

冰温对鸡胸肉成熟过程中品质的影响

王正荣¹,赵圣明¹,李 亚¹,朱明明¹,何鸿举¹,马汉军^{1,2,*}

(1.河南科技学院食品学院,河南新乡 453003;

2.河南科技学院畜禽产品精深加工与质量安全控制河南省工程技术研究中心,河南新乡 453003)

摘 要:为研究冰温对宰后鸡胸肉成熟过程的影响,本研究以白羽鸡鸡胸肉为原料,对比冷藏(4℃)和冰温(-1.5℃)状态下鸡胸肉在成熟过程中pH、剪切力、乳酸以及糖酵解过程限速酶丙酮酸激酶和乳酸脱氢酶活力的变化。结果表明,冰温状态延缓了乳酸积累,剪切力和pH极限值的到达时间,并且延迟了糖酵解过程中关键酶丙酮酸激酶和乳酸脱氢酶的活力,与冷藏状态的鸡胸肉相比,冰温状态下鸡胸肉的最小pH被延缓了6h,乳酸的积累延缓2h,剪切力的最大值延迟了2h,丙酮酸激酶和乳酸脱氢酶活力最大值被延迟了2h,冰温可以延缓鸡胸肉成熟进程大约2~6h,但在冰温和冷藏状态下各项指标的变化趋势相同,除乳酸脱氢酶外其余各项指标的极限值均无显著性差异($p>0.05$)。

关键词:鸡胸肉,成熟,冰温,丙酮酸激酶,乳酸脱氢酶

Effect of Controlled Freezing Point Storage on Chicken Breast Characteristic during Aging after Post-mortem

WANG Zheng-rong¹, ZHAO Sheng-ming¹, LI Ya¹, ZHU Ming-ming¹, HE Hong-ju¹, MA Han-jun^{1,2,*}

(1.School of Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;

2.Henan Province Engineering Technology Research Center of Animal Products Intensive Processing and Quality Safety Control, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

Abstract: The study was conducted to investigate the effects of controlled freezing point storage on post-mortem aging. Breast of white-feather chickens were used to investigate the variety of pH, shear force, lactic acid, pyruvate kinase and lactate dehydrogenase enzyme activity under cold storage (4℃) and controlled freezing point storage (-1.5℃). The results showed that the extreme value of pH, shear force and lactic acid were delay under controlled freezing point storage. And controlled freezing point could impact the decrease of pyruvate kinase activity and lactic dehydrogenase activity. Compare with chicken breast under cold storage, the minimum value of pH was delayed for 6 h under controlled freezing point. The accumulation of lactic acid was delayed for 2 h. The maximum of shear force was delayed for 2 h. The activity of pyruvate kinase and lactate dehydrogenase was delayed for 2 h. Under controlled freezing point, the maturation of chicken breast was delayed about 2~6 h. There was no significant difference in the trend of each value under cold storage and controlled freezing point storage. And there was no significant difference in the extreme value of each index ($p>0.05$).

Key words: Chicken breast; post-mortem aging; controlled freezing point; pyruvate kinase; lactic dehydrogenase

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)24-0298-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.24.050

引文格式:王正荣,赵圣明,李亚,等.冰温对鸡胸肉成熟过程中品质的影响[J].食品工业科技,2018,39(24):298-301,308.

冰温是指从0℃以下到生物体冻结温度之间的温度范围,冰温保鲜技术是指在0℃以下至组织结冰点以上这个温度范围内贮藏食品,食品在冰温环境下水分不结冰,能保持细胞活性,呼吸代谢被抑制、衰老过程减慢。目前已经将冰温保鲜技术应用到果蔬、水产品及延长肉品货架期等方面^[1-3],研究发现冰温相对于冷藏能有效的稳定羊肉的色泽^[4],冰

温结合气调包装可抑制鲶鱼微生物的生长,降低生物胺和挥发性盐基氮的转化速度^[1],李培迪等^[5]发现冰温能有效的延缓羊肉的成熟进程。

动物在宰杀后从肌肉变为可食性肉制品过程中,需要经过僵直期、成熟期等一系列的过程,胴体在成熟过程中,发生各种生理生化反应,其中糖酵解反应是主要的供能方式,目前调控宰后糖酵解的方

