

食品中甲醛分析方法研究进展

黄种乾^{1,2}, 李亚楠^{1,2}, 高丽霞^{1,2}, 黄登宇^{2,3*}

(1. 山西大学生命科学学院, 太原 030006; 2. 山西大学食品药品快速检测中心, 太原 030006;
3. 山西省食品药品监督管理局, 太原 030006)

摘要: 食品中的甲醛问题引起了人们的高度重视, 检测食品中的甲醛至关重要。食品中的甲醛主要来源于食品自身代谢合成、人为添加和环境污染。甲醛的分析方法包括样品前处理方法和甲醛检测方法。根据不同的食品种类, 需要选择合适的样品前处理方法, 具体方法包括: 浸泡法、蒸馏法、超声法和蛋白沉淀法。甲醛检测方法分为常规检测方法和快速检测方法。常规检测方法主要有分光光度法和色谱法。分光光度法包括乙酰丙酮法、变色酸法、AHMT法、间苯三酚法和盐酸苯肼法。目前甲醛快速检测方法成为了研究热点, 示波极谱法、试纸法、生物传感器法等快速检测方法得到快速发展。

关键词: 食品; 甲醛; 来源; 前处理; 检测方法

Research advances of analysis techniques of formaldehyde in foods

HUANG Zhong-Qian^{1,2}, LI Ya-Nan^{1,2}, GAO Li-Xia^{1,2}, HUANG Deng-Yu^{2,3*}

(1. College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2. The Food and Drug Safety Rapid Inspection Center, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 3. Shanxi Food and Drug Administration, Taiyuan 030006, China)

ABSTRACT: The problem of formaldehyde in foods attaches great importance of the people, and the determination of formaldehyde in foods is crucial. The origins of formaldehyde in foods come from the food metabolism of itself, artificial adding and environmental pollution. The analysis techniques of formaldehyde include sample pre-treatment methods and detection methods. According to the kinds of foods, the suitable pre-treatment methods should be chosen, including immersing method, steam method, protein precipitation method and ultrasonic method. There are 2 types of detection methods: routine detection methods and rapid detection methods. The routine detection methods include spectrophotometric method and chromatography. The spectrophotometric methods include acetylacetones method, chromotropic acid method, AHMT method, phloroglucine method and phenylhydrazine hydrochloride method. Now the rapid detection methods of formaldehyde are areas of research focus, which include oscillating polarography, test method, and the biosensor method.

KEY WORDS: food; formaldehyde; origin; pre-treatment; detection methods

1 引言

甲醛(HCHO), 又名“蚁醛”, 沸点低, 常温下为具有刺

激性和窒息性的无色气体。商品为其水溶液, 35%~40%的水溶液通常称为福尔马林, 是世界上产量最高的10种化学品之一^[1]。

*通讯作者: 黄登宇, 副教授, 主要研究方向为食品卫生检测。E-mail: Huangdy1110@126.com

*Corresponding author: HUANG Deng-Yu, Associate Professor, Shanxi University & Shanxi Food and Drug Administration, No.85, Longcheng Avenue, Xiaodian District, Taiyuan 030006, China. E-mail: Huangdy1110@126.com

甲醛是一种破坏细胞蛋白质的毒性物质^[2], 可凝固蛋白质, 使蛋白质变性, 严重干扰细胞正常代谢, 因此对生物细胞具有极大伤害作用, 这也是其杀菌和防腐的机制。活泼的甲醛基不需要经过代谢就能攻击人体内的亲核基因, 引起 DNA 损伤^[3]。裘著革等^[4]研究表明甲醛不仅可诱导人外周淋巴细胞 DNA 发生链断裂, 还可引起 DNA-DNA、DNA-蛋白质交联。甲醛因为其具有致突变性和致癌性, 已经被国际癌症研究机构列为第一类“致癌物质”, 美国相关部门规定人甲醛每日允许摄入量仅为 0.2 mg/kg^[5]。

2 食品中甲醛的来源

2.1 食品中天然存在甲醛

食品中天然甲醛主要来源于食品中氨基酸、糖类、酯类等成分的代谢产物^[6,7]。动物中甲醛是代谢中正常产生的中间产物, 在各种动物组织中均可检测出, 特别是在水产品中^[8]。氧化三甲胺是水产品体内自然存在的内源性物质, 也是水产品区别于其他动物的特征物质, 是鱼鲜美味道的主要来源。氧化三甲胺在氧化三甲胺酶的存在下, 会分解成为甲醛和二胺^[8,9]。在植物中也存在天然甲醛, 香菇子实体在生长发育过程中会自然形成一定量的甲醛, 是香菇正常代谢产物, 香菇中的甲醛是酸解香菇菌酸形成的, 香菇菌酸是香菇精的前提物质, 是香菇干品的主要芳香物质^[10]。

