

## 地顶孢霉培养物对奶牛泌乳性能、血清生化和抗氧化指标及乳脂肪酸组成的影响

汲中元<sup>1,2</sup> 吴涛<sup>1</sup> 朱洪龙<sup>1</sup> 齐云霞<sup>1</sup> 杨永新<sup>2</sup> 韩荣伟<sup>2</sup> 程广龙<sup>1</sup> 赵小伟<sup>1\*</sup>

(1.安徽省农业科学院畜牧兽医研究所, 畜禽产品安全工程安徽省重点实验室, 合肥 230031;

2.青岛农业大学食品科学与工程学院, 青岛 266109)

**摘要:** 本试验旨在研究地顶孢霉培养物对奶牛泌乳性能、血清生化和抗氧化指标及乳脂肪酸组成的影响。采用完全随机区组设计, 将 36 头中国荷斯坦奶牛按照泌乳天数、胎次、产奶量相近的原则随机分为 3 组, 每组 12 头奶牛。对照组饲喂基础饲料, 试验组在基础饲料中分别添加 30 和 60 g/(d·头) 的地顶孢霉培养物。试验期共 8 周, 其中预试期 1 周, 正试期 7 周。结果表明: 1) 饲料添加地顶孢霉培养物对奶牛产奶量及乳成分无显著影响 ( $P>0.05$ )。2) 与对照组相比, 试验第 4 周, 饲料添加 30 g/(d·头) 地顶孢霉培养物显著提高了血清总抗氧化能力 (T-AOC) ( $P<0.05$ ), 对其他血清指标无显著影响 ( $P>0.05$ ); 试验第 8 周, 饲料添加 30 g/(d·头) 地顶孢霉培养物显著提高了血清 T-AOC ( $P<0.05$ ), 显著降低了血清丙二醛 (MDA) 含量 ( $P=0.05$ ), 对其他血清指标无显著影响 ( $P>0.05$ )。3) 与对照组相比, 试验第 8 周, 饲料添加 30 和 60 g/(d·头) 地顶孢霉培养物显著降低了乳中 C16:0 含量 ( $P<0.05$ ), 有降低乳中 C14:1 含量的趋势 ( $P=0.09$ ), 对乳中其他脂肪酸含量无显著影响 ( $P>0.05$ ); 此外, 饲料添加 30 g/(d·头) 地顶孢霉培养物有降低乳中  $\leq$ C16 脂肪酸及提高乳中  $>$ C16 脂肪酸含量的趋势 ( $P=0.08$ )。综上所述, 饲料添加地顶孢霉培养物对奶牛产奶量及乳成分没有显著影响, 但可提高奶牛的抗氧化能力, 改善乳脂肪酸组成及奶牛的健康状况。本试验条件下, 奶牛饲料中地顶孢霉培养物的适宜添加水平为 30 g/(d·头)。

**关键词:** 地顶孢霉培养物; 奶牛; 泌乳性能; 生化; 抗氧化; 乳脂肪酸

**中图分类号:** S826

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2022)06-3657-09

古尼虫草 (*Cordyceps gunnii*) 是一种珍贵的虫草资源, 含有多糖、甘露醇等多种生物活性物质<sup>[1-2]</sup>, 具有免疫调节、抗氧化等多种生物学功能<sup>[3-4]</sup>。地顶孢霉培养物是从古尼虫草中分离出的地顶孢霉菌经人工发酵而得到的产品, 含有虫草素、虫草酸、多糖和氨基酸等有效成分。研究表明, 地顶孢霉培养物具有提高动物生产性能、改善机体免疫力等功能。在家禽研究中发现, 饲料添加 0.2% 地顶孢霉培养物可以改善北京油鸡内脏器

官的生长发育, 增强机体抗氧化能力<sup>[5]</sup>。另外, 地顶孢霉培养物能够提高爱拔益加 (AA) 肉鸡的平均日增重, 促进免疫器官的发育, 且能增强机体的体液免疫应答和抗氧化能力<sup>[6]</sup>。在单胃动物上研究发现, 饲料添加 400 mg/kg 地顶孢霉培养物可提高生长育肥猪的平均日增重, 降低料重比, 且能提高肉色红度值, 改善胴体品质<sup>[7]</sup>。饲料添加 0.1% 地顶孢霉培养物可降低断奶仔猪腹泻的发生率, 提高血清免疫球蛋白含量, 抑制肠道有害菌繁

收稿日期: 2021-11-21

基金项目: 安徽省科技重大专项 (201903a06020013); 安徽省农业科学院院立科研计划项目 (2022YL007)

