



金成龙, 范宏博, 隋伟国, 等. 日粮添加赖氨酸和盐酸吡格列酮对育肥猪生产性能、血清生化指标及肉品质的影响[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(6): 9-13.

日粮添加赖氨酸和盐酸吡格列酮对育肥猪生产性能、血清生化指标及肉品质的影响

金成龙, 范宏博, 隋伟国, 严会超, 王修启, 高春起
(华南农业大学 动物科学学院/国家生猪种业工程技术研究中心, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】研究日粮添加赖氨酸 (Lysine, Lys) 和盐酸吡格列酮 (Thiazolidinedione, TZD) 对肥育猪生产性能、血清生化指标及肉品质的影响。【方法】选用 160 头体质量均一[体质量=(92.25±0.91) kg]、健康的杜×长×大三元杂肥育猪, 随机分成 4 个处理, 每个处理 5 个重复, 每个重复 8 头猪 (公母各半)。对照组饲喂基础日粮[w (Lys) 为 0.85%], 试验组 I 为基础日粮+15 mg·kg⁻¹ TZD, 试验组 II 为基础日粮+w 为 0.20% Lys+15 mg·kg⁻¹ TZD, 试验组 III 为基础日粮+w 为 0.40% Lys+15 mg·kg⁻¹ TZD。试验结束后从对照组和试验组 III 每重复选取 1 头公猪进行屠宰, 评定其屠宰性能及肉品质。【结果】与对照组相比, 在第 28 天, 试验组 III 日增质量提高 9.45% ($P=0.055$); 在第 14 天, 试验组 III 血清高密度脂蛋白含量显著高于对照组, 提高了 22.81% ($P<0.05$); 在第 28 天, 试验组 III 瘦肉率及背最长肌肉色红度 (a^* 值) 均显著高于对照组, 分别提高了 7.04% 和 4.11% ($P<0.05$)。【结论】日粮添加 Lys 质量分数为 0.40%(总 Lys 质量分数为 1.25%) 和 15 mg·kg⁻¹ 的 TZD 可增加肥育猪的日增质量和瘦肉率, 并改善肌肉的红度。

关键词: 赖氨酸; TZD; 肥育猪; 生产性能; 屠宰性能; 肉品质
中图分类号: S828 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-411X(2017)06-0009-05

Effects of dietary supplementation with lysine and thiazolidinedione on growth performance, serum biochemical parameters and meat quality in finishing pigs

JIN Chenglong, FAN Hongbo, SUI Weiguo, YAN Huichao, WANG Xiuqi, GAO Chunqi
(College of Animal Science, South China Agricultural University/National Engineering Research Center for Breeding Swine Industry, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】To determine the effects of dietary supplementation with lysine (Lys) and thiazolidinedione(TZD) on growth performance, serum biochemical parameters and meat quality in finishing pigs. 【Method】A total of 160 healthy Duroc × Landrace × Large White pigs with similar weight [(92.25±0.91) kg] were randomly divided into four groups with five replicates in each group and eight pigs per replicate (50% males and 50% females). Control group was fed with basic diet (containing 0.85% Lys), experimental group I was fed with basic diet and 15 mg·kg⁻¹ TZD, experimental group II was fed with basic diet, extra 0.20% Lys and 15 mg·kg⁻¹ TZD, experimental group III was fed with basic diet, extra 0.40% Lys and 15 mg·kg⁻¹ TZD. After feeding experiment, the slaughter performance and meat quality were evaluated by selecting one hog from

