

# 油脂中氯丙醇形成机制及控制研究进展

王维曼, 胡志雄\*, 齐玉堂, 张维农\*

(武汉轻工大学食品科学与工程学院, 武汉 430023)

**摘要:** 食品中的氯丙醇污染是目前国际上广为关注的食品安全问题之一, 最初在酸水解植物蛋白加工中被检出, 近年来发现氯丙醇及其酯类化合物广泛存在于油脂及其加工品中, 成为危害消费者身体健康的又一隐性因素, 从而引起人们的再次高度关注。本文较为全面地介绍了氯丙醇的定义、分类, 分析了氯丙醇的潜在毒性及在食品中的污染现状, 总结了氯丙醇特别是 3-氯-1,2-丙二醇(3-monochloropropanol-1,2-diol, 3-MCPD)的可能形成途径, 并归纳了油脂加工过程中可行的控制方法。

**关键词:** 氯丙醇; 毒性; 形成机制; 控制

## Research progress of the formation mechanism and reduction of chloropropanol in edible oil

WANG Wei-Man, HU Zhi-Xiong\*, QI Yu-Tang, ZHANG Wei-Nong\*

(College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

**ABSTRACT:** Chloropropanol, as a well known food contaminant first found in hydrolyzed vegetable protein, has become a widespread international concern on food safety issues. In recent years, chloropropanol and its esters were found widely existing in oil and its processed products, which has become a implicit factor that threatens the health of consumers, and thus causing the people's deep concern again. The characteristics of chloropropanols such as definition, classification, potential toxicity, and possible formation mechanisms were introduced in this paper. The feasible strategies for the reduction of chloropropanols during the oil processing were also summarized.

**KEY WORDS:** chloropropanols; toxicology; formation; control

随着科技进步和人民生活水平提高, 食品安全问题越来越受到大家重视。早在 20 世纪 70 年代, 氯丙醇类物质已在世界范围内被认为是在食品加工过程中形成的一种有害物质<sup>[1]</sup>。研究发现氯丙醇有抑制

雄性激素生成、致使生殖能力下降、致癌等作用<sup>[2-3]</sup>。由于这类污染物并非人为添加, 通常不易引起人们的注意, 对广大消费者的健康危害很大, 因此研究其形成机制和控制技术意义重大。氯丙醇类物质广泛存

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371783)

**Fund:** Supported by the National Natural Science Foundation of China (31371783)

\*通讯作者: 胡志雄, 副教授, 主要研究方向为粮食、油脂与植物蛋白工程。E-mail: e\_huzhixiong@126.com

张维农, 教授, 主要研究方向为油料资源综合开发。E-mail: zhangweinong@163.com

\*Corresponding author: HU Zhi-Xiong, Associate Professor, College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, No.68, Xuefu Road, Dongxihu District, Wuhan 430023, China. E-mail: e\_huzhixiong@126.com

ZHANG Wei-Nong, Professor, College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, No.68 Xuefu Road, Dongxihu District, Wuhan 430023, China. E-mail: zhangweinong@163.com

在于需经高温加工的食品中, 最先引起人们关注的是酱油等调味品, 近年来在油脂中也有检出<sup>[4]</sup>。油脂类产品是日常生活中必不可少的食材, 与人们的生活密切相关, 其质量与安全直接影响到人们的健康状况。近年来, 与之相关的研究如氯丙醇的检测、精炼过程的影响<sup>[5]</sup>、形成机制与控制方法等亦取得一些阶段性的进展。然而, 对于油脂加工工艺过程起指导作用的研究工作如氯丙醇的形成机制、影响因素及关键控制点等的研究仍显不足。本文结合国内外相关报道, 对相关进展情况作一综述, 旨在引起研究人员及消费者的重视, 进而促进解决这一难题。

