

不同预处理对蚕蛹制备呈味基料风味的影响

吴婕¹, 穆利霞², 邹宇晓², 廖森泰²

(1. 江西农业大学食品科学与工程学院, 江西南昌 330045)

(2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东广州 510610)

摘要:以鲜蚕蛹为原料, 采用漂烫灭酶、脱衬模拟、脱衬模拟+烘干三种方式对原料进行处理, 通过酶解及美拉德反应制备蚕蛹呈味基料, 研究不同处理对蚕蛹的脂肪酸、酶解产物的水解度及氨基酸、美拉德反应产物的感官风味等指标的影响。结果表明, 三种处理方式均能提高蚕蛹呈味基料的感官风味, 但不同处理方式的风味存在不同程度的差异。其中漂烫灭酶处理的产物风味最好, 其脂肪酸组成及含量变化不大, 酶解液水解度最高 (23.88%), 肽类鲜甜味氨基酸占总鲜甜味氨基酸的比例亦在三种处理方式中最高 (高达 76.90%), 酶解液美拉德反应产物的肉香味有所增加, 苦味和蚕蛹本身的腥臭味均被除去, 共鉴定出挥发性风味化合物 26 种, 其中醛类 9 种、吡嗪类 6 种、呋喃类 3 种、其他化合物 8 种。

关键词: 蚕蛹; 脱衬模拟; 水解度; 风味分析

文章编号: 1673-9078(2016)10-160-166

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.10.025

Effect of Different Pretreatments on Flavor Peptides Development from Flesh Silkworm Pupa

WU Jie¹, MU Li-xia², ZOU Yu-xiao², LIAO Sen-tai²

(1.College of Food Science and Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

(2.Sericulture & Farm Produce Processing Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China)

Abstract: Fresh silkworm pupa was used as the raw material, and blanching for enzyme inactivation, pelade-removal simulation, and pelade-removal simulation coupled with drying were used to treat the raw materials. Flavor peptides were prepared by enzymatic hydrolysis and the Maillard reaction, to investigate the effects of different treatments on the degree of hydrolysis of fatty acids from silkworm pupa and on the enzymatic hydrolysate, in addition to the indices of sensory quality and flavor of amino acids and products of the Maillard reaction. Results showed that the sensory quality and flavor of the flavor peptides from silkworm pupa were improved by the three types of treatments, whereas the flavors varied to different degrees among the different treatment groups. Among the three treatments, blanching to inactivate enzymes resulted in optimal flavor of the products, produced slight changes in the composition and content of fatty acids, and showed the highest degree of hydrolysis of the enzymatic hydrolysate (23.88%). Meanwhile, for blanching to inactivate enzymes, the proportion of peptide-umami-sweet amino acids to total umami-sweet amino acids was the highest (76.90%) among all three treatments. The Maillard reaction products of the enzymatic hydrolysate resulted in an increase in the intensity of meat flavor, and the bitter taste and stink odor of the silkworm pupa were removed. A total of 26 types of volatile flavor compounds were identified, including nine aldehydes, six pyrazines, three furans, and eight additional compounds.

Key words: silkworm pupa; pelade-removal simulation; hydrolysis; flavor analysis

蚕蛹(Silkworm pupa)是蚕蛾科昆虫家蚕的蛹, 也

收稿日期: 2015-10-19

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划课题 (2013BAD16B09); 国家现代农业产业技术体系建设专项 (财教[2008]370 号); 国家自然科学基金 (31401643); 广东省农业科学院院长基金 (201215)

作者简介: 吴婕 (1990-), 女, 在读硕士, 研究方向: 食品工程

通讯作者: 廖森泰 (1962-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 蚕桑资源综合利用

是蚕茧抽丝后剩下的主要副产物, 自古以来就作为滋补强身, 和脾胃, 长肌肉, 祛风湿的食物和药物^[1]。蚕蛹富含蛋白质, 其干物质粗蛋白含量在 52%以上, 蛋白质中含有 18 种氨基酸, 所含氨基酸配比均衡性好, 且必需氨基酸接近或超过总氨基酸的 40%^[2], 必需氨基酸与非必需氨基酸比例达 0.7:1, 符合 FAO/WHO 所建议的理想氨基酸模式 (必需氨基酸含量占总氨基酸含量的 40%, 且必需氨基酸与非必需氨基酸

