

何立超, 马素敏, 李成梁, 等. 温度、盐分以及 pH 值对鸭肉脂肪氧合酶活性的交互影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(6): 1404-1409.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.06.032

温度、盐分以及 pH 值对鸭肉脂肪氧合酶活性的交互影响

何立超¹, 马素敏², 李成梁², 靳国锋², 章建浩³

(1. 武汉设计工程学院食品与生物科技学院, 湖北 武汉 430205; 2. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070; 3. 南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 为了探究风鸭产品加工的关键工艺因子温度、NaCl 含量以及 pH 值对鸭肉中脂肪氧合酶(LOX)活性的综合影响,通过体外模拟风鸭加工的工艺条件,用正交试验方法系统研究了温度、NaCl 含量、pH 值对 LOX 活性的交互作用。结果表明,温度、NaCl 含量以及 pH 值三者对鸭肉 LOX 活性的影响存在显著交互效应($P < 0.01$)。温度和 NaCl 含量对鸭肉 LOX 活性影响的临界值都随着另一方的增加而线性降低;温度对 LOX 影响的临界值随着 pH 值的增大而升高,NaCl 含量临界值随着 pH 值的增大而降低。因此,在风鸭加工过程的起始阶段降低腌制用盐量,提高温度能够提高鸭肉中 LOX 活性。

关键词: 鸭肉; 脂肪氧合酶; 温度; NaCl 含量; pH 值; 交互效应

中图分类号: TS251.6⁺8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)06-1404-06

The interactive influence of temperature, salt concentration and pH on LOX activity of duck breast meat

HE Li-chao¹, MA Su-min², LI Cheng-liang², JIN Guo-feng², ZHANG Jian-hao³

(1. College of Food and Biotechnology, Chutian College Huazhong Agricultural University, Wuhan 430205, China; 2. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 3. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In order to investigate the interactive effects of the critical process factors (as temperature, NaCl content and pH) of cured duck processing on duck lipoygenase (LOX) activity, an orthogonal experiment by in vitro simulated wind duck processing conditions was systematically investigated. The results showed that temperature, NaCl content and pH had significant interactive effect on the LOX activity ($P < 0.01$). The thresholds of the content of NaCl affecting duck LOX activity exhibited a linear decrease with the increasing of temperature, while the thresholds of temperature would rise with the increasing of pH. The activity of LOX increased with the decreasing of salt consumption and the rising of temperature in the initial stage of processing.

Key words: duck meat; lipoygenase; temperature; content of NaCl; pH; interactive effect

收稿日期: 2016-04-19

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2014JC005);
国家自然科学基金项目(C31201390)

作者简介: 何立超(1987-), 女, 河北唐山人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为畜产品加工与质量控制。(E-mail) helichao2010@163.com

通讯作者: 靳国锋, (E-mail) jgf@mail.hzau.edu.cn

脂肪氧化是肉制品加工或贮藏过程中发生的最为普遍的一种生化反应,对肉制品的品质有着非常重要的影响,特别是加工时间比较长,加工过程中又长时间与空气接触的肉制品,例如干腌火腿、腊肉、风干鸡、风干鸭等产品。在这些产品加工过程中脂肪氧化对产品特征风味的形成具有非常重要的作

用^[1-2]。肉制品中脂肪氧化主要包括自动氧化与酶促氧化 2 种形式。其中酶促氧化主要是由脂肪氧合酶(*LOX*)引起的脂质氧化。*LOX* 催化多不饱和脂肪酸氧化形成的氢过氧化物,经过裂解能够生成醛、酮等化合物,这些物质对肉制品风味有重要影响^[3]。*LOX* 普遍存在于植物、动物以及微生物体内。过去研究最多的是植物中的脂肪氧合酶,特别是大豆中脂肪氧合酶的研究更多,而对于肉制品中 *LOX* 的研究却很少。Gata 等^[4]对 Iberian 火腿加工过程中 *LOX* 的活性变化以及风味化合物的形成进行了跟踪研究,发现 Iberian 火腿风味的产生与火腿肌肉中 *LOX* 活性密切相关。之后,也有人研究采用脂肪酶与 *LOX* 催化动物脂肪氧化以制备天然肉味香精^[5-6]。这些研究结果均表明 *LOX* 催化脂肪氧化对肉制品的风味品质有显著影响。

