



李丽,赵艳丽,郭晓宇,郭咏梅,郑亚光,周艳,闫素梅,张勇伟.不同饲粮能量水平对肉驴血浆与肌肉中氨基酸含量的影响[J].中国农业大学学报,2024,29(04):239-250.

LI Li, ZHAO Yanli, GUO Xiaoyu, GUO Yongmei, ZHENG Yaguang, ZHOU Yan, YAN Sumei, ZHANG Yongwei. Effects of different dietary energy level on amino acid composition in plasma and muscle tissue of meat donkey[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(04): 239-250.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.04.21

不同饲粮能量水平对肉驴血浆与肌肉中氨基酸含量的影响

李丽¹ 赵艳丽¹ 郭晓宇¹ 郭咏梅¹ 郑亚光¹ 周艳¹ 闫素梅^{1*} 张勇伟²

(1. 内蒙古农业大学 动物科学学院/内蒙古自治区高校动物营养与饲料科学重点实验室, 呼和浩特 010018;

2. 内蒙古草原御驴科技牧业有限公司, 内蒙古和林格尔 011500)

摘要 为探究饲粮能量水平对肉驴血浆及肌肉氨基酸含量的影响,本研究选用年龄为1岁、体重相近(150 ± 25 kg)的德州肉驴(公)36头,分为低能量(LEG)、中能量(MEG)和高能量(HEG)3个组,采用舍饲育肥方式,分别饲喂消化能(以干物质计)为12.08、13.38和14.40 MJ/kg(育肥前期,1~45 d)、13.01、14.27和15.60 MJ/kg(育肥中期,46~90 d)以及13.54、14.93和16.23 MJ/kg(育肥后期,91~135 d)的饲粮。试验结束后,测定血清生化指标、血浆及背最长肌、臂三头肌、股二头肌以及臀肌中的氨基酸含量及肌肉中蛋白质含量。结果表明:1)不同饲粮能量水平间的肌肉蛋白质含量差异不显著($P>0.05$);MEG血浆中功能性氨基酸(FAA)、呈味氨基酸(DAA)含量显著高于LEG和HEG($P<0.05$),LEG血浆中FAA和DAA含量显著高于HEG($P<0.05$)。2)MEG显著提高血浆和股二头肌中必需氨基酸(EAA)、支链氨基酸(BCAA)含量以及EAA/总氨基酸(TAA)、EAA/非必须氨基酸(NEAA)($P<0.05$),显著降低了股二头肌中NEAA和DAA含量($P<0.05$)。3)MEG的血清总蛋白含量显著高于LEG($P<0.05$),但与HEG相比差异不显著($P>0.05$)。MEG、HEG的血清葡萄糖和胆固醇含量极显著高于LEG($P<0.001$),但MEG和HEG两组间无差异,尿素含量变化规律与之相反。HEG和LEG血清甘油三酯和游离脂肪酸含量显著高于MEG($P<0.05$),HEG的甘油三酯含量显著高于LEG,游离脂肪酸含量显著低于LEG($P<0.05$)。随着能量水平的增加,高密度脂蛋白含量显著增加($P<0.001$)。综上,肉驴育肥前期、育肥中期以及育肥后期饲喂中能量水平的饲粮,可使肉驴肌肉的AA平衡性较好,肌肉的营养价值较高。本研究为通过营养调控提高肉驴的育肥性能和改善肉品质提供参考。

关键词 肉驴; 能量水平; 氨基酸; 血清生化指标

中图分类号 S826

文章编号 1007-4333(2024)04-0239-12

文献标志码 A

Effects of different dietary energy level on amino acid composition in plasma and muscle tissue of meat donkey

LI Li¹, ZHAO Yanli¹, GUO Xiaoyu¹, GUO Yongmei¹, ZHENG Yaguang¹, ZHOU Yan¹,
YAN Sumei^{1*}, ZHANG Yongwei²

(1. Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science at Universities of Inner Mongolia Autonomous Region/College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2. Inner Mongolia Grassland Yulu Science and Technology Animal Husbandry Co., Ltd. Horinger 011500, China)

Abstract In order to investigate the effect of dietary energy level on plasma and muscle AA content of meat donkeys, 36 meat donkeys (males) aged 1 year with similar body weights (150 ± 25 kg) were divided into

收稿日期: 2023-05-24

基金项目: 内蒙古自治区科技重大专项(2018zdzx2018001)

第一作者: 李丽(ORCID:0009-0003-9907-6610), 博士研究生, E-mail: 1312245393@qq.com

通讯作者: 闫素梅(ORCID:0000-0002-4107-2858), 教授, 主要从事动物营养与饲料领域研究, E-mail: yansmimau@163.com

three groups, low energy (LEG), medium energy (MEG), and high energy (HEG). 12.08, 13.38 and 14.40 MJ/kg (pre-fattening, 1-45 d), 13.01, 14.27 and 15.60 MJ/kg (mid-fattening, 46-90 d), and 13.54, 14.93 and 16.23 MJ/kg (post-fattening, 91-135 d), respectively. At the end of the experiment, serum biochemical indexes, plasma and amino acid content in the most longissimus dorsi, triceps brachii, biceps femoris, gluteal muscles and muscle protein content were determined. The results showed that: 1) The differences in muscle protein content between different dietary energy levels were not significant ($P>0.05$). The contents of functional amino acids (FAA) and delicious amino acids (DAA) in plasma of MEG were significantly higher than those of LEG and HEG ($P<0.05$) in plasma and biceps femoris muscle, and the contents of FAA and DAA in plasma of LEG were significantly higher than those of HEG ($P<0.05$). 2) MEG significantly increased the content of essential amino acid (EAA), branched chain amino acid (BCAA) content as well as EAA/total amino acid (TAA), EAA/non-essential amino acid (NEAA) ($P<0.05$) in plasma and biceps femoris muscle, and significantly decreased NEAA and DAA content in biceps femoris muscle ($P<0.05$). 3) Total serum protein content of MEG was significantly higher than LEG ($P<0.05$), but the difference was not significant compared with HEG. Serum glucose and cholesterol content of MEG and HEG were significantly higher than LEG ($P<0.001$), but there was no difference between the two groups of MEG and HEG, and the change rule of urea content was opposite. Serum triglyceride and none-esterified fatty acid contents of HEG and LEG were significantly higher than those in MEG ($P<0.05$), the triglyceride content of HEG was significantly higher than LEG, and the none-esterified fatty acid content was significantly lower than LEG ($P<0.05$); With the increase of energy level, the content of high-density lipoprotein increased significantly ($P<0.001$). In conclusion, feeding meat donkeys with medium energy levels in the early, middle and late stages of fattening can improve the AA balance and higher nutritional value of muscle in meat donkeys. This study provides a reference for improving the fattening performance and improving the meat quality of meat donkeys through nutritional regulation.

