

玉米干酒糟及其可溶物饲料中添加共轭亚油酸或甜菜碱对肥育猪生长性能、血清生化指标及抗氧化功能的影响

苏斌朝 王连生 王红 石宝明 单安山*

(东北农业大学动物营养研究所, 哈尔滨 150030)

摘要: 本试验旨在研究在玉米干酒糟及其可溶物(DDGS)饲料中添加共轭亚油酸(CLA)或甜菜碱(BET)对肥育猪生长性能、血清生化指标及抗氧化功能的影响。选用(60±2) kg“杜×长×大”三元杂交猪32头,随机分为4个处理,每个处理8个重复,每个重复1头猪。I组为对照组,饲喂玉米-豆粕型基础饲料;II组在I组的基础上用30%的玉米DDGS替代豆粕和部分玉米;III、IV组在II组的基础上分别添加1%的CLA和0.1%的BET。试验期42 d。结果表明:1)各組间生长性能差异不显著($P > 0.05$)。2)血清生化指标方面,与I组相比,II组总蛋白(TP)含量以及谷丙转氨酶(ALT)活性显著降低($P < 0.05$),IV组胆固醇(CHO)含量显著下降($P < 0.05$)。与II组相比,IV组葡萄糖(GLU)含量显著升高($P < 0.05$)。3)血清抗氧化指标方面,与I组相比,II组丙二醛(MDA)含量显著升高($P < 0.05$)。与II组相比,III组MDA含量显著降低($P < 0.05$),总超氧化物歧化酶(T-SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性以及总抗氧化能力(T-AOC)均显著升高($P < 0.05$);IV组T-SOD以及GSH-Px活性显著升高($P < 0.05$)。4)肌肉抗氧化指标方面,与I组相比,II组MDA含量显著升高($P < 0.05$)。与II组相比,III、IV组MDA含量显著下降($P < 0.05$),同时T-AOC显著升高($P < 0.05$)。综上所述,在肥育猪饲料中添加30%的玉米DDGS对其生长性能无显著影响,但机体抗氧化能力有所降低;而在玉米DDGS饲料中添加1%的CLA或0.1%的BET后,机体抗氧化能力在一定程度上得到了改善。

关键词: 玉米DDGS;肥育猪;共轭亚油酸;甜菜碱;生长性能;血清生化指标;抗氧化功能

中图分类号: S828

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2012)09-1737-08

玉米干酒糟及其可溶物(distillers dried grains with solubles, DDGS)国内年产量达到300多万t,年进口量达到近400万t,已广泛用于猪、鸡、牛的饲料中。玉米DDGS具有高纤维素、高蛋白质、高脂肪酸、高有效磷等特点,据报道,在生长肥育猪饲料中添加10%~20%的玉米DDGS不会对其生长性能和猪肉品质产生显著的负面作用^[1],同时饲料报酬可能会随着添加水平的提高而得到改

善^[2]。然而,大量使用玉米DDGS可能对肥育猪血清生化指标以及抗氧化功能带来的影响,在国内外研究中鲜有报道。玉米DDGS在饲料中的大量使用将会促使饲料构成向着高纤维素、高脂肪等方向转变,而高纤维素、高脂肪等饲料因素又可能对血清生化指标以及抗氧化功能带来影响,比如软脂肉带来的抗氧化功能下降问题,因此评估玉米DDGS的大量使用对生长肥育猪血清生化指

收稿日期:2012-03-30

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项(CARS-36);黑龙江省高等学校科技创新团队项目资金资助

