

# 果蔬泡沫网套中荧光增白剂及有机偶氮颜料筛查及迁移特征

杨娇<sup>1,2</sup>, 黄卓权<sup>1,2</sup>, 刘焕<sup>1,2</sup>, 靳登鹏<sup>1,2</sup>, 卜玲玲<sup>1,2</sup>, 柯倩华<sup>1,2</sup>, 柳春红<sup>1,2</sup>

(1.华南农业大学 食品学院, 广州 510642;

2.农业农村部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室(广州), 广州 510642)

**摘要:** **目的** 研究果蔬泡沫网套中风险因子的迁移情况, 以期对果蔬泡沫网套的安全监管提出建议。**方法** 选用市售的果蔬泡沫网套进行荧光增白剂及有机偶氮颜料筛查, 筛查出的风险因子在体积分数为4%的乙酸、体积分数为95%的乙醇及异丙醇模拟物中进行模拟迁移实验。**结果** 果蔬泡沫网套中含有荧光增白剂 4,4-双(2-苯并恶唑基)二苯乙烯(OB-1), 未检出有机偶氮; 模拟迁移实验表明荧光增白剂 OB-1 能迁移至体积分数为95%的乙醇和异丙醇模拟物中。**结论** 果蔬泡沫网套中荧光增白剂 OB-1 易迁移至非酸性物质或者油性物质中, 对人体健康可能存在潜在威胁。

**关键词:** 果蔬泡沫网套; 荧光增白剂; 有机偶氮颜料; 模拟迁移

**中图分类号:** TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)05-0023-06

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.05.003

## Screening and Migration Characteristics of Fluorescent Whitening Agents and Organic Azo Pigments in Fruit and Vegetable Foam Nets

YANG Jiao<sup>1,2</sup>, HUANG Zhuo-quan<sup>1,2</sup>, LIU Huan<sup>1,2</sup>, JIN Deng-peng<sup>1,2</sup>, BU Ling-ling<sup>1,2</sup>,  
KE Qian-hua<sup>1,2</sup>, LIU Chun-hong<sup>1,2</sup>

(1.College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2.Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Agro-products on Storage and Preservation (Guangzhou),  
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510642, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study the migration of risk factors in the fruit and vegetable foam nets to make recommendations for the safety supervision of fruit and vegetable foam nets. The commercially available fruit and vegetable foam nets were used as the samples for screening fluorescent whitening agents and organic azo pigments. The risk factors screened out were used as the detection indexes of simulated migration experiments in 4% acetic acid, 95% ethanol, and isopropanol simulants. The screening experiments showed that the fruit and vegetable foam nets contained the fluorescent whitening agent 4, 4-bis (2-benzoxazolyl) stilbene (OB-1) while the organic azo pigment was not detected in the samples. In the migration experiments, the optical brightener OB-1 could migrate to 95% ethanol and isopropanol simulants. The findings suggest that the fluorescent whitening agent OB-1 in the foam nets of fruits and vegetables could migrate to non-acidic or oily substances, which might pose a potential threat to human health.

**KEY WORDS:** fruit and vegetable foam net; fluorescent whitening agents; organic azo pigments; simulated migration

收稿日期: 2020-10-11

基金项目: 国家农产品质量安全风险评估项目计划(GJFP201801102, GJFP2019038)

作者简介: 杨娇(1995—), 女, 华南农业大学硕士生, 主攻食品安全与营养。

通信作者: 柳春红(1968—), 女, 博士, 华南农业大学教授, 主要研究方向为食品安全与营养。

泡沫网套以树脂为基体,通过添加滑石粉、偶氮二甲酰胺、丁烷等助剂和发泡剂后发泡制作而成<sup>[1]</sup>。泡沫网套存在较多气孔,具有防冲撞、轻携、保温等性能,被大量应用于果蔬的包装中<sup>[2]</sup>。笔者所在课题组在前期工厂实地调研中了解到,泡沫网套的生产制作工艺比较简单,成本较低,生产无标准规范,甚至有些产品包装没有标生产厂家、生产日期、生产原料和主要添加剂成分等信息,在调研过程中还发现有些小型工厂为了降低生产成本,采用回收材料制作泡沫网套。在市面上可以看见颜色各异的塑料泡沫网套,通过添加染色剂、荧光增白剂等为泡沫网套增色,以达到与蔬菜水果颜色更为匹配的目的。

