

# 反复冻融对兔肉氨基酸和脂肪酸的影响

夏杨毅<sup>1,2</sup>, 刘玉凌<sup>1</sup>, 李洪军<sup>1,2</sup>, 尚永彪<sup>1,2</sup>

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

**摘要:** 以新鲜兔肉为原料, 研究反复冻融对兔肉蛋白质、氨基酸和脂肪酸含量的影响。结果发现: 与新鲜兔肉相比, 随着反复冻融次数的增加, 兔肉中蛋白质含量显著减少 ( $P < 0.05$ ), 第4次冻融后, 兔里脊、后腿蛋白质含量较新鲜兔肉分别下降了5.91%、10.30%; 呈味氨基酸总量没有显著变化 ( $P > 0.05$ ), 但必需氨基酸和氨基酸总量显著减少 ( $P < 0.05$ ), 第4次冻融后的兔肉里脊部位赖氨酸含量比新鲜兔肉下降了16.42%; 后腿部位的赖氨酸含量比新鲜兔肉下降了14.69%; 脂肪酸总量、饱和脂肪酸含量、单不饱和脂肪酸含量和多不饱和脂肪酸含量均显著减少 ( $P < 0.05$ )。结果表明反复冻融破坏了兔肉的营养成分, 严重影响了兔肉的食品品质。

**关键词:** 兔肉; 反复冻融; 蛋白质; 氨基酸; 脂肪酸

## Effect of Freeze-Thaw Cycles on Amino Acids and Fatty Acids in Rabbit Meat

XIA Yangyi<sup>1,2</sup>, LIU Yuling<sup>1</sup>, LI Hongjun<sup>1,2</sup>, SHANG Yongbiao<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** The effect of freeze-thaw cycles on the contents of proteins, amino acids, fatty acids in rex rabbit meat was investigated during frozen storage. It was found that the increased number of freeze-thaw cycles could result in an obvious decrease in the content of proteins in rabbit meat ( $P < 0.05$ ). Compared with fresh rabbit meat, the protein contents in frozen loin and hind leg decreased by 5.91% and 10.30% after the forth freeze-thaw cycle. Although delicious amino acids did not significantly decrease ( $P > 0.05$ ), essential amino acids and total amino acids exhibited a significant decrease ( $P < 0.05$ ). The content of lysine in rabbit loin fell by 16.42% and fell by 14.69% in hind leg meat compared with fresh rabbit meat. The contents of total fatty acids, saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids decreased obviously ( $P < 0.05$ ). In a conclusion, the number of freeze-thaw cycles had a detrimental effect on the quality of rabbit meat.

**Key words:** rabbit meat; freeze-thaw cycles; protein; amino acid; fatty acid

中图分类号: TS251.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 04-0237-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201504047

兔肉营养丰富、肉质细嫩、味道鲜美, 具有“三高三低”, 即“高蛋白、高赖氨酸、高消化率”和“低脂肪、低胆固醇、低热量”的营养特点, 既能满足现代人的健康饮食需求, 又是老年人、肥胖人群、高血压及冠心病患者的理想动物性肉类食品<sup>[1-2]</sup>。

冷冻是畜禽肉常用的贮藏方法, 也是低温肉制品市场流通的主要形态, 冷冻温度<sup>[3]</sup>、冷冻速率<sup>[4]</sup>和冻藏时间<sup>[5]</sup>对冷冻肉的品质影响较大。在实际生产流通过程中, 由于冷链管理不完善, 贮运转移、售卖前再次修整包装等环节的温度波动可能产生冷冻肉反复冻融 (冷冻-解冻), 致使冰晶损伤肌肉细胞组织结构, 甚至导致肉中蛋白质氧化变性、脂肪氧化、色泽变化等, 严重影响产品质量<sup>[6-7]</sup>。目前, 反复冻融对肉类品质的影响受到一些

国内外学者关注, 但主要集中在冻藏对猪肉<sup>[8]</sup>、牛肉<sup>[9]</sup>、羊肉<sup>[10]</sup>和鸡肉<sup>[11]</sup>的感官品质和微观结构变化<sup>[12]</sup>, 对兔肉的研究主要集中在营养成分和加工方面<sup>[13]</sup>, 对其在冻藏过程中营养物质变化规律的研究还比较少。因此, 本实验选取优质兔肉, 研究反复冻融对兔肉蛋白质、氨基酸和脂肪酸等营养成分的影响, 旨在为兔肉贮藏和速冻产品的开发提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