2.2 食品生产加工过程中人为添加

甲醛之前是属于国家标准允许使用的加工助剂, 在食品生产过程中存在一定工艺需要。啤酒在酿造过程中会产生蛋白质、多酚类等多种悬浮物, 影响美观、缩短保质期, 厂家在糖化锅里加入甲醛与麦芽粉中的多酚类直接反应, 滤掉沉淀物就能去除多酚类悬浮^[11]。不过, 现在大部分啤酒厂家通过技术改进已经放弃甲醛使用。我国 2015 年颁布的 GB2760-2014^[12]已将甲醛从食品加工助剂中除名。现行标准 GB2758-2012^[13]对啤酒甲醛的限量为小于 2 mg/L。

在食品生产过程中甲醛的非法添加问题严重。由于甲醛具有防腐和定型作用, 使得不法商贩为了使食品保存更久、增加观感, 经常在食品生产加工过程中非法加入甲醛溶液。在水发产品中加入甲醛溶液, 不仅起到保鲜作用, 还能增加持水性和韧性^[14]。在腐竹、米粉生产过程中加入吊白块(甲醛次硫酸氢钠)可增加产品洁白度。在牛乳生产运输过程中加入甲醛, 防止细菌增生, 起到保鲜作用^[15]。

2.3 污染所致

污染主要来自 3 个方面: 食品包装材料污染、加工水污染和生产环境污染。甲醛是一个化工原料, 可用于制造与食品接触的材料及制品, 甲醛单体及各种甲醛低聚物可能残留在制成的产品中, 随着制品与食品接触而迁移到食

品中^[16], 如食品包装材料三聚氰胺树脂成型品、水基改性环氧易拉罐内壁涂料、罐头内壁脱模涂料及食品容器漆酚涂料中均有游离甲醛的存在^[17]。甲醛在化工领域大范围使用, 化工企业如果违规排放含醛废水, 可造成水体污染, 食品加工企业如果使用不合格水进行食品生产, 就会造成食品甲醛污染。水质中甲醛含量已被列为《生活饮用水水质卫生规范》中有害物质检测项目^[18], 标准 GB 5749-2006^[19]中规定水质中甲醛含量 ≤ 0.9 mg/L。甲醛用于设施、工具消毒(1%的福尔马林)、环境改良剂和消毒剂(3%~4%的福尔马林)或立体空间熏蒸消毒剂, 造成环境不同程度污染, 环境中甲醛污染最终造成食品中甲醛残留^[20]。

由于食品中甲醛来源途径多, 给甲醛监管带来很多问题。有些食品中天然含有甲醛, 但是我国对食品中甲醛含量本底值研究较少, 因而在食品中检测出甲醛残留不能单纯认为是人为添加^[21]。在现行食品标准中, 目前只有两部标准涉及到了甲醛残留限量, NY/T 1712-2009^[22]对甲醛残留限量为小于 10 mg/kg 和 GB2758-2012^[13]对啤酒甲醛的限量为小于 2 mg/L。徐晨等^[21]认为水产品是人为添加甲醛的重灾区, 在缺乏对水产品甲醛本底值及水发过程中甲醛动态变化开展系统和有针对性研究的情况下, 在监管过程中容易出现问題。

3 样品前处理方法

样品前处理是指样品采集后, 经过特定处理方法, 把样品中甲醛尽可能多地转移到待测溶液中, 以便于检测甲醛的样品处理过程。不同食品之间存在较大差异, 因此不同种类的食品, 选择不同样品前处理, 才能获得样品甲醛的真实含量。目前前处理方法主要有: 浸泡法、蒸馏法、超声法、蛋白沉淀法。

3.1 浸泡法

适合大部分固体样品。将样品浸泡于蒸馏水中一定时间, 然后取浸泡液进行分析。该方法操作简便、仪器简单、经济环保。但是提取时间比较长, 不适合快速检测。有的样品浸泡后, 液体带有颜色或者混浊, 需要进一步脱色或离心, 对低浓度样品后续检测结果影响比较大。叶艺娟等^[23]在检测过程中发现, 腐竹浸泡后液体出现黄色, 面粉浸泡后出现混浊, 影响后期比色。李兆旭等^[24]研究发现, 浸泡法不适合对水产品甲醛进行提取, 提取率比较低, 这主要与甲醛在水产品中存在的状态密切相关。甲醛在水产品中有 3 种存在状态: 游离态、可逆结合状态和不可逆结合状态。游离态甲醛容易进入浸泡液中, 可逆结合状态甲醛在特定条件下可以经过转化进入提取液中, 不可逆结合状态甲醛很难进入提取液中^[25]。