收稿日期:2018-00-00

作者简介:王正荣(1978-),女,博士,讲师,主要从事农产品加工与贮藏方面的研究,E-mail:wazhro@qq.com。

*通讯作者:马汉军(1965-),男,博士,教授,主要从事肉类加工及贮藏研究,E-mail:xxhjma@126.com。

基金项目:河南省重大科技专项(161100110600);河南省高等学校重点科研项目(18A550007);河南省科技厅科技攻关项目(182102110091;182102310060);河南省青年人才托举工程项目(豫科协发[2017]132, No.8);2017年河南科技学院大学生创新项目。

式有电刺激、改变成熟温度等^[6-7]。有研究表明温度对宰后 pH 和糖酵解过程中的催化酶有影响^[8]。申萍等^[9]通过对比-18、4、15℃不同的温度对宰后羊肉品质的影响,发现-18℃成熟贮藏的羊肉品质显著的高于4、25℃。

传统的成熟过程大部分都是在0℃以上的温度下完成的,但常温下成熟会导致细菌繁殖速度加快,肉制品腐败变质加速等现象。冰温条件下不仅能使细菌的繁殖速度降低同时还能保持食品所固有的风味,因此把冰温条件下成熟的食品称为冰温成熟食品^[10]。目前冰温在肉制品中的研究多集中在贮藏期间对品质的影响、延长货架期等方面,而冰温对成熟进程的影响报道比较少,其中对鸡肉成熟过程中品质和控制成熟相关酶活力的影响均未见报道。本课题组参考薛松^[10]的研究,结合实验室研究成果首先确定了白羽鸡鸡胸肉冰点温度为-1.8℃,最终通过试验摸索条件确定了冰温贮藏条件为-1.5℃,在此基础上研究冰温贮藏条件下对鸡胸肉成熟过程中 pH、剪切力、乳酸以及丙酮酸激酶、乳酸脱氢酶等的影响,为冰温对宰后鸡肉成熟的影响提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

白羽鸡 日龄40~45 d,体重约(1.6±0.12) kg,约50只,购自农贸市场;BCA 蛋白质定量试剂盒 天根生化科技(北京)有限公司;丙酮酸激酶(PK)试剂盒、乳酸测定试剂盒、乳酸脱氢酶(LDH)测定试剂盒 均购自南京建成生物工程研究所。

SW-CJ-1FD 超净工作台 苏州苏净集团;YXQ-LS-50S全自动立式压力蒸汽灭菌锅 上海博讯医疗设备有限公司医疗设备厂;Sartorius 微量移液器、MC 牌电子天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;T25 高速匀浆器 德国 IKA 公司;CR-400 色差计 日本美能达公司;HH-42 水浴锅 常州国华电器有限公司;TA.XT2I 物性测试仪 英国 Stable Micro System 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的预处理 将宰杀后的白羽鸡迅速取出鸡大胸,将同一只鸡两侧的鸡胸肉随机的分配到冷藏组和冰温组,将每个处理组的鸡胸肉分割形状规则(3 cm×3 cm×3 cm,约30 g左右)的肉样,共计9组,将分隔好的鸡胸肉使用托盘包装,其中冷藏组放入4℃冰箱中,冰温组放入-1.5℃下保存。取样时间分别为宰后0.5、2、4、8、12、24、72 h,其中 pH 和剪切力立即进行测定,其他指标(乳酸、丙酮酸激酶和乳酸脱氢酶)取样后迅速放入液氮中,在-80℃下进行保存。

1.2.2 pH 的测定 采用便携式 pH 计测定,探头插入深度为约2 cm,连续测定3次,结果取平均值。

1.2.3 剪切力的测定 参考 Sigurgisladdottir 等^[11],剪切力采用 WBS 探头,按纤维平行方向将鸡胸肉切成横截面为30 mm×30 mm 大小的块状,厚度为20 mm。将鸡胸肉放置于质构仪的刀槽上,使肌纤维与刀口走向垂直,启动仪器剪切肉样(剪切速度为

2 mm/s),测得刀具切割这一用力过程中的最大剪切力值(峰值),即为肉样剪切力的测定值(g)。每个样本重复测定5次,取其平均值。

1.2.4 蛋白质浓度的测定 参考李培迪等人^[5]的方法,具体操作如下:准确称取肉样1 g,加入9 mL 的生理盐水,匀浆3次,10 s/次,间隔30 s,离心(2000×g,15 min,4℃),去上清液,制备成10%的组织匀浆,利用超纯水稀释5倍,采用 BCA 蛋白质定量试剂盒制作标准曲线,进行蛋白质浓度的测定。