荧光增白剂是一种荧光染料,能在较低浓度下使物体的白洁度增加,从而提高物体的亮度,因此有些生产厂家会在生产过程中加入荧光增白剂,使其色泽亮白,但与人体接触进入机体后会与某些特定蛋白结合,影响人的正常生理代谢功能<sup>[3-4]</sup>。目前,在市场上,不仅有白色的塑料泡沫网套,为了满足色彩各异的各种水果,还有红色、黄色等各种颜色的泡沫网套,在彩色泡沫网套生产过程中生产厂家有可能添加染色剂。有机偶氮颜料曾广泛应用于塑料制品,主要成分为芳香胺,而一些有毒有害的芳香胺能作用于血液形成高铁血红蛋白,导致中枢神经系统和心血管系统的损伤,甚至还能致癌<sup>[5-7]</sup>。

目前关于塑料制品中荧光增白剂的报道屡见不鲜,如聚乙烯塑料中荧光增白剂的检测和迁移特性的研究<sup>[8]</sup>,PVC塑料食品包装中的2种荧光增白剂迁移规律研究<sup>[9]</sup>,塑料瓶中的芳香胺物质迁移特性的研究<sup>[7]</sup>等,但是关于泡沫网套中荧光增白剂和有机偶氮颜料的研究却十分少见。由于塑料网套与果蔬直接接触,因此有害因子可能迁移至果蔬而被人体所吸收,这对人体健康带来了潜在威胁。文中拟对果蔬泡沫网套展开安全性调研,排查风险隐患,同时进行泡沫网套风险因子迁移实验,以期对果蔬泡沫网套的安全监管提出建议。

## 1 实验

### 1.1 材料与仪器

主要材料:塑料泡沫网套,分别从广州批发市场、广州生产工厂、漯河(网购)、南京(网购)购买,包括白色,红色和黄色等3种常见的颜色;乙腈(色谱纯),美国默克公司;甲醇(色谱纯),美国默克公司;叔丁基甲醚(色谱纯),美国默克公司;三氯甲烷(分析纯),广州化学试剂厂;甲酸(色谱纯),阿拉丁试剂(上海)有限公司;无水乙醇(分析纯),广州化学试剂厂;硫酸(分析纯),广州化学试剂厂;荧光增白剂52,185,368,378,393(纯度 $\geq 97\%$ ),上海安谱实验科技股份有限公司;荧光增白剂135,

199,367(纯度 $\geq 99\%$ ),上海安谱实验科技股份有限公司;荧光增白剂184(纯度100%),美国AccuStandard公司;26种芳香伯胺混标(1000 mg/L),美国o2si公司;高锰酸钾标准滴定溶液(浓度为0.1001 mol/L),上海安谱实验科技股份有限公司;草酸钠工作基准试剂( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 质量分数为99.95%~100.05%),天津市科密欧化学试剂有限公司。

主要仪器:三重四极杆质谱(Waters Xevo TQD),美国Waters公司;气相色谱质谱联用仪(GCMS-QP2010),日本岛津公司;去离子水发生器(Milli-Q),美国Millipore公司;电子天平(ML204),瑞士METTLER TOLEDO公司;涡旋混合器(IKA MS3),德国IKA公司;高速冷冻离心机(3-3KS),美国Sigma公司;超声波清洗器,广州市吉普超声电子设备有限公司;电热恒温水浴锅(HWS-28),上海一恒科学设备有限公司;电热鼓风干燥箱(DHG-9245A),上海一恒科学设备有限公司。

## 1.2 方法

### 1.2.1 荧光增白剂的筛查

从工厂、1<sup>#</sup>批发市场、2<sup>#</sup>批发市场和网上采购白色泡沫网套等4种样品(每种样品选取170个泡沫网套),分别用异丙醇、乙醇(体积分数为95%)、三氯甲烷作为提取液,在室温下超声提取30 min,筛查2,5-双(5-叔丁基-2-苯并恶唑基)噻吩(OB)、OB-1等9种荧光增白剂(详细指标见表1)。参考杜志峰等<sup>[10]</sup>对食品接触纸包装材料中7种荧光增白剂的测定方法,检测食品包装材料产品中9种荧光增白剂,检出限为0.04 mg/kg。