3.2 蒸馏法

可分为直接蒸馏法和水蒸气蒸馏法。将固体样品匀浆

或粉碎,置于蒸馏瓶中,加入少量酸和玻璃珠,加热或通气蒸馏,收集蒸馏液进行分析。液体样品直接进行蒸馏分析。GB/T 5009.49-2008^[26]、NY/T 273-2012^[27]、NY/T 1283-2007^[28]和 SC/T 3025-2006^[29]这些标准均采取蒸馏法作为前处理方法。蒸馏法适合大部分样品,但是需要相应的装置,操作繁琐,不适合大批量样品的前处理。卢岚等^[30]研究发现蒸馏法在检测食品中甲醛时,容易出现假阳性,分析主要是蒸馏法进行样品处理过程中,由于各种食品化学成分比较复杂,经过一系列化学变化,造成基体干扰,使结果出现假阳性。

3.3 蛋白沉淀法

该方法主要针对于蛋白质含量较高的样品。目前该前处理方法在水产品和水发产品中应用较多,用蛋白沉淀法处理样品时,蛋白质在水浴作用下,发生沉淀、变性和凝集,有利于结合态甲醛脱离蛋白质而进入水中。李芸^[31]指出在水产品检测过程中,用蛋白沉淀法实验结果与蒸馏法实验结果一致。李召旭等^[24]在水产品中甲醛含量检测研究中比较了几种样品前处理方法,发现蛋白沉淀法最适合水产品样品的前处理。方艳玲^[32]研究认为水发食品甲醛前处理首选蛋白沉淀法,比蒸馏法效率高,无干扰性,重现性好。

3.4 超声波法

超声波法是一种新型前处理方式,具有设备简单,提取时间短和提取效果好等优点,适合大部分样品。刘细祥等^[33]利用超声波法对粉丝中的甲醛进行提取,以超声功率为 100 W,提取时间 10 min,提取温度 65 °C 作为最佳提取条件。目前超声波法与蛋白沉淀法结合的报道比较多。董靛靛等^[34]在对水产品超声提取甲醛的过程中,加入蛋白沉淀剂三氯乙酸,有效地对甲醛进行提取。王丹等^[35]利用超声波对甲醛进行提取,在超声过程中加入乙酸锌和亚铁氰化钠作为蛋白沉淀剂。

4 甲醛的检测方法

4.1 常规检测方法

4.1.1 分光光度法

利用甲醛与某种试剂反应后,生产有色化合物,在一定波长下此物质的吸光度与其浓度遵从朗伯比尔定律,以此进行定量分析。由于分光光度法所需仪器设备简单、操作简便,目前在甲醛检测应用最为广泛。分光光度法主要包括乙酰丙酮法、变色酸法和酚试剂法。

(1)乙酰丙酮法

在 pH 为 5.5~7.0 条件下,甲醛与乙酰丙酮在过量铵盐的存在下,反应生成黄色化合物,在波长 414 nm 左右处进行光度分析测定其吸光度值^[36]。此法的优点是操作简便,性能稳定。缺点是生成稳定黄色物质需要 60 min 的诱导期,抗干扰性差。乙酰丙酮是测定甲醛比较理想的方法,目前

在各领域广泛使用。在 NY/T 1283-2007^[28]、SC/T 3025-2006^[29]、GB/T 5009.49-2008^[26]和 SN/T 2183-2008^[16]标准中均采用乙酰丙酮法作为检测方法。

(2)变色酸法

变色酸法也称为铬变酸法,甲醛在浓硫酸存在下,沸水浴中可与变色酸(1,8-二羟基萘-3,6-二磺酸)发生作用形成紫色化合物,该化合物最大吸收波长在 570 nm 处^[37],可用分光光度法进行分析。该法的优点是操作简便、快速灵敏,缺点是变色酸由浓硫酸配制,氧化性强,试验中硫酸用量大且操作不便,需在强酸溶液中煮沸加热,苯酚、醛类对测定有干扰。该方法实际检测应用较少^[38]。

(3)AHMT 法

4-氨基-3-胍基-5-巯基-1,2,4-三氮唑(AHMT)与甲醛在碱性条件下缩合,然后经高锰酸钾氧化成 6-巯基-5-三氮杂茂[4,3-b]-S-四氮杂苯紫红色化合物^[38],最后比色定量。该方法特异性好,乙醛、丙醛、正丁醛等醛类及甲醇、乙醇等醇类的存在,并不会对该方法产生干扰^[39]。缺点是操作过程中显色液随时间逐渐加深,因此显色反应时间必须合格统一,该方法重现性比较差。AHMT 法为标准 NY/T 273-2012^[27] 中甲醛检测方法。

(4)间苯三酚法

标准 SC/T 3025-2006^[29] 所采用的检测方法。甲醛和间苯三酚在碱性条件下,生成橘红色过渡物质,在波长 474 nm 进行比色测定^[40]。该法的优点是所用试剂种类少,显色反应不需要加热,显色速度快,操作简单,检出限为 0.1 mg/L。嵇正平等^[41]认为,溶液中氢氧化钠浓度越高,显色和褪色反应速度越快,且能达到的最大吸光度值也越大。由于显色反应与碱浓度及时间关系较大,所以定量分析甲醛含量时,需要严格控制间苯三酚、NaOH 的浓度。纳文娟等^[41]指出间苯三酚分光光度法测定甲醛误差大的根本原因在于甲醛与显色剂间苯三酚反应不稳定,所以导致吸光度不稳定,结果偏差大。