腌腊肉制品加工过程中的工艺因子是影响其脂质氧化的重要因素。因此系统研究工艺条件参数对肉制品中 *LOX* 活性的影响,对于探索肉制品加工过程中脂质氧化调控机制,改进腌腊肉制品的生产工艺,改善产品品质具有非常重要的理论指导意义。风鸭是中国重要的传统特色腌腊禽类产品,具有特殊的风味和品质,为其他肉制品所无法取代,深受广大消费者喜爱。但是目前中国传统风鸭加工时间长,盐分含量高,脂肪氧化严重,这些极大地制约了传统风鸭产品加工业的发展。为此,本研究利用正交试验方法系统分析温度、盐浓度以及 pH 值对鸭肉中 *LOX* 活性的综合影响机制,以期传统风鸭产品加工过程中风味品质形成提供理论指导,同时也为风鸭传统生产工艺的现代化改进提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

亚油酸购自 Sigma 公司。DTT、EDTA、氯化钠、磷酸二氢钠、磷酸二氢钾、磷酸氢二钠、柠檬酸、柠檬酸三钠、氢氧化钠等均为国产分析纯试剂。

T25 高速匀浆机,德国 IKA 公司产品; Allegra 64R 型高速冷冻离心机,美国 Beckman Coulter 公司产品;岛津 UV-2450 紫外可见分光光度计,日本岛津公司产品;HH-6 型数显恒温水浴锅,常州国华电器有限公司产品。

1.2 正交试验设计

根据酶学特性及单因素试验测定结果^[7],本研

究取 4 个因素,即底物浓度、温度、NaCl 浓度、pH 值,每个因素选 3 个水平。试验因素和水平见表 1,每个处理 3 个重复。

表 1 $L_9(3^4)$ 正交试验设计因素水平表

试验号	温度 (℃)	底物浓度 (mmol/L)	pH 值	NaCl 含量 (%)
1	20	8	4.5	2
2	30	10	5.5	3
3	40	12	6.5	4

1.3 脂肪氧合酶(*LOX*)的提取

参照 Gata 等^[4]报道的方法从鸭胸肉中提取脂肪氧合酶。取一定量鸭胸肉,剔除可见脂肪和结缔组织后剁碎,加入 3 倍体积 50 mmol/L 磷酸缓冲液(pH 7.0,含 1 mmol/L DTT 和 1 mmol/L EDTA),在冰水浴中 25 000 r/min 匀浆 4×10 s,将匀浆在冰水浴中搅拌 30 min,于 4℃、15 000 g 下离心 60 min,上清液用 4 层纱布过滤,得到 *LOX* 粗提液。

1.4 亚油酸底物配制

将 0.18 ml 吐温-20 分散于 5.00 ml 0.2 mol/L 硼酸盐缓冲液(pH 9.0)中,摇动下逐滴加入 140 mg 的亚油酸标品溶液,充分混匀使亚油酸微粒分散于液体中,加入 1 mol/L 氢氧化钠 1.00 ml 摇动,直到溶液变澄清透明,用浓盐酸调 pH 至 9.0,然后用上述硼酸盐缓冲液稀释到 50.00 ml。将配制好的亚油酸溶液分装保存在 EP 管中,于-18℃条件下储存备用。

1.5 *LOX* 活性分析

200 μl 亚油酸底物与 2.9 ml 50 mmol/L 柠檬酸缓冲液(pH 5.5)混合,待其在 234 nm 处的吸光值稳定后,加入 0.1 ml *LOX* 粗提液,迅速混合,于 234 nm 处测定其 1 min 内吸光值的增加量。以 200 μl 亚油酸底物、2.9 ml 柠檬酸缓冲液和 0.1 ml 酶提取缓冲液混合为空白对照。酶活性定义:在一定温度和 pH 值条件下,反应体系 1 min 增加吸光度 0.001 为 1 个活性单位(U)。