作者简介: 汲中元 (1997—), 男, 山东莒南人, 硕士研究生, 从事乳品营养研究。E-mail: 710189690@qq.com

\* 通信作者: 赵小伟, 副研究员, E-mail: xiaowei1986mm@163.com

殖,维持肠道的健康<sup>[8]</sup>。在反刍动物上研究发现,饲料添加 3 g/(d·头)地顶孢霉培养物能够提高杜寒杂交羊机体的抗氧化能力,改善肝功能相关指标,且能提高平均日增重<sup>[9-10]</sup>。犍牛饲喂 50 mg/kg地顶孢霉培养物可提高饲料利用效率和平均日增重,且能提高犍牛血液中免疫球蛋白含量和抗氧化酶活性,降低白细胞介素-1、白细胞介素-6 等炎症因子表达,改善了犍牛的生产性能及健康状况<sup>[11]</sup>。另外,泌乳奶牛饲料添加 30 g/(d·头)地顶孢霉培养物可改善瘤胃发酵参数,且能调节部分瘤胃微生物的菌群数量<sup>[12-13]</sup>;同时,可以改善奶牛生产性能,降低乳中体细胞数,提高机体免疫力及抗氧化能力<sup>[13-14]</sup>。目前,国内外尚未有关于地顶孢霉培养物对奶牛乳脂肪酸组成影响的研究,仅有关于虫草饲料添加剂对羊肉及猪肉脂肪酸组成影响的研究<sup>[15-16]</sup>。因此,本试验旨在研究地顶孢霉培养物对奶牛泌乳性能、血清生化和抗氧化指标及乳脂肪酸组成的影响,为地顶孢霉培养物的进一步应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

地顶孢霉培养物购自合肥某生物工程有限公司,常规营养成分约含 26.8%粗蛋白质(CP)、5.0%粗纤维(CF)、3.1%粗脂肪(EE)、4.0%粗灰分(Ash)和 61.1%无氮浸出物(NFE);功能性成分约含 84.5 g/kg 虫草酸、44.6 g/kg 虫草多糖、0.43 g/kg 虫草素、0.60 g/kg 甾醇和 218.1 g/kg 总氨基酸。

### 1.2 试验设计

试验选用 36 头泌乳天数[(105±15) d]、胎次(2~4 胎)、产奶量相近的中国荷斯坦奶牛,按随机区组法分为 3 组,每组 12 头奶牛。对照组饲喂由玉米青贮、苜蓿干草和混合精料等原料制作的全混合日粮(TMR),试验组分别在饲喂 TMR 的基础上添加 30(I 组)和 60 g/(d·头)(II 组)的地顶孢霉培养物。地顶孢霉培养物的添加水平参考张永根等<sup>[12]</sup>、Li 等<sup>[13]</sup>、Wang 等<sup>[14]</sup>的研究结果确定。试验期共 8 周,包括 1 周的预试期和 7 周的正试期。动物饲养试验于 2021 年 4 月 2 日至 2021 年 6 月 4 日在安徽省滁州市南谯奶牛场进行。

### 1.3 试验饲料和饲养管理

试验奶牛的 TMR 参照《奶牛饲养标准》

(NY/T 34—2004)配制<sup>[17]</sup>,TMR 组成及营养水平见表 1。奶牛采取散栏饲养,自由采食,自由饮水,每天饲喂 2 次(08:00 和 14:00),挤奶 3 次(06:00、14:00 和 19:00)。每天将每头奶牛需要饲喂的地顶孢霉培养物混合到一部分晨饲 TMR 中,待奶牛将地顶孢霉培养物采食完后,再将剩余的 TMR 饲喂奶牛。试验期间记录产奶量及各种疾病的发生情况。

表 1 TMR 组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the

TMR (DM basis)		%
项目 Items	含量 Content	
原料 Ingredients		
混合精料 Mixed concentrate <sup>1)</sup>	45.1	
羊草 Chinese wildrye	10.5	
苜蓿 Alfalfa Hay	6.1	
青贮 Corn silage	20.8	
高能饲草 High energy forage	2.2	
啤酒糟 Distillers' grains	4.3	
山芋皮 Potato skin	8.0	
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	0.4	
石粉 Limestone	0.4	
碳酸氢钠 NaHCO <sub>3</sub>	0.1	
食盐 NaCl	0.1	
预混料 Premix <sup>2)</sup>	2.0	
合计 Total	100.0	
营养水平 Nutrient levels <sup>3)</sup>		
干物质 DM	48.20	
粗蛋白质 CP	17.10	
粗脂肪 EE	2.50	
酸性洗涤纤维 ADF	17.61	
中性洗涤纤维 NDF	34.94	
钙 Ca	0.69	
磷 P	0.30	
泌乳净能 NE <sub>L</sub> /(MJ/kg)	6.70	

1) 混合精料由 40.0%玉米、6.0%小麦、9.6%豆粕、8.0%麸皮、2.5%棉籽粕、6.0%菜籽粕、2.0%米糠、4.2%干酒糟及其可溶物、8.0%米糠粕、1.5%生物蛋白质饲料和 5.5%芝麻粕等组成。The mixed concentrate was composed of 40.0% corn, 6.0% wheat, 9.6% soybean meal, 8.0% bran, 2.5% cotton meal, 6.0% rapeseed meal, 2.0% rice bran, 4.2% DDGS, 8.0% rice bran meal, 1.5% biological protein feed and 5.5% sesame meal, et al.

