

控温控湿对西式发酵火腿理化性质及风味物质的影响

Effects of temperature and humidity control on physical and chemical properties and flavor of fermented ham

刘鑫¹ 朴春香¹ 李敏¹ 刘东敏² 李官浩²

LIU Xin¹ PIAO Chun-xiang¹ LI Min¹ LIU Dong-min² LI Guan-hao²

(1. 得利斯集团有限公司, 山东 潍坊 262200; 2. 延边大学食品研究中心, 吉林 延吉 133000)

(1. Delis Group Limited Company, Weifang, Shandong 262200, China;

2. Food Research Center of Yanbian University, Yanji, Jilin 133000, China)

摘要:以猪后腿为原料,在控温、控湿条件下发酵火腿。研究控温控湿技术对发酵火腿水分、pH、颜色、灰分、食盐、总蛋白质等理化指标及风味物质的影响。结果表明:经过控温控湿发酵的火腿水分质量分数为50.16%,显著高于对照组($P<0.05$);相较于对照组火腿控温控湿组火腿颜色偏亮偏红;控温控湿组食盐质量分数为11.17%,显著高于对照组($P<0.05$),降低了6%;发酵5个月时蛋白质质量分数为32.12%,显著高于对照组($P<0.05$),蛋白质质量分数高有利于火腿风味物质的形成;主成分分析结果显示经过控温控湿发酵的火腿与对照火腿具有良好区分度;气相色谱—质谱联用结果表明控温控湿组火腿己醛、壬醛、庚醛、1-辛烯-3-醇、2-庚酮等化合物质量分数均高于对照组,香气更加浓郁。说明控温控湿有利于火腿整体发酵。

关键词:发酵火腿;控温;控湿;理化变化;风味物质

Abstract: Using pig hind legs as raw material, ham was fermented under temperature and humidity control conditions. Study the effects of temperature and humidity control technology on the moisture content, pH, color, ash content, salt content, total protein content and other physical and chemical indicators and flavor substances of fermented ham. Results: the moisture content of the ham after temperature and humidity control fermentation was 50.16%, which was significantly higher than that

of the control group ($P<0.05$); compared with the control group ham, the temperature and humidity control group ham color was brighter and redder; The salt mass fraction of the humidity control group was 11.17%, which was significantly lower than that of the control group ($P<0.05$), a decrease of 6%; The protein mass fraction at 5 months of fermentation was 32.12%, which was significantly higher than the control group ($P<0.05$); While the high protein content was conducive to the formation of ham flavor substances; the results of principal component analysis show that the temperature and humidity control fermented ham had the good discrimination from the control ham; The gas chromatography-mass spectrometry results showed that the temperature and humidity control group. The contents of compounds such as hexanal, nonanal, heptanal, 1-octen-3-ol, and 2-heptanone were higher than those of the control ham, and the aroma was stronger than that of the control ham. It is showed that controlling temperature and humidity is beneficial to the overall fermentation of ham.

Keywords: fermented ham; temperature control; humidity control; physical and chemical changes; flavor substance

发酵火腿是以猪后腿为原料,经长期的发酵成熟,形成的一种具有独特风味的发酵肉制品。传统的火腿加工一般从冬季开始加工,在自然条件下风干、发酵成熟。冬季低温能抑制微生物生长繁殖;春季温度回升,利于火腿风干,增强微生物的抑制作用;夏季温度较高,有利于火腿的成熟,火腿风味物质增加^[1]。整个过程受自然因素制约,而且加工时间长,卫生质量存在隐患。而现代的发酵工艺加工火腿,在不同时期采用不同的发酵温度和湿度,有利于其风味的形成并能抑制有害微生物的生长繁殖。如:在火腿上盐阶段,维持低温高湿环境,有利于食

基金项目:国家“十三五”重点研发计划课题(编号:2018YFD0401202)

作者简介:刘鑫,男,延边大学在读硕士研究生。

通信作者:李敏(1982—),女,得利斯集团有限公司高级工程师,硕士。E-mail:13562680705@163.com
朴春香(1979—),女,延边大学讲师,博士。
E-mail:cxpiao@ybu.edu.cn

收稿日期:2020-11-03

盐渗透,防止微生物过度繁殖,避免火腿发酵前期腐败^[23]¹¹;在火腿加工后期,升高温度湿度,组织蛋白酶 B 活性增高,加快肌肉中氨基酸的分解,有利于火腿风味的形成^[3]。在中国,目前控温控湿技术已被应用于金华火腿加工^[4-5],但该技术应用于西式火腿发酵的研究还鲜有报道。将控温控湿新技术运用火腿生产,能够大幅提高产量且干净卫生,但制品口感风味与传统工艺发酵的火腿存在一定差异。目前中国对于西式发酵火腿控温控湿与传统发酵的火腿产品品质比较研究甚少,如何运用合理控温控湿技术生产西式发酵火腿使其具有与传统发酵火腿同样优良甚至风味更优的火腿,是目前大型西式火腿加工企业亟待解决的问题。

