

# 低聚糖阿魏酸酯对美拉德反应挥发性产物的影响

姚胜文, 赵倩竹, 鲜傲霜, 麦嘉琪, 叶丽君, 林之蕙, 欧仕益

(暨南大学食品科学与工程系, 广东广州 510632)

**摘要:** 低聚糖阿魏酸酯 (FOs) 是一类新型功能性食品, 美国食品药品监督管理局 (US FDA) 已允许将其在焙烤食品等多种食品中添加, 但其对焙烤食品风味的影响未见报道。本文采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术 (HS-SPME/GC-MS), 研究了玉米皮低聚糖阿魏酸酯在葡萄糖分别与天冬氨酸、天冬酰胺、谷氨酸构成的 3 个美拉德反应模拟体系和面团焙烤模拟体系中对挥发性物质的影响。结果表明, 添加低聚糖阿魏酸酯 (1% 和 5%) 显著促进糠醛和不良风味物质对乙烯基愈疮木酚的形成, 抑制吡嗪、麦芽酚、壬醛、雪松醇等焙烤特征性风味物质的形成; 在焙烤面团中, 添加低聚糖阿魏酸酯后还产生了二甲基二硫醚、二甲基三硫醚两种不良风味物质。因此, FOs 虽然被允许在焙烤食品中大量添加, 但是考虑到其对风味具有潜在的不良影响, 在应用时应谨慎。

**关键词:** 低聚糖阿魏酸酯; 美拉德反应; 焙烤食品; 风味物质; 顶空固相微萃取

文章编号: 1673-9078(2016)3-113-118

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.019

## Effect of Feruloylated Oligosaccharides on the Volatile Products of Maillard Reaction

YAO Sheng-wen, ZHAO Qian-zhu, XIAN Ao-shuang, MAI Jia-qi, YE Li-jun, LIN Zhi-hui, OU Shi-yi

(Department of Food Science and Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

**Abstract:** Feruloylated oligosaccharides (FOs) are a new type of functional foods and their addition to bakery products was approved by the Food and Drug Administration of the United States (US FDA) in 2010. However, there have been no reports on their influence on the flavor of bakery products. Here, headspace solid-phase micro-extraction coupled with gas chromatography mass spectrometry (HS-SPME/GC-MS) was used to investigate the effect of FOs prepared from maize bran on the formation of volatile compounds in three Maillard reaction models (glucose with aspartic acid, asparagine, or glutamic acid) and the baked dough model. The results showed that in all reaction models studied, the addition of FOs at 1% and 5% concentration significantly increased the formation of furfural and an unpleasant flavor compound (2-methoxy-4-vinyl-phenol), but suppressed the formation of several pleasant flavor-producing compounds such as pyrazines, maltol, nonanal, and cedrol. Moreover, the addition of FOs into the dough produced two unpleasant flavor-producing compounds (dimethyl disulfide and dimethyl trisulfide) after baking. Therefore, although FOs are allowed to be added in a large amount to bakery products, caution is advised due to the potentially undesirable effect on flavor.

**Key words:** feruloylated oligosaccharides; Maillard reaction; bakery products; flavors; headspace-solid phase microextraction

低聚糖阿魏酸酯 (FOs) 是一种阿魏酸与低聚糖通过酯键键合在一起的水溶性化合物, 是一类兼具阿魏酸和低聚糖生理功能的的功能性食品配料。美国食品药品监督管理局 (US FDA) 在 2010 年以麦麸提取物 (Wheat Bran Extract) 的名义批准将其作为食品添加剂添加到包括焙烤食品, 饮料, 奶制品, 布丁, 谷物制品, 加工水果, 果汁, 加工蔬菜, 休闲食品在内的多种食品当中 (FDA, GRAS Notice 000343)<sup>[1]</sup>。FOs

收稿日期: 2015-05-06

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31371745); 科技部 863 (2012BAK01B03)

