

食品中几种营养成分对葡萄糖、半乳糖模型产生呋喃的影响

刘倩, 申明月, 张雅楠, 聂少平*, 谢明勇

(食品科学与技术国家重点实验室,南昌大学,江西 南昌 330047)

摘要: 为了研究营养成分对葡萄糖和半乳糖生成呋喃的影响,向葡萄糖模型、半乳糖模型中加入不同剂量的矿物元素(铁、锌、镁)、不饱和脂肪酸(亚油酸、亚麻酸)和抗坏血酸,采用顶空气相色谱-质谱法(HS-GC-MS)探究在 121 °C 下油浴 30 min,不同营养物质对各模型产生呋喃的影响情况。结果表明,矿物元素铁对各模型产生呋喃的量有明显的促进作用($p<0.05$),且与铁的添加质量呈正相关。高质量锌(≥ 10 mg)和镁对葡萄糖模型产生呋喃有明显抑制作用($p<0.05$);高质量锌(≥ 5 mg)和高质量镁(>10 mg)对半乳糖模型产生呋喃有抑制作用($p<0.05$)。不饱和脂肪酸对葡萄糖和半乳糖模型均有明显促进作用($p<0.05$)。抗坏血酸对葡萄糖模型产生呋喃具有明显促进作用,对半乳糖模型的作用相反($p<0.05$)。本研究可为实际食品体系的生产优化加工工艺,并为抑制呋喃的产生提供理论参考。

关键词: 呋喃;顶空-气相色谱-质谱联用法;葡萄糖模型;半乳糖模型;营养成分

中图分类号: TS 201.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1689(2018)02-0131-07

Effect of Nutrients in Foods on Furan Formation from Glucose/Galactose Model Systems

LIU Qian, SHEN Mingyue, ZHANG Yanan, NIE Shaoping*, XIE Mingyong

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

Abstract: To investigate the effect of nutrients on furan formation from glucose/galactose model systems, different doses of minerals (iron, zinc, and magnesium), unsaturated fatty acids (linoleic acid, linolenic acid) and ascorbic acid were added to these model systems. After heated in oil bath at 121 °C for 30 min, these model systems were analysed by headspace gas chromatography-mass spectrometry (HS-GC-MS). The results revealed that the generation of furan from both model systems increased rapidly ($p < 0.05$) when the content of iron was elevated. High concentration of zinc (≥ 10 mg) and magnesium have obvious inhibitory effect on furan formation from glucose

收稿日期: 2015-09-14

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2014BAD04B03); 国家 973 计划项目(2012CB720805); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-12-0749)。

* 通信作者: 聂少平(1978—), 男, 江西丰城人, 教授, 工学博士, 博士研究生导师, 主要从事食品化学与分析、食品营养与安全、糖化学与糖生物学方向研究。E-mail: spnie@ncu.edu.cn

引用本文: 刘倩, 申明月, 张雅楠, 等. 食品中几种营养成分对葡萄糖、半乳糖模型产生呋喃的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(2): 131-137.

model systems ($p < 0.05$); while a relatively high concentration of zinc (≥ 5 mg) and high concentration of magnesium (> 10 mg) could inhibit the formation of furan from galactose model systems ($p < 0.05$). With the addition of unsaturated fatty acids, the amount of furan has obviously increased for both glucose and galactose model systems ($p < 0.05$). Ascorbic acid has obvious promoting effect on furan formation from glucose model, but galactose model was the opposite ($p < 0.05$). Thus, this study could be regarded as a theoretical reference for optimizing processing conditions and inhibiting the formation of furan in heat processed food.

