

饲养方式对AA鸡屠宰后胸脯肌肉和腿肌肉僵直过程理化特性的影响

张盟, 俞龙浩*, 何淑清, 张瑞红, 孟质文, 安玥

(黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘要: **目的** 研究笼养和散养方式对AA鸡宰后24 h内胸脯肌肉和腿肌肉理化特性的影响。**方法** 随机选择同一批相同饲养水平散养和笼养的AA鸡各30只。按照商业屠宰方法屠宰后, 鸡胴体冰水冷却1.5 h, 然后, 4 °C冷藏至宰后24 h。宰后0、3、6和24 h时取样, 分别测定pH值、肌糖原含量、肌节长度、R-值和肌原纤维小片化指数(MFI)。**结果** 笼养鸡比散养鸡活体重高8.17%, 且笼养鸡体重较均一。在宰后僵直过程中笼养鸡胸脯肌肉和腿肌肉pH值和肌糖原含量降低速度分别比散养鸡快。笼养鸡胸脯肌肉进入僵直比散养鸡胸脯肌肉早, 但是笼养鸡腿肌肉进入僵直时间比散养鸡腿肌肉晚。笼养和散养鸡不管是胸脯肌肉之间, 还是腿肌肉之间, 其肌节长度和MFI之间没有显著差异。并且宰后24 h, 本实验所测定指标在笼养和散养鸡之间不存在显著差异。**结论** 饲养方式(笼养和散养)除了对AA鸡活体重以外, 对屠宰后胸脯肌肉和腿肌肉的理化特性没有显著影响。

关键词: AA鸡; pH值; 肌糖原含量; 肌节长度; R-值; MFI

Effects of breeding mode on changes of physicochemical characteristics in breast and leg muscles of post-mortem Arbor Acres broiler

ZHANG Meng, YU Long-Hao*, HE Shu-Qing, ZHANG Rui-Hong, MENG Zhi-Wen, AN Yue

(College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of the cage feeding and the graze feeding modes on broiler physicochemical properties during post-mortem period. **Methods** Breast and leg muscles were obtained from thirty 45-day-old chickens in cage and grazing groups respectively. Chickens were slaughtered in the commercial way, the broiler carcasses were chilled in ice water for 1.5 h, and then chilled until 24 h post-mortem in condition of 4 °C. Samples were obtained at post-mortem 0, 3, 6 and 24 h. The pH, R-value, glycogen content, sarcomere length and myofibrillar fragmentation index (MFI) were determined. **Results** The live weight of the cage group was heavier than that of grazing group, which was up to 8.17%, and the live weight of cage group was more uniform. The development of rigor in breast muscles of cage group was faster than grazing group one, but the leg muscles were reverse. However, there were no significant differences in sarcomere length and MFI of both muscles between cage group and grazing group. Further more, there is no significant difference between cage group and grazing group at the 24 h post-mortem. **Conclusion** Rearing

基金项目: 黑龙江八一农垦大学博士科研启动金项目(B2008-6)。

*通讯作者: 俞龙浩, 韩国建国大学校畜产食品生物工程专业博士研究生毕业, 韩国农业振兴厅畜产科学院博士后, 教授, 硕士生导师, 主要从事畜禽宰后肌肉僵直过程中的生物化学变化对肉品质影响方面的应用基础理论研究和肉制品开发研究。
E-mail: yu2058@sohu.com.

patterns (cage feeding and graze feeding) can affect weight only, but have no effect on the physicochemical properties of the breast and leg muscles at the 24 h post-mortem.

KEY WORDS: Arbor Acres broiler; pH; glycogen content; sarcomere length; *R*-value; myofibrillar fragmentation index

1 引言

AA鸡(Arbor Acres Broiler chicken)是由美国爱拔益加家禽育种公司培育的四系配套杂交白羽肉鸡。具有体型大、生长发育快、饲料转化率高、适应性和抗病力强的特点,是我国商用肉鸡的主要鸡种。

已有研究表明,动物宰后僵直过程中发生的理化变化对肉的品质有很大影响^[1]。Castellini等研究了有机饲养方式(室内笼养, 0.12 m²/只+草地放养 4 m²/只)对 Ross 公鸡肉品质的影响,发现有机饲养方式提高了鸡胴体和鸡肉的品质,但这种鸡肉的硫代巴比妥酸反应物含量(TBARS)较高^[2]。彭志军等对比了不同饲养条件下(笼养和平养)矮脚黄鸡的肉品质差异,发现笼养鸡的肌内脂肪高于平养鸡,腿肉的 pH 高于平养鸡,而其他指标(胸脯肌肉 pH, 蒸煮损失、滴水损失、胸肌肌内脂肪含量)无显著性差异^[3]。然而多数是饲养方式对鸡肉品质影响的研究报告,饲养方式对鸡宰后僵直过程中理化特性影响的研究报告较少。

