



引用格式:胡永金,薛桥丽,李泽众,等. 三川火腿加工过程中生物胺的变化规律[J]. 轻工学报,2018,33(5):1-8.

中图分类号:TS251.5⁺1 文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.2096-1553.2018.05.001

文章编号:2096-1553(2018)05-0001-08

三川火腿加工过程中生物胺的变化规律

The change rule of biogenic amines during the processing of Sanchuan ham

胡永金¹,薛桥丽²,李泽众¹,张云鹤¹,李世俊¹

HU Yongjin¹, XUE Qiaoli², LI Zezhong¹, ZHANG Yunhe¹, LI Shijun¹

1. 云南农业大学 食品科学技术学院,云南 昆明 650201;

2. 云南农业大学 学报编辑部,云南 昆明 650201

1. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Journal Editorial Department, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China

摘要:以用传统发酵工艺制作的三川火腿为研究对象,采用高效液相色谱法检测三川火腿腌制期、晾干期和堆焐发酵期中8种主要生物胺的质量浓度,探究三川火腿加工过程中生物胺的变化规律.结果表明:1)共检测出7种生物胺,分别为苯乙胺、尸胺、腐胺、组胺、酪胺、亚精胺和精胺,未检测出色胺,且苯乙胺只在腌制中期被检出.其中,腐胺和精胺存在于三川火腿的整个加工过程中;尸胺的质量浓度在7种生物胺中最高,其次是精胺,尸胺的质量浓度在三川火腿加工过程中持续增加,在堆焐发酵后期达到最大值(69.24 ± 12.54) mg/kg,但在堆焐发酵末期又开始显著降低;亚精胺和精胺都保持着较平稳的质量浓度变化,其中亚精胺的质量浓度一直处于较低水平;苯乙胺只在腌制中期被检出;组胺的质量浓度较低,最高仅为(22.52 ± 5.25) mg/kg,较为安全.2)在三川火腿的整个加工过程中,总生物胺的质量浓度呈先上升、后平稳、再上升的趋势:新鲜三川火腿中总生物胺的质量浓度最低,为(5.84 ± 1.30) mg/kg,到腌制中后期,总生物胺的质量浓度显著增加($P < 0.05$);进入晾干期,总生物胺的质量浓度增加不显著($P > 0.05$);堆焐发酵期是生物胺累积的主要时期,堆焐发酵后期的总生物胺的质量浓度最高,为(158.08 ± 31.35) mg/kg.

关键词:

三川火腿;生物胺;
高效液相色谱法

Key words:

Sanchuan ham;
biogenic amine;
HPLC

收稿日期:2018-07-12

基金项目:国家自然科学基金项目(31460445)

作者简介:胡永金(1971—),男,云南省永胜县人,云南农业大学教授,博士,主要研究方向为食品微生物、功能性食品与生物技术.

通信作者:李世俊(1971—),男,云南省永胜县人,云南农业大学副教授,博士,主要研究方向为食品科学与工程.

Abstract: With Sanchuan ham made by traditional fermentation process as raw material, the mass concentration of 8 main biogenic amines in the curing, drying and fermentation stages of Sanchuan ham was determined by HPLC, and the change rule of biogenic amines in the processing of Sanchuan ham was studied. The results showed that: 1) a total of 7 kinds of biogenic amines were detected, which were phenethylamine, resinsamine, saprolamine, histamine, tyramine, ispermine and spermine. Tryptamine was not detected out. Among them, sapromine and spermine existed in the whole process of Sanchuan ham. The cadaverine mass concentration was the highest in 7 species, followed by spermine. The cadaverine mass concentration continued to increase during the processing of Sanchuan ham, and reached the maximum value in the late stage of fermentation, which was (69.24 ± 12.54) mg/kg, but began to decrease significantly in the late stage of fermentation. The mass concentration of spermidine and spermine were stable, and the mass concentration of spermidine was low. Phenethylamine was detected only in the middle of curing. The mass concentration of histamine was low, and the highest mass concentration was only (22.52 ± 5.25) mg/kg, which was relatively safe. 2) during the whole process of Sanchuan ham, the total biogenic amine mass concentration first increased, then stabilized and then decreased: the total biogenic amine mass concentration in fresh Sanchuan ham was the lowest, which was (5.84 ± 1.30) mg/kg, and the total biogenic amine mass concentration increased significantly in the middle and late stage of curing ($P < 0.05$). During the drying period, the increase of total biogenic amine mass concentration was not significant ($P > 0.05$). In the late stage of fermentation, the mass concentration of biogenic amine was the highest, which was (158.08 ± 31.35) mg/kg.

