

食品中着色剂的检测方法研究进展

黎路, 黄晓晶*

(上海舜宇恒平科学仪器有限公司, 上海 200233)

摘要: 着色剂是食品添加剂中的一大类分支, 在食品加工和生产中有着广泛的应用。由于食品的基质类型复杂多样, 着色剂的种类也非常多、性质差异大, 给分析检测工作带来挑战。本文对近年来的食品中着色剂的检测方法进行综述, 包括样品前处理和分析检测技术, 并根据应用方法和适用的食品基质及检测目标物进行分类总结, 为进一步开展食品中着色剂的检测方法的研究工作提供参考。

关键词: 食品; 着色剂; 检测方法

Research progress on the detection method of food colorant

LI Lu, HUANG Xiao-Jing*

(Shanghai Sunny Hengping Scientific Instrument Co., LTD, Shanghai 200233, China)

ABSTRACT: Colorant is an important kind of food additives in order to make food more visually attractive to consumers. Detection of colorants is a challenge for analysts because there are various kinds of colorants and the huge differences among them which due to the large variety of food pigments and matrix. This work provided an updated overview in recent years on the analysis and detection methods about synthetic colorants in many kinds of foods including sample preparation and analytical technology. We also summarized these detection methods of various food colorants depended on variety of foodstuff. Finally, actual application and future directions was discussed. We hope it could be referred to in the further research.

KEY WORDS: food; colorant; detection method

1 概述

色、香、味、形是构成食品感官质量的四大要素, 食品的色泽不仅能促进人的食欲, 增加消化液的分泌, 有利于消化和吸收, 也是影响消费者购买欲的重要因素。为了改善食品的色泽, 着色剂(色素)作为一种古老而又现代的食品添加剂, 在食品加工中被广泛地应用。近年来, 由于部分食品着色剂的滥用尤其是一些禁用着色剂引起的食品安全事件频发, 着色剂的检测越来越受到重视, 针对不同着色剂和食品

基质的检测方法研究工作也在不断开展。本文就近年来食品中着色剂的检测方法, 包括样品的前处理方法和分析检测技术进行综述, 以期着色剂的检测方法研究提供参考。

2 着色剂的分类

着色剂按其来源, 可分为天然着色剂与合成着色剂。目前我国 GB 2760-2011《食品添加剂使用标准》中规定可应用于食品中的着色剂有 64 种, 其中合成着色剂为 12 种, 天然着色剂为 48 种^[1]。

*通讯作者: 黄晓晶, 教授级高工, 主要研究方向为科学仪器开发及应用。E-mail: huangxj@sunnyoptical.com

*Corresponding author: HUANG Xiao-Jing, Professorate Senior Engineer, Shanghai Sunny Hengping Scientific Instrument Co., LTD, 5-6/F, Building 8, 456 Hongcao Road, Xuhui District, Shanghai 200233, China. E-mail: huangxj@sunnyoptical.com

天然着色剂是从动、植物和微生物发酵产物中提取或加工而成的, 具有较高的安全性, 有些具有生物活性的天然着色剂, 如: 类胡萝卜素等, 还兼有营养强化作用。而合成着色剂大多是以煤焦油中分离出来的苯胺染料为原料制成的, 如果过量使用则易诱发中毒、泄泻甚至癌症, 对人体有害。对于着色剂的分析检测方法研究主要是针对合成着色剂, 许多国家和地区也对其使用范围、限量及相关的检测方法做了明确的规定^[2, 3]。

3 着色剂的检测方法

3.1 样品的提取与净化

食品的基质复杂、类型繁多, 而着色剂的种类和性质也千差万别, 这对于样品的前处理是个很大的挑战。样品前处理的好坏不仅对后续的分析检测过程有很大的影响, 也影响检测结果的可靠性。对于不同的食品基质和着色剂类型应选用适合的前处理方法。

样品前处理包括目标化合物的提取和干扰杂质的去除两部分。在样品提取部分, 依据相似相溶原理, 选择单一或混合的提取溶剂。对于水溶性着色剂, 一般采用水(热水)、乙醇、乙醇-氨水等作为提取溶剂; 若含有脂溶性着色剂, 提取的溶剂要相应调整^[4]。另外, 也要考虑食品基质的影响, 选择的提取溶剂应尽量避免将可能的干扰物一起提取出来, 对后续的净化和分析检测步骤产生不利影响。

