

强化高温风干成熟对中式培根脂质氧化和感官品质的影响

王 艳, 章建浩*, 刘 佳, 彭 洁, 孙丽双

(国家肉品质量安全控制工程技术研究中心, 教育部肉品加工与质量控制重点实验室, 农业部农畜产品加工与质量控制重点开放实验室, 南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

摘 要: 以猪五花肉为原料, 采用强化高温风干成熟工艺制作中式培根, 研究强化高温风干成熟工艺对中式培根脂质氧化和感官品质的影响。结果表明: 采用 65℃ 强化高温处理可以显著激活脂肪氧合酶活力($P < 0.05$), 产品的硫代巴比妥酸值(0.17mg MDA/kg)比对照组降低 26.1%、过氧化值降低了 45%($P < 0.01$), 感官评分提高 14.0%, 说明强化高温可以促进脂质氧化和风味物质积累, 降低产品氧化指标; 以硫代巴比妥酸值和感官评分为目标函数的综合回归优化工艺结果为强化温度 65℃、风干成熟温度 18~29.5℃(每天升高 1.5℃)、风干相对湿度 72%~68.5%(每天降低 0.5%)、风干时间 8d, 此时产品的盐分与水分含量分别为 3.56%、52.2%, 与感官分析结果有良好的一致性。
关键词: 中式培根; 强化高温风干成熟; 脂质氧化; 感官品质; 回归优化

Intensified High-Temperature Air-Drying Ripening of Chinese Bacon and Its Effect on Lipid Oxidation and Sensory Quality

WANG Yan, ZHANG Jian-hao*, LIU Jia, PENG Jie, SUN Li-shuang

(National Center of Meat Quality and Safety Control, Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, Ministry of Education, Key Laboratory of Food Processing and Quality Control, Ministry of Agriculture, College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Intensified high-temperature air-drying ripening was used for the production of Chinese bacon from pork bellies and its effect on lipid oxidation and sensory quality in Chinese bacon was investigated. The results showed intensified treatment at 65 °C activated lipoxygenase (LOX) significantly ($P < 0.05$), and resulted in a decrease of 26.1% in the TBARS value and of 45% in the POV value and a 14.0% increase in the sensory evaluation score of Chinese bacon when compared with the control (without high-temperature intensification before air drying), indicating that intensified high-temperature treatment can promote lipid oxidation and the accumulation of flavor substances and reduce oxidation indexes. The optimal levels of intensifying temperature, drying temperature, relative humidity and drying time were respectively 65 °C, 18—29.5 °C (increasing by 1.5 °C per day), 72% — 68.5% (decreasing by 0.5% per day) and 8 days as demonstrated by regression optimizations based on TBARS value and sensory evaluation score. The dry-cured product obtained under these conditions contained 3.56% of salt and 52.2% of moisture, and the results were in good agreement with sensory analysis.

Key words: Chinese bacon; intensified high-temperature air-drying ripening; lipid oxidation; sensory quality; regression optimization

中图分类号: TS201.21

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)04-0001-07

传统干腌肉制品是国际上重要的一类深加工肉制品, 我国有火腿、腊肉、风干禽类等, 在浙江、湖南、江苏和云南、四川等南方地区有规模化生产的历

史。中式培根是借鉴传统腊肉和培根工艺, 以风干成熟代替传统烟熏工艺的腌腊肉新产品, 张杨萍等^[1]已经对其加工工艺进行了初步探索, 采用优化工艺所得的产

收稿日期: 2011-09-02

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(200902012)

作者简介: 王艳(1985—), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉品质量控制。E-mail: 2009108071@njau.edu.cn

* 通信作者: 章建浩(1961—), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉制品加工和质量控制。E-mail: nau_zjh@njau.edu.cn

品咸淡适宜、肌肉色泽玫瑰红、有硬实感和培根特有的芳香, 总体接受程度良好, 有一定的市场开拓前景。脂质氧化是干腌肉制品加工过程中重要的生化反应, 是特征性风味形成的必须途径, 同时也是影响产品安全品质的重要因素, 它受工艺过程中温湿度条件和产品中盐分、水分的影响; 高温发酵成熟是干腌肉制品风味品质形成的重要阶段。国内外对以干腌火腿为主导的传统干腌肉制品加工过程中脂质分解氧化规律及风味形成机理进行了系统研究: Vestergaard 等^[2]通过分析测定 Parma 火腿加工过程中脂肪水解酶活力和游离脂肪酸变化研究肌肉脂肪水解规律; Gambotti 等^[3]研究了法国 Corsican 火腿皮下脂肪组织分解氧化过程, 得出强烈的脂肪分解能够促进脂肪氧化; Andres 等^[4]研究了加工工艺参数温度和盐分含量对 Iberian 火腿脂质氧化和感官品质的影响。国内章建浩等^[5-6]在研究金华火腿传统工艺过程中脂质分解氧化-风味形成变化规律基础上, 通过研制风干发酵成熟现代工艺装备, 对金华火腿采用强化高温成熟加快脂质分解氧化-风味形成, 缩短工艺时间并降低氧化指标进行了有效探索。Jin 等^[7]从调控脂肪氧化酶活性的角度加速脂质分解氧化, 促进风味形成, 同时氧化指标。

