

GC-MS 测定 4 类食品接触材料中 多环芳烃类化合物的溶出暴露水平

黎绍学¹, 秦俊莲¹, 曾莹², 陈嘉琪², 罗尔伦², 彭密军^{1,*}

(1. 广东省测试分析研究所, 广东省化学危害应急检测技术重点实验室, 广东广州 510070;

2. 深圳市计量质量检测研究院, 广东深圳 518131)

摘要:建立了食品接触材料中 16 种多环芳烃类化合物溶出暴露的气相色谱质谱联用 (GC-MS) 分析方法。样品以异辛烷为模拟物, 按实际使用情况进行模拟浸泡实验, 所得浸泡液用 GC-MS 进行分析。结果表明, 食品接触材料中 4 种多环芳烃类化合物 (萘、菲、荧蒽和芘) 存在一定程度的溶出暴露水平, 检出率分别为萘 24.3%、菲 77.1%、荧蒽 48.6%、芘 44.3%。其中部分食品用容器多环芳烃的溶出水平最高达 33545 ng/kg (萘)、46296 ng/kg (菲)、17739 ng/kg (荧蒽)、15594 ng/kg (芘), 并发现常规项目蒸发残渣 (正己烷) 的溶出与多环芳烃的溶出存在一定的正相关关系。萘、菲、荧蒽、芘等四项多环芳烃的方法平均回收率为 76.5%~100.7%, 相对标准偏差为 1.0%~3.5%, 本研究方法具有较好的准确度和精密度。

关键词:多环芳烃, 迁移浸泡, 蒸发残渣, 矿物油

Determination of the Migration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Four Kinds of Food Contact Materials

LI Shao-xue¹, QIN Jun-lian¹, ZENG Ying², CHEN Jia-qi², LUO Er-lun², PENG Mi-jun^{1,*}

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Emergency Test for Dangerous Chemicals,
Guangdong Institute of Analysis Guangzhou, Guangzhou 510070, China;

2. Shenzhen Academy of Metrology & Quality Inspection, Shenzhen 518131, China)

Abstract: A method was established for the analysis of 16 kinds of the polycyclic aromatic hydrocarbons migration in food contact materials by GC-MS. Basing on the actual conditions of use, the sample was taken isooctane as the migration simulation and immersed, analyzed by GC-MS. As the results, there were 4 kinds of PAHs (naphthalene, phenanthrene, fluoranthene and pyrene) had a certain migration exposure level, in the food contact materials and the positive detection rate was 24.3% (naphthalene), 77.1% (phenanthrene), 48.6% (fluoranthene), 44.3% (pyrene). And migration level of food contact container was up to 33545 ng/kg (phenanthrene), 46296 ng/kg (phenanthrene), 17739 ng/kg (fluoranthene), 15594 ng/kg (pyrene), which was found that there was a positive correlation between the dissolution of evaporative residue (hexane) and the dissolution of polycyclic aromatic hydrocarbons. The four kinds of detected PAHs (naphthalene, phenanthrene, fluoranthene and pyrene) had a average recovery between 76.5% and 100.7%, the RSD between 1.0% and 3.5%, this method showed that a good level of accuracy and precision.

Key words: PAHs; migration and simulation; evaporation residue; mineral oil

中图分类号: TS206.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)14-0194-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.14.036

引文格式: 黎绍学, 秦俊莲, 曾莹, 等. GC-MS 测定 4 类食品接触材料中多环芳烃类化合物的溶出暴露水平[J]. 食品工业科技, 2018, 39(14): 194-199.

