

不同储藏条件下长白猪肌肉 pH、糖原、乳酸及 TBA 的变化及相关关系

郭建凤, 武英, 王继英, 呼红梅, 张印, 蔺海朝, 王诚

(山东省农科院 畜牧兽医研究所, 山东省畜禽疫病防治与繁育重点实验室, 山东 济南 250100)

摘要: 研究测定了长白猪屠宰后 12 h 肌肉 pH、糖原、乳酸和脂质氧化的变化, 不同储藏温度和时间对肌肉 pH 值、失水率、糖原、乳酸及脂质氧化的影响及相关关系。结果表明: 宰后 12 h 长白猪背最长肌 pH 值显著降低, 乳酸含量显著升高, 肌肉糖原和 TBA 值含量变化不显著。4 ℃ 冷藏条件下, 储存时间对长白猪肌肉 pH 和糖原含量影响不显著, 对滴水损失、乳酸和 TBA 含量影响显著。-20 ℃ 冷冻条件下, 储存时间对长白猪肌肉 pH、乳酸和 TBA 值影响极显著, 对解冻失水率和糖原含量影响不显著。相关性分析表明, 宰后 12 h TBA 值与糖原、乳酸正相关, 相关系数分别为 0.312 ($P < 0.01$) 和 0.355 ($P < 0.01$), pH 与乳酸负相关, 相关系数为 -0.599 ($P < 0.01$); 4 ℃ 冷藏条件下, pH 与滴水损失负相关, 相关系数为 -0.340 ($P < 0.01$)。其他相关性不显著; -20 ℃ 冷冻条件下, TBA 与 pH 极显著正相关, 相关系数为 0.424 ($P < 0.01$), TBA 与解冻失水率显著负相关, 相关系数为 -0.356 ($P < 0.05$); pH 与解冻失水率极显著负相关, 相关系数为 -0.492 ($P < 0.01$)。

关键词: 长白猪; 温度; 时间; pH 值; 糖原; 脂质氧化; 相关性

中图分类号: S828.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-2286(2011)01-0100-07

Changes and Correlations of Landrace Muscle pH, Glycogen, Lactic Acid and TBA in Different Storage Conditions

GUO Jian-feng, WU Ying, WANG Ji-ying, HU Hong-mei, ZHANG Yin, LIN Hai-zhao, WANG Cheng

(Institute of Animal Science and Veterinary Medicine Shandong Academy of Agricultural Science, Shandong Provincial Key Laboratory of Animal Disease Control & Breeding, Jinan 250100, China)

Abstract: The changes and correlations of pork muscle pH, glycogen, lactic acid and intramuscular fat oxidation of Landrace 12 h after slaughter, the effects of different levels of storage temperature and time on muscle pH values, water loss rate, glycogen, lactic acid and 2-thiobarbituric acid (TBA) were studied. The results showed that the pH descended significantly, lactic acid content increased significantly, changes of muscle glycogen and TBA contents were not statistically significant 12 h after slaughtering. With the storage condition of 4 ℃, the effect of storage time on pH value and glycogen was not statistically significant, but it was statistically significant on drop loss, lactic acid and TBA value. With the storage condition of -20 ℃, the effect of storage time on pH value, lactic acid and TBA value was extremely statistically significant, but was not statistically significant on unfreeze water loss rate and glycogen. Correlation analyses showed that TBA values

收稿日期: 2010-09-02 修回日期: 2010-10-26

基金项目: 山东省农业良种工程项目(2006LZ08)、农业公益性行业科研专项(nyhyzx07-034)和山东省农科院青年基金项目(2006YQN032)

作者简介: 郭建凤(1973—), 女, 副研究员, 硕士, 主要从事猪的遗传育种研究, E-mail: g250100@126.com。

had extremely remarkable positive relation to muscle glycogen and lactic acid, the correlation coefficients were 0.312 ($P < 0.01$) and 0.355 ($P < 0.01$), pH had extremely remarkable negative relation to lactic acid, the correlation coefficients was -0.599 ($P < 0.01$) 12 h after slaughter. With the storage condition of $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, pH had extremely remarkable negative relation to drop loss, the correlation coefficient was -0.340 ($P < 0.01$), the other correlations were not statistically significant. With the storage condition of $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, TBA had extremely remarkable positive relation to pH values, the correlation coefficient was 0.424 ($P < 0.01$), TBA had remarkable negative relation to unfreeze water loss rate, the correlation coefficient was -0.356 ($P < 0.05$). pH had extremely remarkable negative relation to unfreeze water loss rate, the correlation coefficient was -0.492 ($P < 0.01$).