## 1 氯丙醇的分类

氯丙醇是丙三醇中羟基被氯取代后形成的一类化合物的总称。根据氯原子取代的个数及位置不同, 可将氯丙醇分为单氯丙二醇和双氯丙醇两类。单氯丙二醇(monochloropropanols, MCPD)是丙三醇中的一个羟基被氯取代形成的化合物, 包括 2 位取代的 2-氯-1,3-丙二醇(2-monochloropropanol-1,3-diol, 2-MCPD)和 3 位取代的 3-氯-1,2-丙二醇(3-monochloropropanol-1,2-diol, 3-MCPD)。双氯丙醇(dichloropropanols, DCP)是丙三醇的两个羟基被氯取代后形成的化合物, 包括 1,3-二氯-丙醇(1,3-dichloropropan-2-ol, 1,3-DCP)和 2,3-二氯-丙醇(2,3-dichloropropan-1-ol, 2,3-DCP)。在实际食品生产过程中, MCPD 的生成量通常远远高于 DCP 的生成量, 而 MCPD 中又以 3-MPCD 居多, 因此通常以 3-MPCD 作为主要指标, 用来反映食品加工过程中氯丙醇类物质的形成状况<sup>[6]</sup>。

## 2 氯丙醇的毒性研究和限量要求

20 世纪 70 年代, 人们发现 3-MCPD 具有干扰体内性激素平衡, 使精子数量减少从而使雄性动物生殖能力减弱的作用<sup>[7]</sup>。除具有生殖毒性外, 氯丙醇还有慢性毒性、致癌性、神经毒性。1993 年世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)技术报告中刊载的 3-MCPD 毒性研究报告表明<sup>[8-9]</sup>, 如果使用 30 mg/(kg·bw·d)的 3-MCPD 将引起大鼠肾小管坏死或扩张, 连续 4 周使用氯丙醇 30 mg/(kg·bw·d)将造成猴子贫血、白细胞减少、血小板减少等。之后的研究<sup>[10-12]</sup>发现氯丙醇会引起动物肝、肾、甲状腺、睾丸等器官的癌变, 并且其致癌作用取决于氯丙醇接触剂量的

大小。此外, 一些报道<sup>[13]</sup>认为长期接触 3-MCPD 会引起实验动物的神经行为以及体外神经毒性。

目前认为体外实验中 3-MCPD 呈现的遗传毒性, 是由 3-MCPD 和培养基成分发生化学反应的产物所致, 而不是生物转化的结果, 3-MCPD 属于非遗传毒性致癌物<sup>[14-15]</sup>。

由于氯丙醇的危害, 1994 年 SCF 建议食品中的 3-MCPD 的残留量应在最灵敏的分析方法的最低检出限(0.01 mg/kg)以下<sup>[16]</sup>; 1995 年, 欧共体委员会食品科学分会对氯丙醇类物质的毒理作出评价, 认为它是一种致癌物; FDA 建议食物含 3-MPCD 水平不应超过 1 mg/kg 干物质; 2001 年, 欧盟制定了限量标准, 规定不得超过 2 μg/kg·bw·d 的摄入量<sup>[17]</sup>。

## 3 食品中氯丙醇的来源及污染现状

食品中氯丙醇的污染主要来源于 5 个方面<sup>[18]</sup>: (1)酸水解植物蛋白<sup>[19-20]</sup>: 传统的盐酸水解植物蛋白生产工艺是将植物蛋白质在高温下用浓盐酸进行回流水解, 在此过程中, 需要加入过量的盐酸溶液, 以便提高氨基酸的产量。如果原料中还含有残留的脂肪和油脂, 此时甘油三酯将会在高温条件下水解形成丙三醇, 丙三醇上的羟基被氯取代形成氯丙醇。蛋白水解溶液通常以风味剂的形式加入至风味快餐、加工和预加工食品、调味品中, 从而将氯丙醇扩散至其他食品中。(2)酱油: 现有酿造工艺生产的酱油中氯丙醇含量很低或几乎没有, 但如果采用落后的工艺, 对大豆蛋白直接盐酸水解或添加水解植物蛋白, 就会产生高含量的氯丙醇;(3)家庭烹饪: 面包、奶酪等食品通过典型的烘焙过程后氯丙醇污染水平均有所增加。食品经烹饪后 3-MCPD 含量普遍增高;(4)包装材料迁移: 由于包装材料的迁移, 食品和饮料中可能含有低水平的氯丙醇污染物。在某些因为采用 3-氯-1,2-环氧丙烷(epichlorohydrin, ECH)交换树脂进行强化的纸张和纤维素肠衣中也检测出低水平的氯丙醇;(5)饮用水: 在对水进行净化时, 一些水处理厂使用 ECH 交联的阳离子交换树脂作为絮凝剂, 也会引入低浓度的氯丙醇。