试验拟采用控温控湿技术发酵西式火腿,并对发酵过程中的理化变化及风味物质的差异进行研究,以期实现控温控湿技术在西式火腿加工中的应用。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

猪后腿肉:山东省潍坊市得利斯同路食品有限公司;
硫酸溶液、硝酸银溶液:分析纯,国家标准物质中心;
硫酸钾、三氯乙酸、铬酸钾:分析纯,科密欧化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

水分活度仪:LabMASTER-aw 型,瑞士 NOVASINA 公司;

电子天平:YP302N 型,上海菁海仪器有限公司;
凯式定氮仪:FOSS8200 型,福斯分析仪器公司;
箱式电阻炉: SX2-4-10 型,山东省龙口市先科仪器公司;
电子鼻: PEN3 型,德国 Airsense 公司;

气相色谱-质谱联用仪: QP2010 Plus 型,日本岛津公司;

萃取纤维: 65 μm PDMS/DVB 型,美国 Supelco 公司。

1.2 方法

1.2.1 样品制备

(1) 工艺流程:

原料预处理(冷却排酸,需确保排酸 24 h 后猪腿中心温度在 4.6~5.0 $^{\circ}\text{C}$)→一次上盐(温度 2~3 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 80%~85%)→二次上盐(2~3 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度调整至 70%~80%)→去盐→预腌制(温度 3~5 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 60%~75%)→腌制(温度 3~5 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 65%~80%)→清洗、修整及风干(温度 24~14 $^{\circ}\text{C}$)→熟化→包装→入库

(2) 分组及取样:试验分为 2 组,每组 12 条火腿,对照组(CK),控温控湿组(TH),从熟化期开始对对照组置于常温库[(20 $\pm$ 5) $^{\circ}\text{C}$]进行自然发酵,控温控湿组采用表 1 的温度湿度进行发酵。对照组和控温控湿组火腿取样分

别于 4 个主要工艺步骤进行取样。火腿发酵第 1 个月时在其表面涂抹猪油,防止水分流失及产品过度氧化。样品取出后搅碎真空包装,-20 $^{\circ}\text{C}$ 下保存。

根据帕尔玛火腿加工工艺^[6]及得利斯实际生产加工工艺,设置如下温湿度参数。具体温湿度参数详见表 1。

表 1 控温控湿组火腿加工过程中温度湿度参数及取样工艺点

Table 1 Temperature and humidity parameters and sampling process points of ham in the temperature-controlled humidity control group during the processing

工艺阶段	取样工艺点	加工时间/d	温度/ $^{\circ}\text{C}$	湿度/%
1	发酵第 1 个月	160	13~15	75~80
2	发酵第 2 个月	190	18	75~93
3	发酵第 4 个月	250	13~15	70~93
4	发酵第 5 个月	280	13~15	85~93

1.2.2 水分的测定 按 GB 5009.3—2016 的直接干燥法执行。

1.2.3 pH 的测定 参照文献^[7]。

1.2.4 颜色的测定 采用便携式色差计。肉色用亮度(L^* 值)、红度(a^* 值)、黄度(b^* 值)表示。

1.2.5 灰分的测定 按 GB 5009.4—2016 的第一法执行。

1.2.6 食盐的测定 按 GB 5009.44—2019 的第三法(银量法)执行。

1.2.7 总蛋白质的测定 称取绞碎样品 0.5 g 于消化管中,加入硫酸镁 0.2 g、硫酸钾 6 g 和 98% 浓硫酸 12 mL,置于加热炉上,从 140 $^{\circ}\text{C}$ 升温,每隔 1 h 升温 100 $^{\circ}\text{C}$ 直至升温至 440 $^{\circ}\text{C}$ 下消化 4 h 以上,室温冷却后用全自动凯氏定氮仪测定。

1.2.8 电子鼻分析 取 5 g 样品置于样品瓶中,密封。测试前平衡气体 30 min,以干燥空气为载气,气体流速 400 mL/min,清洗时间 240 s,测试时间 100 s,准备时间 10 s,测试温度 25 $^{\circ}\text{C}$ 。采集样品气味数据。