(5)盐酸苯肼法

盐酸苯肼与甲醛在酸性或碱性条件下,经铁氰化钾氧化生成红色化学物苯腙,颜色深浅与甲醛含量成正比,在该物质的最大吸收峰波长 520 nm 处测定^[37]。该方法灵敏度比较高,但是操作比较繁琐,盐酸苯肼毒性较大且显色生成物不稳定。纳文娟等^[42]研究比较了乙酰丙酮法与盐酸苯肼法,认为盐酸苯肼法干扰因素少,精确度与准确性高,特别是分析不受任何干扰。

4.1.2 色谱法

色谱法主要有高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)和气相色谱法(gas chromatography, GC)。色谱法灵敏度好,准确性高,即使甲醛溶度比较低,也能准确测出。但是色谱法所需仪器比较昂贵,目前一般的实验室和检测站无法普及。色谱法直接检测甲醛时,灵敏度比较低,一般需要将甲醛衍生化后进

行测定。甲醛先与 2, 4-二硝基苯肼反应生成衍生产物 2, 4-二硝基苯腙后, 再进行色谱分析^[43]。

(1) 高效液相色谱法

HPLC 测定甲醛时, 先将甲醛与 2, 4-二硝基苯肼反应生成衍生产物 2, 4-二硝基苯腙, 用有机溶剂进行萃取富集后, 在一定条件下蒸发, 浓缩, 再用甲醇或乙腈进行稀释, 最后进行色谱分析。液相色谱法具有分离效率高, 选择性好, 灵敏度高, 不受样品基质和颜色影响等优点^[44]。SN/T 1547-2011^[45]、GB/T 21126-2007^[46]、NY/T 273-2012^[27]和 SC/T 3025-2006^[29]这些标准中均采用高效液相色谱法对甲醛进行检测。但是佟琦等^[47]认为用 2, 4-二硝基苯肼进行衍生, 反应时间长, 操作繁琐, 因此建立了 Nash 试剂柱前衍生高效液相色谱法快速测定土豆粉条样品中甲醛含量的分析方法, RSD 为 0.75%~1.5%, 检出限为 43 μg/kg。

(2) 气相色谱法

GC 主要有直接法和衍生法。直接法测定甲醛方法简单, 操作简单, 但是只适合甲醛浓度比较高的样品, 要求浓度高于 5 mg/L^[48]。对于低浓度甲醛往往采取衍生法进行测定, 一般采用 2, 4-二硝基苯肼柱前衍生法, 该法灵敏度高、准确性好^[49]。Bianchi 等^[25]将五氟苄基-羟基胺盐作为柱前衍生剂, 利用气质联用方法对 12 种鱼中的甲醛进行分析, 最低检测限为 17 μg/kg。

4.2 快速检测方法

主要包括极谱法、试纸法和传感器法。

4.2.1 示波极谱法

示波极谱法是近年来发展起来的一种快速检测分析方法, 一些含羰基结构的醛或酮化学物通过联氨衍生化均可用示波极谱法测定^[50]。在 pH 值为 5 的乙酸-乙酸钠介质中, 甲醛与硫酸联氨反应生成质子化醛腙产物, 在电位 -1.04 V 处产生灵敏的吸附还原波, 其峰高与甲醛浓度在一定范围内呈线性关系, 由此对甲醛进行定量检测; 或者甲醛在盐酸苯肼-氯化钠底液中产生一个明晰的极谱波, 峰电流与甲醛含量成正比, 根据样品峰电流与甲醛标准峰电流比较进行定量检测。该法操作简便、选择性好, 但是极谱分析法对试样前处理要求比较高, 且使用的“滴汞电极”有污染, 目前多用于检测食品和食品包装材料中的甲醛。标准 GB/T 5009.178-2003^[17]采用示波极谱法作为检测方法。

4.2.2 试纸法

目前已经开发了甲醛快速检测的试纸条, 检测迅速, 成本低, 适合甲醛非法添加快速筛查。首先选择能与甲醛发生显色反应的试剂, 将滤纸浸泡在该试剂溶液中, 然后晾干待用。将待测溶液滴加在试纸条上, 通过试纸颜色深浅对甲醛进行定性及定量分析。王志琴等^[51]采用品红试剂制作试纸的方法, 将品红溶液和硫酸溶液, 按 3:1 比例加载到 WFB-试纸上, 来对牛乳中甲醛快速检测, 最低检测

限为 0.08 g/L。林伟英等^[52]发明了一种能快速检测甲醛的荧光试纸, 由负载荧光探针萘酰亚胺衍生物的无荧光增白剂试纸构成, 萘酰亚胺衍生物 N-氨基-4-(1-哌嗪基)-1,8-萘酰亚胺作为甲醛的特异性探针, 可与甲醛生成对应的腙, 通过检测腙的荧光强度可以测定甲醛的含量。

