

不同畜禽肌肉脂肪酸组成的对比分析

王 毅¹, 贺稚非^{1,2}, 陈红霞¹, 朱慧敏¹, 甘 奕¹, 李洪军^{1,2,*}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400716;

2. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400716)

摘要: 采用GC-MS测定猪、牛、鸡、兔后腿肌脂肪酸组成的相对百分含量和实际当量, 测定结果表明四者的主要脂肪酸组成有17种, 其中棕榈酸(16:0)、硬脂酸(18:0)、油酸(18:1n-9)、亚油酸(18:2n-6)和花生四烯酸(20:4n-3)的总含量占肌肉总脂肪酸含量分别为84.35%、79.71%、81.78%、81.19%。n-6/n-3比率猪肉最高, 鸡肉、兔肉次之, 牛肉最低。就综合营养价值而言, 兔肉最高, 牛肉、鸡肉次之, 猪肉最低。

关键词: 肌肉脂肪, 脂肪酸组成, 营养价值

Comparative analysis of intramuscular fatty acid composition of different hind leg meat

WANG Yi¹, HE Zhi-fei^{1,2}, CHEN Hong-xia¹, ZHU Hui-min¹, GAN Yi¹, LI Hong-jun^{1,2,*}

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Chongqing Special Food Engineering and Technology Research Center, Chongqing 400716, China)

Abstract: The relative percentage and actual content of the fatty acids composition of hind leg muscle of the pork, beef, chicken, rabbit were determined by GC-MS. The result showed that there were 17 principal fatty acids in the muscle, where in the content of palmitic acid(16:0), stearic acid(18:0), oleic acid(18:1n-9), linoleic acid(18:2n-6) and arachidonic acid(20:4n-3) were 84.35%, 79.71%, 81.78%, 81.19% of the total content of fatty acids. The n-6/n-3 ratio of pork was the highest, followed by chicken and rabbit, and beef was the least. Comprehensive nutritional value of rabbit was the best, followed by beef and chicken, and pork was the lowest.

Key words: intramuscular fat; fatty acid composition; nutritional value

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2013)18-0123-04

脂肪是由甘油和脂肪酸组成的三酰基甘油酯, 脂肪酸按其饱和度可以分为三大类: 饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)、单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)。不同肉品中脂肪所含脂肪酸的种类和含量不同, 脂肪的性质和特点主要取决于其中的脂肪酸。自然界中含有多种脂肪酸, 一般由4~24个碳原子组成, 且大多数脂肪酸含有偶数个碳原子, 这是因为它们通常是从乙碳单位生物合成的^[1-3]。

在营养学和生物化学领域中, 根据第一个双键的位置又将PUFA分为n-3和n-6系列, 其中n-3系列有: 亚麻酸(18:3)、EPA(20:5)、DHA(22:6)等; n-6系列有亚油酸(18:2)、花生四烯酸(20:4)等。营养学家和临床医学家研究认为, 脂肪酸在维持人体健康方面发挥着重要的作用, 膳食中中链脂肪酸的组成(n-6/n-3)及含量(P/S)与各种疾病(如肿瘤、心脑血管病

和老年痴呆症等)的发病率呈正相关性^[3-4]。

评价肉品的标准有很多, 其中肌肉脂肪是一个重要指标, 尤其是多不饱和脂肪酸, 它是肉食香味的重要前体物质, 也是人体不可缺少的营养物质^[5-6]。因而脂肪酸的组成和含量也就成为衡量肉品营养价值的重要指标。另外肉品脂肪含量与脂肪酸组成直接影响肉品的食用品质和贮藏性能, 富含不饱和脂肪酸的肉品易于氧化酸败而难以长期贮藏, 影响货架期, 因此测定和分析肉品脂肪含量和脂肪酸组成对保证肉品质量、促进肉品消费有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猪腿肉、牛腿肉、鸡腿肉、兔腿肉 购于重庆永辉超市, 运回实验室后于-18℃保藏待用, 使用前原料在4℃解冻24h后, 去掉表面可见脂肪和筋膜, 分割切块, 均取后腿肌肉作为实验材料; 十七烷酸甲酯 Sigma公司; 14%三氟化硼-甲醇溶液 CNW公司; 氯仿、甲醇、NaCl、无水Na₂SO₄、苯、石油醚、正己烷 均为分析纯, 购于成都市科龙化工试剂厂。