3.1.1 聚酰胺吸附

聚酰胺是由酰胺键聚合形成的高分子化合物, 其酰胺基可与羟基酚类、酸类、醌类、硝基等化合物以氢键结合而被吸附。对于水溶性的酸性色素有较好的富集作用。GB/T 5009.35-2003《食品中合成着色剂的测定》也将聚酰胺吸附法作为标准方法之一。具体操作步骤是: 将样品提取水溶液加柠檬酸调节 pH 值为 6, 加热至 60 °C, 将 1 g 聚酰胺粉加少许水调成粥状, 倒入试样溶液中, 搅拌片刻, 以 G3 垂熔漏斗抽滤, 用 60 °C pH 为 4 的水洗涤 3~5 次, 然后用甲醇-甲酸混合溶液洗涤 3~5 次, 再用水洗至中性, 用乙醇-氨水-水混合溶液解吸 3~5 次, 每次 5 mL, 收集解吸液, 加乙酸中和, 蒸发至近干, 再加水溶解、定容^[5]。

在针对不同食品基质中的多种不同着色剂研究中, 聚酰胺吸附法的净化和回收率效果均比较理想

^[6-8], 如饮料、糖果、蜜饯、果冻等食品, 可以同时提取净化十几种合成着色剂。但是在实际应用中, 根据样品和目标组分不同, 大多会对于方法操作的细节做一些改进。例如, 甲醇-甲酸混合溶液洗涤步骤会降低亮蓝的回收率^[7]; 对含有赤藓红的样品采用甲醇-水混合溶液溶解定容, 回收率可以在 90%以上^[8]。聚酰胺吸附法适用性也非常广泛, 在对于饮料和糖果中 20 种合成着色剂的前处理方法中, 省去甲醇-甲酸混合溶液洗涤步骤, 直接用 1%氨水-甲醇混合液洗脱, 可以获得 71.4%~109.2%的回收率^[6]。

样品中若含有多量蛋白质、脂肪、淀粉等也会由于竞争吸附导致方法回收率低, 在处理此类样品时, 需要先将蛋白质等影响后续处理的杂质组分除去, 再采用聚酰胺吸附净化, 才能保证良好的效果^[9-11]。蛋白质含量高的食品, 采用尿素-甲醇溶液, 可获得较好的提取效果, 除去蛋白质的干扰。

3.1.2 液-液萃取

液-液萃取法也是 GB/T 5009.35-2003《食品中合成着色剂的测定》规定的样品前处理方法之一, 利用着色剂与其他杂质的酸碱性及极性的差异, 将待测样品提取净化。在样品提取溶液中加入 2 mL 盐酸, 再加 5%三正辛胺正丁醇溶液将着色剂从提取水溶液中提取出来, 经饱和硫酸钠溶液洗 2 次, 将有机相浓缩至 10 mL, 加入正己烷混匀, 再用 2%氨水提取 2~3 次, 合并氨水层, 用正己烷洗 2 次, 水层加乙酸调为中性, 蒸发至近干, 再加水定容^[5]。

液-液萃取法适合多种酸性着色剂的提取净化处理, 在糖果、肉制品等多种食品基质的酸性着色剂提取净化中都获得较好的效果^[12], 包括柠檬黄、苋菜红、靛蓝、胭脂红、日落黄、亮蓝、赤藓红等合成着色剂和天然色素胭脂虫红。但该方法操作繁琐, 步骤繁多, 对实验人员的要求高, 容易因人为因素造成检测结果的偏差, 近年来发表的着色剂检测相关文献当中已较少采用该方法。

3.1.3 固相萃取

固相萃取是近年来广泛用于食品添加剂及农残等微量检测的样品净化方法, 具有操作简便, 适用性广泛、方法重现性好, 回收率高等特点, 在日常分析检测工作中, 应用前景更为广泛。在 GB/T 21916-2008《水果罐头中合成着色剂的测定》中, 采用固相萃取法作为样品净化的标准方法^[13]。