作者简介: 姚胜文 (1990-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向: 功能食品

通讯作者: 欧仕益 (1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品化学及功能食品

一定条件下能水解释放出阿魏酸<sup>[2]</sup>, 而阿魏酸在食品加工过程中对风味有一定影响, 如热降解后可产生对乙烯基愈疮木酚、愈疮木酚、香草醛等一系列风味物质, 但同时也发现它会抑制某些风味物质的形成。如, 阿魏酸在甘氨酸/葡萄糖、亮氨酸/葡萄糖、半胱氨酸/葡萄糖这三个美拉德反应模拟体系中 (200 °C, 加热 15 min), 能抑制呋喃、呋喃衍生物、甲基吡嗪、乙酰吡啶、2-乙酰吡咯、甲基环戊烯醇酮、烷基吡嗪类、斯特雷克醛类物质的形成<sup>[3,4]</sup>。另有研究表明, 即使在更低的反应温度下 (60 °C 或 37 °C), 阿魏酸同样能显著抑制美拉德反应<sup>[5,6]</sup>。阿魏酸具有抗氧化功能, 能够通过清除美拉德反应过程产生的自由基、抑制美拉德产物的形成或者直接与美拉德反应中间产物形成加合

物等方式影响美拉德反应<sup>[7]</sup>。已有研究表明麦麸多糖中结合的阿魏酸,即使在热加工过程中只有痕量的被释放出来,也能够明显影响面包和饼干的风味<sup>[8,9]</sup>。但是低聚糖阿魏酸酯这种新型的功能性添加剂在美拉德反应过程中是否会影响风味的形成还尚无研究。

本研究采用小麦粉中含量最高的三种氨基酸,天冬氨酸、天冬酰胺和谷氨酸<sup>[10]</sup>与葡萄糖构建美拉德反应体系,利用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气相色谱-质谱联用仪(GC-MS),研究由玉米皮制备的低聚糖阿魏酸酯对美拉德反应模拟体系和烘烤面团风味物质的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

玉米麸皮:山东西王集团有限公司;天冬酰胺、天冬氨酸、谷氨酸:Aladdin试剂公司;阿魏酸标准品:Sigma公司;精制木瓜蛋白酶:远天酶制剂公司;耐高温 $\alpha$ -淀粉酶:广州裕立宝生物科技有限公司;阴离子交换树脂D201:南开大学化工厂;甲醇、冰乙酸(均为色谱纯),其他试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

安捷伦7890/5975气质联用仪:美国安捷伦公司;HP-5MS毛细管柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu$ m):美国安捷伦公司;RE-52C旋转蒸发器:上海亚荣生化仪器厂;DF-II型集热式磁力加热搅拌器:金坛市医疗仪器厂;三足离心机:张家港市远华机械制造有限公司;中空纤维超滤组件(切割分子量5 ku):无锡超滤设备厂;LC-20AT高效液相色谱分析系统:日本岛津公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 FOs的制备

参考欧仕益等<sup>[11,12]</sup>的制备方法,将玉米麸皮在烘箱中烘干(105  $^{\circ}$ C, 6 h),然后将其粉碎并用45目筛网过筛。将粉碎的玉米麸皮置于反应釜中,依次加入耐高温 $\alpha$ -淀粉酶,淀粉葡萄糖苷酶,蛋白酶进行脱淀粉、脱蛋白处理。冷却后将反应液置于三足离心机中过滤,保留残渣即为脱淀粉脱蛋白的玉米麸皮。将脱淀粉脱蛋白的玉米麸皮置于高压灭菌锅中,添加0.6%的草酸( $m/V$ )溶液,料液比1:10,在120  $^{\circ}$ C下蒸煮30 min,冷却后用200目尼龙布过滤,保留滤液。滤液首先用截留分子量为5 ku的超滤膜进行超滤去除大分子物质。然后将超滤透过液通过阴离子交换树脂D201,去除游离的阿魏酸<sup>[13]</sup>。将流出液过安博莱特