Key words: Landrace; temperature; time; pH value; glycogen; lipid oxidation; correlation

猪的肉质性状主要包括肌内脂肪、pH 值、肉色、大理石纹、系水力和嫩度等。其中,肌肉 pH 值是反映猪屠宰后肌糖原酵解速率的重要指标,也是判断生理正常肉或异常肉(PSE 或 DFD 肉)的依据。然而,肉的 pH 值对肉质的影响只是一种表面现象,而肉中糖原含量则是影响肉质的本质所在^[1]。屠宰后肌肉 pH 值的下降主要由于肌糖原无氧酵解产生乳酸以及 ATP 分解产生的磷酸导致,前者是主要因素。肌肉系水力是指肌肉受外力作用时保持其原有水分和添加水分的能力^[2]。通常用肌肉失水率或滴水损失来衡量肉的系水力,肌肉失水率、滴水损失越高肌肉系水力越低^[3],肌肉系水力是影响肉的颜色、风味、嫩度、加工与贮藏的重要因素^[4],系水力的高低取决于肌肉 pH 和肌肉脂质的氧化程度^[5]。一般认为,除微生物腐败外,脂质氧化是肉品变质的主要原因。肉类在贮存过程中,脂类氧化产生醛、醇、酮等有机化合物,其气味和味道很难被消费者接受,同时也引起生物膜完整性受破坏,导致更多的滴汁损失,使肉类的食用品质和加工产量下降。脂类氧化也使肉中多不饱和脂肪酸、脂溶性维生素、色素含量下降,并且其过氧化产物可能对人体健康有害,引起癌变和致畸形等问题。

研究宰后及储存过程中猪肉 pH 下降、肌糖原酵解、肌肉失水、脂质氧化等变化规律,对探讨猪肉保鲜技术、延长货架期和减少加工储存损失具有重要意义。关于宰后猪肉 pH 和失水率随储存时间的变化已有一些报道,但关于糖原、乳酸及脂质氧化(TBA 值)在不同储存温度下随时间的变化及它们之间的相关性未见报道。本试验旨在研究长白猪屠宰后肌肉 pH、糖原、乳酸及脂质氧化(TBA 值)的变化,在冷藏和冷冻条件下储存肌肉 pH 值、失水率、糖原、乳酸及 TBA 值的变化及其相关关系,为肉品的生产加工储存提供有益的参考。

1 材料与方 法

1.1 试验猪选择

选择生长发育良好、出生日龄基本一致、体重 30 kg 左右的长白仔猪 50 头作为试验猪。

1.2 饲养试验

试验猪饲养在同一栋封闭式水泥地面猪舍内。根据公母分开、体重相近的原则,随机分为 10 组,每组 5 头饲养在同一个栏内。试验猪自由采食相同的玉米—豆粕型干粉料,自由饮水。日粮营养水平为(前期/后期):消化能(MJ/kg) 13.18/12.80;粗蛋白(%) 16.6/14.6;赖氨酸(%) 0.9/0.75。试验猪组平均体重达 100 kg 左右结束育肥试验。

1.3 屠宰试验

育肥试验结束后,挑选体重中等、生长发育良好的 12 头试验猪,空腹 24 h 称重,进行屠宰测定和肉品质分析。屠宰方法依据《全国肉质协作组修正方案》(1987)。

1.4 测定指标与方法

肌肉 pH 值、滴水损失、失水率测定 取倒数第 1、2 胸椎段背最长肌,测定 45 min 的 pH 值,然后每隔 1 h 测定 1 次 pH 值,连续测定 12 h,同时取样储存在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱冷藏,每 24 h 测定 1 次 pH,连续测定 7 次;取倒数第 3、第 4 胸椎段背最长肌测定滴水损失,每 24 h 测定 1 次,连续测 7 次;同时取第 6 ~ 倒数第 4 胸椎段背最长肌储存在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱冷冻,每 24 h 测定 pH、解冻失水率,连续测定 7 次。肌肉 pH 值、