收稿日期: 2016-12-19 优先出版时间: 2017-11-06
优先出版网址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20171106.1412.004.html>
作者简介: 金成龙 (1992—), 男, 博士研究生, E-mail: jinchenglong1992@163.com; 通信作者: 高春起 (1984—), 男, 副教授, 博士, E-mail: cqgao@scau.edu.cn
基金项目: 广东省科技计划项目 (2016A050502045, 2017A050501028); 广东省自然科学基金 (2016A030313417); 广州市科技计划项目 (201704030005)

each replicate of the control group and experimental group III. 【Result】 The average daily gain (ADG) enhanced 9.45% in experimental group III on day 28 compared with control group ($P=0.055$). The high-density lipoprotein content in experimental group III was 22.81% higher than that in control group ($P<0.05$) on day 14. The lean percentage and a^* value of longissimus dorsi muscle in experimental group III were 7.04% and 4.11% higher compared to control group ($P<0.05$) on day 28, respectively. 【Conclusion】 Finishing pigs fed with basic diet supplemented with 0.40% Lys (totally 1.25% Lys) and $15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ TZD could increase ADG and lean percentage, and improve meat colour.

Key words: lysine; TZD; finishing pig; growth performance; slaughter performance; meat quality

国内猪肉消费占肉类消费量的比重超过 60%，猪肉是我国城乡居民最主要的肉类食品，其产品的持续稳定供应关系到国计民生和社会稳定^[1-2]。随着社会经济的发展和人民生活水平的提高，消费者对肉产品品质提出了更高的要求，肉质细嫩、肉味鲜美和口感良好的肉产品受到更多的青睐^[3]。而肌肉脂肪作为影响猪肉风味和大理石纹的重要因素，其含量的调控对于肉质改善具有重要意义^[4-5]。

赖氨酸 (Lysine, Lys) 作为猪玉米-豆粕型饲料的第 1 限制性氨基酸，是构建理想蛋白模型的参比氨基酸，一直是畜牧营养研究的热点^[6]。研究表明，饲料添加 Lys 可提高饲料粗蛋白质利用率和猪的生产性能^[7-8]。适量的 Lys 可降低背膘厚度、增加眼肌面积和瘦肉率^[9-10]。但瘦肉率的提高往往伴随着肌肉脂肪沉积的减少，进而影响猪肉风味^[11]。因此，如何在不影响产量的情况下提高猪肉品质值得研究。

盐酸吡格列酮 (Thiazolidinedione, TZD) 是一类新型的胰岛素增敏剂^[12]，其作用机理主要是通过激活过氧化物酶体增殖物激活受体 γ (Peroxisome proliferator activated receptor γ , PPAR γ)，调控多种与葡萄糖和脂肪代谢有关的胰岛素敏感基因，从而调节血糖水平，影响脂肪沉积^[13]。TZD 作为 PPAR γ 的高亲和配体，在脂肪细胞的形成及分化过程中发挥重要作用^[14]。有研究表明，日粮添加 TZD 会增加

Zucker 大鼠脂肪细胞的数量及体积^[15]，在虹鳟鱼的研究中也得到了类似结果^[16]。同时，Chen 等^[17]研究表明，日粮添加 TZD 可增加肥育猪背最长肌肌肉脂肪含量，并改善大理石纹分布。基于 Lys 和 TZD 单独添加的作用效果，本试验旨在研究日粮同时添加 Lys 和 TZD 对肥育猪生产性能、屠宰性能和肉品质的影响，旨在提高猪肉产量和改善猪肉品质。

1 材料与方法

1.1 试验材料

赖氨酸盐酸盐 (宁波海硕生物科技有限公司，赖氨酸质量分数为 78.84%)、TZD (廊坊高博京邦制药有限公司，质量分数为 97%)。

1.2 试验动物及日粮

选用 160 头体质量均一 (体质量= $92.25\pm0.91\text{ kg}$)、健康的杜×长×大三元杂肥育猪，随机分为 4 个处理组，每个处理 5 个重复，每个重复 8 头猪 (公母各半)；对照组饲喂基础日粮 (赖氨酸质量分数为 0.85%)，试验组 I 为基础日粮+ $15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ TZD，试验组 II 为基础日粮+0.20% Lys+ $15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ TZD (赖氨酸总质量分数为 1.05%)，试验组 III 为基础日粮+0.40% Lys+ $15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ TZD (赖氨酸总质量分数为 1.25%)。基础日粮参照美国 NRC(1998) 肥育猪营养需要配制，基础日粮组成及营养水平见表 1。