MJ-25BM04A美的搅拌机 广东美的精品电器制造有限公司; RE-52AA真空旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂; 恒温振荡器 金坛市富华仪器有限

收稿日期: 2013-04-01 * 通讯联系人

作者简介: 王毅(1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学。

基金项目: 农业部国家兔产业技术体系岗位科学家项目(CARS-44-D-1); 农业部公益性行业(农业)科研专项(201303144)。

公司;HH-6富华数显恒温水浴锅 金坛市富华仪器有限公司;XW-80A漩涡混合器 上海青浦沪西仪器厂;GCMS-QP2010Plus气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司。

1.2 实验方法

1.2.1 脂肪的提取 参考Folch^[7]的方法,将后腿肌绞碎,混匀。称取10g肌肉样品,加入140mL氯仿甲醇混合溶液(2:1, v/v),45℃恒温振荡2h后过滤,往滤液中加入30mL饱和NaCl溶液,振荡摇匀,静止分层,下层的氯仿层即为脂肪提取液,用无水Na₂SO₄干燥后,在45℃水浴中用旋转蒸发器浓缩,得到肌肉脂肪。

1.2.2 脂肪酸组成分析 参考Dias^[8]和AOAC^[9]的方法,将浓缩脂肪置于15mL具塞试管中,加入3mL苯石油醚混合溶液(1:1, v/v),轻轻摇动使之溶解。再加入2mL 14%三氟化硼-甲醇溶液,混匀,在45℃水浴中反应30min。加1mL正己烷使甲酯溶于其中,最后加适量饱和NaCl溶液使全部有机相甲酯溶液上升至试管上部。澄清后吸取上清液,装入进样小瓶中,即可用于气相色谱分析。

气相色谱-质谱联用仪参数:GC条件:DB-FFAP毛细管色谱柱(30m×0.25mm×0.25μm),压力100.1kPa,总流量87.3mL/min,柱流量1.04mL/min,线速度38.9cm/sec,吹扫流量3.0mL/min,分流比:80:1,进样量1μL,载气为氦气,进样口温度250℃,柱箱升温程序为:起始温度160℃,保持3min,以4℃/min升到175℃,保持2min,再以4℃/min升到185℃,保持2min,最后以4℃/min升到230℃,保持3min,总程序时间27.5min。

MS条件:离子源温度250℃,接口温度250℃,溶剂延迟2min,质量扫描范围m/z:40~450。

1.2.3 定性及定量分析 实验采用MS谱库相似度检索定性及峰面积定量分析,采取峰面积归一化法测定各脂肪酸的相对百分含量,采用十七烷酸甲酯外标法计算各脂肪酸的实际当量。

标准曲线的制备:准确称取0.0200g十七烷酸甲酯,溶解于正己烷中,并定容至10mL,制成2mg/mL十七烷酸甲酯标准溶液。再将其依次稀释成1、0.5、0.25、0.125mg/mL标准溶液。分别取1μL进GCMS测定峰面积。十七烷酸甲酯标准曲线见图1。

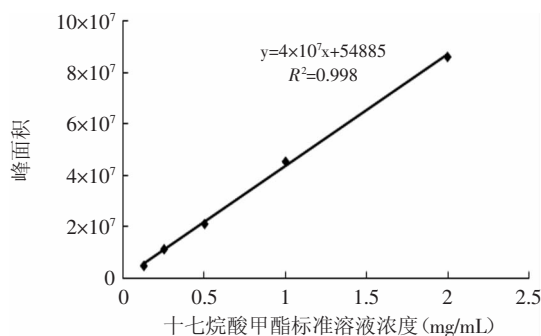


图1 十七烷酸甲酯标准溶液曲线

Fig.1 Curve of the heptadecanoic acid methyl ester standard solution

1.3 统计与分析方法

所有实验均重复3次,实验数据以均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示,使用SPSS 16.0软件进行统计分析,以 $p < 0.05$ 为显著性检验标准,采用Office 2007软件进行图表处理。