作者简介:苏斌朝(1987—),男,河南义马人,硕士研究生,从事猪营养研究。E-mail: subinchao87@163.com

*通讯作者:单安山,教授,博士生导师, E-mail: asshan@mail.neau.edu.cn

标和抗氧化功能的影响就成为玉米 DDGS 资源推广应用中亟待解决的问题之一。同时,为改善玉米 DDGS 的大量使用可能带来的负面效应,可使用特定的添加剂,如共轭亚油酸(conjugated linoleic acid, CLA)和甜菜碱(betaine, BET)。近年来的研究发现,CLA 在抗氧化以及改善血清生化指标方面有重要作用^[3-4],且对生长性能有积极影响^[5]。研究还发现,BET 也具有抗氧化、调节血清生化指标和改善生长性能等方面的作用^[6-7],因此以上添加剂的使用对促进玉米 DDGS 的推广应用应具有积极意义。本试验旨在研究玉米 DDGS 的大量使用对肥育猪生长性能、血清生化指标以及抗氧化功能的影响,并研究添加 CLA 和 BET 对上述指标的作用,从而为玉米 DDGS 资源的推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

玉米 DDGS、BET 和 CLA 均为市购。BET 纯度为 96%,CLA 纯度为 60%。

1.2 试验设计与饲养管理

试验选用平均体重为(60 ± 2) kg 的“杜 × 长 × 大”商品肥育猪 32 头,设 4 个处理,每个处理 8 个重复,每个重复 1 头猪,试验期 42 d。I 组为对照组,饲喂玉米-豆粕型基础饲料;II 组饲料用 30% 的玉米 DDGS 替代 I 组全部豆粕和部分玉米;III、IV 组在 II 组的基础上分别添加 1% 的 CLA 和 0.1% 的 BET。试验猪单栏饲养,自由采食饮水,粉料饲喂,每日 08:00、18:00 各饲喂 1 次,以重复为单位记录日耗料量。猪在试验开始和结束时各称重 1 次。试验结束后,各组猪禁食,自由饮水,12 h 后全部屠宰。

1.3 试验饲料

试验饲料参照 NRC(1998)肥育猪营养需要配制,各组饲料能量和蛋白质水平保持一致。试验饲料组成及营养水平见表 1。

1.4 指标测定

1.4.1 生长性能

试验期间记录各重复日耗料量,试验开始和结束时空腹称重,计算试验猪全期的平均日采食量(average daily feed intake, ADFI)、平均日增重(average daily gain, ADG)和料重比(feed/gain, F/G)。

1.4.2 血清生化指标

在猪屠宰前 1 天,所有处理的动物均采用耳缘静脉采血 10 mL,3 500 r/min 离心分离血清,分装编号, -20 °C 保存待测。用试剂盒测定各组血清总蛋白(TP)、葡萄糖(GLU)、尿素氮(UN)、总胆固醇(CHO)、甘油三酯(TG)含量及谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)活性。试剂盒均购自中生北控生物科技股份有限公司,使用 FULLY 全自动生化分析仪测定,操作按试剂盒说明书进行。

1.4.3 抗氧化指标

在猪屠宰后立即取胴体左侧背最长肌组织样品约 30 g,制备组织匀浆。测定指标包括血清以及肌肉组织匀浆中丙二醛(MDA)含量和总超氧化物歧化酶(T-SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性以及总抗氧化能力(T-AOC),用试剂盒进行测定。试剂盒均购自中生北控生物科技股份有限公司,操作按试剂盒说明书进行。

1.5 数据处理

数据以平均值 ± 标准误表示,以 SPSS 17.0 软件进行方差分析,以 Duncan 氏法进行差异显著性多重比较,以 $P < 0.05$ 作为差异显著性的判断标准。

2 结果

2.1 玉米 DDGS 饲料中添加 CLA 或 BET 对肥育猪生长性能的影响

由表 2 可知,玉米 DDGS 饲料中添加 CLA 或 BET 对肥育猪平均日增重、料重比和平均日采食量无显著影响($P > 0.05$)。与 I 组相比,II 组平均日采食量和平均日增重呈现下降的趋势,分别下降了 2.95% 和 3.40%,料重比提高了 0.64%。与 II 组相比,III 组平均日增重和平均日采食量均呈现改善的趋势,分别提高了 2.10% 和 0.38%,但差异不显著($P > 0.05$);IV 组平均日采食量和平均日增重较 II 组分别提高了 1.60% 和 0.76% ($P > 0.05$)。