2) 每千克预混料含 One kg premix contained the following: VA 200 000 IU, VD 60 000 IU, VE 1 000 IU, Fe 400 mg, Cu 450 mg, Zn 2 000 mg, Mn 550 mg, Se 15 mg, Co 20 mg.

3) 计算值 Calculated values.

#### 1.4 测定指标和方法

试验期间,每4周采集1次每头奶牛的早、中、晚奶样,按3:2:2(体积比)的比例混合均匀,并记录当日的产奶量。每头奶牛共采集60 mL奶样,一份50 mL用于测定乳常规成分和体细胞数,另一份10 mL用于测定乳脂肪酸组成。乳脂率、乳蛋白率及乳中非脂固形物和尿素氮含量使用乳成分分析仪(Milko can™ FT6000, FOSS公司,丹麦)测定。体细胞数使用体细胞计数仪(DCC, DeLaval公司,瑞典)测定。乳脂肪酸组成的测定方法参照Bu等<sup>[18]</sup>的分析方法,使用的仪器为气相色谱仪(Agilent 7890A, Agilent公司,美国),色谱条件:SP-2560石英毛细管柱(100 m×0.25 mm),进样和检测温度为240℃,进样量为0.2 μL,运行时间为94 min。

每4周从尾部采集1次血液,每头奶牛用真空配套采血装置采集9 mL非抗凝血样,静置离心分离出血清,-80℃条件下保存备用。血清碱性磷

酸酶(ALP)、谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)的活性使用全自动生化仪(5800U, Beckman公司,美国)测定。血清总抗氧化能力(T-AOC)、超氧化物歧化酶(SOD)活性和丙二醛(MDA)含量使用试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定。

#### 1.5 数据统计分析

试验原始数据先用Excel 2010软件进行初步整理,然后运用SAS 9.4软件进行方差分析,组间采用Duncan氏法进行多重比较。数据用平均值和均值标准误(SEM)表示, $P \leq 0.05$ 为差异显著, $0.05 < P < 0.10$ 为有差异趋势。

## 2 结果

### 2.1 地顶孢霉培养物对奶牛泌乳性能的影响

由表2可知,饲料添加30和60 g/(d·头)地顶孢霉培养物对奶牛产奶量及乳成分均没有显著的影响( $P > 0.05$ )。

表2 地顶孢霉培养物对奶牛泌乳性能的影响

Table 2 Effects of *Acremonium terricola* culture on lactation performance of dairy cows

项目 Items	组别 Groups			SEM	P 值 P-value
	对照 Control	I	II		
第4周 Week 4					
产奶量 Milk yield/(kg/d)	39.16	40.50	41.59	1.38	0.47
乳脂率 Milk fat percentage/%	3.85	3.89	3.79	0.30	0.97
乳蛋白率 Milk protein percentage/%	3.12	3.17	3.13	0.06	0.77
总固形物 Total solid/%	12.73	13.10	12.75	0.25	0.49
体细胞数 Somatic cell count/( $\times 10^4$ 个/mL)	23.3	16.4	16.1	8.22	0.35
尿素氮 Urea nitrogen/%	16.33	16.26	16.58	0.63	0.93
第8周 Week 8					
产奶量 Milk yield/(kg/d)	37.20	38.18	40.00	1.52	0.43
乳脂率 Milk fat percentage/%	3.77	3.78	3.72	0.25	0.99
乳蛋白率 Milk protein percentage/%	3.29	3.24	3.15	0.06	0.74
总固形物 Total solid/%	12.69	13.02	12.69	0.22	0.49
体细胞数 Somatic cell count/( $\times 10^4$ 个/mL)	21.7	16.9	10.9	6.69	0.53
尿素氮 Urea nitrogen/%	13.63	14.10	14.22	0.56	0.73

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.