2 结果与分析

2.1 工艺因子对鸭肉 *LOX* 活性的影响

LOX 酶活性影响因素 $L_9(3^4)$ 正交试验结果见表 2。由表 2 可知,正交试验中不同处理组间 *LOX*

活性差异显著 ($P<0.05$), 极差分析结果表明, 各因素对 *LOX* 活性的影响大小顺序为温度>NaCl 含量>pH 值>底物浓度, 最优水平为温度 30 ℃、底物浓度 12 mmol/L、pH 5.5、NaCl 3.0%。这表明在风鸭加工

过程中通过调控温度可以实现对 *LOX* 活性的有效调控。方差分析结果(表 3) 也表明影响 *LOX* 活性的主次顺序为温度>NaCl 浓度>pH 值>底物浓度, 与极差分析结果一致。

表 2 工艺因子影响鸭肉 *LOX* 活性的正交试验结果

Table 2 The results of orthogonal experiment on the process factors affecting cured duck *LOX* activity

组别	温度(℃)	底物浓度(mmol/L)	pH 值	NaCl 浓度(%)	<i>LOX</i> 活性(U)
1	20	8	4.5	2	0.033 73±0.004 15d
2	20	10	5.5	3	0.044 43±0.002 25c
3	20	12	6.5	4	0.023 71±0.000 26f
4	30	8	5.5	4	0.053 67±0.001 65b
5	30	10	6.5	2	0.037 80±0.002 13d
6	30	12	4.5	3	0.073 73±0.002 73a
7	40	8	6.5	3	0.028 80±0.002 55e
8	40	10	4.5	4	0.019 77±0.000 45f
9	40	12	5.5	2	0.033 93±0.003 06d
k_1	0.033 959	0.038 733	0.042 411	0.035 156	
k_2	0.055 067	0.034 000	0.044 011	0.048 989	
k_3	0.027 500	0.043 792	0.030 103	0.032 381	
R	0.027 567	0.009 792	0.013 908	0.016 608	

同列中 *LOX* 活性均值具有不同字母者表示差异显著 ($P<0.05$)。

表 3 正交试验方差分析结果

Table 3 Variance analysis results of orthogonal experiment

变异来源	自由度	平方和	均方	F 值	P 值
温度	2	0.003 741 53	0.001 870 76	316.32	<0.000 1
底物浓度	2	0.000 431 65	0.000 215 83	36.49	<0.000 1
pH 值	2	0.001 042 40	0.000 521 20	88.13	<0.000 1
NaCl 浓度	2	0.001 424 63	0.000 712 32	120.44	<0.000 1

为了进一步分析各工艺因子对鸭肉 *LOX* 活性影响的交互效应, 以 *LOX* 活性(A)为目标函数进行 2 次多项式回归, 得到回归方程: $A = -0.001 8 t + 0.004 5 C_s - 0.055 0 p + 0.146 3 C_{NaCl} + 0.002 8 tp - 0.001 6 t C_{NaCl} - 0.014 7 p C_{NaCl} - 0.000 2 t^2 - 0.005 0 C_{NaCl}^2$, 式中, t 为温度(℃), C_s 为底物浓度(mmol/L), p 为 pH 值, C_{NaCl} 为 NaCl 含量(%). 模型方差分析结果表明, 回归模型的拟合效果极显著 ($P<0.000 1$), 模型决定系数 (R^2) = 0.997 8, 校正决定系数 (R_{adj}^2) = 0.996 6. 说明方程拟合度很高, 能够用于进一步分析温度、pH 值以及 NaCl 含量对 *LOX* 活性的交互作