0 引言

三川火腿是产自云南丽江、有着 600 多年悠久历史的传统特色发酵肉制品,因其原产于丽江三川坝而得名. 长期以来,三川火腿因其色泽鲜艳、香气醇厚、风味独特、品质上乘、质地柔软而久享盛誉^[1]. 三川火腿在腌制过程中不使用硝酸盐、火硝、防腐剂等添加剂,具有低盐、低亚硝酸盐和低过氧化值等优点. 此外,三川火腿营养丰富,盐分适中,色香味俱佳,亚硝酸盐的质量浓度仅为国家一级火腿的 0.5%, 被国家食品专家称为“软性火腿”^[2]. 三川火腿的加工工艺主要是腌制、晾干和堆焐发酵^[1]. 其中,腌制工艺首先是将经检验合格的三川土著黑毛猪的鲜猪后腿放在竹筐内充分晾凉,然后分次上盐并反复用力揉搓,同时在火腿表面淋上高度白酒,反复数次,使食盐和白酒充分、均匀地渗入,最后把火腿放入腌制池内,分层堆放,15 d 左右上下翻动一次,25 ~ 30 d 便可出缸晾挂;晾干工艺是将火腿从腌肉缸内取出,首先在其表面蒙上一层白棉纸,然后上架晾挂风干,晾挂时间为

1 ~ 2 个月;堆焐发酵工艺是将晾干后的火腿(以尖部渗油为度)取下后套一个布袋,放入竹筐内用灶灰堆焐,堆焐发酵半年以上即可取出烹调食用.

生物胺 BA (biogenic amines) 是生物体内产生的一类低分子含氮有机化合物的总称^[3]. 食品中存在的生物胺主要有 8 种,包括组胺、腐胺、尸胺、酪胺、色胺、 β -苯乙胺、精胺和亚精胺^[4]. 目前,市场上大部分食品中都含有生物胺,尤其是蛋白质含量比较丰富的发酵类食品^[5]. 食品中的生物胺主要是由微生物产生的氨基酸脱羧酶促使氨基酸脱羧,以及醛或酮的转胺作用生成,而在发酵肉制品中,生物胺主要靠微生物产生的氨基酸脱羧酶促使氨基酸脱羧生成. 食品中适量的生物胺有利于人体健康,但过量的生物胺则会使人中毒,从而引起头疼、血压变化、呼吸紊乱、心悸、呕吐等不良反应,严重时甚至会导致死亡^[6].

近年来,国内外很多学者针对发酵肉制品中的生物胺进行了研究. 发酵肉制品中主要的

生物胺以色胺、苯乙胺、腐胺、组胺、尸胺、酪胺、精胺和亚精胺为主,但不同种类的发酵肉制品,其生物胺种类和质量浓度尚存在一定的差别.刘姝韵等^[7]研究发现,精胺的质量浓度在云南牛干巴的整个加工过程中都是最高的,其最大值达到 (227.05 ± 18.57) mg/kg,进入成熟期3个月时,生物胺总量达到最大值 (392.36 ± 35.59) mg/kg. P. Ikonic等^[8]研究发现,在塞尔维亚发酵香肠的成熟过程中,生物胺的质量浓度变化范围为113~332 mg/kg,并且没有检测到组胺.于长青等^[9]研究发现,香肠中芳香胺类质量浓度较高,特别是酪胺和苯乙胺.孙霞等^[10]检测发现,30种市售四川香肠中组胺的平均质量浓度最高,酪胺、尸胺和腐胺次之,亚精胺的平均质量浓度最低. G. Favaro等^[11]在发酵香肠和干腌制品中,检测到了酪胺、腐胺和尸胺. R. Monica等^[12]发现意大利涂抹式香肠中生物胺的质量浓度随腌制时间的增加而增加,而且其中质量浓度最高的是酪氨酸、腐胺和尸胺3种.生物胺的形成主要与特定的微生物有关,而不同国家(地区、组织)的地理环境、气候条件、发酵肉制品的生产条件、种类各不相同,使得发酵肉制品中微生物的区系有较大差异,从而导致生物胺的种类和质量浓度不同^[13-14].鉴于发酵肉制品中生物胺的潜在毒性,有必要对我国传统发酵肉制品中生物胺的检测和控制进行深入分析和研究.