Keywords: Furan, headspace-gas chromatography-mass spectrometer (HS-GC-MS), glucose model system, galactose model system, nutrients

呋喃(C_4H_4O)是一种无色、低沸点($31.4^\circ C$)的小分子杂环化合物,具有高度挥发性与亲脂性^[1]。1995年,美国国家毒理学计划(NTP)^[2]对呋喃毒性进行研究,将含有呋喃的玉米油采用灌胃法灌给大鼠和小鼠,结果表明,呋喃能导致大鼠和小鼠肝脏和肾脏的有毒病变,其严重程度与剂量成正比。自1995年国际癌症研究机构(IARC)将呋喃归类为可能使人类致癌物质的2B组^[3-4]后,呋喃作为一种热加工食品中的潜在危害物已经开始受到广泛的关注。2004年起,美国FDA相继多次发布了食品中呋喃含量的数据^[5],在许多经过热加工处理的食品中检出了污染物呋喃,且含量最高的大都是灌装食品。黄军根等^[6-7]针对我国市售的11大类热加工食品中的呋喃情况作出调查,发现检出率达到95.5%,呋喃检出质量分数在 $< 1 \sim 210.7$ ng/g之间,其中咖啡、大豆酱油和醋中含有较高浓度的呋喃。

从前人的大量研究中我们可以总结得出^[8-11],热加工食品中呋喃的形成途径主要有以下几种:氨基酸、碳水化合物的热降解,糖和氨基酸之间的美拉德反应以及抗坏血酸、多不饱和脂肪酸和类胡萝卜素的热氧化作用。Maga^[12]的研究发现,葡萄糖、乳糖、果糖等碳水化合物的热降解其实是食品中呋喃的主要来源,也就是说碳水化合物应该是食品中产生呋喃的最主要的前体物质。在缺乏氨基酸的情况下对糖进行加热时,呋喃主要是由完整的糖骨架形成。甲酸和乙酸被确定为糖降解过程中的副产品,这就说明了己糖在C1和/或C2处发生了裂解。Perez和Yaylayan^[8]通过相应的研究发现,碳水化合物可通过4种途径降解为丁醛糖衍生物,而后,丁醛糖衍生物通过环化作用形成呋喃。

现今国内外的研究学者对影响糖类、抗坏血

酸、氨基酸等前体物质生成呋喃的因素研究主要集中在温度、加热时间、pH等方面,并已取得一定的研究成果^[13-16],而关于探讨一些食品中常见的营养成分的添加对碳水化合物模型生成呋喃量的影响等方面的研究比较少。本文作者选取了能够产生较高水平呋喃的葡萄糖和半乳糖模型,分别向其中添加不同剂量的矿物元素、不饱和脂肪酸和抗坏血酸,研究热加工条件下葡萄糖和半乳糖模型呋喃产生的影响因子,揭示各组分之间对呋喃生成的影响。通过探索各营养组分与呋喃生成途径之间的潜在联系,以期能优化实际食品体系的生产加工工艺,并为抑制呋喃的产生提供理论参考和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

D-葡萄糖(GC, $\geq 99\%$)、半乳糖(HPLC, $\geq 99\%$),美国Sigma公司产品;氯化铁、硫酸锌、硫酸镁(分析纯),西陇化工股份有限公司产品;L-抗坏血酸(质量分数 $\geq 99\%$)、亚油酸(GC, $> 99\%$)、亚麻酸(GC, $> 99\%$)、呋喃(GC, $> 99\%$)、D4-呋喃(GC, $> 99\%$),美国Sigma-Aldrich公司产品;甲醇(色谱纯),美国Merck公司产品;磷酸二氢钠、磷酸氢二钠(分析纯),上海永大试剂有限公司产品。

1.2 仪器与设备

Agilent G1888A自动顶空进样器、Agilent 7890A-7000B气相色谱-质谱联用仪,Agilent公司产品;20 mL螺口透明圆底顶空瓶、HP-PLOT/Q石英毛细管色谱柱($30\text{ m} \times 0.32\text{ mm} \times 20\text{ }\mu\text{m}$),美国Agilent公司产品;Milli-Q Gradient超纯水器,美国Millipore公司产品;梅特勒精密pH计,瑞士梅特勒-托利多公司产品;恒温磁力式搅拌器(DF101-

S), 晓阳电子仪器厂制造。

1.3 实验方法

1.3.1 营养物质溶液的配制

1) 矿物元素溶液的配制: 用 50 g/L 的磷酸二氢钠和磷酸氢二钠溶液配制成 pH 为 7.0 的磷酸缓冲溶液。准确称取 5 g 氯化铁于 50 mL 的容量瓶中, 用磷酸盐缓冲溶液定容至刻度线, 摇匀, 得到质量浓度为 100 mg/mL 的氯化铁溶液。