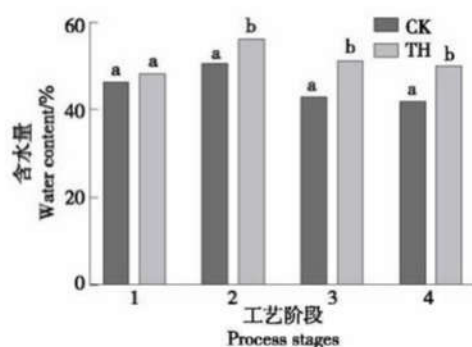
1.2.9 挥发性风味物质分析 参照文献^[8]。

1.2.10 数据统计与分析 所有试验重复 3 次,使用 Excel 软件进行数据统计整理,结果用 SPSS 软件进行统计分析,采用 Prism8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 对发酵火腿水分的影响

如图 1 所示,对照组和控温控湿组在发酵过程中水分变化趋势一致,均随着发酵时间的延长先升高后降低,在发酵第 2 个月达到最大值,分别为 50.79% 和 56.53%。火腿在发酵期间,食盐不断渗透导致水分流失,当涂抹猪油时,表面水分不易蒸发,水分含量升高。发酵第 5 个月时对照组与控温控湿组水分质量分数分别为 42.25% 和



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图1 加工过程中火腿水分质量分数的变化

Figure 1 Changes in water content of ham during processing

50.16%, 存在显著差异 ($P < 0.05$)。水分质量分数变化趋势与大多数发酵肉制品水分质量分数的变化趋势一致^[9]。Giovannelli 等^[10]研究了3种意大利火腿发酵时的变化, 发现在发酵过程中水分质量分数剧烈下降原因之一是盐的渗透作用。试验通过控温控湿技术能够改变食盐渗透速率, 进而改变两组火腿水分质量分数, 促进火腿发酵, 提高产品品质。

2.2 对发酵火腿 pH 值的影响

由图2可知, 加工过程中火腿处在偏酸性环境, 随着发酵时间的延长, 对照组和控温控湿组 pH 值均呈上升趋势。火腿 pH 值上升与微生物代谢产生酸性的代谢产物以及蛋白质和脂肪的分解有关^[11-12]。这种偏酸环境能抑制有害微生物的生长繁殖, 促进发酵火腿风味品质的形成^[13]。发酵第1个月, 对照组和控温控湿组 pH 值分别为 3.96 和 3.85; 发酵第5个月, 对照组和控温控湿组的 pH 值分别达到 4.40 和 4.21, 控温控湿组 pH 值低于对照组, 说明控温控湿组的蛋白质和脂肪分解速率高, 这更有利于火腿风味物质的形成。

2.3 对发酵火腿颜色的影响

由图3可知, 对照组和控温控湿组火腿在发酵过程

小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图2 加工过程中火腿 pH 的变化

Figure 2 Changes in pH of ham during processing

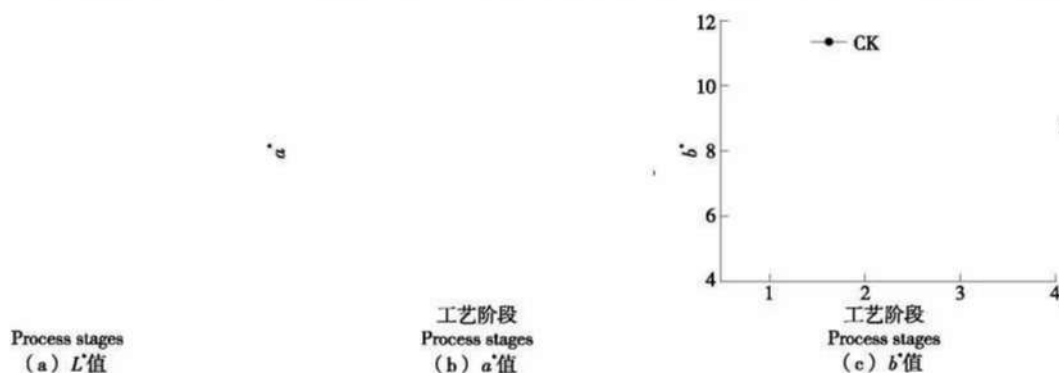
中 L^* 值逐渐降低, a^* 值、 b^* 值逐渐升高。控温控湿组火腿相较于对照组火腿偏亮、偏红。火腿在发酵第2个月时进入高温发酵阶段, 蛋白质降解速率增加, 其颜色变化主要由肌肉纤维中的亚硝酰基肌红蛋白累积引起, 积累量越高火腿颜色越红^[14]。此外肌肉中食盐质量分数、水分质量分数差异都会导致颜色差异, 水分质量分数越高肌肉颜色越亮, 这也许是控温控湿组 L^* 值高于对照组的原因。经过控温控湿可以显著提高火腿的颜色, 使感官品质得到提升。