Keywords meat donkey; energy level; amino acids; serum biochemical index

随着生活质量的提升,消费者对高品质肉类的需求与日俱增,驴肉以其蛋白质和不饱和脂肪酸含量较高以及脂肪、胆固醇和热量较低的特点^[1]赢得了市场。然而,目前肉驴的养殖仍然以散养或小规模养殖为主,且没有专门的饲养标准,导致驴肉产品的质量参差不齐。氨基酸(AA)是蛋白质的基本组成单位,肉的风味受到其种类、含量及组成的影响,故其可评价肉的营养价值的优劣。畜禽肌肉中AA含量的变化规律受到诸多因素的影响,其中,饲料营养水平对其影响较大。研究表明,改变饲料组成和营养水平可影响畜禽肌肉中的呈味氨基酸(DAA)比例^[2],对肉的鲜味提升有一定促进作用。肉中AA的含量也受饲喂水平的影响,田丰等^[3]研究表明自由采食组显著提高了巴美肉羊肌肉中AA含量。王巍等^[4]研究发现,与饲喂高能低蛋白水平饲料相比,低能低蛋白饲料可增加蜀宣花牛肉中异亮氨酸(Ile)、缬氨酸(Val)等苦味AA的含量。黄文琴等^[5]研究表明,高能量水平(代谢能=14.83 MJ/kg)

饲料提高了湖羊羔羊血清中葡萄糖(GLU)浓度,而甘油三酯(TG)的含量变化却与之相反。低密度脂蛋白(LDL-C)和高密度脂蛋白(HDL-C)分别对胆固醇(CHOL)在肝脏中的分解代谢以及在外周组织和细胞的储存起到运输作用^[6]。陶杨等^[7]研究表明,在育肥后期,高能量水平(综合净能=5.90 MJ/kg)饲料增加了红河黄牛公牛血清HDL-C含量。但上述关于饲料能量水平对肌肉AA含量影响的研究多集中在牛羊等反刍动物中,关于饲料能量水平对驴血液和肌肉AA含量影响的研究较少。课题组前期针对饲料能量水平对肉驴生长性能的研究得出,肉驴采食中能量水平的饲料可获得较好的生长育肥性能,其平均日增重显著高于高能量和低能量饲料组^[8],肌肉蛋白质含量并不因饲料能量水平的变化而存在差异^[9]。但饲料能量水平对肉驴肌肉AA的含量是否产生影响尚不清楚。本研究通过分析饲料能量水平对血浆及肌肉AA含量的影响,为肉驴舍饲育肥效果的促进和肉品质的改善提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计与饲料

试验在内蒙古草原御驴科技牧业有限公司进行。采用单因子完全随机试验设计,选用年龄为1岁、体重相近(150±25 kg)的德州三粉肉驴(公)36头,分为低能组(LEG)、中能组(MEG)和高能组(HEG)3个处理,试验期135 d,采用舍饲育肥方式,分别饲喂消化能(DE,以干物质计)为12.08、13.38和14.40 MJ/kg(育肥前期,1~45 d),13.01、14.27和15.60 MJ/kg(育肥中期,46~90 d)以及13.54、14.93和16.23 MJ/kg(育肥后期,91~135 d)的饲料,每个处理组4个重复,每个重复3头驴。

试验期间,于每天早上7:00和下午14:00各饲喂1次,自由饮水;定时清理,保持舍内卫生。饲料组成和营养水平见表1,AA组成见表2。各育肥阶段的精料饲喂量根据干物质采食量(DMI)和精粗比计算而得,各阶段各处理组的DMI(实测值)分别为,育肥前期:LEG(3.66 kg/d)、MEG(3.94 kg/d)、HEG(3.88 kg/d),育肥中期:LEG(4.63 kg/d)、MEG(4.75 kg/d)、HEG(4.49 kg/d),育肥后期:LEG(5.08 kg/d)、MEG(5.24 kg/d)、HEG(4.71 kg/d);各育肥阶段饲料精粗比分别为:40:60、50:50和60:40,且3组间除能量水平之外的其他营养水平均保持一致。

1.2 样品采集与前处理

试验开始前,采集饲料原料样品,65℃烘箱烘干,粉碎过40目网筛后,得到风干样品,保存在干燥、避光和通风处,用于AA的测定;试验结束时,于晨饲前对每头驴进行颈静脉穿刺采血,分离血清和血浆,保存于-20℃,分别用于生化指标和AA的测定;所有试验驴禁食12 h,禁水2 h屠宰,快速取背最长肌、臀三头肌、股二头肌以及臀肌样本,于-20℃保存用于粗蛋白质(CP)和AA的测定。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 肌肉CP含量以及试验饲料、肌肉与血浆AA含量