失水率、滴水损失测定方法参照参考文献[2]。解冻失水率测定按 NY5029-2001 中附录 A 执行。

糖原、乳酸和脂质氧化 TBA 值的测定: 在宰后 12 h 每隔 1 h 测定 pH 值的同时采样放在液氮中保存, 在 4 °C 冷藏 -20 °C 冷冻条件下贮存的样品在测定 pH 值的同时也取样放于液氮中保存, 备测糖原、乳酸和 TBA 值。测定方法采用南京建成生物工程研究所生产的肌糖原试剂盒、乳酸试剂盒和丙二醛试剂盒进行测定。

1.5 数据统计

采用 SPSS15.0 统计软件中的 One - Way - ANOVA 程序对试验所得数据进行方差分析, 差异显著则进行 Duncan 氏法多重比较分析, 结果以平均数 ± 标准误表示。同时应用 Bivariate Correlations 程序进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 宰后 12 h 内长白猪肌肉 pH、肌糖原、乳酸和 TBA 值的变化

由表 1 和图 1 可知。随着宰后时间的延长, 长白猪背最长肌 pH 值显著降低, 宰后 0.75 h (45 min) 的 pH 最高为 6.33, 第 12 小时的 pH 最低为 5.42, 宰后 12 h, 前 5 h 除第 3~4 小时的 pH 变化不大外, 肌肉 pH 的降低幅度最大(0.48); 第 5~8 小时降低幅度最小(0.08), 第 8~12 小时降低幅度较小(0.36), 且趋于平稳。其中 0.75 h 与第 3~12 小时、第 2 小时与第 7~12 小时、第 3~4 小时与第 9~12 小时、第 5 小时与第 11~12 小时、第 6 小时与第 10~12 小时、第 7~8 小时与第 11~12 小时之间差异极显著 ($P < 0.01$); 第 2 小时与第 5~6 小时、第 5 小时与第 10 小时、第 6 小时与 9 小时、第 8 小时与第 10 小时之间差异显著 ($P < 0.05$)。由此可见, 屠宰后的 12 h, pH 降低速度以前 5 h 较快, 第 5~12 小时阶段降低速度较慢。

宰后 12 h 内长白猪肌肉糖原、乳酸及 TBA 值的变化: 随着宰后时间的延长, 长白猪肌肉糖原和 TBA 值含量变化不显著。其中, 肌糖原含量在 0.878 2~1.174 5 mg/g, 前 5 h 趋于升高, 5~8 h 趋于降低, 8~12 h 又趋于升高; TBA 值在 0.247 1~0.416 3 mg/kg, 前 6 h 变化趋势不明显, 6~9 h 趋于升高, 9~10 h 趋于降低, 10~12 h 趋于升高。

表 1 宰后 12 h 长白猪肌肉 pH、肌糖原、乳酸和 TBA 值变化

Tab.1 Changes of pork muscle pH, glycogen, lactic acid and TBA values after slaughter 12 h of Landrace

宰后时间/h	pH		糖原/(mg·g ⁻¹)		乳酸/(mmol·gprot ⁻¹)		TBA/(mg·kg ⁻¹)	
Time after slaughter	N		N	Glycogen	N	Lactic acid	N	
0.75	12	6.33 ± 0.08 ^{Aa}	10	0.982 6 ± 0.15 ^a	12	0.780 2 ± 0.08 ^{Ce}	17	0.260 8 ± 0.04 ^a
2	12	6.13 ± 0.09 ^{ABab}	10	1.174 5 ± 0.35 ^a	12	0.868 9 ± 0.07 ^{BCde}	17	0.258 2 ± 0.04 ^a
3	12	5.95 ± 0.06 ^{BCDbc}	12	1.120 3 ± 0.25 ^a	11	1.112 7 ± 0.10 ^{ABCde}	20	0.334 3 ± 0.05 ^a
4	12	5.99 ± 0.10 ^{BChc}	11	1.165 6 ± 0.14 ^a	12	1.134 9 ± 0.10 ^{ABChde}	16	0.286 9 ± 0.04 ^a
5	12	5.85 ± 0.09 ^{BCDEcd}	9	1.059 9 ± 0.17 ^a	11	1.201 2 ± 0.10 ^{ABCbed}	15	0.302 5 ± 0.05 ^a
6	12	5.86 ± 0.09 ^{BCDc}	11	0.945 2 ± 0.13 ^a	12	1.337 6 ± 0.12 ^{ABabc}	14	0.270 2 ± 0.03 ^a
7	12	5.77 ± 0.07 ^{CDEcd}	11	0.959 9 ± 0.15 ^a	11	1.468 2 ± 0.12 ^{Aabc}	11	0.323 0 ± 0.05 ^a
8	12	5.78 ± 0.09 ^{CDEcd}	11	0.878 2 ± 0.11 ^a	11	1.402 3 ± 0.15 ^{Aabc}	12	0.338 6 ± 0.09 ^a
9	11	5.63 ± 0.03 ^{DEFdef}	12	0.965 7 ± 0.09 ^a	11	1.396 1 ± 0.10 ^{Aabc}	12	0.360 0 ± 0.07 ^a
10	11	5.55 ± 0.04 ^{EFef}	9	1.036 0 ± 0.12 ^a	11	1.447 0 ± 0.11 ^{Aabc}	14	0.247 1 ± 0.03 ^a
11	10	5.43 ± 0.04 ^{Ff}	10	1.051 5 ± 0.13 ^a	6	1.527 7 ± 0.26 ^{Aab}	6	0.285 7 ± 0.14 ^a
12	10	5.42 ± 0.04 ^{Ff}	8	1.014 0 ± 0.11 ^a	4	1.615 0 ± 0.19 ^{Aa}	7	0.416 3 ± 0.11 ^a