比例为 0.6:1), 是一种优质的蛋白资源, 也是卫生部批准的“作为普通食品管理的食品新资源名单”中唯一的昆虫类食品^[3]。

我国每年的蚕蛹产量超过 70 万 t, 但蚕蛹因其蛋白生产技术的不足、本身腥臭味残留及市场推广等问题, 限制了它在食品、工业、医药等方面的应用。鲁珍等^[4]研究发现, 蚕蛹来源丰富, 蛋白质和鲜甜味氨基酸含量高, 是制备呈味基料的优质原料, 利用酶解蛋白质技术及美拉德反应制备蚕蛹呈味基料可以有效解决蚕蛹腥臭残留的问题。然而, 目前我国的蚕蛹主要是来自丝绸行业的副产物, 也就是缂丝蚕蛹, 其理化特性与鲜蚕蛹存在很大程度的差异。实验发现, 缂丝蚕蛹酶解液制备的呈味基料的感官风味亦不如鲜蚕蛹。因此, 本研究以新鲜剖茧蚕蛹为原料, 模拟原料处理条件(漂烫、烘干等)和鲜茧缂丝条件进行处理, 通过酶解和美拉德反应制备呈味基料, 以最终产物的感官特征为评价指标, 旨在探讨不同处理对蚕蛹制备呈味基料风味影响的因素, 为蚕蛹的高值化利用和鲜茧缂丝工艺的改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

鲜蚕蛹, 购于广州黄沙海鲜市场; Novozym 37071 (20.35×10^4 U/g)、风味蛋白酶 (1.88×10^4 U/g), 诺维信(中国)生物技术有限公司; 脂肪酶 (3.00×10^4 U/g), 广州市齐云生物技术有限公司; L-半胱氨酸盐酸盐、硫酸素、D-木糖, 上海伯奥生物科技有限公司; 其他试剂均为分析纯。

SOX416 脂肪测定仪, Gerhardt; K 8400 凯氏定氮仪, FOSS ANALYTICAL AB; PB-10 pH 计, 广州市深华生物技术有限公司; DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器, 巩义市予华仪器有限责任公司; 立式压力蒸汽灭菌器, 上海博讯实业有限公司医疗设备厂; Biofuge Stratos Sorvall 离心机, Thermo; L-8900 氨基酸分析仪, HITACHI; 6890 N/5975 气质联用仪, Agilent; 75 μ m (Carboxen/PDMS) 萃取头, Agilent; Supelco 手动固相微萃取进样手柄, Agilent。

1.2 实验方法

1.2.1 鲜蚕蛹处理方式

漂烫灭酶: 将鲜蚕蛹用沸水浴漂烫 2 min; 脱衬模拟: 将鲜蚕蛹用 50 g/L 的 NaOH 溶液煮沸 5~8 min; 脱衬模拟+烘干: 鲜蚕蛹经脱衬模拟处理后于 60 °C 烘干。

1.2.2 蚕蛹脂肪酸组成测定

蚕蛹油甲酯化方法: 取 0.5 g 蚕蛹油样品于试管中, 加 5 mL 氢氧化钠甲醇 (0.5 mol/L) 反应试剂, 在 30 °C 下震荡反应 30 min, 然后加入 0.2~0.5 g 无水硫酸钠, 再用 5 mL 正己烷密封保存。放入冰箱隔夜取上清液, 上清液经 0.22 μ m 微孔滤膜过滤后进行分析。

色谱条件(GC): J&W 122-7032 毛细管柱 (30 m \times 250 μ m \times 0.25 μ m); 模式: 恒定流量; 加热器: 250 °C; 压力 13.06 psi; 分流流量: 23.3 mL/min; 升温程序: 150 °C 保持 5 min, 以 3 °C/min 升至 230 °C, 保持 10 min。检测器温度: 250 °C; 进样量: 0.2 μ L; 溶剂推迟: 2 min; 载气 (He) 流量: 40 mL/min; 分流比 20:1。

质谱条件 (MS): 电子轰击(EI)离子源; 电子能量 70 eV; 传输线温度 275 °C; 离子源温度 200 °C; 母离子 m/z 285; 激活电压 1.5 V; 质量扫描范围 m/z 30~450。

1.2.3 蚕蛹酶解液的制备

称取一定量的蚕蛹, 用蒸馏水将底物浓度调整至 10% (m/V), 于 50 °C 磁力搅拌 40 min, 用 0.5 mol/L 的 NaOH 溶液调节 pH 值至 8.0, 加入定量风味蛋白酶、Novozym 37071 和脂肪酶, 开始酶解, 8 h 后于沸水浴中灭酶 10 min, 过 60 目筛, 得蚕蛹酶解液。

1.2.4 水解度及氨基酸的测定

水解度 (DH) 测定: pH-stat 法^[5]; 总氨基酸含量测定: GB/T 5009.124-2003; 游离氨基酸含量测定: 参照崔姗姗等^[6]的方法进行。

