

不同类型烟熏香精对西式培根风味的影响

王琼^{1,2}, 李聪², 高磊峰², 徐宝才^{2,3}, 于海¹

(1.扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225009) (2.雨润肉品加工与质量控制国家重点实验室, 江苏南京 211806) (3.江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心, 江苏南京 210095)

摘要:为研究不同类型烟熏香精对西式培根风味的影响, 本研究通过感官评价和电子鼻技术对添加不同类型烟熏香精制作的西式培根进行整体风味的分析, 利用固相微萃取气相色谱-质谱联用技术研究不同类型烟熏香精对西式培根挥发性风味物质的影响。结果表明, 不同类型烟熏香精制作的西式培根与传统西式培根在整体风味和主体风味化合物上进行比较, 乐香水溶性烟熏香精(样品5)差异最小, 其次为名花烟熏膏香精(样品1)和奇华顿油溶性烟熏香精(样品3), 再次为红箭油溶性烟熏香精(样品2), 而红箭水溶性烟熏香精(样品4)差异最大。乐香水溶性烟熏香精制作的西式培根与传统西式培根(对试样)的挥发性风味物质比较接近, 有愈创木酚、4-甲基愈创木酚、苯酚和2,6-二甲基苯酚等35种共有成分。其中酚类物质的种类和传统西式培根相同, 而含量是传统的1.22倍, 从宏观和微观上都可以达到传统西式培根的风味。

关键词:西式培根; 风味物质; 气相色谱-质谱; 电子鼻

文章编号: 1673-9078(2017)7-220-230

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.032

Impact of Different Smoke Flavorings on the Flavor of Western Bacon

WANG Qiong^{1,2}, LI Cong², GAO Lei-feng², XU Bao-cai^{2,3}, YU Hai¹

(1.School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China) (2.State Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, Yurun Group, Nanjing 211806, China) (3.Collaborative Innovation Center of Meat Production and Processing, Nanjing 210095, China)

Abstract: To study the effects of different smoke flavorings on the flavor of western bacon, sensory evaluation and electronic nose were used to analyze the overall flavor of western bacon prepared with the addition of different smoke flavorings. The effects of different smoke flavorings on the volatile flavor components of western bacon were studied with solid phase microextraction-gas chromatography/mass spectrometry (SPME-GC/MS). The overall flavor and major flavor compounds of bacon prepared with different smoke flavorings were compared with those of traditional bacon. The results suggested that bacon prepared with Lexiang water-soluble liquid smoke flavoring (sample 5) differed the least from traditionally smoked bacon, followed by Minghua paste smoke flavoring (sample 1), Givaudan oil-soluble liquid smoke flavoring (sample 3), and Red Arrow oil-soluble liquid smoke flavoring (sample 2). Bacon prepared with Red Arrow water-soluble liquid smoke flavoring (sample 4) was the most significantly different from traditionally smoked bacon. The volatile flavor components of bacon prepared with Lexiang water-soluble liquid smoke flavoring were similar to those of traditional bacon, and there were 35 common substances identified, including phenol, 2-methoxyphenol, 4-methyl-2-methoxyphenol, and 2,6-dimethyl-phenol. Among them, the same types of phenols were found in two samples, while the phenol content in bacon smoked with Lexiang liquid smoke flavoring was 1.22 times higher than that found in traditionally smoked bacon, suggesting that the flavor of bacon prepared with Lexiang smoke flavoring resembled that of traditional bacon at both macro- and micro-levels.

Key words: bacon; flavor substances; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); electronic nose

西式培根是将畜肉或禽肉去骨(或不去骨)、注射

收稿日期: 2016-09-28

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0401501); 扬州大学“新世纪人才工程”

作者简介: 王琼(1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 肉制品加工技术
通讯作者: 徐宝才(1973-), 男, 博士, 研究员级高级工程师, 研究方向: 肉制品研发与质量控制; 于海(1973-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工

(或不注射)、腌制、滚揉(或不滚揉)、成型(或不成型)、干燥、烟熏(或不烟熏)及烘烤等工艺制成的肉制品。按照原料肉分为猪肉培根、牛肉培根和禽肉培根等。西式培根咸度适中、肥瘦均匀、风味独特, 深受人们的喜爱。关于西式培根研究, 主要集中在对西式培根生产工艺中配方等方面的改进, 来提高西式培根出品率, 很少考虑对西式培根烟熏工艺的改进^[1]。

以木屑为原料的传统烟熏工艺, 是直接通过发烟

装置来对产品进行烟熏,得到的产品风味浓郁、色泽鲜亮,深受人们喜爱。但是这种烟熏方式会产生灰烬,污染食品、环境等,不仅不利于现代工业自动化的生产,而且会产生大量的多环芳烃类有害物质,对人类身体的健康造成潜在的威胁^[2]。随着现代加工工艺的发展,烟熏香精的出现改变了传统的木屑烟熏方式,使肉制品的烟熏方式变得多样化,如直接添加法、喷淋法和涂抹法等。烟熏香精是用不同树木的碎屑为原料,通过蒸馏、纯化等精制而得,主要包括酚类、酮类、酯类、酸类、醛类和醚类等物质。烟熏香精不仅具有气体烟几乎相同的风味,而且去除了多环芳烃类有害物质,是一种清洁卫生的烟熏材料。使用烟熏香精代替传统的木屑烟熏,不仅能够降低西式培根中多环芳烃类致癌物质的含量,而且便于进行现代工业自动化的生产,提高生产效率。

本实验以不同类型烟熏香精制作的西式培根风味为研究对象,深入分析比较不同类型烟熏香精制作的西式培根和传统西式培根的风味在宏观与微观的差异性,以期为西式培根的现代工业化生产提供理论支持。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