三川火腿采用传统自然发酵而成,发酵时间长,受季节影响较大,检测和分析三川火腿中的生物胺十分迫切并具有意义.笔者前期对三川火腿理化成分和主要微生物进行了分析^[15-16],但尚未对三川火腿中生物胺的质量浓度的变化规律进行系统研究.鉴于此,本研究拟通过高效液相色谱法对三川火腿加工过程中的生物胺的质量浓度进行测定,旨在为三川火腿的品质和安全控制提供有力的科研依据,并为

其后续研究提供良好的实验基础.

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

三川火腿,选用云南省丽江市永胜县三川坝按照传统三川火腿生产工艺加工制作的同一批次的火腿,火腿原料为三川土著黑毛猪后腿.

1.2 仪器与试剂

HP-A600型电子天平,福州华志科学仪器有限公司产;Reeko AH-20型均质器,睿科仪器有限公司产;CT15RE型冷冻离心机,日本电子株式会社产;NanoLC型高效液相色谱仪,美国安捷伦公司产;Milli-Q型超纯水制备系统,德国Merck公司产.

HPLC试剂:色胺、苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺、亚精胺和精胺,均为生物胺标准品, Sigma公司产;HClO₄, NH₃·H₂O, NaOH, NaHCO₃,均为分析纯,天津市北方天医化学试剂厂产;丹磺酰氯,衍生剂, Sigma公司产.

1.3 实验方法

1.3.1 三川火腿的取样方法 三川火腿加工过程主要包括腌制期、晾干期和堆焐发酵期,其中,在腌制期取样6次(0 d, 4 d, 8 d, 12 d, 16 d, 20 d),分别由H1, H2, H3, H4, H5, H6表示;在晾干期取样2次(50 d, 80 d),分别由H7, H8表示;在堆焐发酵期每隔1个月取样1次,一共取样8次(110~320 d),分别由H9, H10, H11, H12, H13, H14, H15, H16表示.每次取样均随机抽取3个三川火腿作为实验材料,取样时选择三川火腿股二头肌(*Biceps femoris*)部分,并将样品立即放入已灭菌的自封袋中,于-80℃冰箱中储藏.

1.3.2 三川火腿加工过程中生物胺的测定方法

1.3.2.1 标准品衍生化处理与标准曲线线性方程的确定 将8种生物胺标准品,色胺、苯乙

胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺、亚精胺和精胺,均分别稀释成质量浓度为 0.025 mg/mL, 0.05 mg/mL, 0.1 mg/mL, 0.25 mg/mL, 0.50 mg/mL 和 0.1 mg/mL 的混合溶液. 取 1 mL 混合溶液, 首先加入 200 μ L 物质的量浓度为 2 mol/L 的 NaOH 溶液, 其次加入 300 μ L 饱和的 NaHCO₃ 溶液进行缓冲, 再加入 2 mL 的 Dns-Cl 溶液, 在 40 $^{\circ}$ C 黑暗环境中反应 45 min 后, 加入 100 μ L 的 NH₄OH 去除残留的 Dns-Cl 溶液, 最后加入乙腈定容至 5 mL^[17]. 衍生化处理后用 0.22 μ m 的滤膜过滤, 用于分析检测. 各浓度样品均测 5 次, 取平均值, 进而确定各标准品的标准曲线线性方程.

