

运输时间和温度对生猪应激和猪肉品质的影响

田寒友, 邹昊, 刘飞, 王辉, 李家鹏, 陈文华, 乔晓玲*

(1. 中国肉类食品综合研究中心, 北京 100068; 2. 肉类加工技术北京市重点实验室, 北京 100068;
3. 北京食品科学研究院, 北京 100068)

摘要: 为了研究运输时间和温度对生猪应激及猪肉品质的影响, 该文以三元杂交猪杜长大为研究对象, 测定了运输前、运输 3、6、9 h 以及运输温度 $-10\sim 0^{\circ}\text{C}$ 、 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ 、 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 、 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 等条件下生猪的血液生化指标、宰后猪肉 pH 值、肉色等指标。结果表明: 运输 6 h 后三元猪出现应激反应, 9 h 以后应激反应显著增强 ($P<0.05$), 运输 6 h 以上三元猪与运输 3 h 相比, 宰后 45 min pH 值显著降低 ($P<0.05$), 肉色分级显著升高 ($P<0.05$), 肉品质降低; 运输温度低于 10°C 时三元猪出现应激反应, $-10\sim 0^{\circ}\text{C}$ 时应激反应显著增强 ($P<0.05$), $-10\sim 0^{\circ}\text{C}$ 和 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 条件下宰后 24 h pH 值显著高于 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ 和 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ ($P<0.05$), 肉品质降低。因此, 为防止生猪运输应激及改善猪肉品质, 生猪运输时间应小于 6 h, 运输温度为 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。该研究结果对屠宰行业减少生猪应激提高猪肉品质提供参考。

关键词: 肉; 品质控制; 应激; 运输时间; 运输温度; 生猪; 血液生化指标

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.16.038

中图分类号: S828

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-16-0284-05

田寒友, 邹昊, 刘飞, 王辉, 李家鹏, 陈文华, 乔晓玲. 运输时间和温度对生猪应激和猪肉品质的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(16): 284—288. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.16.038 http://www.tcsae.org
Tian Hanyou, Zou Hao, Liu Fei, Wang Hui, Li Jiapeng, Chen Wenhua, Qiao Xiaoling. Effects of transportation time and temperature on pig stresses and pork quality[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(16): 284—288. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.16.038 http://www.tcsae.org

0 引言

应激是生物机体在受到应激原刺激时所出现的全身性非特异性适应反应, 运输等应激对育肥商品猪肉品质影响严重^[1]。国内外对生猪应激因素做了大量研究, 发现导致生猪应激的因素众多, 主要包括生猪品种^[2]、年龄、是否同群、运输前禁食时间^[3]、运输时间^[4-5]、运输温度^[6-8]、运输密度^[9]、是否有卸猪台^[10]、是否带间隔等。生猪应激后猪肉 pH 值不正常, 导致猪肉品质发生变化, 产生劣质肉如白肌肉(pale soft exudative meat, PSE)和黑干肉(dark firm dry meat, DFD), 成为猪肉生产中一大难题^[11-13]。

本文作者对北京四家大型生猪屠宰场进行调研发现, 北京地区所屠宰的生猪品种以三元杂交猪杜长大为主, 屠宰年龄为 6 个月左右, 质量范围 100~108 kg, 运输前饲养以自由采食饮水为主, 无明显禁食禁水时间, 生猪运输车均有间隔, 运输密度约 2.2 头/ m^2 , 屠宰场均有高低不等的卸猪台, 生猪主要来自北京、河北、山东、辽宁等地区, 运输时间维持在 1~9 h 之间, 夏季运输时避开白天高温时间段, 多选择在傍晚或夜间运输, 冬季

运输时避开夜晚低温时间段, 多选择在白天运输, 温度在 $-10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间。因此, 北京地区生猪宰前应激因素变量主要为运输时间和运输温度, 其他应激因素水平较为固定。本文作者抽检北京地区不同生猪屠宰场 150 头生猪, 参照 O'Neill D J 的方法^[14], 测定宰后猪肉品质, 结果显示劣质肉发生率约为 8.0% (PSE 肉发生率约 6.0%, DFD 发生率约 2.0%), 北京 2013 年猪肉总产量为 24.6 万 t, 按照劣质肉 8.0% 的比例计算, 每年因应激造成的劣质肉损失达 2.0 万 t。本文以三元猪为试验对象, 研究了北京地区不同运输时间和温度对生猪血液生理生化指标和肉品质的影响, 以期获得生猪宰前应激控制技术, 减少因应激造成猪肉品质下降带来的损失。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