表1 9种荧光增白剂  
Tab.1 9 kinds of fluorescent whitening agents

编号	测试项目
1	荧光增白剂184(CAS: 7128-64-5)
2	荧光增白剂393(CAS: 1533-45-5)
3	荧光增白剂135(CAS: 1041-00-5)
4	荧光增白剂199(CAS: 13001-40-6)
5	荧光增白剂185(CAS: 2866-43-5)
6	荧光增白剂378(CAS: 40470-68-6)
7	荧光增白剂52(CAS: 12224-03-2)
8	荧光增白剂367(CAS: 5089-22-5)
9	荧光增白剂368(CAS: 117313-08-3)

### 1.2.2 有机偶氮颜料筛查

从1<sup>#</sup>批发市场、网上采购红色泡沫网套,从工厂、2<sup>#</sup>批发市场采购黄色泡沫网套各2种样品(每种样品选取170个泡沫网套),采用SN/T 2893—2011<sup>[11]</sup>筛查苯胺、对苯二胺、对氯苯胺等26种芳香族伯胺有机偶氮颜料,检出限为10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,检测指标见表2。

表 2 26 种芳香族伯胺检测指标  
Tab.2 26 kinds of aromatic primary amines

编号	测试项目	编号	测试项目
1	3-氨基对甲苯甲醚 (CAS: 120-71-8)	14	3,3'-二氯联苯胺 (CAS: 91-94-1)
2	2-氨基-4-硝基甲苯 (CAS: 99-55-8)	15	3,3'-二甲氧基联苯胺 (CAS: 119-90-4)
3	邻甲氧基苯胺 (CAS: 90-04-0)	16	3,3'-二甲基联苯胺 (CAS: 119-93-7)
4	苯胺 (CAS: 62-53-3)	17	3,3'-二甲基-4,4'-二氨基二苯甲烷 (CAS: 838-88-0)
5	对苯二胺 (CAS: 106-50-3)	18	4,4'-亚甲基-二-(2-氯苯胺) (CAS: 101-14-4)
6	4-氨基联苯 (CAS: 92-67-1)	19	4,4'-二氨基二苯醚 (CAS: 101-80-4)
7	联苯胺 (CAS: 92-87-5)	20	4,4'-二氨基二苯硫醚 (CAS: 139-65-1)
8	4-氯邻甲苯胺 (CAS: 95-69-2)	21	邻甲苯胺 (CAS: 95-53-4)
9	2-萘胺 (CAS: 91-59-8)	22	2,4-二氨基甲苯 (CAS: 95-80-7)
10	邻氨基偶氮甲苯 (CAS: 97-56-3)	23	2,4,5-三甲基苯胺 (CAS: 137-17-7)
11	对氯苯胺 (CAS: 106-47-8)	24	对氨基偶氮苯 (CAS: 60-09-3)
12	2,4-二氨基苯甲醚 (CAS: 615-05-4)	25	2,4-二甲基苯胺 (CAS: 95-68-1)
13	4,4'-二氨基二苯甲烷 (CAS: 101-77-9)	26	2,6-二甲基苯胺 (CAS: 87-62-7)

### 1.2.3 有机色素污染定性

从 1#批发市场、网上采购红色泡沫网套 2 个, 从工厂、2#批发市场采购黄色泡沫网套 2 种样品 (每种样品选取 170 个泡沫网套), 采用 GB 31604.7—2016<sup>[12]</sup>方法, 对部分样品进行了脱色试验, 排查色素污染情况。