新鲜的雄性獭兔, 饲养周期3个月, 平均质量约2 kg, 购于西南大学兔场。

收稿日期: 2014-05-04

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201303082-7); 西南大学博士基金项目 (SWU113103)

作者简介: 夏杨毅 (1970—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为食品加工过程质量与安全控制。E-mail: xyy7009@aliyun.com

硫酸铜、硫酸（密度为1.84 g/L）、硼酸、甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂、亚甲基蓝指示剂、氢氧化钠、95%乙醇、三氟醋酸、柠檬酸三钠、硝酸钠、氢氧化钾、甲醇、三氟化硼、异辛烷（2,2,4-三甲基戊烷）、无水硫酸钠、氯化钠（均为分析纯） 成都市科龙化工试剂厂。

## 1.2 仪器与设备

JT1001N普通天平 上海精天电子仪器有限公司；DF8517超低温冰箱 韩国Ilshin公司；DW-25W518冰箱 青岛海尔电器有限公司；FA2004分析天平 上海精密科学仪器有限公司；K-360凯氏定氮仪、R-210旋转蒸发仪 瑞士Büchi公司；LC-8A高效液相色谱仪 美国贝克曼库尔特公司；DGG-9240A电热恒温鼓风干燥箱 上海东麓仪器设备有限公司；7890A气相色谱仪 美国安捷伦科技有限公司。

## 1.3 方法

### 1.3.1 样品制备

按常规方法屠宰兔子，宰杀后45 min内转移到实验室，取里脊、后腿部位的肌肉样品，去掉结缔组织，取一部分新鲜样作为对照组，进行各指标的测定，其余部分切成3 cm×3 cm×3 cm肉块，放入托盘中，分别按以下方式完成一次冻融处理：1）用保鲜膜覆盖并做好标记放入4℃的冰箱里预冷12 h后；放入-23℃低温冰箱冻藏；2）3 d后取出连同保鲜膜托盘一起放入4℃的冰箱里水浴解冻12 h后，完成一次冻融。然后按照上述方法完成反复冻融2、3、4次，共完成5次取样测定分析，每组取样设3个平行。

## 1.3.2 指标测定

蛋白质含量测定：参照GB/T 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》<sup>[14]</sup>的凯氏定氮法；氨基酸含量测定：参照任一平等<sup>[15]</sup>的方法，采用高效液相色谱（high performance liquid chromatography, HPLC）柱后邻苯二甲醛（ortho-phthalaldehyde, OPA）衍生法测定游离氨基酸含量；脂肪酸含量测定：参照GB/T 9695.2—2008《肉与肉制品脂肪酸测定》<sup>[16]</sup>，采用气相色谱法。

## 1.4 数据分析

采用SPSS 20软件进行相关数据的方差分析和显著性检验，每组实验数据重复测定3次，实验数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 反复冻融对兔肉蛋白质含量的影响

表1 反复冻融对兔肉蛋白质含量的影响

Table 1 Effect of freeze-thaw cycles on the protein content of rabbit meat

冷冻次数	蛋白质含量	
	里脊	后腿
0	23.67±0.15 <sup>a</sup>	22.63±0.12 <sup>a</sup>
1	23.60±0.10 <sup>a</sup>	22.37±0.25 <sup>ab</sup>
2	22.87±0.25 <sup>b</sup>	22.07±0.15 <sup>b</sup>
3	22.40±0.17 <sup>c</sup>	21.23±0.21 <sup>c</sup>
4	22.27±0.25 <sup>c</sup>	20.30±0.26 <sup>d</sup>