肌肉组织中CP的含量参照张丽英^[10]主编《饲料分析与质量检测技术》测定。试验饲料、肌肉与血浆中的AA含量参照GB/T5009.124^[11],用L8900

型号AA自动分析仪测定。测试指标主要包括17种单一AA(包括天冬氨酸(Asp)、苏氨酸(Thr)、丝氨酸(Ser)、谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、半胱氨酸(Cys)、Val、蛋氨酸(Met)、Ile、亮氨酸(Leu)、酪氨酸(Tyr)、苯丙氨酸(Phe)、赖氨酸(Lys)、组氨酸(His)、精氨酸(Arg)及Pro)的含量,同时计算必需氨基酸(EAA,包括Thr、Val、Met、Ile、Leu、Phe、Lys、His和Arg)、非必需氨基酸(NEAA,包括Asp、Ser、Glu、Gly、Ala、Cys、Tyr、Pro)、DAA(包括Asp、Glu、Gly、Ala、Cys、Met、Arg)、总氨基酸(TAA)、功能性氨基酸(FAA,包括Leu、Glu、Arg)、支链氨基酸(BCAA,包括Ile、Leu、Val)、限制性氨基酸(LAA,包括Lys、Met)的含量及EAA/NEAA、EAA/NEAA。

1.3.2 血液生化指标测定

使用自动生化分析仪(日立7020)测定血清中碱性磷酸酶(ALP)的活性、白蛋白(ALB)、CHOL、TG、总蛋白(TP)、肌酐(CRE)、GLU、磷(P)、钙(Ga)、尿素(UREA)和β-羟丁酸(D3HB)的含量,配套的试剂购自乐普(北京)诊断厂家。血清HDL-C与LDL-C含量由购自南京建成生物工程研究所的试剂盒测定。血清游离脂肪酸(NEFA)浓度用宝信生物公司的双抗夹心法酶联免疫吸附试验(ELISA)试剂盒测定。

1.4 数据统计与分析

数据采用SAS 9.0软件进行ANOVA方差分析;统计结果 $P<0.05$ 表示差异显著, $P>0.05$ 表示差异不显著。

2 结果与分析

2.1 饲料能量水平对血浆AA含量的影响

由表3可知,LEG与MEG血浆中Asp($P<0.001$)、Thr($P=0.010$)含量显著高于HEG,而LEG与MEG间无显著差异;血浆中Glu、Ile、FAA和DAA含量在MEG、HEG、LEG中依次显著降低($P<0.05$);MEG与HEG的Ala含量显著高于LEG($P=0.014$),MEG与HEG间无显著差异;MEG血浆中Val、Arg、EAA、BCAA含量以及EAA/TAA和EAA/NEAA显著高于其余两组($P<0.05$),其余两组间无显著差异,NEAA变化规律与

表1 饲料组成及营养水平(干物质基础)
Table 1 Diet composition and nutrition level (DM basis)

项目 Index	育肥前期 Pre-fattig			育肥中期 Mid-fattig			育肥后期 Post-fattig		
	LEG	MEG	HEG	LEG	MEG	HEG	LEG	MEG	HEG
原料组成									
谷草/% Asparagus	55.18	43.34	31.35	40.28	35.49	31.21	38.34	33.7	28.66
苜蓿草/% Alfalfa	2.12	11.84	21.42	4.02	6.03	7.99	2.04	4.06	6.08
玉米青贮/% Corn silage	6.43	9.77	12.16	6.09	9.13	11.34	5.55	8.30	11.51
玉米/% Corn	6.07	14.85	20.29	27.12	30.45	29.73	37.41	36.5	35.71
次粉/% Wheat midding	0	0	0	1.60	2.00	2.40	1.76	1.92	1.59
豆粕/% Soybean meal	8.40	8.00	5.60	7.20	6.40	5.60	6.22	3.96	1.21
玉米蛋白粉/% Corn gluten meal	0.60	0.92	0.40	0.70	0	0	0	0	0
玉米胚芽粕/% Corn germ meal	7.42	1.40	0	3.00	0	0	0	0	0
DDGS/%	1.60	3.40	3.00	3.16	3.76	3.00	3.47	2.20	3.02
麸皮/% Bran	10.00	3.90	0	3.10	0	0	0	0	0
大豆油/% Soybean oil	0	0.40	0.60	0	0	1.00	0	0.82	1.26
膨化全脂大豆/% Puffed full fat soybeans	0	0	3.00	1.00	4.00	5.00	2.20	5.50	7.92
食盐/% NaCl	0.40	0.40	0.40	0.50	0.50	0.50	0.55	0.55	0.55
石粉/% Limestone	0.44	0.44	0.44	0.56	0.56	0.56	0.61	0.61	0.61
磷酸氢钙/% CaHPO ₄	0.88	0.88	0.88	1.10	1.10	1.10	1.21	1.21	1.21
预混料/% Premix	0.16	0.16	0.16	0.20	0.20	0.20	0.22	0.22	0.22
碳酸氢钠/% NaHCO ₃	0.30	0.30	0.30	0.38	0.38	0.38	0.44	0.44	0.44
合计	100	100	100	100	100	100	100	100	100
营养水平									
DE/(MJ/Kg)	12.08	13.38	14.40	13.01	14.27	15.60	13.54	14.93	16.23
粗蛋白/% CP	14.53	15.06	15.06	13.02	13.04	13.17	12.48	12.67	12.72
粗脂肪/% EE	5.69	6.43	7.13	6.06	6.50	6.97	6.47	6.95	7.32
NDF/%	66.38	65.99	61.35	56.05	54.66	51.73	55.31	52.63	51.10
ADF/%	37.90	38.41	36.54	31.19	30.85	28.72	31.95	30.29	27.02
钙/% Ca	1.33	1.38	1.44	1.48	1.45	1.43	1.36	1.40	1.45
磷/% P	0.56	0.57	0.51	0.61	0.60	0.57	0.57	0.61	0.63

1) 每克预混料提供: Fe 10 mg, Cu 5 mg, Zn 15 mg, Mn 10 mg, I 0.12 mg, Se 0.07 mg, Co 0.06 mg, VA 1 500 IU, VD 3 600 IU, VE 3 000 IU, VK 4.46 mg, VB1 0.08 mg, VB2 1.9 mg, VB6 0.2 mg, 烟酸 4.5 mg, D-泛酸 3.7 mg, VB12 0.012 mg, 生物素 Biotin 0.056 mg, 叶酸 0.51 mg。除 DE 是计算值外,其余均为实测值。2) LEG=低能组、MEG=中能组和 HEG=高能组。下同。

1) Per g of premix provided the following: Fe 10 mg, Cu 5 mg, Zn 15 mg, Mn 10 mg, I 0.12 mg, Se 0.07 mg, Co 0.06 mg, VA 1 500 IU, VD 3 600 IU, VE 3000 IU, VK 4.46 mg, VB1 0.08 mg, VB2 1.9 mg, VB6 0.2 mg, nicotinic acid 4.5 mg, D-pantothenic acid 3.7 mg, VB12 0.012 mg, biotin 0.056 mg, folic acid 0.51 mg. Nutrient level values were measured except DE. 2) LEG=Low energy group, MEG=Medium energy group, HEG=High energy group. The same below.