硫酸锌、硫酸镁配制方法同上。

2) 不饱和脂肪酸溶液的配制: 准确称取 2.5 g 亚油酸于 50 mL 的容量瓶中, 用磷酸盐缓冲溶液定容至刻度线, 摇匀, 得到质量浓度为 50 mg/mL 的亚油酸溶液。

亚麻酸溶液的配制方法同上。

3) 抗坏血酸溶液的配制: 准确称取 5 g 抗坏血酸于 50 mL 的容量瓶中, 用磷酸盐缓冲溶液定容至刻度线, 摇匀, 得到质量浓度为 100 mg/mL 的抗坏血酸溶液。

1.3.2 葡萄糖和半乳糖模型溶液的配制 准确称取 9 g 葡萄糖于 250 mL 的容量瓶中, 用 pH 7.0 的磷酸缓冲溶液定容至刻度线, 摇匀, 则得到质量浓度为 36 mg/mL 的葡萄糖模型溶液。

半乳糖模型溶液的配制方法同上。

1.3.3 呋喃和 D₄-呋喃标准溶液的配制 用注射器吸取 50 μ L (约 50 mg) 呋喃和 D₄-呋喃, 分别加入装有 20 mL 甲醇的 20 mL 顶空进样瓶中, 配成质量浓度约为 2.5 mg/mL 的储备液, 然后逐步稀释至 2.5 μ g/mL。

1.3.4 各营养成分对葡萄糖、半乳糖模型产生呋喃的影响

1) 矿物元素对葡萄糖和半乳糖模型产生呋喃的影响: 准确吸取 5 mL 的葡萄糖模型溶液于顶空瓶中, 分别加入 0、10、20、50、100、500 μ L 质量浓度为 100 mg/mL 的矿物元素溶液。在 121 $^{\circ}$ C 下油浴 30 min, 立即取出于冰水浴中冷却, 终止反应, 然后加入 40 μ L 质量浓度为 2.5 μ g/mL 的 D₄-呋喃内标溶液, 快速封好顶空瓶口, 采用 HS-GC-MS 方法分析测定呋喃生成量。

半乳糖模型同上。

2) 不饱和脂肪酸对葡萄糖和半乳糖模型产生呋喃的影响: 准确吸取葡萄糖模型溶液 2 mL 于顶空瓶中, 分别加入 0、20、40、100、200 μ L 的不饱和

脂肪酸溶液于顶空瓶中。121 $^{\circ}$ C 下油浴 30 min, 立即取出, 冰水浴冷却, 加入 40 μ L 的 2.5 μ g/mL 的 D₄-呋喃内标液, 快速封好顶空瓶口, 采用 HS-GC-MS 方法分析测定呋喃生成量。

半乳糖模型同上。

3) 抗坏血酸对葡萄糖和半乳糖模型产生呋喃的影响: 准确吸取葡萄糖模型溶液 2 mL 于顶空瓶中, 分别加入 0、10、20、50、100、500 μ L 的抗坏血酸模型溶液于顶空瓶中。121 $^{\circ}$ C 下油浴 30 min, 立即取出, 冰水浴冷却, 加入 40 μ L 的 2.5 μ g/mL 的 D₄-呋喃内标液, 快速封好顶空瓶口, 采用 HS-GC-MS 方法分析测定呋喃生成量。

半乳糖模型同上。

1.3.5 顶空气相色谱-质谱法检测条件 顶空条件: 顶空平衡温度 70 $^{\circ}$ C, 样品瓶低速振摇; 样品瓶加热平衡时间 30 min; 样品瓶压力约为 10 psi, 瓶加压时间 0.5 min; 定量环填充时间 0.5 min, 定量环平衡时间 0.5 min, 进样时间 1 min, 循环时间 35 min, 定量环温度 110 $^{\circ}$ C, 传输线温度 130 $^{\circ}$ C。