注：同列肩标不同字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

表2 反复冻融对兔肉氨基酸含量的影响

Table 2 Effect of freeze-thaw cycles on the amino acid content of rabbit meat

氨基酸	里脊冷冻次数					后腿冷冻次数				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
天冬氨酸#	1.854±0.251 <sup>a</sup>	1.825±0.203 <sup>a</sup>	1.745±0.200 <sup>a</sup>	1.795±0.089 <sup>a</sup>	1.805±0.154 <sup>a</sup>	1.873±0.020 <sup>a</sup>	1.796±0.174 <sup>a</sup>	1.804±0.138 <sup>a</sup>	1.803±0.035 <sup>a</sup>	1.805±0.067 <sup>a</sup>
苏氨酸*	0.885±0.078 <sup>a</sup>	0.854±0.067 <sup>a</sup>	0.853±0.089 <sup>a</sup>	0.850±0.056 <sup>a</sup>	0.852±0.071 <sup>a</sup>	0.901±0.017 <sup>a</sup>	0.885±0.091 <sup>ab</sup>	0.865±0.043 <sup>ab</sup>	0.875±0.022 <sup>ab</sup>	0.855±0.034 <sup>b</sup>
丝氨酸#	0.692±0.104 <sup>a</sup>	0.675±0.144 <sup>a</sup>	0.632±0.055 <sup>a</sup>	0.583±0.118 <sup>a</sup>	0.613±0.077 <sup>a</sup>	0.701±0.021 <sup>a</sup>	0.683±0.001 <sup>a</sup>	0.685±0.081 <sup>a</sup>	0.650±0.024 <sup>a</sup>	0.624±0.018 <sup>a</sup>
谷氨酸#	2.903±0.280 <sup>a</sup>	2.853±0.175 <sup>a</sup>	2.653±0.314 <sup>a</sup>	2.454±0.054 <sup>b</sup>	2.346±0.198 <sup>b</sup>	2.895±0.079 <sup>a</sup>	2.861±0.107 <sup>a</sup>	2.692±0.105 <sup>a</sup>	2.703±0.043 <sup>a</sup>	2.457±0.069 <sup>b</sup>
甘氨酸#	0.940±0.053 <sup>a</sup>	0.927±0.030 <sup>a</sup>	0.890±0.055 <sup>ab</sup>	0.805±0.013 <sup>b</sup>	0.795±0.036 <sup>b</sup>	0.927±0.012 <sup>a</sup>	0.896±0.025 <sup>a</sup>	0.900±0.101 <sup>a</sup>	0.890±0.015 <sup>a</sup>	0.853±0.028 <sup>a</sup>
丙氨酸#	1.260±0.001 <sup>a</sup>	1.185±0.133 <sup>ab</sup>	1.180±0.027 <sup>abc</sup>	1.054±0.065 <sup>bc</sup>	0.965±0.085 <sup>c</sup>	1.030±0.004 <sup>a</sup>	1.075±0.133 <sup>a</sup>	1.080±0.094 <sup>a</sup>	0.965±0.008 <sup>a</sup>	0.990±0.027 <sup>a</sup>
缬氨酸*	1.202±0.059 <sup>a</sup>	1.205±0.027 <sup>ab</sup>	1.158±0.075 <sup>abc</sup>	1.069±0.008 <sup>bc</sup>	1.058±0.099 <sup>c</sup>	1.182±0.009 <sup>a</sup>	1.151±0.254 <sup>a</sup>	1.085±0.014 <sup>a</sup>	1.062±0.020 <sup>a</sup>	1.065±0.033 <sup>a</sup>
蛋氨酸*	0.620±0.018 <sup>a</sup>	0.600±0.039 <sup>a</sup>	0.595±0.050 <sup>ab</sup>	0.545±0.005 <sup>ab</sup>	0.525±0.030 <sup>b</sup>	0.535±0.010 <sup>a</sup>	0.530±0.026 <sup>a</sup>	0.515±0.042 <sup>a</sup>	0.521±0.013 <sup>a</sup>	0.500±0.029 <sup>a</sup>
异亮氨酸*	1.115±0.081 <sup>a</sup>	1.086±0.012 <sup>a</sup>	1.100±0.058 <sup>a</sup>	0.991±0.004 <sup>a</sup>	1.011±0.117 <sup>a</sup>	1.106±0.008 <sup>a</sup>	1.085±0.105 <sup>a</sup>	1.024±0.011 <sup>a</sup>	0.983±0.016 <sup>a</sup>	0.972±0.031 <sup>ab</sup>
