酵促进剂和反胶束萃取剂;在新能源及高效节能技术领域,在燃料电池、水煤浆中也有应用;在现代农业技术领域,在农药加工和化肥生产中也是不可或缺的原料。随着表面活性剂的发展和整体工业水平的提高,如今表面活性剂在电子与信息技术、医药技术、选矿工业等领域中都有了较广泛与深入的发展[46]。

### 2.7. 阻燃剂

阻燃剂多为含溴个数为 1~10 的联苯、联苯醚、酚及其衍生物或环烷烃,被广泛应用于塑料、印刷电路板、涂层、电线电缆及树脂类电子元件中,许多研究已证实,阻燃剂在制造、循环再利用或处理消耗性产品过程中所释放出的有害物质对人体健康与环境的危害愈发严重。大部分发泡剂具有较高的持久性和亲脂性,容易在人体内累积,对婴幼儿产生不利影响。在世界部分地区的母乳中发现阻燃剂的残留,其在美国母乳中含量最高,长期接触会妨碍大脑和骨骼发育,危害内分泌系统,影响激素在体内的平衡[47]。

## 3. 塑料添加剂前景展望

随着我国科学发展观和可持续发展战略的实施,今后的塑料食品包装开发将更加贴近安全无毒、将抗卫生、环保等标准,在使用性能和使用后处理上下功夫。从这点出发,目前大多数包装材料,要注意到从原材料、加工、直至到达消费者,甚至消费以后的回收再利用问题,整个流通过程中的安全卫生、环境保护等问题。而关于单体和低聚物的溶出问题、各种添加剂的毒性问题,还不能说已经充分认证过了,有些环节还需要进行继续深入的研究和探讨。再有,以废弃物处理为主的环境问题的对策,也还没有到达完全解决的阶段。因此,今后对于食品添加剂的安全、健康卫生、环境还有许多工作要做[48]。另外,近年在国内对食品用塑料包装制品有不少不利于其发展的舆论,典型的例子是说聚苯乙烯发泡餐盒有毒。这里有一个宣传的问题,要正确引导消费者,防止对塑料发生各种误解。作为塑料助剂行业应该及早对各种塑料添加剂的安全性做出评价,以使食品用包装塑料能健康持续地发展。

## 基金项目

青藏高原特色风味食品中有害物质高通量筛查及快速检测技术研究(2014-ZJ-722)。

## 参考文献 (References)

- [1] 杨惠娣. 食品包装用塑料添加剂发展动向[J]. 塑料助剂, 2001(6): 4-12.
- [2] 周玉芳. 实用塑料添加剂手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 272.
- [3] 刘志明, 胡长鹰, 王志伟. 3 种聚烯烃抗氧剂的迁移试验分析及数值模拟[J]. 包装科学与工程, 2007, 28(1): 1-3.
- [4] 李兴根, 乔勇升, 韩芷玲, 等. 高效液相色谱法测定食品中的 7 种抗氧化剂[J]. 分析测试学报, 2012, 31(10): 1319-1324.
- [5] Dopico-Garcia, M.S., Lopez-Vilarino, J.M. and Gonzalez-Rodriguez, M.V. (2003) Determination of Antioxidant Migration Levels from Low-Density Polyethylene Films into Food Simulants. *Journal of chromatography A*, **10**, 53-62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2003.08.025>
- [6] Bertoldoa, M. and Ciardellib, F. (2004) Water Extraction and Degradation of a Statically Hindered Phenolic Antioxidant in Polypropylene Films. *Polymer*, **45**, 8751-8759. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymer.2004.10.044>