氯丙醇类物质广泛存在于需经高温处理的食品及调味品中。相关文献已经报道在烘烤面包、发酵面团、油炸圈饼、香肠、咖啡、酱油、油脂等食品中都检测出不同浓度的氯丙醇类物质<sup>[21-22]</sup>, 并且煎炸类食品比蒸煮类食品中氯丙醇含量更高<sup>[23]</sup>。

### 4 氯丙醇可能形成途径

已有研究<sup>[24]</sup>表明 3-MCPD 水解反应属于一级反应, 温度对水解速率有一定影响, 但目前关于氯丙醇特别是 3-MCPD 的形成机制尚未得到充分证实。根据文献<sup>[25-26]</sup>报道, 主要有 4 种可能形成途径。

(1)第 1 种形成途径: 氯离子直接取代羧基形成氯丙醇酯, 再进一步水解生成氯丙醇(图 1)。

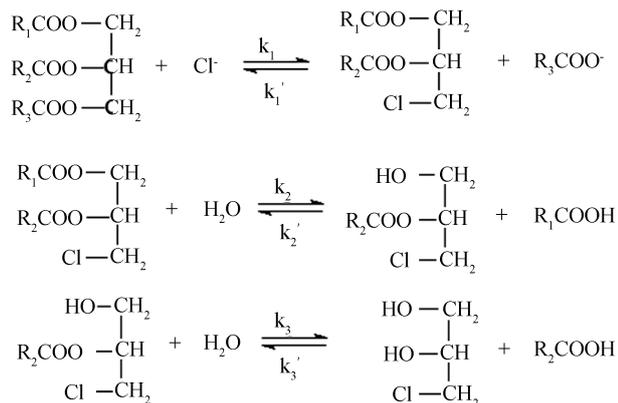


图 1 氯丙醇形成途径一

Fig. 1 The first pathway of chloropropanols formation

(2)第 2 种形成途径: 甘三酯或其水解产物(甘二酯、甘一酯)首先形成环酰氧鎓离子中间体(cyclic acyloxonium ion)。然后在氯离子存在的环境中, 环酰氧鎓离子打开反式环, 与氯离子发生亲核取代生成氯丙醇酯, 氯丙醇酯进一步水解形成氯丙醇(图 2)。