同列有相同小写字母标注者为差异不显著 ($P > 0.05$); 有不同小写字母标注者为差异显著 ($P < 0.05$), 有不同大写字母标注者为差异极显著 ($P < 0.01$)。

Rows with the same small letter within a row differ not significantly ($P > 0.05$); Values with the different small or capital letter within a row differ significantly ($P < 0.05$ or $P < 0.01$).

乳酸含量在宰后 12 h 随时间延长显著升高,变化范围在 0.780 2 ~ 1.615 0 mmol/gprot。总的变化趋势是前 7 h 升高,7 ~ 9 h 趋于降低,9 ~ 12 h 又升高。其中,0.75 ~ 4 h 之间变化趋势不显著,0.75 h 与第 5 小时、第 2 小时与第 6 小时、第 3 小时与第 11 ~ 12 小时、第 4 ~ 5 小时与第 12 小时之间变化显著。0.75 h 与第 6 ~ 12 小时、第 2 小时与第 7 ~ 12 小时之间变化极显著。

2.2 宰后 12 h 内长白猪肌肉 pH、肌糖原、乳酸和 TBA 值相关关系

由表 2 可知,TBA 与糖原、乳酸呈正相关,相关系数分别为 0.312 ($P < 0.01$) 和 0.355 ($P < 0.01$); pH 与乳酸负相关,相关系数为 -0.599 ($P < 0.01$)。

表 2 宰后 12 h 长白猪肌肉 pH、肌糖原、乳酸和 TBA 值相关关系

Tab.2 Correlations of pork muscle pH, glycogen, lactic acid and TBA after slaughter 12 h of Landrace

指标 Index		TBA 值	pH	糖原 Glycogen	乳酸 Lactic acid
TBA 值	相关系数	1	-0.033	0.312**	0.355**
			0.742	0.002	0.000
	N	161	100	93	100
pH	相关系数	-0.033	1	-0.110	-0.599**
	P	0.742		0.231	0.000
	N	100	143	120	118
糖原 Glycogen	相关系数	0.312**	-0.110	1	0.125
	Sig. (2-tailed)	0.002	0.231		0.194
	N	93	120	124	109
乳酸 Lactic acid	相关系数	0.355**	-0.599**	0.125	1
	P	0.000	0.000	0.194	
	N	100	118	109	124