有关西式培根和中式腊肉脂质水解氧化的研究很少, Zhang 等^[8]通过分析测定干腌培根脂肪酶、脂肪氧化酶(lipoxygenase, LOX)活力和脂质氧化指标变化研究脂质分解氧化规律及其相关性, 并系统研究干腌培根风干成熟过程脂质分解氧化调控机制, 发现在一定温度范围内强化高温能激活 LOX 活力、加快培根脂质分解氧化和风味形成, 并显著降低氧化指标——硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid value, TBARs)值和过氧化值(peroxide value, POV)。本实验拟采用风干前期强化高温处理来调控脂肪酶活力、加快脂质分解氧化和风味形成、缩短工艺时间并降低氧化指标, 以期优化中式培根高温风干成熟新工艺, 为中式培根的工艺现代化提供技术基础。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

1.1.1 中式培根制作

中式培根加工工艺流程: 新鲜猪五花肉→整形→腌制→强化高温风干→风干成熟→成品。

新鲜猪五花肉, 分割成大小、形状一致的长方形块状, 平均质量约 500g。然后初步整形, 按 1.8% ($m_{\text{盐}}/m_{\text{肉}}$) 的用量取干盐, 将其均匀涂抹于肉块表面, 然后将其放于 4℃、相对湿度(83±8)% 条件下腌制 3d。腌制结束, 移入恒湿恒温箱先强化高温风干 0.5h, 然后按 $L_9(3^4)$ 正交试验设计进行风干成熟制成中式培根。风干

成熟温度控制程序: 从起始温度开始, 每天升温 1.5℃; 相对湿度控制程序: 高温强化 0.5h 阶段, 相对湿度保持在 76%; 风干成熟阶段, 从起始相对湿度开始, 每天降低 0.5%。

风干成熟第 3 天开始肉块表面涂壳聚糖膜液 1 次, 8h 后涂第 2 次(可食性壳聚糖已被广泛应用于肉制品的保鲜。五花肉块本身具有较大的比表面积, 采用强化高温风干成熟工艺也会加快产品失水, 加工过程中过度失水会影响脂质分解氧化和风味形成。涂壳聚糖膜可以有效减少水分散失、抗氧化和护色的效果)。

1.1.2 试剂

壳聚糖 潍坊海之源生物制品有限公司; 乙酸; 亚铁氰化钾溶液(0.25mol/L); 乙酸锌溶液(1mol/L); 硝酸溶液(1:3); 0.1mol/L 硫氰酸钾标准溶液; 硝酸银标准溶液(0.1mol/L); 硫酸铁铵饱和溶液; 硝基苯; 硫代巴比妥酸(0.02mol/L); 三氯乙酸溶液(20g/100mL); 三氯甲烷-冰乙酸混合液(2:3, V/V), 饱和碘化钾(10g/L 淀粉指示剂); 硫代硫酸钠标准溶液(0.002mol/L); 壳聚糖膜液(2g/100mL 壳聚糖溶于 1g/100mL 乙酸酸性溶液)。

1.1.3 仪器与设备

PHS-3CW 型 pH 复合电极 上海理达仪器厂; RE-52AA 型旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器有限公司; T18basic 型高速分散机 德国 IKA 公司; Allegra 64R 型高速冷冻离心机 美国 Beckman Coulter 公司; 722 型可见光光度计 上海精密科学仪器有限公司; UV-2450 型紫外分光光度计 日本岛津公司。

1.2 方法

1.2.1 强化高温风干成熟工艺单因素试验

根据中式培根加工工艺, 在风干前期强化高温风干成熟 0.5h(相对湿度 76%), 然后按照中式培根制作的温、湿度条件控制程序风干成熟 6d(风干起始温、湿度 15℃-70%; 从起始温、湿度开始, 每天升温 1.5℃、相对湿度降低 0.5%)。风干强化高温温度设置为 45、55、65、75、85℃五个水平, 以 TBARs 值、POV 值和感官评定为参考指标考察工艺条件。

1.2.2 风干成熟工艺正交试验

表 1 风干成熟工艺 $L_9(3^4)$ 正交试验设计因素水平表
Table 1 Factors and levels for $L_9(3^4)$ orthogonal array design

水平	因素		
	A 强化高温温度/℃	B 风干成熟起始温、湿度(℃-%)	C 工艺时间/d
1	55	15℃-70%	6
2	65	18℃-72%	8
3	75	21℃-74%	10

根据单因素试验结果,以强化高温温度、风干成熟起始温、湿度、工艺时间为试验因素,按 $L_9(3^4)$ 正交表安排试验,因素、水平设计见表1,每个处理组3个重复。

1.2.3 强化高温风干成熟工艺对照试验

强化高温组:正交试验得到的最优工艺制作的中式培根的实验组;对照组:未进行风干前强化高温,同实验组其他工艺条件完全相同制作中式培根。

1.2.4 取样方法和抽样工艺点

抽样工艺点:在原料、腌制结束、强化高温结束、风干3d、风干6d、风干8d六大工艺点抽样。取各处理组成熟产品或工艺点样品,剔除筋腱、脂肪,留肌肉层作试验材料,真空包装, -20°C 条件贮存备用。