2.2 玉米 DDGS 饲料中添加 CLA 或 BET 对肥育猪血清生化指标的影响

由表 3 可知,与 I 组相比,II 组 TP 含量以及 ALT 活性显著降低($P < 0.05$),其他指标差异不显著($P > 0.05$);IV 组 CHO 含量显著降低($P < 0.05$)。与 II 组相比,IV 组 GLU 含量显著升高($P < 0.05$)。

表1 试验饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)

%

项目 Items	组别 Groups			
	I	II	III	IV
原料 Ingredients				
玉米 Corn	77.86	66.61	66.61	66.61
玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS		30.00	30.00	30.00
豆粕 Soybean meal	19.00			
豆油 Soybean oil	1.00	1.00		1.00
共轭亚油酸 CLA			1.00	
石粉 Limestone	1.10	1.24	1.24	1.24
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.23			
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30
L-赖氨酸盐酸盐 L-lys · HCl	0.01	0.33	0.33	0.33
L-色氨酸 L-Try		0.02	0.02	0.02
预混料 Premix ¹⁾	0.50	0.50	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾				
粗蛋白质 CP	14.55	14.51	14.51	14.51
消化能 DE/(MJ/kg)	14.12	14.12	14.12	14.12
钙 Ca	0.51	0.51	0.51	0.51
有效磷 AP	0.17	0.27	0.27	0.27
可消化赖氨酸 DLys	0.61	0.61	0.61	0.61
可消化色氨酸 DTry	0.13	0.10	0.10	0.10
可消化蛋氨酸+可消化胱氨酸 DMet + DCys	0.42	0.46	0.46	0.46
可消化苏氨酸 DThr	0.47	0.40	0.40	0.40
总赖氨酸 Total Lys	0.70	0.74	0.74	0.74

¹⁾ 预混料为每千克饲料提供 The premix provides the following per kg of diet: VA 7 600 IU, VD₃ 1 500 IU, VE 10 mg, VK₃ 2 mg, VB₁ 1 mg, VB₂ 3 mg, VB₆ 1 mg, VB₁₂ 12 μg, 生物素 biotin 30 μg, 泛酸钙 calcium pantothenate 7 mg, 叶酸 folic acid 0.4 mg, 烟酸 nicotinic acid 12 mg, 氯化胆碱 choline chloride 1 g, Mn 45 mg, Zn 105 mg, Cu 20 mg, Fe 100 mg, Se 0.3 mg, I 0.3 mg。

²⁾ 粗蛋白质、钙以及总赖氨酸为测定值,其余营养水平为计算值。CP, Ca and total Lys are measured values, while the other nutrient levels are calculated values.

表2 玉米 DDGS 饲料中添加 CLA 或 BET 对肥育猪生长性能的影响

Table 2 Effects of corn DDGS diets supplemented with CLA or BET on growth performance of finishing pigs

项目 Items	组别 Groups			
	I	II	III	IV
始重 Initial weight/kg	58.63 ± 1.86	58.12 ± 1.21	59.54 ± 0.83	59.96 ± 1.08
末重 Final weight/kg	94.25 ± 1.45	93.25 ± 1.46	95.15 ± 1.10	95.40 ± 1.19
增重 Weight gain/kg	35.62 ± 1.46	35.13 ± 1.62	35.61 ± 1.27	35.44 ± 1.45
平均日增重 ADG/g	865.77 ± 27.39	836.31 ± 47.51	853.87 ± 61.73	849.70 ± 72.40
平均日采食量 ADFI/kg	2.71 ± 0.07	2.63 ± 0.07	2.67 ± 0.09	2.65 ± 0.08
料重比 F/G	3.12 ± 0.03	3.14 ± 0.10	3.13 ± 0.09	3.12 ± 0.15

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

表 3 玉米 DDGS 饲料中添加 CLA 或 BET 对肥育猪血清生化指标的影响

Table 3 Effects of corn DDGS diets supplemented with CLA or BET on serum biochemical indices of finishing pigs