多环芳烃 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) 是指两个以上苯环以稠环形式相连的化合物^[1]。PAHs 具有高度亲脂性, 易溶于有机溶剂, 水中溶解度低, 随着环的数目增加, 水中的溶解度降低。PAHs 的含量在自然界中一直处于动态的平衡,

但自从人类工业活动的增加, 近年 PAHs 在环境土壤^[2]和空气中^[3]的含量逐渐上升。作为一类对人体有害的环境污染物, PAHs 的危害主要为化学致癌性作用。流行病学研究表明, PAHs 通过皮肤, 呼吸道, 消化道等均可被人体吸收, 有诱发皮肤癌、肺癌、

收稿日期: 2017-04-11

作者简介: 黎绍学 (1984-), 男, 硕士, 中级工程师, 研究方向: 保健食品及药材中活性物质研究, E-mail: ce04lshx@mail3.sysu.edu.cn。

* 通讯作者: 彭密军 (1967-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品与食品接触材料安全风险研究, E-mail: pengmj163@163.com。

基金项目: 广东省科学院实施创新驱动发展能力建设专项资金项目 (2017GDASCX-0702)。

直肠癌、膀胱癌等作用^[4]。美国环境保护署(EPA)将毒性最大的苯并芘等 16 种 PAHs 列为优先污染物。欧盟 REACH 指令附件 17 全面限制在消费品中使用 PAHs,对于食品接触材料,要求不得检出 PAHs。

对于食品接触材料而言,近年亦多见 PAHs 迁移污染的报道。王成云等^[5]对纸质食品接触材料中 18 种禁用多环芳烃进行了同时测定,发现一个米色再生包装纸袋中检出高含量的菲。冯坤等^[6]运用 GC-MS-MS 来检测街边小吃接触材料中的 PAHs,发现几种小吃食品的塑料和泡沫包装材料中检测到一定量的多环芳烃。Li 等^[7]在聚苯乙烯食品接触材料中检出稠环较少的 PAHs 种类,并确认 PS 食品接触材料为环境中 PAHs 的污染来源之一。PAHs 的来源可能有两个方面,一个是使用回收材料生产食品接触材料,一个是使用劣质食品接触材料添加剂所致。因此,加强对食品接触材料中 PAHs 溶出暴露水平的研究,对 PAHs 污染的卫生安全研究有重要的意义。

PAHs 的检测方法包括高效液相色谱法(HPLC)、气相色谱质谱联用法(GC-MS)^[8-11]、气相色谱质谱质谱法(GC-MS-MS)^[12]、微萃取-拉曼光谱法^[13]。其中,GC-MS 因灵敏度高、检出限低、操作简便等优点而被广泛应用于 PAHs 的检测之中。本文利用 GC-MS 法的 SIM 模式对食品接触材料模拟浸泡液中的 PAHs 溶出水平进行检测,将所测结果进行统计分析,试图筛选出溶出风险最高的 PAHs 及相应的食品相关产品。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

70 批次塑料制品 包括 28 批次复合膜、袋,12 批次尼龙餐具,18 批次食品用容器,12 批次一次性餐具 均购于深圳市流通领域的商场和超市;16 种多环芳烃混合标液:萘(Naphthalene)、萘烯(Acenaphthylene)、蒎(Acenaphthene)、芴(Fluorene)、菲(Phenanthrene)、蒽(Anthracene)、荧蒽(Fluoranthene)、芘(Pyrene)、苯并[a]蒽(Benzo[a]anthracene)、蒎(Chrysene)、苯并[b]荧蒽(Benzo[b]fluoranthene)、苯并[k]荧蒽(Benzo[k]fluoranthene)、苯并[a]芘(Benzo[a]pyrene)、茚芘[1,2,3-cd]芘(Indeno[1,2,3-cd]pyrene)、二苯并[a,h]蒽(Dibenzo[a,h]anthracene)、苯并[g,h,i]芘(Benzo[g,h,i]perylene) 1000 mg/L,纯度≥99%,德国 Dr.Ehrenstorfer 试剂;正己烷、异辛烷 色谱纯,德国 MerCk。