- [7] Galto, M.J., Torres, A., Guards, A., *et al.* (2010) Experimental and the Oretical Study of LDPE versus Different Concentrations of Irganox1076 and Different Thickness. *Food Research International*, **44**, 566-574.
- [8] 刘宇飞, 李忠海. 塑料食品包装材料中常用抗氧化剂迁移研究进展[J]. 食品与机械, 2012, 28(6): 252.
- [9] 熊中强, 王利兵. 气相色谱法测定高分子食品包装中的抗氧化剂残留量[J]. 色谱, 2011, 29(3): 273-276.
- [10] 蔡发, 段小娟, 车志春, 等. 液相色谱-串联质谱法测定食品中的 12 种抗氧化剂[J]. 分析测试学报, 2012, 31(z1): 45-49.
- [11] 王文枝, 国伟, 孙利, 等. 食品包装材料中 DEHP 的危害及其在食品中的暴露评估[J]. 食品科技, 2008, 33(4): 166-168.
- [12] Agarwal, D.K., Lawrence, W.H. and Autian, J. (1985) Antifertiljty and Mutagenic Effects in Mice from Parenteral Administration of Diethylhexyl Phthalate (DEPH). *Journal of Toxicology and Environmental Health*, **16**, 71-84. <http://dx.doi.org/10.1080/15287398509530720>
- [13] National Toxicology Program (1982) Carcinogenesis Bioassay of DI(2-ethylhexyl)phthalate (CAS NO.117-81-7) in F344 Rats and B6c3F<sub>1</sub> Mice(Feed Studies). Research Triangle Park.
- [14] Duyy, S.M., Singh, N.P., Silva, M.J., *et al.* (2003) The Relationship between Environmental Exposure to Phthalates and DNA Damage in Human Sperm Using the Neutral Comet Assay. *Environmental Health Perspectives*, **111**, 1164-1169.
- [15] 沈霞红, 李冬梅. 韩晓冬. 邻苯二甲酸酯类胚胎生殖毒性研究进展[J]. 中国公共卫生, 2010, 26(9): 1115-1216.
- [16] Hauser, R., Meeker, J.D., Singh, N.P., *et al.* (2007) DNA Damage in Human Sperm Is Related to Urinary Levels of Phthalate Monoester and Oxidative Metabolites. *Human Reproduction*, **22**, 688-695. <http://dx.doi.org/10.1093/humrep/del428>
- [17] 朱勇, 王志伟. 食品包装用 PVC 膜增塑剂迁移的研究[J]. 包装工程, 2006, 27(1): 40-41.
- [18] 杨涛, 于同利. PVC 中增塑剂迁移和抽出问题[J]. 塑料助剂, 2009(5): 13-15.
- [19] 谢利, 于江, 李霞, 等. GC-FID 法测定食品级瓶盖垫圈中五种邻苯二甲酸脂类增塑剂的含量[J]. 西安理工大学学报, 2011, 27(3): 290-294.
- [20] 刘凤云. 塑化剂应用及其危害[J]. 广东化工, 2011, 11(38): 57-77.
- [21] 雍奎刚, 刘忠科, 刘宝钊. PVC 无毒增塑剂的应用和发展[J]. 塑料科技, 2007, 35(6): 88-91.
- [22] 李静. 塑料食品包装材料中紫外光稳定剂含量的检测方法研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽大学, 2011.
- [23] 艾连峰, 郭春海, 葛世辉, 等. 食品包装材料 HDPE 中 4 种紫外线吸收剂迁移规律的研究[J]. 包装工程, 2011, 32(13): 4-7.
- [24] 林维宣, 孙兴权, 马杰. 液相色谱-串联质谱法同时测定防晒化妆品中的 11 种紫外吸收剂[J]. 色谱, 2013, 31(5): 410-415.
- [25] 黄茂福. 紫外线吸收剂作用机理及其应用[J]. 染整科技, 2001(2): 46-53.
- [26] 陈信华, 王琼. 塑料用着色剂基本要求及有关测试方法[C]//中国化工学会. 第九届全国染料与染色学术研讨会暨信息发布会论文集, 2004: 48-52.
- [27] 黄敬, 卢明. 高效液相色谱法测定胶囊壳中合成着色剂的改进[J]. 中国卫生检验杂, 2007, 17(12): 2036-2043.
- [28] 王东芬. 高效液相色谱法测定果冻中的合成着色剂[J]. 中国卫生产业, 2012(32): 102.
- [29] 杨岚, 张敬轩, 等. 高效液相色谱法同时测定食品中 8 种合成着色剂[J]. 河北省科学院学报, 2012, 29(3): 49-53.
- [30] 宗万里, 刘新才. 高效液相色谱法测定葡萄酒中人工合成色素[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(2): 58-61.
- [31] 吴玉萍, 高广智, 袁静. 高效液相色谱法测定食品中的着色剂[J]. 中国公共卫生, 2013, 19(5): 602.
- [32] 戚荣平, 邱晓枫, 胡薇薇. 高效液相色谱法测定着色剂亮蓝的探讨[J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 18(1): 51-52.
- [33] 孙小颖, 李英, 刘丽, 等. 高效液相色谱法测定化妆品中的 9 中水溶性着色剂[J]. 色谱, 2009, 27(6): 852-855.
- [34] 伊雄海, 邓晓琴, 杨惠琴, 等. 液相色谱拟串联质谱法检测食品中的多种易滥用着色剂[J]. 色谱, 2011, 29(11): 1062-1069.
- [35] 陈建. 食品着色剂的应用研究进展[J]. 廊坊师范学院学报(自然科学版), 2011, 11(4): 68-70.
- [36] 王全杰, 谭小军. 发泡剂的种类、特点及应用[J]. 皮革科学与工程, 2011, 21(1): 38-42.
- [37] 张学佳, 纪巍. 水环境中表面活性剂的危害及其处理方法[J]. 石化技术与应用, 2008, 26(6): 581-586.
- [38] Wakabayashi, A., Kiikuchi, M. and Lnoue, W. (1978) Bioaccumulation Profiles of Sodium Linear Alkylbenzene Sul-