猪1#肉(雨润公司);腌制液(雨润配方);木屑(果木混合);名花SY-SO968烟熏香精(广州名花香料有限公司);红箭C-10-80烟熏香精、红箭C-10-04烟熏香精(美国红箭国际公司);奇华顿0388烟熏香精(奇华顿食用香精香料有限公司);乐香W001烟熏

香精(上海乐香生物科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

ME204E-02型电子天平(凯特勒托利多公司);FOX 4000电子鼻系统:(法国Alpha M.O.S公司);顶空固相微萃取器Fiber 50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头(美国Supelco公司);Agilent 7890A-5975C气相色谱-质谱联用仪(美国Agilent公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 西式培根的生产工艺

(1)传统生产工艺:采用木屑烟熏30 min。

以猪颈背肌肉为原料,将其分割为250 g的块状,注射腌制液,注射率为40%,然后间歇真空滚揉8 h(工作15 min、间歇15 min),出机后放在0~4℃的库中静腌12 h,将静置好的原料肉通过灌装机灌装后进行压模,炉温72℃蒸煮2 h,脱模后在65℃炉温下干燥60 min。然后在65℃炉温条件下烟熏30 min,冷却后速冻切片即可。

(2)改进后生产工艺:仅在腌制液中添加烟熏液。

以猪颈背肌肉为原料,将其分割为250 g的块状,注射腌制液和烟熏液,烟熏液添加情况如表1所示。注射率为40%,然后间歇真空滚揉8 h(工作15 min、间歇15 min),出机后放在0~4℃的库中静腌12 h,将静置好的原料肉通过灌装机灌装后进行压模,炉温72℃蒸煮2 h,脱模后在65℃炉温下干燥60 min,冷却后速冻切片即可。

表1 样品中烟熏香精的添加量

Table 1 Information on smoke flavorings added in different samples

样品编号	烟熏香精分类	烟熏香精品牌	烟熏香精型号	烟熏香精添加量/%
对照样	木屑烟熏	无	无	无
1	膏型烟熏香精	广州名花	SY-SO968	2
2	油性烟熏香精	美国红箭	C-10-04	2
3	油性烟熏香精	上海奇华顿	0388	2
4	水性烟熏香精	美国红箭	C-10-80	2
5	水性烟熏香精	上海乐香	W001	2

1.3.2 样品前处理方法

将5种样品和对照样进行油煎,煎制温度200℃,煎制时间1 min^[3]。电子鼻:将油煎后的样品用绞肉机绞碎,精确称取2.50 g培根肉糜,放入10 mL的电子鼻专用顶空瓶中待测,每个样品做3组平行试验。固相微萃取:将油煎后的样品用绞肉机绞碎,精确称取2.00 g培根肉糜,放入10 mL的固相微萃取专用萃取小瓶中待测。感官评价:将油煎后的每个样品都等分

为10份,挑选10名食品专业学生来进行感官评价。

1.3.3 感官评价方法

挑选10名(5男5女)经过专门感官培训的食品专业学生组成评价小组,对5种样品和对照样的色泽、气味、滋味、质地和回味5个因素进行感官评价。色泽、气味、滋味、质地和回味5个因素所占的比重分别20%、30%、30%、10%和10%。所有样品统一评定,样品用统一容器盛装,随机进行取样。担任评价

员的基本条件有：身体健康、无任何感觉方面的缺陷；个人卫生条件良好、无明显个人气味；对感官分析具有浓厚的兴趣；不嗜烟酒，且在检测前 1 h 内不抽烟

不吃东西，不使用任何有气味的化妆品；评定过程中禁止相互讨论，以 10 min 为时间间隔单位，评定完一个样品后清水漱口。

表 2 西式培根感官评价标准

Table 2 Standards of bacon sensory evaluation

等级	色泽 20%	气味 30%	滋味 30%	质地 10%	回味 10%
很好 (8~10 分)	切面光泽，呈鲜红或玫瑰红，脂肪白色	有西式培根特有的芳香，香气浓郁	滋味鲜美，芳香，咸淡适中	组织致密，弹性好，硬实感好	回味悠长
好 (6~7 分)	切面光泽，肌肉灰红色，脂肪略有黄色	香气好	滋味正常，芳香，咸淡适中	紧密，硬实	回味好
一般(3~5 分)	光泽不亮，肌肉暗红色，脂肪发黄	有香气，但较淡	滋味较香	较紧密，较硬实，弹性一般	略有回味
差 (0~2 分)	光泽暗淡，肌肉暗灰色，脂肪发黄	无香气	滋味一般，略有酸味	较疏松	无回味

1.3.4 电子鼻检测方法

电子鼻检测器经过校准后，将前处理好的样品按顺序放入电子鼻样品托盘中进行检测分析。设定已经优化好的电子鼻分析参数：进样量 500 μL ；顶空加热温度 65 $^{\circ}\text{C}$ ；顶空加热时间 180 s；延滞采集时间 600 s，数据采集时间 120 s，采集周期 1.0 s；载气为高纯空气，流速 150 mL/min，顶空注射体积 500 μL ，注射速度 500 $\mu\text{L}/\text{s}$ ，注射总体积 2.5 mL。

1.3.5 挥发性风味物质测定方法

1.3.5.1 固相微萃取

在 60 $^{\circ}\text{C}$ 保温 15 min，然后将活化好的萃取头插入顶空瓶(每次进样前将萃取头老化 30 min)，富集吸附风味物质 30 min，取出后插入 GC-MS 进样口解吸进样 5 min，最后从进样口拔出萃取头，GC-MS 分析得到不同产品挥发性组分的质谱图，比较研究特征性风味组分，进行分析检测。实验重复 3 次，将得到的数据取平均值。