项目 Items	组别 Groups			
	I	II	III	IV
总胆固醇 CHO/(mmol/L)	2.34 ± 0.12 ^a	1.98 ± 0.16 ^{ab}	2.32 ± 0.20 ^a	1.73 ± 0.04 ^b
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.24 ± 0.02	0.24 ± 0.02	0.23 ± 0.01	0.23 ± 0.01
尿素氮 UN/(mmol/L)	5.10 ± 0.02	5.14 ± 0.02	5.12 ± 0.01	5.14 ± 0.01
总蛋白 TP/(g/L)	68.87 ± 1.01 ^a	57.50 ± 2.98 ^b	54.50 ± 2.62 ^b	61.53 ± 1.66 ^{ab}
谷草转氨酶 AST/(U/L)	46.33 ± 1.86	44.67 ± 1.76	46.67 ± 3.38	41.00 ± 0.58
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	38.00 ± 1.15 ^a	32.33 ± 0.88 ^b	33.33 ± 0.88 ^b	35.00 ± 1.73 ^{ab}
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	5.35 ± 0.01 ^{ab}	5.04 ± 0.01 ^b	5.34 ± 0.11 ^{ab}	5.39 ± 0.14 ^a

2.3 玉米 DDGS 饲料中添加 CLA 或 BET 对肥育猪抗氧化功能的影响

2.3.1 血清抗氧化指标

由表 4 可知,与 I 组相比,II 组 MDA 含量显著升高了 26.02% ($P < 0.05$),而 T-SOD、GSH-Px

活性和 T-AOC 差异不显著 ($P > 0.05$)。与 II 组相比,III 组 MDA 含量显著下降 ($P < 0.05$),同时 T-SOD、GSH-Px 活性和 T-AOC 显著升高 ($P < 0.05$);IV 组 T-SOD 和 GSH-Px 活性显著升高 ($P < 0.05$)。

表 4 玉米 DDGS 饲料中添加 CLA 或 BET 后对肥育猪血清抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of corn DDGS diets supplemented with CLA or BET on serum antioxidant indices of finishing pigs

项目 Items	组别 Groups			
	I	II	III	IV
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	2.46 ± 0.06 ^b	3.10 ± 0.13 ^a	2.63 ± 0.08 ^b	3.14 ± 0.09 ^a
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	61.88 ± 0.76 ^{ab}	56.19 ± 1.69 ^b	66.03 ± 1.39 ^a	65.93 ± 2.78 ^a
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	881.20 ± 14.20 ^b	900.73 ± 14.20 ^b	1 037.22 ± 12.48 ^a	1 027.11 ± 6.81 ^a
总抗氧化能力 T-AOC/(nmol/mL)	2.68 ± 0.09 ^{ab}	2.55 ± 0.07 ^b	2.78 ± 0.03 ^a	2.62 ± 0.02 ^{ab}

2.3.2 肌肉抗氧化指标

由表 5 可知,与 I 组相比,II 组 MDA 含量显著升高了 19.61% ($P < 0.05$)。与 II 组相比,III、

IV 组 MDA 含量显著降低 ($P < 0.05$),同时 T-AOC 显著升高 ($P < 0.05$)。II 组 T-SOD 和 GSH-Px 活性与其他各组均差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 5 玉米 DDGS 饲料中添加 CLA 或 BET 对肥育猪肌肉抗氧化指标的影响

Table 5 Effects of corn DDGS diets supplemented with CLA or BET on muscle antioxidant indices of finishing pigs

项目 Items	组别 Groups			
	I	II	III	IV
丙二醛 MDA/(nmol/mg prot)	0.51 ± 0.01 ^b	0.62 ± 0.02 ^a	0.53 ± 0.02 ^b	0.54 ± 0.02 ^b
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mg prot)	65.98 ± 1.84 ^{ab}	64.43 ± 1.86 ^{ab}	68.29 ± 0.46 ^a	62.20 ± 1.79 ^b
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mg prot)	232.38 ± 3.19	224.16 ± 1.91	241.22 ± 10.45	245.03 ± 4.03
总抗氧化能力 T-AOC/(nmol/mg prot)	0.30 ± 0.02 ^b	0.34 ± 0.00 ^b	0.41 ± 0.01 ^a	0.41 ± 0.01 ^a