fonate and Sodium Anky sulfate in Carp. *Chemosphere*, **7**, 917-924. [http://dx.doi.org/10.1016/0045-6535\(78\)90124-8](http://dx.doi.org/10.1016/0045-6535(78)90124-8)

- [39] 王宝辉, 张学佳, 纪巍, 等. 表面活性剂环境危害性分析[J]. 化工进展, 2007, 26(9): 1263-1268.
- [40] 陈莉娥, 周兴求, 伍健东. 表面活性剂废水处理技术[J]. 工业水处理技术, 2003, 23(10): 12-16.
- [41] Water, J. and Feijtel, J. (1995) AISE/CESIO Environmental Surfactant Monitoring Programme: Outcome of Five National Pilot Studies on LAS. *Chemosphere*, **30**, 1939-1956.
- [42] 杨育杰, 张新申, 俞凌云. 表面活性剂测定研究进展[J]. 西部皮革, 2010, 32(1): 16-20.
- [43] 周原, 刘新玲, 郭前进. 阳离子表面活性剂的间接原子吸收分光光度法测定[J]. 分析测试学报, 2003, 22(4): 93-95.
- [44] 谢志海, 郎慧云, 王昕, 等. 离子缔合物 - 萃取荧光光度法测定水中阴离子表面活性剂[J]. 分析实验室, 2001, 20(5): 47-48.
- [45] 徐宏. 荧光光度法在生活饮用水中阴离子洗涤剂分析中的应用[J]. 中国科技信息, 2006(2): 85-86.
- [46] 徐玥, 陆智斐, 巫羚艺. 表面活性剂概述及新应用[J]. 应用技术, 2010(26): 320.
- [47] 李燕, 霍夏, 徐锡金. 溴化阻燃剂的毒性研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2007, 24(2): 119-121.
- [48] 杨惠娣. 食品包装用塑料添加剂发展动向[J]. 塑料助剂, 2001(6): 4-12.