2.4 对发酵火腿食盐的影响

由图4可知, 控温控湿组食盐质量分数均低于对照组, 发酵末期控温控湿组食盐质量分数与对照组相比显著降低 ($P < 0.05$), 降低了 6.00%。说明控温控湿处理可以有效降低含盐量, 提高产品品质。有研究^[15]表明, 火腿食盐质量分数在 10%~13% 时, 火腿香味物质随发酵时间的延长逐渐增加。试验过程中, 发酵5个月时对照组食盐质量分数为 11.17%, 控温控湿组食盐质量分数为 10.5%, 与上述研究结果相符。

2.5 对发酵火腿灰分的影响

发酵过程中由于食盐渗透, 火腿水分流失, 无机盐含量不断升高。因此, 火腿在发酵期间灰分质量分数呈上



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图3 火腿加工过程中颜色的变化

Figure 3 Change of color of ham during processing

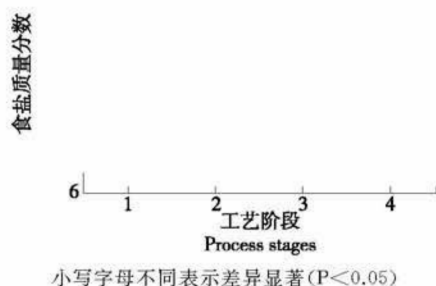


图 4 火腿加工过程中食盐质量分数的变化

Figure 4 Changes of salt content in ham during processing

升趋势(图 5),发酵第 5 个月时对照组灰分质量分数达到 13.56%,而控温控湿组灰分质量分数为 12.51%。火腿中的灰分质量分数可以作为判断其食盐质量分数、蛋白质降解和脂肪氧化程度的指标之一^[15]。蛋白质降解和脂肪氧化产生次级产物都会使灰分质量分数不断增加^[16]。由于控温控湿组食盐质量分数低于对照组,因此可以推测控温控湿条件下加工的火腿,氧化程度较低,可以防止火腿因过度氧化而产生不良风味,间接证明了火腿在控温控湿的条件下,品质得到更好提升。

2.6 对发酵火腿蛋白质的影响

由图 6 可知,对照组和控温控湿组火腿蛋白质质量分数先升高,在发酵第 2 个月时达到峰值,之后蛋白质质量分数呈降低趋势,在发酵第 5 个月时控温控湿组和对照组蛋白质质量分数差异显著($P < 0.05$),分别为 32.12%,28.50%。发酵前期,火腿水分质量分数的减少和食盐的渗透使得其干基蛋白质质量分数增加,但是随着发酵时间的延长,发酵温度上升,使组织蛋白酶和氨肽酶的活性增加,加快了蛋白质降解,形成小分子多肽和多种游离氨基酸,这是形成火腿特殊风味的重要过程^[17]。Zhou 等^[8]对金华火腿加工过程中蛋白质降解规律的研究发现相似结果:与传统加工的火腿相比,现代加工的火腿

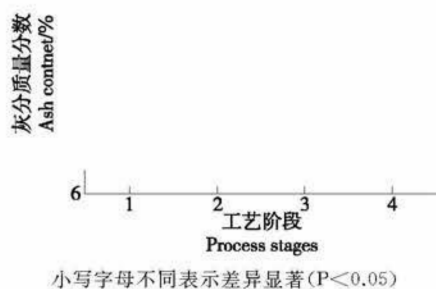


图 5 火腿加工过程中灰分质量分数的变化

Figure 5 Changes of ash content in ham during processing

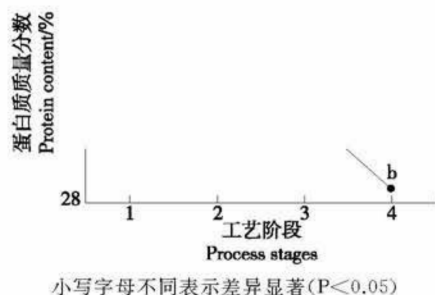


图 6 火腿加工过程中蛋白质质量分数的变化

Figure 6 Changes in protein content of ham during processing

腿在成熟后的火腿中组织蛋白酶 B 活性的值是传统加工火腿的 2 倍,这可能有助于现代加工火腿的肌肉蛋白质的广泛降解。试验中控温控湿组蛋白质质量分数高于对照组,有利于火腿风味的形成。