3 讨论

3.1 玉米 DDGS 饲料中添加 CLA 或 BET 对肥育猪生长性能的影响

本研究发现,玉米 DDGS 含量为 30% 的饲料

不会对肥育猪的生长性能产生显著的负面作用,与 Cook 等^[8]的研究结果一致。然而,还有一些相关研究表明,随着饲料中玉米 DDGS 比例的提高,平均日采食量显著降低,而料重比得到改善^[2]。前人研究表明,玉米 DDGS 饲料对肥育猪生

长性能的影响或与玉米 DDGS 的添加比例和来源相关,例如不同来源玉米 DDGS 可能具有不同能值以及赖氨酸含量^[2],因此需要多次试验来得出结论,并在分析问题考虑因素的影响。

在玉米 DDGS 饲料中添加 CLA 后,肥育猪的生长性能并无显著变化,这与 Corino 等^[9]的试验结论相符,但与某些报告所提出的改善平均日增重^[10]与料重比^[10-11]的结论不一致。CLA 对猪生长性能的作用是复杂的,与体重、作用剂量以及作用时长都有关^[5],还需要丰富试验设计来确定其作用和作用机理。在玉米 DDGS 饲料中添加 BET 后,肥育猪的生长性能也没有显著变化,这与郑黎等^[12]的研究结果相符,而汪以真等^[13]则发现 BET 能够显著改善肥育猪的平均日增重。研究人员推测 BET 的作用可能与一些饲料因素有关,如饲料能量、蛋白质、氨基酸、胆碱水平、BET 的使用时间和剂量、猪的品种以及性别等^[12]。Fernandez 等^[14]的研究报告中曾提出,在低蛋白质饲料中添加 BET 会对猪生长性能产生显著作用,而添加到高蛋白质饲料中则无相应作用。还有研究报告指出,BET 在饲料能值和赖氨酸含量较低时才能发挥作用,在能值较高时甚至有降低肥育猪平均日增重和平均日采食量的趋势^[12,15]。本试验的饲料可能并没有达到 BET 的作用条件,比如饲料的较高能值可能限制了 BET 的作用。因此,还需要探讨 BET 的相关促生长作用机理并做进一步验证。

3.2 玉米 DDGS 饲料中添加 CLA 或 BET 对肥育猪血清生化指标的影响

本试验结果表明,与 I 组相比,II 组血清 TP 含量和 ALT 活性显著下降,而 AST 活性无显著变化。其中,TP 一定程度上反映了饲料蛋白质的水平以及动物对蛋白质的消化吸收的程度^[16],而 UN 作为蛋白质、氨基酸代谢的终产物,可以准确反映动物体内蛋白质代谢和氨基酸平衡的关系,而当氨基酸平衡良好时,UN 含量会下降^[17]。在饲料蛋白质、能量水平一致的情况下,TP 含量显著降低表明了肥育猪对玉米 DDGS 饲料蛋白质的消化代谢有所下降;而 UN 含量则无显著变化。TP 及 UN 的变化表明,饲料中玉米 DDGS 的添加对肥育猪蛋白质及氨基酸代谢并无趋势化的影响。此外,ALT、AST 活性主要反映肝脏的结构和机能^[7]。本研究中 ALT 活性显著下降,同时 AST 活性无显著变化,说明肝功能没有受到影响。除此

之外,II 组血清 GLU 含量较 I 组有所降低,但未达到显著水平。GLU 含量是动物体内能量平衡的重要指标,血液中的 GLU 主要有 2 种来源:一是肠道吸收;二是肝糖原分解。在非禁食状态下,血液中的 GLU 主要来自于消化道的吸收。GLU 在生理正常值范围内的降低意味着肠道对 GLU 的消化吸收作用有所减弱^[18]。由于玉米 DDGS 中相比豆粕可利用糖较少,肠道对 GLU 的消化吸收将会减少;而且玉米 DDGS 中纤维素含量较高,也可能会阻碍肠道对 GLU 的吸收。