1.2.5 美拉德反应产物的制备

参照鲁珍等^[4]的方法并稍作调整: 酶解液 30 mL, D-木糖 0.75 g, L-半胱氨酸盐酸盐 0.6 g, 硫酸素 0.45 g, 鸡油 2%, 温度 110 °C, 时间 60 min。

1.2.6 风味物质鉴定

参照鲁珍等^[4]的方法进行。

1.2.7 数据统计分析

挥发性风味物质成分试验数据处理由 GC-MS 分析软件系统完成, 通过检索 NIST11 质谱库进行定性, 未知化合物经计算机检索的同时与标准图谱对照相匹配, 匹配度大于 80 (最大值为 100) 的作为鉴定结果。物质的相对百分含量按峰面积归一化法计算。

2 结果与讨论

2.1 不同处理对蚕蛹酶解液美拉德反应产物

感官风味的影响

表1 不同处理的美拉德反应产物的感官评定

Table 1 Sensory evaluation results of Maillard reaction products

样品	感官结果		
	肉香味	苦味	腥味
对照	++	+	+
漂烫	+++	-	-
脱衬模拟	++	-	+
脱衬模拟+烘干	++	-	-

注：“+”表示“有”，“-”表示“没有”；“+”的多少表示程度的强弱。

美拉德反应是还原糖和氨基酸、肽或蛋白质之间的非酶反应,也是形成大多数风味化合物的主要途径,可以改善食品的色、香、味。经美拉德反应后的蚕蛹酶解液均具有浓郁的肉香,结果如表1所示。其中经漂烫灭酶处理的酶解产物经美拉德反应后,肉香味明显增加,苦味和蚕蛹本身的腥味均被有效除去。

2.2 不同处理对蚕蛹脂肪酸组成的影响

表2 不同处理对蚕蛹脂肪酸组成的影响

Table 2 Effect of different treatments on the fatty acid composition of silkworm pupa

脂肪酸名称	相对含量/%			
	对照	漂烫灭酶	脱衬模拟	
饱和脂肪酸	月桂酸	0.04±0.01	0.04±0.01	0.03±0.01
	肉豆蔻酸	0.23±0.00	0.22±0.03	0.22±0.01
	十五碳酸	0.05±0.01	0.05±0.00	0.05±0.00
	棕榈酸	28.79±0.98	29.20±0.32	28.24±0.88
	十七酸	0.19±0.07	0.18±0.02	0.18±0.05
	硬脂酸	9.04±0.11	8.83±0.10	8.51±0.32
	十九酸	0.11±0.00	0.10±0.03	0.12±0.01
	花生酸	0.36±0.06	0.32±0.06	0.35±0.02
	蜡酸	0.27±0.04	-	-
	异硬脂酸	-	-	0.04±0.00
总计	39.08±0.60	38.94±0.24	37.74±0.55	
不饱和脂肪酸	十一烯酸	-	-	0.09±0.01
	9-十二烯酸	0.10±0.01	0.09±0.00	-
	十六烯酸	1.17±0.05	1.06±0.02	1.24±0.05
	8-十八烯酸	-	37.36±0.87	36.14±0.97
	9-十八烯酸	36.41±0.79	-	-
	亚油酸	4.33±0.03	3.97±0.02	4.68±0.20
	亚麻酸	18.91±0.02	18.58±0.31	20.11±0.90
总计	60.92±0.60	61.06±0.24	62.26±0.54	

注：“-”表示未检出；以上脂肪酸均由干物质提取制备检测,故脱衬模拟与脱衬模拟+烘干合并为一组。

脂类物质在经过水解、氧化及美拉德反应等途径后,可以形成醛、酮、噻唑、吡嗪等风味物质,是风味形成中起重要作用的物质之一。因此,研究脂肪酸组成的变化对蚕蛹呈味基料的风味形成具有重要意义。不同处理对脂肪酸的影响如表2所示。结果表明,不同处理方式对蚕蛹脂肪酸的组成影响不大。漂烫灭酶和脱衬模拟分别检测出脂肪酸13种、14种,对照检测出脂肪酸14种。两种处理方式与对照的十八烯酸含量均为最高,分别为37.36%、36.14%、36.41%,而异构体的出现可能是由于双键有活动性的缘故。其次为棕榈酸(29.20%、28.24%、28.79%)和亚麻酸

(18.58%、20.11%、18.91%)。由于蜡酸(对照)、异硬脂酸(脱衬模拟)、十一烯酸(脱衬模拟)、9-十二烯酸(对照及漂烫灭酶)的含量极低,推测对风味的影响并不大。比较三种样品中饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)和不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid, UFA)的含量可知,不饱和脂肪酸在三种样品中的含量都要远超出饱和脂肪酸的含量,这在一定程度上能够说明蚕蛹呈味基料具有良好的风味和营养价值。有研究表明,UFA在美拉德等热反应的过程中更容易氧化降解形成具有独特香气的小分子物质^[7]。

