

# 白藜芦醇对生长肥育期宁乡猪肉品质的影响

段平男 杨 婷 陈佳亿 秦昆鹏 赵玉蓉\*

(湖南农业大学动物科学技术学院,长沙 410128)

**摘 要:** 本试验旨在研究饲料中添加白藜芦醇对生长肥育期宁乡猪肉品质的影响。选用体重( $43\pm1$ ) kg 的宁乡猪 24 头,随机分为 2 个组,每组 6 个重复,每个重复 2 头(公母各占 1/2)。对照(CON)组饲喂基础饲料,白藜芦醇(RES)组饲喂在基础饲料中添加 300 mg/kg 白藜芦醇的试验饲料。试验期 80 d。饲养结束后,每栏取 1 头体重接近平均体重的猪进行屠宰,并采集背最长肌、股二头肌及腰大肌样品,用于肉品质指标检测。结果表明:1)饲料中添加白藜芦醇对宁乡猪的生长性能和肌肉主要营养成分含量均无显著影响( $P>0.05$ )。2)与对照组相比,白藜芦醇组宁乡猪宰后 24 h 背最长肌的红度( $a^*$ )显著提高( $P<0.05$ ),宰后 24 h 背最长肌和股二头肌的黄度( $b^*$ )有降低趋势( $0.05\leq P<0.10$ )。3)与对照组相比,白藜芦醇组宁乡猪背最长肌的磷酸果糖激酶(PFK)活性极显著降低( $P<0.01$ ),股二头肌的丙酮酸激酶(PK)活性和乳酸(LA)含量显著降低( $P<0.05$ );肌肉 pH 无显著变化( $P>0.05$ )。4)与对照组相比,白藜芦醇组宁乡猪背最长肌的谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性、总抗氧化能力(T-AOC)及股二头肌的 GSH-Px 活性均极显著提高( $P<0.01$ ),股二头肌的丙二醛(MDA)含量极显著降低( $P<0.01$ )。由此可见,饲料中添加白藜芦醇可以提高宁乡猪肌肉的抗氧化能力,降低宰后肌肉的糖酵解速率,对肉品质具有一定的改善作用。

**关键词:** 白藜芦醇;宁乡猪;肉品质;糖酵解;抗氧化能力

中图分类号:S828

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)08-4364-09

随着社会的发展和人民生活水平的提高,大众对肉类的消费观念从“有肉吃”到“吃好肉”逐渐转变。而“好肉”既要求肉的品质得到保障,又要求肉的风味足够鲜美。宁乡猪主产于湖南长沙宁乡县,是我国著名的地方猪种,肉质细嫩,滋味鲜美。但由于其瘦肉率较低,且价格偏高,所以目前市场较差。如何提高瘦肉率,改善其肉品质,对其规模化养殖以及市场推广具有重要意义。白藜芦醇是一种具有芪类结构的非黄酮类多酚化合物,以其抗炎、抗氧化、抗肥胖等多种生物学功能被国内外学者关注<sup>[1]</sup>。已有研究报道,白藜芦醇对畜禽肉品质具有积极影响;在生长肥育期杜×长×大猪的饲料中添加白藜芦醇可显著改善其肉色评

分,降低肌肉剪切力,提高肌肉脂肪含量<sup>[2]</sup>;可提高宰后 24 h 生长肥育猪背最长肌的红度( $a^*$ )和 pH,降低滴水损失<sup>[3]</sup>;可提高肉仔鸡血清及肌肉的抗氧化能力,延缓肌肉 pH 下降,提高肌肉嫩度<sup>[4]</sup>。但是,白藜芦醇在地方猪种中的应用研究和对其肉品质的影响鲜有报道。鉴于此,本试验拟研究白藜芦醇对生长肥育期宁乡猪肉品质的影响,探讨其可能的作用机制,为宁乡猪优良种质资源的开发利用提供参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验设计

选用同一批次、体重( $43\pm1$ ) kg 的宁乡猪

收稿日期:2020-11-13

基金项目:湖南省教育厅重点项目(18A087)

作者简介:段平男(1996—),男,湖南衡阳人,硕士研究生,动物营养与饲料科学专业。E-mail: 401334287@qq.com

\* 通信作者:赵玉蓉,教授,博士生导师,E-mail: 1335434506@qq.com

24 头,随机分为 2 个组,每组 6 个重复,每个重复 2 头(公母各占 1/2)。对照(CON)组饲喂基础饲料,白藜芦醇(RES)组饲喂在基础饲料中添加 300 mg/kg 白藜芦醇的试验饲料<sup>[3]</sup>。试验期 80 d。试验期间,每日定量饲喂 2 次,自由饮水,消毒和免疫按照猪场常规程序进行。

1.2 试验饲料

参照《猪饲养标准》(NY/T 65—2004)中肉脂猪Ⅲ型标准推荐水平配制基础饲料,其组成及营养水平见表 1。白藜芦醇购自某公司,为虎杖提取物,纯度为 98.5%。