本研究发现,在玉米 DDGS 饲料中添加 BET 后,发现 GLU 含量显著升高,同时 CHO 含量较对照组显著下降。研究表明,甜菜碱具有抑制脂肪合成,促进脂肪分解的作用^[19]。血清 GLU 升高趋势同张冬梅^[7]的研究结果,可能与机体脂肪分解释能及糖异生加强有关,也可能因为 BET 促进了肠道的消化吸收作用,具体机制还需要进一步分析相关生理生化过程。CHO 含量的显著降低则表明,BET 有降血脂的作用,同许梓荣等^[20]所得结论,但是后者达到显著作用的添加剂量较高,为 1 750 mg/kg。此外,本试验还发现血清 TP 和 ALB 含量没有显著变化,这与 Matthews 等^[21]所得结果一致,但 Matthews 等^[15]发现有关指标受 BET 的影响并且作用依赖于饲料蛋白质及能量水平。

3.3 玉米 DDGS 饲料中添加 CLA 或 BET 对肥育猪抗氧化功能的影响

本试验中,30% 的玉米 DDGS 饲料组血清和肌肉 MDA 含量较对照组显著升高。MDA 作为脂质过氧化作用的终产物,其含量的增加可能与引发脂质过氧化作用的自由基生成异常,或机体抗脂质过氧化保护系统抗氧化能力的降低有关,因此测定其含量能直接反映细胞膜被氧化的程度^[22]。血清以及肌肉 MDA 含量显著升高意味着肥育猪饲喂玉米 DDGS 饲料后机体自由基增多,细胞受损程度增强,说明玉米 DDGS 饲料对肥育猪机体抗氧化能力是有影响的。

CLA 添加到玉米 DDGS 饲料中后,发现肥育猪血清抗氧化指标得到全面改善并达到对照组的水平,同时肌肉抗氧化指标中 MDA 含量和 T-AOC 都得到显著改善,尤其是 T-AOC,其可代表和反映机体抗氧化酶系统和非酶抗氧化系统对外来刺激的代偿能力以及机体自由基代谢的状况,是衡量机体抗氧化能力的综合指标^[22]。抗氧化功能的改

善表明,CLA 的添加增强了肥育猪机体的抗氧化能力,减轻了自由基对机体的损伤作用,缓解了玉米 DDGS 饲料对抗氧化功能的负面作用。本试验的结果证实了 CLA 有助于消除玉米 DDGS 饲料对肥育猪抗氧化功能的负面作用,与张旭辉等^[20]的研究结果一致。目前,关于 CLA 抗氧化功能的报道还不太多,Palacios 等^[23]等指出,CLA 与维生素 A 相比可以更有效地保护大鼠肝脏微粒体和线粒体免于过氧化损害,但也有争议,如伍喜林等^[24]综述中提到的 van den Berg 对 CLA 抗氧化功能的否认。关于共轭亚油酸的抗氧化功能的效果,可能与动物种类、饲料组成等试验条件有关,但其有助于增强动物机体抗氧化功能的作用应该还是比较明确的。

BET 添加到玉米 DDGS 饲料中后,发现肥育猪血清 MDA 含量及 T-SOD 和 GSH-Px 活性得到显著改善,肌肉 MDA 含量和 T-AOC 得到显著改善。这与张林^[25]所述 BET 的抗氧化功能相一致。

4 结 论

① 饲料中添加 30% 的玉米 DDGS 替代豆粕饲喂肥育猪,对其生长性能没有显著影响,对个别抗氧化指标有负面作用。

② 在玉米 DDGS 饲料中添加 1% 的 CLA 或 0.1% 的 BET 后,肥育猪的生长性能没有显著变化,抗氧化功能得到改善。

参考文献:

- [1] 李根来,姚文. 玉米酒精糟的营养价值及其对生长育肥猪肉品质的影响[J]. 中国畜牧兽医,2010,37(1):17-21.
- [2] XU G,BAIDOO S K,JOHNSTON L J,et al. Effects of adding increasing levels of corn distillers grains with solubles (DDGS) to corn-soybean meal diets on growth performance and pork quality of growing-finishing pigs[J]. Journal of Animal Science,2007,85(Suppl.):76.(Abstr.)
- [3] SUN J H,GU B P,SEON T J. Biological activities of conjugated linoleic acid (CLA) and effects of CLA on animal products[J]. Livestock Science,2007,110:221-229.
- [4] LAURIDSEN C, MU H, HENCKEL P. Influence of conjugated linoleic acid (CLA) and age at slaughtering on performance, slaughter-and meat quality, lipoproteins, and tissue deposition of CLA in barrows[J]. Meat Science,2005,69:393-399.
- [5] ROSSI S,PASTORELLI G,CANNATA S,et al. Recent advances in the use of fatty acids as supplements in pig diets: a review[J]. Animal Feed Science and Technology,2010,162:1-11.
- [6] 张林,刘雨娟,陈红梅. 甜菜碱对脂肪组织释放游离脂肪酸和抗氧化能力的影响[J]. 时珍国医国药,2009,20(12):2915-2916.
- [7] 张冬梅. 肉碱和甜菜碱对肥育猪生长性能、胴体品质和血清指标的影响[D]. 硕士学位论文. 沈阳:沈阳农业大学,2009:23-28.
- [8] COOK D,PATON N,GIBSON M,et al. Effect of dietary level of distillers dried grains with solubles (DDGS) on growth performance, mortality, and carcass characteristics of grow-finish barrows and gilts[J]. Journal of Animal Science,2005,83(Suppl. 1):335.(Abstr.)
- [9] CORINO C,MUSELLA M,PASTORELLI G,et al. Influences of dietary conjugated linoleic acid (CLA) and total lysine content on growth, carcass characteristics and meat quality of heavy pigs[J]. Meat Science,2008,79:307-316.
- [10] THIEL-COOPER R L,PARRISH F C,SPARKS J C,et al. Conjugated linoleic acid changes swine performance and carcass composition[J]. Journal of Animal Science,2001,79:1821-1828.
- [11] WIEGAND B R,PARRISH F C,SWAN J E,et al. Conjugated linoleic acid improves feed efficiency, decreases subcutaneous fat, and improves certain aspects of meat quality in stress-genotype pigs[J]. Journal of Animal Science,2001,79:2187-2195.
- [12] 郑黎,杨晓建,林映才,等. 甜菜碱对生长肥育猪生产性能、胴体性状及血清生化指标的影响[J]. 广东畜牧兽医科技,2001,26(2):16-20.
- [13] 汪以真,冯杰,许梓荣. 甜菜碱对杜长大肥育猪生长性能、胴体组成和肉质的影响[J]. 动物营养学报,1998,10(3):21-28.
- [14] FERNANDEZ-FIGARES I, WRAY-CAHEN D, STEELE N C,et al. Effect of dietary betaine on nutrient utilization and partitioning in the young growing feed-restricted pig[J]. Journal of Animal Science,2002,80:421-428.
- [15] MATTHEWS J O,SOUTHERN L L,PONTIF J E. Interactive effects of betaine, crude protein, and net energy in finishing pigs[J]. Journal of Animal Science,1998,76:2444-2445.