色谱条件: HP-PLLOT Q 石英毛细管色谱柱 (30 m $\times$ 0.32 mm $\times$ 20 μ m), 载气为高纯 He (>99.999%), 流速为 1 mL/min; 升温程序: 柱初温 50 $^{\circ}$ C, 保持 1 min, 以 10 $^{\circ}$ C/min 升至 200 $^{\circ}$ C, 保持 10 min。进样口温度: 200 $^{\circ}$ C; 分流进样, 分流比为 3:1。

MS 条件: 传输线温度 250 $^{\circ}$ C, 离子源温度 230 $^{\circ}$ C, 四级杆温度 150 $^{\circ}$ C; 电子轰击 (EI) 离子源; 电子能量 70 eV; 溶剂延迟 8 min; 扫描方式: 采用选择性离子监测方式 (SIM 扫描), 检测呋喃分子离子质荷比 $m/z=68$ 和碎片离子 $m/z=39$, D₄-呋喃分子离子质荷比 $m/z=72$ 和碎片离子 $m/z=42$ 。

1.3.6 数据分析 每一个实验条件至少设计 3 个平行样, 取其平均值进行绘图分析。数据通过 SPSS 9.0 软件进行统计学分析处理, 使用 Duncan 检验分析其显著性 ($p<0.05$, $n=3$)。

2 结果与分析

2.1 矿物元素对葡萄糖和半乳糖模型产生呋喃的影响

2.1.1 铁元素对葡萄糖和半乳糖模型产生呋喃的影响 添加不同质量的矿物元素铁对葡萄糖、半乳糖模型生成呋喃的影响见图 1。由图 1 可知, 随着铁元素的质量从 0 mg 增长到 50 mg, 葡萄糖和半乳糖

模型产生呋喃的质量浓度都高于未添加铁时产生的量。具体来说,添加了 50 mg 铁元素,葡萄糖模型产生呋喃的质量浓度提高了 17 倍,半乳糖模型产生呋喃的质量浓度提高了 50 倍。由此可见,铁元素对葡萄糖、半乳糖产生呋喃有明显的促进作用,并且在高质量时,促进作用较为显著($p < 0.05$)。根据 Perez 和 Yaylayan^[8]的研究可知,葡萄糖和半乳糖热降解为丁醛糖衍生物,丁醛糖衍生物通过环化作用进而形成呋喃,由于铁的加入,促进了环化作用的发生,从而促进了呋喃的生成。铁作为一种过渡金属试剂经常用来催化有机化学反应,近年来,文献报道的铁元素参与的有机化学反应类型有很多,如氧化反应、还原反应、取代反应、加成反应及环化反应等^[17]。2006 年,Carballo 等人^[18]报道了用三价铁的卤化物作为催化剂,能高效促进环化反应。Guo 等^[19]报道了用 FeCl_3 来催化苯酚与苯甲酰乙酸乙酯的环化反应,用于合成苯并呋喃类化合物。

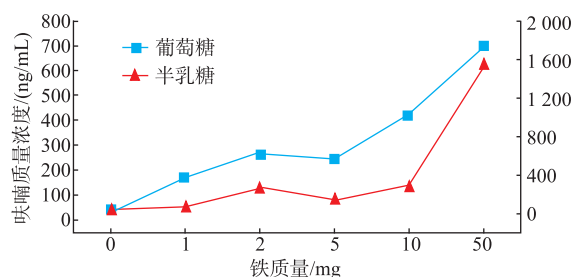


图 1 铁元素对葡萄糖和半乳糖模型生成呋喃的影响

Fig. 1 Effect of iron on furan formation from glucose and galactose model system

2.1.2 锌元素对葡萄糖和半乳糖模型产生呋喃的影响 添加不同质量的矿物元素锌对葡萄糖和半乳糖模型生成呋喃的影响见图 2。由图 2 可知,随着锌元素的质量从 1 mg 增长到 50 mg,葡萄糖和半乳糖模型产生呋喃的质量浓度都是呈下降的趋势。但是锌质量 ≥ 10 mg,葡萄糖模型产生呋喃质量浓度才显著($p < 0.05$)低于未添加锌的葡萄糖模型,锌质量 ≥ 5 mg,半乳糖模型产生呋喃质量浓度才显著($p < 0.05$)低于未添加锌的半乳糖模型。由此可见,高质量锌才对葡萄糖产生呋喃有抑制的作用,较高质量锌才对半乳糖产生呋喃有抑制的作用。这是由于在低质量时, Zn^{2+} 大大减少了葡萄糖和半乳糖在热降解过程中锌-糖复合物的形成,进而促进糖向呋喃的转化^[20];