1.3.5.2 气相色谱条件

色谱毛细管柱为 PEG-20M 柱(柱长 30 m，内径 0.25 mm，液膜厚度 0.25 μm)；载气为 He，流速 0.8 mL/min，不分流；程序升温，起始温度 40 $^{\circ}\text{C}$ ，保持 3 min，以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温到 150 $^{\circ}\text{C}$ ，然后以 6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温到 250 $^{\circ}\text{C}$ ，保持 3 min；汽化室温度 250 $^{\circ}\text{C}$ 。

1.3.5.3 质谱条件

EI 电离源，电子能量 70 eV，灯丝发射电流为 200 μA ，离子源温度为 200 $^{\circ}\text{C}$ ，接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$ ，检测器电压 350 V，扫描质量范围为 33~450 u。

1.3.5.4 挥发性化合物的定性与定量

定性分析：未知化合物经计算机检索，同时与 NIST 谱库 (107k Compounds) 和 Wiley 谱库 (320k

Compounds, version 6.0) 相匹配，正相匹配指数 (SI) 和反相匹配指数 (RSI) 均大于 800 (最大为 1000) 的成分作为定性结果。

定量分析：根据已知的内标物浓度对挥发性组分进行半定量分析，依据化合物的峰面积比值与含量成正比的原理，按下式计算每一种风味化合物相对于内标化合物的含量：

$$C_x = \frac{C_0 \times S_x}{S_0}$$

式中： C_x 为未知风味化合物含量， $\mu\text{g}/\text{kg}$ ； C_0 为内标化合物质量浓度， $\mu\text{g}/\text{kg}$ ； S_x 为未知风味化合物的峰面积， $\text{AU}\cdot\text{min}$ ； S_0 为添加的内标化合物峰面积， $\text{AU}\cdot\text{min}$ 。

1.3.5.5 相对气味活度值(ROAV)计算

气味活度值是该物质的浓度(C)和阈值(T)的比值，即：

$$\text{OAV} = C_i/T_i$$

在既定条件下 $\text{OAV} < 1$ ，表示该物质对总体气味无实际作用；当 $\text{OAV} > 1$ ，说明该物质对总体气味有实际影响，且在一定范围内 OAV 越大影响越大。

相对气味活度值，即：

$$\text{ROAV}_A = 100 \times \text{OAV}_A / \text{OAV}_{\max}$$

当 $\text{ROAV} \geq 1$ 时，可认为该组分是样品的主体风味物质； $0.1 \leq \text{ROAV} < 1$ 时，可认为该组分对整体风味有辅助作用。

1.4 统计分析方法

采用 SPSS 20.0 对试验数据进行方差分析和最小显著差数法 (Least Significant Difference LSD) 进行多重比较，主成分分析 (PCA) 利用仪器自身携带软件进行处理。

2 结果与讨论

2.1 不同西式培根样品的感官评价

西式培根的感官评价得分见表 3, 样品的得分越高说明其感官评价越好, 样品的得分越低说明其感官评价越差。由表 3 可知, 4 号样品的色泽、滋味、质

地和感官综合得分最高, 3 号样品的气味和回味得分最高。2 号、3 号和对照样品的色泽得分最低, 1 号样品的气味、回味和感官综合得分最低, 对照样品的滋味得分最低, 2 号样品的质地得分最低。所有样品的色泽、气味、滋味、质地和感官综合得分都差异不显著 ($p>0.05$), 1 号样品与其他样品的回味差异显著 ($p<0.05$)。

表 3 西式培根的感官评价得分

Table 3 Bacon sensory evaluation score

样品编号	色泽 20%	气味 30%	滋味 30%	质地 10%	回味 10%	感官综合得分
对照样	7.71±0.76 ^a	7.57±1.40 ^a	7.29±0.76 ^a	7.43±0.98 ^a	7.71±1.11 ^a	7.51±0.86 ^a
1	7.89±1.17 ^a	6.89±1.45 ^a	7.44±1.01 ^a	8.11±1.17 ^a	6.89±1.05 ^b	7.38±1.04 ^a
2	7.71±0.95 ^a	7.00±1.91 ^a	7.57±1.13 ^a	7.57±0.98 ^a	7.86±0.69 ^a	7.46±1.07 ^a
3	7.71±0.49 ^a	8.29±0.76 ^a	7.86±0.90 ^a	8.14±1.35 ^a	8.57±0.98 ^a	8.06±0.67 ^a
4	8.64±0.81 ^a	7.82±0.87 ^a	8.00±0.77 ^a	8.45±1.21 ^a	7.73±1.27 ^a	8.09±0.68 ^a
5	7.86±0.38 ^a	7.12±1.57 ^a	7.43±1.40 ^a	7.00±1.15 ^a	7.71±0.49 ^a	7.41±0.92 ^a

注: 同列数据均值标注的不同字母具有显著性差异 ($p<0.05$)。

2.2 不同西式培根样品的 GC-MS 分析结果

对 5 种样品和对照样进行挥发性风味物质分析, 从微观上比较不同类型烟熏香精制作的西式培根与传统西式培根的挥发性风味物质的差异性。对于肉制品来说, 滋味和香气是两个最为重要的感官特性, 决定肉类风味特征最主要的因素是挥发性化合物。国内外大量研究表明, 在肉类中已经鉴定出与风味相关的挥发性化合物有 400 多种^[4], 这些复杂的物质一起构成了各种肉制品的独特风味。西式培根的风味主要来源于烟熏工艺、美拉德反应、脂肪的氧化和维生素降解等。由表 4 可知, 1~5 号样品和对照样中被定性鉴定出的挥发性风味物质成分分别为 32 种、58 种、36 种、43 种、46 种和 45 种, 分别占检测出的总成分的 86.03%、85.96%、83.59%、84.98%、86.77%和 85.96%, 含量分别为 2137.75 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、5879.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、3072.41 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、4327.25 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、1791.44 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 1919.08 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。风味不是由某一种或几种化合物产生的, 而是由许多种不同的化合物相互作用影响, 达到一种平衡的状态, 来共同赋予西式培根独特的风味。