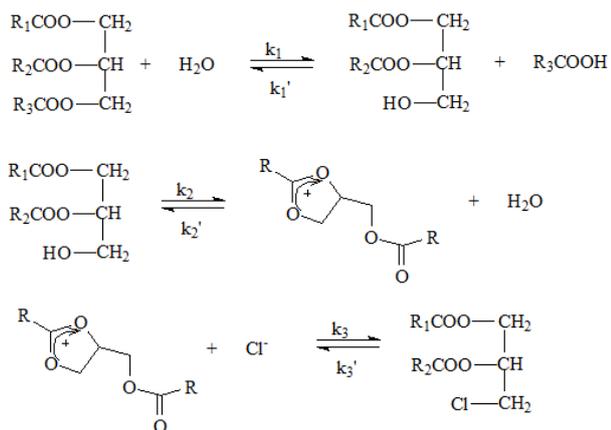


图 2 氯丙醇形成途径二

Fig. 2 The second pathway of chloropropanols formation

(3)第 3 种形成途径: 甘三酯水解成甘二酯或甘

一酯后, 氯离子取代羟基形成氯丙醇酯, 再进一步水解生成氯丙醇(图 3)。

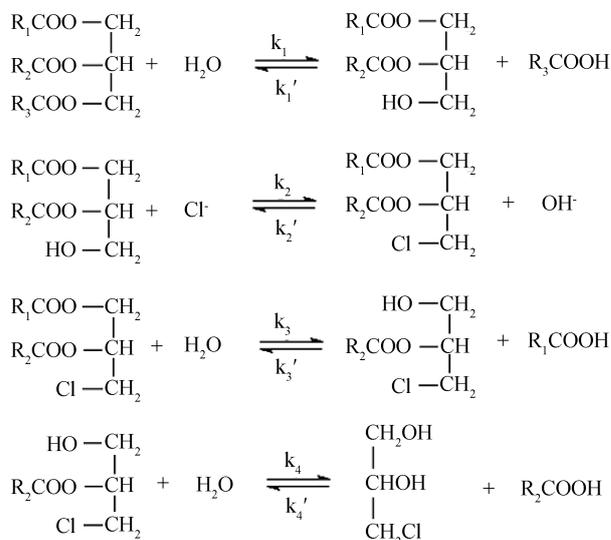


图 3 氯丙醇形成途径三

Fig. 3 The third pathway of chloropropanols formation

(4)第 4 种形成途径: 甘二酯首先形成缩水甘油酯, 然后在氯离子存在的环境中开环生成氯丙醇酯, 氯丙醇酯进一步水解形成氯丙醇(图 4)。

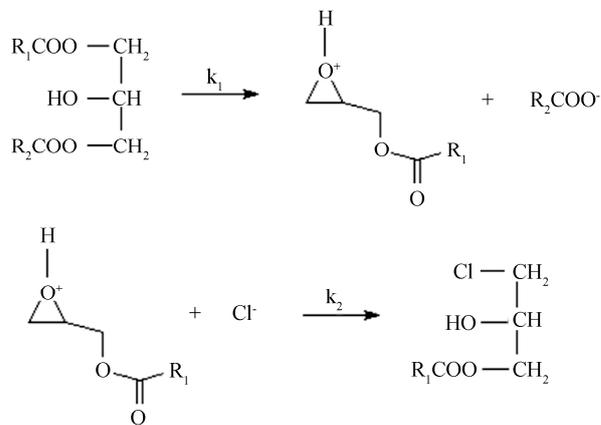


图 4 氯丙醇形成途径四

Fig. 4 The fourth pathway of chloropropanols formation

以上 4 种形成途径均为根据油脂体系自身的特点对其中氯丙醇的生成过程提出的理论假设。目前尚未通过系统、科学的实验对其进行充分确认, 仅有少量文献对其进行了较深入的研究, 如 Anja 等<sup>[27]</sup>以棕榈酸甘油三酯为原料, 使用 ZnCl<sub>2</sub> 催化反应, 结果

表明反应产物的红外光谱在  $1651\text{ cm}^{-1}$  处有特征吸收峰, 这与环酰氧鎓离子中的羰基吸收波长相符合, 从而为第二种可能形成途径提供了较为有力的证据。尽管如此, 由于油脂体系的复杂性, 油脂生产过程中氯丙醇形成途径及中间反应过程方面的研究还远远不够, 尚需要进一步深入、系统地研究探讨。

## 5 油脂中氯丙醇及其酯的脱除

油脂中氯丙醇的来源主要有: 原料中自然存在、原料储存产生、使用含氯的水清洗、加工中形成、从食品包装材料中迁移、食品储存中形成、食品和油脂烹饪后产生<sup>[28]</sup>。因此降低油脂中氯丙醇及其脂肪酸酯的含量主要有 3 条途径: 减少原料中关键反应物、改善油脂精炼加工工艺、从精炼产品中脱除已形成的 3-MCPD 及其相关物质。

### 5.1 减少原料中反应物

减少氯丙醇形成最有效的方法就是在油脂精炼前将原料中的反应物去除, 这样精炼过程中将不会产生额外的氯丙醇。二酰基甘油是 3-MCPD 形成的重要前体物质, 棕榈果实成熟后三酰基甘油能快速酶解生成二酰基甘油<sup>[25,29]</sup>。因此在油脂精炼前抑制三酰基甘油的酶解或减少二酰基甘油的含量, 将有助于减少精炼棕榈油中 3-MCPD 的生成。目前, 可行的方法主要有: 减慢收获周期而使脂肪酶快速失活、棕榈果育种时选育低脂肪酶活性的品种、利用酶催化酯化反应将二酰基甘油转化成三酰基甘油。还可以采用另外一种简单方法, 即将棕榈毛油进行洗涤, 通过减少毛油中反应物的含量, 使成品油中 3-MCPD 及其它相关物质的生成量明显降低<sup>[30]</sup>。