亮氨酸*	1.706±0.108 <sup>a</sup>	1.728±0.043 <sup>ab</sup>	1.657±0.062 <sup>abc</sup>	1.640±0.038 <sup>bc</sup>	1.639±0.104 <sup>c</sup>	1.683±0.014 <sup>a</sup>	1.695±0.168 <sup>a</sup>	1.680±0.016 <sup>a</sup>	1.597±0.030 <sup>a</sup>	1.586±0.045 <sup>a</sup>
酪氨酸	0.935±0.017 <sup>a</sup>	0.845±0.078 <sup>ab</sup>	0.840±0.038 <sup>ab</sup>	0.710±0.030 <sup>b</sup>	0.720±0.025 <sup>b</sup>	0.873±0.009 <sup>a</sup>	0.790±0.103 <sup>a</sup>	0.765±0.062 <sup>a</sup>	0.690±0.015 <sup>a</sup>	0.705±0.029 <sup>a</sup>
苯丙氨酸*	0.872±0.072 <sup>a</sup>	0.813±0.055 <sup>b</sup>	0.832±0.040 <sup>b</sup>	0.758±0.030 <sup>b</sup>	0.693±0.038 <sup>c</sup>	0.869±0.006 <sup>a</sup>	0.790±0.019 <sup>a</sup>	0.794±0.040 <sup>a</sup>	0.750±0.016 <sup>a</sup>	0.753±0.025 <sup>a</sup>
组氨酸	1.202±0.102 <sup>a</sup>	1.170±0.051 <sup>ab</sup>	1.100±0.146 <sup>ab</sup>	1.109±0.015 <sup>ab</sup>	0.956±0.065 <sup>b</sup>	1.153±0.011 <sup>a</sup>	1.052±0.129 <sup>b</sup>	1.015±0.027 <sup>b</sup>	0.995±0.075 <sup>b</sup>	1.000±0.025 <sup>b</sup>
赖氨酸*	2.101±0.227 <sup>a</sup>	2.054±0.037 <sup>ab</sup>	1.809±0.027 <sup>ab</sup>	1.808±0.017 <sup>ab</sup>	1.756±0.172 <sup>b</sup>	1.974±0.024 <sup>a</sup>	1.963±0.097 <sup>a</sup>	1.836±0.043 <sup>b</sup>	1.802±0.067 <sup>b</sup>	1.684±0.051 <sup>c</sup>
精氨酸	1.470±0.040 <sup>a</sup>	1.470±0.002 <sup>a</sup>	1.420±0.088 <sup>ab</sup>	1.320±0.055 <sup>b</sup>	1.289±0.115 <sup>b</sup>	1.395±0.019 <sup>ab</sup>	1.405±0.065 <sup>a</sup>	1.350±0.070 <sup>b</sup>	1.270±0.026 <sup>c</sup>	1.264±0.017 <sup>c</sup>
必需氨基酸	8.501±0.643 <sup>a</sup>	8.34±0.28 <sup>a</sup>	8.004±0.414 <sup>ab</sup>	7.661±0.158 <sup>ab</sup>	7.534±0.631 <sup>b</sup>	8.25±0.088 <sup>a</sup>	8.099±0.76 <sup>ab</sup>	7.799±0.209 <sup>ab</sup>	7.59±0.184 <sup>bc</sup>	7.415±0.248 <sup>c</sup>
呈味氨基酸	6.389±0.686 <sup>a</sup>	6.280±0.899 <sup>a</sup>	5.920±0.796 <sup>a</sup>	5.637±0.699 <sup>a</sup>	5.559±1.565 <sup>a</sup>	6.396±0.104 <sup>a</sup>	6.236±0.585 <sup>a</sup>	6.081±0.526 <sup>a</sup>	6.046±0.094 <sup>a</sup>	5.739±0.162 <sup>a</sup>
总量	19.750±1.587 <sup>a</sup>	19.290±0.721 <sup>a</sup>	18.460±1.514 <sup>a</sup>	17.490±0.617 <sup>a</sup>	17.020±2.464 <sup>b</sup>	19.097±0.220 <sup>a</sup>	18.621±1.868 <sup>a</sup>	18.090±0.491 <sup>a</sup>	17.556±0.394 <sup>bc</sup>	17.113±0.453 <sup>c</sup>