烟熏肉制品中的酚类物质主要是由烟熏工艺产生的, 大部分的酚类物质都具有烟熏风味, 其中愈创木酚、2,6-二甲基苯酚、4-甲基愈创木酚和苯酚等都是烟熏的特征风味物质, 这与国内外众多学者的研究成果相吻合^[5]。由表 4 可知, 5 种样品和对照样中被定性鉴定出的酚类物质种类分别为 5 种、9 种、7 种、5 种、9 种和 9 种, 含量分别为 35.09 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、706.75 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、291.87 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、128.48 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、333.87 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 274.34

$\mu\text{g}/\text{kg}$ 。不同烟熏香精制作的西式培根中酚类物质的种类和含量差别较大, 相对于传统西式培根有高低, 可能是由于制作烟熏香精的原料和加工工艺不同所致, 或是烟熏香精在西式培根的制作中稳定性较差, 导致在使用过程中大量酚类物质挥发。5 种样品和对照样中共有的酚类物质为具有烟草香味的愈创木酚、具有香辛料和烟熏香气的 4-甲基愈创木酚、具有特殊烟熏味的苯酚和类似苯酚烟熏气味的邻苯酚^[6]。2 号样品中愈创木酚、4-甲基愈创木酚、邻苯酚和苯酚的含量都是最高的, 而 1 号样品都是最低的。除对照样中特有的物质 3-乙基苯酚, 其他酚类物质 5 号样品都有, 且含量都与对照样很接近。3 号样品未检测到对照样中的 3-乙基苯酚、2,6-二甲氧基苯酚和 4-乙基愈创木酚, 酚类物质的含量都与对照样比较接近。从酚类物质的种类和含量得出, 乐香水溶性烟熏香精制作的西式培根与传统西式培根最接近, 其次是奇华顿油溶性烟熏香精。

醛类物质主要来源于脂肪的氧化和降解, 或者发生进一步反应形成新的物质^[7], 其阈值一般较低, 具有较强的挥发性和脂肪香味, 对肉制品的风味贡献较大^[8]。由表 4 可知, 5 种样品和对照样中被定性鉴定出的醛类物质种类分别为 7 种、11 种、7 种、7 种、8 种和 10 种, 含量分别为 534.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、2667.99 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、1338.97 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、2506.61 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、806.96 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 1034.76 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。所有样品中共有的醛类物质有戊醛、己醛、庚醛、辛醛、壬醛和糠醛。5 号样品中戊醛和己醛的含量与对照样最接近, 其次是 3 号样品, 戊醛具有果香和面包香, 己醛和庚醛是脂肪氧化的重要标志, 具有

清香、果香和蜡香的气味,可以赋予西式培根浓郁的香味。具有蜡香、果香和脂肪香的辛醛和壬醛在4号样品中含量最高,1号样品中最低。糠醛也是重要的醛类物质,具有木香、焦糖香和烘烤食品的香味,对照样的含量最高,其次是5号和3号样品,其他样品的含量都很低。从醛类物质的种类和含量得出,乐香水溶性烟熏香精制作的西式培根与传统西式培根最接近,其次是奇华顿油溶性烟熏香精。

酮类物质一般源于美拉德反应,有的也可通过醇类氧化、酯类分解等进一步生成^[9]。由表4可知,5种样品和对照样中被定性鉴定出的酮类物质种类分别为2种、15种、6种、9种、8种和9种,含量分别为13.91 μg/kg、675.95 μg/kg、171.99 μg/kg、363.41 μg/kg、207.38 μg/kg和134.50 μg/kg。所有样品中共有的酮类物质为具有辛辣气味的丁酮和具有果香、青香风味的2-呋喃基甲酮^[7],2号样品中丁酮含量最高,4号样品中2-呋喃基甲酮含量最高,1号样品中两者含量都是最低,3号样品中2-呋喃基甲酮含量和对照样最接近,5号样品中丁酮含量和对照样最接近。由于酮类物质的阈值比醛类低,样品中酮类物质相对含量比较低,因此对西式培根的风味影响比较小。

烃类物质主要来源于脂肪的氧化,而支链烷烃可能来源于动物体内少量的支链脂肪酸的氧化降解,大部分的碳氢类物质没有气味或气味微弱,对西式培根的风味并没有明显影响^[10]。由表4可知,5种样品和对照样中被定性鉴定出的烃类物质种类分别为10种、11种、9种、9种、8种和9种,含量分别为1486.25 μg/kg、1033.40 μg/kg、848.12 μg/kg、708.25 μg/kg、251.82 μg/kg和322.42 μg/kg。样品中烃类物质含量最高的为1号样品,含量大约是其他样品的3~4倍,可能是因为1号样品使用的烟熏香精是膏状,本身含有较多的烃类物质。

酸类物质对西式培根的风味具有重要意义,如果添加烟熏香精制作的西式培根有大量酸类物质,会严重影响西式培根的风味。由表4可知,1~3号样品中

不含酸类物质,4~5号样品和对照样中被定性鉴定出的酸类物质种类分别为2种、1种和1种,含量分别为47.16 μg/kg、14.09 μg/kg和5.00 μg/kg。培根样品中的酸类物质含量很低,可能是因为醇类和酸类物质经过一系列复杂的反应形成了酯类物质。酸类物质的阈值高,且相对含量又非常低,对西式培根的风味基本无贡献^[11]。