1.3 样品采集及指标测定

1.3.1 生长性能测定

于饲养试验开始和结束时,分别对猪进行空腹称重。试验期间以栏为单位记录猪的采食量。根据初始重、采食量和试验天数,计算平均日增重(ADG)、平均日采食(ADFI)和料重比(F/G)。

$$\begin{aligned} \text{ADG}(\text{kg/d}) &= (\text{试验结束时体重} - \\ &\quad \text{初始体重}) / \text{试验天数}; \\ \text{ADFI}(\text{kg/d}) &= \text{每栏总采食量} / (\text{试验} \\ &\quad \text{猪头数} \times \text{试验天数}); \\ \text{F/G} &= \text{ADFI} / \text{ADG}。 \end{aligned}$$

表 1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)		%
项目 Items	含量 Content	
原料 Ingredients		
玉米 Corn	60.10	
豆粕 Soybean meal	9.10	
麦麸 Wheat bran	12.10	
米糠 Rice bran	10.00	
大豆油 Soybean oil	1.80	
统糠 Unite bran	2.60	
沸石粉 Zeolite powder	1.04	
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	0.83	
石粉 Limestone	0.99	
赖氨酸 Lys (98%)	0.32	
蛋氨酸 Met	0.02	
色氨酸 Try	0.02	
苏氨酸 Thr	0.08	
预混料 Premix <sup>1)</sup>	1.00	
合计 Total	100.00	

续表 1

项目 Items	含量 Content
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>	
消化能 DE/(MJ/kg)	13.03
粗蛋白质 CP	12.01
赖氨酸 Lys	0.78
蛋氨酸 Met	0.51
色氨酸 Try	0.23
苏氨酸 Thr	0.14
钙 Ca	0.60
总磷 TP	0.61
有效磷 AP	0.22
粗纤维 CF	4.09

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provide the following per kg of the diet: VA 1 300 IU, VD<sub>3</sub> 150 IU, VE 11 IU, VK<sub>3</sub> 0.5 mg, VB<sub>1</sub> 1.2 mg, VB<sub>2</sub> 2 mg, VB<sub>6</sub> 1.3 mg, VB<sub>12</sub> 5 μg, 叶酸 folic acid 0.3 mg, 泛酸 pantothenic acid 7 mg, Cu 5 mg, I 3 mg, Se 0.15 mg, Zn 80 mg, Fe 80 mg, Mn 60 mg, 食盐 NaCl 3 600 mg。

2) 营养水平均为计算值。Nutrient levels were all calculated values.

1.3.2 屠宰及样品采集

猪屠宰后进行胴体分割,去头、尾、蹄以及内脏后劈半,保留左胴体。迅速取左胴体的背最长肌、股二头肌以及腰大肌,参照《畜禽肉品质测定方法》(NY/T 1333—2007)<sup>[5]</sup>测定肉品质。分别取背最长肌和股二头肌,一份于 4 ℃ 冰箱密封保存,用于测定主要营养成分含量;一份于-80 ℃ 保存,用于抗氧化和糖酵解相关指标检测。水分含量采用冷冻干燥法测定,粗蛋白质含量采用凯氏定氮仪测定,粗脂肪含量采用索氏抽提法测定。抗氧化和糖酵解相关指标均采用南京建成生物工程研究所试剂盒,严格按试剂盒说明书操作测定。

1.4 数据统计分析

试验结果采用 SPSS 22.0 统计软件对 2 个组数据进行独立样本 *t* 检验分析,以 *P*<0.05 为差异显著,以 *P*<0.01 为差异极显著,以 0.05≤*P*<0.10 为差异趋于显著,结果以平均值±标准差表示。

2 结 果

2.1 白藜芦醇对宁乡猪生长性能的影响

由表 2 可知,饲料中添加 300 mg/kg 白藜芦醇对宁乡猪的生长性能无显著影响(*P*>0.05)。但与对照组相比,白藜芦醇组的 ADG 和 ADFI 分别

提高了 11.11% 和 8.98% ( $P>0.05$ ), 料重比降低了 2.34% ( $P>0.05$ )。

2.2 白藜芦醇对宁乡猪肌肉主要营养成分含量的影响

由表 3 可知, 饲料中添加 300 mg/kg 白藜芦醇对宁乡猪肌肉主要营养成分含量无显著影响

( $P>0.05$ )。但与对照组相比, 白藜芦醇组背最长肌的总水分含量降低了 1.93% ( $P>0.05$ ), 粗脂肪和粗蛋白质含量分别提高了 38.46% 和 1.81% ( $P>0.05$ ); 股二头肌的总水分含量降低了 2.36% ( $P>0.05$ ), 粗脂肪和粗蛋白质含量分别提高了 11.89% 和 7.46% ( $P>0.05$ )。

表 2 白藜芦醇对宁乡猪生长性能的影响  
Table 2 Effects of resveratrol on growth performance of Ningxiang pigs