**表示相关系数极显著 ($P < 0.01$)。Correlation is significant at the 0.01 level.

2.3 4 °C 冷藏条件下长白猪肌肉 pH、滴水损失、糖原、乳酸及 TBA 含量随储藏时间的变化

由表 3 可知,4 °C 冷藏条件下储存时间对长白猪肌肉 pH 和糖原含量影响不显著,对滴水损失、乳酸和 TBA 含量影响显著。其中,pH 在 24 ~ 48 h 趋于升高,48 ~ 72 h 降低,72 ~ 120 h 降低,120 ~ 168 h 趋于降低和平稳,总的变化不显著;糖原含量在 24 ~ 48 h 趋于降低,48 ~ 120 h 趋于升高,120 ~ 144 h 降低,144 ~ 168 h 又趋于升高,但总的变化不显著;滴水损失 24 ~ 96 h 显著降低,96 ~ 144 h 趋于升高,144 ~ 168 h 又趋于降低,第 24 h 最高为 4.237%,与 48 ~ 168 h 形成极显著差异,48 ~ 168 h 差异不显著;乳酸 24 ~ 48 h 趋于降低,48 ~ 72 h 显著升高,72 ~ 144 h 趋于降低,144 ~ 168 h 趋于升高,第 72 与 120 ~ 168 h 差异极显著,96 h 与 144 h 差异显著;TBA 总体趋于升高,24 ~ 72 h 显著升高,72 ~ 96 h 趋于降低,96 ~ 168 h 趋于升高。一般来讲,当生肉的 TBA 值超过 0.5 mg/kg 时,人就能感觉到有氧化异味^[5]。4 °C 冷藏条件下长白猪肌肉 TBA 以 24 h 最低为 0.192 2 mg/kg,144 h 最高为 0.471 8 mg/kg,二者差异极显著 ($P < 0.01$),但都低于 0.5 mg/kg。

2.4 4 °C 冷藏条件下长白猪肌肉 pH、滴水损失、糖原、乳酸及 TBA 含量相关关系

由表 4 可知,pH 与滴水损失负相关,相关系数为 -0.340 ($P < 0.01$)。其他指标间没有显著的相关关系。

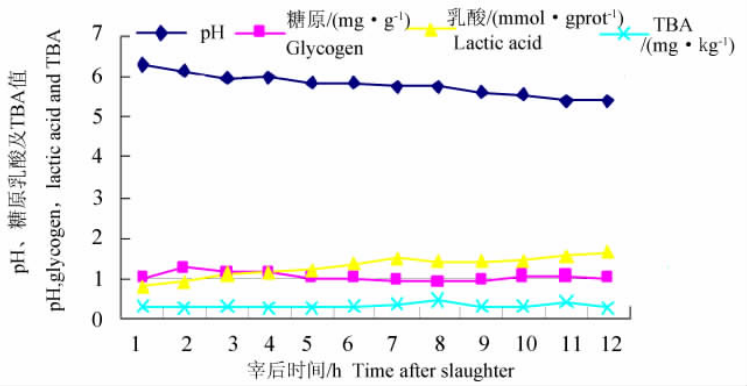


图 1 长白猪宰后 12 h 肌肉 pH 糖原乳酸及 TBA 变化曲线

Fig.1 Changes of pork muscle pH, glycogen, lactic acid and TBA after slaughter 12 h of Landrace

表 3 4 °C 冷藏条件下不同储藏时间对长白猪肌肉 pH、滴水损失、糖原、乳酸及 TBA 含量影响

Tab.3 Effects of different storage time on muscle pH values , drop loss , glycogen , lactic acid and TBA in the storage condition of 4 °C

储存时间/h Storage time	N	pH	N	滴水损失/% Drop loss	N	糖原/(mg·g ⁻¹) Glycoge	N	乳酸/ (mmol·gprot ⁻¹) Lactic acid	N	TBA/ (mg·kg ⁻¹)
24	12	5.49 ± 0.09 ^a	12	4.237 4 ± 1.08 ^{Aa}	11	0.929 3 ± 0.12 ^a	12	1.337 8 ± 0.08 ^{ABb}	10	0.192 2 ± 0.05 ^{Bb}
48	12	5.60 ± 0.05 ^a	12	1.251 2 ± 0.15 ^{Bb}	10	0.872 4 ± 0.09 ^a	12	1.176 3 ± 0.08 ^{Bbc}	10	0.296 5 ± 0.09 ^{ABab}
72	12	5.57 ± 0.04 ^a	12	1.025 3 ± 0.08 ^{Bb}	11	1.025 1 ± 0.17 ^a	12	1.750 2 ± 0.13 ^{Aa}	10	0.417 8 ± 0.08 ^{ABa}
96	12	5.59 ± 0.05 ^a	12	0.828 2 ± 0.12 ^{Bb}	10	1.033 3 ± 0.14 ^a	11	1.339 0 ± 0.13 ^{ABb}	10	0.367 1 ± 0.07 ^{ABab}
120	12	5.64 ± 0.05 ^a	12	0.951 0 ± 0.23 ^{Bb}	11	1.093 1 ± 0.16 ^a	12	1.177 0 ± 0.11 ^{Bbc}	11	0.389 4 ± 0.06 ^{ABab}
144	12	5.59 ± 0.05 ^a	12	1.314 1 ± 0.27 ^{Bb}	11	0.800 8 ± 0.06 ^a	11	0.943 7 ± 0.11 ^{Bc}	11	0.471 8 ± 0.04 ^{Aa}
168	12	5.58 ± 0.06 ^a	12	0.788 4 ± 0.11 ^{Bb}	10	0.947 9 ± 0.08 ^a	10	1.165 9 ± 0.15 ^{Bbc}	10	0.464 7 ± 0.06 ^{Aa}