注：同行肩标不同字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）；表3同。#.呈味氨基酸，\*.必需氨基酸。

表3 反复冻融对兔肉脂肪酸含量的影响  
Table 3 Effect of freeze-thaw cycles on fatty acid content of rabbit meat

脂肪酸	里脊冷冻次数					后腿冷冻次数					%
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	
肉豆蔻酸	0.057±0.009 <sup>a</sup>	0.038±0.005 <sup>ab</sup>	0.020±0.006 <sup>b</sup>	0.007±0.004 <sup>b</sup>	0.005±0.002 <sup>b</sup>	0.123±0.016 <sup>c</sup>	0.081±0.012 <sup>a</sup>	0.027±0.011 <sup>b</sup>	0.012±0.007 <sup>b</sup>	0.008±0.004 <sup>b</sup>	
棕榈酸	0.187±0.062 <sup>a</sup>	0.186±0.023 <sup>a</sup>	0.161±0.020 <sup>a</sup>	0.083±0.010 <sup>ab</sup>	0.063±0.007 <sup>ab</sup>	0.168±0.018 <sup>a</sup>	0.155±0.010 <sup>a</sup>	0.142±0.013 <sup>a</sup>	0.103±0.015 <sup>a</sup>	0.086±0.009 <sup>a</sup>	
棕榈油酸	0.045±0.006 <sup>ab</sup>	0.043±0.010 <sup>b</sup>	0.037±0.004 <sup>a</sup>	0.009±0.003 <sup>c</sup>	0.007±0.002 <sup>c</sup>	0.039±0.007 <sup>a</sup>	0.034±0.010 <sup>ab</sup>	0.028±0.007 <sup>b</sup>	0.012±0.006 <sup>c</sup>	0.011±0.004 <sup>c</sup>	
硬脂酸	0.041±0.012 <sup>a</sup>	0.039±0.005 <sup>a</sup>	0.033±0.005 <sup>a</sup>	0.021±0.008 <sup>b</sup>	0.015±0.003 <sup>b</sup>	0.043±0.011 <sup>a</sup>	0.038±0.008 <sup>ab</sup>	0.031±0.004 <sup>ab</sup>	0.027±0.008 <sup>b</sup>	0.020±0.003 <sup>b</sup>	
油酸	0.166±0.018 <sup>ab</sup>	0.142±0.016 <sup>b</sup>	0.127±0.013 <sup>b</sup>	0.062±0.013 <sup>c</sup>	0.048±0.013 <sup>c</sup>	0.152±0.015 <sup>a</sup>	0.138±0.015 <sup>a</sup>	0.112±0.013 <sup>a</sup>	0.081±0.009 <sup>ab</sup>	0.052±0.006 <sup>b</sup>	
亚油酸	0.168±0.017 <sup>a</sup>	0.148±0.015 <sup>a</sup>	0.138±0.015 <sup>a</sup>	0.055±0.007 <sup>b</sup>	0.043±0.009 <sup>b</sup>	0.145±0.020 <sup>a</sup>	0.130±0.014 <sup>a</sup>	0.128±0.017 <sup>a</sup>	0.107±0.011 <sup>b</sup>	0.086±0.012 <sup>b</sup>	
$\alpha$ -亚麻酸	0.011±0.008 <sup>a</sup>	0.009±0.003 <sup>a</sup>	0.003±0.002 <sup>a</sup>	0.000±0.000 <sup>a</sup>	0.000±0.000 <sup>a</sup>	0.009±0.004 <sup>a</sup>	0.007±0.003 <sup>a</sup>	0.005±0.002 <sup>a</sup>	0.001±0.001 <sup>a</sup>	0.000±0.000 <sup>a</sup>	
花生四烯酸	0.008±0.003 <sup>a</sup>	0.007±0.002 <sup>a</sup>	0.007±0.003 <sup>a</sup>	0.007±0.002 <sup>a</sup>	0.005±0.002 <sup>a</sup>	0.010±0.006 <sup>a</sup>	0.008±0.004 <sup>a</sup>	0.006±0.003 <sup>a</sup>	0.006±0.003 <sup>a</sup>	0.005±0.002 <sup>a</sup>	
饱和脂肪酸	0.285±0.082 <sup>a</sup>	0.263±0.033 <sup>a</sup>	0.214±0.031 <sup>b</sup>	0.111±0.022 <sup>b</sup>	0.083±0.013 <sup>b</sup>	0.334±0.045 <sup>a</sup>	0.274±0.031 <sup>b</sup>	0.200±0.028 <sup>b</sup>	0.142±0.031 <sup>b</sup>	0.114±0.015 <sup>b</sup>	
单不饱和脂肪酸	0.211±0.024 <sup>a</sup>	0.185±0.026 <sup>ab</sup>	0.164±0.020 <sup>ab</sup>	0.071±0.016 <sup>c</sup>	0.055±0.016 <sup>c</sup>	0.191±0.025 <sup>a</sup>	0.172±0.025 <sup>a</sup>	0.140±0.021 <sup>ab</sup>	0.093±0.013 <sup>b</sup>	0.063±0.011 <sup>b</sup>	
多不饱和脂肪酸	0.187±0.027 <sup>a</sup>	0.164±0.022 <sup>a</sup>	0.141±0.021 <sup>ab</sup>	0.062±0.012 <sup>b</sup>	0.048±0.011 <sup>c</sup>	0.164±0.030 <sup>a</sup>	0.145±0.023 <sup>a</sup>	0.139±0.022 <sup>a</sup>	0.114±0.014 <sup>b</sup>	0.091±0.014 <sup>b</sup>	
脂肪酸总量	0.683±0.052 <sup>a</sup>	0.612±0.050 <sup>a</sup>	0.519±0.042 <sup>b</sup>	0.244±0.028 <sup>c</sup>	0.186±0.027 <sup>c</sup>	0.689±0.055 <sup>a</sup>	0.591±0.048 <sup>b</sup>	0.479±0.045 <sup>b</sup>	0.349±0.026 <sup>b</sup>	0.268±0.025 <sup>b</sup>	