### 1.2.4 荧光增白剂迁移实验

参考 GB 5009.156—2016<sup>[13]</sup>, GB 31604.1—2015<sup>[14]</sup>, 确定迁移试验条件和食品模拟物。迁移试验条件: 在 40 °C 下全浸泡模拟 10 d, 并在 3, 7, 10 d 取食品模拟液进行测定。确定用 95% (体积分数) 的乙醇溶液、4% (体积分数) 的乙酸溶液、异丙醇作为食品模拟物, 分别模拟油性食品和酸性食品。泡沫网套按标准  $S/V=6 \text{ dm}^2/\text{L}$  的条件, 即  $6 \text{ dm}^2$  对应 1 L 食物模拟液进行全浸泡模拟。

### 1.2.5 总迁移量的测定

采用 GB 31604.8—2016<sup>[15]</sup>检测总迁移量, 每组各取 200 mL 模拟液, 分次加入干燥的 50 mL 玻璃蒸发皿中, 并在其沸点温度的水浴上蒸干, 再放入 100 °C 的干燥箱 2 h 后取出, 最后在干燥器中冷却 30 min 后称量, 同时做空白试验。

### 1.2.6 高锰酸钾消耗量的测定

参照 GB 31604.2—2016<sup>[16]</sup>检测泡沫网套高锰酸钾的消耗量, 将泡沫网套在常温下放入水中浸泡 2 h, 然后取 100 mL 浸泡液并加入 5 mL 硫酸溶液、10 mL 高锰酸钾标准滴定溶液 (0.01 mol/L), 再加入玻璃珠 2 粒后煮沸 5 min, 并立刻加入 10 mL 草酸标准滴定

溶液 (0.01 mol/L), 最后用高锰酸钾标准滴定溶液 (0.01 mol/L) 滴定至微红色, 并在 0.5 min 内不褪色, 同时做空白试验。

## 2 结果与讨论

### 2.1 荧光增白剂筛查

荧光增白剂筛查结果详见表 3, 对工厂、1#批发市场、2#批发市场和网购的 4 种白色样本进行了 OB、OB-1 等 9 种荧光增白剂验证测试, 其中 2#批发市场的样品无荧光增白剂检出, 其余 3 种样品均有 OB-1 检出, 而余下 8 种荧光增白剂未检出。黄皓等<sup>[2]</sup>通过三氯甲烷对塑料泡沫网套中的荧光增白剂进行提取, 结果显示 OB 含量为 45~225 mg/kg, OB-1 含量为 12~53 mg/kg。在此研究中, 泡沫网套中 OB-1 的检出含量为 31.40~1113.02 mg/kg, 而未检测出其他荧光增白剂, 与上述研究结果较为相似。结果表明, 大多数白色泡沫网套在生产过程中有添加荧光增白剂, 使泡沫网套看起来更为亮白, 结合本研究与他人研究结果, 说明荧光增白剂 OB 及 OB-1 的使用较其他荧光增白剂更为广泛。此研究还探讨了异丙醇、95% (体积分数) 甲醇、三氯甲烷等 3 种不同提取液对荧光增白剂的提取效果的比较, 由结果可知, 3 种提取液的提取效果依次为: 异丙醇>95% (体积分数) 乙醇>三氯甲烷, 其中异丙醇的提取效果最好 (可达 1113.02 mg/kg), 异丙醇能与水自由组合, 对亲油物质的溶解能力比乙醇强, 从而解释了文中研究结果显示的异丙醇比 95% (体积分数) 乙醇提取出荧光增白剂更好的原因。

表3 泡沫网套荧光增白剂筛查结果  
Tab.3 Screening results of fluorescent whitening agent with foam net

mg/kg

测试项目	样品信息											
	工厂样品(白色)			1#批发市场样品(白色)			2#批发市场样品(白色)			网购样品(白色)		
	异丙醇	乙醇(95%)	三氯甲烷	异丙醇	乙醇(95%)	三氯甲烷	异丙醇	乙醇(95%)	三氯甲烷	异丙醇	乙醇(95%)	三氯甲烷
OB-1	1034.93	622.02	60.14	1113.02	549.90	53.24	—	—	—	160.69	64.62	31.40