### 2.2 地顶孢霉培养物对奶牛血清生化和抗氧化指标的影响

由表3可知,试验第4周,与对照组相比,饲料添加30 g/(d·头)地顶孢霉培养物显著提高了

血清T-AOC活性( $P < 0.05$ ),对其他血清指标没有显著影响( $P > 0.05$ )。试验第8周,与对照组相比,饲料添加30 g/(d·头)地顶孢霉培养物显著提高了血清T-AOC活性( $P < 0.05$ ),显著降低了血清

MDA 含量 ( $P=0.05$ ), 对其他血清指标没有显著影响 ( $P>0.05$ )。另外, 与对照组相比, 饲料添加 30 和 60 g/(d·头) 地顶孢霉培养物均能提高血清 SOD 活性, 但差异均未达到显著水平 ( $P>0.05$ )。

表 3 地顶孢霉培养物对奶牛血清生化和抗氧化指标的影响

Table 3 Effects of *Acremonium terricola* culture on serum biochemical and antioxidant indexes of dairy cows

项目 Items	组别 Groups			SEM	P 值 P-value
	对照 Control	I	II		
第 4 周 Week 4					
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	46.66	47.07	49.08	4.13	0.91
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	28.13	30.85	29.34	1.64	0.51
谷草转氨酶 AST/(U/L)	100.60	91.18	97.50	7.34	0.66
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	301.52	330.87	365.47	29.60	0.32
总抗氧化能力 T-AOC/(U/L)	0.35 <sup>b</sup>	0.41 <sup>a</sup>	0.38 <sup>ab</sup>	0.02	0.04
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	5.84	4.44	4.89	0.55	0.20
第 8 周 Week 8					
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	58.65	52.07	54.07	4.65	0.60
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	27.92	32.10	29.58	1.51	0.16
谷草转氨酶 AST/(U/L)	92.10	94.61	92.23	5.05	0.92
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	287.16	315.03	353.05	28.71	0.28
总抗氧化能力 T-AOC/(U/L)	0.36 <sup>b</sup>	0.41 <sup>a</sup>	0.38 <sup>ab</sup>	0.01	0.04
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	5.52 <sup>b</sup>	4.27 <sup>a</sup>	5.45 <sup>b</sup>	0.39	0.05

### 2.3 地顶孢霉培养物对乳脂肪酸组成的影响

由表 4 可知, 试验第 4 周, 饲料添加地顶孢霉培养物对不同脂肪酸单体及不同类型脂肪酸含量均没有显著影响 ( $P>0.05$ )。试验第 8 周, 与对照组相比, 饲料添加 30 和 60 g/(d·头) 地顶孢霉培养物显著降低乳中 C16:0 含量 ( $P<0.05$ ), 有降低

乳中 C14:1 含量的趋势 ( $P=0.09$ ), 对乳中其他脂肪酸单体含量没有显著影响 ( $P>0.05$ ); 对于不同类型的脂肪酸, 饲料添加 30 g/(d·头) 地顶孢霉培养物有降低乳中  $\leq$  C16 脂肪酸的趋势 ( $P=0.08$ ), 且有提高乳中  $>$  C16 脂肪酸含量的趋势 ( $P=0.08$ )。

表 4 地顶孢霉培养物对奶牛乳脂肪酸组成的影响

Table 4 Effects of *Acremonium terricola* culture on milk fatty acid composition of dairy cows %

项目 Items	组别 Groups			SEM	P 值 P-value
	对照 Control	I	II		
第 4 周 Week 4					
C4:0	2.59	2.68	2.35	0.11	0.11
C6:0	2.13	2.11	2.11	0.06	0.98
C8:0	1.28	1.27	1.28	0.04	0.99
C10:0	2.73	2.75	2.72	0.10	0.97
C12:0	3.03	3.05	2.99	0.11	0.94
C14:0	9.29	9.37	9.24	0.21	0.91
C14:1	0.85	0.70	0.80	0.05	0.14
C15:0	1.01	0.91	0.95	0.04	0.28
C16:0	31.70	30.93	31.48	0.50	0.54
C16:1	1.22	1.13	1.16	0.06	0.66
C18:0	14.33	14.95	14.82	0.57	0.72
<i>t</i> 9C18:1	0.40	0.41	0.53	0.05	0.11