4.2.3 传感器法

传感器是一种对待测物质敏感并能将其浓度转化为电信号进行检测的仪器。对甲醛快速检测越来越引起人们注意, 因此许多甲醛生物传感器应运而生^[53]。甲醛脱氢酶将甲醛催化生产甲酸和还原型辅酶 I, 通过检测甲醛脱氢酶反应生产的还原型辅酶 I 以实现甲醛对甲醛的检测, 丁建军等^[54]利用上述原理制成了适于快速检测甲醛的电化学生物传感器。庞林江等^[55]利用电化学气体传感器实现了对香菇中甲醛快速无损检测分析, 检测过程简便快速, 对低浓度甲醛测定灵敏度较高。

5 小结

食品中甲醛来源十分广泛, 除了人为添加之外, 食品中可能天然含有甲醛, 这给监管部门带来很多不便。因此, 食品中甲醛本底值的调查以及甲醛生成途径有待进一步深入研究。

由于食品种类繁多, 选择合适样品前处理方法至关重要。浸泡法是最为简便的方法, 但是提取时间比较长, 而且不适于浸泡后使液体有颜色或者混浊的样品。蒸馏法适合大部分样品, 回收率比较高, 但是操作比较繁琐, 不适合大批量样品前处理。蛋白沉淀法针对蛋白质含量高的样品, 特别是水产品。超声波法提取时间短, 经济环保, 但是提取率比较低。

甲醛的检测方法比较成熟, 分光光度法所需仪器设备简单, 操作简便, 目前在甲醛检测应用最为广泛。色谱法精确度比较多, 但是所需仪器比较昂贵, 操作繁琐, 普及率比较低。目前食品安全快速检测技术成为研究热点, 试纸法和传感器等甲醛快速检测方法相继得到应用, 快速检测技术有利于样品的快速筛查, 但是目前快速检测技术尚处于定性或半定量阶段, 在定量方面准确度不高。快速、准确的甲醛快速检测技术将成为下一步的研究方向。

参考文献

- [1] 郑睿行, 马力, 姚鑫, 等. 甲醛的测定方法研究进展[J]. 生命科学仪器, 2008, 6(4): 11-13.
Zheng RL, Ma L, Yao X, *et al.* Research progress on the determination of formaldehyde [J]. Life Sci Instrum, 2008, 6(4): 11-13.
- [2] 董海峰, 沈上圯, 李琴梅, 等. 高效液相色谱法检测西药制品中甲醛残留的研究方法[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(9): 3387-3392.
Dong HF, Shen SY, Li QM, *et al.* Determination of formaldehyde residues in medicine by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(9): 3387-3392.

