

食品药品加工中 5-羟甲基糠醛的控制研究

吴丽

乐山市食品药品检验检测中心, 四川省乐山市, 614000;

摘要: 食品药品加工领域里, 5-羟甲基糠醛 (5-HMF) 的存在和控制问题受到重视, 本研究针对食品药品加工过程中的 5-HMF 情况展开研究, 目的是了解 5-HMF 产生的原因并寻找有效的控制办法, 通过研究 5-HMF 的基本概况, 生成影响因素, 检测方法等内容, 发现了原料特性, 加工工艺参数, 添加剂等因素对 5-HMF 生成有着明显的影响, 还比较了传统和新型检测手段的长处和短处, 给准确检测 5-HMF 给予了依照, 按照研究结果给出了原料预处理, 加工工艺改良, 添加剂使用控制等控制策略, 本研究对于保证食品药品的质量和安全, 推动行业健康发展有着重要的意义。

关键词: 5-羟甲基糠醛; 食品药品加工; 生成影响因素; 控制策略

DOI: 10. 64216/3080-1516. 25. 03. 050

5-羟甲基糠醛 (5-HMF) 是一种食品药品加工过程产生的具有一定危害性的有机物, 随着人们对于食品药品的质量及安全的关注不断升高, 5-HMF 的控制问题逐渐成为一个热门话题, 该物质不但会对食品药品的品质与风味造成不良影响, 同时还可能对人的健康带来负面影响, 深入了解食品药品加工过程中 5-HMF 产生机理及其控制策略的研究, 具有十分重大的现实意义。本文将对 5-HMF 的基本状况、影响其生成的因素、检测手段及控制措施展开全面探讨。

1 5-羟甲基糠醛的基本特性

1.1 结构与理化性质

5-羟甲基糠醛 (5-HMF) 是一种具有呋喃环结构的有机化合物 ($C_6H_6O_3$), 其分子特征为 2 号位醛基与 5 号位羟甲基的共存^[1]。该物质通常呈现浅色晶体形态, 易吸潮且可溶于常见极性溶剂。其物理参数显示熔点为 30-34℃, 在低压条件下 (2.0kPa) 沸点为 114-116℃。化学性质方面, 分子中的醛基使其具备还原性, 既可发生氧化反应生成羧酸衍生物, 又能与多种亲核试剂作用, 因而在有机合成中具有重要价值^[1]。

1.2 生成途径与存在领域

5-HMF 的来源比较广, 在食品和药品加工时都会产生, 食品加工中它主要来自含有碳水化合物的食品, 比如烘焙食品的制作过程里, 面粉里的还原糖 (葡萄糖, 果糖), 氨基酸在高温下就会发生美拉德反应, 制造出一定量的 5-HMF。果汁浓缩, 果酱制作等过程也会因为加热而使糖类物质发生焦糖化反应, 制造出 5-HMF。蜂蜜储存加工时, 其中的果糖在酸性条件下也会脱水形成 5-HMF, 在药品方面, 一些以糖类为辅料的药品制剂, 在药品的制备和储存中, 也可能会因为类似的反应而生

成 5-HMF, 如糖浆剂、口服液等剂型, 在高温或长时间储存的情况下, 其中的糖类就会转化成 5-HMF。

1.3 生物活性与潜在风险

现有研究显示 5-HMF 具有双重生物效应。其抗氧化特性表现为清除自由基、缓解氧化损伤, 并可能具备抗炎等辅助功能。然而过量摄入可能引发代谢转化, 产生具有肝肾毒性的中间产物。流行病学调查提示, 长期接触高浓度 5-HMF 的食品或药品, 可能与特定器官功能障碍存在关联性, 但具体作用机制仍需进一步验证。这种剂量依赖的双重效应使其安全性评价成为研究重点。

2 食品药品加工中 5-羟甲基糠醛生成的影响因素分析

2.1 原料因素

原料种类和质量对 5-HMF 的生成影响很大, 不同原料中糖类成分差别很大, 决定了生成潜^[2]。力比如富含果糖和葡萄糖的水果原料在酸性条件下更容易脱水生成 5-HMF, 果汁浓缩过程尤其明显, 谷物类虽然以淀粉为主, 但加工时会水解成还原糖, 也有可能形成 5-HMF, 而且原料的新鲜度和储存情况也不能忽略, 储存不当或者新鲜度不佳的原料里还原糖含量增多, 这又推动了 5-HMF 的生成。

2.2 加工工艺参数

加工工艺参数是影响 5-HMF 生成的重要因素之一, 温度是影响 5-HMF 生成的最重要的工艺参数之一, 在食品药品加工过程中, 温度上升, 美拉德反应和焦糖化反应速率将大大加快, 5-HMF 的生成量将增多。例如烘焙食品的制作过程中, 高温烘焙使面团中的糖类和氨基酸迅速反应, 生成大量的 5-HMF, 烘焙温度越高, 烘焙时