续表 4

项目 Items	组别 Groups			SEM	P 值 P-value
	对照 Control	I	II		
c9C18:1	22.30	22.51	22.45	0.53	0.96
c6C18:2	3.29	3.20	3.20	0.13	0.86
n3C18:3	0.42	0.40	0.39	0.11	0.11
C20:0	0.25	0.24	0.48	0.02	0.32
C20:1	0.62	0.57	0.66	0.03	0.15
其他 Others	2.15	2.38	2.26	0.14	0.49
≤C16	56.07	55.13	55.32	0.81	0.69
>C16	43.93	44.87	44.68	0.81	0.69
饱和脂肪酸 SFA	69.22	69.20	69.14	0.61	0.99
单不饱和脂肪酸 MUFA	26.18	26.17	26.34	0.55	0.97
多不饱和脂肪酸 PUFA	4.60	4.64	4.52	0.18	0.90
第 8 周 Week 8					
C4:0	2.64	2.77	2.69	0.08	0.57
C6:0	2.12	2.16	2.08	0.05	0.51
C8:0	1.25	1.27	1.21	0.03	0.47
C10:0	2.65	2.71	2.57	0.09	0.56
C12:0	3.00	3.00	2.90	0.10	0.72
C14:0	9.35	9.42	9.36	0.20	0.96
C14:1	0.90	0.72	0.82	0.05	0.09
C15:0	0.99	0.87	0.91	0.04	0.13
C16:0	34.83 <sup>a</sup>	32.28 <sup>b</sup>	32.80 <sup>b</sup>	0.65	0.02
C16:1	1.35	1.20	1.26	0.08	0.36
C18:0	13.00	14.24	13.72	0.57	0.32
t9C18:1	0.37	0.37	0.37	0.01	1.00
c9C18:1	21.08	22.26	22.50	0.52	0.13
c6C18:2	2.99	3.27	3.14	0.13	0.30
n3C18:3	0.35	0.38	0.37	0.02	0.40
C20:0	0.23	0.26	0.25	0.01	0.15
C20:1	0.52	0.53	0.58	0.03	0.24
其他 Others	1.92	1.90	2.02	0.09	0.56
≤C16	59.31	56.57	56.80	0.94	0.08
>C16	40.69	43.43	43.20	0.94	0.08
饱和脂肪酸 SFA	70.88	69.71	69.28	0.62	0.17
单不饱和脂肪酸 MUFA	25.02	25.80	26.41	0.54	0.20
多不饱和脂肪酸 PUFA	4.10	4.48	4.32	0.16	0.26

### 3 讨论

#### 3.1 地顶孢霉培养物对奶牛泌乳性能的影响

地顶孢霉培养物含有丰富的虫草素、虫草酸、多糖和氨基酸等有效成分,在动物生产中得到了越来越广泛的研究和应用。研究发现,饲料添加地顶孢霉培养物能够提高仔猪<sup>[7-8,19]</sup>及杜寒杂交羊<sup>[9]</sup>的平均日增重。饲料添加地顶孢霉培养物可

提高蛋鸭的产蛋率,改善蛋品质<sup>[20]</sup>。饲料添加地顶孢霉培养物可提高奶牛的产奶量、乳脂和乳糖产量以及乳中脂肪含量,且能降低乳中体细胞数<sup>[13]</sup>。由此可见,地顶孢霉培养物可以改善动物的生产性能,提高畜产品品质。但也有在其他动物上的研究发现,饲料添加地顶孢霉培养物对北京油鸡生产性能及胴体品质没有显著影响<sup>[5]</sup>。在本试验条件下,饲料添加地顶孢霉培养物对奶牛

产奶量及乳成分均无显著影响,造成这种结果的可能原因是试验动物的不同或奶牛所处的泌乳阶段不同引起,具体原因还有待于进一步试验验证。

### 3.2 地顶孢霉培养物对奶牛血清生化 and 抗氧化指标的影响

血清生化 and 抗氧化指标不仅能够反映饲料营养物质在动物体内的代谢情况,还能用于评估机体的生理状态 and 应激水平。T-AOC 是评定机体抗氧化能力的综合指标,在一定范围内活性越高表明机体的抗氧化能力越强;MDA 是脂质过氧化产物,可用作生物氧化应激的一般生物标志物<sup>[21]</sup>。在家禽上研究发现,饲料添加地顶孢霉培养物能够显著提高北京油鸡 and AA 肉鸡血清 T-AOC and SOD 活性,显著降低血清 MDA 含量<sup>[5-6]</sup>。在其他动物如肉羊<sup>[10]</sup>、大鼠<sup>[22]</sup>等的研究上也有类似的结果。在泌乳期及围产期奶牛上均研究发现,饲料添加地顶孢霉培养物能够显著提高血清 T-AOC and SOD 活性,显著降低血清 MDA 含量<sup>[13-14]</sup>。其中,T-AOC and MDA 的研究结果与本试验结果相似,虽然本研究中饲料添加地顶孢霉培养物对血清 SOD 活性没有显著影响,但其活性却有所升高。地顶孢霉培养物可降低血清的脂质过氧化水平,提高抗氧化能力,推测原因可能是由于地顶孢霉培养物能够阻断丝裂原活化蛋白激酶信号通路,降低了相关促炎因子的表达,提高了抗氧化酶的活性<sup>[22]</sup>,从而改善了动物机体的健康状况,但其具体机制还有待于进一步研究。