2.3 不同处理对蚕蛹酶解液水解度的影响

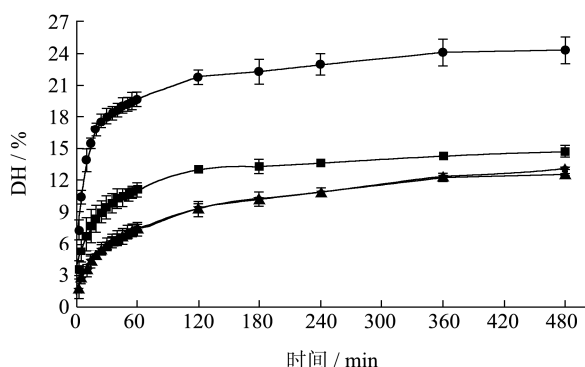


图1 不同处理对蚕蛹酶解液水解度的影响

Fig.1 Effect of different treatments on the degree of hydrolysis of enzymatic hydrolysates from silkworm pupa

注: ▲对照; ●漂烫灭酶; ×脱衬模拟; ■脱

衬模拟+烘干。

水解度是反映蛋白质水解程度的一个重要指标。水解度的不同会引起酶解产物氨基酸组成的差异,从而对风味物质的形成。不同处理对蚕蛹酶解程度的

影响如图1所示。结果表明,三种处理均可在一定程度上提高蚕蛹的酶解程度。其中漂烫灭酶处理后的样品水解度最高(23.88%),依次为脱衬模拟+烘干(14.58%)>脱衬模拟(13.32%)>对照(12.57%)。热处理(漂烫灭酶)与碱处理(脱衬模拟)的差异显著,这可能是由于两种不同方式处理导致蛋白变性程度不同的结果。有研究表明:适当的热处理和碱处理可以使蛋白质结构松散,内部基团暴露,有利于分子内或分子间的相互作用^[8,9]。然而,胡春林等^[10]发现,当碱浓度过高(超过0.1 mol/L)或碱处理时间过长(0.1 mol/L的碱处理15 min以上),都引起大豆蛋白质的水解度下降。由此推测可能由于脱衬模拟条件的碱浓度过高,导致蛋白质过度变性,溶解度下降,酶解过程中蛋白分子与酶分子之间的碰撞几率降低,从而导致水解度不高。

2.4 不同处理对蚕蛹酶解液氨基酸组成的影响

表3 不同处理对蚕蛹酶解液氨基酸组成的影响

Table 3 Effect of different treatments on the amino acid composition of enzymatic hydrolysates from silkworm pupa

氨基酸名称	总氨基酸/%				游离氨基酸/%			
	1	2	3	4	1	2	3	4
天冬氨酸 (Asp)	10.25±0.28	10.23±0.19	10.35±0.32	10.47±0.05	1.33±0.04	2.07±0.07	5.41±0.04	2.52±0.08
苏氨酸 (Thr)	4.98±0.09	4.87±0.03	4.90±0.01	4.88±0.03	5.60±0.01	7.33±0.01	6.26±0.06	5.98±0.02
丝氨酸 (Ser)	5.27±0.06	5.24±0.05	5.25±0.05	4.97±0.03	5.56±0.03	6.08±0.07	6.34±0.03	5.23±0.05
谷氨酸 (Glu)	13.30±0.17	12.64±0.19	13.49±0.47	13.03±0.32	4.44±0.51	3.87±0.20	12.31±0.19	7.85±0.04
甘氨酸 (Gly)	4.57±0.21	4.62±0.01	4.60±0.13	4.38±0.03	-	-	1.10±0.01	-
丙氨酸 (Ala)	5.91±0.17	5.71±0.30	5.95±0.29	5.85±0.18	3.95±0.28	3.78±0.08	3.80±0.13	3.63±0.10
半胱氨酸 (Cys)	0.59±0.01	0.47±0.00	0.47±0.01	0.47±0.03	1.25±0.04	1.06±0.02	-	0.94±0.05
缬氨酸 (Val)	7.00±0.22	7.62±0.08	7.14±0.13	6.87±0.04	8.18±0.12	9.00±0.04	8.99±0.05	8.29±0.04
蛋氨酸 (Met)	3.92±0.28	3.86±0.14	4.30±0.32	3.93±0.09	3.37±0.17	1.55±0.07	2.45±0.06	3.13±0.07
异亮氨酸 (Ile)	4.60±0.11	4.32±0.55	4.68±0.41	4.46±0.20	6.12±0.14	6.63±0.14	6.94±0.16	6.33±0.26
亮氨酸 (Leu)	7.31±0.52	7.17±0.34	7.44±0.13	7.31±0.27	11.16±0.67	11.56±0.42	11.67±0.02	13.27±0.31
酪氨酸 (Tyr)	5.14±0.06	8.23±0.03	4.70±0.31	7.74±0.11	9.39±0.81	10.72±0.12	3.52±0.32	9.58±0.29
苯丙氨酸 (Phe)	4.91±0.49	4.56±0.23	4.93±0.17	4.95±0.27	7.59±0.09	7.79±0.51	7.76±0.11	8.82±0.08
赖氨酸 (Lys)	7.73±0.33	7.07±0.01	7.77±0.24	7.12±0.26	10.16±0.36	10.41±0.24	9.23±0.16	9.22±0.10
组氨酸 (His)	4.97±0.05	5.01±0.20	4.81±0.24	4.58±0.15	8.86±0.11	7.83±0.11	5.59±0.09	5.07±0.17
精氨酸 (Arg)	5.29±0.30	4.65±0.50	5.29±0.05	5.19±0.25	10.20±0.24	8.65±0.30	7.18±0.16	8.65±0.19
脯氨酸 (Pro)	4.26±0.30	3.73±0.27	3.93±0.59	3.80±0.49	2.84±0.27	1.67±0.04	1.45±0.09	1.49±0.03
肽类鲜甜味氨基酸占总鲜甜味氨基酸的比例/%					79.15±0.67	76.90±1.01	64.79±0.43	74.81±0.88