XAD-2树脂,用10倍柱体积的去离子水洗柱,洗出草酸及其他未被吸附的杂质。然后利用5倍柱体积的50%的乙醇将FOs洗脱出,收集洗脱液。将洗脱液在60  $^{\circ}$ C下进行真空浓缩至含水量约为70%。浓缩后测定提取物中的还原糖、总糖和游离的及总的阿魏酸的含量以及低聚糖的聚合度。

#### 1.3.2 FOs样品中阿魏酸、还原糖、总糖及单糖组成的测定

总阿魏酸测定方法参照Yuan<sup>[14]</sup>的方法,将FOs碱解释放出所有的阿魏酸,用HPLC测定。于50 mL三角瓶中加入5 mL样液和5 mL 2 mol/L氢氧化钠溶液,置35  $^{\circ}$ C恒温振荡器中碱解1 h;结束后加入5 mL 2 mol/L盐酸溶液,加水定容,用0.45  $\mu$ m滤膜过滤,待测。HPLC条件:色谱柱Eclipse XDB-C18, 4.6 $\times$ 250 mm;柱温40  $^{\circ}$ C;流动相1%冰醋酸:甲醇=72:28(V:V);流速1 mL/min;进样量:10  $\mu$ L;运行时间:20 min;检测器:PDA检测器;检测波长314 nm。以保留时间定性,以峰面积定量。

糖含量的测定参照赵阳<sup>[15]</sup>的方法,使用DNS法测定样品的还原糖的含量,利用1 mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>在100  $^{\circ}$ C酸解3 h后利用DNS法测定总糖含量,利用离子色谱测定单糖的组成。

#### 1.3.3 FOs对美拉德反应模拟体系美拉德反应挥发性产物的影响

在不锈钢试管中加入等摩尔的氨基酸和葡萄糖建立美拉德反应模拟体系,向模拟体系中添加不同浓度的FOs来研究FOs对美拉德反应挥发性产物所产生的影响。模拟体系总体积为4 mL,其中包含1 mmol葡萄糖和1 mmol不同种类的氨基酸(分别为天冬氨酸、天冬酰胺、谷氨酸)和不同浓度的FOs(0%、1%、5%; $m/V$ )。将不锈钢试管用带有聚四氟乙烯垫片的不锈钢盖密封好后,置于带有磁力搅拌装置的油浴锅中,在160  $^{\circ}$ C条件下反应15 min,然后用冰水浴将试管迅速冷却,测定挥发性物质。每处理重复3次。

#### 1.3.4 FOs对面团烘烤模拟体系美拉德反应挥发性产物的影响

将面粉重量的0%、1%、5%的FOs溶于30 g水中,然后将水溶液添加到100 g小麦粉中制作成面团<sup>[16]</sup>。将1 g面团压成直径8 mm的圆形面片,置于不锈钢试管中并密封,然后将试管置于160  $^{\circ}$ C油浴锅中保持15 min然后用冰水浴将试管迅速冷却。反应后采用1.3.5的方法对挥发性物质进行提取和测定,每处理重复3次。

#### 1.3.5 挥发性物质的提取和测定

将氨基酸/葡萄糖模拟体系的反应液及反应后的

面团放入 15 mL 的顶空固相萃取玻璃瓶中,并用瓶盖迅速密封。将玻璃瓶置于带有磁力搅拌的恒温水浴锅中在 80 °C 条件下平衡 60 min,然后将顶空固相萃取的 CAR/PDMS 萃取头插入密封的小瓶中并将萃取头的纤维伸出暴露在样品的顶空保持 30 min<sup>[17,18]</sup>。取样后将萃取头立即插入气质联用仪的进样口,并在进样口 250 °C 的温度下保持 10 min 以释放被吸附的挥发性物质。GC-MS 分析条件为: 70 eV, 质谱扫描范围 30~350, 扫描时间 3.89 s, 氦气流速 0.8 mL/min, 柱温箱升温程序为: 初始温度 45 °C, 保持 5 min; 以 6 °C/min 升温到 90 °C, 以 10 °C/min 升温到 180 °C, 以 10 °C/min 升温到 220 °C, 保持 20 min。结果通过 NIST08.L 谱库检索对各物质进行定性, 选择匹配度 80% 以上的物质进行分析。利用峰面积比较各物质的相对含量。每处理重复 3 次。