1.3 指标测定

1.3.1 理化指标、POV值和TBARs值

理化指标:水分含量:按GB/T 5009.3—2010《食品中水分的测定》中的直接干燥法测定;盐分含量:按GB/T 9695.8—2008《肉与肉制品:氯化物含量测定》测定。

POV值:按GB/T 5009.37—2003《食用植物油卫生标准的分析方法》测定。

TBARs值:根据Salih等^[9]的方法。称肌肉5g切碎,于离心管中,加25mL 20g/100mL三氯乙酸和20mL H_2O ,匀浆60s,静置1h, $2000 \times g$ 离心10min,过滤,用双蒸水定容到50mL,然后取2mL滤液加2mL硫代巴比妥酸(0.02mol/L),在沸水浴中反应20min,取出用流动水冷却5min,用分光光度计测定532nm处的吸光度。空白样:25mL 20% TCA用双蒸水定容到50mL,然后取2mL滤液加2mL TBA。

1.3.2 脂肪氧合酶提取及活力测定

参照Gata等^[10]的方法并稍作修改。粗酶液提取:取2g样品,剪碎,与5倍体积的0.05mol/L磷酸缓冲液(pH7.0,内含1mmol/L的 β -巯基乙醇,0.5mmol/L的苯磺酸氟化物和2mmol/L的EDTA)混合,冰水浴中匀浆40s,静置20~30min, $15000 \times g$ 离心15min,取上清液用于酶活力的测定并用考马斯亮蓝法测定蛋白质含量。

底物溶液制备:140mg亚油酸溶于5mL含有180 μL 吐温-20的脱氧重蒸水中,并用2mol/L氢氧化钠溶液调节pH值至9.0,直到亚油酸完全溶解并且pH值保持稳定,然后用脱氧重蒸水定容到50mL,于 -20°C 氮气环境中贮存备用。

酶活力测定:取200 μL 亚油酸底物与2.9mL 0.05mol/L柠檬酸缓冲液混合,于 20°C 水浴,待其在波长234nm处的吸光度稳定后,加入0.1mL酶液,迅速混匀,于 20°C 、234nm处测其1min内吸光度的增加量。1个酶活力单位定义为每分钟每克蛋白质吸光度增加1。

1.3.3 感官评定

请有经验的人员10名,参照GB 22210—2008的要求,对成品从色、香、味、质地等方面进行感官评定。在室温 20°C 、自然光线下进行评定,各项分数相加求平均值。具体评定方法见表2。

1.4 统计与分析

试验所有数据用Microsoft Excel进行整理,用SAS 8.2统计软件进行方差分析,均值之间的邓肯氏多重比较以及Pearson相关分析。

2 结果与分析

2.1 强化高温风干成熟工艺对脂肪氧合酶活力变化影响

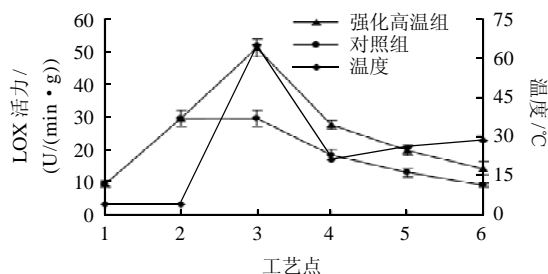


图1 加工过程中脂肪氧合酶活力的变化

Fig.1 Changes in lipoxigenase activity during the processing of Chinese bacon

图1表明, LOX活力在腌制阶段显著上升($P < 0.05$),腌制结束后随着风干成熟过程的进行,未强化高温的对照组LOX活力逐渐下降,到风干成熟8d结束,LOX活力达到最低为 $(9.00 \pm 0.59)\text{U}/(\text{min} \cdot \text{g})$,略低于

表2 感官评定标准

Table 2 Criteria for sensory evaluation of Chinese bacon

指标	得分			
	10	6~9	3~6	0~3
色泽	切面光泽,鲜红或玫瑰红,脂肪白色	切面光泽,肌肉灰红色,脂肪略有黄色	光泽不亮,肌肉暗红色,脂肪发黄	无光泽,肌肉暗灰色,脂肪发黄
质地	弹性好,有硬实感	较紧密,较硬实	较疏松	疏松、软
滋味	气味正常,芳香,咸淡适中	气味较香,略咸	略有异味,咸味较重	异味浓,过咸
香气	具有培根特有的芳香,香气浓郁	香气好	有香气,但较淡	无香气