生猪选自北京某生猪养殖场, 品种为三元杂交猪杜长大, 均为六月龄去势公猪, 质量为 (104 ± 4) kg, 试验生猪集中饲养, 同群且饲喂条件相同。送往同一生猪屠宰场, 运输卡车为单层四栏设计, 车速控制在 60~70 km/h, 运输密度为 2.2 头/ m^2 , 卸猪时有高低不等的卸猪台, 运输前后无鞭打电击驱赶现象, 毛猪称量后在待宰圈静养 4 h, 供水不喂食, 宰前提供淋浴, 采用三点式麻电击晕方式, 头部电压 125 V, 心脏电压 75 V。击晕到放血时间控制在 5 s 以内。经 35 min 屠宰线流水作业后进入 4°C 冷库中排酸 24 h。

5 mL 促凝剂分离胶采血管, 湖南三力实业; 皮质醇

收稿日期: 2015-06-30 修订日期: 2015-07-20

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201303083)

作者简介: 田寒友, 男, 山西阳泉人, 工程师, 研究方向为肉品快速无损检测技术。北京 中国肉类食品综合研究中心, 100068。

Email: tianhanyou@163.com

*通信作者: 乔晓玲, 女(满族), 黑龙江齐齐哈尔市人, 教授级高工, 研究方向为肉制品加工技术。北京 中国肉类食品综合研究中心, 100068。

Email: cmrcsen@126.com

检测试剂盒、肌酸激酶检测试剂盒（IFCC 法）、乳酸脱氢酶检测试剂盒、胆碱酯酶检测试剂盒（比色法），德国罗氏诊断有限公司；丙氨酸氨基转移酶测定试剂盒（速率法）、天门冬氨酸氨基转移酶测定试剂盒（速率法），日本世诺临床诊断制品株式会社。

1.2 仪器与设备

05P-22 离心机、7080 全自动生化仪器，日本日立公司；Cobas E601 全自动免疫分析仪，德国罗氏公司；SevenGo™手持肉用 pH 计，梅特勒公司；肉色等级标准比色板，日本食用肉类规范协会；计算机视觉系统，该系统包括图像信息采集装置和判定装置，定位肉和六个比色板图像，分别计算平均红、绿、蓝色彩值（red green blue, RGB），计算肉与六个比色板 RGB 值的欧氏距离从而确定肉色等级，该系统为自制设备。

1.3 方法

1.3.1 运输时间和温度试验分组方法

不同运输时间试验在 2015 年 4 月相邻日期进行，平均运输温度 20℃，运输路途平坦，经未运输、运输 3、6、9 h 到达屠宰场，各组试验生猪数量为 12 头；运输温度 -10~0℃、0~10℃、10~20℃、20~30℃ 试验在不同季节进行，其中，-10~0℃ 试验组于 2014 年 12 月进行运输，0~10℃ 试验组于 2015 年 3 月进行运输、10~20℃ 试验组于 2015 年 4 月进行运输、20~30℃ 于 2015 年 6 月进行运输，运输时间为 3h，各组试验生猪数量为 12 头。

1.3.2 血液样品制备

运输前由饲养员将生猪保定后颈静脉取血，其他条件于刺杀放血时取血，用 5 mL 促凝剂分离胶采血管收集，振摇若干次，静置 2 h 后以 3 000 r/min 离心 15 min，收集血清，分装后于 -20℃ 冰箱中保存备用^[15]。每批血样生化指标的测定在收集完成后 24 h 内完成。

1.3.3 血液指标的测定

皮质醇（cortisol, COR）浓度测定，采用电化学发光法，在 Cobas E601 全自动免疫分析仪上使用皮质醇检测试剂盒进行检测；谷丙转氨酶（alanine aminotransferase, ALT）、谷草转氨酶（aspartate transaminase, AST）、碱性磷酸酶（alkaline phosphatase, ALP）、肌酸激酶（creatine kinase, CK）、乳酸脱氢酶（lactate dehydrogenase, LDH）等酶活性测定，在 7080 全自动生化分析仪上使用对应试剂盒进行检测。