### 5.2 改善食品生产工艺

经过压榨或浸出后得到的油为毛油, 毛油一般都需要经过精炼后才能食用。油脂精炼不仅可以提高成品油的质量使其达到国家标准, 还能提高油脂的贮藏稳定性, 提高油脂副产品的综合利用价值。毛油物理精炼过程一般包含脱胶、脱酸、脱色、脱臭、脱蜡等步骤。毛油本身氯丙醇含量极低, 而精炼后的油脂氯丙醇含量明显提高, 说明精炼过程对氯丙醇的生成具有一定影响。

Franke 等<sup>[31]</sup>研究发现, 不同精炼过程处理的油脂中氯丙醇含量不同。精炼过程中对氯丙醇形成影响较大的步骤是脱色和脱臭过程。脱色过程中除了色素

物质被吸附, 氯丙醇也被部分脱除, 其含量有一定程度的降低, 但经过之后的脱臭过程, 氯丙醇含量又重新升高, 并且脱臭温度对氯丙醇的含量有较大影响。实验结果表明脱臭温度在  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$  及以下时, 几乎检测不到氯丙醇的形成。而当脱臭温度升至  $180\sim 270\text{ }^{\circ}\text{C}$  时, 随着温度的升高, 氯丙醇含量增长很快。另外, 脱臭处理时间对氯丙醇的形成也有一定影响(一定范围内, 随着脱臭处理时间的延长, 氯丙醇生成量会逐渐增加), 但其影响不如脱臭温度的影响显著。

氯丙醇主要在脱臭过程中产生<sup>[32]</sup>, 如果在脱臭前减少氯丙醇前体物质的生成, 就可以降低成品油中氯丙醇的含量。据此可对棕榈油精炼工艺进行改善: 如在脱胶步骤中, 可联合使用酸炼脱胶及水化脱胶。单独使用水化脱胶不能完全脱除油脂中的非水化磷脂, 而酸炼脱胶会活化氯丙醇酯的前体物质。在脱色步骤中, 活性白土中加入一定量的合成硅酸镁辅助吸附剂有助于脱除油脂中的氯丙醇前体物质。Zulkurnain 等<sup>[33]</sup>精选了棕榈油物理精炼中的 5 个重要工艺参数(脱胶用水量、磷酸剂量、脱胶温度、活性白土加入量、脱臭温度), 通过响应面分析优化选择工艺条件, 使油脂中氯丙醇类物质的量大大减少。结果显示, 最佳工艺条件为:  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  使用 3.5% 油重的水及 0.08% 的磷酸联合脱胶、3.0% 油重的活性白土脱色、脱臭温度控制在  $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。按此条件精炼后的油脂中氯丙醇含量仅有  $0.4\text{ mg/kg}$ , 而传统精炼工艺得到的棕榈油中氯丙醇含量达  $2.9\text{ mg/kg}$ , 改善工艺后氯丙醇含量减少了 87.2%。可见, 改善精炼生产工艺是降低成品油中氯丙醇含量的一项非常有效的措施。

### 5.3 将 3-MCPD 从产品中除去的方法

降解法: 酶解法脱除 3-MCPD 及其脂肪酸酯的基本思路是: 在水相和两相系统中, 将 3-MCPD 及 3-MCPD 酯转变成甘油, 从而除去 3-MCPD。首先, 3-MCPD 酯在脂肪酶作用下酶解成游离的 3-MCPD, 然后 3-MCPD 在水相体系中被来源于节细菌属 *sp.* AD2 的卤醇脱卤酶和来自放射性土壤杆菌属 AD1 的环氧化物水解酶联合酶解, 完全转化成甘油<sup>[34]</sup>, 其具体过程见图 5。同时, 类似于 3-氯丙醇酯的油酸单酯在食用油的两相系统中, 被南极假丝酵母脂肪酶 A 酶解成游离的 3-MCPD 和相应的脂肪酸, 进一步转化成甘油。因此, 3-氯丙醇及其相关物质也能在酶联