原料中酶活力。这一结果与郇延军等^[11]研究的金华火腿中 LOX 活力变化相一致。在腌制阶段 LOX 活力显著增加可能是由于 LOX 是一种非血红素铁蛋白, 盐后的 POV 值和 TBARS 值都显著提高, 此时铁离子发生转变, 酶被激活; 随着生产过程的进行, 细胞组织中的蛋白酶释放, 另外, 由于盐含量的提高带来了盐的浓缩效应从而使脂肪氧合酶受到了破坏, 因此从盐后工艺步骤开始, 对照组 LOX 活力不断下降。与对照组相比, 实验组经过半小时强化高温后, LOX 活力显著升高达到 $(51.02 \pm 0.72) \text{U}/(\text{min} \cdot \text{g})$, 是原料阶段酶活力的 5 倍以上, 并且之后的风干成熟阶段活力均高于对照组。说明温度是影响 LOX 活力的重要因子, 65°C 的强化高温使肌肉内部温度到达大约 45°C 左右, 接近 LOX 的最适温度, 温度对 LOX 活力的促进作用大于盐分对其抑制作用, 有利于 LOX 催化脂质氧化, 特别是脂质二级氧化过程, 降低成熟产品的脂质氧化指标。

2.2 高温强化温度对中式培根脂质氧化指标和感官评分影响的单因素试验

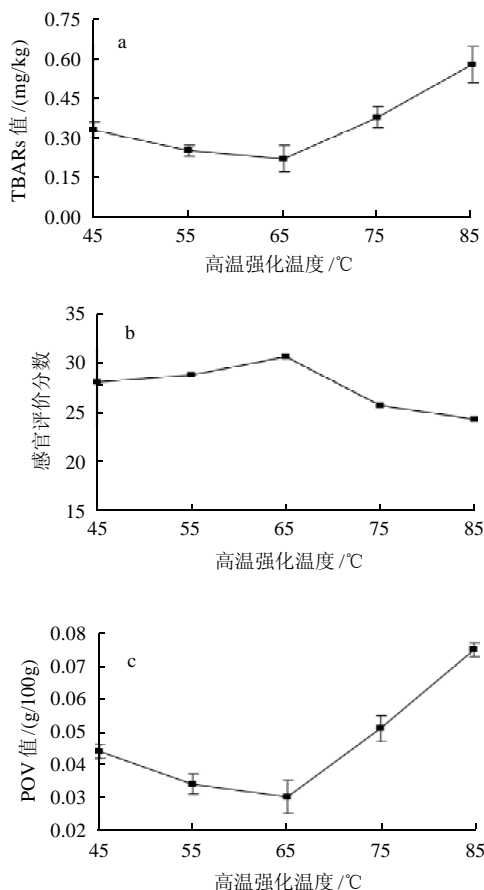


图2 高温强化温度对培根 TBARS 值(a)、感官评分(b)和 POV 值(c)的影响

Fig.2 Effect of intensifying temperature on the TBARS value, sensory evaluation score and POV of Chinese bacon

如图 2 所示, 高温强化温度对中式培根 TBARS 值和 POV 值的影响都随着强化温度的提高而呈现先降低后增加的趋势, 变化显著 ($P < 0.05$)。高温强化温度是 65°C 时, TBARS 值最低为 $(0.22 \pm 0.05) \text{mg}/\text{kg}$, POV 值最低为 $(0.03 \pm 0.05) \text{g}/100\text{g}$ 。在一定温度范围内高温强化可以降低脂质氧化水平, 这可能是因为 65°C 的强化高温使肌肉内部温度到达 45°C 左右, 接近脂肪酶的最适温度^[12], 有利于其催化脂质水解促进脂质氧化加速风味物质生成, 降低氧化指标。Jin 等^[13]研究也发现的脂肪氧合酶 (LOX) 在一定温度临界值以内, 通过强化高温工艺就可以使 LOX 保持较高的活性, 催化多不饱和脂肪酸氧化形成更多的风味物质。但随着高温强化温度继续提高, TBARS 值和 POV 值开始升高, 导致了脂质的过度氧化。如图 2b 所示, 高温强化温度对中式培根感官评分影响随着温度升高先增加后降低, 变化显著 ($P < 0.05$)。高温强化温度为 65°C 时, 中式培根感官评分最高为 30.7, 说明高温强化的温度只有在一定范围内才能提高培根的感官品质。相关性分析结果表明强化高温风干成熟工艺生产的中式培根 TBARS 值、POV 值和感官评定呈显著负相关 ($P < 0.05$), Pearson 相关系数高达 -0.93 和 -0.94 , 即产品中脂质过度氧化会产生令人不愉快的哈喇味而降低其感官评分。所以在一定范围内提高高温强化温度有利于提高产品感官评分; 加快脂质氧化产生更多小分子风味物质, 降低最终产品的 TBARS 值和 POV 值。因此, 选择高温强化温度 55、65、75 °C 进行正交试验优化。

2.3 高温风干强化工艺正交试验

2.3.1 理化指标

由表 3 可知, 中式培根水分含量在 3 个温、湿度处理组中随着温度升高呈先降后升的趋势, B₁ 处理组水分含量最高 54.77%, 而 B₂ 组水分含量最低 43.21%, 差异显著 ($P < 0.05$), 而且正交试验各处理组之间有明显差异。风干温度与水分含量呈显著负相关, 说明较高的风干温度有利于产品脱水。水分含量与感官评分呈极显著负相关 ($P < 0.05$), 产品品质随水分含量的降低而提高。由极差分析结果可知影响产品水分的主次顺序为: 风干温度 > 工艺时间 > 强化温度。