1.3.4 肉品质测定

宰后 45 min 和 24 h 的 pH 值采用梅特勒手持肉用 pH 计测定^[16]，宰后 24 h 肉色等级判定参照刘文营的方法^[17]，由计算机视觉系统测定，计算机视觉系统由暗箱、比色板、载物台、漫反射光源、电荷耦合元件（charge-coupled device, CCD）、肉色等级判定软件组成，将宰后 24 h 的猪通脊肉左半胴体第 3~4 根肋骨间切开，置于载物台上，通脊肉截面与比色板处于同一垂直于镜头方向的平面，镜头处于光源的中心位置，保证光源均匀照亮通脊肉界面和肉色等级标准比色板，通过 CCD 及数据线将照片传输至肉色等级判定软件内，计算通脊肉的平均 RGB 值分别与比色板 6 个等级的平均 RGB 值的欧氏距离，通过比对判定通脊肉颜色等级，可有效避免人为主观评价。

1.4 数据分析

采用 SPSS 软件进行 Duncan's multiple range test 数据分析。同一系列不同字母表示显著差异（ $P<0.05$ ）。

2 结果与分析

2.1 运输时间对生猪应激和猪肉品质的影响

2.1.1 运输时间对生猪应激的影响

运输时间对生猪应激的影响如表 1 所示。

表 1 运输时间对生猪血液生化指标的影响
Table 1 Effect of transport duration on blood biochemical parameters of pigs

指标 Index	运输前 Before transportation	运输 3 h 3 h transportation	运输 6 h 6 h transportation	运输 9 h 9 h transportation
谷丙转氨酶活性 ALT/(U·L ⁻¹)	47.17±8.22 ^c	45.50±8.95 ^c	62.92±13.24 ^b	83.71±19.25 ^a
谷草转氨酶活性 AST/(U·L ⁻¹)	32.58±13.46 ^b	51.17±17.55 ^b	85.42±38.27 ^b	167.63±114.31 ^a
碱性磷酸酶活性 ALP/(U·L ⁻¹)	(0.13±0.04)×10 ^{3a}	(0.18±0.04)×10 ^{3a}	(0.16±0.02)×10 ^{3a}	(0.20±0.19)×10 ^{3a}
肌酸激酶活性 CK/(U·L ⁻¹)	(1.50±1.27)×10 ^{3b}	(5.07±2.72)×10 ^{3b}	(8.73±8.85)×10 ^{3ab}	(22.40±28.83)×10 ^{3a}
乳酸脱氢酶活性 LDH/(U·L ⁻¹)	(0.47±0.10)×10 ^{3b}	(1.05±0.33)×10 ^{3b}	(0.81±0.27)×10 ^{3b}	(1.92±1.32)×10 ^{3a}
皮质醇浓度 COR/(mmol·L ⁻¹)	0.12±0.11 ^b	0.18±0.08 ^b	0.19±0.05 ^b	0.38±0.16 ^a

注：数据表示为平均数±标准差，同一行标注不同字母表示差异显著， $P<0.05$ 。运输温度为 20℃。
Note: Each value is the mean± standard errors. Values in the same row with different letters are significantly different($P<0.05$). Transport temperature is 20℃.

由于血液生化指标的变化是以机体组织细胞机能改变和新陈代谢变化为基础的，故血液生化指标是反映动物应激时体内物质代谢和某些组织器官机能状态变化的一个重要指标^[18]。血液中 ALT、AST 和 ALP 的活性，可反映肝细胞受损情况及损伤程度，是肝脏损伤的重要指示酶^[19-21]。三元猪运输 6 h 后 ALT 显著升高（ $P<0.05$ ），并且 9 h 后 ALT 的活性显著高于 6 h（ $P<0.05$ ），运输 9 h 后 AST 活性显著高于其他组（ $P<0.05$ ），随着运输时间的增加，血清中碱性磷酸酶（ALP）活性呈升高的趋势，