间越长, 5-HMF 生成量越多。除了温度外, 时间也是重要因素, 加工时间越长, 反应越充分, 5-HMF 生成量越多。例如在果汁浓缩过程中, 浓缩时间过长, 会导致 5-HMF 含量增加。在加工过程中 pH 值也会导致 5-HMF 的产生。酸性环境有利于果糖脱水形成 5-HMF, 因此加工含有果糖的食品或药品时, 酸性环境下加工时应特别注意 5-HMF 的产生。表 1 是加工参数对 5-HMF 生成的影响, 有助于更好地了解各个工艺参数如何影响 5-HMF 的生成:

表 1 加工参数对 5-HMF 生成的影响

工艺参数	影响趋势	典型影响程度
温度	正相关	每升高 10℃ 增加 2-3 倍
时间	正相关	延长 1 小时增加 30-50%
pH 值	酸性促进	pH<4 时显著增加

2.3 添加剂与辅料的影响

在食品药品加工过程中, 添加剂与辅料的使用对 5-HMF 的生成具有显著影响^[3]。研究表明, 含还原糖的添加剂如葡萄糖浆、果糖浆等会提高体系中的还原糖浓度, 进而加速美拉德反应和焦糖化反应, 导致 5-HMF 含量增加。以饮料生产为例, 使用高果糖玉米糖浆作为甜味剂会显著提升终产品的 5-HMF 水平。此外, 某些添加剂会改变体系的理化性质, 如酸性物质(柠檬酸、乳酸)可降低 pH 值, 促进果糖脱水生成 5-HMF; 而保湿剂(甘油、山梨醇)则通过调节水分活度影响反应速率。因此, 在实际生产中, 必须综合考虑添加剂种类、用量及其对反应环境的影响, 通过科学配比和工艺优化来控制 5-HMF 的生成, 确保产品的品质与安全性。

3 5-羟甲基糠醛的检测方法

3.1 传统检测技术

传统的 5-HMF 检测技术主要包含高效液相色谱法(HPLC)、紫外-可见分光光度法等, 高效液相色谱法是现在运用得最广泛的一种检测方法^[4]。其利用不同物质在固定相与流动相之间分配系数的不同来实现分离, 之后再用检测器对分离后的物质进行检测, 在检测 5-HMF 时一般选用反相高效液相色谱法, 以 C18 柱为固定相, 水和有机溶剂(甲醇、乙腈)作为流动相, 通过改变流动相的组成和流速, 从而实现对 5-HMF 的有效分离和准确检测。该方法具有分离效率高、灵敏度高、准确度高优点, 但设备昂贵, 操作复杂, 需要专业的技术人员操作。紫外-可见分光光度法是根据 5-HMF 在一定波长下有吸收峰的原理来测定的, 在一定浓度范围内, 5-HMF 的吸光度与浓度成正比。该方法操作简单, 成本低,

但灵敏度低, 易受其他物质干扰, 适合于对 5-HMF 含量较高样品的快速检测。

3.2 新型检测手段

随着科技的发展, 现在有一些新的 5-HMF 检测方法产生。其中毛细管电泳法是一种很有前景的检测方法, 其通过带电粒子在电场中不同速度的移动来分离, 分离效率高、分析速度快、样品用量少等优点^[5]。与高效液相色谱法相比, 毛细管电泳法设备相对简单, 成本较低。电化学传感器检测技术也逐渐得到重视。电化学传感器是利用电极与被测物质之间的电化作用来检测物质的浓度。利用适当的电极材料及检测电路能够实现对 5-HMF 的迅速准确的检测, 此方法具有响应迅速, 方便操作等特点, 在现场的快速检测上可能会有所运用, 还有一些用光谱原理来实现检测的方法: 近红外光谱法, 拉曼光谱法等, 这些方法具备无损且快的优势, 可以在线对样品检测^[6]。

3.3 检测方法的比较与选择

不同的检测方法各有优缺点, 要根据实际情况来挑选, 详情如表 2 所示。高效液相色谱法灵敏度高, 准确率高, 不过设备贵, 操作麻烦, 比较适合在实验室做精确检测。紫外-可见分光光度法操作简单, 花费少, 可是灵敏度差一些, 适合用来对 5-HMF 含量较多的样品做初步筛查。毛细管电泳法分离效率高, 分析速度快, 不过对样品的前期处理要求比较高, 比较适合对复杂样品做分析。电化学传感器检测技术快速, 灵敏, 不过稳定性, 选择性还要提升, 比较适合现场快速检测, 挑选检测方法的时候, 要兼顾检测的准确度, 灵敏度, 分析速度, 花费这些因素, 从而符合不同的检测需求^[7]。

表 2 5-HMF 检测方法比较

检测方法	灵敏度	分析速度	设备成本	适用场景
HPLC	高	慢	高	实验室精确分析
紫外分光	中	快	低	现场快速筛查
毛细管电泳	高	较快	中	复杂样品分析
电化学传感器	中	最快	低	在线实时监测