### 1.3.6 糠醛含量的测定

以 1.3.3 同样的方法建立美拉德反应体系, 用 HPLC 测定反应后的溶液中的糠醛含量, HPLC 条件: 流动相 A 为 0.1% 冰醋酸, 流动相 B 为甲醇, 流速 0.7 mL/min, 柱温 40 °C, 进样量 10  $\mu$ L, 检测波长 280 nm, 色谱柱为 ZORBAX SB-Aq (4.6 $\times$ 250 mm, 5  $\mu$ m), 紫外检测器, 时间程序为: 0~50 min 流动相 B 由 3% 到 5%, 50~52 min 流动相 B 由 5% 到 3%, 52~60 min 流动相 B 保持在 3%。

### 1.3.7 FOs 在热处理过程中的降解程度

配置浓度为 1%, 5% FOs 溶液, 分别取 4 ml 置于不锈钢试管中, 以 1.3.3 同样的热处理条件进行热处理。采用 1.3.2 中测阿魏酸含量的方法分别测定反应前后溶液中游离的及总的阿魏酸 (FA) 的含量, 总的阿魏酸含量与游离阿魏酸含量的差值即为结合于 FOs 中的阿魏酸含量。

### 1.3.8 数据分析

每个处理重复 3 次。将 GC 峰面积数据利用 SPSS 13.0 软件进行数据处理, 结果用平均值和标准偏差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 FOs 的化学组成

经提取纯化浓缩后的 FOs 中, 阿魏酸、还原糖、总糖的含量分别为 47.6、341.2、928.4 mg/g, 平均聚合度为 2.72 (928.4/341.2); 其中木糖、阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖占总糖的比例分别为 47.3%、38.5%、3.2%、6.5%。

### 2.2 FOs 对氨基酸/葡萄糖模拟体系美拉德反应挥发性产物的影响

表 1 FOs 对天冬氨酸/葡萄糖模拟体系美拉德反应挥发性产物的影响

Table 1 Effect of FOs on volatile compounds of Maillard reaction for the glucose with aspartic acid models

	GC 峰面积 $Ab \times S \times 10^5$		
	FOs/0%	FOs/1%	FOs/5%
乙醛	129.31 $\pm$ 25.41	-	-
香草醛	-	-	50.53 $\pm$ 4.25
壬醛	25.74 $\pm$ 2.05	45.32 $\pm$ 2.40	79.16 $\pm$ 1.34
糠醛	6110.47 $\pm$ 324.60	29100 $\pm$ 141.21	29536.97 $\pm$ 176.55
对乙基愈疮木酚	-	209.86 $\pm$ 3.98	886.38 $\pm$ 92.06
苯甲醛	216.80 $\pm$ 32.61	149.43 $\pm$ 4.12	130.52 $\pm$ 12.81
5-羟甲基糠醛	542.64 $\pm$ 51.70	493.24 $\pm$ 61.09	477.41 $\pm$ 68.62
5-甲基呋喃醛	346.81 $\pm$ 53.87	974.58 $\pm$ 84.30	668.10 $\pm$ 33.34
3-乙基-4-甲基-2-戊烯	119.82 $\pm$ 14.47	-	-
3-乙酰基丙烯酸	91.96 $\pm$ 1.37	-	-
2-乙酰基吡咯	119.55 $\pm$ 27.51	89.39 $\pm$ 46.49	70.48 $\pm$ 2.66
2-乙基-5-甲基呋喃	281.63 $\pm$ 16.07	-	-
2-丁烯醛	258.94 $\pm$ 7.45	367.23 $\pm$ 8.78	307.24 $\pm$ 8.32
2,5-二甲酰基呋喃	189.42 $\pm$ 12.14	258.68 $\pm$ 50.83	182.74 $\pm$ 21.77