中式培根盐分含量在 9 个处理组差异显著 ($P < 0.05$), 产品盐分含量与水分含量成极显著负相关; 同时盐分含量与产品的感官总分成极显著正相关。其较好处理组为 A₁B₂C₂, 即强化温度 55°C 、风干成熟起始温湿度 $18^\circ\text{C}/82\%$ 、风干时间 8d, 此时产品中水分和盐分分别为 $(44.35 \pm 1.66)\%$ 和 $(4.04 \pm 0.18)\%$, 此结果与感官评定有良好的一致性。极差分析得到各工艺因素对盐分含量影响的强弱顺序为: 风干温度 > 强化温度 > 工艺时间。

表3 L₉(3⁴)中式培根高温风干强化成熟工艺正交试验设计及结果Table 3 L₉(3⁴) orthogonal array design and results

试验号	A 强化温度	B 风干起始温度	C 风干时间	水分含量/%	盐分含量/%	TBARs 值(以丙二醛含量计)/(mg/kg)	POV 值/(g/100g)	感官评分
1	1	1	1	53.90 ± 2.08 ^{ab}	3.32 ± 0.22 ^{cd}	0.62 ± 0.03 ^b	0.034 ± 0.007 ^e	24.5 ^f
2	1	2	2	44.35 ± 1.66 ^{de}	4.04 ± 0.18 ^b	0.27 ± 0.08 ^d	0.046 ± 0.015 ^f	32.3 ^a
3	1	3	3	40.79 ± 2.11 ^{ef}	3.21 ± 0.16 ^{de}	0.42 ± 0.14 ^c	0.086 ± 0.02 ^{bc}	26.6 ^e
4	2	1	2	55.90 ± 2.23 ^a	3.17 ± 0.31 ^e	0.19 ± 0.04 ^d	0.027 ± 0.006 ^h	27.1 ^d
5	2	2	3	38.79 ± 3.06 ^f	4.24 ± 0.43 ^a	0.26 ± 0.01 ^d	0.052 ± 0.014 ^e	32.2 ^a
6	2	3	1	49.91 ± 1.56 ^{bc}	2.94 ± 0.22 ^f	0.40 ± 0.03 ^c	0.090 ± 0.018 ^{ab}	28.7 ^c
7	3	1	3	54.50 ± 2.21 ^a	2.95 ± 0.37 ^f	1.31 ± 0.06 ^a	0.064 ± 0.021 ^d	26.3 ^e
8	3	2	1	46.48 ± 3.43 ^{cd}	3.39 ± 0.42 ^c	0.48 ± 0.10 ^c	0.081 ± 0.015 ^c	30.2 ^b
9	3	3	2	53.70 ± 4.32 ^{ab}	2.86 ± 0.32 ^f	0.41 ± 0.07 ^c	0.092 ± 0.011 ^a	28.9 ^c
k ₁				46.34/54.77/50.1	3.52/3.15/3.22	0.44/0.71/0.47	0.055/0.04/0.068	27.8/26/27.8
k ₂				48.2/43.21/51.32	3.45/3.89/3.36	0.27/0.34/0.31	0.056/0.06/0.055	29.3/31.6/29.4
k ₃				51.56/48.13/44.69	3.07/3.00/3.47	0.73/0.40/0.66	0.079/0.089/0.067	28.4/28.1/28.37
R				5.22/11.56/6.63	0.45/0.89/0.25	0.27/0.07/0.33	0.024/0.047/0.013	1.5/3.5/1.6
最优水平				A ₃ B ₁ C ₂	A ₁ B ₂ C ₃	A ₂ B ₂ C ₂	A ₁ B ₁ C ₂	A ₂ B ₂ C ₂
主次顺序				B > C > A	B > A > C	C > A > B	B > A > C	B > C > A

注：同列中均值具有不同字母者表示差异显著($P < 0.05$)。

2.3.2 脂质氧化指标

TBARs 值在 9 个处理组中存在着明显的差异($P < 0.05$)；TBARs 值与强化高温温度呈显著正相关($P < 0.05$)，说明强化高温可以促进脂质氧化；而与风干成熟温度呈显著负相关($P < 0.05$)，说明温度升高只是影响包括脂质分解氧化和 Maillard 反应等的速度，不会使 TBARs 值提高，这与王永丽等^[14]关于高温对风鸭脂质分解氧化影响的研究结果一致。由表 4 可知，TBARs 值与感官评定总分呈显著负相关($P < 0.05$)，这是因为 TBARs 值可以用来反映肉类脂质氧化腐败的程度。Tarladgis 等^[15]的研究也表明，肌肉中丙二醛(MDA)含量在 0.5~1.0mg/kg 之间不会有腐败气味产生，MDA < 1.0mg/kg 可以接受；还有报道指出，肉类中 MDA 值为 0.6~2mg/kg 就能被非专业感官人员闻出脂肪氧化的气味^[16-17]，所以 TBARs 值在肉制品重要的品质指标。极差分析表明各工艺因素对 TBARs 值影响的强弱顺序为：风干成熟温度 > 强化温度 > 工艺时间。

表4 工艺参数及各指标的 Pearson 相关系数

Table 4 Pearson correlation coefficients between air-drying ripening parameters and physicochemical indexes of Chinese bacon