在西式培根的生产加工过程中,脂肪氧化分解产生游离脂肪酸,与醇类物质发生反应生成了酯类物质。短链脂肪酸生成的酯类物质通常具有果香气味,如乙酸乙酯、丁酸乙酯等,长链通常具有脂香风味,如十二酸乙酯等^[12]。由表4可知,5种样品和对照样中被定性鉴定出的酯类物质种类分别为1种、1种、2种、1种、1种和1种,含量分别为12.56 μg/kg、173.73 μg/kg、103.45 μg/kg、11.71 μg/kg、21.71 μg/kg和48.74 μg/kg。除3号样品中含有甲羟戊酸内酯,其他样品中都只含有乙酸乙酯。乙酸乙酯具有微带果香的酒香味和醚香,可以赋予西式培根良好的风味^[13]。

醇类物质主要来源于脂肪酸氧化和物质降解,低级醇一般没有风味,随者碳链的增加会产生芳香和脂肪香等风味。由表4可知,5种样品和对照样中被定性鉴定出的醇类物质种类分别为5种、8种、3种、8种、7种和5种,含量分别为36.18 μg/kg、555.55 μg/kg、249.21 μg/kg、523.29 μg/kg、121.85 μg/kg和68.76 μg/kg。所有样品中都有乙醇和1-戊醇,多数含有1-辛烯-3醇。乙醇和1-戊醇是低级醇,没有特殊风味,1-辛烯-3醇具有蘑菇香气和油腻气味^[7],5号样品中1-辛烯-3醇含量和对照样最接近,其次是4号样品。西式培根中醇类物质的相对含量比较低,由于醇类物质的阈值一般都比较高,所以对肉制品的风味影响不大^[14]。

西式培根中还检出的物质主要是杂环类物质,如具有豆香、果香及蔬菜香味的2-戊基呋喃,有不愉快气味的2-甲基吡啶等。由于杂环类物质种类比较少,相对含量都比较低,对西式培根的风味影响不明显。

表4 不同样品的挥发性风味物质

Table 4 Volatile flavor compounds in different samples

序号	化合物名称	阈值	含量/(μg/kg)					
			对照样	1号	2号	3号	4号	5号
酚类								
1	愈创木酚	10	117.36	18.74	227.95	107.04	66.82	163.51
2	2-甲氧基-6-甲基苯酚	13.31			68.23	16.20		13.47
3	2,6-二甲苯酚				43.35			2.96
4	4-甲基愈创木酚	90	51.29	6.11	124.13	36.67	16.20	60.96

转下页

接上页

5	邻甲酚		14.01	2.28	77.12	42.54	10.52	17.67
6	苯酚	5900	24.80	6.58	50.01	41.12	27.31	34.97
7	乙基麦芽酚						7.64	
8	4-乙基愈创木酚	90	18.97		41.20			12.52
9	2,4-二甲基苯酚				50.48			
10	4-甲基苯酚	55	25.93		24.27	16.87		23.70
11	间甲酚					31.43		
12	3-乙基苯酚	140	4.15					
13	2,6-二甲氧基苯酚		4.52	1.38				4.10

醛类

14	2-甲基丁醛	1	4.78					
15	异戊醛	0.4	8.58	1.96	9.43			3.29
16	正戊醛	20	41.19	20.82	116.74	99.70	64.39	28.30
17	正己醛	4.5	221.01	131.12	593.43	338.01	383.63	160.58
18	2-甲基-2-丁烯醛				35.50			
19	庚醛	3	84.72	40.83	229.51	142.96	191.83	50.08
20	正辛醛	8	344.88	245.81	1101.51	460.90	1273.09	317.98
21	壬醛	1	153.33	91.67	479.79	217.71	522.25	139.95
22	糠醛	3	118.98	1.79	12.99	52.60	9.29	80.66
23	苯甲醛	350	25.91		16.62	27.10	62.14	
24	5-甲基糠醛		31.39					26.12
25	2-羟基苯甲醛				56.68			
26	2-羟基-4-甲基苯甲醛				15.80			

酮类

27	丙酮		8.26		20.05	14.34	18.67	
28	2-丁酮	50000	18.52	5.29	43.26	41.08	38.63	11.22
29	3-己酮				30.80			
30	3-庚酮				13.08			
31	2-庚酮				19.99			
32	环戊酮				60.22			
33	2-甲基环戊酮					16.47		
34	3-甲基环戊酮				22.47			
35	1,2-环己二酮				16.25			
36	仲辛酮				16.04	13.18	17.16	
37	羟丙酮		18.90				49.44	
38	甲基庚烯酮						9.32	
39	2,5-二甲基-2-环戊烯酮				41.62			
40	2-甲基-2-环戊烯酮		9.91		100.06	42.66	66.01	47.88
41	2,3-二甲基-2-环戊烯酮				76.96		8.70	39.75
42	过氧化乙酰丙酮		8.97					
43	3,4-二甲基-2-环戊烯酮							7.02
44	2,3,4-三甲基-2-环戊烯酮				36.45			
45	2-呋喃基甲酮		31.08	8.62	121.95	44.26	129.74	61.00

转下页

接上页								
46	频哪酮		5.53					
47	3-甲基-2-环戊烯酮							18.01
48	2,3-二甲基-2-环戊烯酮		26.15					
49	苯乙酮				56.76			17.40
50	2-羟基-3-甲基-2-环戊烯酮						25.73	5.09
51	3-甲基环戊烷-1,2-二酮		7.18					

烃类								
52	2-甲基戊烷				489.02			
53	正己烷				836.56			
54	正辛烷		224.45	120.92	570.20	548.29	472.94	186.62
55	1-辛烯			1.66				
56	苯				29.35			
57	2,2,4,6,6-五甲基庚烷		8.37	2.37		12.33	14.67	5.67
58	α -蒎烯	4.6	3.86		15.74	19.59	3.46	6.06
59	甲苯	200	17.79	7.20	101.72	90.36	36.90	10.72
60	β -蒎烯	6	10.25	3.58		15.32	18.27	4.26
61	乙基苯	29	3.74	2.05	24.33	24.54	13.30	3.38
62	对二甲苯				66.77	30.15		6.59
63	间二甲苯			4.25		14.34	19.32	
64	蒈品烯		11.23					
65	柠檬烯	10	42.72	18.63	143.66	93.21	122.77	28.52
66	苯乙烯				24.45			
67	1,4-己二烯				0.00		6.62	
68	1-苯基-1-丙炔				26.26			
69	3,4-二甲氧基甲苯				30.92			