1.3.2.2 三川火腿样品制备与衍生化处理

取 5 g 三川火腿样品, 加入 20 mL 物质的量浓度为 0.4 mol/L 的 HClO₄, 用匀浆机匀浆后, 于 2500 r/min, 10 $^{\circ}$ C 条件下冷冻离心 10 min, 取出沉淀部分再离心. 将两次离心提取的上清液合并, 再加入物质的量浓度为 0.4 mol/L 的 HClO₄ 定容至 50 mL.

取上述上清液 1 mL 置于 5 mL 容量瓶中, 首先加入 200 μ L 物质的量浓度为 2 mol/L 的 NaOH 溶液, 使之呈碱性, 其次加入 300 μ L 饱和的 NaHCO₃ 溶液进行缓冲, 再加入 2 mL 的 Dns-Cl 溶液, 在 40 $^{\circ}$ C 黑暗中反应 45 min 后, 加入 100 μ L 的 NH₄OH 去除残留的 Dns-Cl 溶液, 最后加入乙腈定容至 5 mL. 衍生化处理后用

0.22 μ m 的滤膜过滤, 用于分析检测^[18].

1.3.2.3 色谱条件的设置 色谱柱为 ZOR 生物胺 \times Eclipse \times DB-C18 (4.6 mm \times 250 mm \times 5 μ m); 柱温 30 $^{\circ}$ C; 流动相 A 为水, 流动相 B 为乙腈; 流速 1.0 mL/min; 检测波长 254 nm; 进样量 20 μ L. 表 1 为梯度洗脱程序.

1.4 数据分析

采用 SPSS 23.0 软件进行数据处理, 所有样品均进行 3 次平行实验, 测定结果取平均值 \pm 标准差, 采用单因素方差分析方法 (ANOVA) 比较三川火腿加工过程对总生物胺的质量浓度的显著性影响, $P < 0.05$ 为影响显著, 否则为不显著.

2 结果与分析

2.1 生物胺标准曲线的线性方程

生物胺标准曲线的线性方程如表 2 所示. 由表 2 可知, 8 种生物胺标准品的峰面积与其相关浓度呈良好的线性关系, R^2 均大于 0.99.

表 1 梯度洗脱程序

Table 1 Program of gradient elution

洗脱时间 /min	流动相 A 体积分数/%	流动相 B 体积分数/%
0	40	60
5	35	65
20	0	100
24	0	100
25	40	60
30	40	60

表 2 生物胺标准曲线的线性方程

Table 2 Linear equations of biogenic amine standards

生物胺	线性范围/(mg \cdot mL ⁻¹)	线性方程	R^2
色胺	0.025 ~ 1.000	$y = 322.94x + 0.7345$	0.9999
苯乙胺	0.025 ~ 1.000	$y = 468.81x + 3.9190$	0.9993
腐胺	0.025 ~ 1.000	$y = 114.64x - 0.1031$	1.0000
尸胺	0.025 ~ 1.000	$y = 778.03x + 34.7150$	0.9852
组胺	0.025 ~ 1.000	$y = 754.12x - 2.5257$	0.9998
酪胺	0.025 ~ 1.000	$y = 679.74x + 6.3011$	0.9989
亚精胺	0.025 ~ 1.000	$y = 693.28x + 58.2400$	0.9558
精胺	0.025 ~ 1.000	$y = 109.31x + 1.1010$	0.9999

2.2 生物胺标准品的高效液相色谱图

图1为8种生物胺标准品的高效液相色谱图. 经过外标法定量,8种生物胺标准品能在25 min之内全部分离. 由此可见,该方法能较好地分析各生物胺的质量浓度.

2.3 三川火腿加工过程中生物胺的变化规律

三川火腿加工过程中生物胺的质量浓度如表3所示. 在总生物胺列的数据中,不同字母表示差异显著($P < 0.05$),ND表示为未检测到该

生物胺.