7890A-5975C 型气相色谱质谱联用仪、DB 35-MS UI 色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm) 德国安捷伦公司;UF55 型精密鼓风烘箱 德国 Memmert 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 标准工作液配制 准确吸取多环芳烃混合标液 1 mL 于 100 mL 容量瓶中,配制成 10 mg/L 标准储备液。逐级稀释得到需要的标准工作液,浓度范围从 1~200 μg/L。

1.2.2 样品处理 本次检验选择 70 批次塑料制品进行多环芳烃迁移量调研,按可能接触油脂性食品选

择异辛烷作为模拟物,根据 GB/T 23296.1-2009^[14]的要求及相关迁移规律的研究^[15-16],按样品的常见使用条件选择模拟接触的温度和时间。复合膜、袋按室温长期接触油脂性食品为使用条件,按标准要求选择 20 ℃及 2 d 作为模拟条件。一次性餐具按不超过 70 ℃短间接接触油脂性食品为使用条件,按标准要求选择 70 ℃及 2 h 作为模拟条件。所调研尼龙餐具为尼龙铲,按标准要求回流 4 h 作为模拟条件。食品用容器为日常条件使用的塑料盒和塑料杯,按标准要求选择 70 ℃及 2 h 作为模拟条件。将样品准确截取 5 cm×10 cm,置于 50 mL 具塞玻璃管中,分别准确加入异辛烷各 50 mL 作为模拟物介质完全浸没样品,按相应的迁移实验温度及时间进行模拟实验,实验结束后静置冷却至室温。取出样品,上清液不过滤直接供 GC-MS 测定。空白实验同上述步骤处理,进行 GC-MS 分析。

1.2.3 仪器参数 结合以上检测方法与标准,本方案拟建立采用气相色谱-质谱联用法测定食品接触材料中多环芳烃,并以其迁移量对市售的食品接触材料中多环芳烃评估存在的暴露风险水平。

色谱柱:30 m×0.25 mm(内径)×0.25 μm(膜厚),DB-35 MS UI 石英毛细管柱;进样口温度:290 ℃;色谱柱温度程序:初始柱温 70 ℃,保持 0.5 min,以 25 ℃/min 升温到 155 ℃,保持 1 min,再以 2 ℃/min 升温至 160 ℃,然后以 5 ℃/min 升温至 200 ℃,再以 8 ℃/min 升温至 250 ℃,保持 2 min,然后以 8 ℃/min 升温到 280 ℃,保持 7 min;载气氮气(纯度≥99.999%),流速 1 mL/min;进样方式:不分流进样;进样量:1 μL。

质谱参数:色谱与质谱接口温度:280 ℃;电离方式:电子轰击源(EI);电离能量:70 eV;溶剂延迟:3 min;监测方式:选择离子扫描模式(SIM),定性与定量离子见表 1。

表 1 16 种多环芳烃的定性与定量离子
Table 1 Qualitative and quantitative ion of 16 kinds of PAHs

实验号	化合物名称	特征离子	
		定性离子	定量离子
1	萘	129、128、127	128
2	萘烯	153、152、151	152
3	蒎	154、153、152	153
4	芴	167、166、165	165
5	菲	179、178、176	178
6	蒽	179、178、176	178
7	荧蒽	202、203、101	202
8	芘	202、203、101	202
9	苯并(a)蒽	228、229、226	228
10	蒎	228、229、226	228
11	苯并(b)荧蒽	252、253、126	252
12	苯并(k)荧蒽	252、253、126	252
13	苯并(a)芘	252、253、126	252
14	茚芘(1,2,3-cd)芘	276、227、138	276
15	二苯并(a,n)蒽	279、278、139	278
16	苯并[g,h,i]芘	277、276、138	276