1.2.5 乳酸脱氢酶的测定 将制备好的10%的组织匀浆,用生理盐水稀释1000倍,吸取100 μL,鸡胸肉乳酸脱氢酶活力采用乳酸脱氢酶(LDH)测定试剂盒测定。LDH 活力定义为每 g 组织蛋白与基质作用15 min 后反应体系中产生1 μmol 丙酮酸为一个酶活力单位,单位为 U·gpro⁻¹。

1.2.6 乳酸的测定 参考李培迪等^[5],准确称取鸡胸肉0.5 g,加入4.5 mL 的生理盐水稀释,匀浆3次,10 s/次,间隔30 s,制得10%的组织匀浆液,将此组织液稀释2倍后,鸡胸肉乳酸含量采用乳酸测定试剂盒进行测定。

1.2.7 丙酮酸激酶的测定 参考李培迪等^[5],将制备好的10%的组织匀浆,用生理盐水稀释200倍,鸡胸肉丙酮酸激酶(PK)活力采用丙酮酸激酶(PK)试剂盒进行测定。PK 活力定义为每 g 组织蛋白每 min 将1 μmol 的磷酸烯醇式丙酮酸转变为丙酮酸为一个酶活力单位,单位为 U·gpro⁻¹。

1.3 数据处理

采用 Excel 进行数据的整理和作图,SPSS 12.0 进行方差分析,利用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 冰温对鸡胸肉成熟过程中 pH 的影响

不同贮藏温度对鸡胸肉宰后成熟 pH 变化的影响如图1所示,pH 作为判断成熟进程的重要指标之一^[12],当 pH 达到最低值时,表明胴体进入宰后僵直最大化阶段。动物在宰后由肌肉向肉制品转化的过程中,发生糖酵解反应,产生乳酸,使得肉制品的 pH 下降,当 pH 达到极限值后又出现升高的趋势^[13-14],由图1所示,冰温和冷藏状态下的鸡胸肉在成熟过程中 pH 均表现出先降低后升高的趋势,其中4℃下宰后2 h 下降趋势极显著($p < 0.01$),在4 h 时达到极限(pH5.71),从2~24 h 之间 pH 变化趋势不显著($p > 0.05$),冰温状态(-1.5℃)下在第8 h 达到极限 pH5.73,从8~72 h 变化趋势不显著($p > 0.05$),冰温状态下 pH 在宰后2、4 h 均显著的高于冷藏状态($p < 0.05$),宰后36 h 显著的低于冷藏状态($p < 0.5$),这一结果与李培迪等^[5]的研究结果类似,推测可能是冰温延缓了糖酵解的进程。

2.2 冰温对鸡胸肉成熟过程中剪切力的影响

剪切力是直观反映肌肉嫩度的指标,不同贮藏温度对鸡胸肉宰后成熟剪切力的影响如图2所示,由图2可知,4和-1.5℃下鸡胸肉宰后成熟过程中剪切力的变化均呈现先增加后降低的趋势,4℃下鸡胸肉剪切力在2 h 时达到最大值,4~8 h 开始显著下降

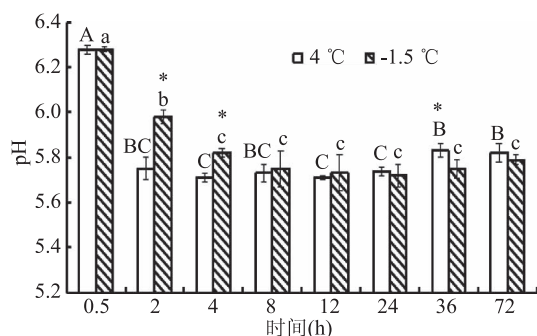


图1 不同温度下鸡胸肉 pH 的变化

Fig.1 Effect of temperature on pH of chicken breast

注:大写字母代表 4 °C 下不同时间的差异显著性 ($p < 0.05$),小写字母代表-1.5 °C 下不同时间的差异显著性 ($p < 0.05$),* 号代表同一时间不同组的差异显著性 ($p < 0.05$);图 2 ~图 5 同。