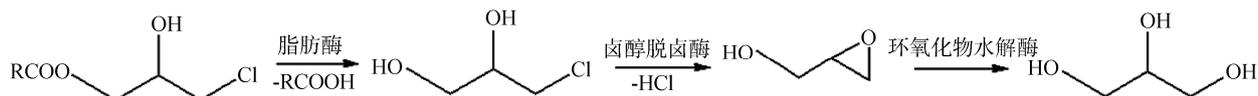


图5 酶解 3-MCPD 及其脂肪酸酯

Fig. 5 Enzymatic hydrolysis of 3-MCPD and its fatty acid ester

合作用下转变成对人体健康无害的产物甘油。此外还有用酵母菌生物降解 3-MCPD 的报道<sup>[35]</sup>。

吸附法：一些吸附剂能吸附煎炸油脂中的极性成分，可用于改善煎炸油脂的品质。Strijowski 等<sup>[36]</sup>选取 9 种不同的市售无机吸附剂，比较其吸附精炼棕榈油中 3-氯丙醇酯及相关物质的效果。这 9 种吸附剂包括：非晶形硅酸镁 1(硅酸镁含量>97%)、非晶形硅酸镁 2(硅酸镁含量>70%)、非晶形硅酸镁 3(硅酸镁含量>40%)、沸石粉 1(不高于 100 °C 干燥处理，水分含量<20%)、沸石粉 2(高于 600 °C 煅烧处理，水分含量<1%)、二氧化硅(含量>99.9%)、硅酸铝钠、合成硅酸钙(含二氧化硅 47%，氧化钙 28%)、合成硅酸镁(含二氧化硅 65%，氧化镁 15%)。将此吸附剂分别与一定量的棕榈油在 80 °C 反应 30 min。结果显示沸石粉 2(高于 600 °C 煅烧处理，水分含量<1%)及合成硅酸镁(含二氧化硅 65%，氧化镁 15%)具有较好的吸附效果，能减少 40% 的 3-氯丙醇酯及相关物质。此实验表明，吸附法可用于油脂中氯丙醇的脱除。

## 6 展望

虽然目前对氯丙醇的研究取得了一定进展，特别是在氯丙醇的检测方面。但是关于油脂中氯丙醇形成机制、形成的必要条件、中间产物的检测、氯丙醇脱除等研究还处于初步探索阶段，仍需不断深入探讨。今后的研究重点将是对氯丙醇形成机制的研究，在此基础上可以获得油脂中形成氯丙醇类物质的关键因素。通过对关键因素的控制，结合实际炼油工艺，对现有工艺条件进行优化，确保精炼油脂中氯丙醇类物质控制在安全范围之内。

## 参考文献

- [1] Hamlet CG, Sadd PA, Crews C, *et al.* Occurrence of 3-chloropropane-1,2-diol (3-MCPD) and related compounds in foods: a review [J]. *Food Addit Contam*, 2002, 19: 619–631.
- [2] Kwack SJ, Kim SS, Choi YW, *et al.* Mechanism of antifertility in male rats treated with 3-monochloro-1,2-propanediol (3-MCPD)