在天冬氨酸/葡萄糖模拟体系中, 共检测出 14 种挥发物 (表 1)。在该模拟体系中添加 FOs 后, 乙醛, 苯甲醛, 2-乙酰基吡咯, 2-乙基-5-甲基呋喃, 2-丁烯

醛, 3-乙酰基丙烯酸, 3-乙基-4-甲基-2-戊烯, 5-羟甲基糠醛的形成受到了抑制, FOs 添加量越高, 抑制越明显。5-甲基呋喃醛, 壬醛的含量随 FOs 浓度提高而

增加。香草醛和对乙炔基愈疮木酚只有在 FOs 添加的样品中检测到,极有可能是由 FOs 中释放出的阿魏酸产生的。

在天冬酰胺/葡萄糖模拟体系中,只检测到 12 种挥发性物质,并且与在天冬氨酸/葡萄糖模拟体系中检测到的结果有很大的差异,而且在天冬酰胺/葡萄糖模拟体系中检测到了三种吡嗪类物质(表 2)。FOs 的添加明显抑制了吡嗪,2-甲基吡嗪,2-乙基吡嗪,3-呋喃甲醛,雪松醇的产生。在添加 FOs 的样品中同样检测

到了香草醛和对乙炔基愈疮木酚。

在谷氨酸/葡萄糖模拟体系中检测到了吡咯类物质,但是在另外两个模拟体系中却没有检测到(表 3)。同样,FOs 的添加明显抑制了己醛,庚醛,苯甲醛,5-羟甲基糠醛,4-环戊烯-1,3-二酮,2,5-二甲酰基呋喃,2-吡咯甲醛等物质的产生而促进了对乙炔基愈疮木酚的产生(表 3)。但是该模拟体系中未检测到香草醛的产生。

表 2 FOs 对天冬酰胺/葡萄糖模拟体系美拉德反应挥发性产物的影响

Table 2 Effect of FOs on volatile compounds of Maillard reaction for the glucose with asparagines models

	GC 峰面积 Ab×S×10 <sup>5</sup>		
	FOs/0%	FOs/1%	FOs/5%
雪松醇	281.26±4.76	126.03±11.74	99.42±1.95
香草醛	-	-	68.17±1.92
壬醛	55.08±13.05	82.50±0.38	123.63±4.17
糠醛	385.69±2.32	3316.36±30.72	19440.87±218.52
对乙炔基愈 疮木酚	-	269.97±16.73	1595.23±41.10
吡嗪	2382.68±73.94	2121.13±8.17	453.13±7.13
苯甲醛	236.80±34.69	119.44±4.24	172.83±4.65
5-甲基呋喃醛	-	-	181.12±8.99
3-呋喃甲醛	403.24±25.71	264.80±6.37	177.81±3.53
2-乙基吡嗪	604.19±8.16	322.27±16.74	254.81±15.06
2-甲基吡嗪	365.83±20.38	318.96±12.05	232.37±5.64
2,4-二叔丁 基苯酚	21.32±2.06	31.66±0.64	-

表 3 FOs 对谷氨酸/葡萄糖模拟体系美拉德反应挥发性产物的影响

Table 3 Effect of FOs on volatile compounds of Maillard reaction for the glucose with glutamic acid models