($p < 0.05$),8 h 以后趋于稳定,这一研究结果与诸永志^[15]与孟祥忍等^[16]的研究结果相似。-1.5 °C 下鸡胸肉的剪切力在 0~4 h 出现显著上升的趋势,4 h 达到极大值,在 4~12 h 之间出现显著下降的趋势 ($p < 0.05$),之后趋于稳定。许多研究结果表明,肌肉的剪切力和嫩度的变化与肌纤维的组织学特性密切相关,在宰后成熟过程中维持肌原纤维内部结构的骨架蛋白质受到内源酶的水解,导致超微结构发生变化从而改善了肌肉的嫩度^[17-18]。本研究中冰温(-1.5 °C)状态下在 2 h 时其剪切力显著的低于冷藏(4 °C)状态 ($p < 0.05$),4 h 时显著高于冷藏状态下鸡胸肉的剪切力 ($p < 0.05$),并且在此时达到了剪切力的最大值,这一结果表明冰温延缓了宰后成熟僵直期的时间,推测可能是由于冰温状态下延缓了内源酶的催化过程。

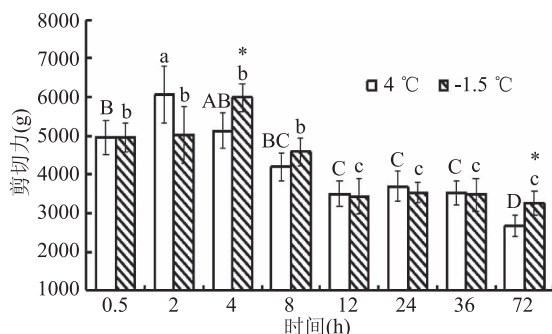


图2 不同温度下鸡胸肉剪切力的变化

Fig.2 Effect of temperature on shear force of chicken breast

2.3 冰温对鸡胸肉宰后成熟过程中乳酸的影响

不同贮藏温度对鸡胸肉宰后成熟过程中乳酸含量的影响如图 3 所示,由图中可知 4 °C 和-1.5 °C 下鸡胸肉宰后成熟过程中乳酸含量均呈现先增加后缓慢下降的趋势,4 °C 下鸡胸肉的乳酸含量在 2 h 时达到峰值,2~12 h 之间差异不显著 ($p > 0.05$),这一结果与朱学伸等^[19]的研究结果相似。-1.5 °C 下鸡胸肉的乳酸含量在 2~4 h 之间出现显著上升的趋势 ($p < 0.05$),4 h 后开始降低,12~72 h 之间差异不显著 ($p > 0.05$)。动物死后血液循环停止,供给肌肉的氧气

随之中断,开始进入无氧糖酵解过程,在糖酵解过程中糖原形成乳酸,随着胴体乳酸的积累,引起 pH 的下降^[20]。有研究表明温度能够通过调节糖酵解酶活力影响宰后肌肉糖酵解^[21],李泽等^[22]研究了不同温度对乳酸的影响,结果表明随着温度(0、4、15 °C)的升高,乳酸积累速度增加,本研究中冰温(-1.5 °C)状态下在 2 h 时乳酸含量显著的低于冷藏(4 °C)状态 ($p < 0.05$),4 h 时显著高于冷藏状态下鸡胸肉的乳酸含量 ($p < 0.05$),并且在此时达到了乳酸含量的极值,这一结果表明冰温延缓乳酸的积累时间,推测可能是由于冰温状态下延缓了糖酵解的过程。