因此,本研究拟评估饲养方式对 AA 鸡宰后僵直过程中理化特性的影响,为提高 AA 鸡肉品质提供参考。

2 材料与方法

2.1 实验动物

实验用鸡来自黑龙江省哈尔滨市阿城区黑龙江八一农垦大学实验养鸡场。随机选取散养和笼养的 AA 鸡(45 日龄)各 30 只。两种饲养方式生产的 AA 鸡的饲料营养水平相同。

2.2 主要仪器设备与试剂

ACS-30 型电子秤(浙江凯丰集团有限公司); 击晕器,由 TDGC2-500 型接触器(浙江天正股份有限公司)改装而成; 脱毛机(德龙贸易有限公司); DK-450B 型电热恒温水槽(上海森信实验仪器有限公司); 便携式肉用 pH 计(HANNA); YP20002 型电子天平(上海越平科学仪器有限公司); 冷藏室(黑龙江八一农垦大学

食品学院); YDS-5-200 型液氮生物容器(成都金凤液氮容器有限公司); 超低温冷柜(Thermo Electron Corporation); FA25 型均质机(上海弗鲁克流体机械制造有限公司); 5417 型离心机(Eppendorf); T-6 新世纪紫外/可见分光光度计(北京普析通用仪器设备有限公司)。Whatman NO.1 滤纸, 50ml 离心管(Coring)。糖原(From bovine liver, Type IX)、碘(99.8~100.5%)、碘化钾(BioUltra, ≥99.5%), 均购自 Sigma 公司。

2.3 实验方法

2.3.1 样品制备

凌晨,将 AA 鸡由养殖场运至黑龙江八一农垦大学实验室(路程约 200 km, 历时 3 h)。为 AA 鸡提供饲料和饮用水(添加适量 Vc 和葡萄糖)。使实验动物在宰前得到充分的休息,从而减少捕捉和运输过程对 AA 鸡造成的影响。晚上 8 点后禁食但不断水,次日上午 8 点开始屠宰。

屠宰之前对每只鸡进行编号、称活体重。随后吊挂,电击致晕(75 V/50 Hz, 10 s)。随后切断头颈部部位气管、食管和颈静脉,放血 2 min。60 °C 水中浸烫 3 min,脱毛、去内脏(此时为宰后 0 h,从放血至宰后 0 h 约经历 30 min)。随后将鸡胴体放入冰水中冷却 1.5 h,使胸脯肌肉中心温度降至 10 °C 以下,继续在 4 °C 冷藏至宰后 24 h。宰后 0、3、6、24 h 分别从胸肉和腿肉中取约 30 g 肌肉,剔除可见脂肪和筋膜。顺肌纤维方向,用剪刀剪取一细长条肌肉(长 1.5 cm 左右),用于肌节长度的测定。剩余的肌肉,液氮冷冻后, -80 °C 条件下保存,用于测定糖原含量、*R*-值、肌原纤维小片化指数(MFI)。

2.3.2 pH 和糖原含量

用便携式肉用 pH 计测定胸肉和腿肉的 pH 值。宰后 0、3、6 和 24 h 在每只鸡胸脯肌肉和腿肌肉各测三次,取平均值用于统计分析。

糖原含量采用碘结合法测定^[4]。称取样品 2 g,加入 20 mL 预先冷藏的 9%高氯酸, 10000 r/min 均质 1 min, 4 °C, 15000 × g 离心 20 min。用滤纸 Whatman NO.1 过滤上清液。将 0.4 mL 滤液与 2.6 mL 碘显色

试剂混合。然后用分光光度计测定混合液 460 nm 处的吸光值。碘显色试剂: 1.3 mL 碘-碘化钾溶液(蒸馏水 10 mL+0.26 g 碘+2.6 g 碘化钾)+100 mL CaCl₂ 饱和溶液。