2 结果与讨论

2.1 不同畜禽后腿肌肉脂肪含量

表1 不同畜禽后腿肌肉脂肪含量

Table 1 Intramuscular fat content of different hind leg meat

品种	猪肉	牛肉	鸡肉	兔肉
脂肪含量(%)	2.28±0.62 ^a	3.81±0.47 ^b	3.04±0.76 ^{ab}	2.06±0.58 ^a

注:同行肩标不同字母表示差异显著($p < 0.05$);表2、表3同。

由表1可知,不同畜禽肌肉脂肪含量不同,牛腿肌脂肪含量最高,鸡腿肌、猪腿肌次之,兔腿肌最少,仅牛肉与猪肉、兔肉差异显著($p < 0.05$),它们与鸡肉差异都不显著。肌肉脂肪是肌肉组织中重要组成部分,它对肉品的外观、嫩度、风味等均有重要影响。脂肪沉积在肌纤维间和肌束间的结缔组织内形成大理石纹,是肉眼观测评定肌肉脂肪含量的主要指标,牛肉就特别明显。适度的脂肪沉积可使肌肉细嫩多汁,香味浓郁。有研究认为,当肌肉脂肪含量显著低于2.5%时,肉质地和口感较差,而达到3%以上时,口感较好,鲜滑多汁,肥而不腻,但感官上不易被消费者接受^[10-11]。

2.2 不同畜禽肌肉脂肪酸组成

由表2可知,四种畜禽肌肉脂肪酸组成主要有17种,分别是月桂酸(12:0)、肉豆蔻酸(14:0)、十五烷酸(15:0)、棕榈酸(16:0)、棕榈油酸(16:1n-7)、十七烷酸(17:0)、硬脂酸(18:0)、油酸(18:1n-9)、异油酸(18:1n-7)、亚油酸(18:2n-6)、亚麻酸(18:3n-3)、花生酸(20:0)、二十碳一烯酸(20:1n-9)、二十碳二烯酸(20:2n-6)、二十碳三烯酸(20:3n-6)、花生四烯酸(20:4n-6)和EPA(20:5n-3)。其中棕榈酸(16:0)、硬脂酸(18:0)、油酸(18:1n-9)、亚油酸(18:2n-6)和花生四烯酸(20:4n-3)的总含量占肌肉总脂肪酸含量分别为84.35%、79.71%、81.78%、81.19%。

由表3可知,四种畜禽肌肉脂肪酸主要是不饱和脂肪酸(UFA),其含量均大于60%,差异不显著。在不饱和脂肪酸中,各畜禽多不饱和脂肪酸(PUFA)的含量不同,差异显著($p < 0.05$),兔肉最高,鸡肉、牛肉次之,猪肉最少。研究指出,P/S比率与n-6/n-3比率是评价肉品营养价值的两个重要指标,P/S比率兔肉最高,鸡肉、牛肉次之,猪肉最低,兔肉与猪肉、牛肉差异显著($p < 0.05$),与鸡肉差异不显著。n-6/n-3比率猪肉最高,鸡肉、兔肉次之,牛肉最低,猪肉与牛肉、兔肉差异显著($p < 0.05$),与鸡肉差异不显著。比较而言,兔肉是营养最丰富也最均衡的肉品,不饱和脂肪酸含量高,尤其n-3 PUFA含量高,这对人体健康大有裨益^[12-13]。

大量研究认为^[14-15],饱和脂肪酸会增加血浆中低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量,从而增大患心血管疾病的风险,相反,多不饱和脂肪酸会降低LDL-C水平,尤其是n-3 PUFA,对人体有降血脂、抗癌和抗