选择合适的固相萃取柱填料是样品前处理的关

键。由于聚酰胺吸附法在着色剂检测中的长期广泛应用,聚酰胺萃取柱与其原理类似,应用也较多,对于糖果、酱油、面包、果酱、液态奶、果汁等食品基质的净化处理均有较好的效果^[14-16]。除聚酰胺小柱外,HLB、WAX 固相萃取小柱在食品中着色剂检测的前处理过程中也有较好的应用^[17-19]。HLB 是亲水-亲脂平衡的吸附剂,为改性的苯乙烯二乙烯基苯共聚物,对于水中极性、非极性的化合物均有很好的保留。采用 HLB 固相萃取小柱,提取液上样后依次用甲醇和正己烷洗脱,对碱性嫩黄 O、酸性橙 II、碱性橙 II、罗丹明 B、对位红等 5 种违禁着色剂有较好的净化效果,回收率为 82.5%~96.6%^[18]。但是对于柠檬黄、靛蓝、胭脂红、苋菜红这几个化合物的回收不好^[14],其在着色剂前处理中的适用性不如聚酰胺小柱广泛。WAX 为混合型弱阴离子交换反相吸附剂,对强酸性化合物具有高选择性,在分析 GB/T 5009.35-2003 中规定的 9 种合成着色剂应用中,回收率为 86.0%~95.5%,重现性为 1.6%~4.3%^[17],且简化了操作步骤。即使在与其他食品添加剂同时分析时,WAX 固相萃取净化依然能获得良好的结果^[19]。

3.1.4 其他方法

当食品基质较为复杂时,由于不同着色剂的性质差异大,很难用一种方法同时实现对多种着色剂的提取净化。采用正己烷、乙腈、甲醇-水进行分级提取,不同提取部分采用不同的净化方法,可以实现对 46 种合成色素及非法违禁添加着色剂的分析^[20]。而对于较为简单的食品基质,如饮料,则可以省去净化步骤,避免了样品处理过程中的损失,以获得更好的检测结果^[4, 21-23]。对于肉制品中少量着色剂的检测,可先用石油醚除去油脂,再采用无水乙醇-氨水-水提取,硫酸锌和铁氰化钾沉淀蛋白质,柠檬黄、苋菜红、胭脂红、日落黄、亮蓝等着色剂的回收率均在 90%以上^[24]。有报道采用加速溶剂萃取法,以乙醇-水-氨水(75:24:1)为提取溶剂,在压力 1500 psi、温度 85 °C 下,对肉制品中的柠檬黄、日落黄、苋菜红、丽春红、亮蓝、赤藓红、诱惑红进行提取,回收率在 74.3~84.9%^[25],该方法可同时处理多个样品,有利于提高分析效率。

3.2 分析与检测

3.2.1 液相色谱法

液相色谱法具有分离效能高、选择性高、分析速度快、灵敏度高、适用性广等优点,在着色剂的分析

检测中应用广泛,多项针对着色剂检测的国家标准也将液相色谱法规定为标准方法^[5, 13]。

由于着色剂在紫外-可见区均有很好的吸收,而紫外检测器又是液相色谱诸多检测器中最为常见、成本相对较低的一种,作为日常检测实验室的标准配置,因此在食品中着色剂的分析检测中,液相色谱-紫外检测法应用最为广泛。采用梯度洗脱,既可排除其他杂质的干扰,也可实现多种着色剂的同时分析。

由于 GB 2760-2011《食品添加剂使用标准》中规定可应用于食品中的合成着色剂几乎为酸性色素,液相色谱分析的流动相多采用乙酸铵为水相,以改善峰型,获得良好的分离效果。对于检测波长的选择,若采用 254 nm 固定波长,无法顾及到不同组分的最大吸收波长,日落黄、诱惑红、亮蓝等化合物的检测灵敏度会受到影响。现在的紫外检测器一般都具有程序波长功能,根据着色剂出峰时间的不同,设置检测波长为最大吸收波长,能大大提高检测灵敏度。采用波长程序检测,日落黄、诱惑红、亮蓝的最小检测限分别为 0.020 μg/mL、0.024 μg/mL、0.010 μg/mL^[26],满足国标中规定的人工合成着色剂的检测要求。

