

不同解冻方式对猪肉营养价值的影响

章杰*,彭新书,马丹,卢露,经路,莫思思,熊磊,刘桦

(西南大学 荣昌校区动物科学系,重庆,402460)

摘 要 为了得到对冻结猪肉较为合理的解冻方式,研究比较了空气、冷水、热水、微波、超高压和低温解冻6种方式对猪背最长肌营养价值的影响,测定其常规营养成分、脂肪酸、氨基酸和微量元素含量的变化。结果显示,超高压和热水解冻分别对保持肌肉的粗脂肪和粗蛋白含量较好;超高压解冻后的肌肉 PUFA/SFA 值为 0.21,能有效保证肌肉的脂肪酸营养价值;微波解冻后肌肉中必需氨基酸和非必需氨基酸含量为各组最高,营养价值较高。6种解冻方式中,超高压和微波解冻能较好的保持猪肉的营养价值。

关键词 解冻方式;猪肉;脂肪酸;氨基酸;微量元素

冷冻作为一种方便且有效的食品贮藏技术,在运输、贮藏和延长肉制品货架期起到了重要的作用。随着社会经济的发展,人们对食物不仅仅是量的需求,而是对其高品质的要求,特别是对其营养价值的关注。解冻是冷冻产品加工前的必要处理过程,而不合理的解冻方式会导致蛋白质变性、质量损失、色泽变化、脂肪氧化、质地变化和气味恶化等问题,进而造成产品品质下降^[1-2]。因此,选择合理的解冻方式对产品质量以及加工特性等起着重要的作用。

前人已在解冻方式对肉品质影响方面做了一些研究,比如常海军等^[3]研究了解冻方式对猪肉品质特性的影响,表明静水解冻和微波解冻有利于保持解冻肉的品质,其中静水解冻的损失率较低,能有效维持肉的保水性;而微波解冻有利于保持肉的嫩度和色泽,其肌肉全蛋白含量较高,全质构特性较好。廖彩虎等^[4]研究了超高压解冻对三黄鸡肉品质的影响,发现超高压解冻可减少解冻时间,但解冻后的肉品质指标与新鲜的相差甚大,推测三黄鸡不适合采用超高压进行解冻。但是,目前还未见解冻方式对猪肉营养价值影响的报道。因此,本实验研究了6种不同的解冻方式(空气解冻、冷水解冻、热水解冻、微波解冻、超高压解冻和低温解冻)对猪肉脂肪酸、氨基酸和微量元素等指标的影响,旨在为猪肉解冻方式的选择及保持其品质提供理论参考,使后续肉制品的加工效率得以提高。

1 材料与方法

1.1 材料

本实验选取猪背最长肌为研究对象,挑选饲养环境条件一致,180日龄的3头阉割的雄性 DLY 商品猪,屠宰后取下3条背最长肌,除去肌肉表面脂肪和结缔组织,顺肌纤维方向切成 10 cm × 10 cm × 5 cm 大小的肉块,随机分为7组,每组3份样品。新鲜对照组不进行冷冻,直接测定样品的各项指标;其余各组经真空包装后放入 -18 ℃ 的低温环境中冷冻 48 h,然后采用不同的解冻方式将其解冻后测定各项指标。

1.2 仪器与设备

PB303-N 电子精密天平,瑞士 Mettler Toledo 公司;SER-148 脂肪测定仪,VELP 公司;KJELTEC 2200 凯氏定氮仪,瑞典 FOSS 公司;ETHOS A T260 微波消解炉,意大利 Milestone 公司;L-8800 型全自动氨基酸分析仪,日本 Hitachi 公司;GC-14C 气相色谱仪,日本 Shimadzu 公司;iCAP 6300 Radial 电感耦合等离子体发射光谱仪,美国 Thermo Fisher 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 解冻方法