### 3.3 地顶孢霉培养物对乳脂肪酸组成的影响

通常情况下,牛奶乳脂中的脂肪酸主要来源于 2 个部分,约 45% 的中短链脂肪酸(C4~C14 和 50% 的 C16:0)来源于瘤胃发酵产物乙酸、 $\beta$ -羟丁酸等在乳腺内的从头合成,其余主要来自乳腺从血液中摄取的长链脂肪酸(50% 的 C16:0 和所有的 18 碳脂肪酸)<sup>[23]</sup>。研究发现,肉羊饲喂虫草饲料添加剂可降低羊肉中 C4:0、C14:0 等短链饱和脂肪酸含量,提高 C18:2n6c、C18:3n6 等长链多不饱和脂肪酸含量,改善了羊肉的脂肪酸组成<sup>[15]</sup>。另有研究发现,生长育肥猪饲喂蛹虫草饲料添加剂可提高肌肉中 C18:3n3 含量,降低肌肉中 C18:0 含量,改善了猪肉的脂肪酸组成<sup>[16]</sup>。在本研究中,试验第 8 周,饲料添加 30 g/(d·头)地顶孢霉培养物可降低乳中  $\leq$ C16 脂肪酸的含量,下降的主要的是 C14:1 和 C16:0,并提高了乳中  $>$ C16 脂肪

酸的含量,升高的主要是 c9C18:1、c6C18:2 和 C20:0,表明奶牛补饲地顶孢霉培养物可改善乳脂肪酸组成。虫草类添加剂能够改善畜产品脂肪酸组成的原因可能是由于虫草含有丰富的不饱和脂肪酸,包括 C16:1、C17:1、C18:1 和 C18:2 等,含量可达 57% 以上<sup>[24]</sup>;另外可能由于虫草类添加剂能够改善瘤胃发酵及菌群结构<sup>[12-13]</sup>,从而使得乳腺分泌的脂肪酸组成不同。在本研究中,饲料添加地顶孢霉培养物有提高乳中长链不饱和脂肪酸的趋势,但差异不显著,可能源于瘤胃是一个高度还原性的厌氧环境,所以不饱和脂肪酸经过瘤胃氢化菌作用后发生生物氢化反应,形成饱和脂肪酸或其他氢化中间物<sup>[25]</sup>。

## 4 结 论

① 饲料添加地顶孢霉培养物对奶牛产奶量及乳成分无显著影响,但能提高奶牛血清 T-AOC,降低血清 MDA 含量,增强奶牛机体的抗氧化能力。

② 饲料添加地顶孢霉培养物可降低乳中  $\leq$ C16 脂肪酸和提高  $>$ C16 脂肪酸含量,改善乳脂肪酸的组成。

③ 本试验条件下,奶牛饲料中地顶孢霉培养物的适宜添加水平为 30 g/(d·头)。

## 参考文献:

- [1] ZHU Z Y, LIU N, SI C L, et al. Structure and anti-tumor activity of a high-molecular-weight polysaccharide from cultured mycelium of *Cordyceps gunnii* [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 88(3): 1072-1076.
- [2] 雷帮星, 高海波, 税小波, 等. 人工发酵古尼虫草中甘露醇的测定 [J]. 菌物研究, 2004, 2(1): 40-44.  
LEI B X, GAO H B, SHUI X B, et al. Determination of mannitol in fermented mycelia of *Cordyceps gunnii* [J]. Journal of Fungal Research, 2004, 2(1): 40-44. (in Chinese)
- [3] XIAO J H, LIANG Z Q, LIU A Y, et al. Immunosuppressive activity of polysaccharides from *Cordyceps gunnii* mycelia in mice *in vivo/vitro* [J]. Journal of Food, Agriculture and Environment, 2004, 2(3/4): 69-73.
- [4] ZHU Z Y, SI C L, ZHONG Y R, et al. The purification and antioxidative activities in d-galactose-induced aging mice of a water-soluble polysaccharide from *Cordyceps gunnii* (Berk.) Berk. mycelium [J]. Journal of Food Biochemistry, 2011, 35(1): 303-322.

