

猪肉肌间/脂肪组织在蒸煮过程中的脂肪酸组成变化

熊明民^{1,2}, 马长伟²

(1. 中国农业科学院科技管理局, 北京 100081;

2. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

摘 要: 猪肉作为人体的一种主要、普遍的动物性油脂来源, 其脂肪酸组成在烹饪过程中的变化, 尤其是饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸比例的变化, 对人体健康有着重要的影响。本实验通过对猪背膘、猪通脊和腊(猪)肉肥肉进行不同时间的蒸煮, 采用气相色谱法对其中的各种脂肪酸进行分析, 探索脂肪酸营养构成较好的蒸煮时间。结果表明: 猪背膘在蒸煮过程中各脂肪酸组成比例变化不明显, 在4.0 h时3种脂肪酸比例较好, 为3.6:4.9:1.0。其中亚油酸和亚麻酸的含量均在4.0 h时达到最大值。猪通脊在蒸煮过程中变化明显, 在1 h时3种脂肪酸比例较好, 为2.5:2.6:1.0。腊肉肥肉在蒸煮过程中变化很明显, 在2 h时是一个明显的转折点, 3种脂肪酸的比例最好, 为1.7:2.9:1.0。

关键词: 脂肪酸; 气相色谱; 猪肉

Changes in Fatty Acid Composition of Pork Intermuscular Tissues and Adipose Tissues in Stewing

XIONG Ming-min^{1,2}, MA Chang-wei²

(1. Department of Science and Technology Management, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Pork is a common source of animal fatty acids for humans. The changes in fatty acid composition, especially the changes in the ratio of saturated fatty acids (S) to monounsaturated fatty acids (M) to polyunsaturated fatty acids (P) during pork cooking process can significantly influence human health. The aim of our present study was to explore the optimal cooking time for achieving the best fatty acid proportion. Pork fat back, loin pork and fat bacon were separately cooked in water for different periods of time. Compositions of fatty acids were analyzed by gas chromatography. Results showed that a good cooking time for fat back pork was 4 hours when the ratio of S: M: P was 3.6: 4.9: 1.0, and the amounts of linoleic and linolenic reached the highest point. For loin pork, the optimal cooking time was 1 hour and the S: M: P ratio was 2.5:2.6:1.0. The best cooking time for fat bacon was 2 hours and the S: M: P ratio was 1.7: 2.9: 1.0.

Key words: fatty acid; gas chromatography; pork

中图分类号: TS251

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)07-0064-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201407013

油脂是人类的主要食品之一, 其主要成分脂肪酸甘油三酯和胆固醇具有极其重要的生理功能^[1], 是人体不可缺少的营养素。脂肪酸一方面可在机体需要时被动用, 参加脂肪代谢, 供给能量; 另一方面, 也起到隔热、保温和支持保护机体内各种脏器以及关节的作用^[2-4]。油脂还是形成食品滑润口感和特殊风味的重要物质^[9-11]。猪肉是人体摄入动物性油脂的一个主要食物来源^[12-15]。热加工过程中肉脂肪酸的变化直接关系到进行加工后的肉品质和营养价值。因此研究蒸煮过程中的各脂肪酸变化情况有助于加工肉类食品营养物质的基础研究, 并为科学地选择烹饪时间

和合理膳食提供依据。黄业传等^[13]研究了蒸煮和烤制对猪肉脂肪含量的影响; 陈银基等^[14]研究了蒸煮与微波加热对牛肉肌肉脂肪酸变化, 并分析了对人的膳食结构的影响。目前有关猪肉肌间组织及脂肪组织中的脂肪酸在热加工过程中的变化规律未见相关报道^[16-18]。本实验通过研究猪背膘、猪通脊和腊(猪)肉肥肉在蒸煮过程中的各脂肪酸的变化情况, 参考国外对饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸及多不饱和脂肪酸比例的推荐值, 对三者的变化进行分析, 从而得出猪肉中脂肪酸在烹调过程中的变化规律, 为科学地选择烹饪时间和合理膳食提供依据。

收稿日期: 2014-01-07

作者简介: 熊明民(1970—), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为农林科技管理。E-mail: xiongmimingmin@caas.cn

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜猪背膘和猪通脊购于中国农业大学市场, 腊肉肥肉购于家乐福超市。