空气解冻:将样品置于温度为 20 ℃ 的自然环境下解冻,要求四周无热源,肉块中心温度达到 5 ℃ 即解冻结束。

冷水解冻:用聚乙烯将样品包裹严实后完全浸泡于 15 ℃ 的静水中解冻,肉块中心温度达到 5 ℃ 即解冻结束。

热水解冻:用聚乙烯将样品包裹严实后完全浸泡

第一作者:博士,讲师(本文通讯作者,E-mail:zhangjie813@163.com)。

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(XDJK2015C125)

收稿日期:2016-10-18,改回日期:2016-11-21

于 60 ℃ 的静水中解冻,注意保持水温恒定,肉块中心温度达到 5 ℃ 即解冻结束。

微波解冻:将样品置于塑料托盘中,利用微波炉的解冻程序按质量解冻 10 min。

超高压解冻:将样品用聚乙烯包装后抽真空,放入超高压装置中,参数设定为 200 MPa、30 min。

低温解冻:将样品置于 5 ℃ 冷藏室中解冻 12 h。

1.3.2 指标测定

水分含量:采用 GB/T 5009. 3—2010《食品中水分的测定》直接干燥法^[5];

灰分含量:采用 GB/T 5009. 4—2010《食品中灰分的测定》高温灰化法^[6];

粗蛋白含量:采用 GB/T 5009. 5—2010《食品中蛋白质的测定》半微量凯氏定氮法^[7];

粗脂肪含量:采用 GB/T 14772—2008《食品中粗脂肪的测定》索氏提取法^[8];

氨基酸:采用 GB/T 5009. 124—2003《食品中氨基酸的测定》氨基酸分析仪测定^[9];

微量元素:采用 NY/T 1653—2008《食品中微量元素的测定》中的电感耦合等离子发射光谱法^[10];

脂肪酸:采用 GB/T 9695. 2—2008《肉与肉制品脂肪酸测定》气相色谱法^[11]。

1.4 数据处理

每个指标重复测定 3 次,运用 SPSS 16.0 对数据进行多重比较分析,结果以(平均值 ± 标准差)表示。

2 结果与分析

2.1 常规营养组分测定

如表 1 所示,对肌肉组分的测定结果表明,冷水解冻的肌肉水分含量显著高于新鲜对照($P < 0.05$),空气、微波和低温解冻显著低于新鲜对照($P < 0.05$),热水和超高压解冻与新鲜对照相比差异不显著($P > 0.05$)。此外,低温解冻水分含量最低,可能是由于低温解冻所需时间最长造成肌肉水分较多的流失。除了低温解冻的肌肉灰分含量略高于新鲜对照($P > 0.05$),其余所有解冻方式处理的肌肉灰分含量均显著高于新鲜对照($P < 0.05$)。肌肉粗脂肪和粗蛋白含量在利用不同解冻方式处理后均显著低于新鲜对照($P < 0.05$),但相对于其他方法,超高压和热水解冻分别对保持肌肉的粗脂肪和粗蛋白含量较好。肉在冷冻过程中形成冰晶挤压肌原纤维,改变细胞内部结构,甚至造成细胞膜破裂,导致解冻过程中汁液流失,保水性下降^[12],引起营养物质的流失。

表 1 不同解冻方式对猪肉常规营养组分的影响

Table 1 The effects of different thawing methods on conventional nutritive composition of pork

指标	新鲜对照	空气解冻	冷水解冻	热水解冻	微波解冻	超高压解冻	低温解冻
水分/%	71.83 ± 0.16 ^b	68.78 ± 0.52 ^c	73.15 ± 0.18 ^a	71.34 ± 0.50 ^b	69.13 ± 0.61 ^c	71.1 ± 0.53 ^b	66.05 ± 0.55 ^d
粗脂肪/%	3.08 ± 0.11 ^a	1.80 ± 0.14 ^{bc}	1.74 ± 0.35 ^{bc}	1.68 ± 0.28 ^c	1.92 ± 0.05 ^{bc}	2.22 ± 0.08 ^b	1.85 ± 0.17 ^{bc}
粗蛋白/%	30.93 ± 1.46 ^a	30.08 ± 0.59 ^{bc}	29.18 ± 2.08 ^{bc}	30.79 ± 0.59 ^a	27.52 ± 0.66 ^c	27.47 ± 0.84 ^c	29.65 ± 1.02 ^{bc}
灰分/%	1.13 ± 0.01 ^c	1.62 ± 0.06 ^{ab}	1.45 ± 0.11 ^b	1.44 ± 0.07 ^b	1.61 ± 0.11 ^{ab}	1.69 ± 0.13 ^b	1.49 ± 0.03 ^{bc}