项目 Items	对照组 CON group	白藜芦醇组 RES group	P 值 P-value
始重 Initial BW/kg	43.63±5.91	43.50±5.18	0.976
末重 Final BW/kg	72.75±4.27	76.00±7.45	0.478
平均日增重 ADG/(kg/d)	0.36±0.03	0.40±0.05	0.229
平均日采食量 ADFI/(kg/d)	1.67±0.14	1.82±0.12	0.162
料重比 F/G	4.70±0.72	4.59±0.60	0.823

表 3 白藜芦醇对宁乡猪肌肉主要营养成分含量的影响 (鲜重基础)  
Table 3 Effects of resveratrol on contents of muscle main nutrients of Ningxiang pigs (fresh weight basis) %

项目 Items	对照组 CON group	白藜芦醇组 RES group	P 值 P-value
背最长肌 <i>Longissimus dorsi</i>			
总水分 Total moisture	75.23±1.42	73.78±1.20	0.085
粗脂肪 EE	2.73±0.71	3.78±0.53	0.108
粗蛋白质 CP	22.04±1.14	22.44±0.85	0.547
股二头肌 <i>Biceps femoris</i>			
总水分 Total moisture	77.04±1.93	75.22±1.61	0.106
粗脂肪 EE	2.44±0.01	2.73±0.35	0.220
粗蛋白质 CP	20.52±1.58	22.05±1.53	0.158

2.3 白藜芦醇对宁乡猪肌肉色泽的影响

由表 4 可知, 与对照组相比, 白藜芦醇组宁乡猪宰后 45 min 背最长肌的亮度(L\*) 和黄度(b\*) 分别降低了 0.74% 和 7.54% ( $P>0.05$ ), a\* 提高了 11.68% ( $P>0.05$ ); 宰后 45 min 股二头肌的 L\* 和 b\* 分别降低了 3.00% 和 7.75% ( $P>0.05$ ), a\* 提高了 0.33% ( $P>0.05$ )。与对照组相比, 宰后 24 h 背最长肌的 L\* 降低了 2.68% ( $P>0.05$ ), b\* 降低了 11.76% ( $P=0.075$ ), a\* 提高了 21.35% ( $P<0.05$ ); 宰后 24 h 股二头肌的 L\* 降低了 2.23% ( $P>0.05$ ), b\* 降低了 9.04% ( $P=0.077$ ), a\* 提高了 3.56% ( $P>0.05$ )。

2.4 白藜芦醇对宁乡猪肌肉 pH 的影响

由表 5 可知, 饲料中添加 300 mg/kg 白藜芦

醇对宁乡猪肌肉 pH 的影响不显著 ( $P>0.05$ )。与对照组相比, 白藜芦醇组背最长肌的 pH<sub>45 min</sub> 提高了 4.29% ( $P=0.081$ ), pH<sub>24 h</sub> 提高了 1.91% ( $P>0.05$ ); 股二头肌的 pH<sub>45 min</sub> 提高了 3.20% ( $P>0.05$ ), pH<sub>24 h</sub> 提高了 2.63% ( $P>0.05$ )。

2.5 白藜芦醇对宁乡猪肌肉糖酵解的影响

由表 6 可知, 饲料中添加 300 mg/kg 白藜芦醇可以延缓宁乡猪宰后肌肉的糖酵解。与对照组相比, 白藜芦醇组背最长肌的磷酸果糖激酶 (PFK) 活性降低了 75.39% ( $P<0.01$ ), 丙酮酸激酶 (PK) 活性和乳酸 (LA) 含量分别降低了 18.57% 和 8.33% ( $P>0.05$ ); 股二头肌的 PK 活性降低了 47.71% ( $P<0.01$ ), 乳酸含量降低了 48.20% ( $P<0.05$ ), PFK 活性降低了 1.69% ( $P>0.05$ )。

表 4 白藜芦醇对宁乡猪肌肉色泽的影响

Table 4 Effects of resveratrol on muscle color of *Ningxiang* pigs

项目 Items	对照组 CON group	白藜芦醇组 RES group	P 值 P-value
宰后 45 min 45 min after slaughter			
背最长肌 <i>Longissimus dorsi</i>			
亮度 L*	43.51±1.20	43.19±0.67	0.661
红度 a*	9.25±1.12	10.33±0.70	0.155
黄度 b*	5.44±0.71	5.03±0.57	0.344
股二头肌 <i>Biceps femoris</i>			
亮度 L*	38.64±1.36	37.48±0.47	0.233
红度 a*	14.95±0.36	15.00±0.42	0.852
黄度 b*	6.32±0.60	5.83±0.69	0.274
宰后 24 h 24 h after slaughter			
背最长肌 <i>Longissimus dorsi</i>			
亮度 L*	44.81±0.95	43.61±1.18	0.241
红度 a*	9.93±0.91	12.05±1.30	0.037
黄度 b*	5.95±0.74	5.25±0.21	0.075
股二头肌 <i>Biceps femoris</i>			
亮度 L*	38.96±1.09	38.09±0.68	0.524
红度 a*	15.43±1.07	15.98±1.00	0.382
黄度 b*	6.97±0.52	6.34±0.28	0.077