但各组无显著性差异（ $P>0.05$ ），以上结果表明 6 h 以上的运输对三元猪肝脏造成了损伤，9 h 运输损伤严重，生猪应激反应更强烈；血液中的 CK 和 LDH 是机体反映能量代谢的重要生化指标，对动物心肌损伤具有诊断特异性^[22]，运输 9 h 后 CK 浓度显著高于运输前和运输 3 h，LDH 浓度显著高于运输前、运输 3、6 h（ $P<0.05$ ），表明长时间的运输对三元猪肌肉和组织细胞造成一定的损伤；血液中 COR 的浓度是衡量机体是否受到应激的一个重要的指标^[23-24]，应激后动物下丘脑-垂体-肾上腺皮质轴

会被激活^[25], 促进肾上腺皮质激素的合成及释放, 从而使皮质醇浓度升高^[26], 由表 1 可知, 随着运输时间的增加, 皮质醇浓度逐渐升高, 其中 9 h 后皮质醇浓度显著提高 ($P<0.05$)。由此可知, 运输 6 h 后三元猪出现应激反应, 肝脏组织出现一定程度的损伤, 9 h 以后应激反应更严重, 肝脏、心脏等组织均出现损伤, 各项应激指标均有显著性变化。Jimian Yu^[27]研究了不同运输时间 (0、1、2、4 h) 对二花脸猪血液中 CK 和 LDH 的影响, 发现运输 1 h 后 CK 和 LDH 活性显著高于运输 0 和 4 h ($P<0.05$), 表明运输 1 h 时生猪应激严重, 之后随着运输时间延长, 到 4 h 时生猪逐渐适应运输造成的应激, 应激指标趋于正常, 本文选择了北京地区常见的运输时间条件, 推测到 3 h 时三元猪已适应运输应激, 各指标无显著变化 ($P>0.05$), 到 6 h 时又一次出现应激反应。

2.1.2 运输时间对猪肉品质的影响

运输时间对猪肉品质的影响如表 2 所示。生猪宰后 45 min、24 h 的 pH 值和宰后 24 h 的日本猪肉颜色分级与猪肉品质有显著相关性^[28], 其中, 宰后 45 min 的 pH 值越小 (<6), 表明肉中迅速积累了大量的乳酸, 从而降低肉的保水性, 滴水损失率和蒸煮损失率显著升高^[29], 易产生 PSE 肉。日本肉色分为 1~6 级, 其中, 3~4 级为正常肉色, 分级越低 (<3), 猪肉颜色偏浅, 易发生 PSE 肉, 分级越高 (>4) 猪肉颜色偏深偏暗, 易产生 DFD 肉。运输 6 和 9 h 的 pH_{45min} 显著低于运输 3 h ($P<0.05$),

但均未 <6 ; 运输 6 和 9 h 条件下肉色分级显著高于运输 3 h ($P<0.05$), 其中运输 9 h 后肉色分值 >4 级, 表明 9 h 的长时间运输更易产生 DFD 肉。

表 2 不同运输时间对猪肉品质的影响				
Table 2 Effect of transport duration on pork quality				
指标 Index	运输 3 h 3 h transportation	运输 6 h 6 h transportation	运输 9 h 9 h transportation	
宰后 45 min pH 值 pH _{45min}	6.7±0.2 ^b	6.4±0.3 ^a	6.2±0.3 ^a	
宰后 24 h pH 值 pH _{24h}	5.7±0.1 ^a	5.6±0.1 ^a	5.7±0.2 ^a	
日本肉色分级 Pork color grade of Japan	3.0±0.0 ^c	3.6±0.5 ^b	4.6±0.8 ^a	

注: 数据表示为平均数±标准差, 同一行不同字母表示差异显著, $P<0.05$ 。运输温度为 20℃。
Note: Each value is mean± standard errors. Values in the same row with different letters are significantly different ($P<0.05$). Transport temperature is 20℃.