- [J]. *J Toxicol Environ Health A*, 2004, 67: 2001–2011.
- [3] Ines B, Beatriz DLC, Philip T. 3-MCPD in food other than soy sauce or hydrolyzed vegetable protein (HVP) [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2010, 396: 443–456.
- [4] Ermacorra A, Hrnčirik K. A novel method for simultaneous monitoring of 2-MCPD, 3-MCPD and glycidyl esters in oils and fats [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2013, 90(1): 1–8.
- [5] Weißhaar R. 3-MCPD-esters in edible fats and oils—a new and world wide problem [J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2008, 110: 671–672.
- [6] 杨娇, 金青哲. 食用植物油中 3-氯丙醇酯的研究进展[J]. *中国油脂*, 2011, 36(9): 1–4.  
Yang J, Jin QZ. Research progress on 3-monochloropropane-1,2-diol esters in edible oils [J]. *China Oils Fats*, 2011, 36(9): 1–4.
- [7] 张焯, 丁晓婴. 食品中氯丙醇污染及其毒性[J]. *粮食与油脂*, 2005, 7: 44–46.  
Zhang Y, Ding XY. Contaminant and toxicity of chloropropanol in food [J]. *Cereals & oils*, 2005, 7: 44–46.
- [8] JECFA. Compendium of food additive specifications. Addendum 9/Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R]. Rome: FAO, 2001.
- [9] 邓郁琼, 蔡纯, 李国基. 氯丙醇-伪劣调味品中的毒性物质[J]. *中国调味品*, 2002, 4: 6–8.  
Deng YQ, Cai C, Li GJ. Chloropropanol-toxic substances in inferior condiments [J]. *Chin Condiment*, 2002, 4: 6–8.
- [10] 黄剑锋, 吴秀登, 傅武胜. 氯丙醇的安全毒理学评价概况[J]. *实用预防医学*, 2002, 19(4): 427–429.  
Huang JF, Wu JD, Fu WS. Toxicological evaluation of safety about chloropropanols [J]. *Practical Prev Med*, 2002, 19(4): 427–429.
- [11] Cho WS, Han BS, Lee H, *et al.* Subchronic toxicity study of 3-monochloropropane-1,2-diol administered by drinking water to B6C3F1 mice [J]. *Food Chem Toxicol*, 2008, 46: 1666–1673.
- [12] Cho WS, Han BS, Nam KT, *et al.* Carcinogenicity study of 3-monochloropropane-1,2-diol in Sprague-Dawley rats [J]. *Food Chem Toxicol*, 2008, 46: 3172–3177.
- [13] Kim K, Song C, Park Y, *et al.* 3-Monochloropropane-1,2-diol does not cause neurotoxicity in vitro or neurobehavioral deficits in rats [J]. *Neuro Toxicol*, 2004, 25: 377–385.

- [14] 秦红梅, 金一和, 黄飏, 等. 食品中 3-氯丙醇的污染状况及其毒性研究进展[J]. 中国公共卫生, 2002, 18(12): 1519-1521.  
Qing HM, Jing YH, Huang B. Research progress of pollution and toxicity of 3-MCPD in food [J]. Chin J Public Health, 2002, 18(12): 1519-1521.
- [15] Barry SL, Douglas WB, Graham JH, *et al.* Carcinogenicity of monochloro-1,2-Propanediol ( $\alpha$ -chlorohydrin, 3-MCPD) [J]. Int J Toxicol, 1998, 17: 47-76.
- [16] 金庆中. 北京市场液体调味品中 3-氯-1,2-丙二醇污染状况研究[J]. 卫生研究, 2001, 30(1): 60-61.  
Jin QZ. Survey of 3-monochloropropane-1,2-diol in soy sauce and similar products [J]. J Hyg Res, 2001, 30(1): 60-61.
- [17] 金青哲, 王兴国. 氯丙醇酯—油脂食品中新的潜在危害因子[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(11): 119-123.  
Jin QZ, Wang XG. Chloropropanol esters in edible fats and oils—new potential risk factors [J]. J Chin Cereals and Oils Assoc, 2011, 26(11): 119-123.
- [18] 杨中鑫. 现代食品快速检测检验鉴别方法与食品卫生质量保障控制国际标准化通用管理[M]. 北京: 新华出版社, 2004: 372-380.  
Yang ZX. Rapid detection method for the identification of food and international standardization management about safety and health quality assurance [M]. Beijing: Xinhua Press, 2004: 372-380.
- [19] Velisek JD, Davidek V. New chlorine containing organic compounds in protein hydrolysates [J]. J Agr Food Chem, 1980, 28: 1142-1144.
- [20] 王悦宏. 快速测定 HVP 和酱油中 3-MCPD 方法的研究与应用[D]. 长春: 东北师范大学, 2008.  
Wang YH. Research and Application on Rapid Determination of 3-MCPD in HVP and Soy Sauce [D]. Changchun: Northeast Normal Univ, 2008.
- [21] Marek D, Marta C, Veronika D, *et al.* Occurrence of 3-chloropropane-1,2-diol and its esters in coffee [J]. Eur Food Res Technol, 2005, 221: 221-225.
- [22] Crews C, Hough P, Brereton P, *et al.* Survey of 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) in selected food groups 1999-2000 [J]. Food Addit Contam, 2002, 19(1): 22-27.
- [23] Stephen WC, Kwong KP, Joan CWY, *et al.* Chloropropanols levels in foodstuffs marketed in Hong Kong [J]. J Food Compos Anal, 2008, 21: 569-573.
- [24] Xing XP, Cao YH, Wang LC. Determination of rate constants and activation energy of 3-chloro-1,2-propanediol hydrolysis by capillary electrophoresis with electrochemical detection [J]. J Chromat A, 2005, 1072: 267-272.
- [25] Colin GH, Lisa A, Jan V, *et al.* Formation and occurrence of esters of 3-chloropropane-1,2-diol(3-CPD) in foods: What we know and what we assume [J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2011, 113: 279-303.
- [26] Anja KKR, Varoujan AY. What do we know about the molecular mechanism of 3-MCPD ester formation? [J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2011, 113: 323-329.
- [27] Anja KKR, Varoujan AY. Monitoring cyclic acyloxonium ion formation in palmitin systems using infrared spectroscopy and isotope labelling technique [J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2011, 113: 330-334.
- [28] Kuballa T, Ruge W, Karlsruhe CVUA. Analysis and detection of 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) in food by GC/MS/MS [EB/OL]. [2003-01]. <http://www.varianinc.com>.
- [29] Karel H, Gerrit VD. An initial study on the formation of 3-MCPD esters during oil refining [J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2011, 113: 374-379.
- [30] Bertrand M, Frank P, Peer F, *et al.* Strategies for the reduction of 3-MCPD esters and related compounds in vegetable oils [J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2011, 113: 380-388.
- [31] Franke K, Strijowski U, Fleck G, *et al.* Influence of chemical refining process and oil type on bound 3-chloro-1,2-propanediol contents in palm oil and rapeseed oil [J]. Food Sci Tech, 2009, 42: 1751-1754.
- [32] Bertrand M. 3-MCPD and glycidyl fatty acid esters: What is the knowledge today? [J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2011, 113: 277-278.
- [33] Zulkurnain M, Lai OM, Tan SC *et al.* Optimization of palm oil physical refining process for reduction of 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) ester formation [J]. J Agr Food Chem, 2013, 61: 3341-3349.
- [34] Bornscheuer UT, Hesseleer M. Enzymatic removal of 3-monochloro-1,2-propanediol (3-MCPD) and its esters from oils [J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2010, 112: 552-556.
- [35] Rachid BR, Jean PT, Laurent BF, *et al.* Biodegradation of 3-Chloro-1, 2-propanediol with *Saccharomyces cerevisiae* [J]. J Agr Food Chem, 2004, 52: 6165-6169.
- [36] Strijowski U, Heinz V, Franke K. Removal of 3-MCPD esters and related substances after refining by adsorbent material [J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2011, 113: 387-392.