表 5 白藜芦醇对宁乡猪肌肉 pH 的影响

Table 5 Effects of resveratrol on muscle pH of *Ningxiang* pigs

项目 Items	对照组 CON group	白藜芦醇组 RES group	P 值 P-value
背最长肌 <i>Longissimus dorsi</i>			
pH <sub>45 min</sub>	6.30±0.21	6.61±0.07	0.081
pH <sub>24 h</sub>	5.75±0.18	5.86±0.19	0.491
股二头肌 <i>Biceps femoris</i>			
pH <sub>45 min</sub>	5.94±0.19	6.13±0.12	0.204
pH <sub>24 h</sub>	5.70±0.12	5.85±0.03	0.107

表 6 白藜芦醇对宁乡猪肌肉糖酵解的影响

Table 6 Effects of resveratrol on muscle glycolysis of *Ningxiang* pigs

项目 Items	对照组 CON group	白藜芦醇组 RES group	P 值 P-value
背最长肌 <i>Longissimus dorsi</i>			
磷酸果糖激酶 PFK/( U/mg prot)	3.86±0.92	0.95±0.35	0.007
丙酮酸激酶 PK/( U/g prot)	74.00±1.38	60.26±8.68	0.054
乳酸 LA/( mmol/g prot)	1.68±0.26	1.54±0.56	0.105
股二头肌 <i>Biceps femoris</i>			
磷酸果糖激酶 PFK/( U/mg prot)	5.31±0.43	5.22±0.35	0.787
丙酮酸激酶 PK/( U/g prot)	165.97±17.58	86.78±5.11	0.002
乳酸 LA/( mmol/g prot)	1.39±0.36	0.72±0.23	0.020

2.6 白藜芦醇对宁乡猪肌肉抗氧化能力的影响

由表 7 可知, 饲料中添加 300 mg/kg 白藜芦醇可以提高宁乡猪肌肉的抗氧化能力。与对照组相比, 白藜芦醇组背最长肌的谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px) 活性和总抗氧化能力(T-AOC) 均极

显著提高( $P<0.01$ ), 总超氧化物歧化酶(T-SOD) 活性和丙二醛(MDA) 含量均无显著差异( $P>0.05$ ); 股二头肌的 GSH-Px 活性极显著提高( $P<0.01$ ), 丙二醛(MDA) 含量极显著降低( $P<0.01$ ), T-AOC 和 T-SOD 活性无显著差异( $P>0.05$ )。

表 7 白藜芦醇对宁乡猪肌肉抗氧化能力的影响  
Table 7 Effects of resveratrol on muscle antioxidant capacity of Ningxiang pigs

项目 Items	对照组 CON group	白藜芦醇组 RES group	P 值 P-value
背最长肌 <i>Longissimus dorsi</i>			
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/( U/mg prot)	184.38±22.45	275.74±31.14	0.003
总抗氧化能力 T-AOC/( U/mg prot)	0.07±0.04	1.31±0.38	0.007
总超氧化物歧化酶 T-SOD/( U/mg prot)	126.69±11.14	136.94±10.58	0.242
丙二醛 MDA/( nmol/mg prot)	0.33±0.08	0.29±0.09	0.565
股二头肌 <i>Biceps femoris</i>			
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/( U/mg prot)	126.31±2.04	162.80±11.41	0.006
总抗氧化能力 T-AOC/( U/mg prot)	0.14±0.10	0.22±0.03	0.282
总超氧化物歧化酶 T-SOD/( U/mg prot)	127.87±10.54	133.40±15.89	0.642
丙二醛 MDA/( nmol/mg prot)	0.63±0.06	0.31±0.12	0.001

2.7 白藜芦醇对宁乡猪肌肉滴水损失、剪切力和蒸煮损失的影响

由表 8 可知, 饲料中添加 300 mg/kg 白藜芦醇对肌肉的系水能力无显著影响。与对照组相

比, 白藜芦醇组背最长肌和股二头肌的滴水损失分别降低了 25.09% 和 7.95% ( $P>0.05$ ); 剪切力分别降低了 2.07% 和 6.69% ( $P>0.05$ ); 腰大肌的蒸煮损失增加了 4.03% ( $P>0.05$ )。

表 8 白藜芦醇对宁乡猪肌肉滴水损失、剪切力和蒸煮损失的影响  
Table 8 Effects of resveratrol on muscle drip loss, shear force and cooking loss of Ningxiang pigs