	GC 峰面积 Ab×S×10 <sup>5</sup>		
	FOs (0%)	FOs (1%)	FOs (5%)
辛醛	204.50±4.51	106.27±3.31	117.62±0.28
壬醛	84.94±5.64	143.52±5.27	201.21±3.30
糠醛	2513.42±99.54	15772.13±314.05	24718.12±305.38
己醛	47.58±0.46	1.39±0.05	-
庚醛	172.22±3.07	131.29±7.30	-
对乙炔基愈疮木酚	-	316.49±21.79	765.26±19.07
苯甲醛	121.53±1.45	112.19±0.50	96.18±2.57
N-甲基-2-吡咯甲醛	39.18±0.49	43.81±0.99	-
5-羟甲基糠醛	531.83±3.57	271.27±7.73	126.11±1.34
5-甲基呋喃醛	452.31±11.07	300.96±6.03	268.52±2.84
4-环戊烯-1,3-二酮	91.48±1.41	-	-
2-吡咯甲醛	50.81±0.30	43.81±0.99	-
2,5-二甲酰基呋喃	220.97±1.61	105.91±7.53	-
2,4-二叔丁基苯酚	160.88±1.67	67.32±1.49	-

### 2.3 FOs 对面团焙烤模拟体系美拉德反应挥发性产物的影响

在面团模拟体系中，一共检测到 14 种挥发性物质。有一些是在三个美拉德模拟体系中未检测到的挥发性物质，比如苜醇，麦芽酚，β-柏木烯，苯醌，2,6-二甲基-4-乙酰基酚（表 4）。FOs 的添加明显促进了异

戊醛，糠醛，苯甲醛，和对乙炔基愈疮木酚的产生，同时又明显抑制了某些良性风味物质的产生如，麦芽酚，苜醇，苯醌，己醛，雪松醇。

此外，在添加了 FOs 的面团模拟体系中，检测到了二甲基二硫醚和二甲基三硫醚。这两种物质给人以不愉悦的风味，并且感觉阈值很低（分别为 23 μg/L 和 8 μg/L）<sup>[19,20]</sup>。

表 4 FOs 对面团焙烤模拟体系美拉德反应挥发性产物的影响

Table 4 Effect of FOs on volatile compounds of Maillard reaction for the baked dough model

	GC 峰面积 Ab×S×10 <sup>5</sup>		
	FOs/0%	FOs/1%	FOs/5%
异戊醛	85.96±1.36	240.97±37.66	210.66±10.92
对乙炔基愈疮木酚	9.84±0.07	59.77±0.62	366.57±7.75
雪松醇	22.18±0.37	-	-
壬醛	25.82±7.73	29.68±6.38	28.74±2.75
麦芽酚	37.02±0.71	14.69±0.50	-
糠醛	82.24±0.27	534.85±1.29	7624.95±44.34
己醛	60.04±6.79	31.06±3.96	-
二甲基三硫醚	-	23.36±3.06	56.91±0.64
二甲基二硫醚	-	53.13±1.04	95.78±4.33
苜醇	53.43±0.69	-	-
苯醌	13.94±7.50	-	-
苯甲醛	47.64±1.95	134.87±9.18	158.56±13.33
β-柏木烯	5.47±0.07	-	-
2,6-二甲基-4-乙酰基酚	10.87±0.40	-	-

### 2.4 FOs 对糠醛的产生的影响

表 5 FOs 对美拉德模拟体系糠醛的产生的影响

Table 5 Effect of FOs on furfural produced of Maillard reaction

	糠醛/(μg/mL)		
	FOs/0%	FOs/1%	FOs/5%
天冬氨酸/葡萄糖	52.35±2.44	270.92±8.00	350.47±24.44
天冬酰胺/葡萄糖	3.52±0.30	23.47±3.27	132.88±6.62
谷氨酸/葡萄糖	5.12±0.34	28.83±2.98	63.45±2.65