表 1 基础日粮饲料配方及营养组成 (风干质基础)
Tab. 1 Ingredient and nutrient composition of basic diet (DM basis)

饲料原料组成及质量分数/%				营养成分及质量分数 ²⁾ /%					消化能/(MJ·kg ⁻¹)
玉米	豆粕	麸皮	预混料 ¹⁾	粗蛋白质	总钙	总磷	赖氨酸	蛋氨酸+胱氨酸	
61.00	22.00	13.00	4.00	16.77	0.52	0.54	0.85	0.54	13.13

1)预混料为每千克全价料提供: 维生素 A 88 000 IU, 维生素 D₃ 9 500 IU, 维生素 E 360 IU, 维生素 B₂ 120 mg, 氯化胆碱 450 mg, 锰 500 mg, 锌 2 300 mg, 铜 300 mg, 铁 2 500 mg, 质量分数为 7.5% 的氯化钠; 2)赖氨酸为实测值, 其余均为计算值。

1.3 饲养管理

试验前对猪舍进行清洗和消毒，饲养管理和免疫程序按猪场常规程序进行。试验期间，猪自由采食和饮水，每天定时喂料，每周记录采食量。猪群达

到上市体质量时 (115 kg 左右)，结束养殖试验。

1.4 指标测定方法

1.4.1 生产性能 分别在试验第 1、14 和 28 天早上 7 点空腹称质量 (断料 12 h)，计算日增质量 (ADG)。

以重复为单位, 每周统计耗料量, 计算日采食量 (ADFI) 和料重比 (F/G)。

1.4.2 血清生化指标 在试验第 14 天每个重复随机选取 2 头与平均体质量相近的肥育猪 (公母各 1 头), 前腔静脉采血 8~10 mL, 室温下倾斜放置 30 min 后于 3 000 r·min⁻¹ 离心 10 min, 分离血清, 置于-20 ℃ 保存, 待测血清生化指标。

1.4.3 屠宰性能 在试验第 28 天空腹称质量后, 从对照组和试验组Ⅲ中每个重复各选取 1 头与平均体质量相近的公猪进行屠宰试验, 测定其胴体质量、胴体长、皮厚、背膘厚、瘦肉质量、脂肪质量、皮质量、骨质量。评定细则参照文献[18]的方法。

1.4.4 肌肉品质 在试验第 28 天空腹称质量后, 从对照组和试验组Ⅲ中每个重复各选取 1 头与平均体质量相近的公猪进行屠宰, 测定屠宰后背最长肌 pH_{45 min}、pH_{24 h}、滴水损失、蒸煮损失、肉色 (*a*^{*}、*b*^{*}和 *L*^{*}值) 及大理石纹。评定细则参照文献[18]的方法。肌肉中 TZD 含量的检测方法参照文献[19]。

1.5 数据处理

试验数据以平均值±标准误表示, 用 SPSS17.0

统计软件对数据进行单因素方差分析和独立方差 *t* 检验, 采用 Duncan's 法进行多组间差异显著性分析, *P*<0.05 表示差异显著, *P*<0.10 表示有差异显著的趋势。

2 结果与分析

2.1 肥育猪生产性能和血清生化指标

由表 2 可知, 与对照组相比, 试验全期 (0~28 d) 试验组Ⅲ日增质量提高了 9.45% (*P*=0.055); 其他试验组日采食量和日增质量均有一定程度的提高, 但未见显著差异 (*P*>0.05); 与对照组相比, 试验全期 (0~28 d) 试验组 I 料重比降低了 8.56% (*P*=0.063)。

由表 3 可知, 与对照组相比, 试验组 I、试验组 II 和试验组Ⅲ血清中高密度脂蛋白含量显著提高 (*P*<0.05), 表明日粮单独添加 TZD 或与 Lys 联合使用均对高密度脂蛋白含量有显著影响; 其他指标均未见显著差异 (*P*>0.05)。