测定项目	水分含量/%	盐分含量/%	TBARs 值/(mg/kg)	POV 值/(g/100g)	感官总分	强化温度/℃	风干温度/℃	处理时间/d
水分含量	1							
盐分含量	-0.640**	1						
TBARs 值	0.365	-0.404*	1					
POV 值	-0.212	-0.438*	0.103	1				
感官总分	-0.571**	0.681**	-0.483*	0.110	1			
强化温度	0.334	-0.403*	0.381*	0.408*	0.113	1		
风干温度	-0.426*	-0.131	-0.394*	0.823**	0.326	0	1	
工艺时间	-0.346	0.222	0.223	-0.017	0.0868	0	0	1

注：*.差异显著($P < 0.05$)；**.差异极显著($P < 0.01$)。

POV 值主要测定脂肪氧化初级产物——氢过氧化物，用来反映肉类中脂类氧化程度，过氧化值高表明脂质氧化的中间产物积累多。各工艺因素对 POV 值影响的强弱顺序为：风干温度 > 强化温度 > 工艺时间；由表 4 可知，过氧化值与强化温度呈显著正相关($P < 0.05$)，与风干温度呈极显著正相关($P < 0.01$)，强化温度和风干温度越高 POV 值越高，但处理组中的最大值仅为(0.092 ± 0.011)g/100g，在国标规定的限量值范围内(< 0.5g/100g)，因此强化高温风干成熟工艺可行。同时 POV 值又与盐分含量呈显著负相关，这可能是因为随着风干时间的延长，较高的盐分含量表现为对脂肪氧合酶的抑制作用，使风干后期脂质氧化速率降低，POV 值随之下降。

2.3.3 感官评定

B₂ 处理组的感官评分为 31.6 ± 2.17，显著高于其他处理组($P < 0.05$)，其产品的咸味适中、弹性好有硬实感，滋味香气俱佳，有培根特有的香味。极差分析结果表明，风干温度对中式培根感官评定影响最大，其次为风干时间，最后是强化温度，其最优水平为 A₂B₂C₂，与以 TBARs 值作为评价指标的分析结果一致。

2.4 正交试验回归优化

2.4.1 以感官总分为目标函数的回归分析

以工艺因素为变量，感官总分为目标函数进行二次多项式回归，得到回归方程：

$$\text{感官总分} = -216.20926 + 1.62444A + 18.82963B + 5.625C - 0.01222A^2 - 0.51358B^2 - 0.34306C^2$$

式中：A 为强化温度；B 为风干温度；C 为工艺时间。

回归方程 $R^2 = 0.9647$ 、 $R_{Adj}^2 = 0.9541$ ，表明回归方程的拟合度很高，回归 t 检验结果也表明可信度很高 ($P < 0.05$)。由回归模型方差分析结果可以看出，整个回归模型极显著 ($P < 0.01$)，回归模型中各因素的方差分析结果表明，强化温度、风干温度、工艺时间 3 个因素和它们的二次方都对感官评定有极显著影响。回归系数 t 检验结果表明，各因素对中式培根感官评定影响情况为 $B > C > A$ ，这与极差分析结果相一致。

利用 Lingo 11.0 软件对正交试验结果进行优化，以试验因素水平(高温强化温度 A 、风干起始温湿度 B 和工艺时间 C)为变量代入上述回归方程，计算感官评定的最大响应值，得到强化高温风干成熟工艺回归优化结果为 A_2 (高温风干强化温度 65°C)、 B_2 (风干起始温度 18°C -相对湿度 72%)、 C_2 (处理时间 8d)，与正交试验直观分析结果具有良好的一致性。

2.4.2 以 TBARS 值为目标函数的回归分析

以工艺因素为变量，TBARS 值为目标函数进行二次多项式回归，得到回归方程：

$$\text{TBARS} = 0.00312A^2 + 0.00815B^2 + 0.04417C^2 - 0.00733AB + 0.01433AC - 0.373A + 0.18B - 1.65C + 16.80375$$

式中： A 为强化温度； B 为风干温度； C 为工艺时间。

回归方程的方差分析表明，回归模型 $P < 0.001$ ，达到极显著水平。此模型的决定系数 $R^2 = 0.9956$ 、 $R_{Adj}^2 = 0.9936$ ，说明该模型拟合程度很高，试验误差小，该模型合适。验证实验也表明相对误差较小，因此能很好地用此模型分析和预测对试验指标产品的 TBARS 值进行预测。

2.5 强化高温风干成熟工艺最佳条件的确定

正交试验工艺优化结果结合回归分析，确定中式培根最佳工艺条件为风干强化温度 65°C 、风干成熟温度 $18\sim 30^\circ\text{C}$ 、风干时间 8d 。