(责任编辑: 赵静)

## 作者简介



王维曼, 硕士研究生, 主要研究方向为粮食、油脂与植物蛋白工程。  
E-mail: wangweimanyl@163.com



胡志雄, 副教授, 主要研究方向为粮食、油脂与植物蛋白工程。  
E-mail: e\_huzhixiong@126.com



张维农, 教授, 主要研究方向为油料资源综合开发。  
E-mail: zhangweining@163.com

---

## “食品安全快速检测技术”专题 征稿

近年来, 随着经济的高速发展, 食品安全问题也越来越严重, 受到了世界各国的广泛关注。如何快速地检测食品的安全问题具有重要的意义。

鉴于此, 本刊特别策划了“食品安全快速检测技术”专题, 由军事医学科学院卫生学环境医学研究所的高志贤教授担任专题主编, 围绕化学比色分析方法、酶联免疫法(ELISA)、免疫胶体金试纸检测方法、生物芯片、生物传感器、便携式色谱质谱联用仪、生物化学发光检测仪等食品安全快速检测技术或您认为本领域有意义的问题进行论述, 计划在 2014 年 4 月份出版。

鉴于您在该领域的成就, 本刊编辑部及高教授特邀请您为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述、实验报告、研究论文均可, 请在 2014 年 2 月 10 日前通过网站或 Email 投稿。我们将快速处理并优先发表。

感谢您的参与和支持!

投稿方式:

网站: [www.chinafoodj.com](http://www.chinafoodj.com)

Email: [jfoodsq@126.com](mailto:jfoodsq@126.com)

《食品安全质量检测学报》编辑部