2.3.3 R-值

依照 Koh 等的方法对样品进行前处理^[5]。称取样品 4 g, 加入 20 mL 预先冷藏的 9%高氯酸, 10000 r/min 均质 1 min。用 Whatman NO.1 滤纸过滤, 然后用 2 mol/L 的 KOH 溶液将滤液 pH 值调至 6.0~6.5, 冷藏静置 60 min。将 0.1 mL 滤液与 2.9 mL 磷酸盐缓冲液(0.1 mol/L, pH = 6.5)混匀。紫外分光光度计测定溶液在 250 和 260 nm 处的吸光值。R-值依照 Calkins 的方法计算^[6], 即 $R_{250} = A_{250}/A_{260}$ 。

2.3.4 肌节长度

采用激光衍射法测定肌节长度^[7]。将样品放入盛有固定液(2%戊二醛、2%葡萄糖、0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液, pH 7.0)的离心管(2 mL)中, 固定液温度应与样品的温度保持一致。30 min 后即可测定肌节长度。

2.3.5 肌原纤维小片化指数

依照 Olson 等的方法提取肌原纤维^[8]。称取 4 g 样品, 加入 20 mL 肌原纤维提取缓冲液(20 mmol/L 的 K₂HPO₄/KH₂PO₄, pH 7.0; 100 mmol/L KCL, 1 mmol/L EDTA)。10000 r/min 均质 3 min。4 °C, 2000 × g 离心 15 min。用缓冲液悬浮肌原纤维。用缓冲液将肌原纤维悬浮液的蛋白浓度稀释至 0.5 mg/mL, 然后测定稀释过的悬浮液在 540 nm 处的吸光值。肌原纤维小片化指数 = OD₅₄₀ × 200。

2.3.6 统计分析

利用 SAS 软件中的普通线性模型对测定的所有数据进行分析, 算出平均值和标准差, 并通过邓肯氏复极差检验确定不同处理组间的差异性, 差异显著性水平为 $P < 0.05$ 。

3 结果与讨论

3.1 活重

从表 1 中可以看出, 45 日龄散养和笼养的 AA 鸡活体平均重分别为 2.12 和 2.30 kg。笼养组明显高于散养组。在所有用于实验的 AA 鸡中, 体重最小的和体重最大的个体都在散养组, 分别为 1.74 和 2.61 kg。而笼养组的 AA 鸡体重较为均一。这与彭志军等对矮脚黄鸡的研究结果一致, 他发现笼养有利于提高矮脚黄鸡体重的均一性^[9]。

表 1 不同饲养方式生产的 AA 鸡活体重($n = 30$, $\bar{x} \pm s$)
Table 1 Live weight of Arbor Acres broilers producing by different breeding modes

	散养	笼养
活重 (kg)	2.12 ± 0.23	2.30 ± 0.17*

*与散养比较, 差异显著($P < 0.05$)。

3.2 pH值、糖原含量及R-值

宰后鸡胸脯肌肉和腿肌肉的 pH 和糖原含量如表 2。宰后 0 h 和 3 h 之间, 6 h 和 24 h 之间 pH 值没有显著差异, 但是宰后 3 h 和 6 h 之间有显著差异。这一结果显示散养鸡胸脯肌肉 pH 值是宰后 3 h 开始迅速降低, 到宰后 6 h 基本达到极限 pH 值。然而, 宰后笼养鸡胸脯肌肉 pH 值 0 h 和 3 h 和 6 h 三者之间都有显著差异, 6 h 和 24 h 之间没有差异。这一结果说明笼养鸡胸脯肌肉 pH 值在宰后 0 h 开始迅速降低, 到宰后 6 h 基本达到极限 pH 值。另外, 笼养鸡胸脯肌肉 0 h 的 pH 值显著高于散养鸡胸脯肌肉 0 h 的 pH 值, 而散养鸡胸脯肌和笼养鸡胸脯肌肉极限 pH 值之间没有差异。此结果提示, 笼养鸡胸脯肌肉 pH 值降低速度比散养鸡胸脯肌肉快。宰后 3 h 和 6 h 散养鸡腿肌肉 pH 值, 分别显著高于笼养鸡腿肌肉相应时间段的 pH 值, 但是宰后 24 小时的 pH 之间没有差异。这一结果提示, 笼养鸡腿肌肉 pH 下降速度比散养鸡腿肌肉快。以上结果与已有研究结果相似^[10,11]。