2.7 电子鼻分析

对发酵第 5 个月的火腿进行电子鼻分析。由图 7 可知,第一主成分贡献率占 75.76%,第二主成分贡献率占 23.55%。二者之和达到 99.31%,表明这两个主成分基本可以代表分析样品所有信息,可以用来表征所选择的两组火腿样品^[18]。从图 7 中还可以看出,控温控湿组的火腿样品与对照组的火腿样品距离较远且无重叠部分,区分度良好,表明电子鼻可以区分常温条件下发酵的火腿和控温控湿条件下发酵的火腿。由于湿度和温度不同,控温控湿组比对照组 pH 低,导致火腿表面及内部微生物群落产生差异,两组火腿的微生物产生蛋白酶、脂肪酶的量不同。蛋白质在蛋白酶作用下经 Strecker 降解产生游离氨基酸;脂肪酶将肌内脂肪氧化形成游离脂肪酸,进一步水解形成挥发性风味物质。温度和湿度不同,导致两组火腿挥发性风味物质不相同,因此在电子鼻检测中,两种条件发酵的火腿特征性风味化合物不同,可以被有效区分。

2.8 挥发性风味物质分析

由表 2 可知,对照组和控温控湿组共鉴定出 17 种

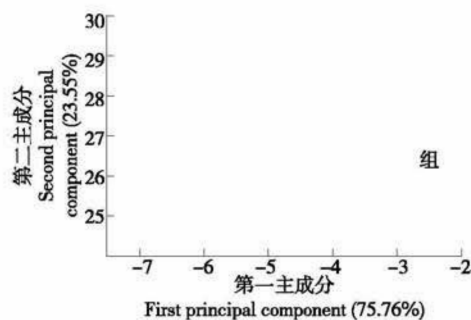


图 7 发酵第 5 个月火腿主成分分析图

Figure 7 Principal component analysis of ham at the 5th month of fermentation

表2 发酵第5个月火腿挥发性成分及相对质量分数

Table 2 Volatile components and relative contents of ham at the 5th month of fermentation

类别	保留时间/min	相似度	保留指数	化合物名称	相对质量分数/%	
					CK	TH
醛	2.72	88	707	戊醛	0.53	0.89
	2.93	80	643	异戊醛	1.28	—
	5.94	98	806	己醛	38.91	42.13
	12.79	97	905	庚醛	1.99	2.12
	15.97	96	913	(Z)-2-庚醛	0.63	1.37
	16.10	91	982	苯甲醛	1.02	0.84
	18.27	95	1 005	辛醛	3.52	2.79
	19.98	95	1 081	苯乙醛	0.54	0.58
	20.61	92	1 013	(E)-2-辛醛	0.41	0.87
	22.42	96	1 104	壬醛	3.62	3.82
	24.39	95	1 112	(E)-壬烯醛	0.99	0.31
	25.96	92	1 204	癸醛	0.63	0.72
	26.29	95	1 120	2,4-壬二醛	1.07	0.36
	27.76	94	1 212	(Z)-2-癸烯醛	0.97	0.39
	28.76	90	1 220	(E,E)-2,4-癸烯醛	0.47	—
	29.48	95	1 220	2,4-癸二烯醛	0.90	0.34
	42.12	96	1 601	肉豆蔻醛	0.62	—
醇	3.14	95	409	二甲基硅烷二醇	—	1.64
	4.70	95	761	戊醇	1.17	2.10
	10.66	95	860	正己醇	0.86	1.01
	16.82	94	960	庚醇	0.55	0.55
	17.25	98	969	1-辛烯-3-醇	6.02	6.36
	20.67	88	1 104	己酸甲硫醇	1.67	—
	21.03	90	1 067	(E)-2-辛烯-1-醇	—	1.07
	21.12	92	1 059	正辛醇	1.35	1.14
	22.02	81	1 068	1-壬-4-醇	3.60	—
	33.83	97	1 457	十二醇	3.02	—
酯	18.10	87	984	己酸乙酯	2.05	1.76
	21.39	83	992	反式-2-己烯基乙酸酯	0.32	0.47
	25.60	95	1 183	辛酸乙酯	0.95	0.41
	43.82	97	1 878	十六酸甲酯	0.39	—
酮	11.94	83	853	2-庚酮	0.73	1.09
	17.01	93	943	1-辛烯-3-酮	—	0.40
	21.89	95	1 052	2-壬酮	0.47	—
	37.96	76	1 890	1,6-二氧环十二烷-7,12-二酮	0.68	—
烷	17.49	93	703	2,2,3,4-四甲基戊烷	9.90	16.17
	19.16	94	1 045	2,2,4,4-四甲基辛烷	0.86	0.89
	21.20	91	818	戊基环丙烷	0.70	—
	21.58	82	1 516	2-乙酰氧基十二烷	—	0.46
	22.22	98	1 115	十一烷	1.12	1.38
	24.73	97	1 150	3-甲基十一烷	—	0.42
	25.73	98	1 313	十三烷	4.71	4.16
	20.04	82	1 525	(2-甲基辛基)苯	0.42	—
其他	20.66	91	0	5-氨基-2-甲基-2H-四唑	—	0.99
	22.92	94	1 153	2,3-二氯甲苯	0.36	—