2.2 公猪屠宰性能和肌肉品质

由表 4 可知, 与对照组相比, 试验组Ⅲ公猪瘦肉率提高了 7.04%, 差异显著 (*P*<0.05), 其他指标未

表 2 日粮添加赖氨酸和 TZD 对肥育猪生产性能的影响¹⁾

Tab. 2 Effects of lysine and thiazolidinedione on growth performance of finishing pigs

组别	日采食量/g		日增质量/g		料重比/(g·g ⁻¹)	
	0~14 d	0~28 d	0~14 d	0~28 d	0~14 d	0~28 d
对照组	2 993.7±124.2	2 918.7±97.7	898.1±36.6	792.2±19.3B	3.35±0.17	3.62±0.09A
试验组 I	3 015.4±131.4	2 909.5±143.6	955.8±56.8	822.1±34.8AB	3.18±0.15	3.31±0.08B
试验组 II	3 162.5±124.0	2 928.3±120.2	926.9±55.1	827.0±22.1AB	3.43±0.13	3.53±0.17AB
试验组Ⅲ	3 227.7±92.8	3 085.8±76.9	1 034.6±78.1	867.1±24.0A	3.17±0.19	3.54±0.07AB

1) 同列数据后凡有一个相同大写字母或未标注字母者, 表示无差异显著的趋势 (*P*>0.10, Duncan's 法)。

表 3 日粮添加赖氨酸和 TZD 对肥育猪血清生化指标的影响¹⁾

Tab. 3 Effects of lysine and thiazolidinedione on serum chemical parameters of finishing pigs

mmol·L⁻¹

组别	尿素	甘油三酯	高密度脂蛋白	低密度脂蛋白	血葡萄糖
对照组	4.99±0.14	0.35±0.03	0.57±0.03b	1.19±0.05	3.12±0.15
试验组 I	4.88±0.26	0.37±0.03	0.64±0.04a	1.07±0.05	3.20±0.23
试验组 II	4.34±0.44	0.32±0.02	0.62±0.06a	1.11±0.08	3.08±0.24
试验组Ⅲ	4.53±0.31	0.37±0.02	0.70±0.04a	1.17±0.05	3.52±0.16

1) 同列数据后凡有一个相同小写字母或未标注字母者, 表示差异不显著 (*P*>0.05, Duncan's 法)。

表 4 日粮添加赖氨酸和 TZD 对公猪屠宰性能的影响¹⁾

Tab. 4 Effects of lysine and thiazolidinedione on slaughter performance of hogs

组别	活质量/kg	胴体质量/kg	屠宰率/%	胴体长/cm	皮厚/mm	背膘厚/mm	瘦肉率/%	皮质量率/%	骨质量率/%	脂肪率/%
对照组	114.3±6.2	85.1±4.9	74.3±0.7	93.6±2.5	3.0±0.3	24.8±2.9	54.9±0.8b	6.7±0.3	9.2±0.4	27.0±2.1
试验组Ⅲ	115.0±2.4	87.2±2.6	76.0±1.6	91.0±1.3	2.9±0.2	22.3±2.9	58.7±1.2a	5.9±0.2	9.3±0.4	25.3±2.3

1) 同列数据后凡有一个相同小写字母或未标注字母者, 表示差异不显著 (*P*>0.05, *t* 检验)。

见显著差异 ($P>0.05$)。由表 5 可知,与对照组相比,试验组Ⅲ公猪背最长肌的蒸煮损失和肉色 a^* 值显著提高 ($P<0.05$),分别增加了 65.83% 和 4.11%;其

他指标未见显著差异 ($P>0.05$)。同时,在肌肉中未检测出 TZD 残留。

表 5 日粮添加赖氨酸和 TZD 对公猪背最长肌肉品质的影响¹⁾
Tab. 5 Effects of lysine and thiazolidinedione on meat quality traits of longissimus dorsi muscles in hogs