表2 饲粮氨基酸组成(风干基础)
Table 2 Amino acid composition of diet (air-dry basis) %TAA

AA	1~45 d			46~90 d			91~135 d		
	LEG	MEG	HEG	LEG	MEG	HEG	LEG	MEG	HEG
Asp	9.99	9.38	9.05	8.71	8.43	8.38	8.31	8.17	7.79
Thr	4.26	4.31	4.40	6.46	6.26	6.40	5.36	4.30	4.32
Ser	4.67	4.61	4.59	4.58	4.56	4.55	4.61	4.66	4.65
Glu	18.60	18.20	17.77	18.14	17.74	17.64	18.17	18.24	18.14
Gly	4.58	4.45	4.47	4.29	4.36	4.38	4.35	4.46	4.48
Ala	5.52	5.85	5.97	5.65	5.75	5.76	5.78	5.92	6.11
Cys	1.24	1.28	1.35	1.35	1.42	1.44	1.46	1.53	1.57
Val	5.00	5.13	5.29	5.11	5.29	5.30	5.36	5.49	5.56
Met	1.87	2.04	2.16	1.88	1.98	2.01	1.97	2.07	2.17
Ile	4.30	4.17	4.03	3.86	3.78	3.75	3.74	3.68	3.55
Leu	8.52	9.02	8.89	8.58	8.46	8.40	8.51	8.49	8.58
Tyr	3.34	3.25	3.01	2.92	2.72	2.67	2.69	2.57	2.45
Phe	5.75	5.95	5.99	5.84	5.93	5.90	6.04	6.05	6.00
Lys	6.79	6.44	6.36	5.85	5.81	5.82	5.67	5.72	5.57
Pro	6.99	6.65	6.67	6.63	6.65	6.66	6.75	6.84	6.74
His	3.25	3.29	3.40	3.09	3.20	3.23	3.16	3.28	3.35
Arg	5.34	5.97	6.59	7.07	7.64	7.70	8.08	8.53	8.96
TAA	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
EAA	45.08	46.32	47.12	47.75	48.36	48.52	47.89	47.61	48.06
NEAA	54.92	53.68	52.88	52.25	51.64	51.48	52.11	52.39	51.94
DAA	47.13	47.18	47.37	47.08	47.33	47.31	48.11	48.92	49.23
FAA	32.45	33.19	33.25	33.79	33.84	33.74	34.75	35.26	35.68
BCAA	17.82	18.32	18.20	17.56	17.53	17.45	17.60	17.65	17.68
LAA	8.66	8.48	8.53	7.74	7.79	7.83	7.64	7.79	7.74
EAA/TAA	45.08	46.32	47.12	47.75	48.36	48.52	47.89	47.61	48.06
EAA/NEAA	82.08	86.30	89.10	91.38	93.64	94.25	91.88	90.88	92.53

之相反;LEG 血浆中 Lys($P=0.033$)和 LAA($P=0.037$)显著高于 MEG,HEG 与这两组无显著差异,His 与之相反。饲粮能量水平对血浆中其他 AA 含量无显著影响($P>0.05$)。此结果表明中能量水平饲粮提高了血浆中多数 AA 含量,有利于 AA 的平

衡,肉质得到改善。

2.2 不同饲粮能量水平对肉驴肌肉中 CP 与 AA 含量的影响

2.2.1 背最长肌中 CP 与 AA 含量

由表 4 可知,饲粮能量水平对背最长肌 CP 含量

表3 饲料能量水平对肉驴血浆AA含量的影响
Table 3 Effect of dietary energy level on AA content in plasma %TAA

项目 Item	LEG	MEG	HEG	SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	项目 Item	LEG	MEG	HEG	SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> value
Asp	0.28 A	0.27 A	0.25 B	0.005	<0.001	Lys	4.81 A	4.42 B	4.53 AB	0.104	0.033
Thr	11.91 A	11.59 A	10.81 B	0.242	0.010	Pro	1.67	1.62	1.75	0.039	0.063
Ser	9.54	8.68	9.14	0.265	0.084	His	4.70 B	5.32 A	5.02 AB	0.121	0.004
Glu	12.08 C	14.32 A	13.87 B	0.149	<0.001	Arg	4.65 B	4.94 A	4.47 B	0.100	0.009
Gly	15.82	16.35	15.93	0.253	0.298	EAA	47.19 B	49.28 A	46.39 B	0.531	0.002
Ala	5.62 B	6.17 A	6.32 A	0.167	0.014	NEAA	52.81 A	50.72 B	53.61 A	0.531	0.002
Cys	2.77	2.68	2.41	0.139	0.177	FAA	22.84 C	25.76 A	24.69 B	0.285	<0.001
Val	6.96 B	8.19 A	7.16 B	0.145	<0.001	BCAA	15.52 B	17.43 A	16.04 B	0.244	<0.001
Met	1.60	1.70	1.72	0.048	0.177	LAA	6.46 A	6.11 B	6.25 AB	0.092	0.037
Ile	2.46 C	2.74 A	2.62 B	0.039	<0.001	DAA	42.81 C	46.42 A	45.06 B	0.408	<0.001
Leu	6.11	6.50	6.26	0.134	0.129	EAA/TAA	47.19 B	49.28 A	46.39 B	0.531	0.002
Tyr	4.13	4.10	4.05	0.110	0.853	EAA/ NEAA	89.42 B	97.62 A	86.70 B	2.044	0.002
Phe	3.35	3.89	3.80	0.102	0.375						

注:同行数据含相同字母表示差异不显著($P>0.05$),不含相同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: In the same row, values with the same letter mean no significant difference ($P>0.05$), while those without the same letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same below.