由于锌同样对呋喃类物质具有催化分解作用^[21],当锌质量超过一定数值时,过量的锌会导致呋喃类物质分解速率大于其生成速率,使得其总量下降,表现出抑制作用。

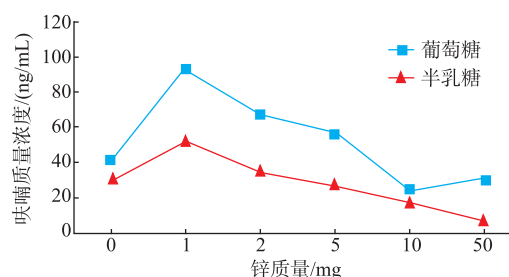


图 2 锌元素对葡萄糖和半乳糖半乳糖生成呋喃的影响

Fig. 2 Effect of zinc on furan formation from glucose and galactose model system

2.1.3 镁元素对葡萄糖和半乳糖模型产生呋喃的影响 添加不同质量的矿物元素镁对葡萄糖和半乳糖模型生成呋喃的影响见图 3。由图 3 可知,随着镁元素的质量从 0 mg 增长到 50 mg,葡萄糖模型产生呋喃的质量浓度都是呈下降的趋势,5 mg 和 50 mg 时呋喃减少的质量浓度最为显著($p < 0.05$),由此可见,镁元素对葡萄糖产生呋喃都具有明显的抑制作用。随着镁元素的质量从 2 mg 增长到 50 mg,半乳糖模型产生呋喃的质量浓度都是呈下降的趋势。但是镁质量 > 10 mg,半乳糖模型产生呋喃质量浓度才开始低于未添加镁的半乳糖模型,添加质量为 50 mg 时,抑制作用最为显著($p < 0.05$),由此可见,高质量镁才对半乳糖产生呋喃有抑制的作用。 Mg^{2+} 虽然能够加速糖的降解速率,但会生成 5-羟甲基糠醛、乙酰丙胺等物质^[22],使得对呋喃的选择性降低,抑制了呋喃的生成。

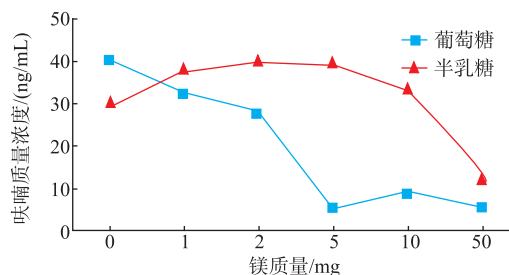


图 3 镁元素对葡萄糖和半乳糖生成呋喃的影响

Fig. 3 Effect of magnesium on furan formation from glucose and galactose model system

2.2 不饱和脂肪酸对葡萄糖和半乳糖模型产生呋喃的影响

2.2.1 亚油酸对葡萄糖和半乳糖模型产生呋喃的影响 添加不同质量的亚油酸对葡萄糖和半乳糖模型生成呋喃的影响见图4。由图4可知,随着亚油酸的质量从0 mg增长到10 mg,葡萄糖和半乳糖模型生成呋喃的质量浓度都随之增加。具体来说,添加了10 mg亚油酸,葡萄糖模型产生呋喃质量浓度提高了138倍,半乳糖模型产生呋喃质量浓度提高了10倍。由此可见,亚油酸对葡萄糖产生呋喃具有非常明显的促进作用,对半乳糖产生呋喃也有一定的促进作用。

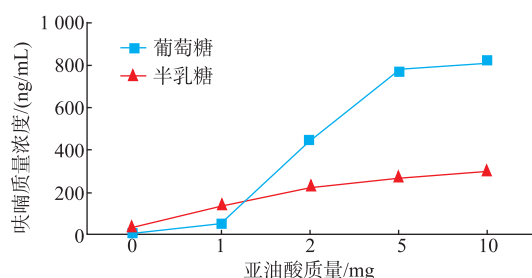


图4 亚油酸对葡萄糖和半乳糖生成呋喃的影响

Fig. 4 Effect of linoleic acid on furan formation from glucose and galactose model system