用。从表 4 中可以看出温度与 pH 值以及 NaCl 含量对 *LOX* 活性的影响有显著交互作用 ($P<0.01$), 而且温度的二次项效应对 *LOX* 活性的影响也很显著 ($P<0.01$)。

2.2 温度和 NaCl 含量对鸭肉 *LOX* 活性的交互作用

当固定底物浓度 (C_s) = 10 mmol/L、pH = 5.5 时, $A = -0.025 8 + 0.013 6 t + 0.065 4 C_{NaCl} - 0.001 6 t C_{NaCl} - 0.000 2 t^2 - 0.005 0 C_{NaCl}^2$ 。利用该方程作三维曲面图(图 1)分析温度和 NaCl 含量的交互效应对 *LOX* 活性的影响。

表 4 正交试验回归模型 *t* 检验结果

Table 4 *t*-test results of orthogonal experiment regression model

变量	自由度	估计系数	标准误	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
<i>t</i>	1	-0.001 8	0.001 5	-1.19	0.249 2
<i>C_s</i>	1	0.004 5	0.000 5	8.73	<0.000 1
<i>p</i>	1	-0.055 0	0.002 3	-23.91	<0.000 1
<i>C_{NaCl}</i>	1	0.146 3	0.014 5	10.08	<0.000 1
<i>t</i> × <i>p</i>	1	0.002 8	0.000 2	12.94	<0.000 1
<i>t</i> × <i>C_{NaCl}</i>	1	-0.001 6	0.0002	-7.81	<0.000 1
<i>p</i> × <i>C_{NaCl}</i>	1	-0.014 7	0.0024	-6.13	<0.000 1
<i>t</i> × <i>t</i>	1	-0.000 2	<0.000 1	-11.86	<0.000 1
<i>C_{NaCl}</i> × <i>C_{NaCl}</i>	1	-0.005 0	0.001 2	-0.86	0.403 6

变量 *t* 为温度(℃), *C_s* 为底物浓度(mmol/L), *p* 为 pH 值, *C_{NaCl}* 为 NaCl 含量(%)。

从图 1 可以看出温度和 NaCl 含量对 *LOX* 活性的影响都有临界值,且二者有明显的交互作用。影响 *LOX* 催化活性的温度临界值随反应体系中 NaCl 含量的增加而降低。不同 NaCl 含量对温度临界值的影响见表 5,当酶液中 NaCl 含量为 0 时 *LOX* 催化亚油酸反应的最适温度为 34℃,这与陈欣等^[8]的结果基本一致。此后,随着 NaCl 含量的升高 *LOX* 催化亚油酸氧化的最适温度临界值呈线性($Y = -4x + 34, R^2 = 0.99$)下降趋势,当 NaCl 含量增加到 4% 时,温度临界值下降到 18℃。这表明在正常的风鸭风干成熟工艺过程中,小于 4% 的 NaCl 含量有利于脂肪氧合酶发挥催化作用,因为目前大多数风鸭风干成熟最低工艺温度都在 18℃ 或以上^[9-11]。

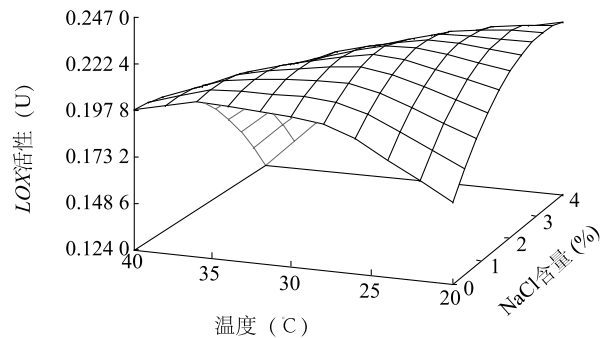


图 1 温度和 NaCl 含量对鸭肉 *LOX* 活性的交互效应

Fig. 1 Interaction effect of temperature and NaCl content on duck *LOX* activity

不同温度对 NaCl 含量临界值的影响见表 6,将表中温度对 NaCl 含量的临界值进行一元二次多项式回归分析,结果表明 NaCl 含量影响 *LOX* 活性的临界值随着反应温度的升高也呈直线下降趋势($Y =$