项目 Items	对照组 CON group	白藜芦醇组 RES group	P 值 P-value
背最长肌 <i>Longissimus dorsi</i>			
滴水损失 Drip loss/%	1.13±0.26	0.85±0.06	0.140
剪切力 Shear force/N	45.82±13.59	44.87±8.30	0.859
股二头肌 <i>Biceps femoris</i>			
滴水损失 Drip loss/%	0.88±0.12	0.81±0.08	0.429
剪切力 Shear force/N	71.54±4.47	66.56±6.02	0.314
腰大肌 <i>Psoas major</i>			
蒸煮损失 Cooking loss/%	34.45±4.99	35.84±4.45	0.622

3 讨 论

3.1 白藜芦醇对宁乡猪肌肉主要营养成分及色泽的影响

饲料的营养水平对动物肌肉主要营养成分有着重要影响, 而肌肉的各成分之间相互影响, 进而

影响肉质性状。Daszkiewicz 等<sup>[6]</sup>研究发现, 当肌肉内脂肪含量增加时, 肌肉的干物质含量随之增加, 粗蛋白质含量则会降低。同时, 肌肉内脂肪含量越高, 肌肉的保水能力越好。本试验结果表明, 饲料中添加白藜芦醇对宁乡猪肌肉的主要营养成分含量无显著影响。对于消费者而言, 肉的颜色是评



价肉品质最直观的感官性状指标,直接影响消费者的购买欲望。肉色评定常用  $a^*$ 、 $L^*$  和  $b^*$  表示,主要由肌红蛋白的形式决定<sup>[7]</sup>。一般来说,  $a^*$  对肉的外观颜色起决定性作用。在一定程度内,  $a^*$  越高,  $L^*$  和  $b^*$  越低,肌肉的颜色越鲜艳,肌肉品质越好<sup>[8]</sup>。但如果  $a^*$  过高,  $L^*$  过低,就会形成黑干肉(DFD 肉);反之,  $L^*$  过高,  $a^*$  过低,就会形成白肌肉(PSE 肉)。戴四发等<sup>[8]</sup>研究表明,肉仔鸡的肌肉  $L^*$  与滴水损失呈显著正相关,与系水力呈显著负相关;肌肉  $a^*$  与粗蛋白质含量呈显著正相关。前人研究表明,饲料中添加白藜芦醇能显著提高杜×长×大育肥猪背最长肌的肉色评分<sup>[2]</sup>、宰后 24 h 的  $a^*$  和肌红蛋白含量,降低宰后 24 h 的  $L^*$ <sup>[3]</sup>,显著提高肉仔鸡胸肌和腿肌的  $a^*$ <sup>[4]</sup>。本试验结果也表明,饲料中添加白藜芦醇显著提高了宁乡猪宰后 24 h 背最长肌的  $a^*$ ,这说明在畜禽饲料中添加适量的白藜芦醇可以改善畜禽肌肉的肉色,但其机制尚有待进一步研究。

### 3.2 白藜芦醇对宁乡猪肌肉 pH 及糖酵解的影响

肌肉的 pH 是影响猪肉新鲜程度以及货架期的关键因素。猪被屠宰后,肌肉 pH 不断下降,进而对肌肉的嫩度、系水力、色泽等产生不利影响<sup>[9]</sup>。一般来说,猪肉的 pH 越偏中性, pH 下降速率越慢,其新鲜程度就越高,腐败变质的速度越慢。影响肌肉宰后 pH 的主要因素是肌肉的糖酵解能力,主要包括肌肉内糖原含量、糖酵解酶活、糖酵解潜力及糖酵解速率 4 个方面<sup>[10]</sup>。畜禽被屠宰后,呼吸停止,机体不再供氧,肌肉组织有氧呼吸能力逐渐减弱,无氧糖酵解迅速增强,产生的 LA 不断堆积,进而导致肌肉 pH 不断下降<sup>[11]</sup>。PFK 和 PK 是肌肉糖酵解的限速酶,在糖原充足的情况下, PFK 和 PK 活性越高,肌肉糖酵解速率就越快<sup>[12]</sup>。前人研究报道,白藜芦醇可以使 PFK 由活跃的四聚体形式转化为不活跃的二聚体形式,从而抑制 PFK 活性,减少 LA 生成<sup>[13]</sup>。白藜芦醇干预显著降低 LOVO 细胞(结直肠癌细胞)的 PK 活性,减少其对葡萄糖的摄取和 LA 生成<sup>[14]</sup>。添加白藜芦醇可显著降低肉仔鸡肌肉的乳酸脱氢酶(无氧糖酵解关键酶)活性和 LA 含量<sup>[15]</sup>。本试验结果也表明,饲料中添加白藜芦醇有提高宁乡猪宰后肌肉 pH 的趋势,极显著降低背最长肌 PFK 活性和股二头肌 PK 活性,显著降低股二头肌 LA 含量。这说明白藜芦醇可以通过抑制宁乡猪肌肉中