2.2.2 亚麻酸对葡萄糖和半乳糖模型产生呋喃的影响 添加不同质量的亚麻酸对葡萄糖和半乳糖模型生成呋喃的影响见图5。由图5可知,随着亚麻酸的质量从0 mg增长到10 mg,葡萄糖和半乳糖模型生成呋喃的质量浓度都随之增加。具体来说,添加了10 mg亚麻酸,葡萄糖模型产生呋喃质量浓度提高了110倍,半乳糖模型产生呋喃量提高了16倍。由此可见,亚麻酸对葡萄糖产生呋喃有明显的促进作用,对半乳糖产生呋喃也有一定的促进作用。

综合分析图4-图5可发现,不饱和脂肪酸对葡萄糖和半乳糖模型产生呋喃均有明显的促进作用。原因可能如下:多不饱和脂肪酸自身单独发生热氧化形成呋喃。Preze和Yaylayan^[8]提出呋喃可以由多不饱和脂肪酸降解产生的4-羟基-2-丁烯通过环化而后脱水形成。Becalski和Seaman^[9]通过模拟体系研究发现,只有多不饱和脂肪酸如亚油酸、亚麻酸在加热条件下才可以生成呋喃。不饱和脂肪酸中的烯丙基对自由基链反应非常敏感,在氧的存在下能

够发生自动氧化或热氧化,导致脂肪酸分子的断裂^[23]。所以还有一种可能是脂质氧化的降解产物如乙醛等能与糖降解产生的乙醇醛等片段发生重组,从而促进呋喃的形成。一般来说,由于亚麻酸的不饱和度大于亚油酸,所以在单独的体系中,亚麻酸产生的呋喃量会高于亚油酸,但在二元或多元体系中,却不一定按照其规律发生,其间具体的生成机制还有待研究。

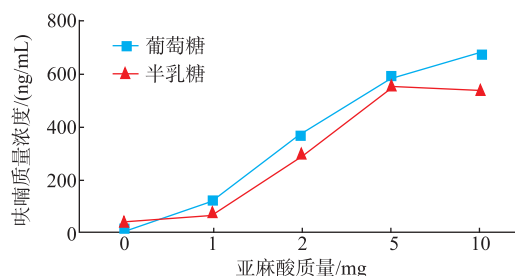


图5 亚麻酸对葡萄糖和半乳糖生成呋喃的影响

Fig. 5 Effect of linolenic acid on furan formation from glucose and galactose model system

2.3 抗坏血酸对葡萄糖和半乳糖模型产生呋喃的影响

添加不同质量的抗坏血酸对葡萄糖型生成呋喃的影响见图6,由图6可知,随着抗坏血酸的质量从0 mg增长到50 mg,均可促进葡萄糖模型产生呋喃,添加质量为1 mg时,就已起到比较显著($p < 0.05$)的促进效果,在10 mg左右时,其呋喃的质量浓度增加达到最大,而后才有所下降。综上所述,抗坏血酸对葡萄糖产生呋喃有促进作用。对于半乳糖模型而言,随着抗坏血酸的质量从0 mg增长到50 mg,其产生呋喃的质量浓度都低于未添加抗坏血酸产生的质量浓度,抗坏血酸添加质量为50 mg时呋喃质量浓度减少得最为显著($p < 0.05$)。由此可见,抗坏血酸对半乳糖产生呋喃具有抑制作用。抗坏血酸/脱氢抗坏血酸相对于糖类等是形成呋喃最有效的前体物质,且糖和螯合剂能刺激抗坏血酸降解生成呋喃前体物质糠醛、2-呋喃甲酸^[24]。尽管糖和抗坏血酸都是生成呋喃的前体物质,但二者混合后,也会引起呋喃生成量的减少,这是因为非单一系统中,会增加碎片率或改变反应体系的氧化还原状态^[25]。这就有利于反应生成其他复杂化合物,从而导致呋喃质量浓度低于单一系统生成的量。