二极管阵列检测器(DAD)在一次运行中可同时采集不同波长的色谱图,用于不同着色剂的同时分析具有独特的优势,在食品着色剂的检测研究中广泛应用,无需设置程序即可完成高灵敏度的分离检出。随着仪器技术水平的进步和实验室配置设备水平的提高,多种食品基质中多类型着色剂的检测研究中都采用了 DAD 检测器^[4, 21-22, 25, 27]。在遇到疑似目标峰的情况下,DAD 所采集的吸收光谱也可以作为验证鉴别的方式之一,具有辅助定性的能力^[27]。

3.2.2 液相色谱-质谱联用法

液相色谱-质谱联用法是近年来迅速发展的一种方法,质谱作为液相色谱的检测器,具有灵敏度高、专属性好的特点,将液相色谱的分离能力和质谱的定性检测能力结合起来,对复杂基质中的微量组分实现更为准确和灵敏的定性定量分析。目前,在食品着色剂的分析检测中也得到越来越多的应用^[28]。

在质谱应用领域里,与其他类型的质谱仪相比,三重四极杆质谱仪是灵敏度和定量重现性都非常好的仪器,在痕量物质的检测中应用最为广泛。对于饮料中 GB 2760-2011《食品添加剂使用标准》中规定可应用于食品中的 8 种合成着色剂,采用电喷雾(ESI)离子化,选择反应监测方式(SRM)进行分析,检出限

为 0.4~13 $\mu\text{g/L}$, 回收率为 98.2%~101.6%, RSD 为 0.3%~1.2%, 该方法抗干扰能力强, 适合于确证和定量^[23]。另外, 采用液质联用方法可同时根据保留时间和特征的母离子及其子离子信息更准确地对目标物进行定性和定量分析^[29]。

3.2.3 其他方法

由于液相色谱分析的高选择性和高灵敏度, 又可与质谱技术联用, 对于复杂食品基质中的多种着色剂分析是具有独特优势的。但是由于液相色谱法是局限于实验室中的应用方法, 分析一个样品的时间较长, 也需要耗费大量的有机试剂。薄层色谱法和示波极谱法可实现快速和低成本的含量测定^[30, 31], 但是检测的灵敏度有限, 只能满足 $\mu\text{g/mL}$ 至 mg/mL 浓度级别的样品测定, 适用于对于检测灵敏度要求不高的快速检测。另外, 有基于分光光度计原理开发的针对食品中色素检测的专用仪器, 样品经处理后, 检测时间小于 1 min, 适用于人工添加色素的现场快速检测^[32]。毛细管电泳由于分离效率高、试剂用量少, 也有应用于食品中着色剂的检测方法研究报道, 可实现 13 种人工合成着色剂的分离测定, 检出限为 3.0~16.0 mg/L ^[33]。毛细管电泳与激光诱导荧光检测器联用, 可获得更高的灵敏度, 在对酸樱桃糖浆的样品分析中, 赤藓红的检出限为 0.4 ng/mL ^[34]。

4 结论与展望

目前食品安全问题已经成为社会关注的热点, 食品中着色剂的检测也受到越来越多的关注。传统的检测方法中, 最大的问题在于复杂基质的样品前处理, 不仅操作繁琐, 也相当耗时, 大大影响了分析检测的效率。因此, 样品前处理方法的优化和改进对于提高检测水平有至关重要的意义。在建立新的分析方法时, 应充分考虑到实际应用的需要, 针对不同的食品基质, 同时考虑食品加工生产过程中色素添加的实际情况, 建立真正实用的分析方法, 避免技术的浪费。

随着仪器技术的不断进步, 液相色谱-质谱联用法由于结合了色谱技术的高效分离能力和质谱技术的定性能力, 进一步提高了检测的灵敏度和确证能力。但由于液质联用仪价格不菲, 使用和维护对操作人员的要求也较高, 很难在基层检测机构中得到普及和推广; 而液相色谱仪已经成为分析实验室的普及配置, 可兼顾仪器成本和灵敏度、准确度的要求,