PFK 和 PK 活性来降低其糖酵解速率,进而延缓其宰后肌肉 pH 的下降。

### 3.3 白藜芦醇对宁乡猪肌肉抗氧化能力的影响

动物被屠宰后,肌肉中的氧化反应仍在进行。一般通过 T-AOC、T-SOD、GSH 和 MDA 等指标来评价机体的抗氧化能力。已有大量研究表明,白藜芦醇具有提高畜禽机体抗氧化能力的作用<sup>[16-17]</sup>。李华等<sup>[18]</sup>在猪宰后肌肉抗氧化能力与肉品质相关性的研究中发现,肌肉中 T-SOD 活性越高,MDA 含量越低,其系水力越高,肉色越鲜艳,并且肉质越细嫩。蒋红琴<sup>[19]</sup>在肉羊的研究中发现,肌肉抗氧化能力提高后,肉色由鲜红向灰暗转变的速率变得更慢。吴成帆<sup>[20]</sup>研究指出,肌肉在贮藏期间,脂质不断氧化,产生的自由基使得肌肉中的肌红蛋白向高铁肌红蛋白转变,进而导致鲜肉变色。这些研究均说明,肌肉的抗氧化能力越强,其肉品质越好。本试验发现,白藜芦醇极显著提高宁乡猪背最长肌的 T-AOC 和 GSH-Px 活性,极显著提高股二头肌的 GSH-Px 活性,并极显著降低股二头肌的 MDA 含量。这说明白藜芦醇可以提高宁乡猪肌肉的抗氧化能力,并可能通过提高肌肉抗氧化能力来改善肉品质。

### 3.4 白藜芦醇对宁乡猪肌肉保水能力的影响

肌肉的保水能力是评价肉品质的重要指标,可以通过滴水损失、系水力、剪切力以及蒸煮损失等指标来评价。一般来说,滴水损失、剪切力及蒸煮损失越低,系水力越高,肌肉的保水能力就越好,肌肉嫩度就越高。研究表明,饲料中添加白藜芦醇可以显著增加肉鸡的胸肌嫩度<sup>[21]</sup>,降低滴水损失<sup>[21-22]</sup>。母猪饲料中添加 300 mg/kg 白藜芦醇可以显著降低其后代肌肉的滴水损失<sup>[23]</sup>。饲料中添加白藜芦醇显著降低杜×长×大育肥猪背最长肌的滴水损失和剪切力,提高肌肉嫩度<sup>[3]</sup>。本试验结果与前人研究结果基本一致,虽然白藜芦醇组与对照组肌肉的滴水损失、剪切力及蒸煮损失的差异均不显著,但是白藜芦醇组背最长肌和股二头肌的剪切力及滴水损失均有所降低。这可能与宁乡猪肌肉本身的保水能力较好有关。宁乡猪属于偏脂肪型猪,肌间脂肪含量丰富,而肌间脂肪含量丰富的肌肉,保水能力一般都较好<sup>[24]</sup>。研究报道,随着肌肉脂肪含量的上升,咀嚼过程中肌纤维更容易断裂,肌肉剪切力降低<sup>[25]</sup>。张宏博<sup>[26]</sup>在杜洛克猪、伊比利亚猪和拉康姆猪 3 个品种的研究

中发现,不论哪一品种的猪,肌间脂肪含量越高,肌肉滴水损失就越低。张振玲<sup>[27]</sup>研究报道,日本商品猪腰大肌的肌肉脂肪含量与滴水损失有呈负相关的趋势。本试验结果显示,白藜芦醇对宁乡猪肌肉常规养分含量无显著影响,但有提高粗脂肪和粗蛋白质含量的趋势。与此相一致,其肌肉保水能力方面也只有提高的趋势,与对照组无显著差异,这可能与猪的品种有关,其具体机制尚有待深入研究。

## 4 结 论

本试验结果表明,饲料中添加 300 mg/kg 白藜芦醇对宁乡猪的生长性能、肌肉主要营养成分含量及保水能力均无显著影响,但对肌肉肉色有所改善。即在不影响生长性能的前提下,添加 300 mg/kg 白藜芦醇可以显著提高宁乡猪肌肉的抗氧化能力,显著降低宰后肌肉的糖酵解速率,对宁乡猪的肉品质具有一定的改善作用。