注: 1.对照, 2.漂烫灭酶, 3.脱衬模拟, 4.脱衬模拟+烘干; “-”表示未检出; 肽类氨基酸=总氨基酸-游离氨基酸; 鲜甜味氨基酸指天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸六种氨基酸。

蛋白质在酶的水解作用下, 最终变成小分子的短肽和游离氨基酸, 而短肽和游离氨基酸都是参与美拉德反应的重要物质^[11]。三种处理方式制备的酶解产物氨基酸组成如表 3 所示。结果表明, 不同处理之间总氨基酸的差异不大, 而游离氨基酸的组成存在显著差异。其中漂烫灭酶的肽类鲜甜味氨基酸占总鲜甜味氨基酸的比例最高 (76.90%), 依次为脱衬模拟+烘干 (74.81%) 和脱衬模拟 (64.79%)。由于呈味的游离

氨基酸在酶解液中的含量远小于其呈味阈值, 呈味特性不明显, 因此酶解液中的肽是主要呈味组分^[4]。在呈味过程中, 短肽的味感取决于其组成氨基酸的原有味感, 其感官特性与氨基酸的组成密切相关, 富含鲜味氨基酸的短肽味感更佳, 可见漂烫灭酶在三种处理中呈味最佳。与对照相比, 三种处理的肽类氨基酸均为下降趋势, 这可能是预处理增加了酶解液中游离氨基酸比例的原因。