满足日常检测工作的需要。如果提高了样品前处理的效率, 液相色谱的检测能力也会得到进一步提高。另外一方面, 快速检测方法也是发展的另一个重要方向。尽管快速检测方法的灵敏度有限, 但其操作便利、分析快速, 对分析人员的要求不高, 十分适用于现场检测的需要, 可作为日常卫生监督执法工作中的检测方法, 以控制合成色素滥用的食品流入市场。

参考文献

- [1] 中华人民共和国卫生部. GB 2760-2011 食品添加剂使用标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
Ministry of Health, People's Republic of China. GB 2760-2011 Standards for use of food additives [S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.
- [2] 邹志飞, 蒲民, 李建军, 等. 各国(地区)食用色素的使用现状与比对分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2010, 22(2): 112-121.
Zou ZF, Pu M, Li JJ, *et al.* Usage status and comparison analysis of the food colour in some countries (regions) [J]. Chin J Food Hyg, 2010, 22(2): 112-121.
- [3] 葛宇. 食品中人工合成色素使用法规及检测标准进展[J]. 质量与标准化, 2011, 9: 31-35.
Ge Y. Regulatory and standard testing methods for synthetic pigments in food [J]. Qual Stand, 2011, 9: 31-35.
- [4] Ma M, Luo X, Chen B, *et al.* Simultaneous determination of water-soluble and fat-soluble synthetic colorants in foodstuff by high-performance liquid chromatography-diode array detection-electrospray mass spectrometry [J]. J Chromatography A, 2006, 1103(1): 170-176.
- [5] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.35-2003 食品中合成着色剂的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
Ministry of Health, People's Republic of China. GB/T 5009.35-2003 Determination of synthetic colorants in food [S]. Beijing: Standards Press of China, 2003.
- [6] 顾宇翔, 葛宇, 印杰, 等. 聚酰胺吸附-HPLC 测定饮料和糖果中的 20 种水溶性色素[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(1): 161-164.
Gu YX, Ge Yu, Yin J, *et al.* Determination of 20 water-soluble pigments in beverages and candy by polyamide [J]. Food Ferment Ind, 2012, 38(1): 161-164.
- [7] 宁尚勇, 高洁, 许志强, 等. 反相液相色谱法同时检测虾仁中合成色素的研究[J]. 分析实验室, 2008, 27(4): 72-75.
Ning SY, Gao J, Xu ZQ, *et al.* Simultaneous determination of forbidden dyes in food by HPLC [J]. Chin J Anal Lab, 2008, 27(4): 72-75.
- [8] 阮丽萍, 吉文亮, 刘华良, 等. 高效液相色谱法同时测定食品