2.6 强化高温风干成熟工艺的验证实验

知，实验组的 TBARS 值和感官评定结果都优于正交试验 9 个处理组。经过 65°C 强化高温风干的成品 TBARS 值与对照组相比降低了 0.06mg/kg ，下降幅度达到 26.1% ，差异极显著；POV 值降低了 $0.018\text{g}/100\text{g}$ ，下降幅度达到 45.0% ，差异极显著 ($P < 0.01$)。实验组风干成熟产品的盐分含量为 3.56% 、水分含量为 52.2% ，此时具有良好的感官品质。感官评定结果为：肌肉玫瑰红色、脂肪乳白、切面光泽；弹性好有硬实感；滋味香气俱佳，具有培根特有的芳香；感官评定总分优于各正交试验组。由表 5 可知，经强化高温风干成熟的中式培根 4 项感官评分和总分均高于未经强化高温风干成熟的成品，总分高于对照组 14.0% ，且除色泽外其他几项评分差异显著 ($P < 0.05$)，特别是香气的感官评分与对照组相比提高了 20.3% 。说明经强化高温风干成熟处理的培根可以有效提高肉的品质。

3 讨 论

3.1 强化高温风干成熟工艺对中式培根脂质氧化的影响

本工艺是在传统工艺研究基础上借鉴张杨萍^[18]的工艺研究经验，按照“保持传统特色、强化高温成熟、缩短工艺时间”的原则制定的。以脂质氧化重要的内源酶脂肪氧合酶(LOX)活力考察脂肪氧化变化情况：LOX 活力在原料阶段处于最低水平，高温强化结束处于最高水平，是原料的 5 倍多，说明 65°C 的高温强化由于温度比传统温度有显著提高，更接近 LOX 最适温度，激活 LOX 活力，使脂质氧化加快；强化高温结束后的长时间风干成熟阶段，LOX 活力均强与对照组，这是新工艺的显著差异。LOX 活力与温度的密切相关性与 Jin 等^[7]的研究有很好的一致性；温度是 LOX 活力的显著影响因素，在一定范围内温度的升高可以显著提高脂肪氧合酶活力；高温风干成熟工艺可以有效提高 LOX 活力维持在较高水平，加快风味化合物前体物——脂质氢过氧化物形成。氢过氧化物的多少由脂质氧化指标 POV 的大小反应。TBARS 值是不饱和脂肪酸氧化分解所产生的衍生物如丙二醛等与硫代巴比妥酸反应的结果，TBARS 值高低表示氧化最终生成物的多少。正交试验全部处理组 POV 值和除 1 组外 TBARS 值都在国标规定的安全限量范围内，说明强化高温风干成熟新工艺是安全可行的。验证实验证明强化高温工艺生产的中式培根成品的 TBARS 值为 0.17mg/kg 肌肉，POV 值为 $0.022\text{g}/100\text{g}$ 脂肪，极显著低于正交试验组和对照组 ($P < 0.01$)，也低于其他一些干腌肉制品^[2]。这是因为强化高温结束和风干前期较高的 LOX 活力水平加快脂质一级氧化产物——氢过氧化物的形成，但风干后期脱水严重导致盐含量快速升高，酶活被抑制，氢过氧化物形成受抑制，而温度的升高会加快氢过氧化物进一步分解，从而有效降低产品脂质

表 5 成品的 TBARS 值、过氧化值和感官评定结果

Table 5 TBARS value, POV value and sensory evaluation score of Chinese bacon obtained under optimized processing conditions

组别	TBARS值(以丙二醛	POV 值/	感官评定结果(以 10 位评分人员的总评分计)				
	含量计)/(mg/kg)	(g/100g)	色泽	质地	滋味	香气	合计
对照组	0.23	0.040	68	71	80	74	293
实验组	0.17	0.022	73	84	88	89	334
降幅或增幅/%	26.1**	45.0**	7.4	9.9*	10*	20.3*	14.0*

注：*、与对照组相比，显著差异 ($P < 0.05$)；**、与对照组相比，差异极显著 ($P < 0.01$)。

正交试验优化的强化高温风干成熟的成品为实验组，未经过强化高温风干的成品为对照组。由表 5 可

氧化指标, 促进风味形成。

3.2 强化高温风干成熟工艺对中式培根感官品质的影响

腌腊肉制品工艺时间和温湿度条件是重要的工艺参数, 正是不同的温、湿度条件和发酵成熟时间才形成了不同腌腊肉制品的风味特色。随温度的升高, 水分含量不断降低而盐分含量不断提高, 结果表明中式培根成品的盐分含量与感官总分呈显著正相关, 香气与风干温度的提高呈显著正相关($P < 0.05$)。同时高温可以有效地降低脂质二级氧化指标, 防止脂质过氧化产生腐败味, 利于产品的风味品质。强化高温风干成熟工艺生产的中式培根比对照组感官评定的质地、滋味、香味都有显著提高($P < 0.05$)。章建浩等^[19]研究发现, 强化高温成熟缩短工艺时间可以提高金华火腿感官品质, 缩短近一半工艺时间的火腿风味已可以达到传统一级火腿水平。强化高温风干成熟工艺一方面可以在风干前期提供高温环境, 可以使肉块从内到外建立水分梯度, 加速水分蒸发, 为之后的快速脱水做准备, 缩短工艺时间; 另一方面可以有效控制腐败微生物的生长, 避免产生不良风味。因此提高风干成熟温度可以缩短风味形成时间, 加速风味的积累, 加上短时强化高温可以激活 LOX 活力, 加速脂质分解氧化, 因此能有效弥补工艺时间的缩短。这与 Flores 等^[20]的研究结果一致, 高温风干成熟的温度越高时间越长, 更多不饱和脂肪酸氧化成醛、酮、酯等小分子挥发性化合物, 构成火腿特有的风味。