由表1可知,新鲜兔肉里脊蛋白质含量为23.67%、后腿部位蛋白质含量为22.63%,明显高于猪肉蛋白质含量12.41%<sup>[17]</sup>,与张春园等<sup>[18]</sup>测定出兔肉蛋白质含量为23.97%的研究结果基本一致,表明兔肉具有高蛋白特点。

由表1可以看出,随着反复冻融次数增加,兔肉蛋白质含量呈逐渐下降趋势。其中,里脊部位兔肉蛋白质含量在第2、3、4次反复冻融后呈显著性下降( $P<0.05$ ),与新鲜兔肉相比分别下降了3.38%、5.37%、5.91%;后腿部位兔肉蛋白质含量在第2次、第3次和第4次反复冻融后呈显著性下降( $P<0.05$ ),与新鲜肉相比分别下降了2.47%、6.19%和10.30%。原因可能是反复冻融导致兔肉蛋白质发生一定程度的降解<sup>[19]</sup>,特别是使肌动球蛋白分离,导致总蛋白溶解度降低,使蛋白含量减少<sup>[20]</sup>;另外,反复冻融可能改变了蛋白质的空间结构,蛋白质分子间作用力增强,导致蛋白质与水分子间作用力减弱,从而影响蛋白质的功能特性,且冻融次数越多,蛋白质表面疏水性增加越多,溶解性下降越明显<sup>[21]</sup>。

## 2.2 反复冻融对兔肉氨基酸含量的影响

由表2可知,新鲜兔肉含量较高的氨基酸分别为谷氨酸、赖氨酸、亮氨酸、精氨酸和天冬氨酸等,其中里脊和后腿部位的赖氨酸含量分别为2.101%、1.974%,与朱洪强等<sup>[22]</sup>测定的野猪肉和家猪肉赖氨酸含量分别为0.92%和1.44%、以及刘海珍<sup>[23]</sup>测定的青海牦牛和藏羊肉赖氨酸含量分别为2.14%和1.81%相比,兔肉明显具有高赖氨酸特点。