2.2 运输温度对生猪应激和猪肉品质的影响

2.2.1 运输温度对生猪应激的影响

运输温度对生猪应激的影响如表 3 所示。不同运输温度下 ALT 活性无显著性变化, AST、ALP 活性在-10~0℃和 0~10℃时显著高于 10~20℃和 20~30℃ ($P<0.05$), 表明三元猪在低于 10℃运输时肝脏等组织受到一定损伤, 开始出现应激反应; CK 和 LDH 活性、COR 浓度在-10~0℃时显著高于其他试验组 ($P<0.05$), 表明运输温度降到-10~0℃时肝脏、心脏均出现损伤, 应激反应更强烈。

表 3 运输温度对生猪血液生化指标的影响				
Table 3 Effect of transport temperature on blood biochemical parameters of pigs				
指标 Index	-10~0℃运输 Transport temperature at -10-0℃	0~10℃运输 Transport temperature at 0-10℃	10~20℃运输 Transport temperature at 10-20℃	20~30℃运输 Transport temperature at 20-30℃
谷丙转氨酶活性 ALT/(U·L ⁻¹)	81.00±11.35 ^a	79.91±27.39 ^a	70.21±19.84 ^a	63.83±21.64 ^a
谷草转氨酶活性 AST/(U·L ⁻¹)	0.48±0.20 ^b	0.61±0.53 ^b	0.17±0.11 ^a	0.20±0.09 ^a
碱性磷酸酶活性 ALP/(U·L ⁻¹)	(0.17±0.06)×10 ^{3b}	(0.18±0.04)×10 ^{3b}	(0.15±0.04)×10 ^{3a}	(0.14±0.03)×10 ^{3a}
肌酸激酶活性 CK/(U·L ⁻¹)	(32.87±12.23)×10 ^{3b}	(11.98±11.01)×10 ^{3a}	(16.25±13.34)×10 ^{3a}	(17.64±13.18)×10 ^{3a}
乳酸脱氢酶活性 LDH/(U·L ⁻¹)	(3.67±1.48)×10 ^{3b}	(2.21±0.97)×10 ^{3a}	(1.69±1.13)×10 ^{3a}	(2.06±1.13)×10 ^{3a}
皮质醇浓度 COR/(mmol·L ⁻¹)	0.48±0.12 ^b	0.31±0.10 ^a	0.31±0.14 ^a	0.21±0.11 ^a

注: 数据表示为平均数±标准差, 同一行标注不同字母表示差异显著, $P<0.05$ 。运输时间为 3h。
Note: Each value is the mean± standard errors. Values in the same row with different letters are significantly different($P<0.05$). Transport time is 3h.

2.2.2 运输温度对猪肉品质的影响

运输温度对猪肉品质的影响如表 4 所示。pH_{24h} 越高, 猪肉越易产生 DFD 肉, 这可能是因为动物受到了慢性应激耗尽所有能量, 防止产生了大量乳酸, pH_{24h} 无法降到

6.0 以下, 此类鲜肉容易引起细菌腐败^[30], 因此, pH_{24h} 是影响猪肉品质的重要指标。-10~0℃和 20~30℃条件下 pH_{24h} 显著高于 0~10℃和 10~20℃ ($P<0.05$), 表明在高温和低温下运输生猪应激严重, 更易产生劣质肉。

表 4 不同运输温度对猪肉品质的影响				
Table 4 Effect of transport temperature on pork quality				
指标 Index	-10~0℃运输 Transport temperature at -10-0℃	0~10℃运输 Transport temperature at 0-10℃	10~20℃运输 Transport temperature at 10-20℃	20~30℃运输 Transport temperature at 20-30℃
宰后 45minpH 值 pH _{45min}	6.3±0.2 ^a	6.3±0.3 ^a	6.4±0.2 ^a	6.3±0.2 ^a
宰后 24hpH 值 pH _{24h}	6.3±0.2 ^a	5.8±0.3 ^b	5.6±0.2 ^b	6.5±0.1 ^a
日本肉色分级 Pork color grade of Japan	3.4±0.7 ^a	3.3±0.4 ^a	3.8±0.7 ^a	3.4±0.7 ^a

注: 数据表示为平均数±标准差, 同一行标注不同字母表示差异显著, $P<0.05$ 。运输时间为 3h。
Note: Each value is the mean ± standard errors. Values in the same row with different letters are significantly different ($P<0.05$). Transport time is 3h.