## 参考文献:

- [ 1 ] 肖林霞,卢其能,李润根.白藜芦醇的研究进展[J].现代农业科技,2015(24):264-265.  
XIAO L X, LU Q N, LI R G. Research progress of resveratrol[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2015(24):264-265. (in Chinese)
- [ 2 ] 夏琴.基于脂联素信号通路研究白藜芦醇调控猪肉品质和骨骼肌纤维类型转化的作用机制[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2019.  
XIA Q. The regulation mechanism of resveratrol on pork quality and muscle fiber type transformation of skeletal muscle was studied based on adiponectin signaling pathway[D]. Master's Thesis. Nanning: Guangxi University, 2019. (in Chinese)
- [ 3 ] ZHANG C, LUO J Q, YU B, et al. Dietary resveratrol supplementation improves meat quality of finishing pigs through changing muscle fiber characteristics and antioxidative status[J]. Meat Science, 2015, 102: 15-21.
- [ 4 ] 张彩云,康相涛.白藜芦醇对肉仔鸡抗氧化能力和肉品质的影响[J].江苏农业学报,2011,27(3):587-591.  
ZHANG C Y, KANG X T. Effects of dietary resveratrol on antioxidant ability and meat quality in broilers[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2011, 27(3):587-591. (in Chinese)
- [ 5 ] 中华人民共和国农业部.畜禽肉质的测定:NY/T 1333—2007[S].北京:中国农业出版社,2007.  
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Determination of meat quality of livestock and poultry: NY/T 1333—2007[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2007. (in Chinese)
- [ 6 ] DASZKIEWICZ T, BAK T, DENABURSKI J. Quality of pork with a different intramuscular fat (IMF) content[J]. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2005, 14(1):31-35.
- [ 7 ] MANCINI R A, HUNT M C. Current research in meat color[J]. Meat Science, 2005, 71(1):100-121.
- [ 8 ] 戴四发,闻爱友,王立克,等.肉仔鸡肌肉色泽与品质相关性研究[J].中国农业大学学报,2007,12(1):61-64.  
DAI S F, WEN A Y, WANG L K, et al. Study on relationship between meat color and meat quality of Arbor Acres broiler[J]. Journal of China Agricultural University, 2007, 12(1):61-64. (in Chinese)
- [ 9 ] 袁艳枝,邓文,金瑶瑶,等.猪肉品质评定指标及影响因素的研究进展[J].黑龙江畜牧兽医,2020(1):31-35,40.  
YUAN Y Z, DENG W, JIN Y Y, et al. Research progress of pork quality evaluation index and its influencing factors[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2020(1):31-35,40. (in Chinese)
- [ 10 ] 程天赋,俞龙浩.宰后糖酵解对肉品质影响的研究进展[J].食品研究与开发,2017,38(15):219-224.  
CHENG T F, YU L H. Research progress on effects of postmortem glycolysis on meat quality[J]. Food Research and Development, 2017, 38(15):219-224. (in Chinese)
- [ 11 ] HOU X H, LIU Q F, MENG Q S, et al. TMT-based quantitative proteomic analysis of porcine muscle associated with postmortem meat quality[J]. Food Chemistry, 2020, 328:127-133.
- [ 12 ] 李朋颖.猪 TIGAR 转录水平与宰后糖酵解关系研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2014.  
LI P Y. Study on the relationship between TIGAR transcription level and postmortem glycolysis in pigs[D]. Master's Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014. (in Chinese)
- [ 13 ] GOMEZ L S, ZANCAN P, MARCONDES M C, et al. Resveratrol decreases breast cancer cell viability and glucose metabolism by inhibiting 6-phosphofructo-1-kinase[J]. Biochimie, 2013, 95(6):1336-1343.
- [ 14 ] 肖忠盛,龙泓,丁成明,等.白藜芦醇通过调控 mTOR