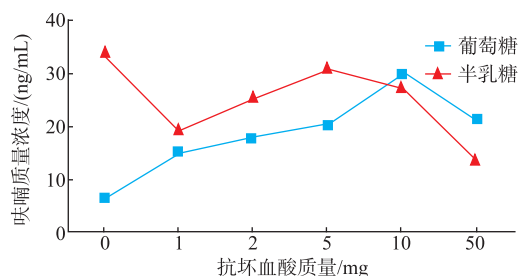


图6 抗坏血酸对葡萄糖和半乳糖生成呋喃的影响

Fig. 6 Effect of ascorbic acid on furan formation from glucose and galactose model system

3 结语

本文作者选取热加工过程中能产生较高呋喃的基础葡萄糖模型和半乳糖模型,向其中逐步添加不同剂量的矿物元素(铁、锌、镁)、不饱和脂肪酸(亚油酸、亚麻酸)和抗坏血酸,采用顶空气相色谱-质谱法(HS-GC-MS)探究在 121 °C 下油浴 30 min,

不同营养物质对各模型产生呋喃的影响情况。结果表明,矿物元素铁对各模型产生呋喃的质量浓度有明显的促进作用($p < 0.05$),且随着铁添加质量的增多而增大。高质量锌(≥ 10 mg)和镁对葡萄糖模型产生呋喃有明显抑制作用($p < 0.05$);较高质量锌(≥ 5 mg)和高质量镁(> 10 mg)对半乳糖模型产生呋喃有抑制作用($p < 0.05$)。不饱和脂肪酸(亚油酸、亚麻酸)对葡萄糖和半乳糖模型均有明显促进作用($p < 0.05$)。抗坏血酸对葡萄糖模型产生呋喃具有明显促进作用,对半乳糖模型的作用相反($p < 0.05$)。探索各营养组分与呋喃生成途径之间的潜在联系,以期在实际食品体系生产优化加工工艺,并为抑制呋喃的产生提供理论参考和技术支持。由于实际食品中的基质比较复杂,由单一的模型研究出的结果可能不适用与所有的市售食品,后续可用大量的实际样品来做进一步的深入实验,以期能够探索出一套大众化的控制理论。

参考文献:

- [1] MARIOTTI M S, GRANBY K, ROZOWSKI J, et al. Furan: a critical heat induced dietary contaminant[J]. *Food & Function*, 2013, 4(7): 1001-1015.
- [2] PROGRAM N T. Toxicology and Carcinogenesis Studies of Furan (CAS No. 110-00-9) in F344 Rats and B6C3F1 Mice (Gavage Studies)[J]. *National Toxicology Program Technical Report*, 1993, 402: 1.
- [3] International Agency for Research on Cancer, WHO. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans[R]. IARC, 1995, 63: 393.
- [4] MARCO K, ANDREAS B, INGRID R, et al. Tests for genotoxicity and mutagenicity of furan and its metabolite cis-2-butene-1, 4-diol in L5178Y tk⁺/mouse lymphoma cells[J]. *Mutation Research*, 2008, 657(2): 127-132.
- [5] US Food and Drug Administration. Exploratory data on furan in food: individual food products [EB/OL] (2004-05-07) [2015-09-17]. <http://www.cfsan.fda.gov>
- [6] 黄军根. 热加工食品中呋喃检测方法及其生成的影响因素研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2011.
- [7] NIE S P, HUANG J G, ZHANG Y N, et al. Analysis of furan in heat-processed foods in China by automated head space gas chromatography-mass spectrometry (HS-GC-MS)[J]. *Food Control*, 2013, 30(1): 62-68.
- [8] PEREZ L C P, YAYLAYAN V A. Origin and mechanistic pathways of formation of the parent furan - a food toxicant[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 55(22): 6830-6836.
- [9] BECALSKI A, SEAMAN S. Furan precursors in food: A model study and development of a simple headspace method for determination of furan[J]. *Journal of AOAC International*, 2005, 88(1): 102-106.
- [10] JANKA V, ZUAZANNA C. Furan in food-a review[J]. *Journal of Food Science*, 2009, 27(1): 1-10.
- [11] MRK J, MRK T. Quantitation of furan and methyl furan formed in different precursor systems by solid phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(7): 2786-2793.
- [12] MAGA J A. Furan in foods[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1979, 11(4): 355-400.
- [13] AMES J M, GUY R C E, KIPPING G J. Effect of pH, temperature, and moisture on the formation of volatile compounds in glycine/ glucose model systems[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(9): 4315-4323.
- [14] ZHANG Yanan, HUANG Jingen, NIE Shaoping, et al. Study on factors affecting the formation of furan in three normal sugars[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(20): 98-100, 104. (in Chinese)