酸类								
70	乙酸	22000	5.00				28.57	14.09
71	丁酸						18.59	

酯类								
72	乙酸乙酯	5	48.74	12.56	173.73	90.06	11.71	21.71
73	甲羟戊酸内酯					13.40		

醇类								
74	乙醇	100000	15.08	7.39	70.11	50.30	39.88	8.18
75	3-甲基-2-丁醇				12.08			
76	异戊醇			5.12	73.40		32.37	9.73
77	1-戊醇	730	11.88	6.94	38.21	20.78	21.32	8.71
78	正己醇	2500	12.12		74.27		41.44	16.33
79	2-庚醇						178.13	
80	6-甲基-2-庚醇				178.13	178.13		
81	1-辛烯-3-醇	1	10.92	3.86	34.88		18.01	8.87
82	正辛醇	110		12.88			103.60	
83	3-呋喃甲醇	2000	18.76		74.48		88.54	66.03
84	5-甲基-2-呋喃甲醇							4.00

转下页

接上页								
其他								
85	2,5-二甲基咪喃				29.13			
86	吡啶	2000	17.94	12.81				13.01
87	2-戊基咪喃	6	12.61	6.94	14.48	17.62	25.36	5.64
88	2-甲基吡啶						12.96	9.21
89	3-甲基吡啶							5.92
90	4-甲基-2-正丙基咪喃				22.42			
91	2-乙酰基噻唑						51.17	
合计		1919.08	2137.75	5879.40	3072.41	4327.25		1791.44

2.3 不同西式培根样品的主体风味化合物比较

表5为5个样品与对照样挥发性风味物质的主体风味化合物的分析。一般认为ROAV≥0.1的挥发性物质均属于对样品风味有贡献的物质，ROAV≥1的组分为样品的主体风味化合物，0.1≤ROAV<1的组分对样品总体风味具有一定的修饰作用，ROAV<0.1的组分为样品的潜在风味化合物^[15]。由表5可知，对照样有14种主体风味化合物，1~5号样品与对照样具有的共同主体风味化合物分别为11种、10种、11种、7种和11种。此外，3号样品的主体风味化合物还有α-蒎烯。说明1号和5号样品与对照样的主体风味化合物最接近，其次是2号和3号，4号与对照样的主体风味化合物差异明显。对照样有4种修饰风味化合物，1~5号样品与对照样具有的共同修饰风味化合物分别为0种、2种、2种、1种和4种。糠醛、β-蒎烯和乙酸乙酯都是对照样的主体风味化合物，但在1号、2号和4号样品中是修饰风味化合物，可能是因为不同的烟熏香精含有的风味物质不同造成的。除糠醛、β-蒎烯和乙酸乙酯以外，1~5号样品还具有的修饰风味

化合物分别为1种、3种、2种、3种和1种。5号样品与对照样具有的共同修饰风味化合物最多，并且含有的个性修饰风味化合物最少，说明与对照样的修饰风味化合物最接近。2号和3号样品与对照样具有的共同修饰风味化合物都是2种，但2号样品还有3种其他修饰风味化合物，3号样品只有2种其他修饰风味化合物，说明3号样品比2号样品接近对照样的修饰风味化合物。对照样有12种潜在风味化合物，1~5号样品与对照样具有的共同潜在风味化合物分别为7种、7种、5种、10种和10种。4-甲基愈创木酚、4-乙基愈创木酚和4-甲基苯酚都是对照样的修饰风味化合物，但在1号和2号样品中是潜在风味化合物，可能是由于1号和2号样品中这些化合物含量较低，或是其他化合物含量较高掩盖了这些化合物的风味。除4-甲基愈创木酚、4-乙基愈创木酚和4-甲基苯酚以外，1~5号样品没有其他潜在风味化合物，说明4号和5号样品与对照样的潜在风味化合物最接近。从主体风味化合物分析可知，乐香水溶性烟熏香精制作的西式培根与传统西式培根最接近，其次是名花膏状烟熏香精、奇华顿油溶性烟熏香精、红箭油溶性烟熏香精，红箭水溶性烟熏香精制作的西式培根与传统西式培根差异明显。

表5 不同样品的主体风味化合物分析

Table 5 Analysis of major flavor compounds in different samples

化合物名称	ROVA					
	对照样	1号	2号	3号	4号	5号
愈创木酚	7.65	2.04	4.75	4.92	1.28	11.68
2-甲基丁醛	3.12					
异戊醛	13.99	5.35	4.92			5.88
正戊醛	1.34	1.14	1.22	2.29		1.01
正己醛	32.03	31.79	27.49	34.5	16.32	25.5
庚醛	18.42	14.85	15.95	21.89	12.24	11.93
正辛醛	28.11	33.52	28.70	26.46	30.47	28.40
壬醛	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