组别	pH _{45 min}	pH _{24 h}	滴水损失/%	蒸煮损失/%	肉色指标			大理石纹
					L^*	a^*	b^*	
对照组	6.47±0.11	5.48±0.03	2.28±0.07	18.00±2.37b	46.91±0.43	16.06±0.13b	1.88±0.19	2.60±0.15
试验组Ⅲ	6.44±0.09	5.47±0.06	2.41±0.04	29.85±0.58a	46.45±0.84	16.72±0.17a	1.96±0.25	2.93±0.47

1)同列数据后凡有一个相同小写字母或未标注字母者,表示差异不显著 ($P>0.05$, t 检验)。

3 讨论与结论

3.1 日粮添加 Lys 和 TZD 对肥育猪生产性能的影响

Lys 作为猪玉米-豆粕型日粮的第一限制性氨基酸,对改善猪的生长性能和肉质均发挥重要作用^[20]。同时, Guan 等^[21]在 小鼠上的研究表明, TZD 可显著提高小鼠的体质量; Miyazaki 等^[22]对人体的研究得到类似结论。本研究结果表明,与对照组相比,日粮单独添加 15 mg·kg⁻¹ TZD 组肥育猪的日增质量提高 3.77%;而基础日粮+w 为 0.40% Lys+15 mg·kg⁻¹ TZD 组日增质量提高 9.45%,表明 TZD 和 Lys 在改善肥育猪生产性能方面存在协同作用。

3.2 日粮添加 Lys 和 TZD 对肥育猪血清生化指标的影响

有研究表明, TZD 激活 PPAR γ 可促进脂肪酸吸收及脂细胞分化,进而引起脂肪沉积,这也是导致体质量增加的主要原因^[23-24]; Zhang 等^[25]敲除 PPAR γ 基因后发现,由 TZD 引起的小鼠体质量增加得到抑制。本研究结果表明,日粮单独添加 TZD 或与 Lys 联合使用均显著提高了血清高密度脂蛋白含量,这与 Yasunari 等^[26]的研究相一致,提示 TZD 可以调节机体血脂代谢,并改变体脂的分布^[27]。

3.3 日粮添加 Lys 和 TZD 对肥育猪屠宰性能的影响

本研究结果表明,与对照组相比,基础日粮+w 为 0.40% Lys+15 mg·kg⁻¹ TZD 组公猪瘦肉率显著增加,这与 Boler 等^[28]关于 Lys 能增加瘦肉率的研究结果相一致。而公猪的脂肪率未见显著差异,这可能是因为 TZD 的作用效果更多的集中在促进肌肉脂肪沉积^[17],而不是增加腹脂沉积。

3.4 日粮添加 Lys 和 TZD 对肥育猪肌肉品质的影响

肌肉脂肪含量直接或间接影响猪肉的嫩度及多汁性等感官特性^[29]。有研究表明,肌肉脂肪可以通过切断肌纤维束间的交联结构来改善嫩度^[30-31];

此外,肌肉脂肪含量增加会导致肌肉系水力降低,从而使得滴水损失和蒸煮损失增加^[32]。本试验结果表明,与对照组相比,日粮添加质量分数为 0.40% 的 Lys 和 15 mg·kg⁻¹ 的 TZD 使得肉色红度 (a^* 值) 显著增加,并且大理石纹评分提高了 12.69%;与此同时,肌肉蒸煮损失显著增加,这可能与肌间脂肪含量增加有关。因此,日粮同时添加 Lys 和 TZD 对肥育猪肉品质的影响可能具有两面性,具体原因有待进一步研究证实。

3.5 结论

基础日粮同时添加质量分数为 0.40% 的 Lys (总 Lys 质量分数为 1.25%) 和 15 mg·kg⁻¹ 的 TZD 可提高肥育猪日增质量,增加血清高密度脂蛋白含量,调节血脂代谢,同时可增加肉色红度。