表2 不同畜禽肌肉脂肪酸组成

Table 2 Intramuscular fatty acid composition of different hind leg meat

脂肪酸名称	碳数及 饱和度	猪肉		牛肉		鸡肉		兔肉		相似度 (%)
		相对含量 (%)	绝对当量 (mg/mL)	相对含量 (%)	绝对当量 (mg/mL)	相对含量 (%)	绝对当量 (mg/mL)	相对含量 (%)	绝对当量 (mg/mL)	
月桂酸	12:0	0.05±0.02 ^a	0.01±0.01 ^A	0.04±0.01 ^a	0.01±0.01 ^A	0.06±0.01 ^a	0.01±0.01 ^A	0.21±0.06 ^b	0.03±0.01 ^B	87
肉豆蔻酸	14:0	2.18±0.25 ^a	0.32±0.08 ^A	2.22±0.19 ^a	0.53±0.13 ^A	1.28±0.12 ^b	0.26±0.10 ^B	2.60±0.42 ^a	0.38±0.11 ^A	95
十五烷酸	15:0	0.21±0.02 ^a	0.03±0.01 ^A	0.44±0.03 ^b	0.10±0.02 ^B	0.10±0.02 ^a	0.02±0.01 ^A	1.07±0.17 ^c	0.16±0.04 ^B	95
棕榈酸	16:0	19.02±0.80 ^a	2.76±0.32 ^A	15.91±0.83 ^b	3.79±0.64 ^B	16.48±0.15 ^b	3.36±0.92 ^B	17.93±1.30 ^{ab}	2.64±0.47 ^A	93
棕榈油酸	16:1n-7	3.21±0.37 ^a	0.47±0.10 ^A	3.47±0.22 ^b	0.83±0.18 ^B	5.43±0.78 ^c	1.14±0.50 ^C	2.90±0.42 ^b	0.43±0.12 ^A	93
十七烷酸	17:0	0.34±0.03 ^a	0.05±0.01 ^A	1.58±0.18 ^b	0.38±0.10 ^B	0.20±0.02 ^a	0.04±0.02 ^A	1.50±0.08 ^b	0.22±0.03 ^B	96
硬脂酸	18:0	17.90±0.28 ^a	2.60±0.43 ^A	18.07±0.46 ^a	4.32±0.84 ^A	15.73±0.67 ^b	3.19±0.76 ^B	12.13±0.77 ^c	1.78±0.06 ^C	94
油酸	18:1n-9	33.21±1.37 ^a	4.82±0.68 ^A	28.40±0.82 ^b	6.80±1.31 ^B	24.25±1.49 ^c	5.01±1.76 ^C	18.10±0.50 ^d	2.66±0.17 ^A	95
异油酸	18:1n-7	6.86±0.35 ^a	1.00±0.17 ^A	4.33±0.10 ^b	1.04±0.19 ^B	5.35±0.14 ^c	1.09±0.28 ^B	3.56±0.16 ^d	0.52±0.05 ^A	93
亚油酸	18:2n-6	9.79±1.12 ^a	1.42±0.44 ^A	11.72±0.79 ^b	2.78±0.33 ^B	16.97±0.53 ^c	3.45±0.86 ^A	25.54±0.42 ^d	3.76±0.37 ^A	93
亚麻酸	18:3n-3	0.20±0.04 ^a	0.03±0.02 ^A	2.20±0.10 ^b	0.52±0.09 ^B	0.65±0.17 ^a	0.14±0.08 ^A	2.85±0.32 ^c	0.42±0.07 ^B	90
花生酸	20:0	0.22±0.04 ^a	0.03±0.01 ^A	0.24±0.02 ^b	0.06±0.01 ^B	0.15±0.01 ^c	0.03±0.01 ^A	0.24±0.03 ^b	0.03±0.01 ^A	83
二十碳一烯酸	20:1n-9	0.78±0.14 ^a	0.11±0.04 ^A	0.35±0.05 ^a	0.08±0.02 ^A	0.84±0.06 ^a	0.17±0.06 ^A	0.51±0.02 ^a	0.07±0.01 ^A	82
二十碳二烯酸	20:2n-6	0.40±0.08 ^a	0.06±0.03 ^A	0.87±0.05 ^a	0.20±0.02 ^A	1.51±0.04 ^b	0.31±0.08 ^B	1.04±0.23 ^a	0.15±0.05 ^A	89
二十碳三烯酸	20:3n-6	0.71±0.15 ^a	0.10±0.04 ^A	2.23±0.15 ^b	0.53±0.06 ^B	1.73±0.08 ^a	0.35±0.08 ^A	1.19±0.03 ^c	0.17±0.01 ^C	90
花生四烯酸	20:4n-6	4.42±0.61 ^a	0.64±0.24 ^A	5.60±0.57 ^b	1.32±0.12 ^A	8.35±1.00 ^{bc}	1.67±0.25 ^B	7.49±1.03 ^c	1.09±0.10 ^C	92
EPA	20:5n-3	0.49±0.10 ^a	0.07±0.03 ^A	2.33±0.23 ^b	0.55±0.09 ^B	0.90±0.11 ^a	0.18±0.03 ^A	1.14±0.06 ^a	0.17±0.01 ^A	83