转下页

接上页

	糠醛	25.87			8.05		19.21
	β -蒎烯	1.11			1.17		
	柠檬烯	2.79	2.03	2.99	4.28	2.35	2.04
	乙酸乙酯	6.36	2.74	7.24	8.27		3.10
	1-辛烯-3-醇	7.12	4.21	7.27		3.45	6.34
	2-戊基呋喃	1.37	1.26		1.35		
	α -蒎烯				1.96		
	4-甲基愈创木酚	0.37		0.29	0.19		0.48
	4-乙基愈创木酚	0.14					0.10
	4-甲基苯酚	0.31			0.14		0.31
	α -蒎烯	0.55		0.71		0.14	0.94
	正戊醛					0.62	
修饰风味化合	糠醛		0.65	0.9		0.59	
	甲苯			0.11	0.21		
	β -蒎烯		0.65			0.58	0.51
	乙基苯			0.17	0.39		
	乙酸乙酯					0.45	
	正辛醇		0.13			0.18	
	2-戊基呋喃			0.50		0.81	0.67
	苯酚	0.0027	0.0012	0.0018	0.0032	0.00089	0.0042
	3-乙基苯酚	0.019					
	苯甲醛	0.048		0.0099	0.036	0.034	
	2-丁酮	0.00024	0.00012	0.00018	0.00038	0.00015	0.00016
	甲苯	0.058	0.039			0.035	0.038
	乙基苯	0.084	0.077			0.088	0.083
潜在风味化合	乙酸	0.00015				0.00025	0.00046
	乙醇	0.000098	0.000081	0.00015	0.00023	0.000076	0.000058
	1-戊醇	0.011	0.01	0.011	0.013	0.0056	0.0085
	正己醇	0.0032		0.0062		0.0032	0.0047
	3-呋喃甲醇	0.0061		0.0078		0.0085	0.024
	吡啶	0.0058	0.007				0.0046
	4-甲基愈创木酚		0.074				
	4-乙基愈创木酚			0.095			
	4-甲基苯酚			0.092			

2.4 不同西式培根样品的电子鼻分析结果

利用电子鼻自带的分析软件对获得的5种样品和对照样的信号数据进行主成分分析,以主成分1为横坐标、主成分2为纵坐标,建立前2个主成分的二维图,如图1所示。主成分1的贡献率为93.448%,主成分2的贡献率为5.015%,主成分1和2的累积贡献率为98.463%,大于85%,这说明主成分1和主成分2已经包含较大的信息量,能够反映样品的整体信息。图1中主成分1的方差贡献率远远大于主成分2的方

差贡献率,表明样品间在横坐标上的距离越大,其差异也越大;而样品间在纵坐标上的距离即使很大,由于主成分2的方差贡献率相对较小,其实际差异也不会很大。从图1可以看出4号样品的分布区域与对照样的分布区域分离最远,整体风味上与对照样差异明显,该试验结果与4号样品的GC-MS和主体风味化合物分析结果基本一致。2号样品与对照样有一定距离,表明整体风味上与对照样有一定差异。GC-MS分析结果显示2号样品的酚类物质的含量是对照样的2.58倍,物质种类比对照样多13种。主体风味化合物

与对照样相差 3 种, 修饰风味化合物与对照样相差 6 种, 两种分析结果基本一致。2 号样品中一些特有的物质可能对风味产生了影响, 使其与对照样在整体风味上有一定差异。3 号样品与对照样接近, 表明整体风味上与对照样接近。GC-MS 分析结果显示 3 号样品酚类物质的相对含量是对照样的 1.06 倍, 其他物质与对照样有一定差距, 主体风味化合物与对照样相差 3 种, 修饰风味化合物与对照样相差 5 种, 两种分析结果基本一致。1 号和 5 号样品均与对照样有重叠, 整体风味上与对照样接近, 电子鼻无法进行有效区分。1 号样品的 GC-MS 分析结果表明与对照样有许多共有成分, 但酚类物质的含量是对照样的 0.13 倍。主体风味化合物与对照样相差 2 种, 对照样的修饰风味化合物都不含有。5 号样品的 GC-MS 分析结果表明, 其挥发性风味物质的种类和含量与对照样比较接近, 酚类物质的含量是对照样的 1.22 倍, 主体风味化合物与对照样相差 2 种, 修饰风味化合物与对照样相差 3 种, 两种分析结果基本一致。

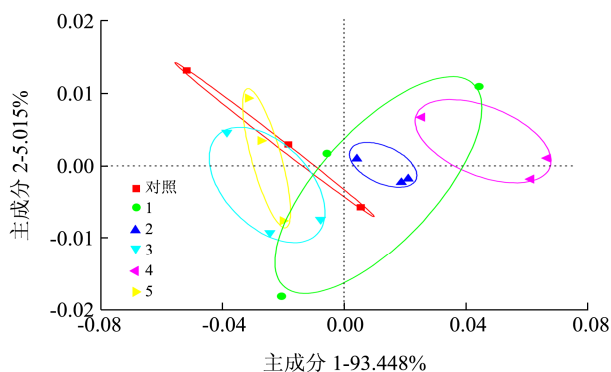


图 1 不同样品的主成分分析图

Fig.1 PCA plot of different bacon samples

3 结论

3.1 名花烟熏膏制作的西式培根感官综合得分最低, 与传统西式培根的整体风味和主体风味化合物很接近, 其烃类物质的含量最高, 其他物质的含量都相对较低, 酚类物质的含量仅是传统西式培根的 0.13 倍。
3.2 红箭油溶性烟熏香精制作的西式培根与传统西式培根的整体风味和主体风味化合物有一定差异, 被定性鉴定出的挥发性风味物质含量是传统西式培根的 3.08 倍, 其中酚类物质的含量是传统西式培根的 2.58 倍, 其他各类物质的含量也都比传统西式培根高很多。奇华顿油溶性烟熏香精制作的西式培根与传统西式培根的整体风味和主体风味化合物接近, 酚类、醛类和酮类物质含量与传统西式培根比较接近, 其他物质含量与传统西式培根差别较大。被定性鉴定出的挥发性风味物质含量是传统西式培根的 1.60 倍, 其中酚类物