参考文献:

[1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴: 2015 [DB/OL]. 北京: 中国统计出版社, (2015-10-19) [2016-06-21]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2015/indexch.htm>.
[2] 刘增金. 基于质量安全的中国猪肉可追溯体系运行机制研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
[3] 姜兵. 我国猪肉生产和消费特征及影响因素研究[D]. 江苏: 南京农业大学, 2011.
[4] CORDERO G, ISABEL B, MENOYO D, et al. Dietary CLA alters intramuscular fat and fatty acid composition of pig skeletal muscle and subcutaneous adipose tissue[J]. Meat Sci, 2010, 85(2): 235-239.
[5] LI F N, LI L L, YANG H S, et al. Regulation of soy isoflavones on weight gain and fat percentage: Evaluation in a Chinese Guangxi minipig model[J]. Animal, 2011, 5(12): 1903-1908.
[6] ROSENFELDER P, MOSENTHIN R, SPINDLER H K, et al. Standardized ileal digestibility of amino acids in eight genotypes of soft winter wheat fed to growing pigs[J]. J Anim Sci, 2015, 93(3): 1133-1144.
[7] ZENG P L, YAN H C, WANG X Q, et al. Effects of dietary lysine levels on apparent nutrient digestibility and serum amino acid absorption mode in growing pigs[J]. Asian-australas J Anim Sci, 2013, 26(7): 1003-1011.