- [15] FAN X T, HUANG L H, SOKORAI K J B. Factors affecting thermally induced furan formation[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2008, 56(20): 9490-9494.
- [16] NIE S P, HUANG J G, HU J L, et al. Effect of pH, temperature and heating time on the formation of furan from typical carbohydrates and ascorbic acid[J]. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, 2013, 11(1): 121-125.
- [17] 徐晓冰. 过渡金属催化的含氮、氧杂环化合物的合成方法学研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2010.
- [18] CARBALLO R M, RAMIREZ M A, RODRIGUEZ M L, et al. Iron (III)-promoted aza-Prins-cyclization: direct synthesis of six-membered azacycles[J]. **Organic Letters**, 2006, 8(17): 3837-3840.
- [19] GUO X, YU R, LI H, et al. Iron-catalyzed tandem oxidative coupling and annulation: an efficient approach to construct polysubstituted benzofurans[J]. **Journal of the American Chemical Society**, 2009, 131(47): 17387-17393.
- [20] CAO N J, XU Q, CHEN L F. Acid hydrolysis of cellulose in zinc chloride solution[J]. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, 1995, 51(1): 21-28.
- [21] YANG Lei, LI Gang, YANG Fang, et al. Conversion of cellulose to furans catalyzed by zinc chloride under microwave irradiation [J]. **Journal of Fuel Chemistry and Technology**, 2012, 40(3): 326-330. (in Chinese)
- [22] 彭新文. 稀硫酸 / 盐催化葡萄糖降解反应动力学[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [23] WEN Zhiyong, SUN Baoguo, LIANG Menglan, et al. Flavor compounds from lipid oxidation[J]. **China Oils and Fats**, 2004, 29(9): 41-44. (in Chinese)
- [24] CREWS C, CASTLE L. A review of the occurrence, formation and analysis of furan in heat-processed foods[J]. **Trends in Food Science & Technology**, 2007, 18(7): 365-372.
- [25] LIMACHER A, KERLER J, CONDE P B, et al. Formation of furan and methylfuran from ascorbic acid in model systems and food[J]. **Food Additives and Contaminants**, 2007, 24(1): 122-135.

会 议 消 息

会议名称(中文): 2018 年微生物制剂在酿酒生产中的应用技术论文大赛暨研讨会

所属学科: 生物技术与生物工程

开始日期: 2018-05-01

所在城市: 北京市 东城区

主办单位: 中国酒业协会

承办单位: 安琪酵母股份有限公司、酿酒科技杂志社

联系人: 毛勇

联系电话: 010—57811300

E-MAIL: maoyong@cada.cc 或 2559895677@qq.com

会议网站: <http://www.cada.cc/item/145.aspx>

会议背景介绍: 随着行业的发展, 目前传统酿酒生产正在向机械化、自动化、智能化升级, 着手白酒微生物的研究, 应用现代微生物技术继承和发扬传统, 典型、核心微生物应用于生产已成为行业大势之趋。如耐酸耐醇微生物制剂提升酒糟综合利用、霉菌纯培养用于机械化酒类生产、鲁氏球拟酵母等培养用于芝麻香白酒生产、己酸菌和酯化红曲用于浓香白酒的窖泥制作和生产、纯培养芽孢杆菌用于酱香白酒生产稳定等等。为了促进酿酒行业的应用交流和发展, 拟开展“微生物制剂在酿酒生产中的应用技术论文大赛”并举办“微生物制剂在酿酒生产中的应用研讨会”。