3 结 论

本文研究了运输时间和运输温度对北京地区三元猪应激指标和猪肉品质的影响, 结果表明, 运输时间达到 6 h 后生猪出现应激反应, 9 h 后应激反应更加强烈, 生猪血液中谷丙转氨酶、谷草转氨酶、乳酸脱氢酶、皮质醇浓度等反映应激程度的指标均显著上升 ($P < 0.05$), 运输 6 h 和 9 h 条件下肉色分级显著高于运输 3 h, 其中运输 9 h 肉色分值达到 4.6 (> 4), 黑干肉 (dark firm dry meat, DFD) 发生概率增高; 三元猪在低于 10℃ 运输时开始出现应激反应, 运输温度降到 -10~0℃ 时应激反应更加强烈, 肌酸激酶、乳酸脱氢酶、皮质醇浓度显著上升 ($P < 0.05$), 同时 -10~0℃ 和 20~30℃ 温度下运输后, 猪肉 pH_{24h} 无法降到 6.0 以下, 易产生 DFD 肉。因此, 北京地区生猪宜选用 6h 运输时间范围内的猪源, 同时运输过程中做好生猪防暑防寒措施, 如冬季时选择晴天日间进行运输, 增加秸秆或其他保温材料铺垫, 夏季时选择阴雨天或者夜间运输, 运输期间不定期进行洒水降温, 使运输温度保持在 10~20℃, 防止生猪产生强烈应激以改善猪肉品质。

[参 考 文 献]