$-0.16x + 6.545, R^2 = 0.99$)。从表 6 中可以看出,当温度为 20℃ 时,NaCl 含量临界值为 3.3%,这与靳国锋的研究结果一致^[12]。但是陈欣等研究发现室温下 NaCl 含量为 2% 时麻鸭 *LOX* 活性最高^[7]。当温度升高到 30℃ 时,NaCl 含量影响 *LOX* 活性的临界值为 1.7%。关于 NaCl 含量对干腌肉制品肌肉中脂肪氧化的影响,已有研究表明在干腌肉制品加工的腌制阶段,*LOX* 活性随着盐分的渗入而显著上升^[13],这与本研究结果一致。因为干腌肉制品的腌制通常是在低温(<15℃)下进行的,在这样的低温条件下,NaCl 含量对 *LOX* 活性的影响拐点比较大,盐分含量的逐渐升高对 *LOX* 活性具有促进作用。综上所述,在风鸭加工过程中,可以采用降低腌制用盐量,提高温度的方法使肌肉中 *LOX* 保持较高的活性,催化肌肉脂肪氧化形成挥发性风味化合物^[11,13]。目前大多数研究表明 *LOX* 在制备肉味香精中具有非常重要的作用,它催化肌肉脂肪氧化形成大量气味良好的挥发性风味化合物^[5]。王永丽等^[14]研究发现与传统低温风干工艺(4~16℃ 程序升温)相比,高温风干成熟工艺(18~26℃ 程序升温)加工的风鸭鸭胸肉中 *LOX* 活性提高了 7.26%。

表 5 不同 NaCl 含量条件下温度对 *LOX* 活性影响的临界值

Table 5 The thresholds of temperature influencing *LOX* activity under different NaCl contents

NaCl 含量(%)	回归方程	温度临界值(℃)
0	$A = -0.025\ 8 + 0.013\ 6t - 0.000\ 2t^2$	34
1	$A = -0.197\ 0 + 0.012\ 0t - 0.000\ 2t^2$	30
2	$A = -0.150\ 6 + 0.010\ 4t - 0.000\ 2t^2$	26
3	$A = -0.070\ 2 + 0.008\ 8t - 0.000\ 2t^2$	22
4	$A = -0.047\ 6 + 0.007\ 2t - 0.000\ 2t^2$	18

表 6 不同温度条件下 NaCl 含量对 LOX 活性影响的临界值

Table 6 The thresholds of NaCl content influencing LOX activity under different temperature conditions

温度 (°C)	回归方程	NaCl 含量临界值 (%)
10	$A = -0.1415 + 0.0494C_{\text{NaCl}} - 0.0050C_{\text{NaCl}}^2$	4.9
20	$A = -0.0655 + 0.0334C_{\text{NaCl}} - 0.0050C_{\text{NaCl}}^2$	3.3
30	$A = -0.0295 + 0.0174C_{\text{NaCl}} - 0.0050C_{\text{NaCl}}^2$	1.7
40	$A = -0.0335 + 0.0014C_{\text{NaCl}} - 0.0050C_{\text{NaCl}}^2$	0.1

2.3 温度和 pH 值对鸭肉 LOX 活性的交互作用

当固定底物浓度 (C_s) = 10 mmol/L、NaCl 含量 (C_{NaCl}) = 3% 时, $A = 0.4389 - 0.0066t - 0.0991p + 0.0028tp - 0.0002t^2$ 。利用该方程作三维曲面图(图 2), 分析温度和 pH 值对 LOX 活性影响的交互效应。