同列有相同小写字母标注者为差异不显著 ($P > 0.05$) ; 有不同小写字母标注者为差异显著 ($P < 0.05$) , 有不同大写字母标注者为差异极显著 ($P < 0.01$) 。

Rows with the same small letter within a row differ not significantly ($P > 0.05$) ; Values with the different small or capital letter within a row differ significantly ($P < 0.05$ or $P < 0.01$) .

表 4 4 °C 条件下长白猪肌肉 pH、滴水损失、糖原、乳酸及 TBA 相关关系

Tab.4 Correlations of pork muscle pH , drop loss , glycogen , lactic acid and TBA of Landrace in the storage condition of 4 °C

指标 Index		TBA 值	pH	滴水损失 Drop loss	糖原 Glycogen	乳酸 Lactic acid
TBA	相关系数 Pearson correlation	1	0.146	-0.160	-0.209	0.124
	Sig. (2 - tailed)		0.243	0.202	0.111	0.323
	N	72	66	65	59	66
pH	相关系数 Pearson correlation	0.146	1	-0.340 ^{**}	-0.134	-0.202
	Sig. (2 - tailed)	0.243		0.002	0.264	0.077
	N	66	84	82	71	78
滴水损失 Drop loss	相关系数 Pearson correlation	-0.160	-0.340 ^{**}	1	0.028	0.091
	Sig. (2 - tailed)	0.202	0.002		0.815	0.425
	N	65	82	84	72	79
糖原 Glycogen	相关系数 Pearson correlation	-0.209	-0.134	0.028	1	0.139
	Sig. (2 - tailed)	0.111	0.264	0.815		0.245
	N	59	71	72	74	72
乳酸 Lactic acid	相关系数 Pearson correlation	0.124	-0.202	0.091	0.139	1
	Sig. (2 - tailed)	0.323	0.077	0.425	0.245	
	N	66	78	79	72	80

** 表示相关系数极显著 ($P < 0.01$) . Correlation is significant at the 0.01 level.

2.5 -20 °C 冷冻条件下长白猪肌肉 pH、解冻失水率、糖原、乳酸及 TBA 含量随储藏时间的变化

由表 5 可知, -20 °C 冷冻条件下长白猪肌肉 pH 随储存时间显著升高, 第 24 ~ 48 小时与第 144 ~ 168 小时差异极显著, 72 ~ 96 h 与 144 ~ 168 h 间差异显著; 解冻失水率随储存时间趋于降低, 但变化不显著; 糖原含量随储存时间变化趋势是先降低后升高, 但变化不显著; 乳酸含量变化显著, 24 ~ 120 h 总体趋于升高, 120 ~ 144 h 显著降低, 144 ~ 168 h 又极显著升高; TBA 含量变化不规律, 24 ~ 96 h 变化不显著, 96 ~ 120 h 极显著升高, 120 ~ 168 h 趋于降低但变化不显著。-20 °C 冷冻条件下储藏 168 h, 长白猪肌肉 TBA 以 48 h 最低为 0.153 7 mg/kg, 120 h 最高为 0.974 9 mg/kg, 二者差异极显著, 贮存 120 ~ 168 h TBA 在 0.513 9 ~ 0.974 9 mg/kg 都超过了 0.5 mg/kg, 且都高于 4 °C 冷藏条件下 TBA 含量, 这与低温下贮存肌肉保存时间较长的常理不符, 有待进一步研究。

表 5 -20 °C 条件下不同储藏时间对长白猪肌肉 pH、解冻失水率、糖原、乳酸及 TBA 含量影响

Tab. 5 Effects of different storage time on muscle pH values , unfreeze water loss rate , glycogen , lactic acid and TBA in the storage condition of -20 °C