未产生显著的影响($P=0.496$);MEG的Ser($P=0.026$)和Met($P=0.038$)含量显著高于HEG,LEG与这两组间无显著差异。HEG的Gly、EAA、BCAA含量以及EAA/TAA、EAA/NEAA显著高于LEG($P<0.05$),MEG与这两组间无显著,NEAA的变化规律与之相反。MEG的Ala($P<0.001$)和Tyr($P=0.001$)含量显著高于其余2组,其余两组间无显著差异。Cys的含量在MEG、LEG与HEG中依次显著升高($P<0.001$)。LEG与MEG的Val($P=0.001$)、Phe($P<0.001$)含量显著低于HEG,但LEG与MEG间无显著差异。饲料能量水平对背最长肌其他单一AA含量未产生显著影响($P>0.05$)。此结果表明中高能量水平饲料提高了背最长肌中AA含量。

2.2.2 臂三头肌中CP与AA含量

由表5可知,臂三头肌的CP含量不随饲料能量

水平的变化而改变($P=0.824$)。臂三头肌的Asp含量在MEG、LEG和HEG中依次显著降低($P<0.001$)。LEG的Ser含量显著高于MEG($P=0.046$),HEG与这两组间均无显著差异;HEG的Ile含量显著高于MEG($P=0.039$),LEG这两组间均无显著差异。随着饲料能量水平的提高,臂三头肌Tyr含量显著降低($P=0.030$)。饲料能量水平对臂三头肌中其他AA含量无显著影响($P>0.05$)。此结果表明日粮能量水平对臂三头肌中多数AA含量无显著影响。

2.2.3 臀肌中CP与AA含量

由表6可知,臀肌的CP含量不受饲料能量水平的影响($P=0.617$)。HEG的Asp含量显著高于MEG($P=0.018$),LEG与这两组间均无显著差异,Tyr与之变化相反($P=0.014$)。MEG的Thr($P=0.001$)和Ala($P=0.004$)含量显著高于其余两组,

表4 饲料能量水平对背最长肌CP与AA含量的影响
(风干基础)

Table 4 Effect of dietary energy levels on CP and AA content in longissimus dorsi (air-dry basis) %TAA

项目 Item	LEG	MEG	HEG	SEM	P 值 P value	项目 Item	LEG	MEG	HEG	SEM	P 值 P value
CP	22.33	22.03	22.14	0.167	0.496	Phe	5.50 B	5.58 B	6.29 A	0.079	<0.001
Asp	10.02	10.14	10.22	0.123	0.524	Lys	8.04	8.02	8.38	0.206	0.389
Thr	5.06	5.20	5.10	0.085	0.534	Pro	1.41	1.38	1.43	0.022	0.304
Ser	4.14 AB	4.25 A	4.07 B	0.044	0.026	His	4.24	4.47	4.32	0.073	0.087
Glu	15.64	15.84	15.96	0.368	0.821	Arg	6.64	6.83	6.71	0.071	0.171
Gly	4.55 B	4.64 AB	4.83 A	0.073	0.032	EAA	50.49 B	51.36 AB	52.33 A	0.496	0.044
Ala	6.37 B	6.69 A	6.41 B	0.053	<0.001	NEAA	49.51 A	48.64 AB	47.67 B	0.496	0.044
Cys	0.90 B	0.84 C	0.99 A	0.020	<0.001	FAA	31.32	31.78	31.37	0.468	0.748
Val	4.71 B	4.81 B	5.06 A	0.059	0.001	BCAA	18.08 B	18.27 AB	18.68 A	0.159	0.036
Met	2.93 AB	2.99 A	2.85 B	0.039	0.038	LAA	10.97	11.02	11.23	0.213	0.664
Ile	4.33	4.35	4.53	0.061	0.055	DAA	47.06	47.97	47.56	0.504	0.450
Leu	9.04	9.11	9.10	0.086	0.833	EAA/ TAA	50.49 B	51.36 AB	52.33 A	0.496	0.044
Tyr	3.65 B	3.99 A	3.69 B	0.063	0.001	EAA/ NEAA	102.33 B	105.65 AB	110.10 A	2.100	0.044

表5 饲料能量水平对臂三头肌CP和AA含量的影响(风干基础)

Table 5 Effect of dietary energy level on CP and AA content in triceps brachii (air-dry basis) %TAA

项目 Item	LEG	MEG	HEG	SEM	P 值 P value	项目 Item	LEG	MEG	HEG	SEM	P 值 P value
CP	20.70	20.54	20.74	0.222	0.824	Phe	5.49	5.42	5.73	0.155	0.347
Asp	9.94 B	10.58 A	9.32 C	0.153	<0.001	Lys	8.29	8.43	8.49	0.107	0.419
Thr	4.98	4.73	4.93	0.097	0.163	Pro	1.41	1.48	1.50	0.043	0.361
Ser	4.22 A	3.97 B	4.18 AB	0.072	0.046	His	3.53	3.62	3.50	0.058	0.304
Glu	17.04	16.79	17.46	0.038	0.132	Arg	6.98	6.90	6.94	0.117	0.908
Gly	5.48	5.86	5.77	0.117	0.070	EAA	50.49	50.06	50.72	0.199	0.074
Ala	6.82	6.75	6.67	0.154	0.785	NEAA	49.51	49.94	49.28	0.199	0.074
Cys	0.88	0.88	0.97	0.033	0.115	FAA	32.96	32.57	33.02	0.232	0.342
Val	4.92	4.89	4.88	0.056	0.839	BCAA	18.33	18.07	18.25	0.172	0.557
Met	2.90	2.85	2.93	0.044	0.411	LAA	11.17	11.28	11.42	0.118	0.340
Ile	4.46 AB	4.34 B	4.72 A	0.103	0.039	DAA	50.03	50.65	50.02	0.225	0.090
Leu	8.94	8.84	8.65	0.109	0.168	EAA/ TAA	50.49	50.06	50.72	0.199	0.074
Tyr	3.72 A	3.63 AB	3.42 B	0.078	0.030	EAA/ NEAA	101.98	100.24	102.92	0.815	0.072