- [8] WANG X Q, ZENG P L, FENG Y, et al. Effects of dietary lysine levels on apparent nutrient digestibility and cationic amino acid transporter mRNA abundance in the small intestine of finishing pigs, *Sus scrofa*[J]. Anim Sci J, 2012, 83(2): 148-155.
- [9] LI P, ZENG Z, WANG D, et al. Effects of the standardized ileal digestible lysine to metabolizable energy ratio on performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs[J]. J Anim Sci Biotechnol, 2012, 3: 9. doi: [10.1186/2049-1891-3-9](https://doi.org/10.1186/2049-1891-3-9).
- [10] LU Y, YANG X L, LI D F, et al. Effects of the ratio of lysine to digestible energy level in the diet on the expression and activity of transcription factors involved in lipogenesis in Rongchang pigs[J]. J Anim Sci Biotechnol, 2010, 1(3): 165-174.
- [11] ZOU T D, MAO X B, YU B, et al. Effects of dietary energy density and apparent ileal digestible lysine: Digestible energy ratio on growth performance, meat quality, and peroxisome proliferator-activated receptor γ (*PPAR γ*) gene expression of muscle and adipose tissues in Landrace $\times$ Rongchang crossbred pigs[J]. Livest Sci, 2014, 167: 219-226.
- [12] MABILLEAU G, CHAPPARD D, BASLÉ M F. Cellular and molecular effects of thiazolidinediones on bone cells: A review[J]. Int J Biochem Mol Biol, 2011, 2(3): 240-246.
- [13] BRUNMAIR B, STANIEK K, LEHNER Z, et al. Lipophilicity as a determinant of thiazolidinedione action in vitro: Findings from BLX-1002, a novel compound without affinity to PPARs[J]. Am J Physiol Cell Physiol, 2011, 300(6): C1386-C1392.
- [14] BECK G R JR, KHAZAI N B, BOULOUX G F, et al. The effects of thiazolidinediones on human bone marrow stromal cell differentiation *in vitro* and in thiazolidinedione-treated patients with type 2 diabetes[J]. Transl Res, 2013, 161(3): 145-155.
- [15] MACKELLAR J, CUSHMAN S W, PERIWAL V. Differential effects of thiazolidinediones on adipocyte growth and recruitment in Zucker fatty rats[J]. PLoS One, 2009, 4(12): e8196.
- [16] BOURAOUI L, CRUZ-GARCIA L, GUTIÉRREZ J, et al. Regulation of lipoprotein lipase gene expression by insulin and troglitazone in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) adipocyte cells in culture[J]. Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol, 2012, 161(1): 83-88.
- [17] CHEN X, FENG Y, YANG W J, et al. Effects of dietary thiazolidinedione supplementation on growth performance, intramuscular fat and related genes mRNA abundance in the longissimus dorsi muscle of finishing pigs[J]. Asian-australas J Anim Sci, 2013, 26(7): 1012-1020.
- [18] 柏美娟, 孔祥峰, 徐海军, 等. 瘦肉型和脂肪型肥育猪胴体性状和肉质的比较研究[J]. 中国畜牧兽医, 2009, 36(6): 178-181.
- [19] KULKARNI A P, SHAHNAWAZ M, ZAHEER Z, et al. Development and validation of a dissolution method for pioglitazone tablets[J]. Dissolut Technol, 2012, 19(4): 36-46.
- [20] MORALES A, GARCÍA H. Effect of *L*-lysine on expression of selected genes, serum concentration of amino acids, muscle growth and performance of growing pigs[J]. J Anim Physiol Anim Nutr, 2015, 99(4): 701-709.
- [21] GUAN Y, HAO C, CHA D R, et al. Thiazolidinediones expand body fluid volume through PPAR gamma stimulation of ENaC-mediated renal salt absorption[J]. Nat Med, 2005, 11(8): 861-866.
- [22] MIYAZAKI Y, MAHANKALI A, MASTUDA M, et al. Effect of pioglitazone on abdominal fat distribution and insulin sensitivity in type 2 diabetic patients[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2002, 87(6): 2784-2791.
- [23] LEHRKE M, LAZAR M A. The many faces of *PPAR γ* [J]. Cell, 2005, 123(6): 993-999.
- [24] JING X Y, OU C, CHEN H, et al. Electroacupuncture reduces weight gain induced by rosiglitazone through *PPAR γ* and leptin receptor in CNS[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2016. doi: [10.1155/2016/8098561](https://doi.org/10.1155/2016/8098561).
- [25] ZHANG H, ZHANG A, KOHAN D E, et al. Collecting duct-specific deletion of peroxisome proliferator-activated receptor gamma blocks thiazolidinedione-induced fluid retention[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2005, 102(26): 9406-9411.
- [26] YASUNARI E, TAKENO K, FUNAYAMA H, et al. Efficacy of pioglitazone on glycemic control and carotid intima-media thickness in type 2 diabetes patients with inadequate insulin therapy[J]. J Diabetes Investig, 2011, 2(1): 56-62.
- [27] BAYS H, MANDARINO L, DEFRONZO R A. Role of the adipocyte, free fatty acids, and ectopic fat in pathogenesis of type 2 diabetes mellitus: Peroxisomal proliferator-activated receptor agonists provide a rational therapeutic approach[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2004, 89(2): 463-478.
- [28] BOLER D D, KUTZLER L W, MEEUWSE D M, et al. Effects of increasing lysine on carcass composition and cutting yields of immunologically castrated male pigs[J]. J Anim Sci, 2011, 89(7): 2189-2199.
- [29] JUNG J H, SHIM K S, NA C S, et al. Studies on intramuscular fat percentage in live swine using real-time ultrasound to determine pork quality[J]. Asian-australas J Anim Sci, 2015, 28(3): 318-322.
- [30] 郭秀兰, 唐仁勇, 刘达玉, 等. 肌肉脂肪对猪肉品质的影响及其营养调控作用[J]. 中国畜牧兽医, 2011, 38(5): 214-217.
- [31] LISTRAT A, LEBRET B, LOUVEAU I, et al. How muscle structure and composition influence meat and flesh quality[J]. The Scientific World J, 2016. doi: [10.1155/2016/3182746](https://doi.org/10.1155/2016/3182746).
- [32] DASZKIEWICZ T, BAK T, DENABURSKI J. Quality of pork with a different intramuscular fat (IMF) content[J]. Pol J Food Nutr Sci, 2005, 14/55(1): 31-35.