- 中 10 种合成着色剂[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(2): 151-154.
- Ruan LP, Ji WL, Liu HL, *et al.* Simultaneous determination of 10 synthetic colorants in foods with high performance liquid chromatography [J]. *Chin J Food Hyg*, 2011, 23(2): 151-154.
- [9] 肖艳, 袁云霞, 王全林, 等. 高蛋白食品中多种人工合成色素的提取及检测[J]. 分析科学学报, 2010, 16(5): 578-580.
- Xiao Y, Yuan YX, Wang QL, *et al.* Extraction and detection of synthetic pigments in high-protein foods [J]. *J Anal Sci*, 2010, 16(5): 578-580.
- [10] 沈坚, 王全林, 潘旭. 高蛋白食品中合成色素的多组分测定方法研究[J]. 分析化学, 2009, 37(增刊): 156.
- Shen J, Wang QL, Pan Xu. Detection researches of synthetic pigments in high-protein foods [J]. *Chin J Anal Chem*, 2009, 37(Suppl): 156.
- [11] 吕东明, 丁云连, 詹晟, 等. 常见淀粉制品中合成色素的改进测定法[J]. 食品安全质量检测学报, 2012, 3(3): 205-208.
- Lv DM, Ding YL, Zhan S, *et al.* Enhanced method for synthetic pigment determination in common starch products [J]. *J Food Safe Qual*, 2012, 3(3): 205-208.
- [12] 喻凌寒, 苏流坤, 牟德海. 糖类食品和肉制品中胭脂虫红色素的高效液相色谱法测定[J]. 分析测试学报, 2008, 27(6): 648-650.
- Yu LH, Su LK, Mu DH. Determination of carminic acid in carbohydrate foods and meat products by high performance liquid chromatography [J]. *J Instrum Anal*, 2008, 27(6): 648-650.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 21916-2008 水果罐头中合成着色剂的测定[S]. 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 21916-2008 Determination of synthetic colorants in canned fruit [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [14] 伊雄海, 邓晓君, 杨惠琴, 等. 液相色谱-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.
- Yi XH, Deng XJ, Yang HQ, *et al.* Determination of commonly abused dyes in food by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Chromatogr*, 2011, 29(11): 1062-1069.
- [15] 张学忠, 牛之瑞, 冯雷, 等. 高效液相法测定饮料中合成着色剂预处理方法的比较[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(2): 94-96.
- Zhang XZ, Niu ZR, Feng L, *et al.* Compare of three methods in inspecting artificial synthetical colorants in drink by resolution liquid chromatography [J]. *Food Res Dev*, 2011, 32(2): 94-96.
- [16] Stefania Bonan, Giorgio Fedrizzi, Simonetta Menotta, *et al.* Simultaneous determination of synthetic dyes in foodstuffs and beverages by high-performance liquid chromatography coupled with diode-array detector [J]. *Dyes Pigments*, 2013, 99(1): 36-40
- [17] 谢君红, 冯辉, 付晓陆. 固相萃取-高效液相色谱法多波长测定食品中的 9 种合成着色剂[J]. 食品安全导刊, 2013, (5): 29-30.
- Xie JH, Feng H, Fu XL. Determination of 9 synthetic pigments by SPE-HPLC [J]. *China Food Safe Mag*, 2013, (5): 29-30.
- [18] 张玉, 王伟, 徐丽红, 等. 高效液相色谱法同步测定食品中 5 种色素含量[J]. 浙江农业科学, 2012, (3): 377-379.
- Zhang Y, Wang W, Xu LH, *et al.* Simultaneous determination of 5 pigments by HPLC [J]. *Zhejiang Agr Sci*, 2012, (3): 377-379.
- [19] 李秀琴, 张庆和, 杨总. 高效液相色谱法同时测定肉制品中的 6 种食品添加剂[J]. 色谱, 2010, 28(12): 1204-1208.
- Li XQ, Zhang QH, Yang Z. Simultaneous determination of six food additives in meat products by high performance liquid chromatography [J]. *Chin J Chromatogr*, 2010, 28(12): 1204-1208.
- [20] 赵延胜, 董英, 张峰, 等. 食品中 46 种禁用合成色素的分级提取净化体系研究[J]. 分析化学, 2012, 40(2): 249-256.
- Zhao YS, Dong Y, Zhang F, *et al.* A study on system of sequential extraction and cleaning of 46 forbidden and limited synthetic pigments in food stuff [J]. *Chin J Anal Chem*, 2012, 40(2): 249-256.
- [21] 马康, 蒋孝雄, 赵敏, 等. 高效液相色谱法同时测定软饮料中 20 种食品添加剂[J]. 分析化学, 2012, 40(11): 1661-1667.
- Ma K, Jiang XX, Zhao M, *et al.* Simultaneous determination of 20 food additives in drinks by high performance liquid chromatography coupled with photo-diode array detector [J]. *Chin J Anal Chem*, 2012, 40(11): 1661-1667.
- [22] 肖海龙, 屠海云, 王红青, 等. 反相高效液相色谱法快速测定食品中 18 种水溶性合成着色剂[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(2): 264-266.
- Xiao HL, Tu HY, Wang HQ, *et al.* Rapid method for simultaneous determination of 18 water-soluble synthetic pigments in food by RP-HPLC [J]. *Chin J Health lab Technol*, 2011, 21(2): 264-266.
- [23] 李帮锐, 冯家力, 潘振球, 等. 高效液相色谱-质谱/质谱联用法测定饮料中的人工合成色素[J]. 中国卫生检验杂志, 2007, 17(4): 579-580, 585.
- Li BR, Feng JL, Pan ZQ, *et al.* Determination of synthetical pigments in drinks by high performance liquid chromatography-mass spectrometry /mass spectrometry [J]. *Chin J Health lab Technol*, 2007, 17(4): 579-580, 585.
- [24] 欧阳燕玲, 陈玲, 谢维平. 肉制品中人工合成着色剂测定前处理方法的研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2006, 16(10): 1269.
- Ouyang YL, Chen L, Xie WP. Sample preparation of synthetic pigments in meat [J]. *Chin J Health lab Technol*, 2006, 16(10):