储存时间/h Storage time	N	pH	解冻失水率/%			糖原/(mg·g ⁻¹)			乳酸/ (mmol·gprot ⁻¹)		TBA/ (mg·kg ⁻¹)
			N	Unfreeze water loss rate	N	Glycoge	N	Lactic acid	N		
24	12	5.52 ± 0.09 ^{Bb}	12	5.493 4 ± 1.16 ^a	12	1.026 8 ± 0.13 ^a	12	1.286 3 ± 0.08 ^{ABab}	10	0.290 2 ± 0.08 ^{Bb}	
48	10	5.51 ± 0.06 ^{Bb}	12	4.517 0 ± 0.94 ^a	10	0.963 6 ± 0.10 ^a	12	1.206 1 ± 0.07 ^{ABab}	9	0.153 7 ± 0.02 ^{Bb}	
72	12	5.58 ± 0.05 ^{ABb}	12	4.657 1 ± 0.86 ^a	11	0.838 6 ± 0.13 ^a	12	1.638 8 ± 0.16 ^{Aa}	11	0.362 7 ± 0.08 ^{ABb}	
96	12	5.57 ± 0.05 ^{ABb}	12	4.703 7 ± 1.24 ^a	12	0.826 5 ± 0.05 ^a	12	1.452 5 ± 0.15 ^{ABa}	13	0.261 4 ± 0.05 ^{Bb}	
120	8	5.72 ± 0.09 ^{ABab}	6	4.119 7 ± 1.13 ^a	6	1.148 8 ± 0.35 ^a	6	1.466 3 ± 0.04 ^{ABa}	6	0.974 9 ± 0.45 ^{Aa}	
144	4	5.90 ± 0.08 ^{Aa}	4	3.433 1 ± 1.13 ^a	3	1.327 4 ± 0.21 ^a	4	0.876 1 ± 0.19 ^{Bb}	5	0.631 9 ± 0.18 ^{ABab}	
168	3	5.88 ± 0.13 ^{Aa}	3	2.111 0 ± 0.76 ^a	3	1.310 5 ± 0.16 ^a	4	1.587 2 ± 0.13 ^{Aa}	3	0.513 9 ± 0.14 ^{ABab}	

同列有相同小写字母标注者为差异不显著 ($P > 0.05$) ; 有不同小写字母标注者为差异显著 ($P < 0.05$) , 有不同大写字母标注者为差异极显著 ($P < 0.01$) 。

Rows with the same small letter within a row differ not significantly ($P > 0.05$) ; Values with the different small or capital letter within a row differ significantly ($P < 0.05$ or $P < 0.01$) .

2.6 -20 °C 冷冻条件下长白猪肌肉 pH、解冻失水率、糖原、乳酸及 TBA 含量相关关系

由表 6 可知 ,TBA 与 pH 呈正相关 , 相关系数为 0.424 ($P < 0.01$) ,TBA 与解冻失水率显著负相关 , 相关系数为 -0.356 ($P < 0.05$) ,pH 与解冻失水率极显著负相关 , 相关系数为 -0.492 ($P < 0.01$) 。

表 6 -20 °C 条件下长白猪肌肉 pH、解冻失水率、糖原、乳酸及 TBA 含量相关关系

Tab. 6 Correlations of pork muscle pH , unfreeze water loss rate , glycogen , lactic acid and TBA of Landrace in the storage condition of -20 °C

指标 Index		TBA 值	pH	解冻失水率 Unfreeze water loss rate	糖原 Glycogen	乳酸 Lactic acid
TBA	相关系数	1	0.424 ^{**}	-0.356 [*]	0.228	0.068
	Sig. (2-tailed)		0.002	0.012	0.128	0.639
	N	57	51	49	46	50
pH	相关系数	0.424 ^{**}	1	-0.492 ^{**}	-0.178	-0.187
	Sig. (2-tailed)	0.002		0.000	0.194	0.153
	N	51	63	59	55	60
解冻失水率 Unfreeze water loss rate	相关系数	-0.356 [*]	-0.492 ^{**}	1	0.246	-0.046
	Sig. (2-tailed)	0.012	0.000		0.079	0.735
	N	49	59	61	52	57
糖原 Glycogen	相关系数	0.228	-0.178	0.246	1	-0.040
	Sig. (2-tailed)	0.128	0.194	0.079		0.771
	N	46	55	52	58	56
乳酸 Lactic acid	相关系数	0.068	-0.187	-0.046	-0.040	1
	Sig. (2-tailed)	0.639	0.153	0.735	0.771	
	N	50	60	57	56	62

** 相关系数差异极显著 ($P < 0.01$) ; * 相关系数差异显著 ($P < 0.05$) 。

Correlation is significant at the 0.01 level , correlation is significant at the 0.05 level.