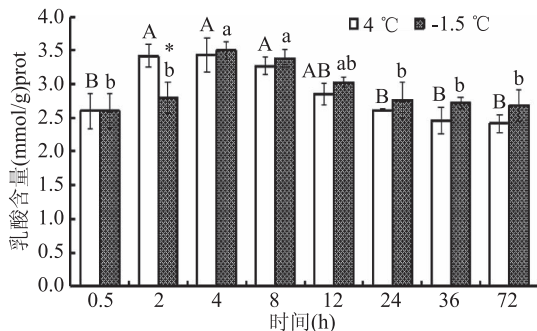


图3 不同温度下鸡胸肉乳酸含量的变化

Fig.3 Effect of temperature on lactic acid content of chicken breast

2.4 冰温对鸡胸肉宰后成熟过程中丙酮酸激酶的影响

不同贮藏温度对鸡胸肉宰后成熟过程中丙酮酸激酶活力的影响如图 4 所示,由图可知,4 和-1.5 °C 下鸡胸肉宰后成熟过程中丙酮酸激酶活力均呈现先升高后降低的趋势,4 °C 下鸡胸肉的丙酮酸激酶活力在 0.5~2 h 之间上升最为显著 ($p < 0.05$),之后开始下降 ($p > 0.05$),丙酮酸激酶活力变化的趋势与徐昶等^[23]以及区炳炎等^[24]的研究结果类似。动物宰后肌肉开始进行糖酵解过程,糖酵解过程中丙酮酸激酶(PK)通过催化磷酸烯醇式丙酮酸和 ADP 转化为 ATP 和丙酮酸,是糖酵解的限速酶之一^[25],该酶活性的大小直接影响了糖酵解的进程,有研究结果表明温度的变化会影响丙酮酸激酶活性的大小,随着温度的上升该酶的活性逐渐增加,本研究中发现在-1.5 °C 下在 2 h 时丙酮酸酶活力显著低于 4 °C 下

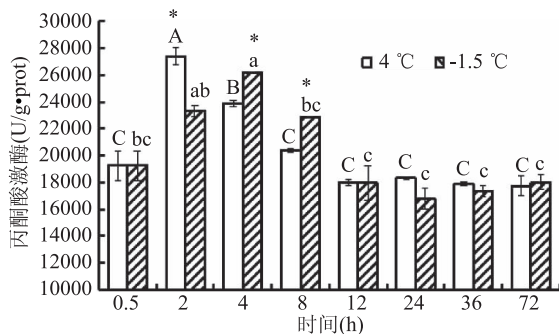


图4 不同温度下鸡胸肉丙酮酸激酶活力的变化

Fig.4 Effect of temperature on pyruvate kinase activity of chicken breast

($p < 0.05$), 在 4 h 时显著高于冷藏状态下鸡胸肉的丙酮酸酶活力($p < 0.05$), 这一结果表明冰温降低了丙酮酸脱氢酶的活力, 推测可能是由于在鸡胸肉僵直期过程中糖酵解在 4 °C 下比-1.5 °C 时更加活跃的原因。

2.5 冰温对鸡胸肉宰后成熟过程中乳酸脱氢酶的影响

不同贮藏温度对鸡胸肉宰后成熟过程中乳酸脱氢酶活力的影响如图 5 所示, 由图中可知 4 和-1.5 °C 下鸡胸肉宰后成熟过程中乳酸脱氢酶活力均呈现先升高后降低的趋势, 4 °C 下鸡胸肉的乳酸脱氢酶活力在 0.5~2 h 之间上升最为显著($p < 0.05$), 之后开始下降, 在糖酵解过程中, 丙酮酸被乳酸脱氢酶通过催化反应还原为乳酸, 从而造成了 pH 的快速下降, 研究表明低温环境下能降低糖酵解酶的活性, 减少糖原的分解^[26]。本研究中发现现在-1.5 °C 下在 2 h 时丙酮酸酶活力显著低于 4 °C 下($p < 0.05$), 在 4 h 时低于冷藏(4 °C)状态下鸡胸肉的丙酮酸酶活力($p < 0.05$), 这一结果表明冰温降低了丙酮酸脱氢酶的活力, 推测可能是由于在鸡胸肉僵直期过程中糖酵解在 4 °C 下比-1.5 °C 时更加活跃的原因。

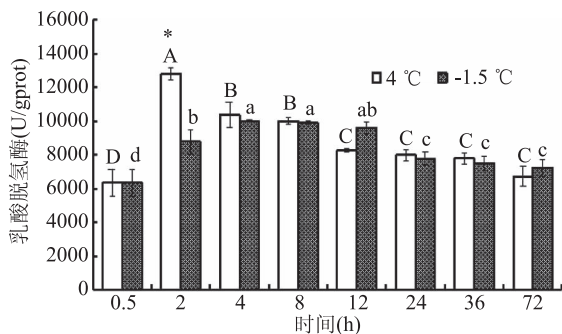


图 5 不同温度下鸡胸肉乳酸脱氢酶活力的变化

Fig.5 Effect of temperature on lactic dehydrogenase activity of chicken breast

3 结论

冰温状态能显著的延缓鸡胸肉乳酸的积累, 极限 pH 和剪切力的到达时间, 并能降低糖酵解过程中关键酶丙酮酸激酶和乳酸脱氢酶的活力, 但是不会降低 pH、剪切力和乳酸的极限值, 与冷藏状态的鸡胸肉相比, pH 下降到极限值延缓了 6 h, 乳酸的积累延缓 2 h, 剪切力的最高值延迟了 2 h, 对丙酮酸激酶和乳酸脱氢酶活力均延缓了 2 h, 冰温可以延缓鸡胸肉成熟进程大约 2~6 h。