表2 线性方程、浓度范围及检出限

Table 2 Linear equation, concentration range and detection limit

实验号	化合物	线性方程	相关系数	线性范围(μg/L)	检出限(ng/kg)
1	萘	$Y = 93234X - 139.61$	0.9983	1~100	50
2	苊烯	$Y = 92208X - 234.04$	0.9963	1~100	60
3	苊	$Y = 53875X - 51.206$	0.9989	1~100	62
4	芴	$Y = 53424X - 97.534$	0.9982	1~100	80
5	菲	$Y = 76410X - 125.66$	0.9983	1~100	56
6	蒽	$Y = 70382X - 126.18$	0.9987	1~100	80
7	荧蒽	$Y = 80905X - 168.61$	0.9970	1~100	50
8	芘	$Y = 79921X - 136.92$	0.9989	1~100	66
9	苯并(a)蒽	$Y = 73710X - 199.13$	0.9960	1~100	76
10	蒾	$Y = 72386X - 171.5$	0.9980	1~100	58
11	苯并(b)荧蒽	$Y = 74039X - 195.11$	0.9979	1~100	60
12	苯并(k)荧蒽	$Y = 73986X - 172.59$	0.9965	1~100	72
13	苯并(a)芘	$Y = 62606X - 145.52$	0.9977	1~100	66
14	茚并(1,2,3-cd)芘	$Y = 64087X - 201.08$	0.9959	1~100	88
15	二苯并(a,n)蒽	$Y = 55271X - 173.62$	0.9956	1~100	80
16	苯并[g,h,i]芘	$Y = 56534X - 172.07$	0.9958	1~100	90

注:按 GB/T 23296.1-2009 的要求,检出限浓度单位按 1 mg/dm² 对应 6 mg/kg 从 μg/L 换算成 ng/kg。

2 结果与分析

2.1 方法线性范围与检出限

以 3 倍的信噪比计算检出限,方法的线性方程、线性范围及检出限见表 2。16 种多环芳烃在 1~100 μg/L 的范围内具有良好的线性,相关系数均大于 0.995,检出限在 50~100 ng/kg,满足本次实际样品的检测。

2.2 回收率和精密度

以复合膜袋为例,对空白样品分别添加水平进行浸泡,每个添加水平测定 6 次,实验结果见表 3。

16 种 PAHs 模拟液的平均回收率在 76.5%~100.7% 之间,相对标准偏差为 1.0%~3.5% 之间,具有较好的回收率和精密度。

2.3 检出情况统计

对 70 批次样品的多环芳烃迁移量的检验结果进行检出率及溶出量分布统计显示,主要检出萘、菲、荧蒽、芘 4 种化合物,其他 12 种多环芳烃均未有检出,检出率最高的是菲。在各类食品接触材料中,食品用容器、尼龙餐具、一次性餐具等检出率及检出含量最高,均存在一定的风险(见表 4)。

表3 方法回收率和精密度(n=6)

Table 3 Recoveries and relative standard deviations of the method(n=6)

实验号	化合物	加标浓度(ng/kg)	回收率(%)	平均回收率(%)	相对标准偏差(%)
1	萘	200	76.5~82.1	81.0	3.1
		400	87.0~91.2	89.1	2.0
		1000	88.0~94.3	90.2	2.3
2	苊烯	200	76.8~79.6	78.3	1.5
		400	80.0~87.3	84.3	1.8
		1000	83.0~86.3	84.2	1.2
3	苊	200	78.5~85.1	83.1	3.5
		400	82.0~89.6	84.5	2.3
		1000	84.0~87.6	85.2	1.2
4	芴	200	77.4~79.9	82.1	2.0
		400	81.0~85.6	83.9	1.0
		1000	83.0~92.6	88.7	3.5
5	菲	200	86.2~89.0	87.6	1.1
		400	92.1~96.7	94.2	1.2
		1000	88.3~91.3	90.8	1.3
6	蒽	200	82.1~87.6	84.9	2.4
		400	87.1~94.7	92.3	3.3
		1000	82.8~92.3	87.8	2.7