- 信号通路抑制结直肠癌细胞的增殖和糖酵解作用[J].实用医学杂志,2019,35(14):2210-2214.
- XIAO Z C, LONG H, DING C M, et al. Resveratrol inhibits the proliferation and glycolysis of colorectal cancer cells by regulating the mTOR signaling pathway[J]. The Journal of Practical Medicine, 2019, 35(14):2210-2214. (in Chinese)
- [15] ZHANG C, WANG L, ZHAO X H, et al. Dietary resveratrol supplementation prevents transport-stress-impaired meat quality of broilers through maintaining muscle energy metabolism and antioxidant status[J]. Poultry Science, 2017, 96(7):2219-2225.
- [16] 胡瑶莲, 张恒志, 陈代文, 等. 白藜芦醇对生长育肥猪抗氧化能力、空肠黏膜免疫及结肠菌群的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(1):459-468.
- HU Y L, ZHANG H Z, CHEN D W, et al. Effects of resveratrol on antioxidant capacity, jejunal mucosal immunity and colonic microflora of growing-finishing pigs[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(1):459-468. (in Chinese)
- [17] MENG Q W, GUO T, LI G Q, et al. Dietary resveratrol improves antioxidant status of sows and piglets and regulates antioxidant gene expression in placenta by Keap1-Nrf2 pathway and Sirt1[J]. Journal of Animal Science and Biotechnology, 2018, 9:34.
- [18] 李华, 曾勇庆, 魏述东, 等. 猪宰后肌肉 SOD 与 MDA 的变化及其对肉质特性的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2010, 41(3):257-261.
- LI H, ZENG Y Q, WEI S D, et al. Changes of superoxide dismutase activity and malondialdehyde level in postmortem muscle and their association with meat quality in pigs[J]. Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2010, 41(3):257-261. (in Chinese)
- [19] 蒋红琴. 番茄红素对巴美肉羊肉品质的影响及其抗氧化机理研究[D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学, 2015.
- JIANG H Q. Study on the effect of lycopene on the meat quality of Pamir lamb and its anti-oxidation mechanism[D]. Ph.D. Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- [20] 吴成帆. 牛肉肌红蛋白分离纯化及脂质氧化对其稳定性的影响[D]. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- WU C F. Effects of separation and purification of beef myoglobin and lipid oxidation on its stability[D]. Master's Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [21] 赵晓惠. 白藜芦醇和 L-茶氨酸对肉鸡生长性能和肉品质的影响及其机理初探[D]. 硕士学位论文. 合肥: 安徽农业大学, 2019.
- ZHAO X H. Effect of resveratrol and L-theanine on growth performance and meat quality of broilers and its mechanism[D]. Master's Thesis. Hefei: Anhui Agricultural University, 2019. (in Chinese)
- [22] ZHANG C, YANG L, ZHAO X H, et al. Effect of dietary resveratrol supplementation on meat quality, muscle antioxidative capacity and mitochondrial biogenesis of broilers[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(3):1216-1221.
- [23] MENG Q W, SUN S S, BAI Y S, et al. Effects of dietary resveratrol supplementation in sows on antioxidative status, myofiber characteristic and meat quality of offspring[J]. Meat Science, 2020, 167:108176.
- [24] ARORA T, SINGH S, SHARMA R K. Probiotics: interaction with gut microbiome and antiobesity potential[J]. Nutrition, 2013, 29(4):591-596.
- [25] CHAMBAZ A, SCHEEDER M R L, KREUZER M, et al. Meat quality of Angus, Simmental, Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content[J]. Meat Science, 2003, 63(4):491-500.
- [26] 张宏博. 宰前因素和宰后处理对商品猪生长发育、屠宰及胴体质量和猪肉品质影响的研究[D]. 博士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015.
- ZHANG H B. Effects of premortem factors and post-mortem treatment on growth, slaughter, carcass quality and pork quality of commercial pigs[D]. Ph.D. Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- [27] 张振玲. 日本商品猪腰肉系水力与肌肉脂肪含量的关系[J]. 猪业科学, 2018, 35(10):24-25.
- ZHANG Z L. The relationship between water power and intramuscular fat content in Japanese commercial pork loin[J]. Swine Industry Science, 2018, 35(10):24-25. (in Chinese)



## Effects of Resveratrol on Meat Quality of Growing and Fattening *Ningxiang* Pigs

DUAN Pingnan YANG Ting CHEN Jiayi QIN Kunpeng ZHAO Yurong\*

(College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** The purpose of this experiment was to study the effects of dietary resveratrol on meat quality of growing and fattening *Ningxiang* pigs. Twenty-four *Ningxiang* pigs with body weight ( $43\pm 1$ ) kg were randomly divided into 2 groups with 6 replicates per group and 2 pigs per replicate (males and females in half). Pigs were fed a basal diet in control (CON) group, and the others in resveratrol (RES) group were fed the basal diets supplemented with 300 mg/kg resveratrol. The trial lasted for 80 days. After the end of experiment, 1 head of *Ningxiang* pig which body weight was similar with average body weight was selected for slaughter determination, and samples of *longissimus dorsi*, *Biceps femoris* and *Psoas major* were collected for meat quality analysis. The results showed as follows: 1) dietary resveratrol had no significant effects on growth performance and the contents of muscles main nutrients of *Ningxiang* pigs ( $P>0.05$ ). 2) Compared with CON group, the redness ( $a^*$ ) of *longissimus dorsi* at 24 h after slaughter of *Ningxiang* pigs in RES group was significantly increased ( $P<0.05$ ), while the yellowness ( $b^*$ ) of *Longissimus dorsi* and *Biceps femoris* at 24 h after slaughter had a decreasing tendency ( $0.05\leq P<0.10$ ). 3) Compared with CON group, the activity of phosphofructokinase (PFK) of *Longissimus dorsi* of *Ningxiang* pigs in RES group was significantly decreased ( $P<0.01$ ), the activity of pyruvate kinase (PK) and the content of lactic acid (LA) of *Biceps femoris* in RES group were significantly decreased ( $P<0.05$ ). While the pH of muscle among groups had no significant difference ( $P>0.05$ ). 4) Compared with CON group, the activity of glutathione peroxidase (GSH-Px) and total antioxidant capacity (T-AOC) of *longissimus dorsi* and the activity of GSH-Px of *Biceps femoris* of *Ningxiang* pigs in RES group were significantly increased ( $P<0.01$ ), and the content of malondialdehyde (MDA) of *Biceps femoris* was significantly decreased ( $P<0.01$ ). Consequently, dietary resveratrol can improve muscle antioxidant capacity, and reduce postmortem muscle glycolysis rate, thus improve meat quality of *Ningxiang* pigs. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(8):4364-4372]

**Key words:** resveratrol; *Ningxiang* pigs; meat quality; glycolysis; antioxidant capacity