- [1] Mota-Rojas D, Becerril-Herrera M, Roldan-Santiago P, et al. Effects of long distance transportation and CO₂ stunning on critical blood values in pigs[J]. *Meat Science*, 2012, 90(4): 893—898.
- [2] 鲍经伟, 夏东, 肖金松, 等. 二花脸和皮特兰猪应激状态下行为和血液生化指标的变化[J]. *中国兽医学报*, 2008, 28(4): 421—424.
Bao Jingwei, Xia Dong, Xiao Jinsong, et al. Behavioral and blood biochemical stresses responses in Erhualian and Pietrain pigs[J]. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 2008, 28(4): 421—424. (in Chinese with English abstract)
- [3] Guàrdia M D, Estany J, Balasch S, et al. Risk assessment of PSE condition due to pre-slaughter conditions and RYR1 gene in pigs[J]. *Meat Science*, 2004, 67(3): 471—478.
- [4] 许洋, 黄明, 周光宏. 宰前管理对猪肉品质的影响[J]. *食品科学*, 2011, 32(23): 348—351.
Xu Yang, Huang Ming, Zhou Guanghong. Influence of Pre-slaughter Management on Pork Meat Quality[J]. *Food Science*, 2011, 32(23): 348—351. (in Chinese with English abstract)
- [5] Becerril-Herrera M, Alonso-Spilsbury M, Trujillo Ortega, et al. Changes in blood constituents of swine transported for 8 or 16 h to an Abattoir[J]. *Meat Science*, 2010, 84(4): 945—948. (in Chinese with English abstract)
- [6] Van de Perre V, Permentier L, De Bie S, et al. Effect of unloading, lairage, pig handling, stunning and season on pH of pork[J]. *Meat Science*, 2010, 86(4): 931—937.
- [7] Van de Perre V, Ceustermans A, Leyten J, et al. The prevalence of PSE characteristics in pork and cooked ham-Effects of season and lairage time[J]. *Meat Science*, 2010, 86(2): 391—397.
- [8] Gosálvez L F, Averós X, Valdelvira J J, et al. Influence of season, distance and mixed loads on the physical and carcass integrity of pigs transported to slaughter[J]. *Meat Science*, 2006, 73(4): 553—558.
- [9] Leonardo Nanni Costa, Domenico Pietro oL Fiego, S Dall'olio, et al. Combined effects of pre-slaughter treatments and lairage time on carcass and meat quality in pigs of different halothane genotype[J]. *Meat Science*, 2002, 61(1): 41—47.
- [10] Grandin T. Livestock-handling quality assurance[J]. *Journal of Animal Science*, 2001(79): 239—248.
- [11] Xueshen Zhua, Marita Ruusunenb, Mara Gusella, et al. High post-mortem temperature combined with rapid glycolysis induces phosphorylase denaturation and produces pale and exudative characteristics in broiler Pectoralis major muscles[J]. *Meat Science*, 2011, 89(2): 181—188.
- [12] Tomasz L, Xiong Y L. A simple, reliable and reproductive method to obtain experimental pale, soft and exudative (PSE) pork[J]. *Meat Science*, 2013, 93(3): 489—494.
- [13] M P Pérez, Jorge Palacio, Pilar Santolaria, et al. Effect of transport time on welfare and meat quality in pigs[J]. *Meat Science*, 2002, 61(4): 425—433.
- [14] O'Neill D J, Lynch P B, Buckley D J, et al. Influence of the time of year on the incidence of PSE and DFD in Irish pig meat[J]. *Meat Science*, 2003, 64(2): 105—111.
- [15] 彭晓青, 刘凤华, 颜培实. 中草药复合制剂对热应激条件下猪生产性能和血液生化指标的影响[J]. *畜牧与兽医*, 2011, 43(6): 22—27.
Peng Xiaoqing, Liu Fenghua, Yan Peishi. Effect of complex preparation on the growth performance and physical and biochemical index of piglets under heat stresses[J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2011, 43(6): 22—27. (in Chinese with English abstract)
- [16] 中国商业联合会商业标准中心. GB/T 9695.5-2008 肉与肉制品 pH 测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [17] 刘文营, 田寒友, 邹昊, 等. 异质冷却猪肉快速判别装置的设计及验证[J]. *食品科学*, 2015, 36(2): 184—187.
Liu Wenying, Tian Hanyou, Zouhao, et al. Equipment Design and Validation for Rapid Identification of Heterogeneous Chilled Pork[J]. *Food Science*, 2015, 36(2): 184—187. (in Chinese with English abstract)
- [18] 董淑丽, 王占彬, 雷雪芹, 等. 热应激对动物血液生化指标的影响[J]. *家畜生态*, 2004, 25(2): 54—56.
Dong Shuli, Wang Zhanbin, Lei Xueqin, et al. Influence of heat stresses on biochemical indexes in blood of animal[J]. *Ecology of Domestic Animal*, 2004, 25(2): 54—56. (in Chinese with English abstract)
- [19] 周新, 涂植光. 临床生物化学和生物化学检验[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2003.
- [20] 杜浩, 危起伟, 甘芳, 等. 美洲鲟应激后皮质醇激素和血液生化指标的变化[J]. *动物学杂志*, 2006, 41(3): 80—84.
Du Hao, Wei Qiwei, Gan Fang, et al. Changes in serum cortisol and blood biochemical parameters after stresses in american shad[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2006, 41(3): 80—84. (in Chinese with English abstract)
- [21] 王玉同. 应激对肝脏功能的影响及机理探讨[D]. 西安: 第四军医大学, 2008.
Wang Yutong. The Study on How Stress Affects the Liver Fuction and the Underlying Mechanisms[D]. Xi'an: Fourth Military Medical University. (in Chinese with English abstract)
- [22] Chai J, Xiong Q, Zhang C X, et al. Effect of pre-slaughter transport plant on blood constituents and meat quality in halothane genotype of NN Large White × Landrace pigs[J].