表6 饲料能量水平对臀肌CP和AA含量的影响(风干基础)

Table 6 Effect of dietary energy levels on CP and AA content in gluteal muscles(air-dry basis) %TAA

项目 Item	LEG	MEG	HEG	SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	项目 Item	LEG	MEG	HEG	SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> value
CP	20.46	20.27	20.13	0.225	0.617	Phe	5.26	5.30	5.34	0.086	0.813
Asp	9.52 AB	8.97 B	10.15 A	0.275	0.018	Lys	8.63	8.57	8.56	0.107	0.888
Thr	5.06 B	5.22 A	4.95 B	0.045	0.001	Pro	1.39	1.39	1.35	0.022	0.450
Ser	4.23 A	4.31 A	4.08 B	0.037	0.001	His	4.25	4.35	4.21	0.053	0.151
Glu	16.95 A	17.05A	16.45 B	0.137	0.009	Arg	6.9 A	6.88 A	6.68 B	0.053	0.011
Gly	4.91	4.88	4.76	0.068	0.300	EAA	52.30	52.47	51.41	0.421	0.178
Ala	6.50 B	6.69 A	6.42 B	0.056	0.004	NEAA	47.70	47.53	48.59	0.421	0.178
Cys	0.56	0.52	0.67	0.052	0.152	FAA	33.14 A	33.24 A	32.22 B	0.255	0.014
Val	5.11	5.12	5.05	0.042	0.500	BCAA	19.14	19.11	18.80	0.165	0.287
Met	3.06 A	3.03 A	2.88 B	0.032	0.001	LAA	11.69	11.61	11.44	0.118	0.325
Ile	4.75	4.68	4.66	0.053	0.479	DAA	48.39	48.04	48.01	0.299	0.603
Leu	9.28	9.31	9.08	0.079	0.097	EAA/ TAA	52.30	52.47	51.41	0.421	0.178
Tyr	3.65 AB	3.75 A	3.59 B	0.036	0.014	EAA/ NEAA	109.64	110.39	105.80	0.804	0.154

其余两组间无显著差异。MEG显著增加了臀肌中Ser、Glu、Met、Arg和FAA的含量($P<0.05$)。饲料能量水平对臀肌中其他AA的含量及EAA/TAA、EAA/NEAA的比例无显著影响($P>0.05$)。此结果表明中低能量水平饲料提高了肉驴臀肌中多数AA含量。

2.2.4 股二头肌中CP与AA含量

由表7可知,饲料能量水平对股二头肌CP含量无显著影响($P=0.132$)。MEG与HEG显著提高了Ser含量($P=0.003$)。LEG的Gly含量显著高于MEG($P=0.031$),HEG与这两组均无显著差异,Phe与之相反。MEG的Ala、Arg、NEAA和DAA含量显著低于其余两组($P<0.05$),其余两组间无显著差异,Val、Ile、EAA和BCAA的含量以及EAA/TAA、EAA/NEAA呈现相反的变化规律;HEG显著提高了Pro含量($P=0.010$)。饲料能量水平对股二头肌中其他AA含量差异不显著($P>0.05$)。此结果表明,饲喂中能量水平饲料的肉驴股二头肌中AA平衡性较好,肌肉营养价值较高。

2.3 不同饲料能量水平对血清生化指标的影响

由表8可知,与LEG相比,MEG显著提高了血清TP含量($P=0.009$),但与HEG无显著差异。MEG、HEG的GLU和CHOL含量显著高于LEG($P<0.001$),但MEG和HEG两组间无差异,UREA含量变化规律与之相反。HEG和LEG血清TG和NEFA含量极显著高于MEG($P<0.001$),HEG的TG含量显著高于LEG,NEFA含量显著低于LEG。HDL-C浓度随着饲料能量水平的增加而显著提高($P<0.001$)。结果表明,LEG显著降低了GLU、CHOL和HDL-C的含量,提高TG和NEFA的含量,说明LEG需动员机体脂肪弥补饲料能量水平的不足。

3 讨论

EAA是评价肌肉蛋白质质量的主要指标。BCAA(包括Ile、Leu和Val)通过其中间代谢产物生糖、生酮的功能实现其对AA合成代谢的调节作用。血浆AA是合成肌肉蛋白质的主要AA来源,是机体蛋白质更新的决定性物质^[12]。本研究得出,与

表7 饲料能量水平对股二头肌CP和AA含量的影响(风干基础)

Table 7 Effect of dietary energy levels on CP and AA content in biceps femoris(air-dry basis) %TAA

项目 Item	LEG	MEG	HEG	SEM	P 值 P value	项目 Item	LEG	MEG	HEG	SEM	P 值 P value
CP	20.58	21.02	21.36	0.257	0.132	Phe	5.36 B	5.83 A	5.59 AB	0.108	0.016
Asp	9.84	9.77	9.87	0.099	0.768	Lys	7.92	8.14	7.98	0.133	0.483
Thr	5.18	5.08	5.18	0.044	0.201	Pro	1.36 B	1.38 B	1.48 A	0.03	0.016
Ser	4.11 B	4.24 A	4.20 A	0.025	0.003	His	4.11	4.07	4.13	0.049	0.687
Glu	16.98	16.53	16.90	0.136	0.057	Arg	6.87 A	6.68 B	6.84 A	0.036	0.001
Gly	5.35 A	4.95 B	5.12 AB	0.103	0.031	EAA	51.01 B	52.48 A	51.27 B	0.318	0.006
Ala	6.66 A	6.40 B	6.60 A	0.063	0.013	NEAA	48.99 A	47.53 B	48.73 A	0.318	0.006
Cys	0.83	0.79	0.85	0.034	0.376	FAA	32.96	32.74	32.82	0.145	0.547
Val	4.97 B	5.22 A	4.96 B	0.064	0.011	BCAA	18.67 B	19.61 A	18.64 B	0.27	0.023
Met	2.90	3.06	2.92	0.062	0.138	LAA	10.82	11.20	10.90	0.12	0.071
Ile	4.59 B	4.87 A	4.60 B	0.075	0.022	DAA	49.42 A	48.17 B	49.10 A	0.257	0.004
Leu	9.12	9.53	9.08	0.151	0.075	EAA/ TAA	51.01 B	52.48 A	51.27 B	0.318	0.006
Tyr	3.74	3.61	3.71	0.048	0.140	EAA/ NEAA	104.14 B	110.68 A	105.23 B	1.436	0.006