二氯甲烷、甲醇、三氟化硼、苯、正己烷均为分析纯 国药集团化学试剂有限公司; 标准脂肪酸: 月桂酸($C_{12:0}$)、豆蔻酸($C_{14:0}$)、棕榈酸($C_{16:0}$)、棕榈油酸($C_{16:1}$)、十七烷酸($C_{17:0}$)、硬脂酸($C_{18:0}$)、油酸($C_{18:1}$)、亚油酸($C_{18:2}$)、亚麻酸($C_{18:3}$)、花生酸($C_{20:0}$)、花生一烯酸($C_{20:1}$)、花生四烯酸($C_{20:4}$) 美国Sigma公司。

1.2 仪器与设备

Agilent 6820气相色谱仪(配备INNOWAX色谱柱和SGH-300高纯氢发生器) 美国安捷伦科技公司; DS-1高速组织捣碎机 上海标本模型厂; ZFQ85A旋转蒸发器 上海医械专机厂。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

从市场精选上等的猪背膘(或猪通脊或腊肉肥肉)切成4 cm×2 cm厚块, 放在沸水中用慢火蒸煮。分别于设定的时间取样。猪背膘共蒸煮4.5 h, 每隔0.5 h取一次样; 猪通脊共蒸煮5 h, 每隔1 h取一次样; 腊肉共蒸煮4 h, 每隔1 h取一次样。0 h的样品设为对照组, 各样品设置5组平行。

1.3.2 脂肪的提取与保存

准确称取5.00 g样品, 置于高速组织捣碎机中。100 mL二氯甲烷-甲醇混合液(2:1, V/V), 移入捣碎机中。捣样2~3 min, 使其形成均匀的悬浊液。将液体移出至100 mL容量瓶中, 并用少量二氯甲烷-甲醇混合液洗涤捣碎机, 洗涤液移入容量瓶。用二氯甲烷-甲醇混合液定容后使用布氏漏斗抽滤提取液并读取其体积, 将提取液倒入其体积2%的蒸馏水中, 混匀。静置12 h, 使两相液面清晰。读取下层(二氯甲烷层)体积后, 移出上层(水层), 将二氯甲烷层倒入烧瓶内, 在40℃条件下旋转蒸发至仅存少量液体为止, 用氮气把剩余的溶剂吹干。用与二氯甲烷层相同体积二氯甲烷溶解脂肪, 保存待用。

1.3.3 脂肪酸的甲酯化

按三氟化硼、苯、甲醇按体积比4:5:11制备甲酯化试剂, 将400 μ L脂肪二氯甲烷溶液(通脊取2 mL)加入厌氧管中, 用氮气吹干, 然后加入2 mL甲酯化试剂, 于沸水浴中加热30 min, 取出冷却。

1.3.4 脂肪酸的气相色谱分析

向冷却后的液体中加入1 mL蒸馏水和2 mL正己烷, 振摇后静置, 直到两相界面清晰。取出上层液体贮存于螺纹盖样品小瓶中, 以便进行气谱分析。

气相色谱条件: 色谱柱为INNOWAX色谱柱(30 m×0.32 mm, 0.25 μ m); 进样口温度250℃; 检测器温度275℃; 载气为氮气; 载气流速1.56 mL/min; 分流流速44.4 mL/min; 分流比28:1; 尾吹气为氮气; 柱升温程序: 初温200℃, 保持2 min, 以2℃/min升温至240℃, 保持5 min; 进样量1 μ L。