- [ 5 ] 宫晓玮,张建伟,安柯颖,等.地顶孢霉培养物对北京油鸡生长性能、脏器指数及血液抗氧化能力的影响[J].中国兽医杂志,2021,57(3):31-35.  
GONG X W,ZHANG J W,AN K Y, et al.Effects of *Acremonium terricola* culture on growth performance, organ index and serum antioxidant capacity of *Beijing fatty chicken*[J].Chinese Journal of Veterinary Medicine,2021,57(3):31-35.(in Chinese)
- [ 6 ] 冯柳柳,单春乔,王业华,等.地顶孢霉培养物对 AA 肉鸡生长性能、免疫机能及血清抗氧化功能的影响[J].畜牧与兽医,2019,51(10):57-61.  
FENG L L,SHAN C Q,WANG Y H, et al.Effects of *Acremonium terricola* culture on growth performance, immune function and serum antioxidant activity of AA broilers[J].Animal Husbandry & Veterinary Medicine,2019,51(10):57-61.(in Chinese)
- [ 7 ] 陈晓春,房春林,胡凯,等.地顶孢霉培养物对生长育肥猪生长性能、胴体性状及肉品质的影响[J].饲料研究,2021,44(3):17-20.  
CHEN X C,FANG C L,HU K, et al.Effect of *Acremonium terricola* culture on growth performance, carcass characteristics and meat quality of growing-finishing pigs[J].Feed Research,2021,44(3):17-20.(in Chinese)
- [ 8 ] 冯柳柳,单春乔,赵荣,等.地顶孢霉培养物对断奶仔猪生长性能、肠道菌群及体液免疫的影响[J].畜牧与兽医,2019,51(6):43-46.  
FENG L L,SHAN C Q,ZHAO R, et al.Effects of *Acremonium terricola* culture on growth performance, intestinal flora and humoral immunity in weaned piglets[J].Animal Husbandry & Veterinary Medicine,2019,51(6):43-46.(in Chinese)
- [ 9 ] 武杰,刘艳,王杲强,等.日粮中添加地顶孢霉培养物对杜寒杂交羊育肥效果的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2018(4):165-166.  
WU J,LIU Y,WANG G Q, et al.Effects of *Acremonium terricola* culture on fattening effect in Dorset and cold hybrid sheep[J].Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine,2018(4):165-166.(in Chinese)
- [ 10 ] 武杰,穆春雨,王杲强,等.地顶孢霉培养物对杜寒杂交羊血液生化指标的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2019(4):115-116,120.  
WU J,MU C Y,WANG G Q, et al.Effects of *Acremonium terricola* culture on blood biochemical parameters in Dorset and cold hybrid sheep[J].Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine,2019(4):115-116,120.(in Chinese)
- [ 11 ] LI Y,WANG Y Z,DING X, et al.Effects of *Acremonium terricola* culture on growth performance, antioxidant status and immune functions in weaned calves[J].Livestock Science,2016,193:66-70.
- [ 12 ] 张永根,王一臻,李洋,等.地顶孢霉培养物对奶牛瘤胃发酵、微生物区系及血液生化指标影响[J].东北农业大学学报,2016,47(8):60-66.  
ZHANG Y G,WANG Y Z,LI Y, et al.Effect of *Acremonium terricola* culture on ruminal fermentation, microflora and blood biochemical parameters in dairy cows[J].Journal of Northeast Agricultural University,2016,47(8):60-66.(in Chinese)
- [ 13 ] LI Y,SUN Y K,LI X, et al.Effects of *Acremonium terricola* culture on performance, milk composition, rumen fermentation and immune functions in dairy cows[J].Animal Feed Science and Technology,2018,240:40-51.
- [ 14 ] WANG Y Z,LI Y,XU Q B, et al.Effects of *Acremonium terricola* culture on production performance, antioxidant status and blood biochemistry in transition dairy cows[J].Animal Feed Science and Technology,2019,256:114261.
- [ 15 ] 黄新,陈培赛,王柏强,等.添加虫草欣康对山羊生长性能、羊肉品质的影响[J].浙江农业科学,2021,62(7):1435-1437.  
HUANG X,CHEN P S,WANG B Q, et al.Effect of *Chongcaoxinkang* on goat growth and mutton quality[J].Journal of Zhejiang Agricultural Sciences,2021,62(7):1435-1437.(in Chinese)
- [ 16 ] 王少英.蛹虫草饲料添加剂对育肥猪生长性能和肉品质的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2021:32-39.  
WANG S Y.Effects of *Cordyceps militaris* feed additive on growth performance and meat quality of finishing pig[D].Master's Thesis. Yangling: Northwest A&F University,2021:32-39.(in Chinese)
- [ 17 ] 中华人民共和国农业部.奶牛饲养标准:NY/T 34—2004[S].北京:中国农业出版社,2004.  
Ministry of Agriculture of the PRC.Feeding standard of dairy cattle: NY/T 34—2004[S]. Beijing: China Agriculture Press,2004.(in Chinese)
- [ 18 ] BU D P,WANG J Q,DHIMAN T R, et al.Effectiveness of oils rich in linoleic and linolenic acids to enhance conjugated linoleic acid in milk from dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2007,90(2):998-1007.