表3 不同畜禽肌肉脂肪酸类别组成

Table 3 Intramuscular fatty acid category composition of different hind leg meat

脂肪酸类别	猪肉	牛肉	鸡肉	兔肉
SFA (%)	39.92±1.43 ^a	38.49±1.72 ^a	34.00±0.99 ^b	35.68±2.82 ^b
UFA (%)	60.08±4.32 ^a	61.51±3.05 ^a	66.00±4.40 ^a	64.32±3.19 ^a
MUFA (%)	44.06±2.23 ^a	36.56±1.18 ^b	35.88±2.47 ^b	25.08±1.10 ^a
PUFA (%)	16.02±2.09 ^a	24.95±1.88 ^b	30.12±1.93 ^c	39.24±2.08 ^d
P/S	0.40±0.15 ^a	0.65±0.11 ^a	0.89±0.12 ^{ab}	1.10±0.21 ^b
n-6/n-3	22.09±4.36 ^a	4.51±0.94 ^b	18.35±6.39 ^a	8.85±1.81 ^b

炎的功效。FAO/WHO推荐,膳食中多不饱和脂肪酸n-6/n-3的比率为(5~10):1最佳,低比率有利于降低人体患慢性疾病的风险。

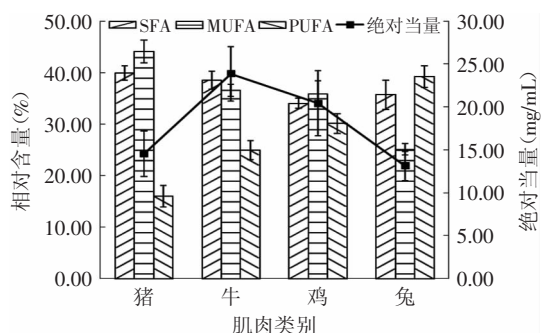


图2 不同畜禽肌肉脂肪酸含量比较

Fig.2 Comparison of the content of the intramuscular fatty acid composition of different hind leg meat

由图2可知,四种畜禽PUFA含量兔肉最高,甚至高于其SFA含量。肌肉脂肪的绝对当量排序为:牛腿肌>鸡腿肌>猪腿肌>兔腿肌,这与2.1中测定的结果

是一致的。动物品种是影响肌肉脂肪含量的重要因素,主要是因为肌肉中不同类型肌纤维的数量和比例影响了肌肉脂肪含量,红肌纤维的脂质含量最高,中间型肌纤维和白肌纤维的脂质含量依次降低。一般来说,明显具有红色特性的肌肉都富含脂质,此外,运动和基因突变也会改变肌纤维类型,最终影响肌肉脂肪含量和组成^[16-17]。

3 结论

通过对猪、牛、鸡、兔四种常见畜禽后腿肌肉脂肪的测定,比较分析它们的脂肪含量和脂肪酸组成,得出:肌肉脂肪含量牛肉最高,鸡肉、猪肉次之,兔肉最少;脂肪酸组成主要有17种,不饱和脂肪酸含量均大于60%,P/S比率兔肉最高,鸡肉、牛肉次之,猪肉最低,n-6/n-3比率猪肉最高,鸡肉、兔肉次之,牛肉最低。所以就综合营养价值而言,兔肉最高,牛肉、鸡肉次之,猪肉最低。

参考文献

[1] 周宏光,张兰威,李洪军,等. 畜产食品加工学[M]. 北京:中国农业出版社,2002:25-31.