1.4 数据分析

5组平行取平均值, 采用软件SPSS18.0进行单因素方差分析, 以 $P<0.05$ 为显著性检验标准。

2 结果与分析

2.1 猪背膘中脂肪酸的变化

2.1.1 猪背膘中脂肪酸在蒸煮中的变化

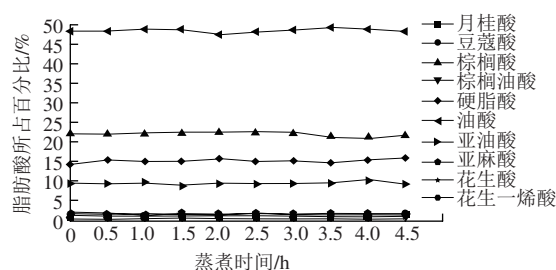


图1 猪背膘中各脂肪酸随蒸煮时间的变化

Fig. 1 Changes in fatty acids in pork back fat in the cooking process

通过样品和标准脂肪酸气相色谱的比较, 根据保留时间判断, 原料猪背膘中存在以下10种脂肪酸: 月桂酸($C_{12:0}$)、豆蔻酸($C_{14:0}$)、棕榈酸($C_{16:0}$)、棕榈油酸($C_{16:1}$)、硬脂酸($C_{18:0}$)、油酸($C_{18:1}$)、亚油酸($C_{18:2}$)、亚麻酸($C_{18:3}$)、花生酸($C_{20:0}$)、花生一烯酸($C_{20:1}$)^[16-18]。由图1可知, 猪背膘中油酸含量最高, 占48%左右, 其次是棕榈酸(22%)和硬脂酸(15%)。各脂肪酸气相色谱随时间变化曲线平缓, 趋势不明显。豆蔻酸、棕榈油酸和花生四烯酸在新鲜猪肉中的含量为最高, 豆蔻酸在3.5 h最低, 棕榈油酸在4.0 h为最低, 花生一烯酸在1.0 h最低。棕榈酸在2.5 h的含量最高, 在4.0 h的含量最低。硬脂酸在4.5 h含量达到最大, 在新鲜猪肉中的含量最低。油酸在3.5 h的含量最高, 在2.0 h的含量最低。亚油酸和亚麻酸的含量均在4.0 h达到最大, 在1.0 h最低。花生酸在1.0 h含量最高, 在4.0 h最低。

2.1.2 猪背膘中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸及多不饱和脂肪酸的变化

由图2可知, 猪背膘中单不饱和脂肪酸含量最高, 其次是饱和脂肪酸, 多不饱和脂肪酸含量最少。结合SAS软件分析, 其中, 多不饱和脂肪酸在4.0 h达到最大值10.40%, 与其他时间差异极显著; 单不饱和脂肪酸在3.5 h含量达到最大, 与其他时间差异极显著, 为

52.39%; 饱和脂肪酸在3.5 h时含量最低, 为37.66%, 与其他时间差异极显著。在1.0 h左右、3.5~4.0 h这两段时间饱和脂肪酸的含量较低, 单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸的含量较大, 三者的比例比较好。

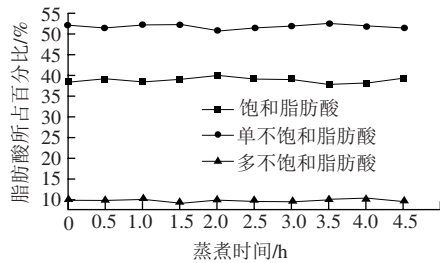


图2 猪背膘中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸及多不饱和脂肪酸随时间变化

Fig.2 Changes in saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids in pork back fat during the cooking process