由表2可以看出,随着反复冻融次数增加,兔肉呈味氨基酸总量减少不显著( $P>0.05$ ),但必需氨基酸总量和总氨基酸含量变化显著( $P<0.05$ ),兔肉里脊部位的必需氨基酸和总氨基酸含量在第4次冻融后分别比新鲜兔肉降低了11.38%、13.84%,其中赖氨酸含量较新鲜

兔肉下降了16.42%;兔肉后腿部位分别比新鲜兔肉降低了10.12%、10.39%,其中赖氨酸含量较新鲜兔肉下降了14.69%。原因可能是兔肉在反复冻融过程中蛋白质含量的下降必然导致氨基酸含量减少;另外,反复冻融过程中肉样产生的冰晶对细胞和组织产生机械损伤导致解冻时汁液的流失<sup>[24]</sup>,也会造成氨基酸含量的下降。

## 2.3 反复冻融对兔肉脂肪酸含量的影响

由表3可知,新鲜兔肉里脊和后腿部位的脂肪酸总量分别为0.683%、0.689%,比牛肉(3.84%)、羊肉(4.73%)和猪肉(2.26%)的含量低<sup>[25]</sup>,这与Pla等<sup>[26]</sup>的研究结果(兔肉脂肪酸含量低于牛肉、羊肉、猪肉)一致。表明兔肉具有低脂肪的特点。另外,新鲜兔肉脂肪酸含量较高的是棕榈酸、油酸、亚油酸,这与Ramírez等<sup>[27]</sup>的研究结果一致。

由表3可以看出,在反复冻融条件下,兔肉的棕榈酸、 $\alpha$ -亚麻酸和花生四烯酸并未发生显著性降低( $P>0.05$ ),这与Karlsdottir等<sup>[28]</sup>对冻藏鳕鱼棕榈酸在冻藏过程中无显著变化( $P<0.05$ )结果一致。随着反复冻融次数的增加,兔肉脂肪酸总量、饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量均显著减少( $P<0.05$ )。且在第4次冻融后,里脊部位这3个指标分别比新鲜兔肉下降了72.77%、73.93%、74.33%;后腿部位分别比新鲜兔肉下降了61.10%、67.02%、44.51%。原因可能是反复冻融过程中冰晶的再次生长造成兔肉细胞结构破坏,汁液流失、脂肪氧化致使脂肪酸含量的变化<sup>[19]</sup>。

## 3 结 论

兔肉里脊、后腿部位蛋白质含量为23.67%、22.63%,赖氨酸含量分别为2.101%、1.974%,脂肪酸总含量分别为0.683%、0.689%,表明兔肉具有“高蛋白、高赖氨酸、低脂肪”的特点。

与新鲜兔肉相比,随着反复冻融次数增加,兔肉蛋白质含量呈显著下降( $P<0.05$ );呈味氨基酸总量没有显著变化( $P>0.05$ ),但必需氨基酸总量和总氨基酸含量变化显著( $P<0.05$ );棕榈酸、 $\alpha$ -亚麻酸和花生四烯酸并未发生显著性降低( $P>0.05$ ),但脂肪酸总量、饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量均显著减少( $P<0.05$ )。

在实际生产中,兔肉冻藏期间温度的波动会造成冰晶的再次生长,导致细胞破裂,解冻汁液流失,也会造成蛋白质、氨基酸、脂肪酸含量的下降,严重影响兔肉的营养价值。因此,应当避免或者尽量减少兔肉的反复冻融,同时应完善运输、贮藏过程中的冷链体系,控制温度的波动,降低反复冻融对兔肉营养品质的影响。