在三川火腿16组样品中共检测出7种生物胺,分别为苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺、亚精胺和精胺,未检测出色胺. 王桂瑛等^[19]通过对宣威火腿生物胺的质量浓度的检测,共发现7种生物胺,未检测出组胺,这与本研究结果稍有不同. 在新鲜火腿样品H1中,只检测出了腐胺和精胺,这与J. M. Lorenzo等^[20]的研究发现稍有不同. J. M. Lorenzo等人研究发现,在西班牙

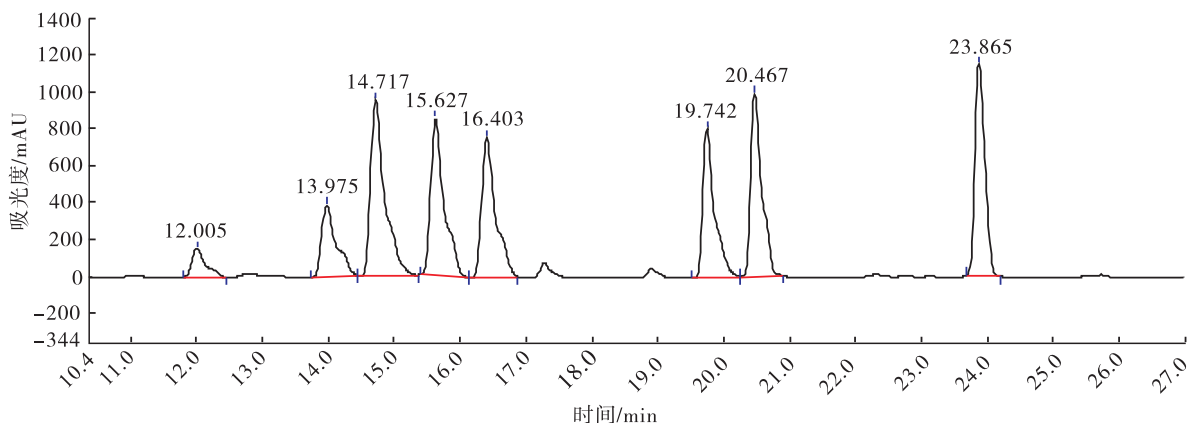


图1 生物胺标准品的高效液相色谱图

Fig. 1 The HPLC of biogenic amine standards

表3 三川火腿加工过程中生物胺的质量浓度

Fig. 3 Mass concentrations of biogenic amines in Yunnan Sanchuan hams during processing

mg/kg

样品	生物胺								总生物胺
	色胺	苯乙胺	腐胺	尸胺	组胺	酪胺	亚精胺	精胺	
H1	ND	ND	1.95 ± 0.77	ND	ND	ND	ND	3.89 ± 0.53	5.84 ± 1.30 ^a
H2	ND	ND	3.26 ± 0.42	ND	0.35 ± 0.13	ND	0.55 ± 0.15	12.22 ± 2.87	16.38 ± 3.57 ^a
H3	ND	ND	6.44 ± 1.87	9.61 ± 0.82	7.21 ± 1.42	7.82 ± 0.97	0.93 ± 0.22	11.96 ± 2.86	43.97 ± 8.16 ^b
H4	ND	9.09 ± 1.91	10.90 ± 3.82	9.95 ± 1.06	9.03 ± 1.54	12.34 ± 2.63	2.34 ± 0.74	13.25 ± 3.54	66.90 ± 15.24 ^c
H5	ND	ND	7.16 ± 1.77	12.42 ± 2.08	8.80 ± 1.83	13.74 ± 4.84	2.6 ± 0.53	23.58 ± 4.96	68.30 ± 16.01 ^c
H6	ND	ND	8.94 ± 1.93	17.90 ± 3.43	9.64 ± 2.01	16.83 ± 3.75	3.06 ± 0.85	22.27 ± 4.17	78.64 ± 16.14 ^c
H7	ND	ND	12.45 ± 2.48	24.69 ± 5.28	15.54 ± 3.14	20.45 ± 3.84	1.06 ± 0.24	18.94 ± 4.25	93.13 ± 19.23 ^d
H8	ND	ND	18.22 ± 5.02	25.34 ± 3.13	18.52 ± 4.79	24.27 ± 5.44	2.14 ± 0.46	15.74 ± 2.14	104.23 ± 21.15 ^d
H9	ND	ND	24.56 ± 5.57	32.68 ± 5.81	22.52 ± 5.25	31.52 ± 4.52	3.52 ± 0.75	23.22 ± 3.42	137.02 ± 25.32 ^e
H10	ND	ND	21.07 ± 5.84	37.41 ± 4.72	20.32 ± 4.35	34.32 ± 6.71	2.23 ± 0.68	25.44 ± 6.82	140.79 ± 29.12 ^e
H11	ND	ND	17.23 ± 3.15	37.72 ± 6.39	18.58 ± 2.74	37.73 ± 3.79	2.77 ± 0.85	29.95 ± 7.49	143.98 ± 24.41 ^e
H12	ND	ND	16.93 ± 4.11	47.5 ± 8.78	16.01 ± 3.21	29.29 ± 5.43	4.03 ± 1.15	25.58 ± 3.79	139.34 ± 26.47 ^e
H13	ND	ND	10.99 ± 2.37	41.25 ± 9.97	17.84 ± 4.88	31.03 ± 6.71	4.56 ± 0.93	25.39 ± 5.64	131.06 ± 30.50 ^e
H14	ND	ND	11.03 ± 2.14	45.71 ± 7.77	14.21 ± 2.18	24.57 ± 2.78	2.01 ± 0.52	31.42 ± 5.83	128.95 ± 21.22 ^{de}
H15	ND	ND	14.18 ± 2.52	69.24 ± 12.54	13.52 ± 3.82	19.03 ± 3.86	2.58 ± 0.36	39.53 ± 8.25	158.08 ± 31.35 ^f
H16	ND	ND	6.09 ± 1.76	41.74 ± 9.69	17.84 ± 3.59	15.75 ± 2.75	2.78 ± 0.72	28.32 ± 5.94	112.52 ± 24.45 ^d