醛、10 种醇、4 种酯、4 种酮、7 种烷、3 种其他类, 共计 45 种挥发性风味化合物。

2.8.1 醛类化合物 醛类化合物是脂质氧化的主要副产物。醛类化合物中, 质量分数最高的是己醛、壬醛、辛醛、庚醛己醛。对照组己醛质量分数 38.91%, 控温控湿组己醛质量分数为 42.13%, 降低了 7.64%。醛类化合物通常表现为水果香味且阈值相对较低, 对整体香味的贡献较大^[19]。己醛、壬醛、辛醛等来源于 *n*-6 脂肪酸等不饱和脂肪酸的氧化, 不饱和脂肪酸进一步降解, 形成短链醛。其中己醛在许多干腌肉制品中都是比较重要的挥发性化合物^[20]。而支链醛主要来源于氨基酸的 Strecker 降解, 如苯甲醛、苯乙醛等, 其中苯乙醛是苯丙氨酸降解的一个标志性产物^[21], 控温控湿组的苯乙醛质量分数高于对照组, 说明控温控湿组蛋白质降解程度较大, 对风味的形成有利。在火腿发酵过程中醛类物质是一个积累的过程, 随着脂肪不断分解以及游离氨基酸的增加, 醛类物质也逐渐升高。醛类化合物主要是脂质降解以及亮氨酸与异亮氨酸 Strecker 降解生成的^[21]。

2.8.2 醇类、酯类化合物 醇类化合物阈值较高, 因而对风味的贡献度不高。1-辛烯-3-醇又称蘑菇醇, 具有蘑菇香味是主要的醇类化合物, 其阈值相对不高。发酵 5 个月火腿对照组中 1-辛烯-3-醇质量分数为 6.02%, 控温控湿组的为 6.36%。1-辛烯-3-醇通常是肉制品最丰富的醇类, 在 Iberico 干腌火腿中较为常见^[22]。正辛醇来自油酸氧化, 具有脂香和蜡香, 直链伯醇风味香气随着碳链增长, 香气增加, 呈正比关系^[23]。控温控湿组正辛醇质量分数 1.14% 略低于对照组, 但无明显统计学差异。对照组 1-壬-4-醇和十二醇质量分数分别为 3.6% 和 3.02%, 而在控温控湿组未检出, 但由于二者阈值高, 因此对整体风味贡献率较小。

酯类化合物由酸和醇酯化形成^[24], 己酸乙酯和辛酸乙酯都具有水果香气, 通常在葡萄酒中比较常见, 作为发酵葡萄酒中的特征性风味化合物, 对酒体香气有突出贡献^[25]。

2.8.3 酮类、烷烃类化合物 酮类化合物一般具有奶香或果香味, 是火腿香气的重要组成部分, 2-庚酮主要由亚油酸分解得到, 是肉类发酵后期的主要挥发性化合物, 在 Isrrian 火腿中也是主要的挥发性化合物^[26]。在控温控湿条件下发酵的火腿 2-庚酮质量分数为 1.09%, 高于对照组, 也证明在控温控湿条件下发酵的火腿滋味更浓烈一些。不饱和酮类化合物是植物油脂味的主要来源, 1-辛烯-3-酮氧化形成 1-辛烯-3-醇, 控温控湿组中 1-辛烯-3-酮质量分数为 0.4%, 随着发酵时间的延长, 可进一步反应形成 1-辛烯-3-醇。2-庚酮和 1-辛烯-3-酮质量分数均可以反映控温控湿组火腿挥发性香气优于对照组火腿。

烷烃类的阈值普遍较高, 对香气的贡献率较小, 一般不作为火腿特征性挥发性化合物, 因此十三烷虽然在对照组和控温控湿组的质量分数均不低, 但对整体香气贡

献率不高。

综上, 控温控湿组火腿己醛、壬醛、庚醛、1-辛烯-3-醇、2-庚酮等化合物质量分数均高于对照组火腿的, 香气比对照组火腿更加浓郁。此外, 这些挥发性化合物气味活性阈值较小, 对火腿整体香气的贡献率较大。因此, 可以证明采用控温控湿技术发酵火腿, 在风味上优于正常条件下发酵的火腿, 两组不同加工工艺发酵的火腿能够被区分开, 与电子鼻分析结果一致。