2.5 不同处理对蚕蛹酶解液美拉德反应产物挥发性风味物质的影响

表 4 美拉德反应产物主要风味成分的种类及相对含量

Table 4 Types and relative content of Maillard reaction products

类别	保留时间	化合物	分子式	相对含量/%			
				1	2	3	4
醛类	2.278	异丁醛	C ₄ H ₈ O	-	-	1.68±0.20	3.89±0.32
	3.252	异戊醛	C ₅ H ₁₀ O	6.11±0.88	7.93±0.67	17.11±1.00	-
	3.384	2-甲基丁醛	C ₅ H ₁₀ O	6.92±0.65	-	-	14.97±0.97
	7.079	己醛	C ₆ H ₁₂ O	1.04±0.19	1.41±0.32	1.25±0.01	-
	11.407	3-甲硫基丙醛	C ₄ H ₈ OS	0.63±0.10	-	-	1.63±0.41
	11.188	庚醛	C ₇ H ₁₄ O	-	0.99±0.21	0.80±0.07	0.81±0.07
	13.515	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	3.22±0.44	11.07±1.65	18.10±1.07	9.15±1.21
	15.054	正辛醛	C ₈ H ₁₆ O	2.92±0.22	3.31±0.12	4.62±0.43	2.61±0.40
	16.495	苯乙醛	C ₈ H ₈ O	1.93±0.10	1.64±0.60	2.08±0.10	2.91±0.12
	17.848	3-甲基-2-噻吩甲醛	C ₆ H ₆ OS	2.05±0.12	1.32±0.09	1.01±0.06	1.29±0.13
	18.53	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	4.28±0.34	9.06±0.98	7.61±0.97	7.86±1.34
	21.67	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	0.76±0.01	0.72±0.01	1.01±0.21	0.84±0.11
	23.321	反式-2-癸烯醛	C ₁₀ H ₁₈ O	0.48±0.04	-	-	-
	23.525	2-苯基巴豆醛	C ₁₀ H ₁₀ O	0.26±0.01	-	-	-
			小计	30.60±0.86	37.45±1.04	55.27±0.49	45.96±0.87
	吡嗪类	4.971	吡嗪	C ₄ H ₄ N ₂	-	2.52±0.09	0.83±0.19
8.097		2-甲基吡嗪	C ₅ H ₆ N ₂	4.75±0.45	3.36±0.21	1.21±0.26	2.53±0.66
11.641		2,5-二甲基吡嗪	C ₆ H ₈ N ₂	23.25±1.08	27.31±0.95	-	10.97±0.87
12.337		2-乙烯基吡嗪	C ₆ H ₆ N ₂	0.83±0.01	-	-	-
14.815		2-甲基-6-乙基吡嗪	C ₇ H ₁₀ N ₂	1.83±0.20	-	-	-
14.981		2,3,5-三甲基吡嗪	C ₇ H ₁₀ N ₂	3.85±0.12	5.99±0.56	-	1.76±0.91
15.512		2-乙烯基-6-甲基吡嗪	C ₇ H ₈ N ₂	2.89±0.22	1.82±0.21	-	-
17.547		2,5-二甲基-3-乙基吡嗪	C ₈ H ₁₂ N ₂	7.02±0.99	3.95±0.39	2.48±0.92	1.99±0.28
20.107		2-甲基-3,5-二乙基吡嗪	C ₉ H ₁₄ N ₂	0.30±0.10	-	-	-
20.799		2-异戊基吡嗪	C ₉ H ₁₄ N ₂	0.46±0.10	-	-	-
24.699	2,6-二甲基-3-丁基吡嗪	C ₁₀ H ₁₆ N ₂	0.24±0.07	-	-	-	
		小计	45.42±0.47	44.95±0.81	4.52±0.65	19.95±0.83	
咪喃类	2.658	2-甲基咪喃	C ₅ H ₆ O	-	-	-	2.57±0.67
	9.903	糠醇	C ₅ H ₆ O ₂	2.63±0.09	1.73±0.93	1.27±0.05	1.95±0.13
	14.538	2-戊基咪喃	C ₉ H ₁₄ O	2.81±0.28	4.04±0.99	3.21±0.34	2.82±0.49

转下页

接上页

	21.222	2-庚基呋喃	C ₁₁ H ₁₈ O	-	0.45±0.01	-	-
	22.201	3-苯基呋喃	C ₁₀ H ₈ O	0.90±0.10	-	-	-
		小计		6.34±0.27	6.22±0.92	4.48±0.26	7.34±0.49
	1.918	甲硫醇	CH ₄ S	-	-	-	2.13±0.67
	2.181	二甲基硫	C ₂ H ₆ S	-	-	3.12±0.41	2.95±0.33
	4.202	乙酸	C ₂ H ₄ O ₂	1.93±0.12	-	-	-
	5.136	二甲基二硫	C ₂ H ₆ S ₂	5.64±0.44	4.13±0.21	4.63±0.54	6.51±0.37
	7.025	正辛烷	C ₈ H ₁₈	-	1.06±0.08	1.33±0.34	2.11±0.28
	10.711	苯并环丁烯	C ₈ H ₈	-	-	-	0.36±0.05
	13.715	二甲基三硫	C ₂ H ₆ S ₃	1.17±0.05	2.23±0.45	4.21±0.56	4.17±0.51
	15.575	2-乙酰基噻唑	C ₅ H ₅ NOS	-	-	-	2.14±0.21
	15.774	间异丙基甲苯	C ₁₀ H ₁₄	0.52±0.03	-	-	-
	15.774	邻异丙基甲苯	C ₁₀ H ₁₄	-	-	1.62±0.32	-
	15.93	右旋萜二烯	C ₁₀ H ₁₆	3.52±0.54	2.41±0.33	17.34±0.99	3.85±0.41
	16.953	萜品烯	C ₁₀ H ₁₆	0.46±0.09	-	1.44±0.21	0.68±0.05
其他	18.33	十一烷	C ₁₁ H ₂₄	-	-	-	0.46±0.01
	18.851	1,2,4,5-四甲基苯	C ₁₀ H ₁₄	-	-	0.41±0.05	-
	18.963	1,2,3,4-四甲基苯	C ₁₀ H ₁₄	-	-	0.70±0.04	-
	21.456	十二烷	C ₁₂ H ₂₆	-	0.59±0.12	-	-
	23.744	4-甲基-5-羟乙基噻唑	C ₆ H ₉ NOS	1.05±0.11	-	-	-
	24.275	吡啶	C ₈ H ₇ N	0.12±0.04	0.19±0.07	-	-
	24.489	邻氨基苯乙酮	C ₈ H ₉ NO	0.52±0.06	0.51±0.11	0.93±0.08	1.09±0.09
	27.036	十四烷	C ₁₄ H ₃₀	0.18±0.01	-	-	-
	29.392	十五烯	C ₁₅ H ₃₀	-	0.26±0.11	-	0.30±0.01
	29.567	二十烷	C ₂₀ H ₄₂	0.18±0.02	-	-	-
	36.948	棕榈酸甲酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	1.07±0.09	-	-	-
	39.285	油酸甲酯	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	1.29±0.04	-	-	-
		小计		17.64±0.46	11.38±0.10	35.73±0.42	26.75±0.56