注: 各种荧光增白剂的检出限均为 0.04 mg/kg

## 2.2 有机偶氮颜料筛查

对从1#批发市场、网购采购的红色泡沫网套和从工厂、2#批发市场采购的黄色泡沫网套各2种样品进行了苯胺、对苯二胺、对氯苯胺等26种芳香族伯胺的验证测试。检测结果显示样本中26种芳香族伯胺均未检出,但是否存在其他无机颜料,需要进一步排查。

## 2.3 有机色素污染定性

有机色素污染定性结果详见表4,对从1#批发市场、网上采购的红色泡沫网套和从工厂、2#批发市场采购的黄色泡沫网套各2个样品(每种样品选取170个泡沫网套)进行脱色试验,排查色素污染情况。验证结果显示,通过脱脂棉反复擦拭以及浸泡液的颜色显示该实验结果呈阴性,见表4。说明该批样品符合相关安全质量标准,不存在脱色情况。

表4 泡沫网套脱色试验结果  
Tab.4 Decolorization test result of foam net

样品信息	浸泡液	脱脂棉
工厂样品(黄色)	阴性	阴性
1#批发市场样品(红色)	阴性	阴性
2#批发市场样品(黄色)	阴性	阴性
网购样品(红色)	阴性	阴性

## 2.4 荧光增白剂 OB-1 迁移量的测试

对前期检测出含有荧光增白剂 OB-1 的样品进行模拟迁移实验,荧光增白剂 OB-1 迁移量结果见图1。荧光增白剂 OB-1 在4%(体积分数)乙酸中没有检出,表明泡沫网套中荧光增白剂 OB-1 在酸性食品中发生迁移可能性小,迁移风险低,靳茂礼等<sup>[9]</sup>对荧光增白剂 OB 及 KCB 在3%(体积分数)乙酸溶液中的迁移情况进行了研究,结果发现在80℃下用3%(体积分数)乙酸水溶液浸泡10d后检测,未检出荧光增白剂,说明这2种荧光增白剂在3%(体积分数)乙酸水溶液中迁移量较小,文中研究结果与上述研究结果一致。塑料泡沫网套中的荧光增白剂 OB-1 在95%(体积分数)乙醇和异丙醇均有检出,在95%(体

积分数)乙醇中,各样本均在第7天时迁移量达到最大值;在异丙醇中,工厂的样品中荧光增白剂 OB-1 迁移量随时间的变化呈现上升趋势,第10天最高迁移量达到9.429 mg/kg,另外2个样品则在第7天时迁移量达到最大值。张云等<sup>[17]</sup>对食品包装塑料材料(PE 塑料薄膜)中荧光增白剂在不同模拟液中的迁移规律进行了研究,结果表明,PE 塑料薄膜中的荧光增白剂 OB 及 OB-1 在酸性模拟物中均未检测出,但是在60%(体积分数)乙醇水溶液中均有检测出来,此研究结果较为一致,表明乙醇溶液对荧光增白剂的溶出有较大影响。文中研究还发现,在异丙醇模拟液中所检测的荧光增白剂 OB-1 的含量最高,这一结果与筛查实验中异丙醇提取荧光增白剂的效果最佳结

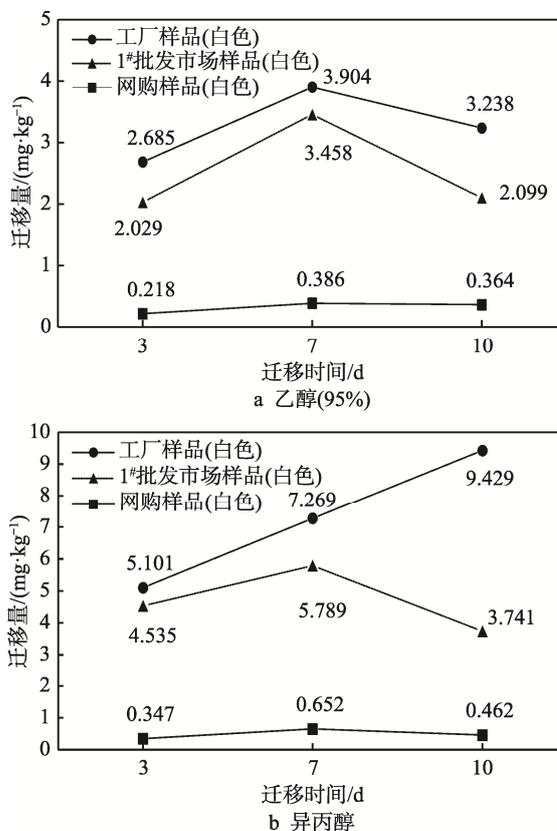


图1 不同模拟液时泡沫网套 OB-1 荧光增白剂迁移量的测试结果

Fig.1 Test result of migration amount of foam net OB-1 fluorescent whitening agent in different simulated liquids