续表					
实验号	化合物	加标浓度(ng/kg)	回收率(%)	平均回收率(%)	相对标准偏差(%)
7	荧蒽	200	80.2~89.4	85.9	2.6
		400	91.2~94.7	93.0	1.1
		1000	84.3~90.3	85.9	2.3
8	芘	200	79.2~87.4	81.2	2.7
		400	90.2~95.5	93.3	1.0
		1000	89.2~96.3	94.2	1.5
9	苯并(a)蒽	200	77.2~82.4	79.1	1.3
		400	82.3~86.5	83.6	1.1
		1000	84.3~91.0	88.7	1.9
10	蒽	200	81.2~85.2	82.3	2.0
		400	81.5~92.1	86.8	1.9
		1000	85.2~98.3	96.2	3.3
11	苯并(b)荧蒽	200	88.2~95.2	92.7	2.1
		400	87.3~94.2	89.8	1.2
		1000	92.1~100.7	96.9	1.4
12	苯并(k)荧蒽	200	77.2~83.6	79.2	1.3
		400	78.3~87.9	83.6	2.9
		1000	81.0~89.2	83.4	2.5
13	苯并(a)芘	200	79.2~90.1	87.2	1.8
		400	78.7~87.6	82.9	1.7
		1000	79.4~85.4	83.2	1.7
14	茚苯(1,2,3-cd)芘	200	80.2~83.5	81.1	1.2
		400	80.6~86.2	84.3	1.0
		1000	79.9~84.1	81.8	2.0
15	二苯并(a,n)蒽	200	83.2~88.5	85.2	1.9
		400	82.1~89.3	86.2	1.5
		1000	85.2~87.6	86.7	1.0
16	苯并[g,h,i]芘	200	80.2~87.5	84.9	1.1
		400	81.0~87.1	85.0	1.0
		1000	82.9~88.5	85.8	1.3

表4 各类产品的PAHs迁移
Table 4 PAHs migration of 4 kinds of products

批次	统计项目	萘	菲	荧蒽	芘
70 批次 塑料类产品	检出率(%)	24.3	77.1	48.6	44.3
	检出范围(ng/kg)	100~33545	163~46296	140~17739	140~15594
	95%分位统计值(ng/kg)	3197	15444	4427	3190
28 批次 复合膜袋	检出率(%)	7.1	78.6	53.4	46.4
	检出范围(ng/kg)	842~1388	163~2013	140~737	140~2323
	95%分位统计值(ng/kg)	1142	1969	737	1509
12 批次 尼龙餐具	检出率(%)	16.7	100	83.3	83.3
	检出范围(ng/kg)	100~217	496~2100	344~1130	354~3154
	95%分位统计值(ng/kg)	182	2090	1110	2617
18 批次 食品用容器	检出率(%)	44.4	61.1	27.8	27.8
	检出范围(ng/kg)	153~33545	420~46296	714~17739	410~15594
	95%分位统计值(ng/kg)	16015	41655	16383	12519
12 批次 一次性餐具	检出率(%)	41.7	75.0	33.3	25.0
	检出范围(ng/kg)	229~796	399~3074	185~752	172~1561
	95%分位统计值(ng/kg)	726	2795	636	1268

2.4 原因分析

由图1~图4,表5中,对检出情况进行分析,样

品中PAHs可能有以下几方面的来源:第一是加入了回收利用的劣质材料^[17],第二是添加的矿物油为劣

表5 不合格样品蒸发残渣与多环芳烃迁移量对比
Table 5 Contrast of evaporative residue and PAHs migration