2.2 脂肪酸含量测定

脂肪是人体每天必需摄取的营养素,饱和脂肪酸主要为人体提供能量,摄入过多会引起肥胖和心血管疾病,但摄入不足,会使人血管变脆,易发脑出血、贫血、肺结核和神经障碍等^[13];不饱和脂肪酸能保证细胞正常生理功能,改善血液微循环,增强记忆力和思维能力,特别是多不饱和脂肪酸,对心脏和心血管疾病的防治有重要作用^[14],故脂肪酸的种类和含量直接决定了肉的营养价值。如表 2 所示,与新鲜对照相比,不同解冻方式处理后,肌肉各类脂肪酸含量均发生了显著变化,其中硬脂酸和亚油酸均显著降低($P < 0.05$),油酸和棕榈油酸均显著升高($P < 0.05$)。超高压解冻的肌肉豆蔻酸含量与新鲜对照相比显著升高了($P < 0.05$),其他处理均升高了,但无显著变

化($P > 0.05$);空气、冷水、热水和微波解冻的肌肉棕榈酸含量与新鲜对照相比显著升高了($P < 0.05$),而超高压解冻显著降低了($P < 0.05$);除了超高压解冻外,其他方式解冻的肌肉花生酸含量与新鲜对照相比均显著降低了($P < 0.05$);超高压解冻的肌肉亚麻酸含量与新鲜对照相比显著升高了($P < 0.05$),其余处理均显著降低了($P < 0.05$)。此外,从脂肪酸的类型来比较,SFA 和 PUFA 含量经不同方式解冻处理后均显著降低($P < 0.05$),而 MUFA 含量经不同方式解冻处理后均显著升高($P < 0.05$),说明解冻对不同类型的脂肪酸影响作用是不一样的。营养学上认为 PUFA/SFA 值越大营养价值越高,超高压和低温解冻的 PUFA/SFA 值分别为 0.21 和 0.20,与新鲜对照(0.22)无显著差异($P > 0.05$),而空气、冷水、热水和

微波解冻则显著降低了,说明超高压和低温是最有效保证肌肉脂肪酸营养价值的解冻方式,其次是冷水和微波解冻,影响最大的是空气和热水解冻。由于空气的导热性差,解冻时间长,肌肉表面与空气直接接触,导致脂肪氧化,营养价值降低;热水解冻温度较高会