- [3] Chanarat s, Benjakul S. Effect of formaldehyde on protein cross-linking and gel forming ability of surimi from lizardfish induced by microbial transglutaminase [J]. Food Hyd, 2013, 30(2): 704–711.
- [4] 袁著革, 杨丹凤, 孙咏梅, 等. 甲醛致核酸损失作用的实验研究[J]. 环境科学学报, 2001, 24(4): 720–722.
Xi ZG, Yang DF, Sun YM, *et al.* Experimental study of the DNA damage induced by formaldehyde [J]. Acta Sci Cricumst, 2001, 24(4): 720–722.
- [5] Yeh TS, Lin TC, Chen CC, *et al.* Analysis of free and bound formaldehyde in squid and squid products by gas chromatography mass spectrometry [J]. Food Drug Anal, 2013, 21(2): 190–197.
- [6] 张文德. 食品中甲醛的来源及检测意义[J]. 中国食品卫生杂志, 2006, 18(5): 454–459.
Zhang WD. Origin and determination of formaldehyde in foods [J]. Chin J Food Hyg, 2006, 18(5): 454–459.
- [7] Zhu Y, Peng ZQ, Wang M. Optimization of extraction procedure for formaldehyde assay in smoked meat products [J]. Food Comp Anal, 2012, 28(1): 1–7.
- [8] Sibirny V, Demkiv O, Klepach H. Alcohol oxidase- and formaldehyde dehydrogenase-based enzymatic methods for formaldehyde assay in fish food products [J]. Food Chem, 2011, 127(2): 774–779.
- [9] 宋丹阳, 周德庆, 杜永芳, 等. 氧化三甲胺酶研究进展[J]. 食品科学, 2007, 28(1): 351–353.
Song DY, Zhou DQ, Du YF, *et al.* Research progress on trimethylamine N-oxide demethylase [J]. Food Sci, 2007, 28(1): 351–353.
- [10] 柯乐芹. 香菇中甲醛本底含量的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
Ke LQ. Research on initial content of formaldehyde in *Lentinus edodes* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [11] 孟悦. 啤酒中甲醛浓度定量测定的方法探讨[J]. 医学信息, 2011, (5): 1935.
Meng Y. Study on the determination of formaldehyde concentration in beer [J]. Med Inform, 2011, (5): 1935.
- [12] GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].
GB2760-2014 National food safety standard-standards for uses of food additives [S].
- [13] GB 2758-2012 食品安全国家标准 发酵酒及其配制酒[S].
GB 2758-2012 National food safety standard-fermented alcoholic beverages and their integrated alcoholic beverages [S].
- [14] 华红慧, 岳振峰, 郑卫平, 等. 乙酰丙酮分光光度法检测菌菇类及水产品中甲醛含量的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(4): 273–276.
Hua HH, Yue ZF, Zheng WP, *et al.* Study on determination of formaldehyde in mushroom and aquatic products by acetyl-acetone spectrophotometric method [J]. Food Sci, 2007, 28(4): 273–276.
- [15] Nascimento CF, Brasil MAS, Costa SPF, *et al.* Exploitation of pulsed flows for on-line dispersive liquid-liquid microextraction: Spectrophotometric determination of formaldehyde in milk [J]. Talanta, 2015, 14: 1189–1194.
- [16] SN/T 2183-2008 食品接触材料 高分子材料 食品模拟物中甲醛的测定 分光光度法[S].
SN/T 2183-2008 Food contact materials-Polymer material-Determination of formaldehyde in food simulants-Spectrophotometry [S].
- [17] GB/T 5009.178-2003 食品包装材料中甲醛的测定[S].
GB/T 5009.178-2003 Determination of formaldehyde for food packaging material [S].
- [18] 李东芳. 水中甲醛、乙醛、丙烯醛的DNPH衍生化高效液相色谱测定[D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2003.
Li DF. The determination of formaldehyde, acetaldehyde and acrolein in water by HPLC after derivatization to 2,4-dinitrophenylhydrazine [D]. Shenyang: Shenyang Pharmaceutical University, 2003.
- [19] GB 5749-2006 生活饮用水卫生标准[S].
GB 5749-2006 Standards for drinking water quality [S].
- [20] 杜永芳. 水产品中甲醛本底含量、产生机理与安全限量[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
Du YF. The intrinsic content, safety level and formation of formaldehyde in aquatic products [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006.
- [21] 徐晨, 张磊, 李洁, 等. 水发产品卫生学调查[J]. 上海预防医学杂志, 2006, 18(4): 185–187.
Xu C, Zhang L, Li H, *et al.* Survey on the hygienic situation of waterish logged food products [J]. Shanghai J Prev Med, 2006, 18(4): 185–187.
- [22] NY/T 1712-2009 绿色食品-干制水产品[S].
NY/T 1712-2009 Green food-Dried aquatic product [S].
- [23] 叶艺娟, 周国惠, 陈轶男. 乙酰丙酮法测定食品中甲醛及前处理方法探讨[J]. 海峡预防医学, 2008, 14(4): 50–53.
Ye YJ, Zhou GH, Chen YN. Study on pre-treatment methods for determination of formaldehyde in food by Acetyl-acetone [J]. Strait J Prev Med, 2008, 14(4): 50–53.
- [24] 李召旭. 水产品中甲醛含量的检测研究[D]. 广州: 中山大学, 2007.
Li ZX. Determination of formaldehyde in Fisheries [D]. Guangzhou: Sun Yat-Sen University, 2007.
- [25] Bianchi F. Fish and food safety: Determination of formaldehyde in 12 fish species by SPME extraction and GC-MS analysis [J]. Food Chem, 2007, 100(3): 1049–1053.
- [26] GB/T 5009.49-2008 发酵酒及其配制酒卫生标准的分析方法[S].
GB/T 5009.49-2008 Method for analysis of hygienic standard of fermented alcoholic beverages and their integrated alcoholic beverages [S].
- [27] NY/T 273-2012 绿色食品 啤酒[S].
NY/T 273-2012 Green food-Beer [S].
- [28] NY/T 1283-2007 香菇中甲醛含量的测定[S].
NY/T 1283-2007 Determination of formaldehyde content in *Lentinus edodes* [S].
- [29] SC/T 3025-2006 水产品中甲醛的测定[S].
SC/T 3025-2006 Determination of formaldehyde in aquatic product [S].
- [30] 卢岚, 王春娥. 两种前处理对乙酰丙酮法测定食品中甲醛的影响比较[J]. 实用预防医学, 2004, 11(2): 368–369.
Lu F, Wang CE. Comparison of two pre-treatment methods for determination of formaldehyde in food by Acetyl-acetone [J]. Prac Pre Med, 2004, 11(2): 368–369.
- [31] 李芸. 食品中甲醛检测方法比较[J]. 食品工程, 2011, (3): 26–29.
Li Y. Comparison of inspecting methods of the residual formaldehyde in food [J]. Food Eng, 2011, (3): 26–29.
- [32] 方艳玲. 虾仁及水发食品中甲醛测定前处理方法的探讨[J]. 中国卫生检验杂志, 2002, 12(3): 357.
Fang YL. Study on the pre-treatment methods for determination of