样品大类	样品细类	样品名称	蒸发残渣(正己烷) (mg/L, ≤30 mg/L)	苯 (ng/kg)	菲 (ng/kg)	荧蒹 (ng/kg)	芘 (ng/kg)
塑料	一次性塑料餐具	PP碗	39.5(不合格)	562.6	1501.5	未检出	未检出
塑料	一次性塑料餐具	PP餐盒	35.5(不合格)	537.6	1213.2	365.9	1561.0
塑料	食品用容器	聪明盖	148(不合格)	未检出	17751.4	4589.4	3272.2
塑料	食品用容器	PE聪明盖	162(不合格)	未检出	41138.8	17738.8	15593.8
塑料	食品用容器	PE聪明盖	86(不合格)	925.1	14454.6	4358.0	2971.8
塑料	食品用容器	PE聪明盖	138(不合格)	未检出	46296.1	16232.4	12176.8
塑料	一次性塑料餐具	三格快餐盒	217(不合格)	229.2	3073.7	236.7	171.7
塑料	一次性塑料餐具	一次性餐盒	9.75(合格)	275.0	1942.2	未检出	未检出
塑料	一次性塑料餐具	400打包碗	7.75(合格)	未检出	未检出	未检出	未检出
塑料	一次性塑料餐具	PET沙拉盒	10.8(合格)	未检出	未检出	未检出	未检出
塑料	一次性塑料餐具	一次性塑料汤盒 (PP)	9.25(合格)	未检出	609.3	未检出	未检出

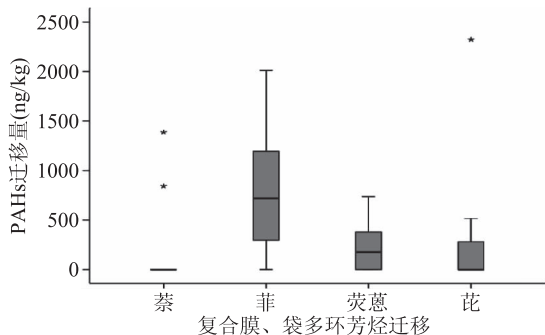


图1 复合膜、袋 PAHs 迁移

Fig.1 PAHs migration of complex films

注: *表示数据严重离群;图2~图4同。

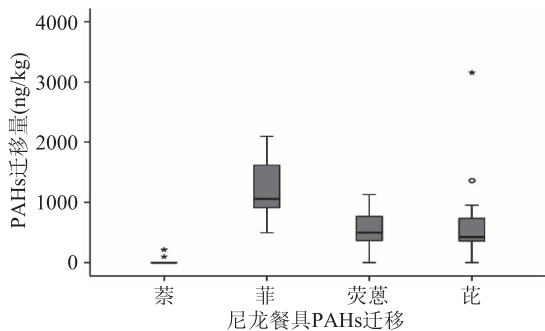


图2 尼龙餐具 PAHs 迁移

Fig.2 PAHs migration of nylon tableware

注: °表示数据一般离群;图3~图4同。

质添加剂,第三是印刷油墨^[18-19]。而最有可能带入的来源是食品接触材料中所添加的矿物油^[20]。

在本次 PAHs 迁移量调研过程中发现蒸发残渣(正己烷)不合格的样品,其多环芳烃的迁移溶出量要远大于蒸发残渣(正己烷)合格的样品。蒸发残渣值越大,多环芳烃溶出量越大,说明食品接触材料中蒸发残渣(正己烷)不合格与多环芳烃的溶出量存在一定的正相关性。蒸发残渣(正己烷)反映的是食品接触材料中矿物油添加剂的用量大小,推测食品接触材料中多环芳烃可能是矿物油带入的。