使肌肉表面蛋白质变性凝聚沉降,表面缝隙增大,导致内部营养成分的流失^[15];高压和低温解冻解冻过程中温度较低且与空气接触少,能较好的保持肌肉的营养价值。

表2 不同解冻方式对猪肉脂肪酸含量的影响

单位: %

Table 2 The effects of different thawing methods on fatty acid content of pork

指标	新鲜对照	空气解冻	冷水解冻	热水解冻	微波解冻	超高压解冻	低温解冻
豆蔻酸	1.43 ± 0.06 ^b	1.55 ± 0.07 ^{ab}	1.54 ± 0.09 ^{ab}	1.51 ± 0.08 ^{ab}	1.45 ± 0.01 ^b	1.62 ± 0.05 ^a	1.52 ± 0.06 ^{ab}
棕榈酸	24.68 ± 2.11 ^c	25.14 ± 3.08 ^a	24.86 ± 2.03 ^b	24.83 ± 1.05 ^b	25.21 ± 4.07 ^a	24.25 ± 3.08 ^d	23.93 ± 3.09 ^e
硬脂酸	14.73 ± 1.44 ^a	12.03 ± 2.36 ^c	10.98 ± 1.33 ^d	10.95 ± 2.25 ^d	12.83 ± 0.81 ^b	10.67 ± 1.12 ^e	10.43 ± 1.06 ^f
花生酸	0.36 ± 0.02 ^a	0.23 ± 0.03 ^b	0.23 ± 0.04 ^b	0.24 ± 0.02 ^b	0.25 ± 0.01 ^b	0.31 ± 0.02 ^a	0.25 ± 0.02 ^b
油酸	43.23 ± 2.74 ^d	46.15 ± 3.12 ^b	47.13 ± 1.37 ^a	47.27 ± 2.45 ^a	45.44 ± 3.13 ^c	46.29 ± 2.19 ^b	46.87 ± 1.23 ^a
棕榈油酸	2.02 ± 0.04 ^d	3.47 ± 0.02 ^b	3.75 ± 0.05 ^a	3.76 ± 0.06 ^a	3.12 ± 0.04 ^c	3.73 ± 0.03 ^a	3.75 ± 0.08 ^a
亚油酸	7.03 ± 0.12 ^a	3.86 ± 0.06 ^f	4.04 ± 0.07 ^e	3.97 ± 0.06 ^{ef}	4.52 ± 0.02 ^c	5.05 ± 0.09 ^b	4.26 ± 0.04 ^d
亚麻酸	0.51 ± 0.02 ^b	0.33 ± 0.01 ^d	0.34 ± 0.02 ^d	0.32 ± 0.01 ^d	0.33 ± 0.02 ^d	0.65 ± 0.04 ^a	0.44 ± 0.03 ^c
SFA	42.64 ± 2.29 ^a	40.97 ± 3.10 ^c	39.53 ± 3.20 ^d	39.56 ± 4.26 ^d	41.61 ± 4.15 ^b	38.85 ± 3.13 ^e	38.86 ± 2.23 ^e
MUFA	48.33 ± 4.84 ^d	52.90 ± 5.16 ^b	54.16 ± 4.14 ^{ab}	54.23 ± 6.18 ^a	51.77 ± 4.12 ^c	53.33 ± 4.19 ^b	53.57 ± 5.04 ^{ab}
PUFA	9.43 ± 1.19 ^a	6.58 ± 0.80 ^c	6.73 ± 1.11 ^c	6.64 ± 0.99 ^c	7.15 ± 0.75 ^d	8.06 ± 1.18 ^b	7.66 ± 1.09 ^c
PUFA/SFA	0.22 ± 0.00 ^a	0.15 ± 0.00 ^b	0.16 ± 0.00 ^b	0.16 ± 0.00 ^b	0.16 ± 0.00 ^b	0.21 ± 0.00 ^a	0.20 ± 0.00 ^a

注: SFA(饱和脂肪酸); MUFA(单不饱和脂肪酸); PUFA(多不饱和脂肪酸)