2.2 猪通脊中脂肪酸的变化

2.2.1 猪通脊中脂肪酸在蒸煮中变化情况的分析

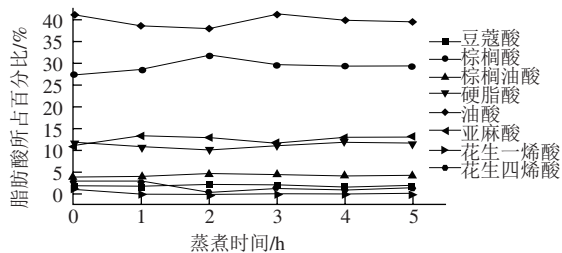


图3 猪通脊中各脂肪酸随蒸煮时间的变化

Fig.3 Changes in fatty acids in pork tenderloin during the cooking process

通过比较样品和标准脂肪酸的气相色谱, 根据保留时间判断, 可以发现原料猪通脊中存在以下7种脂肪酸: 豆蔻酸 ($C_{14:0}$)、棕榈酸 ($C_{16:0}$)、棕榈油酸 ($C_{16:1}$)、硬脂酸 ($C_{18:0}$)、油酸 ($C_{18:1}$)、亚油酸 ($C_{18:2}$)、花生一烯酸 ($C_{20:1}$)。猪通脊中以油酸含量最高 (40%左右), 其次是棕榈酸 (占30%左右), 硬脂酸和亚油酸含量也较高 (11%、12%左右)。由图3可知, 豆蔻酸在蒸煮初期含量略有下降, 然后逐渐上升, 在2 h达到最大, 然后下降, 到5 h时又略有回升。棕榈酸随蒸煮开始含量先上升, 在2 h时达到最大, 其后开始下降直到3 h, 以后变化趋于平缓。棕榈油酸前半段变化与棕榈酸类似, 先上升在2 h时含量达到最大, 然后一直下降, 直到5 h略有回升。硬脂酸刚开始时随蒸煮含量下降, 在2 h达到最低, 然后上升, 直到5 h又略有下降。油酸随蒸煮开始含量下降, 在2 h达到最低, 然后含量突然上升, 在3 h达到最大, 以后又逐渐下降。亚油酸在蒸煮1 h含量即达到最大, 然后下降在3 h达到最低, 之后回升至接近最高值。花生四烯酸在蒸煮初期变化不明显, 在2 h时突然降到最低, 然后缓缓上升, 在4 h时略微下降。

2.2.2 猪通脊中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸及多不饱和脂肪酸变化情况的分析

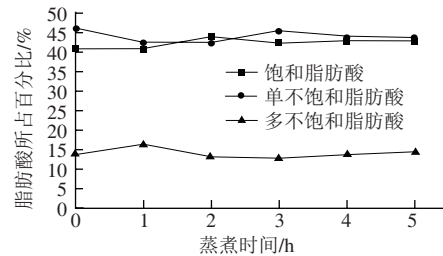


图4 猪通脊中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸及多不饱和脂肪酸随时间变化

Fig.4 Changes in saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids in pork tenderloin during the cooking process

由SAS软件分析得出, 饱和脂肪酸各时间段间差异极显著, 单不饱和脂肪酸除4 h和5 h、1 h和2 h之间差异不显著外, 其他时间段之间差异均为显著或极显著, 多不饱和脂肪酸在1 h时的含量与其他时间差异极显著。由图4可知, 猪通脊中饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸的含量接近, 均高于40%; 多不饱和脂肪酸含量低于前两者, 在1 h时达到最高含量16.17%, 之后逐渐下降, 在3 h达到最低12.80%, 之后又略有回升。单不饱和脂肪酸在新鲜猪肉中含量最高46.16%, 随蒸煮的进行略有下降, 2 h后开始上升, 到3 h又逐渐下降。饱和脂肪酸在1 h时最低, 然后上升在2 h达到最高为43.99%, 之后开始下降。综上, 在1 h左右3种脂肪酸的比例较好, 而2 h时比例不理想。

2.3 腊肉肥肉中脂肪酸的变化

2.3.1 腊肉肥肉中脂肪酸在蒸煮中变化情况的分析

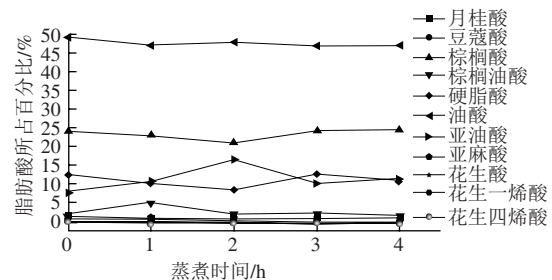


图5 腊肉肥肉中各脂肪酸随蒸煮时间的变化

Fig.5 Changes in fatty acids in Chinese bacon fat during the cooking process

通过样品和标准脂肪酸的气相色谱的比较, 根据保留时间判断, 可发现原料腊肉肥肉中存在以下11种脂肪酸: 月桂酸 ($C_{12:0}$)、豆蔻酸 ($C_{14:0}$)、棕榈酸 ($C_{16:0}$)、棕榈油酸 ($C_{16:1}$)、硬脂酸 ($C_{18:0}$)、油酸 ($C_{18:1}$)、亚油酸 ($C_{18:2}$)、亚麻酸 ($C_{18:3}$)、花生酸 ($C_{20:0}$)、花生一烯酸 ($C_{20:1}$)、花生四烯酸 ($C_{20:4}$)。腊肉肥肉中以油酸含量最高 (占48%左右), 其次是棕