- [16] 刘志强,谭碧娥,汤文杰,等. 饲料不同蛋白质水平对三元肥育猪生产性能和胴体品质的影响[J]. 动物营养学报,2008,20(6):611-616.
- [17] 何欣,马秋刚,梁福广,等. 氨基酸平衡饲料中不同蛋白质水平对生长猪生长性能及血清生化指标的影响[J]. 中国畜牧杂志,2010,46(21):65-68.
- [18] 王成章,李德峰,严学兵,等. 肥育猪饲料中添加苜蓿草粉对其生产性能、消化率及血清指标的影响[J]. 草业学报,2008,17(6):71-77.
- [19] 黄其春,许梓荣. 甜菜碱对生长肥育猪胴体组成的影响及其机理研究进展[J]. 中国畜牧杂志,2006,42(15):47-49.
- [20] 许梓荣,冯杰. 甜菜碱对猪的抗脂肪肝效应[J]. 动物学报,2002,48(3):358-362.
- [21] MATTHEWS J O, SOUTHERN L L, HIGBIE A D, et al. Effects of betaine on growth, carcass characteristics, pork quality, and plasma metabolites of finishing pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 2001, 79: 722-728.
- [22] 张旭辉,王宝维,王雷,等. 共轭亚油酸对鹅抗氧化功能与脂质过氧化的影响[J]. 动物营养学报, 2007, 19(3): 299-304.
- [23] PALACIOS A, PIERGIACOMI V, CATALA A. Antioxidant effect of conjugated linoleic acid and vitamin A during non enzymatic lipid peroxidation of rat liver microsomes and mitochondria[J]. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 2003, 250(1/2): 107-113.
- [24] 伍喜林,杨风. 共轭亚油酸(CLA)对动物营养效应研究进展[J]. 动物营养学报, 2003, 15(1): 7-10.
- [25] 张林. 甜菜碱对离体脂肪组织影响的实验研究[D]. 硕士学位论文. 兰州:兰州大学, 2009: 16-17.

Effects of Corn DDGS Diets Supplemented with Conjugated Linoleic Acid or Betaine on Growth Performance, Serum Biochemical Indices and Antioxidant Function of Finishing Pigs

SU Binchao WANG Liansheng WANG Hong SHI Baoming SHAN Anshan*

(Institute of Animal Nutrition, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of corn distillers dried grains with solubles (DDGS) diets supplemented with conjugated linoleic acid (CLA) or betaine (BET) on growth performance, serum biochemical indices and antioxidant function of finishing pigs. Thirty-two crossed-bred pigs (Duroc × Landrace × Yorkshire) with an average body weight of (60 ± 2) kg were randomly allotted into 4 treatments with 8 replicates per treatment and 1 pig per replicate. Pigs in group I (control group) were fed a corn-soybean basal diet, group II diet was used 30% corn DDGS to replace soybean and corn, and groups III, IV were fed the corn DDGS diets supplemented with 1% CLA or 0.1% BET, respectively. The trial lasted for 42 days. The results showed as follows: 1) there was no significant difference in growth performance among all groups ($P > 0.05$). 2) Serum biochemical indices: compared with group I, the total protein (TP) content and alanine aminotransferase (ALT) activity of group II were decreased significantly ($P < 0.05$), and cholesterol (CHO) content of group IV was decreased significantly ($P < 0.05$). Compared with group II, glucose (GLU) content of group IV was increased significantly ($P < 0.05$). 3) Serum antioxidant indices: compared with group I, malondialdehyde (MDA) content of group II was increased significantly ($P < 0.05$). Compared with group II, MDA content of group III was decreased significantly ($P < 0.05$), and the activities of total superoxide dismutase (T-SOD), glutathione peroxidase (GSH-Px) of groups III, IV and total antioxidant capacity (T-AOC) of group III were increased significantly ($P < 0.05$). 4) Muscle antioxidant indices: compared with group I, MDA content of group II was increased significantly ($P < 0.05$). Compared with group II, MDA content of groups III, IV was decreased significantly and T-AOC content was increased significantly ($P < 0.05$). It is concluded that diets supplemented with 30% corn DDGS has no significant effects on growth performance of finishing pigs, while the antioxidant capability is decreased. Supplemented with 1% CLA or 0.1% BET in the corn DDGS diet can improve antioxidant capability to a certain extent. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(9):1737-1744]

Key words: corn DDGS; finishing pigs; conjugated linoleic acid; betaine; growth performance; serum biochemical indices; antioxidant function