肉的风味物质较为复杂,种类颇多,其中最重要的呈味物质是醛、酮、吡嗪、呋喃以及含硫化物。表4结果表明,不同处理的酶解液美拉德反应产物经GC-MS分析,其挥发性风味成分在物质组成及相对含量均差异较大,分别检测出26种、25种、30种挥发性风味物质,主要包括醛类、吡嗪类、呋喃类等物质。

由脂质氧化、热降解产生的醛类化合物是肉香成分中的特征化合物之一^[12]。本试验样品鉴定出的醛类化合物的相对含量较高,最高为55.25%(脱衬模拟)。低含量的醛可以赋予产品脂香风味,但碳数低的直连醛通常产生令人不舒服的刺激性气味或特征臭味^[13],如C₆-C₉的醛有苦的、油腻的味道,C₅-C₇的醛有油漆的刺激性气味,这可能是脱衬模拟处理的样品香气不足的原因之一。

其次,样品检测到的吡嗪类化合物种类也较多,主要有2-甲基吡嗪、2,5-二甲基吡嗪、2,3,5-三甲基吡

嗪、2,5-二甲基-3-乙基吡嗪。吡嗪类物质是美拉德反应的典型产物,其阈值低,具有坚果香、焦香和基本的烤肉香,是对肉香味形成贡献较大的化合物,其中低分子肽(<500 u)是吡嗪类化合物产生的主要贡献者^[14]。脱衬模拟处理样品中吡嗪类物质的减少,可能是源于酶解液中肽类氨基酸的减少。Scalone GL等研究发现,寡肽的存在可以显著增加吡嗪类化合物的含量,游离氨基酸对生成吡嗪类物质则贡献较少^[15]。

呋喃类化合物是脂质或硫胺素热降解的产物,大都具有强烈的肉香及极低的香气阈值,而几乎存在于所有的食品香味中^[16]。如不同处理的样品均检测到的2-戊基呋喃(漂烫灭酶最高,4.04%)是亚油酸的氧化产物,具有具有烤香、葱香、青草香和可可豆风味,该物质阈值低(4×10⁻⁹),是动物脂质热氧化生成的常见风味物质之一^[17]。

总的来说,在三种处理方式的美拉德反应产物中,

挥发性风味物质的种类及相对含量差异较大,这可能与预处理引起的水解度差异、氨基酸组成不同有关,从而使酶解液美拉德反应产物有所不同。

3 结论

3.1 三种处理方式均能在一定程度上改善呈味基料的感官特性,其中漂烫灭酶处理的最终产物风味最好,肉香浓郁,无明显苦味和腥臭味。三种处理样品最终的美拉德反应产物的挥发性风味物质均包括醛类、吡嗪类及呋喃类等风味成分,但种类及相对含量存在不同程度的差异。

3.2 三种不同处理对蚕蛹的脂肪酸组成影响不大,但能在一定程度上提高蚕蛹的酶解程度(其中漂烫灭酶的效果最好,水解度达23.88%)。不同处理方式的总氨基酸差异不大,但游离氨基酸及肽类氨基酸差异较大,其中漂烫灭酶的肽类鲜甜味氨基酸占总鲜甜味氨基酸的比例最高(76.90%),该样品呈味效果也最好。