糠醛是衡量食品变质程度、热处理程度和果汁、咖啡、面包等食品储藏时间长短的一项重要指标<sup>[21,22]</sup>。表 5 的结果表明 FOs 显著促进糠醛的形成。随着糠醛含量的增加，模拟体系的褐变程度明显增加。已有研

究证实，高温热处理能够促使半纤维素的降解<sup>[23,24]</sup>。FOs 中的低聚糖在热处理时能降解并释放出戊糖（如：木糖、阿拉伯糖），从而增加了糠醛的含量。

### 2.5 FOs 中阿魏酸在热处理过程中的降解程度

通过测定游离的及总阿魏酸含量的变化（表 6），可知 FOs 中的阿魏酸在热处理过程中的降解程度。浓度为 1% 的 FOs 经过热处理后降解率为 32.55%，总阿魏酸含量减少了 27.78%；浓度为 5% 的 FOs 经过热处理后降解率为 30.14%，总阿魏酸含量减少了 26.09%。

表 6 游离的及总阿魏酸含量的变化

Table 6 The changes of content for free ferulic acid and total ferulic acid

FOs 浓度	加热前 FA 含量/(mg/L)			加热后 FA 含量/(mg/L)		
	游离 FA	总 FA	结合态 FA	游离 FA	总 FA	结合态 FA
1%	1.37±0.06	154.37±0.45	153.08±0.48	8.23±0.11	111.48±0.51	103.25±0.60
5%	6.49±0.03	765.22±4.26	758.73±4.29	35.56±1.51	565.56±3.75	530.00±3.46

### 3 结论

本研究通过测定在3个美拉德反应模拟体系及面团焙烤模拟体系中添加不同浓度的FOs后产生的挥发性物质,发现FOs的添加对焙烤食品的风味产生不利的影响。它使糠醛的含量明显增加,促进了褐变的产生,抑制吡嗪、麦芽酚、壬醛、雪松醇等焙烤特征性风味物质的形成,但是促进了不良风味物质二甲基二硫醚,二甲基三硫醚,对乙烯基愈疮木酚的产生。所以,作为一种新型天然的功能性食品添加剂,FOs虽然被允许在焙烤食品中大量添加,但是考虑到其对食品风味的不良影响,在应用时应谨慎并注意添加量。本研究采用模拟体系证实了FOs对风味物质产生的影响,它对不同焙烤食品风味的影响还有待于进一步研究。