从图 2 可以看出温度和 pH 值对 LOX 活性具有交互作用。影响 LOX 活性的温度临界值随 pH 值变化而不同(表 7)。对表 7 中 pH 值和温度临界值进行一元二次多项式回归分析, 发现在酸性条件下随着 pH 值的升高, 温度临界值呈线性上升趋势($Y = 7x - 16.5, R^2 = 0.96$), 当 pH = 4.5 时影响 LOX 活性的温度临界值为 15 °C, 当 pH 值升高到 6.5 时温度临界值增大到 29 °C。陈欣等^[8]也研究发现麻鸭 LOX 在酸性条件下活性较高, 但是当温度为 37 °C 时, LOX 的最适作用 pH 值为 6.0, 这与本研究结果存在一定差异, 可能与鸭品种差异有关。在风鸭加工过程中肌肉 pH 值是逐渐增大的, 原料鸭肉 pH 值为 6.08, 至风干结束时 pH 值为 6.54。因此在风鸭加工过程中采取程序升温的加工方式可以使 LOX 活性一直保持在较高水平, 进而有利于风鸭风味化合物的形成^[11,5]。

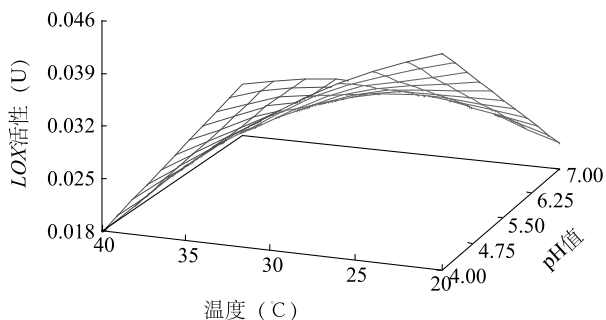


图 2 温度和 pH 值对鸭肉 LOX 活性的交互效应

Fig. 2 Interaction effect of temperature and pH value on duck LOX activity

表 7 不同 pH 值条件下温度对 LOX 活性影响的临界值

Table 7 The thresholds of temperature influencing LOX activity under different pH conditions

pH	回归方程	温度临界值(°C)
4.5	$A = -0.0070 + 0.0060t - 0.0002t^2$	15
5.5	$A = -0.1062 + 0.0088t - 0.0002t^2$	22
6.5	$A = -0.2052 + 0.0116t - 0.0002t^2$	29

2.4 pH 值和 NaCl 含量对鸭肉 LOX 活性的交互作用

当固定底物浓度 (C_s) = 10 mmol/L、温度 (t) = 30 °C 时, $A = -0.1890 + 0.0290p + 0.0983C_{\text{NaCl}} - 0.0147pC_{\text{NaCl}} - 0.0050C_{\text{NaCl}}^2$ 。利用该方程作三维曲面图(图 3), 分析 NaCl 含量和 pH 值对 LOX 活性影响的交互效应。

从图 3 可以看出 pH 值和 NaCl 含量对 LOX 活性的影响存在交互作用。对表 8 中 pH 值和 NaCl 含量临界值进行一元二次多项式回归分析, 可以看出 NaCl 含量对 LOX 活性影响的临界值随着 pH 值的增大呈线性下降趋势($Y = -1.47x + 9.83, R^2 = 0.98$)。温度、NaCl 含量和 pH 值对 LOX 活性的交互作用分析结果, 进一步证实风鸭加工过程中提高工艺温度、降低 NaCl 含量能有效提高 LOX 活性。

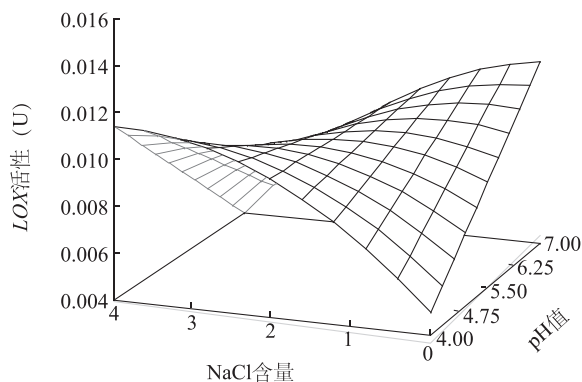


图 3 pH 值和 NaCl 含量对鸭肉 LOX 活性的交互效应

Fig. 3 Interaction effect of pH value and NaCl content on duck LOX activity

3 结论

正交试验结果表明: 影响风鸭 LOX 活性的主要因素依次为温度、NaCl 含量、pH 值、底物浓度; 温度、NaCl 含量及 pH 值对 LOX 活性的影响有极显著