- [19] 魏建忠,张玮,李郁,等.地顶孢霉培养物对保育仔猪生产性能及免疫水平的影响[J].中国畜牧兽医,2009,36(2):33-35.  
WEI J Z,ZHANG W,LI Y, et al.Effects of the culture of *Acremonium terricola* on performance and immunity of piglets[J].China Animal Husbandry & Veterinary Medicine,2009,36(2):33-35.(in Chinese)
- [20] 孙汉巨,李晓祥,丁琦,等.虫草饲料添加剂对蛋鸭生产性能及鸭蛋品质的影响[J].安徽农业科学,2011,39(6):3618-3620,3626.  
SUN H J,LI X X,DING Q, et al.Effects of cordyceps feed additive on production performance and egg quality of laying ducks[J].Journal of Anhui Agricultural Sciences,2011,39(6):3618-3620,3626.(in Chinese)
- [21] KADIISKA M B, GLADEN B C, BAIRD D D, et al. Biomarkers of oxidative stress study II: are oxidation products of lipids, proteins, and DNA markers of  $\text{CCl}_4$  poisoning? [J]. Free Radical Biology & Medicine, 2005, 38(6):698-710.
- [22] LI Y,JIANG X,XU H J, et al.*Acremonium terricola* culture plays anti-inflammatory and antioxidant roles by modulating MAPK signaling pathways in rats with lipopolysaccharide-induced mastitis[J].Food & Nutrition Research,2020,13:64.
- [23] BAUMAN D E, MATHER I H, WALL R J, et al. Major advances associated with the biosynthesis of milk [J]. Journal of Dairy Science, 2006, 89(4):1235-1243.
- [24] ZHOU X W, GONG Z H, SU Y, et al. Cordyceps fungi: natural products, pharmacological functions and developmental products [J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2009, 61(3):279-291.
- [25] WHITING C M, MUTSVANGWA T, WALTON J P, et al. Effects of feeding either fresh alfalfa or alfalfa silage on milk fatty acid content in Holstein dairy cows [J]. Animal Feed Science and Technology, 2004, 113(1/2/3/4):27-37.

## Effects of *Acremonium terricola* Culture on Lactation Performance, Serum Biochemical and Antioxidant Indexes and Milk Fatty Acids Composition of Dairy Cows

Ji Zhongyuan<sup>1,2</sup> WU Tao<sup>1</sup> ZHU Honglong<sup>1</sup> QI Yunxia<sup>1</sup> YANG Yongxin<sup>2</sup>  
HAN Rongwei<sup>2</sup> CHENG Guanglong<sup>1</sup> ZHAO Xiaowei<sup>1\*</sup>

(1. Anhui Key Laboratory of Livestock and Poultry Product Safety Engineering, Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China; 2. College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to investigate the effect of *Acremonium terricola* culture on lactation performance, serum biochemical and antioxidant indexes and milk fatty acids composition of dairy cows. Thirty-six Chinese Holstein dairy cows with similar lactation days, parity and milk yield were randomly assigned to three groups according to a completely randomized block design, each group contained dairy 12 cows. Cows in the control group were fed a basal diet, and others in experimental groups were fed the basal diet supplemented with 30 and 60 g/(d · head) *Acremonium terricola* culture, respectively. Experimental duration was 8 weeks, included 1 week pre feeding period and 7 weeks formal experimental period. The results showed as follows: 1) dietary supplemented with *Acremonium terricola* culture had no significant effects on milk yield and milk component of dairy cows ( $P>0.05$ ). 2) Compared with the control group, at week 4 of the experiment, dietary supplemented with 30 g/(d · head) *Acremonium terricola* culture significantly increased the serum total antioxidant capacity (T-AOC) ( $P<0.05$ ), and had no significant effects on other serum indexes ( $P>0.05$ ); at week 8 of the experiment, dietary supplemented with 30 g/(d · head) *Acremonium terricola* culture significantly increased the serum T-AOC ( $P<0.05$ ), significantly decreased the serum malondialdehyde (MDA) content ( $P=0.05$ ), and had no significant effects on other serum indexes ( $P>0.05$ ). 3) Compared with the control group, at week 8 of the experiment, dietary supplemented with 30 and 60 g/(d · head) *Acremonium terricola* culture significantly decreased the milk C16:0 content ( $P<0.05$ ), and had a tendency to decrease the milk C14:1 content ( $P=0.09$ ), and had no significant effects on contents of other fatty acids in milk ( $P>0.05$ ); Furthermore, dietary supplemented with 30 g/(d · head) *Acremonium terricola* culture had a tendency to decrease the content of  $C\leq 16$  fatty acid and had a tendency to increase the content of  $C>16$  fatty acid in milk ( $P=0.08$ ). In conclusion, dietary supplemented with *Acremonium terricola* culture has no significant effects on milk yield and milk component of dairy cows, but can increase the antioxidant capacity, and improve the milk fatty acids composition and the health condition of dairy cows. Under the condition of this experiment, the dietary optimum supplemental level of *Acremonium terricola* culture of dairy cows is 30 g/(d · head). [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2022, 34(6):3657-3665]

**Key words:** *Acremonium terricola* culture; dairy cows; lactation performance; biochemical; antioxidant; milk fatty acids

\* Corresponding author, associate professor, E-mail: xiaowei1986mm@163.com

(责任编辑 武海龙)