3 讨 论

(1) 屠宰后肌肉 pH 变化是个复杂的生理生化过程。猪屠宰后 , 随着肌糖原的酵解 , 乳酸大量积累 , 肌肉 pH 值从宰前 7.0 ~ 7.4 逐渐下降到 5.2 ~ 5.7^[6-7]。王永辉等^[8]测定了在 0 ~ 4 °C 冷藏中 , 杂交野

猪和杜洛克猪宰后连续 92 h 内,每隔 4 h 肌肉 pH 值变化。结果表明:杂交野猪在宰后 0~8 h 内 pH 值下降速率较快,而杜洛克猪在 0~4 h 内 pH 值下降速度快。本次试验测得宰后 12 h 随着时间的延长,长白猪背最长肌 pH 值显著降低,其中以前 5 h 降低速度较快,第 5~12 小时降低速度较慢;肌糖原含量前 5 h 趋于升高,5~8 h 趋于降低,8~12 h 又趋于升高,含量在 0.878 2~1.174 5 mg/kg,变化不显著;乳酸含量在宰后 12 h 随时间延长显著升高,变化范围在 0.780 2~1.615 0 mmol/gprot,总的变化趋势是前 7 h 升高,7~9 h 趋于降低,9~12 h 又升高。肌肉 pH 值和乳酸含量的变化,符合肌糖原无氧酵解产生乳酸导致肌肉 pH 值下降的变化规律,但肌糖原含量变化与常理不符,有待进一步试验研究。

肉类食品中脂质的氧化通常采用 2-硫代巴比妥酸试验法(即 TBA 值法)进行评价,这种方法相对较简单,而且一般与感官分析的数据有很好的相关性,是广泛的用于评价脂肪氧化程度的实验之一。随着氧化程度的加深,次级产物不断增多,TBA 值不断增大。一般来讲,当生肉的 TBA 值超过 0.5 mg/kg 时,人就能感觉到有氧化异味^[4]。宰后 12 h 肌肉 TBA 值在 0.2471~0.4163 mg/kg,不同时间对肌肉 TBA 值影响不显著。通过相关性分析,pH 与糖原、TBA 值呈负相关,与乳酸极显著负相关,TBA 值与糖原、乳酸呈极显著正相关。

(2) 关于不同储存温度时间对长白猪肌肉 pH、失水率、糖原、乳酸及脂质氧化的影响及相关关系研究未见报道。试验得出 4℃ 冷藏条件下储存时间对长白猪肌肉 pH 和糖原含量影响不显著,对滴水损失、乳酸和 TBA 含量影响显著。通过相关性分析,pH 与滴水损失极显著负相关,相关系数为 -0.340,其他相关性不显著。-20℃ 冷冻条件下储存时间对长白猪肌肉 pH、乳酸和 TBA 值影响极显著,对解冻失水率和糖原含量影响不显著。相关性分析表明,TBA 与 pH 极显著正相关,相关系数为 0.424,与解冻失水率显著负相关,相关系数为 -0.356;pH 与解冻失水率极显著负相关,相关系数为 -0.492;其他相关不显著。

参考文献:

- [1] 赵光民. 冻猪肉肌糖原是确保肉质的重要因素[J]. 肉类工业, 1993(6): 35-37.
- [2] 陈清明, 王连纯. 现代养猪生产[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1997: 352-357.
- [3] 陈国顺. 含不同比例子午岭野猪血缘和杂交组合的杂种野猪生产性能和肉质特性的研究[J]. 肉类工业, 2003, 270(10): 29-34.
- [4] 郭峰, 刘凤民. 宰后畜禽肌肉组织生化变化及其对肉质的影响[J]. 中国家禽, 2003, 25(2): 46-47.
- [5] 霍晓娜, 李兴民, 李海芹, 等. 不同部位冷却猪肉中脂肪酸组成与脂肪氧化的变化[J]. 食品科技, 2005(12): 26-30.
- [6] 周利华, 靳艳宇, 麻骏武. 白色杜洛克×二花脸资源群体中屠宰季节对猪肉 pH 值和肉色的影响[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(4): 585-588.
- [7] 陈代文, 张克英, 胡祖禹. 猪肉品质特征的形成原理[J]. 四川农业大学学报, 2002, 20(1): 60-66.
- [8] 王永辉, 马丽珍, 张亚杰, 等. 杂种野猪宰后肌肉品质特性的研究[J]. 农产品加工学刊, 2005, 50(12): 15-19.