牙传统发酵肉类产品中,新鲜肉中的主要生物胺为色氨酸和精氨酸.腐胺和精胺存在于三川火腿的整个加工过程中,已有研究表明,腐胺的存在对精胺的质量浓度有一定影响,且两者的质量浓度存在动态平衡^[21].在三川火腿的整个加工过程中,尸胺的质量浓度最高,其次是精胺,这与 F. Wei 等^[22]和 R. Virgili 等^[23]的研究发现稍有不同. F. Wei 等人研究发现,在如皋火腿后熟期(325 d)的样品中检测出 7 种生物胺,其中精胺的质量浓度最高,尸胺和腐胺次之;而 R. Virgili 等人研究发现,在意大利干腌火腿中,酪胺的质量浓度最高,精胺次之.尸胺的质量浓度在三川火腿加工过程中持续增加,在堆焐发酵后期样品 H15 中达到最大值(69.24 ± 12.54) mg/kg,但在堆焐发酵末期样品 H16 中,尸胺的质量浓度开始显著降低.在三川火腿的各个加工期,亚精胺和精胺都保持着较平稳的质量浓度变化,其中亚精胺的质量浓度一直处于较低水平.苯乙胺只在腌制中期样品 H4 中被检测出,在其余样品中均未检测出.

组胺是发酵肉类产品中重要的生物胺,其毒性在所有生物胺中最强,对人类健康具有很大的威胁.美国食品药品监督管理局 FDA(Food and Drug Administration)规定,食品中组胺的质量浓度的上限为 500 mg/kg^[24];而欧盟则规定,鲭科鱼类和其他食品中组胺的质量浓度的上限为 100 mg/kg^[25].本研究结果表明,在三川火腿的整个加工过程中,组胺的质量浓度均较低,其最大值为(22.52 ± 5.25) mg/kg,较为安全,且在新鲜火腿中未检测出组胺,这可能与在三川火腿腌制期加入了食盐有关. C. Kdh 等^[26]的研究发现,当肉制品中食盐质量分数达 3.5% ~ 5.5% 时,组胺的质量浓度会显著下降.