- [2] 毕艳兰. 油脂化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 8-15.
- [3] Harris W S. International recommendations for consumption of long-chain omega-3 fatty acids[J]. *Journal of Cardiovascular Medicine*, 2007, 8(1): S50-S52.
- [4] Gogos U, Smith C. n-3 Omega fatty acids: A review of current knowledge[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2010, 45: 417-436.
- [5] Peiretti P G, Meineri G. Effects on growth performance, carcass characteristics, and the fat and meat fatty acid profile of rabbit fed diets with chia seed supplements[J]. *Meat Science*, 2008, 80: 1116-1121.
- [6] Kouba M. Effect of a linseed diet on lipid oxidation, fatty acid composition of muscle, perirenal fat, and raw and cooked rabbit meat[J]. *Meat Science*, 2008, 80: 829-834.
- [7] Folch L M, Sloane G H S. A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1957, 226(1): 497-509.
- [8] Dias I, Yaakob B C, Shuhaimi M, *et al.* Lard detection based on fatty acids profile using comprehensive gas chromatography hyphenated with time-of-flight mass spectrometry[J]. *Food Chemistry*, 2010, 122: 1273-1277.
- [9] AOAC Official Method 996.06 Fat (Total, Saturated, and Unsaturated) in Foods[S]. 2001.
- [10] J D Wood, M Enser, A V Fisher, *et al.* Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review[J]. *Meat Science*, 2008, 78: 343-358.
- [11] J D Wood, R I Richardson, G R Nute, *et al.* Effects of fatty acids on meat quality: a review[J]. *Meat Science*, 2003, 66: 21-32.
- [12] Ivis T, Forrester-Anderson J M, Robin W, *et al.* Fatty acid content of pasture-reared fryer rabbit meat[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2006, 19: 715-719.
- [13] Antonella D Z, Zsolt S. The role of rabbit meat as functional food[J]. *Meat Science*, 2011, 88: 319-331.
- [14] Simopoulos A P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids[J]. *Biomedical Pharmacotherapy*, 2002, 56: 365-379.
- [15] Antonella D Z. Perception of rabbit meat quality and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality [J]. *Livestock Production Science*, 2002, 75: 11-32.
- [16] 陈银基. 不同影响因素条件下牛肉脂肪酸组成变化研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2004.
- [17] 黄业传. 不同处理条件下猪肉脂肪酸组成变化及脂肪对猪肉风味作用的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.

(上接第122页)

- [8] N López, S Condón, I Álvarez, *et al.* Potential applications of PEF to improve red wine quality[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2010, 21(5): 247-255.
- [9] Chen Jie, Zhang Ruobing, Wang Xiuqin, *et al.* Effects of pulsed electric fields on phenols and colour in young red wine [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2010, 30(1): 206-209.
- [10] Fiala A, Wouters P C, Van den Bosch, *et al.* Coupled electrical-fluid model of pulsed electric field treatment in a model food system[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2001, 2(4): 229-238.
- [11] Gerlach D, Alleborn N, Baars A, *et al.* Numerical simulations of pulsed electric fields for food preservation: a review [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2008, 9(4): 408-417.
- [12] 陈锦权. 可用于连续式高压脉冲电场设备的脉冲电场处理室: 中国, 200720006068.6[P]. 2009-06-03.
- [13] 金伟, 平雪良, 吉祥, 等. 高压脉冲电场共场杀菌处理室性能仿真与实验[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(19): 39-47.
- [14] Dunn J E, Pearlman J S. Methods and apparatus for extending the shelf life of fluid food products: US, 19870051841[P]. 1987-05-18.
- [15] Qin B L, Barbosa-Canovas G V, Swanson B G, *et al.* Inactivating microorganisms using a pulsed electric field continuous treatment system[J]. *IEEE Transaction on Industry Applications*, 1998, 34(1): 43-50.
- [16] Barbosa-canovas G V, Tapia M S, Cano M P 著. 张懋等译. 新型食品加工技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2010.
- [17] 崔晓美, 杨瑞金, 赵伟, 等. 高压脉冲电场对石榴汁杀菌的研究[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(3): 252-256.
- [18] Chen J, Zhang R B, Xiao J F, *et al.* Influence of pulse rise time on the inactivation of staphylococcus aureus by pulsed electric fields[J]. *IEEE Transaction on Plasma Science*, 2010, 38(8): 1935-1941.
- [19] 曾新安, 陈勇. 脉冲电场非热杀菌技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005: 165.
- [20] Yin Y G, Zhang Q H, Sastry S K. High voltage pulsed electric field treatment chamber for the preservation of liquid food products: US Patent, 5690978[P]. 1997.
- [21] Bart Roodenburg, Sjoerd W H, Leo B J van Boxtel, *et al.* Conductive plastic film electrodes for pulsed electric field (PEF) treatment—a proof of principle[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2010, 11(2): 274-282.