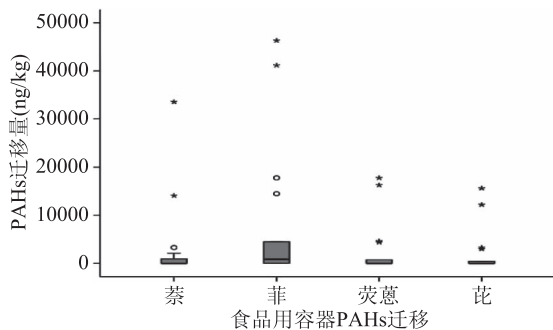


图3 食品用容器 PAHs 迁移

Fig.3 PAHs migration of food container

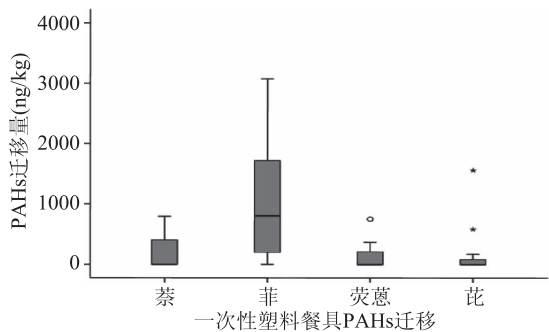


图4 一次性餐具 PAHs 迁移

Fig.4 PAHs migration of disposable tableware

3 结论

本文建立了食品接触材料中 16 种多环芳烃类物质迁移量的 GC-MS 检测方法,方法的准确性和精密度较好,适合公共领域食品接触材料安全卫生的行政执法及风险评估工作。在方法研究的基础上,本文发现了食品接触材料中多环芳烃的高检出率及高溶出量与食品接触材料的蒸发残渣(正己烷)存在一定的相关性,并推测污染源有可能来自于劣质的生产原料。

参考文献

[1] 申松梅,曹先仲,宋艳辉,等.多环芳烃的性质及其危害

- [J].贵州化工,2008,33(3):61-63.
- [2] Zhang P, Chen Y. Polycyclic aromatic hydrocarbons contamination in surface soil of China: A review[J]. Science of the Total Environment, 2017, s 605-606:1011-1020.
- [3] Jiri Huzlik, Frantisek Bozek, et al. Identifying risk sources of air contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons [J]. Chemosphere, 2017, 183:139-146.
- [4] Stacewicz-Sapuntzakis M, Borthakur G, Burns J L, et al. Correlations of dietary patterns with prostate health[J]. Molecular Nutrition and Food Research, 2008, 52(1):114-130.
- [5] 王成云, 杨左军, 徐嵘. 纸质食品接触材料的多环芳烃气相色谱/质谱-选择离子监测法测定[J]. 中华纸业, 2014(4):15-20.
- [6] 冯坤, 唐艳, 王莹. GC/MS/MS 法检测街边小吃接触材料中的多环芳烃[J]. 食品科技, 2014(12):323-326.
- [7] Si-Qi Li, Hong-Gang Ni, Hui Zeng. PAHs in polystyrene food contact materials: An unintended consequence[J]. Science of the Total Environment, 2017, 609:1126-1131.
- [8] 李英, 李成发, 白爽, 等. 自动固相微萃取-气相色谱-质谱法测定食品接触材料中多环芳烃(PAHs)的迁移量[J]. 质谱学报, 2014, 35(4):324-329.
- [9] 杨左军, 王成云, 佟常飞, 等. 气相色谱-串联质谱法同时测定纸质食品接触材料中多环芳烃[J]. 中国造纸, 2014, 32(4):22-28.
- [10] Zoltán Nyiri, Márton Novák, et al. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in infant formula using solid state urea clathrate formation with gas chromatography - tandem mass spectrometry[J]. Talanta, 2017, 174:214-220.
- [11] 李英, 李成发, 白爽, 孙小颖, 等. 自动固相微萃取-气相色谱-质谱法测定食品接触材料中多环芳烃(PAHs)的迁移量[J]. 质谱学报, 2014, 35(4):324-329.
- [12] 清江, 马明, 周韵. 气相色谱-三重四级杆质谱法测定橡胶类食品接触材料中的多环芳烃[J]. 环境化学, 2014, 33(7):1243-1246.
- [13] Min Zhang, Xiaoli Zhang, Yu-e shi, et al. Surface enhanced Raman spectroscopy hyphenated with surface microextraction for in-situ detection of polycyclic aromatic hydrocarbons on food contact materials[J]. Talanta, 2016, 158:322-329.
- [14] GB/T23296.1-2009, 食品接触材料 塑料中受限物质 塑料中物质向食品及食品模拟物特定迁移实验和含量测定方法以及食品模拟物暴露条件选择的指南[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [15] 奚奇辉, 张进, 沈航. 食品接触材料中多环芳烃在食品模拟物中的迁移规律研究[J]. 食品科技, 2012(10):301-303.
- [16] IS Arvanitoyannis, L Bosnea. Migration of Substances from Food Packaging Materials to Foods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2004, 44(2):63.
- [17] 周丽虹. 多环芳烃的污染来源及防治措施[J]. 农村经济与科技, 2010, 21(4):126-126.
- [18] 王桂苓, 薛艳, 张伟伟, 等. GC-MS 法快速测定食品接触材料油墨中 16 种多环芳烃[J]. 化学分析计量, 2013, 22(1):37-40.
- [19] 刘忠文, 高亦军, 刘爽, 等. 食品接触油墨中 16 种多环芳烃的测定[J]. 解放军预防医学杂志, 2009, 27(3):202-203.
- [20] 吴丹. 食品中苯并芘污染的危害性及其预防措施[J]. 食品工业科技, 2008(5):309-311.