- formaldehyde in shrimps and waterlogged food products [J]. *Chin J Health Lab Tech*, 2002, 12(3): 357
- [33] 刘细祥, 兰翠玲, 史兵方, 等. 食品中甲醛的超声快速提取方法研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2013, 34(4): 56–58.
Liu XX, Lan CL, Shi XB, *et al.* Study on ultrasonic rapid extraction of formaldehyde from foods [J]. *J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed)*, 2013, 34(4): 56–58.
- [34] 董靓靓, 朱军莉, 励建荣, 等. 水产品中甲醛 HPLC 测定的前处理方法探讨[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(12): 64–68.
Dong LL, Zhu JL, Li JR, *et al.* Study on pre-treatment methods for determination of formaldehyde in aquatic products by HPLC [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(12): 64–68.
- [35] 王丹, 王宇, 杨树坤. 测定食品中甲醛的样品前处理方法比较[J]. *疾病监测与控制杂志*, 2009, 3(6): 341–342.
Wang D, Wang Y, Yang SK. Comparison on the pretreatment method of formaldehyde in food [J]. *J Dis Monitor Control*, 2009, 3(6): 341–342.
- [36] 吴鑫德, 刘劭钢, 梁逸曾, 等. 乙酰丙酮法测定甲醛反应的产物[J]. *分析化学研究简报*, 2002, 30(12): 1463–1465.
Wu XD, Liu SG, Liang YZ, *et al.* Study on the product for the determination of formaldehyde with acetyl-acetone [J]. *Chin J Anal Chem*, 2002, 30(12): 1463–1465.
- [37] 周众. 食品中甲醛测定方法的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2010.
Zhou Z. Studies on determination of formaldehyde in food [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2010.
- [38] 张淑霞, 王晓文, 高亚辉, 等. 甲醛检测方法研究进展[J]. *农业机械*, 2011, (20): 141–145.
Zhang SX, Wang XW, Gao YH, *et al.* Research advances of determination for formaldehyde [J]. *Farm Mach*, 2011, (20): 141–145.
- [39] 李晶平, 鲁统布, 陆慧玲. 甲醛毒性及其常用检测方法[J]. *中山大学研究生学刊(自然科学版)*, 2006, 26(1): 34–38.
Li JP, Lu TB, Lu HL. Study of toxicity and common detecting methods of formaldehyde [J]. *J Sun Yat-Sen Univ Grad (Nat Sci Ed)*, 2006, 26(1): 34–38.
- [40] 区伟全. 水(发)产品中游离甲醛含量的现场快速检测方法探讨[J]. *中国卫生检验杂志*, 2008, 18(9): 1763–1764.
Qu WQ. Introducing a fast technique to detect formaldehyde in aquatic food product [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2008, 18(9): 1763–1764.
- [41] 嵇正平, 严长浩, 陆小龙, 等. 间苯三酚法测甲醛含量的研究[J]. *青海师专学报(自然科学版)*, 2002, 22(5): 41–42.
Ji ZP, Yan CH, Lu XL, *et al.* Study on method of measuring formaldehyde by phloroglucinol [J]. *J Qinghai Junior Teachers' Coll (Nat Sci Ed)*, 2002, 22(5): 41–42.
- [42] 纳文娟, 刘慧燕, 方海田. 食品中甲醛残留量检测方法的比较[J]. *保鲜与加工*, 2008, 8(2): 42–45.
Na WJ, Liu HY, Fang HT. Comparison of methods for detecting formaldehyde remain quantity in foods [J]. *Storage Proc*, 2008, 8(2): 42–45.
- [43] Wang T, Gao XL, Tong J, *et al.* Determination of formaldehyde in beer based on cloud point extraction using 2,4-dinitrophenylhydrazine as derivative reagent [J]. *Food Chem*, 2012, 131(4): 1577–1582.
- [44] 张伟来. 甲醛的检测方法及相关进展[J]. *中国医药科学*, 2012, 2(13): 45–46.
Zhang WL. Research progress in analysis methods for formaldehyde [J]. *Chin Med Pharm*, 2012, 2(13): 45–46.
- [45] SN/T 1547-2011 进出口食品中甲醛的测定[S].
SN/T 1547-2011 Determination of formaldehyde in food for import and export-Liquid chromatographic method [S].
- [46] GB/T 21126-2007 小麦粉与大米粉及其制品中甲醛次硫酸氢钠含量的测定[S].
GB/T 21126-2007 Determination of sodium formaldehyde sulfoxylate in grain products [S].
- [47] 佟琦, 王志斌, 崔海莹, 等. 高效液相色谱法对粉条中甲醛含量的快速检测[J]. *分析测试学报*, 2011, 30(12): 1392–1395.
Tong Q, Wang ZB, Cui HY, *et al.* Rapid determination of formaldehyde in potato starch noodles by high performance liquid chromatography [J]. *J Instrum Anal*, 2011, 30(12): 1392–1395.
- [48] 韩宏伟. 食品中甲醛的检测方法[J]. *国外医学卫生学分册*, 2008, 35(5): 318–321.
Han HW. The methods for determination of formaldehyde in food [J]. *Foreign Med: Hyg Booklet*, 2008, 35(5): 318–321.
- [49] 程春梅, 朱军辉. 食品中甲醛的来源及其检测方法研究进展[J]. *食品科技*, 2008, (1): 208–210.
Chen CM, Zhu JH. Research on the origin and detection technologies of formaldehyde in food [J]. *Food Sci Technol*, 2008, (1): 208–210.
- [50] 朱杰丽, 吕爱华, 柴振林, 等. 食品中甲醛检测方法研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2013, 41(1): 280–282.
Zhu JL, Lv AH, Chai ZL, *et al.* Research advances of determination for formaldehyde in food [J]. *J Jiangsu Agric Sci*, 2013, 41(1): 280–282.
- [51] 王志琴, 薛正芳, 张晓红, 等. 掺甲醛牛乳快速检测试纸的研制[J]. *动物医学进展*, 2011, 32(7): 61–61.
Wang ZQ, Xue ZF, Zhang XH, *et al.* Preparation of quick test-paper for detecting formaldehyde adulteration in milk [J]. *Prog Vet Med*, 2011, 32(7): 61–61.
- [52] 徐善玲. 新型生物传感器的制备及应用研究[D]. 金华: 浙江师范大学, 2013.
Xu SL. Development and application of new biosensors [D]. Jinhua: Zhejiang Normal University, 2013.
- [53] 林伟英, 董宝利, 宋学真, 等. 一种快速检测甲醛的荧光试纸及其应用于中国, 201510208510.2[P]. 2015-07-22.
Lin WY, Dong BL, Song XZ, *et al.* A fluorescence paper and application for rapid detection of formaldehyde: CN, 201510208510.2[P]. 2015-07-22.
- [54] 丁建军, 王军, 薛静丽, 等. 用于甲醛快速检测的电化学生物传感器的设计[J]. *电子测量技术*, 2014, (2): 53–56.
Ding JJ, Wang J, Xue JL, *et al.* Design of an electrochemical biosensors for formaldehyde detection [J]. *Elect Mea Technol*, 2014, (2): 53–56.
- [55] 庞林江, 王允祥, 吴峰华, 等. 基于传感器技术的香菇甲醛快速无损检测分析[J]. *农机化研究*, 2009, (11): 90–92.
Pang LJ, Wang YX, Wu FH, *et al.* Rapid non-destructive detection of formaldehyde in *Lentinus edodes* based on sensor technology [J]. *J Agric Mech Res*, 2009, (11): 90–92.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