4 食品药品加工中 5-羟甲基糠醛的控制策略研究

4.1 原料预处理控制

原料预处理是控制食品药品加工过程中 5-HMF 生成

的重要环节^[8]。首先从原料上选择优质原料来减少 5-HMF 的生成,选择新鲜、无霉变、还原糖含量适中的原料,不选择储存时间过长或者储存条件不佳的原料。对于还原糖含量较高的原料,可以进行一定的处理,如物理去除部分还原糖,在果汁加工中可以通过离子交换树脂去除果汁中的一部分还原糖来减少 5-HMF 的生成。还可以对原料进行预处理,改变原料性质,例如对谷物类原料进行适当的热处理,使淀粉部分糊化,减少淀粉在后续加工过程中水解,减少还原糖的生成,从而减少 5-HMF 的生成。调节原料的 pH 值也是一种预处理方式,在酸性条件下,果糖更容易脱水生成 5-HMF,所以可以通过调节原料的 pH 值为中性或弱碱性来抑制 5-HMF 的生成。

4.2 加工工艺优化

加工工艺优化是控制 5-HMF 生成的重要措施,温度控制很重要,采用低温加工工艺可以有效降低 5-HMF 的生成,如在果汁浓缩中,用真空浓缩、膜浓缩等低温技术代替传统高温浓缩,可以有效减少 5-HMF 的生成;烘焙食品时,降低烘焙温度、延长烘焙时间,既能保证食品口感和品质,也能减少 5-HMF 的生成^[9]。

优化加工时间也很关键,加工时间过长,可能会使 5-HMF 的生成量增多,尤其是高温环境下,所以要尽量缩减加工时间,不能让加工处在高温状况下太长时间,就拿食品杀菌来说,利用高温瞬时杀菌技术,在短时间内就能达到杀菌目的,这样既能保证食品安全,又能减少 5-HMF 的产生。合理控制温度与时间,选用适宜的低温工艺与高效的杀菌方式,这是改良加工工艺,控制 5-HMF 生成的重要手段。

4.3 添加剂的使用控制

在食品药品加工时,合理地使用添加剂能有效地控制 5-HMF 的生成^[10]。一方面,应避免使用含有大量还原糖的添加剂,如果必须使用甜味剂,则可以选择一些非还原性糖类或者低聚糖,如木糖醇、麦芽糊精等,这些糖类在加工过程中生成 5-HMF 的可能性较低。另一方面,也可以使用一些具有抗氧化和抑制美拉德反应作用的添加剂,比如抗坏血酸,它可以作为抗氧化剂,能够抑制自由基的产生,进而减少美拉德反应的发生,降低 5-HMF 的生成。

5 结论与展望

5.1 结论

本研究全面剖析了 5-羟甲基糠醛(5-HMF)在食品

药品加工过程中的产生机制,描述了 5-HMF 的结构、特性以及对健康的影响,指出原料,加工参数,添加剂对它的形成有影响,比较多种检测手段,给出根据原料处理,工艺改进以及添加剂把控的控制方法,给实际生产过程中 5-HMF 的控制给予参照依据。

5.2 展望

未来要加强对 5-HMF 的管控,改进生产工艺,恰当选取原料和添加剂,改善质量安全状况,而且要向监管部门提议完善有关标准,促使企业创建起全过程监控体系,从而守护消费者的健康,推动食品药品行业实现高质量发展。

参考文献

- [1]杨柳.过渡金属氧化物用于 5-羟甲基糠醛及甘油的高效电催化氧化[D].湖南大学,2023.
- [2]屈艺凡.5-羟甲基糠醛及其衍生物的定值研究[D].天津理工大学,2023.
- [3]刘兴勇,陈兴连,林涛,等.烘焙程度对小粒咖啡 5-羟甲基糠醛生成的影响[J].中国食品学报,2022,22(01):324-331.
- [4]步文文.新型多金属氧酸盐构建及在微气泡氧化 5-羟甲基糠醛中性能研究[D].东北师范大学,2023.
- [5]马李亚.5-羟甲基糠醛无碱有氧氧化制备 2,5-呋喃二甲酸的研究进展[J].化学推进剂与高分子材料,2022,20(05):17-23.
- [6]李玲,陈乃江.HPLC 法测定葡萄糖酸钙口服溶液中的遗传毒性杂质 5-羟甲基糠醛[J].中国药师,2020,23(02):360-362.
- [7]吴萍,廉茂林,鄢必新,等.鹿茸口服液中 5-羟甲基糠醛限量控制方法的研究[J].人参研究,2023,35(04):30-32.
- [8]龙佑.油炸麻花中真菌毒素、丙烯酰胺和 5-羟甲基糠醛的同步检测及形成控制[D].南昌大学,2023.
- [9]马英杰.饼干焙烤过程中丙烯酰胺和 5-羟甲基糠醛伴生规律及其同步控制途径研究[D].南昌大学,2022.
- [10]张晓荣,傅志丰.食品中 5-羟甲基糠醛的控制方法研究进展[J].食品安全导刊,2019,(32):18-19.

作者简介:吴丽,出生年月:1983.12,性别:女,民族:汉族,籍贯:四川夹江,学历:硕士研究生,职称:(现目前的职称)高级工程师,研究方向:食品药品检验检测及风险分析。

基金项目:乐山市科技局重点研究项目(22SZD001)