参考文献

[1] Zhu Y, Ma L, Yang H, et al. Super-chilling (-0.7 °C) with high CO₂ packaging inhibits biochemical changes of microbial origin in catfish (*Clarias gariepinus*) muscle during storage [J]. Food Chemistry, 2016, 206: 182-190.

[2] Thomassen M, Mørkøre T, Veisethkønt E, et al. Effects of -1.5 °C super-chilling on quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) pre-rigor fillets: Cathepsin activity, muscle histology, texture and liquid leakage [J]. Food Chemistry, 2008, 111 (2):

329-339.

[3] Iyoki S, Shiomi K, Uemura T. Hyo-on ca storage (controlled freezing point and controlled atmosphere storage) of chicken meat [J]. Acta Horticulturae, 2003, 600 (600): 499-501.

[4] Li X, Zhang Y, Li Z, et al. The effect of temperature in the range of -0.8 to 4 °C on lamb meat color stability [J]. Meat Science, 2017, 134: 28-33.

[5] 李培迪, 李欣, 李铮, 等. 冰温贮藏对宰后肌肉成熟进程的影响 [J]. 中国农业科学, 2016, 49 (3): 554-562.

[6] Marsh BB, Lochner JV, Takahashi G, et al. Effects of early post-mortem pH and temperature on beef tenderness [J]. Meat Science, 1981, 5 (6): 479-483.

[7] Rhee M S, Kim B C. Effect of low voltage electrical stimulation and temperature conditioning on postmortem changes in glycolysis and calpains activities of Korean native cattle (Hanwoo) [J]. Meat Science, 2001, 58 (3): 231-237.

[8] Rhee M S, Ryu Y C, Imm J Y, et al. Combination of low voltage electrical stimulation and early postmortem temperature conditioning on degradation of myofibrillar proteins in Korean native cattle (Hanwoo) [J]. Meat Science, 2000, 55 (4): 391-396.

[9] 申萍, 巴吐尔·阿不力克木, 赵立男. 不同贮藏温度对宰后羊肉嫩度的影响研究 [J]. 食品工业, 2015, 36 (4): 34-39.

[10] 薛松. 鸡肉和鱼片冰温后熟技术的研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.

[11] Sigurgisladottir S, Hafsteinsson H, Jonsson A, et al. Textural properties of raw salmon fillets as related to sampling method [J]. Journal of Food Science, 2010, 64 (1): 99-104.

[12] 南庆贤. 肉类工业手册 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009: 141-143.

[13] 吴菊清, 李春保, 周光宏, 等. 宰后成熟过程中冷却牛肉、猪肉色泽和嫩度的变化 [J]. 食品科学, 2008, 29 (10): 136-139.

[14] Fernandez X, Forslid A, Tornberg E. The effect of high post-mortem temperature on the development of pale, soft and exudative pork: Interaction with ultimate pH [J]. Meat Science, 1994, 37 (1): 133-147.

[15] 孟祥忍, 王恒鹏, 杨章平. 黄羽肉鸡宰后肌肉品质变化与蛋白热性质分析 [J]. 中国家禽, 2015, 37 (24): 32-36.

[16] 诸永志, 宋玉, 黄伟, 等. 雪山草鸡宰后肌肉成熟过程中剪切力及肌纤维结构的变化 [J]. 江苏农业学报, 2012, 28 (2): 351-354.

[17] Henckel P, Okdbjerg N, Erlansen E. Histo- and biochemical characteristics of the Longissimus dorsi muscle in pigs and their relationships to performance and meat quality [J]. Meat science, 1997, 47: 311-321.

[18] Maltin C A, Warkup C C, Mathews K R, et al. Ping muscle fiber characteristics as a source of variation in eating quality [J]. Meat Science, 1997, 47: 237-248.