桐酸（占23%左右），硬脂酸和亚油酸含量也较高，分别占11%左右和12%左右。由图5可知，豆蔻酸、棕榈酸、花生酸和花生一烯酸在蒸煮初期随时间增加含量在下降，在2 h达到最低，然后随蒸煮时间延长又逐渐上升。硬脂酸在蒸煮初期也随时间下降，在2 h达到最低，然后突然增加，在3 h达到最大值，之后又下降。油酸随时间变化比较复杂，属于上下浮动型，0~1 h下降，1~2 h增加，2~3 h又下降，3~4 h上升，而且变化幅度不大。亚油酸和亚麻酸先随蒸煮时间增加而增加，在2 h时含量达到最大，然后随时间开始下降。可见蒸煮2 h是一个明显的转折点。

2.3.2 腊肉肥肉中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸及多不饱和脂肪酸变化情况的分析

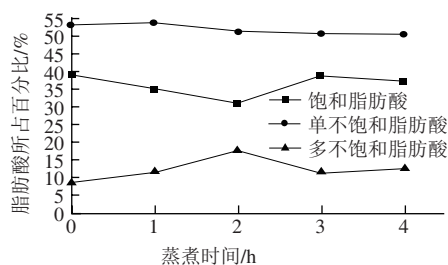


图6 腊肉肥肉中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸及多不饱和脂肪酸随时间变化

Fig.6 Changes in saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids in Chinese bacon during the cooking process

由SAS软件分析可知，饱和脂肪酸除0 h和3 h之间差异不显著外，其余时间差异极显著，单不饱和脂肪酸在1 h的含量与其他时间差异极显著，多不饱和脂肪酸在2 h时的含量与其他时间差异极显著。由图6可知，单不饱和脂肪酸含量最大，其次是饱和脂肪酸，多不饱和脂肪酸的最低。饱和脂肪酸随蒸煮时间增加而减少，在2 h达到最低，为31.03%，之后快速增加，在3 h达到最大值。多不饱和脂肪酸随蒸煮时间增加而增加，在2 h达到最高17.80%，之后开始减少。单不饱和脂肪酸在1 h达到最大值53.95%，然后缓慢下降。可以看出在2 h时，3种脂肪酸的比例最好，此时腊肉肥肉中的脂肪酸营养结构最好。

3 讨论与结论

猪背膘中主要的脂肪酸是油酸、棕榈酸和硬脂酸。猪通脊和腊肉肥肉中主要的脂肪酸均是油酸、棕榈酸、亚油酸和硬脂酸^[19-21]。其中油酸在3种肉中含量占有绝对优势，均在40%以上。3种肉无论新鲜还是经过蒸煮，通脊肉的脂肪酸结构都最好，其多不饱和脂肪酸的比例明显高于其他两种肉；通脊中未分离出亚麻酸^[22]。猪背膘中亚油酸含量低于硬脂酸，猪通脊和腊肉肥肉中恰好相反。猪背膘和腊肉肥肉中单不饱和脂肪酸含量大于饱和

脂肪酸，而通脊中两者的比例差不多。经分析，猪背膘在蒸煮过程中的各脂肪酸变化主要在1 h和3.5~4.0 h，其饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸及多不饱和脂肪酸的比例较好；同时由于亚油酸和亚麻酸这两种对人体十分重要的必需脂肪酸均在4.0 h达到最大值，因此认为猪背膘在蒸煮3.5~4.0 h其脂肪酸组成最好。饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸及多不饱和脂肪酸比例为3.6:4.9:1.0，最有利于人体健康^[23-25]。猪通脊在蒸煮过程中的各脂肪酸变化比较明显，在1 h其3种脂肪酸比例较好，为2.5:2.6:1.0，其他时段均不理想。因此认为猪通脊不宜长时间水煮。腊肉肥肉在蒸煮过程中的各脂肪酸变化明显，在2 h时3种脂肪酸比例明显优于其余时段，为1.7:2.9:1.0。研究结果可作为合理膳食和科学安排猪肉蒸煮时间的科学依据和参考。

参考文献:

- [1] 荀晓霖, 刘志龙. 老年人吃肥肉: 变不利因素为有利因素的烹饪条件[J]. 现代预防医学, 1999, 26(4): 456-458.
- [2] 杨朝霞, 张丽, 李朝阳. 花生四烯酸的营养保健功能[J]. 食品与药品, 2005, 7(1): 69-71.
- [3] 张伟敏, 钟耕, 王炜. 单不饱和脂肪酸营养及其生理功能研究概况[J]. 粮食与油脂, 2005(3): 13-15.
- [4] 邹建凯. 猪油挥发油成分的气相色谱/质谱法分析[J]. 分析化学, 2002, 30(4): 5-12.
- [5] 霍晓娜, 李兴民, 李海芹, 等. 不同部位冷却猪肉中脂肪酸组成与脂肪氧化的变化[J]. 食品科技, 2005(12): 26-30.
- [6] 黄业传, 李洪军, 秦刚, 等. 不同加工方式与时间对猪肉脂肪含量和脂肪酸组成的影响[J]. 食品工业科技, 2012(1): 159-163.
- [7] 吴妹英, 曹长贤, 张力, 等. 不同品种猪肌肉脂肪酸和氨基酸含量[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2009, 38(2): 166-170.
- [8] 张恒涛, 常铮, 王海全. 不同性别猪肉脂肪组成与脂肪氧化稳定性[J]. 肉类研究, 2006, 20(4): 21-24.
- [9] 喻文娟, 侯静文, 朱邦尚. 外标-气相色谱-质谱法准确测定猪肉中的14种脂肪酸[J]. 分析仪器, 2012(3): 10-16.
- [10] 李莹莹, 李家鹏, 吴晓丽, 等. 蒸煮温度和时间对猪肉脂肪组成比例关系的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(23): 27-30.
- [11] 李庆岗, 经荣斌. 猪肌肉脂肪酸的研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2004, 31(5): 10-12.
- [12] 刘安军, 贾琰, 王稳航, 等. 猪肉半干香肠发酵成熟过程中脂肪酸变化研究[J]. 食品科技, 2009, 34(6): 113-117.
- [13] 黄业传, 李洪军, 吴照民, 等. 猪肉烤制过程中脂肪含量和脂肪酸组成的变化[J]. 食品科学, 2011, 32(24): 213-219.
- [14] 陈银基, 周光宏, 鞠兴荣. 蒸煮与微波加热对牛肉肌肉脂肪中脂肪酸组成的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(2): 130-136.
- [15] 霍晓娜, 李兴民, 刘毅, 等. 猪腿肉脂肪酸组成及脂肪氧化的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(1): 101-104.
- [16] BLIGH E G, DYER W J. A rapid method of total lipid extraction and purification[J]. Canada Journal of Biochemistry and Physiology, 1959, 37(8): 911-913.
- [17] CHRISTIE W W. Lipid analysis[M]. Dundee: The Oily Press, 2003: 33-45.
- [18] DEMAISON L, MOREAU D. Dietary n-3 polyunsaturated fatty acids and coronary heart disease-related mortality: a possible mechanism of action[J]. Cellular and Molecular Life Sciences, 2002, 59(3): 463-477.
- [19] FIDEL T. Proteolysis and lipolysis in flavour development of dry-cured meat products[J]. Meat Science, 1998, 49: 101-110.
- [20] LAURITZEN L, HANSEN H S, JØRGENSEN M H, et al. The essentiality of long chain n-3 fatty acids in relation to development and function of the brain and retina[J]. Progress in Lipid Research, 2001, 40(1): 1-94.
- [21] LEWIS R A, LEE T H, AUSTEN K F. Effects of omega-3 fatty acids on the generation of products of the 5-lipoxygenase pathway[M]//SIMOPOULOS A P, KIFER R R, MARTIN R E. Health Effects of Polyunsaturated Fatty Acids in Seafoods. Orlando, Florida: Academic Press, Inc., 1986: 227-238.
- [22] NEURINGER M, CONNOR W E, van PETTEN C, et al. Dietary omega-3 fatty acid deficiency and visual loss in infant rhesus monkeys[J]. Journal of Clinical Investigation, 1984, 73(1): 272-276.
- [23] SPRECHER H, CHEN Q, YIN F Q, et al. Regulation of the biosynthesis of 22: 5n-6 and 22: 6n-3: a complex intracellular process[J]. Lipids, 1999, 34(1): 153-156.
- [24] THOMSEN C, RASMUSSEN O, LOUSEN T, et al. Differential effects of saturated and monounsaturated fatty acids on postprandial lipemia and incretin responses in healthy subjects[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1999, 69(6): 1135-1143.
- [25] OSORIO V M, de LOURDES CARDEAL Z. Using SPME-GC/MS to evaluate acrolein production in cassava and pork sausage fried in different vegetable oils[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2013, 90(12): 1795-1800.