表 2 可见, 宰后 0 h 胸脯肌肉糖原含量笼养鸡显著高于散养鸡, 但宰后 24 h 两者之间没有差异。同样, 宰后 0 h 鸡腿肌肉糖原含量笼养鸡也显著高于散养鸡, 但宰后 3 h 后两者之间也没有差异。这一结果显示, 笼养鸡胸脯和腿肌肉糖原含量降低速度比散养鸡快, 与 pH 值变化完全吻合。动物宰后由于血液循环停止, 氧的供应受阻, 糖原只能通过无氧酵解产生乳酸, 使肌肉 pH 值降低。因此, 宰后糖原分解速度越快, 通常 pH 值下降速度也越快^[12]。

R-值是检测腺苷和肌苷比率的一个快速而简便的方法, 可以用来监测僵直进程^[13]。已有研究显示, 鸡胸脯肌肉 R-值在宰后 15~30 min 达到 0.95~0.97, 宰后 2~4 h 达到 1.2~1.3, 最终 R-值可到达 1.35^[13]。在本实验中, 在相同测定时间散养和笼养之间 R-值没有差异($P > 0.05$); 但是宰后 3 h 笼养的 R-值 1.24, 显著高于散养的 R-值 1.13 ($P < 0.05$)。此结果显示笼养鸡胸肌肉进入僵直比散养鸡胸肌肉早。宰后 0 h 和

表2 饲养方式对鸡宰后胸脯肌肉和腿肌肉 pH 值、糖原含量和僵直值的影响($n = 30, \bar{x} \pm s$)
Table 2 Effects of breeding mode on post-mortem pH, glycogen content, and R-value in breast and leg muscles of Arbor Acres broilers

测定项目	宰后时间 (h)	胸肉		腿肉	
		散养	笼养	散养	笼养
pH	0	6.13 ± 0.16 ^{a,y}	6.33 ± 0.19 ^{a,x}	6.26 ± 0.15 ^a	6.25 ± 0.09 ^a
	3	6.18 ± 0.11 ^a	6.14 ± 0.14 ^b	6.20 ± 0.09 ^{ab,x}	6.12 ± 0.10 ^{b,y}
	6	6.04 ± 0.07 ^{b,x}	5.96 ± 0.10 ^{c,y}	6.16 ± 0.10 ^{bc,x}	5.98 ± 0.10 ^{c,y}
	24	6.02 ± 0.10 ^b	5.97 ± 0.14 ^c	6.12 ± 0.11 ^c	6.06 ± 0.11 ^b
糖原含量 (mg/g)	0	2.75 ± 0.98 ^{a,y}	4.02 ± 1.39 ^{a,x}	1.30 ± 0.30 ^{a,y}	2.97 ± 0.85 ^{a,x}
	3	1.29 ± 0.23 ^b	1.42 ± 0.31 ^b	0.85 ± 0.08 ^{b,y}	1.43 ± 0.26 ^{b,x}
	6	0.34 ± 0.28 ^c	0.52 ± 0.25 ^c	0.68 ± 0.03 ^{bc}	0.89 ± 0.32 ^c
	24	0.13 ± 0.09 ^c	0.19 ± 0.05 ^c	0.55 ± 0.06 ^c	0.44 ± 0.16 ^c
R-值	0	0.97 ± 0.15 ^c	0.92 ± 0.11 ^c	0.91 ± 0.05 ^c	0.93 ± 0.06 ^c
	3	1.13 ± 0.10 ^{b,y}	1.24 ± 0.10 ^{b,x}	1.25 ± 0.10 ^{b,x}	1.15 ± 0.11 ^{b,y}
	6	1.31 ± 0.05 ^a	1.28 ± 0.08 ^b	1.26 ± 0.07 ^{b,x}	1.19 ± 0.10 ^{b,y}
	24	1.33 ± 0.10 ^a	1.36 ± 0.16 ^a	1.39 ± 0.20 ^a	1.43 ± 0.11 ^a

a-d 表示在同一列中, 字母不同, 差异显著($P < 0.05$).

x, y 表示在同一行中, 字母不同, 差异显著($P < 0.05$).