[19] 朱学仲. 动物宰后肌肉成熟期间乳酸含量与 pH 的变化 [D]. 南京: 南京农业大学, 2007.

[20] 张爽, 张楠, 朱良齐, 等. 宰后早期猪肉、牛肉和鸡肉中能量代谢及蛋白质磷酸化 [J]. 食品科学, 2017, 38 (9): 72-78.

(下转第 308 页)

[21] Desai M A, Joseph P, Suman S P, et al. Proteome basis of red color defect in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fillets [J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 57(1): 141-148.

[22] Richards M P, Modra A M, Li R. Role of deoxyhemoglobin in lipid oxidation of washed cod muscle mediated by trout, poultry

and beef hemoglobins [J]. Meat Science, 2002, 62: 157-163.

[23] 赵良, 岑剑伟, 李来好, 等. 高压静电场结合冰温气调保鲜技术对罗非鱼鱼片品质的影响 [J]. 南方水产科学, 2016, 12(3): 91-97.

(上接第 297 页)

[3] 何文斌, 何作民, 潘志文. RP-HPLC 法测定凉茶中非法添加对乙酰氨基酚和咖啡因的含量 [J]. 中国药事, 2011, 25(2): 126-128.

[4] 温家欣, 陈林, 赖宇红, 等. 高效液相色谱法同时快速测定凉茶中 11 种非法添加化学药物 [J]. 分析测试学报, 2016, 35(3): 285-291.

[5] 宋宁宁, 张科明, 刘向红, 等. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法快速测定凉茶中非法添加的 12 种化学药物 [J]. 色谱, 2015, 33(10): 1026-1031.

[6] 张宏峰, 彭荣飞, 罗晓燕. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法测定散装凉茶中非法添加的 6 种化学药物 [J]. 中国卫生检验杂志, 2017, 27(16): 2287-2291.

[7] 曾广丰, 刘青, 王志元, 等. QuEChERS 法结合高效液相色谱-高分辨飞行时间质谱测定食用贝类产品中 4 种脂溶性贝类毒素 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(1): 289-294.

[8] 杨欢, 孙伟华, 曹赵云, 等. 改良 QuEChERS 方法快速测定果蔬中 8 种新型琥珀酸脱氢酶抑制剂类杀菌剂 [J]. 色谱, 2016, 34(11): 1070-1076.

[9] 王伟, 石志红, 康健, 等. 改进的 QuEChERS 结合 LC-MS/

MS 同时测定蜂蜜中 60 种兽药残留 [J]. 分析试验室, 2013, 32(4): 2013-2014.

[10] 徐娟, 陈捷, 王岚, 等. QuEChERS 提取与超高效液相色谱-电喷雾电离串联质谱联用法检测果蔬中的 230 种农药残留 [J]. 分析测试学报, 2013, 32(3): 293-301.

[11] Luo Z F, Lu J, Li H P, et al. Air-assisted liquid-liquid microextraction integrated with QuEChERS for determining endocrine-disrupting compounds in fish by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2018, 260(15): 174-182.

[12] Chen Q, Pan X D, Huang B F, et al. Quantification of 16 β -lactams in chicken muscle by QuEChERS extraction and UPLC-Q-Orbitrap-MS with parallel reaction monitoring [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2017, 145(25): 525-530.

[13] Wu C C. Multiresidue method for the determination of pesticides in Oolong tea using QuEChERS by gas chromatography-triple quadrupole tandem mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2017, 229(15): 580-587.

(上接第 301 页)

[21] Guderley H. Metabolic responses to low temperature in fish muscle [J]. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society [J]. 2004, 79(2): 409-427.

[22] 李泽, 靳烨, 马霞. 不同贮藏温度下宰后羊肉的肉质变化及其影响因素 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(S1): 338-342.

[23] 徐昶. 禁食和环境温度对鸡肉宰杀后僵直过程中能量代谢影响的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009.

[24] 区炳庆, 张正芬, 李培周, 等. 清远麻鸡宰后肉质酸化现象的研究 [J]. 广东农业科学, 2013, 40(7): 115-116.

[25] 谢达平. 食品生物化学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 156-157.

[26] Acevedo C A, Cornejo M J, Olguín Y A, et al. Dehydrogenase enzymes associated to glycolysis in beef carcasses stored at 0 °C [J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(7): 1696-1702.