2.3 氨基酸含量测定

组成比例是评价肉类营养价值的重要指标,也是影响肉品质的重要因素。如表3所示。

氨基酸是构成蛋白质的基本单位,氨基酸含量和

表3 不同解冻方式对猪肉氨基酸含量的影响

单位: %

Table 3 The effects of different thawing methods on amino acids content of pork

指标	新鲜对照	空气解冻	冷水解冻	热水解冻	微波解冻	超高压解冻	低温解冻
蛋氨酸 [#]	0.69 ± 0.03 ^b	0.74 ± 0.01 ^a	0.75 ± 0.03 ^a	0.69 ± 0.03 ^b	0.77 ± 0.02 ^a	0.78 ± 0.01 ^a	0.75 ± 0.01 ^a
缬氨酸 [#]	0.98 ± 0.02 ^b	1.04 ± 0.03 ^a	1.04 ± 0.02 ^a	0.99 ± 0.04 ^b	1.08 ± 0.01 ^a	1.05 ± 0.03 ^a	1.04 ± 0.03 ^a
赖氨酸 [#]	2.51 ± 0.02 ^d	2.64 ± 0.02 ^b	2.63 ± 0.02 ^b	2.49 ± 0.02 ^d	2.73 ± 0.01 ^a	2.59 ± 0.03 ^c	2.59 ± 0.02 ^c
异亮氨酸 [#]	0.99 ± 0.04 ^b	1.04 ± 0.02 ^{ab}	1.05 ± 0.03 ^{ab}	1.00 ± 0.02 ^b	1.08 ± 0.01 ^a	1.02 ± 0.04 ^{ab}	1.04 ± 0.01 ^{ab}
苯丙氨酸 [#]	0.71 ± 0.02 ^b	0.74 ± 0.01 ^{ab}	0.73 ± 0.02 ^{ab}	0.70 ± 0.01 ^b	0.77 ± 0.02 ^a	0.74 ± 0.02 ^{ab}	0.73 ± 0.03 ^{ab}
亮氨酸 [#]	2.00 ± 0.04 ^c	2.10 ± 0.02 ^b	2.11 ± 0.03 ^b	2.00 ± 0.03 ^c	2.17 ± 0.02 ^a	2.05 ± 0.04 ^{bc}	2.07 ± 0.02 ^b
苏氨酸 [#]	1.06 ± 0.03 ^b	1.11 ± 0.01 ^{ab}	1.11 ± 0.02 ^{ab}	1.05 ± 0.01 ^b	1.15 ± 0.03 ^a	1.07 ± 0.03 ^b	1.09 ± 0.02 ^b
酪氨酸 ^{&}	0.51 ± 0.02	0.53 ± 0.05	0.52 ± 0.01	0.50 ± 0.02	0.55 ± 0.04	0.51 ± 0.01	0.52 ± 0.02
天冬氨酸 ^{&}	2.10 ± 0.02 ^c	2.19 ± 0.05 ^b	2.14 ± 0.02 ^{bc}	2.04 ± 0.02 ^c	2.26 ± 0.03 ^a	1.94 ± 0.04 ^d	2.09 ± 0.06 ^c
丝氨酸 ^{&}	0.92 ± 0.03 ^b	0.96 ± 0.03 ^{ab}	0.92 ± 0.01 ^b	0.88 ± 0.01 ^b	0.98 ± 0.02 ^a	0.83 ± 0.02 ^c	0.91 ± 0.03 ^b
谷氨酸 ^{&}	3.54 ± 0.02 ^c	3.71 ± 0.03 ^b	3.56 ± 0.02 ^c	3.40 ± 0.02 ^e	3.85 ± 0.02 ^a	2.83 ± 0.01 ^f	3.44 ± 0.02 ^d
甘氨酸 ^{&}	1.00 ± 0.03 ^b	1.05 ± 0.01 ^a	1.03 ± 0.01 ^{ab}	0.98 ± 0.02 ^b	1.06 ± 0.02 ^a	1.02 ± 0.01 ^{ab}	1.03 ± 0.01 ^{ab}
丙氨酸 ^{&}	1.05 ± 0.02 ^b	1.08 ± 0.03 ^{ab}	1.11 ± 0.03 ^{ab}	1.04 ± 0.02 ^b	1.11 ± 0.02 ^{ab}	1.13 ± 0.01 ^a	1.10 ± 0.03 ^{ab}
胱氨酸 ^{&}	0.21 ± 0.02 ^b	0.25 ± 0.01 ^{ab}	0.28 ± 0.03 ^a	0.21 ± 0.03 ^b	0.31 ± 0.04 ^a	0.30 ± 0.03 ^a	0.30 ± 0.04 ^a
组氨酸 ^{&}	0.95 ± 0.02 ^b	1.02 ± 0.01 ^a	1.00 ± 0.02 ^a	0.96 ± 0.03 ^b	1.00 ± 0.02 ^a	1.01 ± 0.03 ^a	1.03 ± 0.02 ^a
精氨酸 ^{&}	2.71 ± 0.02 ^c	2.89 ± 0.03 ^b	2.88 ± 0.01 ^b	2.70 ± 0.02 ^c	3.00 ± 0.02 ^a	2.90 ± 0.03 ^b	2.88 ± 0.02 ^b
脯氨酸 ^{&}	0.83 ± 0.01 ^b	0.87 ± 0.01 ^a	0.89 ± 0.03 ^a	0.83 ± 0.01 ^b	0.90 ± 0.03 ^a	0.88 ± 0.02 ^a	0.87 ± 0.02 ^a
必需氨基酸	8.94 ± 0.14 ^c	9.41 ± 0.10 ^b	9.42 ± 0.17 ^b	8.92 ± 0.02 ^c	9.75 ± 0.06 ^a	9.30 ± 0.04 ^b	9.31 ± 0.10 ^b
氨基酸总量	22.89 ± 0.33 ^c	24.10 ± 0.17 ^b	23.90 ± 0.22 ^b	22.58 ± 0.14 ^c	24.92 ± 0.24 ^a	22.79 ± 0.26 ^c	23.61 ± 0.28 ^b