(上接第 185 页)

照、pH、金属离子均会影响花色苷的保存率及色泽变化程度,高温、室外光(5~6 万 Lux)、偏碱性条件、铜离子和铁离子均会降低桑葚花色苷的稳定性。因此,桑葚花色苷的贮存与加工应在低温、避光、低 pH 条件下进行,并且应避免接触铜离子、铁离子。

参考文献

- [1] 李丽, 李昌宝, 邓海燕, 等. 广西桑葚果汁营养成分及抗氧化活性分析[J]. 南方农业学报, 2012, 43(09):1378-1381.
- [2] 邹堂斌, 凌文华. 桑葚花色苷含量测定及种类分析[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(24):197-200.
- [3] 郑建仙. 功能性食品[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.
- [4] Bagchi D, Sen C, M B. Anti-angiogenic, antioxidant, and anti-carcinogenic properties of a novel anthocyanin-rich berry extract formula[J]. Biochemistry (Moscow), 2004, 69(1):75-80.
- [5] 李颖畅. 植物花色苷[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [6] 朱庆珍, 夏红, 丁俊鹏. 桑葚色素稳定性研究[J]. 食品科技, 2010, 35(05):274-276.
- [7] 姜少娟. 桑葚红色素提取工艺及其对光热稳定性的研究[J]. 北方园艺, 2013(16):166-168.
- [8] 何中秋. 浓缩蓝莓汁加工及其物性参数变化规律研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2015.
- [9] 武丹, 聂文静, 江岩, 等. 2 种药桑椹多糖含量测定方法的比较[J]. 食品科技, 2014, 39(07):309-312.
- [10] 胡金奎. 桑葚花色苷的分离制备、结构分析及其体外活性[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- [11] 张琳琳. 黑加仑色素分离、结构初步鉴定及稳定性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008.
- [12] 凌文华, 郭红辉. 植物花色苷[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [13] 赵云霞, 马永昆, 宋万杰, 等. 桑椹红色素的纯化及其抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(06):250-253.
- [14] Laleh, Frydoonfar, Heidary. The effect of light, temperature, pH and species on stability of anthocyanins pigments in four berries species[J]. Pakistan Journal of Nutrition, 2006, 5(1):90-92.
- [15] 尤扬, 刘香坤. 紫叶碧桃花色苷提取及其稳定性研究[J]. 北方园艺, 2012(07):67-70.
- [16] 李杨, 韩业慧, 李记明, 等. 葡萄皮花色苷的树脂纯化及稳定性研究[J]. 酿酒科技, 2012(01):28-31.
- [17] 张志博, 李安文, 李勤, 等. 越橘花色苷稳定性研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(19):5-8.
- [18] 王露, 孙双勋, 邵焯丹, 等. 红肉桃花色苷的提取纯化及稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(24):113-117.