果相对应。在一般情况下多采用醇类有机物来模拟油性物质，这一结果表明，塑料泡沫网套中的荧光增白剂可能通过迁移至油性物质中，进而进一步摄入机体，对人体健康带来潜在的安全隐患。生活中常见的塑料泡沫网套多为直接包裹水果或者蔬菜，而像苹果、梨这类水果表面有可能使用食用蜡这类油性物质使其光泽亮丽，在这种情况下可能会大大增加荧光增白剂迁移至果蔬的风险。

### 2.5 总迁移量、高锰酸钾消耗量测试

总迁移是指食品接触材料及制品在特定食品模拟物中浸泡后迁移的所有非挥发性物质的总量<sup>[18]</sup>。在国家标准中，总迁移量限量为 10 mg/dm<sup>2</sup>，文中检测了在 40 °C 的温度下 3, 7, 10 d 食品模拟液的总迁移量，其中 4% (体积分数) 乙酸水溶液模拟酸性食品，而 95% (体积分数) 乙醇水溶液与异丙醇则是模拟了油性食品。由图 2 可以看出，塑料泡沫网套的总迁移量均达到国家标准，其中塑料泡沫网套在 4% (体积分数) 乙酸水溶液模拟物中浸泡时间越长，总迁移量

越多，且 7, 10 d 的总迁移量较 3 d 的总迁移量明显增加，而对于 95% (体积分数) 乙醇水溶液与异丙醇模拟液，总迁移量随浸泡时间延长虽有增多趋势但是没有显著性变化，且 7 d 与 10 d 的总迁移基本持平，表明在 7 d 左右从塑料泡沫网套中的总迁移物基本被抽提完全。由此说明，塑料泡沫网套中的非挥发性物质在 95% (体积分数) 乙醇水溶液与异丙醇模拟液中更容易迁出。

高锰酸钾消耗量是食品接触用塑料制品的重要理化指标之一，经迁移实验后，高锰酸钾对浸泡液中还原性物质进行氧化，测出溶液中高锰酸钾消耗总量，用来表示浸泡液中有机物的含量，对于塑料制品中高锰酸钾消耗量的限定标准为 < 10 mg/kg<sup>[19]</sup>。塑料泡沫网套中有机物的含量较低，尚在国家标准的安全范围内，见表 5。

表 5 泡沫网套高锰酸钾消耗量的测试结果

Tab.5 Test result of potassium permanganate consumption of foam net mg/kg

样品信息	参考值	测试值
工厂样品 (白色)	≤10	0.66
1#批发市场样品 (白色)	≤10	0.67
网购样品 (白色)	≤10	0.62
均值	≤10	0.65±0.03