参考文献

- [1] 明哲,王丰.超临界CO₂萃取蚕蛹油的研究[J].中国粮油学报,2007,22(6):118-121
MING Zhe, WANG Feng. Supercritical carbon dioxide extraction of silkworm pupa oil [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2007, 22(6): 118-121
- [2] 胡木林,黄永莲,何宁,等.家蚕蛹营养成分分析[J].湛江师范学院学报,2005,26(3):33-36
HU Mu-lin, HUAN Yong-lian, HE Ning, et al. An analysis of nutritional components of the pupae of silkworm, *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae) [J]. Journal Zhanjiang Normal College, 2005, 26(3): 33-36
- [3] 王希娥,邝哲师,杨金波,等.蚕蛹的综合利用研究进展[J].中国蚕业,2008,29(3):7-10
WANG Xi-e, KUANG ZHE-shi, YANG Jin-bo, et al. Research progress on comprehensive utilization of silkworm [J]. China Sericulture, 2008,29(3):7-10
- [4] 鲁珍,穆利霞,刘军,等.蚕蛹酶解液美拉德反应产物的制备和风味成分分析[J].食品与发酵工业,2013,39(4):119-124
LU Zhen, MU Li-xia, LIU Jun, et al. Study on preparation and volatile flavor compounds of the product by Maillard reaction from silkworm pupa hydrolysates [J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(4): 119-124
- [5] 姚玉静,崔春,邱礼平,等.pH-stat法和甲醛滴定法测定大豆蛋白水解度准确性比较[J].食品工业科技,2008,9:68-70
YAO Yu-jing, CUI Chun, QIU Li-ping, et al. Determination of hydrolysis degree of soy protein: A comparison between methods of pH-stat and formal-titration [J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 9: 68-70
- [6] 崔姗姗,胡卓炎,余恺,等.不同产地妃子笑荔枝果汁的氨基酸组分[J].食品科学,2011,32(12):269-273
CUI Shan-shan, HU Zhuo-yan, YU Kai, et al. Amino acid composition of Feizixiao litchi juice from different geographic origins [J]. Food Science, 2011, 32(12): 269-273
- [7] 高先楚,王锡昌,顾赛麒,等.中华绒螯蟹性腺加热熟制前后挥发性成分和脂肪酸组成分析[J].现代食品科技,2014,30(9):265-274
GAO Xian-chu, WANG Xi-chang, GU Sai-qi, et al. Analysis of volatile components and fatty acids derived from *Eriocheir sinensis* gonad before and after cooking [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(9): 265-274
- [8] 莫文敏,曾庆孝,张孝祺.热处理和碱处理对可食性大豆分离蛋白膜性能的影响 [J].食品工业科技,2001,22(3):22-24
MO Wen-min, ZENG Qing-xiao, ZHANG Xiao-qi. Effect of heat and alkali treatments on properties of soy protein isolate edible films [J]. Science and Technology of Food Industry, 2001, 22(3): 22-24
- [9] J Ray Runyon, Bindu A Sunilkumar, Lars Nilsson, et al. The effect of heat treatment on the soluble protein content of oats [J]. Journal of Cereal Science, 2015, 65: 119-124
- [10] 胡春林,潘月平.大豆蛋白质酶解前处理方法的研究[J].食品与药品,2007,9(3):27-29
HU Chun-lin, PAN Yue-ping. Study on pretreatment of soybean proteolysis [J]. Food and Drug, 2007, 9(3): 27-29
- [11] Aaslyng, Martens, Poll, et al. Chemical and sensory characterization of hydrolyzed vegetable protein, a savory flavoring [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 46(2): 481-489
- [12] XIAO Zuo-bing, WU Min-ling, NIU Yun-wei, et al. Contribution of chicken base addition to aroma characteristics of maillard reaction products based on gas chromatography-mass spectrometry, electronic nose, and statistical analysis [J]. Food Sci. Biotechnol., 2015, 24(2): 411-419
- [13] 许刚,丁浩宸,张燕平,等.南极磷虾头胸和腹部挥发性风味成分对比[J].食品科学,2014,35(22):146-149
XU Gang, DING Hao-chen, ZHANG Yan-ping, et al. Comparison of volatile flavor compounds in cephalothorax and abdomen of Antarctic Krill [J]. Food Science, 2014, 35(22): 146-149
- [14] LIU Jian-bin, LIU Meng-ya, HE Cong-cong, et al. Effect of thermal treatment on the flavor generation from Maillard

- reaction of xylose and chicken peptide [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 64: 316-325
- [15] Scalone G L, Cucu T, De Kimpe N, et al. Influence of free amino acids, oligopeptides, and polypeptides on the formation of pyrazines in maillard model systems [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63: 5364-5372
- [16] C R Calkins, J M Hodgen. A fresh look at meat flavor [J]. Meat Science, 2007, 77: 63-80
- [17] SHI Xiao-xia, ZHANG Xiao-ming, SONG Shi-qing, et al. Identification of characteristic flavour precursors from enzymatic hydrolysis-mild thermal oxidation tallow by descriptive sensory analysis and gas chromatography-olfactometry and partial least squares regression [J]. Journal of Chromatography B, 2013, 913: 69-76

现代食品科技