3 结论

通过控温控湿技术能够有效提高发酵火腿的水分质量分数, 降低火腿发酵过程中的 pH 值, 抑制有害微生物的生长繁殖; 降低火腿的食盐质量分数, 更加符合现代人对低盐健康的需求, 同时节约生产成本。此外, 控温控湿技术还提高火腿的色泽以及蛋白质质量分数, 使产品品质得到提升。通过控温控湿的合理应用, 使火腿有益微生物得到良好发展, 在高温熟化阶段, 蛋白酶活性增强, 因此在发酵第 2 个月时蛋白质质量分数最高, 随后蛋白质在蛋白酶作用下分解速率增加, 获得多种氨基酸, 滋味得到改善。主成分分析显示控温控湿条件下发酵的火腿与正常条件发酵的火腿有良好的区分度。气相色谱质谱联用分析表明通过控温控湿条件下发酵火腿的己醛、壬醛、庚醛、1-辛烯-3-醇、2-庚酮等特征性风味化合物质量分数高于对照组, 气味更浓郁。后续可进一步探究控温控湿条件下对火腿脂质代谢与风味形成机制, 以期进一步提高发酵火腿产品质量。

参考文献

- [1] 赵冰, 张顺亮, 李素, 等. 不同等级金华火腿挥发性风味物质分析[J]. 肉类研究, 2014, 28(9): 7-12.
- [2] 曾毅. 金华火腿滚揉腌制工艺研究及对风味品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- [3] ZHOU Chang-yu, WU Ju-qing, TANG Chang-bo, et al. Comparing the proteomic profile of proteins and the sensory characteristics in Jinhua ham with different processing procedures[J]. Food Control, 2019, 106: 106694.
- [4] 竺尚武. 新工艺与传统工艺金华火腿的比较研究[J]. 肉类工业, 1996(8): 33-35.
- [5] 陈松, 张春晖, 冯月荣. 低盐金华火腿控温控湿新工艺的研究[J]. 肉类工业, 2006(3): 28-30.
- [6] BOLZONI L, BARBIERI G, VIRGILI R. Changes in volatile compounds of Parma ham during maturation[J]. Meat Science, 1996, 43(3/4): 301-310.
- [7] ALINO M, GRAU R, TOLDRA F, et al. Physicochemical changes in dry-cured hams salted with potassium, calcium and magnesium chloride as a partial replacement for sodium chloride[J]. Meat Science, 2010, 86(2): 331-336.
- [8] 侯婷婷, 南京熙, 林墨, 等. 延边黄牛肉挥发性风味物质[J]. 食品与机械, 2018, 34(8): 45-47, 114.
- [9] 侯婷婷, 刘鑫, 田学宗, 等. 火腿风味的低钠发酵肉制品