#### 参考文献:

- [1] 谷子林,秦应和,任克良.中国养兔学[M].北京:中国农业出版社,2013:558-560.
- [2] ZOTTE A D, SZENDRŐ Z. The role of rabbit meat as functional food[J]. Meat Science, 2011, 88(3): 319-331.
- [3] MORTENSEN M, ANDERSEN H J, ENGELSEN S B, et al. Effect of freezing temperature, thawing and cooking rate on water distribution in two pork qualities[J]. Meat Science, 2006, 72(1): 34-42.
- [4] NGAPO T M, BABARE I H, REYNOLDS J, et al. Freezing and thawing rate effects on drip loss from samples of pork[J]. Meat Science, 1999, 53(3): 149-158.
- [5] BERTRAM H C, ANDERSEN R H, ANDERSEN H J. Development in myofibrillar water distribution of two pork qualities during 10-month freezer storage[J]. Meat Science, 2007, 75(1): 128-133.
- [6] XIA Xiufang, KONG Baohua, LIU Jing, et al. Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 46(1): 280-286.
- [7] BOONSUMREJ S, CHAIWANICHIRI S, TANTRATIAN S, et al. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(1): 292-299.
- [8] 夏秀芳,孔保华,郭园园,等.反复冷冻-解冻对猪肉品质特性和微观结构的影响[J].中国农业科学,2009,42(3):982-988.
- [9] 阿依木古丽,蔡勇,陈士恩,等.反复冷冻-解冻对牛肉品质及组织结构的影响[J].食品科学,2011,32(7):109-112.
- [10] MUELA E, SAÑUDO C, CAMPO M M, et al. Effect of freezing method and frozen storage duration on lamb sensory quality[J]. Meat Science, 2012, 90(1): 209-215.
- [11] 李玫,李苗云,赵改名,等.冻融循环下鸡肉品质变化的低场核磁共振研究[J].食品科学,2013,34(11):58-61.
- [12] ANESE M, MANZOCCO L, PANOZZO A, et al. Effect of radiofrequency assisted freezing on meat microstructure and quality[J]. Food Research International, 2012, 46(1): 50-54.
- [13] 李洪军,贺稚非,薛山,等.国内外兔肉营养与加工研究的比较分析[J].中国养兔,2013,4(1):30-34.
- [14] GB/T 5009.5—2010 食品中蛋白质的测定[S].
- [15] 任一平,黄百芬,高宗裕,等.应用HPLC柱后OPA衍生法测定黄酒年中的游离氨基酸[J].食品与发酵工业,1992,18(3):67-71.
- [16] GB/T 9695.2—2008 肉与肉制品脂肪酸测定[S].
- [17] 刘魁武,成芳,林宏建,等.可见/近红外光谱检测冷鲜猪肉中的脂肪、蛋白质和水分含量[J].光谱学与光谱分析,2009,29(1):102-105.
- [18] 张春园,杨富民.美系獭兔肉质特性及营养成分分析[J].甘肃农业大学学报,2011,46(5):128-131.
- [19] 孙金辉.冻藏、反复冻融及解冻方式对兔肉品质的影响[D].重庆:西南大学,2013:6.
- [20] CHAN J T Y, OMANA D A, BETTI M. Effect of ultimate pH and freezing on the biochemical properties of proteins in turkey breast meat[J]. Food Chemistry, 2011, 127(1): 109-117.
- [21] 孔保华,夏秀芳,熊幼翎.反复冻融对肌原纤维蛋白结构和功能特性的影响[J].食品科学,2009,30(增刊1):1-7.
- [22] 朱洪强,王全凯,殷树鹏.野猪肉与家猪肉营养成分的比较分析[J].西北农业学报,2007,16(3):54-56.
- [23] 刘海珍.青海牦牛、藏羊的肉品之特性研究[D].兰州:甘肃农业大学,2005:12.
- [24] FARAG K W, LING J G, MORGAN D J, et al. Effect of low temperatures (-18 to +5 °C) on the texture of beef lean[J]. Meat Science, 2009, 81(1): 249-254.
- [25] ENSER M, HALLETT K, HEWITT B, et al. Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail[J]. Meat Science, 1996, 42(4): 443-456.
- [26] PLA M, HERNÁNDEZ P, ARIÑO B, et al. Prediction of fatty acid content in rabbit meat and discrimination between conventional and organic production systems by NIRS methodology[J]. Food Chemistry, 2007, 100(1): 165-170.
- [27] RAMÍREZ J A, DÍAZ I, PLAB M, et al. Fatty acid composition of leg meat and perirenal fat of rabbits selected by growth rate[J]. Food Chemistry, 2005, 90(1): 251-256.
- [28] KARLSDOTTIR M G, SVEINSDOTTIR K, KRISTINSSON H G, et al. Effects of temperature during frozen storage on lipid deterioration of saithe (*Pollachius virens*) and hoki (*Macrurus novaezelandiae*) muscles[J]. Food Chemistry, 2014, 156(1): 234-242.