注: [#] 必需氨基酸; [&] 非必需氨基酸。

本实验的所有处理均检测出17种氨基酸(色氨酸未被检出),说明解冻不会影响氨基酸的种类。与

新鲜对照相比,微波解冻是6种解冻方式中肌肉各类氨基酸含量升高幅度最高的($P < 0.05$)。热水解冻

后肌肉必需氨基酸与新鲜对照相比均无显著变化($P > 0.05$);非必须氨基酸中除谷氨酸含量显著降低外($P < 0.05$),其余氨基酸含量均无显著性变化($P > 0.05$)。空气、冷水和低温解冻的肌肉必需氨基酸和总氨基酸含量均显著性升高($P < 0.05$)。高压解冻的肌肉必需氨基酸均显著性升高($P < 0.05$),而非必需氨基酸天冬氨酸、丝氨酸和谷氨酸含量均显著性降低($P > 0.05$)。综合比较,解冻后肌肉大部分氨基酸含量与新鲜对照相比均有所升高,可能是因为解冻过程中水分流失,相对干物质含量升高,引起解冻后相同质量的肌肉氨基酸含量升高。微波解冻的肌肉滋味较好,营养价值较高,而热水解冻引起肌肉氨基酸含量的流失最大。空气解冻时,作为导热介质的空气热传导能力差,当上层已解冻部分的汁液渗入到未解冻的下层部分时,会反复融化与结晶,致使大量营养成分溶入汁液内并保留在肌肉中,故蛋白质流失较少^[16];热水解冻的传热介质是热水,温度过高破坏了蛋白质结构的完整性,导致汁液流失量较大;冷水解冻的介冷水温度较低,解冻过程比较缓慢,营养成分流失较少。微波炉解冻属于内部解冻,是在交变电场作用下,利用水的极性分子随交变电场变化而旋转的性质,产生摩擦而解冻食品^[16],所以不存在重结晶的问题,解冻时间也较快,营养物质损失较少。

2.4 微量元素含量测定

如表4所示,本研究检测出了人体必需的14种微量元素中的12种,碘(I)和氟(F)未被检出,主要是由于前期的处理导致I和F的丢失。微量元素Cr和Se含量在各处理组间差异不显著($P > 0.05$);Fe、Zn、Co和Mn含量除了空气解冻外,其余解冻方式与新鲜对照相比均显著下降($P < 0.05$);Cu含量经冷