24 h 散养鸡腿肌肉的 R-值分别为 0.91 和 1.39, 笼养鸡腿肌肉的 R-值分别为 0.93 和 1.43, 在相应测定时间散养和笼养之间没有差异($P > 0.05$); 但是宰后 3 h 和 6h 笼养鸡腿肌肉 R-值(1.15, 1.19)均显著低于散养鸡腿肌肉 R-值(1.25, 1.26)($P < 0.05$). 此结果显示笼养鸡腿肌肉进入僵直时间比散养鸡腿肌肉晚。笼养和散养鸡胸脯肌肉和腿肌肉僵直进程的相反结果, 可能与肌肉部位不同或屠宰过程中电击晕时鸡的挣扎程度有关, 有待进一步研究。

3.3 肌节长度和肌原纤维小片化指数(MFI)

宰后肌节长度测定结果见表 3。宰后 0-6 h, 肌节长度逐渐变短, 6-24 h 略微变长, 但是在相同测定时间的散养和笼养鸡肌肉之间没有差异。同样, 宰后 0、24 h 散养和笼养鸡腿肌肉肌节长度分别为 2.00 和 1.85 μm 。3 h, 肌节长度分别为 1.82 和 1.76 μm , 6 h, 肌节长度分别 1.71 和 1.76 μm 。随着宰后时间肌节长度变短, 测定的同一时间段的散养和笼养之间也不存在差异。动物宰后随着 ATP 水平下降和 pH 值降低, 肌质网膜功能逐渐丧失, 肌浆中的 Ca^{2+} 浓度持续升高, 进而导致肌纤维永久性收缩, 引起宰后僵直^[14]。

散养和笼养鸡胸脯肌肉 MFI(见表 3), 由宰后 0 h 的 66.6 和 64.1 到宰后 24 h 分别达到了 107.0 和 107.5。同样, 散养和笼养鸡腿肌肉 MFI, 由宰后 0 h 的 69.7 和 69.5 到宰后 24 小时分别达到了 104.0 和 103.6。在

相同测定时间的散养和笼养鸡, 不论胸脯肌肉还是腿肌肉, 都未见显著差异, 但都随宰后时间增加而升高。胸脯肌肉和腿肌肉之间也未见显著差异。然而 Yu 等报告肉鸡胸脯肌肉和腿肌肉 MFI 之间存在显著差异^[15]。这种差异可能是由于取样方法不同造成的。Yu 等是在宰杀放血后, 直接取样测定, 而本实验是在浸烫脱毛并去内脏后取样测定。肌原纤维小片化指数(MFI)一定程度上反应肌纤维蛋白的降解程度, 且 MFI 与肉嫩度有正相关^[8]。由此推测, 散养和笼养方式对 AA 鸡肌肉嫩度不会产生影响。

4 结 论

散养和笼养的 AA 鸡在同样饲料营养水平和相同日龄时, 笼养鸡比散养鸡活体重高 8.17%, 且笼养鸡体重较均一。在宰后僵直过程中笼养鸡胸脯肌肉和腿肌肉 pH 值和肌糖原含量降低速度分别比散养鸡快。笼养鸡胸脯肌肉进入僵直比散养鸡胸脯肌肉早, 但是笼养鸡腿肌肉进入僵直时间比散养鸡腿肌肉晚。笼养和散养鸡不管是胸脯肌肉之间, 还是腿肌肉之间, 其肌节长度和肌原纤维小片化指数(MFI)之间没有显著差异。并且宰后 24 h, 本实验所测定指标在笼养和散养鸡之间不存在显著差异。因此, 饲养方式(笼养和散养)除了对 AA 鸡活体重以外, 对宰后胸脯肌肉和腿肌肉的理化特性没有影响。

表 3 饲养方式对 AA 鸡宰后胸脯肌肉和腿肌肉肌节长度和肌原纤维小片化指数的影响($n = 30, \bar{x} \pm s$)
Table 3 Effects of breeding mode on post-mortem sarcomere lengths and myofibrillar fragmentation index (MFI) in breast and leg muscles of Arbor Acres broilers

测定项目	宰后时间 (h)	胸肉		腿肉	
		散养	笼养	散养	笼养
肌节长度 (μm)	0	1.75 \pm 0.12 ^a	1.74 \pm 0.08 ^a	2.00 \pm 0.20 ^a	2.00 \pm 0.11 ^a
	3	1.69 \pm 0.11 ^a	1.67 \pm 0.11 ^b	1.82 \pm 0.06 ^b	1.76 \pm 0.21 ^b
	6	1.53 \pm 0.11 ^c	1.57 \pm 0.09 ^c	1.71 \pm 0.11 ^b	1.76 \pm 0.10 ^b
	24	1.61 \pm 0.12 ^b	1.63 \pm 0.14 ^{bc}	1.85 \pm 0.18 ^b	1.85 \pm 0.21 ^b
MFI	0	66.6 \pm 10.2 ^d	64.1 \pm 7.1 ^d	69.7 \pm 12.6 ^d	69.5 \pm 11.3 ^d
	3	79.6 \pm 8.0 ^c	80.2 \pm 6.0 ^c	79.9 \pm 7.7 ^c	80.0 \pm 8.3 ^c
	6	94.6 \pm 3.5 ^b	94.4 \pm 3.4 ^b	92.2 \pm 6.6 ^b	93.7 \pm 4.6 ^b
	24	107.0 \pm 11.1 ^a	107.5 \pm 10.2 ^a	104.0 \pm 11.9 ^a	103.6 \pm 11.3 ^a

a-d 在同一列中, 字母不同, 表示差异显著($P < 0.05$).