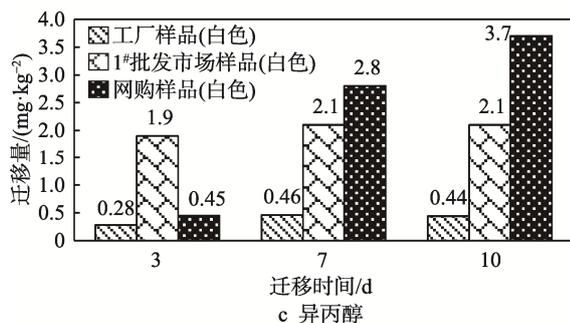
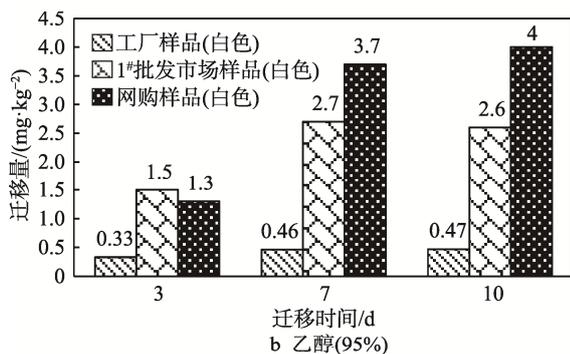
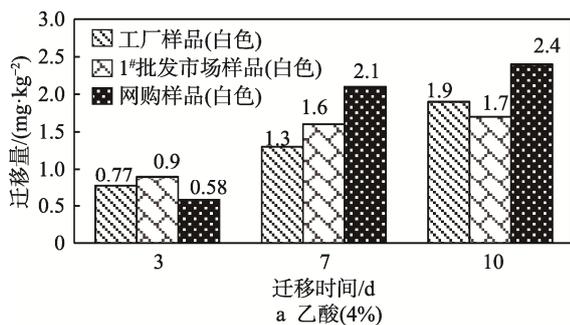


图 2 不同模拟液时泡沫网套总迁移量的测试结果  
Fig.2 Test result of total migration of foam net in different simulated liquids

### 3 结语

文中针对果蔬泡沫网套中有机偶氮颜料和荧光增白剂等可能存在的风险因子进行筛查，并对筛查出的荧光增白剂 OB-1 进行模拟迁移试验，明确果蔬泡沫网套存在的风险因子，并研究该风险因子在不同模拟物中的迁移规律。结果表明，此次抽样的泡沫网套在生产过程中未添加有机偶氮颜料类添加剂，其中白色泡沫网套在生产过程中有可能通过添加 OB-1 这种荧光增白剂来提高泡沫网套的亮度。模拟迁移试验表明，泡沫网套中的荧光增白剂 OB-1 不易迁移至酸性物质中，而易迁移至非酸性物质或者油性物质中，从而可能被人体吸收，对人体健康带来潜在威胁，应该加强对泡沫网套中荧光增白剂添加量的监管。

#### 参考文献:

[1] 徐涵秋, 蒋立茂, 欧小军, 等. 缓冲包装泡沫网套对苹果运输跌落损伤影响的研究[J]. 四川农业与农机, 2018(6): 32—34.  
XU Han-qi, JIANG Li-mao, OU Xiao-jun, et al. Study on the Impact of Cushion Packaging Foam Netting on the Drop Damage of Apples during Transportation[J].