水、热水和低温解冻后与新鲜对照相比显著下降($P < 0.05$),而空气、微波和超高压解冻变化不显著($P > 0.05$);Ni含量经热水、微波和超高压解冻后显著下降($P < 0.05$),而空气、冷水和低温解冻变化不显著($P > 0.05$);Mo含量经空气、热水和低温解冻后显著下降($P < 0.05$),而冷水、微波和超高压解冻无显著变化($P > 0.05$);V含量经热水和低温解冻后显著下降($P < 0.05$),而其余处理变化不显著($P > 0.05$);Sn含量经冷水和热水解冻后显著下降($P < 0.05$),而其余处理变化不显著($P > 0.05$);Si含量在所有解冻处理后均显著下降($P < 0.05$)。微量元素在机体细胞的新陈代谢起着十分重要的作用,是某些酶、激素和维生素等的重要组成部分,如Mn是构成转氨酶和脯氨酸脱氢酶的成分,与Ca、P的代谢密切相关;Zn是多种酶的活性中心。此外,部分微量元素还与癌症、心血管疾病、瘫痪、生育等息息相关,如Se被称为长命元素,有延缓细胞衰老、保护细胞完整性、抵抗重金属中毒、延长寿命和抗癌等作用;Cr能降低血液中胆固醇含量,防止动脉硬化。机体缺乏必需微量元素会引起生理功能和组织结构异常,从而引发各种病变和疾病,但是,微量元素过量对人体也是有害的,如摄入过量的Cu会引起低血压、吐血、黄疸等,还会导致心血管疾病^[17]。本研究中,微量元素含量在利用不同方式解冻后都有所下降,主要是因为解冻时间较长或解冻温度较高,使肌肉细胞损伤引起汁液流失。综合比较,能有效保持微量元素含量的解冻方式首先是空气解冻,但其解冻时间过长;其次是超高压解冻,但对设备要求较高;第三是冷水、微波和低温解冻;最差的是热水解冻。

表4 不同解冻方式对猪肉微量元素含量的影响
Table 4 The effects of different thawing methods on trace elements content of pork

单位:mg/kg

指标	新鲜对照	空气解冻	冷水解冻	热水解冻	微波解冻	超高压解冻	低温解冻
铁(Fe)	19.72 ± 2.29 ^a	18.71 ± 0.72 ^a	17.51 ± 1.20 ^b	8.48 ± 0.91 ^c	8.55 ± 1.25 ^c	9.32 ± 0.61 ^c	7.52 ± 0.79 ^c
铜(Cu)	3.15 ± 0.10 ^a	3.06 ± 0.20 ^a	1.57 ± 0.05 ^c	1.21 ± 0.13 ^d	3.12 ± 0.10 ^a	3.13 ± 0.27 ^a	2.77 ± 0.16 ^b
锌(Zn)	19.91 ± 0.63 ^a	19.24 ± 1.61 ^a	16.33 ± 0.83 ^b	13.68 ± 0.90 ^c	14.40 ± 0.74 ^c	17.31 ± 0.70 ^b	13.48 ± 0.56 ^c
钴(Co)	0.04 ± 0.00 ^a	0.03 ± 0.00 ^a	0.02 ± 0.00 ^b	0.00 ± 0.00 ^c	0.01 ± 0.00 ^d	0.01 ± 0.00 ^d	0.02 ± 0.00 ^b
锰(Mn)	0.36 ± 0.01 ^a	0.35 ± 0.01 ^a	0.23 ± 0.01 ^c	0.18 ± 0.02 ^d	0.24 ± 0.01 ^{bc}	0.26 ± 0.02 ^b	0.17 ± 0.02 ^d
铬(Cr)	1.05 ± 0.03	0.99 ± 0.05	0.96 ± 0.04	0.95 ± 0.01	1.01 ± 0.11	1.03 ± 0.07	1.04 ± 0.03
硒(Se)	0.05 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.05 ± 0.00
镍(Ni)	0.24 ± 0.01 ^a	0.22 ± 0.02 ^a	0.21 ± 0.01 ^a	0.17 ± 0.02 ^b	0.16 ± 0.01 ^b	0.12 ± 0.01 ^c	0.21 ± 0.03 ^a
钼(Mo)	0.14 ± 0.01 ^a	0.09 ± 0.00 ^b	0.12 ± 0.02 ^a	0.07 ± 0.00 ^b	0.13 ± 0.02 ^a	0.12 ± 0.02 ^a	0.07 ± 0.00 ^b
钒(V)	0.05 ± 0.00 ^a	0.05 ± 0.01 ^a	0.04 ± 0.01 ^a	0.02 ± 0.00 ^b	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.01 ^a	0.03 ± 0.00 ^b
锡(Sn)	0.01 ± 0.00 ^a	0.01 ± 0.00 ^a	0.00 ± 0.00 ^b	0.00 ± 0.00 ^b	0.01 ± 0.00 ^a	0.01 ± 0.00 ^a	0.01 ± 0.00 ^a
硅(Si)	8.91 ± 0.35 ^a	6.76 ± 0.50 ^b	5.46 ± 0.38 ^c	4.43 ± 0.15 ^d	4.67 ± 0.42 ^d	4.25 ± 0.07 ^d	6.69 ± 0.28 ^b