### 参考文献

- [1] GRAS Notice 000343. [http://www.accessdata.fda.gov/scripts/fcn/gras\\_notices/grn000343.pdf](http://www.accessdata.fda.gov/scripts/fcn/gras_notices/grn000343.pdf).
- [2] Qu J Y, Sun Z. Feruloylated oligosaccharides: structure, metabolism and function [J]. *Journal of Functional Foods*, 2014, 7, 90-100
- [3] Jiang D S, Peterson D G. Role of hydroxycinnamic acids in food flavor: a brief overview [J]. *Phytochemistry Reviews*, 2010, 9, 187-193
- [4] Wang Y. Effects of naturally occurring phenolic compounds on the formation of Maillard Aroma [D]. Food Science Department, Rutgers State University, 2000
- [5] Silvan J M, Assar S H, Srey C, et al. Control of the Maillard reaction by ferulic acid [J]. *Food Chemistry*, 2011, 128, 208-213
- [6] Sompong W, Meeprom A, Cheng H, et al. A comparative study of ferulic acid on different monosaccharide-mediated protein glycation and oxidative damage in bovine serum albumin [J]. *Molecules*, 2013, 18, 13886-13903
- [7] Jiang D S, Chiaro C, Maddali P, et al. Identification of hydroxycinnamic acid-Maillard reaction products in low-moisture baking model systems [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57: 9932-9943
- [8] Moskowitz, M R, Bin Q, Elias R J, et al. Influence of endogenous ferulic acid in whole wheat flour on bread crust aroma [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60: 11245-11252
- [9] Challacombe C A, Abdel-Aal E M, Seetharamana K, et al. Influence of phenolic acid content on sensory perception of bread and crackers made from red or white wheat [J]. *Journal of Cereal Science*, 2012, 56: 181-188
- [10] Mustafa A, Aman P, Andersson R, et al. Analysis of free amino acids in cereal products [J]. *Food Chemistry*, 2007, 105: 317-324
- [11] 欧仕益,张颖,张璟,等.碱解麦麸制备阿魏酸的研究[J].*食品科学*,2002,23(8):162-165  
OU Shiyi, ZHANG Ying, ZHANG Jing, et al. Preparation of ferulic acid from wheat bran with alkaline hydrolysis [J]. *Food Science*, 2002, 23(8): 162-165
- [12] Yao S W, Wen X X, Huang R Q, et al. Protection of feruloylated oligosaccharides from corn bran against oxidative stress in PC 12 Cells [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62: 668-674
- [13] Ou S Y, Luo Y L, Xue F, et al. Separation and purification of ferulic acid in alkaline-hydrolysate from sugarcane bagasse by activated charcoal adsorption/anion macroporous resin exchange chromatography [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 78: 1298-1304
- [14] Yuan X P, Wang J, Yao H Y. Feruloyl oligosaccharides stimulate the growth of *Bifidobacterium bifidum* [J]. *Anaerobe*, 2005, 11(4): 225-229
- [15] 赵阳阳,欧仕益,林奇龄,等.低聚糖阿魏酸酯含量的快速测定方法[J].*食品科学*,2010,31(18):329-332  
ZHAO Yang-yang, OU Shi-yi, LIN Qi-lin, et al. Rapid determination of feruloylated oligosaccharides during production [J]. *Food Science*, 2010, 31(18): 329-332
- [16] Mestdagh F, Maertens J, Cucu T, et al. Impact of additives to lower the formation of acrylamide in a potato model system through pH reduction and other mechanisms [J]. *Food Chemistry*, 2008, 107: 26-31
- [17] 严留俊,张艳芳,陶文沂,等.顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法快速测定酱油中挥发性风味成分[J].*色谱*,2008,26(3):285-291  
YAN Liu-jun, ZHANG Yan-fang, TAO Wen-yi, et al. Rapid determination of volatile flavor compounds in soy sauce using head space-solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometer [J]. *Chromatography*, 2008, 26(3): 285-291
- [18] Lin L Z, Zhuang M Z, Lei F F, et al. GC/MS analysis of volatiles obtained by headspace solid-phase microextraction and simultaneous-distillation extraction from *Rabdosia serra* (MAXIM.) HARA leaf and stem [J]. *Food Chemistry*, 2013, 136: 555-562

- [19] Lu X, Fan C X, He W, et al. Sulfur-containing amino acid methionine as the precursor of volatile organic sulfur compounds in algae-induced black bloom [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2013, 25: 33-43
- [20] Landaud S, Helinck S, Bonnarme P. Formation of volatile sulfur compounds and metabolism of methionine and other sulfur compounds in fermented food [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2008, 77: 1191-1205
- [21] Ch ávez-Serv í n J L, de la Torre Carbot K, Garc í a-Gasca T, et al. Content and evolution of potential furfural compounds in commercial milk-based infant formula powder after opening the packet [J]. *Food Chemistry*, 2015, 166: 486-491
- [22] L ópez-Sabater M C. Content and evolution of potential furfural compounds in commercial milk-based infant formula powder after opening the packet [J]. *Food Chemistry*, 2015, 166: 486-491
- [23] Rose D J, Inglett G E. Two-Stage hydrothermal processing of wheat (*Triticum aestivum*) bran for the production of feruloylated arabinoxylooligosaccharides [J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2010, 58: 6427-6432
- [24] Benko Z, Andersson A, Szengyel Z, et al. Heat extraction of corn fiber hemicellulose [J]. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2007, 137: 253-265