4 结 论

采用风干前期强化高温风干成熟新工艺, 可以通过调控中式培根 LOX 活力, 加快脂质分解促进脂质氧化和风味积累, 显著降低产品的脂质氧化指标 TBARs 值和 POV 值, 提高其感官品质。强化高温处理(65℃)条件下, 脂肪氧合酶活力显著提高($P < 0.01$), 并在整个风干成熟阶段活力均高于对照组。中式培根最优组 POV 值比对照组降低 45.0%; TBARs 值比对照组降低了 26.1%; 感官总分比对照组提高了 14.0%。以 TBARs 值和感官总分为目标函数的综合回归优化分析结果为风干强化温度 65℃、风干成熟温、湿度 18~29.5℃、72%~68.5%(温度每天升高 1.5℃, 相对湿度每天降低 0.5%)风干时间 8d。强化高温风干成熟新工艺能激活中式培根脂肪氧合酶活力, 有效降低产品的脂质氧化指标 TBARs 值和 POV 值, 提高产品的感官品质和风味。

参考文献:

- [1] 张杨萍, 张弘, 余翔, 等. 中式培根制作工艺及其对理化品质指标和蛋白质水解的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(4): 15-20.
- [2] VESTERGAARD C S, SCHIVAZAPPA C, VIRGILI R. Lipolysis in dry-cured ham maturation[J]. Meat Science, 2000, 55(1): 1-5.
- [3] GAMBOTTI C C, GANDEMER G. Lipolysis and oxidation in subcutaneous adipose tissue during dry-cured ham processing[J]. Food Chemistry, 1999, 64(1): 95-101.
- [4] ANDRES A I, CAVA R, ENTANAS J V, et al. Lipid oxidative changes throughout the ripening of dry-cured Iberian hams with different salt contents and processing conditions[J]. Food Chemistry, 2004, 84(3): 375-381.
- [5] 章建浩, 曾弢, 朱健辉, 等. 金华火腿传统加工过程中脂质分解氧化及其相关性研究[J]. 南京农业大学学报, 2005, 28(4): 117-121.
- [6] 章建浩, 唐志勇, 曾弢, 等. 金华火腿发酵成熟现代工艺及装备研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 230-234.
- [7] JIN Guofeng, ZHANG Jianhao, YU Xiang, et al. Crude lipoxigenase from pig muscle: Partial characterization and interactions of temperature NaCl and pH on its activity[J]. Meat Science, 2011, 87(3): 257-263.
- [8] ZHANG Jianhao, JIN Guofeng, WANG Jiamei, et al. Effect of intensifying high-temperature ripening on lipolysis and lipid oxidation of Jinhua ham[J]. Food Science and Technology, 2011, 44(2): 473-479.
- [9] SALIH A M, SMITH D M, PRICE J F, et al. Modified extraction 2-thiobarbituric acid method for measuring lipid oxidation in poultry[J]. Poultry Science, 1987, 66(9): 1483-1488.
- [10] GATA J L, PINTO M C, MACIAS P. Lipoxigenase activity in pig muscle: purification and partial characterization[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44(9): 2573-2577.
- [11] 邹延军, 周光宏, 徐幸莲, 等. 金华火腿生产过程中脂质氧化及脂肪氧合酶变化特点研究[J]. 食品科学, 2008, 29(3): 60-65.
- [12] 邹延军. 金华火腿加工过程中内源脂肪酶活力变化特点研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(8): 1-6.
- [13] JIN Guofeng, ZHANG Jianhao, YU Xiang, et al. Lipolysis and lipid oxidation in bacon during curing and drying-ripening[J]. Food Chemistry, 2010, 123(2): 465-471.
- [14] 王永丽, 章建浩, 靳国锋, 等. 风干成熟工艺对风鸭脂质分解氧化影响的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(14): 81-86.
- [15] TARLADGIS B G, WATTS B M, YOUNATHAN M T, et al. A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1960, 37(1): 44-48.
- [16] HAREL S, KANNER J. Hydrogen peroxide generation in ground muscle tissues[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1985, 33(6): 1186-1188.
- [17] GREENE B A, CUMUZE T H. Relationship between TBA numbers and inexperienced panelist's assessments of oxidized flavour in cooked beef[J]. Journal of Food Science, 1982, 47(1): 52-58.
- [18] 张杨萍. 中式培根风干成熟工艺及蛋白质、脂质分解氧化规律研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [19] 章建浩, 靳国锋, 王永丽, 等. 强化高温成熟缩短工艺时间对干腌火腿蛋白质水解的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊 1): 97-101.
- [20] FLORES M, SPANIER A M, TOLDRÁ F. Flavor analysis of dry-cured ham[M]//SHAHIDI F. Flavor of meat, meat products and sea-foods[M]. 2nd edition. Maryland, USA: Aspen Publishers, INC Gaithersburg, 1998: 320-341.