在三川火腿的整个加工过程中,总生物胺的质量浓度呈现先上升、后平稳、再上升的趋

势.在腌制前期(H1, H2, H3),总生物胺的质量浓度相对较少,其中新鲜火腿(H1)的生物胺的质量浓度最低,仅为(5.84 ± 1.30) mg/kg,这可能与温度、食盐添加量有关.三川火腿的腌制期是在三川坝最冷的时期,温度在 5 ℃ 左右,而低温和食盐添加量是控制生物胺产生的有效方法. M. Laranjo 等^[27]研究发现,将两种葡萄牙传统干腌香肠中的盐分从 6% 降低到 3%,总生物胺的质量浓度从 88.86 mg/kg 上升到 796.68 mg/kg,其中尸胺、组胺和酪胺的质量浓度上升尤为明显.到腌制中后期(H4, H5, H6),总生物胺的质量浓度显著增加($P < 0.05$).腌制结束进入晾干期(H7, H8)时,总生物胺的质量浓度增加不显著($P > 0.05$),这可能是由于晾干期三川火腿的水分含量下降,抑制了微生物的生长,从而间接抑制了总生物胺的质量浓度的增长.进入堆焐发酵期,总生物胺的质量浓度又显著增加($P < 0.05$),在堆焐发酵后期(H15),总生物胺的质量浓度达到最高值(158.08 ± 31.35) mg/kg.这可能与三川火腿的加工条件密切相关,堆焐发酵期的温度通常高于 15 ℃,而脱羧酶在 15 ℃ 时仍具有活性,可促进火腿中的游离氨基酸脱羧产生生物胺^[28].

3 结论

本研究以传统发酵工艺制作的三川火腿为研究对象,在三川火腿的整个加工过程中,采用高效液相色谱法共检测出 7 种生物胺,分别为苯乙胺、尸胺、腐胺、组胺、酪胺、亚精胺和精胺,未检测出色胺,且苯乙胺只在腌制中期被检出.其中,腐胺和精胺存在于三川火腿的整个加工过程中;尸胺的质量浓度在 7 种生物胺中最高,其次是精胺,尸胺的质量浓度在三川火腿加工过程中持续增加,在堆焐发酵后期达到最大值(69.24 ± 12.54) mg/kg,但在堆焐发酵末期又开始显著降低;亚精胺和精胺都保持着较平稳

的质量浓度变化,其中亚精胺的质量浓度一直处于较低水平;苯乙胺只在腌制中期被检出;组胺的质量浓度较低,最高仅为(22.52 ± 5.25) mg/kg,较为安全.在三川火腿的整个加工过程中,总生物胺的质量浓度呈先上升、后平稳、再上升的趋势:新鲜三川火腿中总生物胺的质量浓度最低,为(5.84 ± 1.30) mg/kg,到腌制中后期,总生物胺的质量浓度显著增加($P < 0.05$);进入晾干期,总生物胺的质量浓度增加不显著($P > 0.05$);堆焐发酵期是生物胺累积的主要时期,堆焐发酵后期的总生物胺的质量浓度最高,为(158.08 ± 31.35) mg/kg.

本研究有望为三川火腿的品质提高和安全控制提供依据,并为其后续研究提供一定的实验基础.采用传统加工工艺制备的三川火腿,需要采取适当的措施,如控制好发酵温湿度,选用生物胺氧化酶菌株发酵,控制好草木灰质量等,降低加工过程中生物胺的质量浓度,以提高三川火腿产品的食用安全性.

参考文献:

- [1] 章建浩. 腌腊肉制品加工技术[M]. 北京:中国农业出版社,2014.
- [2] 陈露,陈红,胡永金. 三川火腿成熟过程中主要理化性质变化的研究[J]. 食品安全质量检测学报,2016(6):2205.
- [3] 王光强,俞剑葵,胡健,等. 食品中生物胺的研究进展[J]. 食品科学,2016,37(1):269.
- [4] SHALABY A R. Significance of biogenic amines to food safety and human health [J]. Food Research International,1996,29(7):675.
- [5] SUZZI G, GARDINI F. Biogenic amines in dry fermented sausages: a review [J]. International Journal of Food Microbiology,2003,88(1):41.
- [6] 刘景,任婧,孙克杰. 食品中生物胺的安全性研究进展[J]. 食品科学,2013,34(5):322.
- [7] 刘姝韵,孙灿,王桂瑛,等. 云南牛干巴加工过程中生物胺变化规律[J]. 肉类研究,2017,31(6):7.
- [8] IKONIC P, TASIC T, PETROVIC L, et al. Proteolysis and biogenic amines formation during the ripening of Petrovskú klobása, traditional dry-fermented sausage from Northern Serbia [J]. Food Control,2013,30(1):69.
- [9] 于长青,姚笛,满永刚,等. 发酵肉制品中生物胺的危害及控制[J]. 肉类研究,2010(1):41.
- [10] 孙霞,杨勇,巩洋,等. 市售四川香肠中生物胺含量比较分析[J]. 食品发酵工业,2015,41(10):147.
- [11] FAVARO G, PASTORE P, SACCANI G, et al. Determination of biogenic amines in fresh and processed meat by ion chromatography and integrated pulsed amperometric detection on Au electrode[J]. Food Chem,2007,105(4):1652.
- [12] MONICA R, GIANFRANCO S, MARCO B, et al. Influence of packaging conditions on biogenic amines and fatty acids evolution during 15 months storage of a typical spreadable salami ('Nduja) [J]. Food Chem,2016,213:115.
- [13] 孙钦秀,董福家,陈倩,等. 肉制品中生物胺及其控制技术研究进展[J]. 食品工业,2015,36(8):216.
- [14] 王光强,俞剑葵,胡健,等. 食品中生物胺的研究进展[J]. 食品科学,2016,37(1):269.
- [15] 胡永金,陈红,薛桥丽,等. 云南三川火腿加工中微生物区系变化规律研究[J]. 轻工学报,2017,32(5):8.
- [16] 李泽众,陈红,李世俊,等. 云南三川火腿加工过程中的理化性质变化[J]. 肉类研究,2017,31(11):1.
- [17] 李蕊婷,卢士玲,李开雄,等. 新疆熏马肠中产氨基酸脱羧酶优势细菌的分离及鉴定[J]. 现代食品科技,2014(9):85.
- [18] 张雅晴,李蕊婷,卢士玲,等. 两株肠杆菌对熏马肠中生物胺的交互作用[J]. 中国食品学

- 报,2017,17(2):182.
- [19] 王桂瑛,殷红,曹锦轩,等. 宣威火腿加工过程中生物胺变化规律[J]. 食品与发酵工业,2012,38(4):192.
- [20] LORENZO J M, MARTÍNEZ S, FRANCO I, et al. Biogenic amine content during the manufacture of dry-cured lacón, a Spanish traditional meat product: effect of some additives[J]. *Meat Science*,2007,77(2):287.
- [21] HALÁSZ A, ÁGNES R, SIMON-SARKADI L, et al. Biogenic amines and their production by microorganisms in food[J]. *Trends in Food Science & Technology*,2015,5(94):42.
- [22] WEI F, XU X, ZHOU G, et al. Irradiated Chinese Rugao ham: changes in volatile N-nitrosamine, biogenic amine and residual nitrite during ripening and post-ripening[J]. *Meat Science*,2009,81(3):451.
- [23] VIRGILI R, SACCANI G, GAB L, et al. Changes of free amino acids and biogenic amines during extended ageing of Italian dry-cured ham[J]. *LWT- Food Science and Technology*,2007,40(5):871.
- [24] KALAC P. Biologically active polyamines in beef, pork and meat products: a review [J]. *Meat Sci*,2006,73(1):1.
- [25] European Communities Committee. Microbiological criteria for foodstuffs: 2073/2005/EC [S]. Brussels: Official Journal of the European Union,2005:12.
- [26] KDH C, KOEHLER P E. Effect of salt concentration and incubation temperature on formation of histamine, phenethylamine, tryptamine and tyramine during miso fermentation [J]. *Journal of Food Protection*,1986,49(6):423.
- [27] LARANJO M, GOMES A, AGULHEIRO-SANTOS A C, et al. Impact of salt reduction on biogenic amines, fatty acids, microbiota, texture and sensory profile in traditional blood dry-cured sausages[J]. *Food Chemistry*,2017(218):129.
- [28] BOVER-CID S, HUGAS M, IZQUIERDO-PULIDO M, et al. Amino acid-decarboxylase activity of bacteria isolated from fermented pork sausages [J]. *International Journal of Food Microbiology*,2001,66(3):185.