- 1269.
- [25] Liao QG, Li WH, Luo LG. Applicability of accelerated solvent extraction for synthetic colorants analysis in meat products with ultrahigh performance liquid chromatography-photodiode array detection [J]. *Anal Chim Acta*, 2012, 716: 128-132
- [26] 黄晓晶, 黎路. HPLC 波长程序法分析合成着色剂[J]. *现代仪器*, 2012, 18(2): 35-36, 27.
Huang XJ, Li L. Artificial pigment analysis by HPLC with programmed wavelength [J]. *Mod Instrum*, 2012, 18(2): 35-36, 27.
- [27] Miniotiá KS, Sakellariou CF, Thomaidis NS, *et al.* Determination of 13 synthetic food colorants in water-soluble foods by reversed-phase high-performance liquid chromatography coupled with diode-array detector [J]. *Anal Chim Acta*, 2007, 583(1): 103-110
- [28] Stefano VD, Avellone G, Bongiorno D, *et al.* Applications of liquid chromatography-mass spectrometry for food analysis [J]. *J Chromatogr A*, 2012, 1259: 74-85
- [29] 马晓燕, 朱顺达, 肖海龙, 等. 液相色谱-串联质谱法测定食品中喹啉黄、酸性绿 S 和专利蓝 V[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(4): 182-186.
Ma XY, Zhu SD, Xiao HL, *et al.* Determination of quinoline yellow, green S and patent blue V in foods by performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2012, 12(4): 182-186.
- [30] Morlock G, Oellig C. 食品中 25 种水溶性色素的 HPTLC 同时含量测定[C]. 第四届国际食品安全高峰论坛论文集, 2011, 89-92.
Morlock G, Oellig C. Simultaneous determination of 25 water-soluble pigments in food by HPTLC [C]. *Essay Collect Fourth Int Food Safe Forum*, 2011, 89-92.
- [31] 李德金, 赵明哲, 栾广杰. 示波极谱法测定食品中人工合成色素的探讨[J]. *食品研究与开发*, 2004, 25(6): 107-108.
Li DJ, Zhao MZ, Luan GJ. Determination of synthetic pigments in food by oscillopolarography [J]. *Food Res Dev*, 2004, 25(6): 107-108.
- [32] 卓婧, 王静, 陈小霞, 等. 食品中合成色素快速检测仪器的研制[J]. *分析化学*, 2011, 39(2): 283-287.
Zhuo J, Wang J, Chen XX, *et al.* Apparatus and approach for rapid determination of synthetic edible pigment in food [J]. *Chin J Anal Chem*, 2011, 39(2): 283-287.
- [33] 龙巍然, 王兴益, 史振雨, 等. 胶束电动毛细管色谱同时测定食品中 13 种人工合成色素[J]. *分析测试学报*, 2012, 31(9): 1100-1104.
Long WR, Wang XY, Shi ZY, *et al.* Determination of thirteen artificially synthesized pigments in food by micellar electrokinetic capillary chromatography [J]. *J Instrum Anal*, 2012, 31(9): 1100-1104.
- [34] Markéta Ryvolová, Petr Táborský, Patrik Vrabel, *et al.* Sensitive determination of erythrosine and other red food colorants using capillary electrophoresis with laser-induced fluorescence detection [J]. *J Chromatogr A*, 2007, 1141(2): 206-211.

(责任编辑: 张宏梁)

作者简介



黎路, 硕士, 工程师, 主要研究方向为色谱质谱技术应用。
E-mail: lil@sunnyoptical.com



黄晓晶, 博士, 教授级高工, 主要研究方向为科学仪器开发及应用。
E-mail: huangxj@sunnyoptical.com