质的含量是传统西式培根的 1.06 倍。

3.3 红箭水溶性烟熏香精制作的西式培根感官综合得分最高, 与传统西式培根的整体风味和主体风味化合物差异最大, 各类物质的含量都与传统西式培根差别较大。被定性鉴定出的挥发性风味物质含量是传统西式培根的 2.24 倍, 其中酚类物质的含量是传统西式培根的 0.47 倍。乐香水溶性烟熏香精制作的西式培根与传统西式培根的整体风味和主体风味化合物最接近, 被定性鉴定出的挥发性风味物质的含量和种类也比较接近, 有愈创木酚、4-甲基愈创木酚、苯酚和 2,6-二甲苯酚等 35 种共有成分。其中酚类物质的种类和传统西式培根相同, 而含量是传统的 1.22 倍, 从宏观和微观上都可以达到传统西式培根的风味, 适合用于西式培根的现代工业化生产。

参考文献

- [1] 潘志民, 邹文中, 邹艾一, 等. 模糊数学感官评价法优化培根加工工艺[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 201-205
PAN Zhi-min, ZOU Wen-zhong, ZOU Ai-yi, et al. Optimization on processing technology of bacon based on fuzzy mathematic sensory evaluation [J]. Food and Machinery, 2014, 30(2): 201-205
- [2] 吴婧婧, 芮汉明. 液熏重组鸡骨肉干的加工工艺研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(11): 1299-1304
WU Jing-jing, RUI Han-ming. Processing technology of recomposed dried chicken bone and meat by liquid-smoking [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 25(11): 1299-1304
- [3] Gibis M, Kruwinnus M, Weiss J. Impact of different pan-frying conditions on the formation of heterocyclic aromatic amines and sensory quality in fried bacon [J]. Food Chemistry, 2015, 168(23): 383-389
- [4] 曾凡斌, 潘思轶. 食品加工中风味规律的探索[J]. 农业工程学报, 2011, 27(14): 316-320
ZENG Fan-bin, PAN Si-yi. Study on laws of flavour during food processing [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(14): 316-320
- [5] Yu A N, Sun B G, Tian D T. Analysis of volatile compounds in traditional smoke-cured bacon (CSCB) with different fiber coatings using SPME [J]. Food Chemistry, 2008, 110(1): 233-238
- [6] 赵冰, 任琳, 陈文华, 等. 烟熏工艺对熏肉挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 180-187
ZHAO Bing, REN Lin, CHEN Wen-hua, et al. Effects of different smoking methods on volatile flavor compounds in

- bacon [J]. Food Science, 2013, 34(6): 180-187
- [7] 孙宝国,何坚.香料化学与工艺学[M].北京:化学工业出版社,2003
SUN Bao-guo, HE Jian. Chemistry and Technology of Spices [M].Beijing: Chemical Industry Press, 2003
- [8] Nives M, Sanja V, Tibor J. Determination of volatile compounds and quality parameters of traditional Istrian dry-cured ham [J]. Meat Science, 2014, 96(4): 1409-1416
- [9] 赵冰,王静,戚彪,等.烟熏工艺对清真牛肉香肠品质的影响[J].食品科学,2014,35(2):23-29
ZHAO Bing, WANG Jing, QI Biao, et al. Effects of smoking methods on the quality of muslim beef sausages [J]. Food Science, 2014, 35(2): 23-29
- [10] Ruiz J, Ventanas J. New device for direct extraction of volatiles insolid samples using SPME [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(11): 5115-5121
- [11] 李林,吴倩,林静,等.老腊肉腌制烟熏加工过程中主体特征风味及变化规律[J].食品科学,2015,36(16):175-179
LI Lin, WU Qian, LIN Jing, et al. Variations in major characteristic flavor compounds during pickling and smoking of chinese traditional bacon [J]. Food Science, 2015, 36(16): 175-179
- [12] Brewer M S. Irradiation effects on meat flavor: a review [J]. Meat Science, 2009, 81(1): 1-14
- [13] Wang J M, Jin G F, Zhang W G, et al. Effect of curing salt content on lipid oxidation and volatile flavor compounds of dry-cured turkey ham [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 48(1): 102-106
- [14] Jose M L, Javier C, Daniel F. Effect of the inclusion of chestnut in the finishing diet on volatile compounds of dry-cured ham from celta pig breed [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(11): 2002-2012
- [15] 张强,辛秀兰,杨富民,等.主成分分析法评价红树莓果醋的相对气味活度值[J].现代食品科技,2015,31(11):332-338
ZHANG Qiang, XIN Xiu-lan, YANG Fu-min, et al. Evaluation of the relative odor activity value in red raspberry fruit vinegar by principal component analysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(11): 332-338

(上接第 96 页)

- [25] Zoon P, Vliet, P Walstra. Rheological properties of rennet-induced skim milk gels [J]. Netherlands Milk & Dairy Journal, 1988, 42(3): 295-312
- [26] Holt C. Casein and casein micelle structures, functions and diversity in 20 species [J]. International Dairy Journal, 2016, 60: 2-13
- [27] Williamson M P. The structure and function of proline-rich regions in proteins [J]. Biochemical Journal, 1994, 297(2): 249-260

(上接第 253 页)

- [18] Rychlik M, Schieberle P, Grosch W. Compilation of odor thresholds odor qualities and retention indeces of key food odorants [M]. Germany: Deutche Forschungsanstalt fur Lebensmittelchemie: Garching, 1998
- [19] Ron G Buttery. Flavor chemistry and odor thresholds [J]. Flavor Chemistry, 1999, 30: 353-365
- [20] Belitz H-D, Grosch W, Schieberle P. Food chemistry [M]. New York: Springer Berlin, Heidelberg, 2009
- [21] Michael Czerny, Martin Christlbauer, Monika Christlbauer, et al. Re-investigation on odour thresholds of key food aroma compounds and development of an aroma language based on odour qualities of defined aqueous odorant solutions [J]. European Food Research and Technology, 2008, 228(2): 265-273
- [22] Sungeun Cho, Stanley J. Kays. Aroma-active compounds of wild rice (*Zizania palustris* L.) [J]. Food Research International, 2013, 54(2): 1463-1470