3 结论

猪肉经不同方式解冻处理后,其各营养成分含量均发生了显著变化。高压解冻的 PUFS/SFA 值最高,能较好保持脂肪酸营养价值;微波解冻能有效维持猪肉的氨基酸含量;空气解冻能很好的保持猪肉微量元素含量。总体而言,超高压和微波解冻能较好的保持猪肉的营养价值。

参 考 文 献

- [1] LI Bing, SUN Dawen. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods: A review[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 54(3): 175 - 182.
- [2] 迟海,杨峰,杨宪时,等. 不同解冻方式对南极磷虾品质的影响[J]. 现代食品科技,2011,27(11):1 291 - 1 295.
- [3] 常海军,唐翠,唐春红,等. 不同解冻方式对猪肉品质特性的影响[J]. 食品科学,2014,35(10):1 - 5.
- [4] 廖彩虎,芮汉明,张立彦,等. 超高压解冻对不同方式冻结的鸡肉品质的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(2):331 - 337.
- [5] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009. 3—2010 食品中水分的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [6] 中华人民共和国卫生部. GB 5009. 4—2010 食品中灰分的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [7] 中华人民共和国卫生部. GB 5009. 5—2010 食品中蛋白质的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [8] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 14772—2008 食品中粗脂肪的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [9] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009. 124—2003 食品中氨基酸的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
- [10] 中华人民共和国农业部. NY/T 1653—2008 蔬菜、水果及制品中中矿质元素的测定电耦合等离子体发射光谱法[S]. 北京:中国农业出版社,2008.
- [11] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 9695. 2—2008 肉与肉制品:脂肪酸测定[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [12] 庞之列,殷燕,李春保. 解冻猪肉品质和基于 LF-NMR 技术的检测方法[J]. 食品科学,2014,35(24):219 - 223.
- [13] 王心昕,杨茜,李媛,等. 膳食脂肪酸摄入及构成与心脑血管疾病相关性的研究进展[J]. 昆明医学院学报,2012,33(6):154 - 158.
- [14] 李瑞丽,胡丽芳,唐书升,等. 玉山黑猪肉营养特性分析[J]. 肉类研究,2013,27(5):10 - 13.
- [15] 靳青青,马兆立,李温静,等. 解冻方法及解冻时间对冻结猪肉品质的影响[J]. 肉类工业,2013(11):7 - 11.
- [16] 刘燕,王锡昌,刘源. 金枪鱼解冻方法及其品质评价的研究进展[J]. 食品科学,2009,30(21):476 - 480.
- [17] 黄作明,黄珣. 微量元素与人体健康[J]. 微量元素与健康研究,2010,27(6):58 - 62.

Effects of different thawing methods on nutritive value of pork

ZHANG Jie^{*}, PENG Xin-shu, MA Dan, LU Lu, JING Lu,
MO Si-si, XIONG Lei, LIU Hua

(Department of Animal Science, Southwest University at Rongchang, Chongqing 402460, China)

ABSTRACT In order to obtain a more reasonable thawing method for frozen pork, the effects of air, cold water, hot water, microwave, ultrahigh pressure and low temperature thawing on the nutritional value of *Longissimus dorsi* muscle were compared, and the changes of food quality, fatty acid, amino acid and trace elements were measured. The results showed that crude fat and crude protein contents in the muscle were better maintain in the ultrahigh pressure and hot water thawing, respectively. The PUFA/SFA of muscle after ultrahigh pressure thawing was 0.21 and this ensured the nutritional value of muscle fatty acids. The contents of essential and non-essential amino acids in muscle after microwave thawing were higher than other amino acids in each group, and the nutritional value was higher. In the six thawing methods, the ultrahigh pressure and microwave thawing can better maintain the nutritional value of pork.

Key words thawing methods; pork; fatty acid; amino acid; trace elements