表 8 不同 pH 值条件下 NaCl 含量对鸭肉 LOX 活性影响的临界值
Table 8 The thresholds of NaCl content influencing LOX activity under different pH conditions

pH 值	回归方程	NaCl 含量 临界值(%)
4.5	$A = -0.0585 + 0.0322C_{\text{NaCl}} - 0.0050C_{\text{NaCl}}^2$	3.215
5.5	$A = -0.0295 + 0.0174C_{\text{NaCl}} - 0.0050C_{\text{NaCl}}^2$	1.745
6.5	$A = -0.0005 + 0.0028C_{\text{NaCl}} - 0.0050C_{\text{NaCl}}^2$	0.275

交互作用 ($P < 0.01$), 当温度和 NaCl 含量同时影响 LOX 活性时, 其各自的临界值会随着另一方的增大而降低, 温度对 LOX 活性影响的临界值会随着 pH 值的增大而升高, 而 NaCl 含量临界值随着 pH 值的增大呈现降低趋势。说明在风鸭加工过程的起始阶段降低腌制用盐量以及提高温度, 能够提高 LOX 活性, 从而加快脂质氧化; 而在后期阶段, 随着盐分含量及工艺温度的升高, LOX 活性被抑制, 使氢过氧化物形成速率降低, 从而有效降低产品的氧化指标, 促进风味形成。

参考文献:

[1] CALKINS C R, HODGEN J M. A fresh look at meat flavor[J]. Meat Science, 2007, 77(1): 63-80.
[2] 王俊钢, 刘成江, 李宇辉, 等. 发酵肉制品中风味物质研究进展

[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(9): 251-253, 281.
[3] 郭月红. 腊肉加工过程中脂肪氧化分解及其与风味形成的研究进展[J]. 肉类研究, 2005(3): 33-36.
[4] GATA J L, PINTO M C, MACIAS P. Lipoygenase activity in pig muscle: purification and partial characterization[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1996, 44(9): 2573-2577.
[5] 孙佳, 王超, 曹雁平, 等. 双酶法猪脂氧化改善天然猪肉香精风味的应用[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 84-90.
[6] 王三丽. 外源酶调控生产火腿风味调味料的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
[7] 何立超, 赵见营, 田甜, 等. 樱桃谷鸭胸肉脂肪氧合酶的分离纯化及其酶学特性研究[J]. 食品科学, 2013, 34(7): 166-170.
[8] 陈欣, 姚忠, 徐为民, 等. 麻鸭脂肪氧合酶的分离纯化及其性质研究[J]. 食品发酵与工业, 2013, 39(12): 39-43.
[9] 邹延军, 陈妹, 钟玉虎, 等. 高温风干对风鸭品质及脂质氧化的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(15): 91-96.
[10] 栾亚, 丁占生, 邹延军, 等. 风鸭加工过程中二乙基亚硝胺与亚硝酸盐含量的变化[J]. 肉类研究, 2013, 27(3): 22-25.
[11] 李锋, 王永丽, 章建浩. 高温风干成熟工艺对风鸭风味物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(6): 196-202.
[12] 靳国锋. 干腌培根加工过程中脂质氧化调控机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
[13] 曹锦轩, 吕彤, 王殷, 等. 脂肪相关酶类在干腌肉制品风味形成过程中的作用[J]. 现代食品科技, 2015, 31(1): 254-259.
[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.

(责任编辑: 张震林)