- Livestock Science, 2010, 127(2): 211–217.
- [23] 洪磊, 张秀梅. 环境胁迫对鱼类生理机能的影响[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(1): 114–121.
Hong Lei, Zhang Xiumei. Effects of Environmental Stresses on Physiological Function of Fish[J]. Advances In Marine Science, 2004, 22(1): 114–121. (in Chinese with English abstract)
- [24] Wendelaar Bonga S E. The stresses response in fish[J]. Physiological Reviews, 1997, 77(3): 591–625.
- [25] 连晓媛, 陈奇. 应激与中枢神经递质及 HPA 轴功能调节[J]. 国外医学 (生理病理科学与临床分册), 1998, 18(4): 371–373.
- [26] 杨培歌, 顾宪红. 应激对猪生产性能, 行为及血液理化指标影响的研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2013, 40(1): 111–116.
Yang Peige, Gu Xianhong. Research progress on effects of stresses on production performance, behaviour and blood physiological-biochemical indexes in pigs[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2013, 40(1): 111–116. (in Chinese with English abstract)
- [27] Jimian Yu, Shu Tang, Endong Bao, et al. The effect of transportation on the expression of heat shock proteins and meat quality of *M. longissimus dorsi* in pigs[J]. Meat Science, 2009, 83(3): 474–478.
- [28] 孙京新, 汤晓艳, 周光宏, 等. 宰后冷却工艺对冷却猪肉肉色、质量分类的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 203–208.
Sun Jingxin, Tang Xiaoyan, Zhou Guanghong. Effects of different post mortem chilling technologies on chilled pork color and quality classification[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(8): 203–208. (in Chinese with English abstract)
- [29] 甄少波, 刘奕忍, 郭慧媛, 等. 运输季节对生猪应激及猪肉品质的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 333–338.
Zhen Shaobo, Liu Yiren, Guo Huiyuan, et al. Effects of transport seasons on stresses and meat quality of pigs[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(1): 333–338. (in Chinese with English abstract)
- [30] Tarrant P V. The effects of handling, transport, slaughter and chilling on meat quality and yield in pigs: a review[J]. Irish Journal of Food Science and Technology, 1989, 13(2): 79–107.

Effects of transportation time and temperature on pig stresses and pork quality

Tian Hanyou, Zou Hao, Liu Fei, Wang Hui, Li Jiapeng, Chen Wenhua, Qiao Xiaoling^{*}

(1. China Meat Research Center, Beijing 100068, China; 2. Beijing Key Laboratory of Meat Processing Technology, Beijing 100068, China; 3. Beijing Academy of Food Sciences, Beijing 100068, China)

Abstract: Because of the pig stress, 20 000 tons of PSE (pale soft exudative) and DFD (dark firm dry) meat were engendered in Beijing every year. Transportation time and temperature were studied, since other factors which caused pig stress made no difference in Beijing. In order to investigate the effects of different transportation time (0, 3, 6, 9 h) and temperature (-10–0°C, 0–10°C, 10–20°C, 20–30°C) on pig stress and pork quality, a total of 84 Duroc × Landrace Large × White barrows were transported to the same abattoir, and the barrows had been raised up to (104±4) kg by the same person. The transportation speed was 60–70 km/h and the transportation density was 2.2 pigs per square meter. The pigs were transported without stops. During loading and unloading, in the farm and at the abattoir the pigs were gently handled, and no whips and electric prods were used. No food was available while the water was continually available during the transportation. The pigs were stunned electrically with 125 V on head and 75 V on heart. The blood constituents were used as the indicators of pig stress, and the pork quality traits including the pH values 45 min and 24 h after slaughter and the pork color grade were measured in this study. The results showed that the alanine aminotransferase (ALT) in blood plasma after 6 h transportation increased significantly ($P<0.05$) compared to that after zero and 3 h transportation, which meant the pigs presented stress reaction after 6 h transportation, and the ALT, aspartate transaminase (AST), lactate dehydrogenase (LDH), cortisol (COR) after 9 h transportation increased significantly ($P<0.05$) compared to those after zero, 3 and 6 h transportation, which meant the stress was significantly stronger after 9 h transportation. The pork pH values 45 min after slaughter through 6 and 9 h transportation were significantly lower than those after 3 h transportation ($P<0.05$). In the same time, the pork color grades (above 4) were significantly higher than those after 3 h transportation ($P<0.05$) which caused the pork quality to decrease. Pigs presented stress reaction when they were transported at the temperature of under 10°C since the AST and alkaline phosphatase (ALP) increased significantly ($P<0.05$), and the stress was significantly stronger when they were transported at the temperature of under 0°C since the creatine kinase (CK), LDH and COR increased significantly ($P<0.05$) compared to the other conditions. The pork pH values 24 h after slaughter at the transportation temperature of -10–0°C and 20–30°C were significantly higher ($P<0.05$) than those at 0–10°C and 10–20°C which caused the pork quality to decrease. The research identified that the pigs in Beijing should be transported within 6 h and at 10–20°C in order to reduce the impact of stress and improve pork quality.

Key words: meats; quality control; stresses; transportation time; transportation temperature; pig; blood parameters