- Sichuan Agriculture and Agricultural Machinery, 2018(6): 32—34.
- [2] 黄皓, 蒋立茂, 徐涵秋, 等. 果蔬用塑料泡沫网套中荧光增白剂现状调研及测试分析初探[J]. 四川农业与农机, 2017(1): 27—28.  
HUANG Hao, JIANG Li-mao, XU Han-qiu, et al. Investigation and Test Analysis of the Current Situation of Fluorescent Whitening Agents in Plastic Foam Nets for Fruits and Vegetables[J]. Sichuan Agriculture and Agricultural Machinery, 2017(1): 27—28.
- [3] 路杨, 王丽英, 刘印平, 等. 河北省纸质食品包装材料中荧光增白剂使用情况调查分析[J]. 包装工程, 2015, 36(1): 51—56.  
LU Yang, WANG Li-ying, LIU Yin-ping, et al. Investigation of the Usage of Fluorescent Brightener in Paper Food Packaging Materials in Hebei Area[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(1): 51—56.
- [4] 李锦花, 谭曜, 郭蓓霖, 等. 再生纸中荧光增白剂迁移特性及迁移模型的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(1): 151—158.  
LI Jin-hua, TAN Yao, GUO Bei-lin, et al. Migration Characteristics and Mathematical Model of the Fluorescent Whitening Agent in Recycled Paper[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2016, 7(1): 151—158.
- [5] 刘君. 偶氮颜料废水处理工艺的研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2014: 1—7.  
LIU Jun. Study on the Wastewater Treatment Process of Azo Pigment[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2014: 1—7.
- [6] BOUMA, K, WIJMA, E. Migration of Primary Aromatic Amines from Multilayer Films for Food Packaging[J]. Groenkennis, 2002, 32(2): 107—118.
- [7] 闫艳平. 塑料瓶中芳香胺物质迁移行为的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2009: 7—11.  
YAN Yan-ping. Migration Behavior of Aromatic Amine in Plastic Bottle[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2009: 7—11.
- [8] 纪水琳. 食品及包装中荧光增白剂的检测方法及迁移动力学研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2018: 7—8.  
JI Shui-lin. Determination of Fluorescent Whitening Agents (FWAs) in Food Packaging Materials and Migration Kinetics of FWAs from PE to Food Simulants[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2018: 7—8.
- [9] 靳茂礼, 黄雪静, 剧京亚, 等. PVC 塑料食品包装中的 2 种荧光增白剂迁移规律研究[J]. 食品工程, 2019(2): 33—37.  
JIN Mao-li, HUANG Xue-jing, JU Jing-ya, et al. Study on Migration Rules of 2 Kinds of Fluorescent Whitening Agents in PVC Plastic Food Packaging[J]. Food Engineering, 2019(2): 33—37.
- [10] 杜志峰, 洗燕萍, 刘付建, 等. 液相色谱-高分辨飞行时间质谱法测定食品接触纸包装材料中的 7 种荧光增白剂[J]. 分析化学, 2014(5): 636—642.  
DU Zhi-feng, XIAN Yan-ping, LIU Fu-jian, et al. Simultaneous Determination of Seven Fluorescent Whitening Agents in Food Contact Paper Package Materials by High Performance Liquid Chromatography Tandem Triple TOF-high Resolution Mass Spectrometry[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2014(5): 636—642.
- [11] SN/T 2893—2011, 出口食品接触材料 高分子材料食品模拟物中芳香族伯胺的测定[S].  
SN/T 2893—2011, Determination of Primary Aromatic Amines in Food Simulants and Food Contact Materials for Export and Polymers[S].
- [12] GB 31604.7—2016, 食品接触材料及制品 脱色试验[S].  
GB 31604.7—2016, Decolorization Test of Food Contact Materials and Products[S].
- [13] GB 5009.156—2016, 食品接触材料及制品迁移实验预处理方法通则[S].  
GB 5009.156—2016, General Principles for Pretreatment Methods for Migration Test of Food Contact Materials and Products[S].
- [14] GB 31604.1—2015, 食品接触材料及制品迁移试验通则[S].  
GB 31604.1—2015, General Principles for Migration Test of Food Contact Materials and Products[S].
- [15] GB 31604.8—2016, 食品接触材料及制品 总迁移量的测定[S].  
GB 31604.8—2016, Determination of total Migration of Food Contact Materials and Products[S].
- [16] GB 31604.2—2016, 食品接触材料及制品 高锰酸钾消耗量的测定[S].  
GB 31604.2—2016, Determination of Potassium Permanganate Consumption of Food Contact Materials and Products[S].
- [17] 张云, 吕水源, 张信仁, 等. 食品包装 PE 材料中荧光增白剂迁移规律的分析[J]. 食品科学, 2018, 39(2): 298—302.  
ZHANG Yun, LYU Shui-yuan, ZHANG Xin-ren, et al. Migration of Fluorescent Whitening Agents from Polyethylene Food Packaging Materials[J]. Food Science, 2018, 39(2): 298—302.
- [18] 胡伟, 杨艳梅, 杨婷. 浅析 GB 4806.7—2016《食品安全国家标准食品接触用塑料材料及制品》中总迁移量的测定[J]. 标准科学, 2018(3): 120—126.  
HU Wei, YANG Yan-mei, YANG Ting. Analysis of the Total Migration of GB 4806.7—2016, Food Safety National Standard Food Contact Plastic Materials and Products[J]. Standard Science, 2018(3): 120—126.
- [19] 陈华. 食品接触用塑料制品安全国家标准与检验问题研讨[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(1): 118—119.  
CHEN Hua. Discussion on National Safety Standards and Inspection Problems of Plastic Products for Food Contact[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2020, 46(1): 118—119.