x,y 在同一行中, 字母不同, 表示差异显著($P < 0.05$).

参考文献

- [1] Yu LH, Lim DG, Jeong SG, *et al.* Effects of temperature conditioning on postmortem changes in physico-chemical properties in Korean native cattle (*Hanwoo*) [J]. *Meat Sci*, 2008, 79: 64–70.
- [2] Castellini C, Mugnai C, Dal Bosco A. Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality [J]. *Meat Sci*, 2002, 60: 219–225.
- [3] 彭志军, 戚晓鸿, 张德祥等. 不同饲养方式对矮脚黄鸡肉质性能的影响[J]. *养禽与禽病防治*, 2011(9), 10-14.
- [4] Dreiling CE, Brown DE, Casale L, *et al.* Muscle glycogen: Comparison of iodine binding and enzyme digestion assays and application to meat samples [J]. *Meat Sci*, 1987, 20: 167–177.
- [5] Koh KC, Bidner TD, Mcmillan KW, *et al.* The relationship between ATP and *R*-values in postmortem bovine *longissimus dorsi* muscle [J]. *Meat Sci*, 1993, 33: 253–263.
- [6] Calkins CR, Dutson TR, Smith GC, *et al.* Concentration of creatine phosphate, adenine nucleotides and their derivatives in electrically stimulated and non-stimulated beef muscle [J]. *J Food Sci*, 1982, 47: 1350–1353.
- [7] Cross HR, West RL, Duston TR. Comparisons of methods for measuring sarcomere length in beef *semitendinosus* muscle [J]. *Meat Sci*, 1980, 5: 261–266.
- [8] Olson DG, Parrish FC, Stromer MH. *et al.* Myofibrillar fragmentation and shear resistance of three bovine muscles during post-mortem storage [J]. *J Food Sci*, 1976, 41: 1036–1041.
- [9] 彭志军, 戚晓鸿, 张德祥等. 不同饲养方式对矮脚黄鸡生产性能的影响[J]. *养禽与禽病防治*, 2010(5), 7-10.
- [10] 沙尔山别克·阿不地力大, 李海英, 努尔江·买地亚尔, 等. 不同饲养方式对拜城油鸡生长、屠宰性能及肉品质的影响[J]. *新疆农业科学*, 2011, 48(11): 2121–2128.
- [11] 陈冬梅, 周材权, 苏学辉. 不同饲养方式对肉用土鸡屠宰性能和肉质的影响[J]. *饲料工业*. 2005, 26(7): 9-10.
- [12] Sayas-barberá E, Fernández-lópez J, Sendra-nadal E. Handbook of Poultry Science and Technology (Volume 1: Primary Processing) [M]. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2010, 228-230.
- [13] Papa C M, Fletcher D L. The effect of temperature on rigor development in broiler breast muscle (Abstr) [J]. *Poult Sci*. 1986, 65(suppl 1): 186-187.
- [14] 黄明, 李春宝, 周光宏. 肉品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008, 77-78.
- [15] Yu LH, Lee E S, Jeong J Y, *et al.* Effects of thawing temperature on the physicochemical properties of pre-rigor frozen chicken breast and leg muscles [J]. *Meat Sci*, 2005, 71: 375–382.

(责任编辑: 张宏梁)

作者简介



张盟, 黑龙江八一农垦大学食品学院硕士研究生, 研究方向为肉品科学与技术。
E-mail: zhangmeng1986bio@163.com.



俞龙浩, 韩国建国大学校畜产食品生物工程专业博士研究生毕业, 韩国农业振兴厅畜产科学院博士后, 教授, 硕士生导师, 主要从事畜禽宰后肌肉僵直过程中的生物化学变化对肉品质影响方面的应用基础理论研究和肉制品开发研究。
E-mail: yu2058@sohu.com.