表8 饲料能量水平对血清生化指标的影响

Table 8 Effect of dietary energy levels on serum biochemical indexes

项目 Item	LEG	MEG	HEG	SEM	P 值 P value
ALP/(U/L)	163.40	165.91	168.78	1.920	0.403
TP/(g/L)	57.53 B	60.45 A	58.34 AB	0.699	0.009
ALB/(g/L)	26.13	27.04	27.76	0.046	0.059
GLU/(mmol/L)	4.64 B	5.14 A	5.08 A	0.057	<0.001
CHOL/(mmol/L)	1.72 B	2.01 A	2.08 A	0.042	<0.001
UREA/(mmol/L)	2.27 A	2.05 B	2.13 B	0.032	<0.001
TG/(mmol/L)	0.18 B	0.16 C	0.22 A	0.010	<0.001
Ca/(mg/L)	1.83	1.85	1.87	0.012	0.264
P/(mg/L)	1.63	1.62	1.63	0.023	0.910
CRE/(umol/L)	65.09	65.84	64.30	0.621	0.228
D3HB/(mmol/L)	0.17	0.16	0.15	0.040	0.093
HDL-C/(mmol/L)	4.42 C	4.68 B	5.04 A	0.087	<0.001
LDL-C/(mmol/L)	0.47	0.47	0.47	0.011	0.963
NEFA/(mmol/L)	0.35 A	0.26 C	0.29 B	0.011	<0.001

MEG相比,HEG降低了臀肌中Arg的含量,股二头肌的EAA、NEAA、BCAA的含量以及EAA/TAA、EAA/NEAA;LEG降低了背最长肌中Ala与BCAA含量、臀三头肌的Asp含量,臀肌中Ala、Thr、Tyr以及股二头肌的Ser、Val、Ile、Leu、Phe、EAA和BCAA的含量。上述肌肉中的变化均与血浆AA的变化一致,这提示中能量组的驴肉中AA平衡性较好。

肌肉中BCAA的含量以LEG最低,显著低于MEG,这提示LEG因饲料能量水平较低,使得Glu、Ala等生糖AA、BCAA被消耗以弥补饲料能量的不足,降低了肌肉的AA平衡性。血清CHOL浓度反映机体脂类代谢的情况,TG直接参与CHOL的合成,是血脂的主要成分之一。GLU是机体代谢活动所需能量的有效来源,反映能量的动态平衡。本研究结果显示,LEG显著降低了GLU、CHOL和HDL-C的含量,TG、NEFA的含量升高,进一步说明LEG需动员机体脂肪弥补饲料能量水平的不足。血清UREA与TP含量可反映体内蛋白质的代谢状况:AA利用率与UREA浓度呈负相关;蛋白质合成代谢增强,TP含量升高。Leu可以通过激活雷帕霉素靶蛋白信号(mTOR)通路的磷酸化刺激蛋白质合成^[13]。本研究中血清UREA表现为LEG>MEG,而TP以及Leu的含量变化与之相反,这表明低能量水平饲料使得体内蛋白质的代谢减弱,增强了对机体蛋白质的消耗^[14]。

DMI对肉中蛋白质含量产生重要影响。Brand等^[15]对羔羊的研究得出DMI随饲料能量水平的提高而降低。Omphalius等^[16]对奶牛的研究中得出低蛋白饲料降低了TAA、EAA和BCAA的含量。课题组前期研究表明,饲料能量水平对DMI未产生显著影响,但CP表观消化率以HEG最低,显著低于其他两组^[9],提示高能量饲料通过降低CP表观消化率,影响肠道的吸收功能,使机体对摄入的蛋白质消化减少,导致AA平衡性降低。Arg可通过mTOR通路上调蛋白质的合成,促进蛋白质在体内沉积,提高机体生长性能^[17];其在一氧化氮合成酶的作用下分解产生一氧化氮(NO),适量NO可提高家禽免疫功能^[18]。本研究中HEG降低了血浆和臀肌中Arg的含量,这也解释了HEG生长性能降低的

原因^[9],同时这可能与高能量水平饲料使机体处于氧化应激的状态有关^[19],Hosseinian等^[20]研究表明,高能量水平日粮显著升高家鸽血清中脂质过氧化产物丙二醛的含量,其总抗氧化能力显著下降,即更多的Arg用于生成NO缓解氧化应激,进而使AA平衡性降低。此外,Tyr可改变小鼠肠道菌群,从而改善宿主气道炎症反应^[21],本研究得出高能量水平饲料增加了背最长肌、臀三头肌以及臀肌中Tyr的含量,提示其代谢途径可能与氧化应激有关,后续可从肠道菌群以及抗氧化的代谢通路进一步探讨。

EAA/TAA以及EAA/NEAA比值较大说明驴肉中AA平衡性较好,肉质优良。质量较好的蛋白质,其AA中EAA/TAA和EAA/NEAA的比例分别应在40%左右和60%以上。小尾寒羊^[22]以及早胜牛^[23]背最长肌中EAA/TAA和EAA/NEAA分别为39%和65%、40%和40%以及37%和60%。本研究中,3个处理组的不同部位肌肉中EAA/TAA均在50%以上、EAA/NEAA均在85%以上,这表明驴肉本身蛋白质组成高于标准,且不同程度的高于其他家畜肌肉的蛋白质组成,更符合人类膳食需求。