黄种乾, 硕士研究生, 主要研究方向
为食品质量与安全。
E-mail: 1549118435@qq.com



黄登宇, 博士, 副教授, 硕士生导师,
主要研究方向为食品卫生检测。
E-mail: Huangdy1110@126.com

“现代分析仪器在食品检测中的应用”专题征稿函

“民以食为天, 食以安为先”。食品不仅是维持人体生命活动所必需的各种营养物质和能量的最主要来源, 而且以其色、香、味、质地及口感给人们以愉悦的感官享受。随着食品工业和食品科学技术的不断发展, 民众对食品品质和卫生要求也越来越高。因此, 对食品质量的控制与安全保障尤为重要, 而这在很大程度上依赖于先进的分析检测技术。现代仪器分析技术在生命科学、环境科学、材料科学等领域发挥着越来越重要的作用, 在食品科学和食品安全领域同样有着不可替代的重要作用。

鉴于此, 《食品安全质量检测学报》特别策划了“现代分析仪器在食品检测中的应用”专题, 拟于 2016 年 4 月正刊发表。本专题将围绕气相色谱、液相色谱、离子色谱、质谱、原子光谱、红外光谱、拉曼光谱、表面等离子共振等现代分析仪器在食品检测与质量安全控制领域的应用, 阐述现代仪器的原理、特点、适用范围、优势与局限性, 展示这些仪器技术在食品安全检测中的应用实例。

鉴于您在现代仪器与食品安全检测方面丰富的研究经历和突出的学术造诣, 本刊特邀请您撰稿, 综述、研究论文、研究简报等稿件形式均可。我们相信, 您的文章将推动现代仪器在食品检测与质量安全控制领域的推广应用。请您通过网站投稿系统或 E-mail 投稿, 截稿日期为 2016 年 3 月 30 日。对于您的来稿, 我们将快速处理并优先发表。

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoodsq@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部