- 质及风味研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 185-189.
- [10] GIOVANELLI G, BURATTI S, LAUREATI M, et al. Evolution of physicochemical, morphological and aromatic characteristics of Italian PDO dry-cured hams during processing[J]. *European Food Research & Technology*, 2016, 242(7): 1117-1127.
- [11] 董盛月, 梁锋, 赵一楠, 等. 块状火腿生产过程中的菌相及理化变化[J]. 食品科学, 2009, 30(19): 96-99.
- [12] MARTIN L, ANTEQUERA T, VENTANAS J, et al. Free amino acids and other non-volatile compounds formed during processing of Iberian ham[J]. *Meat Science*, 2001, 59(4): 363-368.
- [13] 耿翠竹, 季鑫, 王海滨, 等. 宣恩火腿加工过程中理化指标变化的分析[J]. 肉类研究, 2017, 31(2): 11-15.
- [14] WAKAMATSU J I, AKTER M, HONMA F, et al. Optimal pH of zinc protoporphyrin IX formation in porcine muscles: Effects of muscle fiber type and myoglobin content[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 101: 599-606.
- [15] 张静静, 刘桂芹, 魏子翔, 等. 干腌驴肉火腿加工过程中理化特性的动态变化[J]. 现代食品科技, 2020, 36(4): 228-234.
- [16] UTRERA M, ARMENTEROS M, VENTANAS S, et al. Pre-freezing raw hams affects quality traits in cooked hams: Potential influence of protein oxidation[J]. *Meat Science*, 2012, 92(4): 596-603.
- [17] 马艳梅. 羊肉火腿中蛋白质的变化规律及对其品质的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2014: 24-28.
- [18] 朱继梅, 杨培强, 邓云. 宣威火腿在贮藏过程中风味和质构变化[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2019, 37(3): 55-60.
- [19] 顾赛麒, 王锡昌, 陶宁萍, 等. 顶空固相微萃取—气质联用及电子鼻技术检测中华绒螯蟹不同可食部位中的香气成分[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 239-244.
- [20] RAMÍREZ R, CAVA R. Volatile profiles of dry-cured meat products from three different Iberian x Duroc genotypes[J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(5): 1923-1931.
- [21] DENG Yun, LUO Ya-li. Effect of different drying methods on the myosin structure, amino acid composition, protein digestibility and volatile profile of squid fillets[J]. *Food Chemistry*, 2015, 171: 168-176.
- [22] LIU Huan, HUANG Jun-long, HU Qing-kun, et al. Dual-fiber solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry for the analysis of volatile compounds in traditional Chinese dry-cured ham[J]. *Journal of Chromatography B*, 2020, 1140: 121994.
- [23] MÓNICA F, GRIMM C C, FIDEL T, et al. Correlations of sensory and volatile compounds of spanish “Serrano” dry-cured ham as a function of two processing times[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997, 45(6): 1-7.
- [24] 王勇勤, 郭新, 黄笠原, 等. 基于电子鼻和气相色谱—质谱联用技术分析不同贮藏时间羊肉火腿香气成分[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 215-221.
- [25] RUIZ-MORENO M J, MUOZ-REDONDO J M, CUEVAS F J, et al. The influence of pre-fermentative maceration and ageing factors on ester profile and marker determination of Pedro Ximenez sparkling wines[J]. *Food Chemistry*, 2017, 230: 697-704.
- [26] WHITFIELD F B, MOTTRAM D S. Volatiles from interactions of Maillard reactions and lipids[J]. *C R C Critical Reviews in Food Technology*, 1992, 31(1): 1-58.
- (上接第28页)
- [15] 赖毅东, 宁正祥. 固相微萃取技术及其在食品挥发性物质分析中的应用[J]. 食品与机械, 2002, 18(5): 36-38.
- [16] 温海洋, 江东南, 黄佳佳, 等. 香蕉果酒香气成分的GC-MS分析[J]. 酿酒科技, 2012(2): 97-99.
- [17] 郭先霞, 张继翔, 黄桂玲, 等. 三华李香蕉复合果酒发酵工艺优化及香气成分分析[J]. 酿酒科技, 2017(8): 91-97.
- [18] LI Xi-teng. Study on production of strawberry vinegar by immobilization technology[J]. *China Condiment*, 2010, 35(6): 54-56.
- [19] JIN Xin, BAI Long-lv, PIAO Wen-xiang. The research progress of preparation of fruit vinegar with immobilized micro-organism fermentation technique [J]. *Science and Technology Innovation Herald*, 2016, 13(21): 38-40.
- [20] 杨继红, 王华. 美国大杏仁烘烤和贮存过程中的香气成分分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(12): 210-214.
- [21] 黄璐. 固相微萃取技术应用于中药材中有机氯农药残留的研究[D]. 武汉: 湖北中医学院, 2009: 12-20.
- [22] 韦璐, 杨昌鹏, 孙钦菊, 等. 香蕉果酒低温发酵过程中挥发性香气成分的变化[J]. 食品工业科技, 2020, 41(18): 231-238.
- [23] 郝红梅, 张生万, 郭彩霞, 等. 顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用法分析山楂果醋易挥发成分[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 138-141.
- [24] 段珍珍, 袁敏, 常荣, 等. 有机酸及挥发性香气在枇杷醋加工中的变化及其对品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(12): 114-123.
- [25] 张文灿, 林莹, 刘小玲, 等. 香蕉全果果汁香气成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(3): 133-140.
- [26] 李军鹏, 付彩霞, 王应喜, 等. 蜜柑果醋的风味物质成分分析[J]. 中国酿造, 2015, 34(11): 149-152.
- [27] 韩瑁垣, 田洪磊, 詹萍, 等. 不同菌种发酵对海棠果果醋风味品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(6): 108-113.
- [28] 苗爱清, 吕海鹏, 孙世利, 等. 乌龙茶香气的 HS-SPME-GC-MS/GC-O 研究[J]. 茶叶科学, 2010, 30(增刊): 583-587.
- [29] RAPP A. Volatile flavour of wine: Correlation between instrumental analysis and sensory perception[J]. *Nahrung*, 1998, 42(6): 351-363.
- [30] 桂青. 山西老陈醋酿造过程中主要成分变化规律的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013: 33-35.