4 结论

中能量水平饲料提高了肉驴血浆和股二头肌中EAA、BCAA含量以及EAA/TAA、EAA/NEAA以及血浆和臀肌FAA含量,其肌肉AA平衡性较好,蛋白质营养价值较高,肉品质较好。高、低能量水平饲料不同程度地降低了肉驴肌肉AA的平衡性与蛋白质营养价值。故在本研究条件下,肉驴采食中能量水平饲料其肌肉AA平衡性较好、营养价值较高。本研究为通过营养策略优化肉驴的育肥效果和改善肉品质提供参考。

参考文献 References

- [1] 侯文通. 不同年龄肥育驴肉的营养成分分析[J]. 草食家畜, 2016(4): 1-9
Hou W T. Analysis to meat nutrition composition of donkey fattened in different ages[J]. *Grass-Feeding Livestock*, 2016(4): 1-9 (in Chinese)
- [2] 刘文才. 酒糟育肥对西门塔尔牛肉中营养成分及其肉品质的影响研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015
Liu W C. Study on the effect of distiller's grains fattening on nutritional components and meat quality of Simmental cattle [D]. Hohhot: Inner

- Mongolia Agricultural University, 2015 (in Chinese)
- [3] 田丰, 王利, 金海, 乌日勒格, 李长青, 张海鹰. 饲粮水平对巴美肉羊生产性能、肉品质和肌肉氨基酸含量的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(5): 160-164
Tian F, Wang L, Jin H, Wu R, Li C Q, Zhang H Y. Effects of different feeding levels on production performance, meat quality and amino acid profile in muscle of bamei mutton sheep [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2021, 57(5): 160-164 (in Chinese)
- [4] 王巍, 易军, 石溢, 方东辉, 甘佳, 付茂忠. 不同日粮能量和蛋白质水平对蜀宣花牛肉营养价值 and 风味的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2020(2): 31-34
Wang W, Yi J, Shi Y, Fang D H, Gan J, Fu M Z. Effects of different dietary energy and protein levels on nutritional value and flavor of Shuxuan cattle [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2020(2): 31-34 (in Chinese)
- [5] 黄文琴, 祁敏丽, 吕小康, 崔凯, 王世琴, 刁其玉, 张乃锋. 饲粮能量和蛋白质水平对21~60日龄湖羊生长、消化性能及血清指标的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2019, 50(1): 105-114
Huang W Q, Qi M L, Lv X K, Cui K, Wang S Q, Diao Q Y, Zhang N F. Effects of dietary energy and protein levels on the growth, digestion performance and serum indexes of 21-60 days old hu sheep lambs [J]. *Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2019, 50(1): 105-114 (in Chinese)
- [6] 邹思湘. 动物生物化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012
Zou S X. *Animal Biochemistry* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2012 (in Chinese)
- [7] 陶杨, 高欢, 杨仁辉, 余焯, 付斌龙, 冷静. 日粮能量水平对红河黄牛公牛育肥性能及血清生化指标的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2022, 58(6): 210-215
Tao Y, Gao H, Yang R H, Yu Y, Fu B L, Leng J. Effects of dietary energy level on fattening performance and serum biochemical indexes of red river cattle [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2022, 58(6): 210-215 (in Chinese)
- [8] 周艳, 张婧, 池越, 岳远西, 赵艳丽, 郭晓宇, 张勇伟, 史彬林, 闫素梅. 饲粮能量水平对肉驴生长育肥性能和屠宰性能的影响[J]. 动物营养学报, 2021, 33(5): 2827-2835
Zhou Y, Zhang J, Chi Y, Yue Y X, Zhao Y L, Guo X Y, Zhang Y W, Shi B L, Yan S M. Effects of dietary energy level on growth-fattening performance and slaughter performance of meat donkeys [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(5): 2827-2835 (in Chinese)
- [9] 杜霞, 周艳, 赵艳丽, 郭晓宇, 郭咏梅, 张勇伟, 闫素梅. 日粮能量水平对驴肉理化特性和常规营养物质含量的影响[J]. 饲料工业, 2022, 43(10): 30-34
Du X, Zhou Y, Zhao Y L, Guo X Y, Guo Y M, Zhang Y W, Yan S M. Effects of dietary energy level on the physical and chemical properties and the content of conventional nutrients of donkey meat [J]. *Feed Industry*, 2022, 43(10): 30-34 (in Chinese)
- [10] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 3版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007
Zhang L Y. *Feed Analysis and Feed Quality Detection Technology* [M]. 3rd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2007 (in Chinese)
- [11] GB/T 5009.124-2003. 食品中氨基酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004
GB/T 5009.124-2003. Determination of amino acids in foods [S]. Beijing: China Standard Press, 2004 (in Chinese)
- [12] Ren M, Zhang S H, Zeng X F, Liu H, Qiao S Y. Branched-chain amino acids are beneficial to maintain growth performance and intestinal immune-related function in weaned piglets fed protein restricted diet [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2015, 28(12): 1742-1750
- [13] Appuhamy J A, Knoebel N A, Nayananjali W A, Escobar J, Hanigan M D. Isoleucine and leucine independently regulate mTOR signaling and protein synthesis in MAC-T cells and bovine mammary tissue slices [J]. *The Journal of nutrition*. 2012, 142(3): 484-491
- [14] Wilkinson D J, Hossain T, Hill D S, Phillips B E, Crossland H, Williams J, Loughna P, Churchward-Venne T A, Breen L, Phillips S M, Etheridge T, Rathmacher J A, Smith K, Szcwzyk N J, Atherton P J. Effects of leucine and its metabolite β -hydroxy- β -methylbutyrate on human skeletal muscle protein metabolism [J]. *The Journal of Physiology*, 2013, 591(11): 2911-2923
- [15] Brand T S, Van Der Merwe D A, Swart E, Hoffman L C. Comparing the effect of age and dietary energy content on feedlot performance of Boer goats [J]. *Small Ruminant Research*, 2017, 157: 40-46
- [16] Omphalius C, Lapierre H, Guinard-Flament J, Lambertson P, Bahloul L, Lemosquet S. Amino acid efficiencies of utilization vary by different mechanisms in response to energy and protein supplies in dairy cows: Study at mammary-gland and whole-body levels [J]. *Journal of Dairy Science*, 2019, 102(11): 9883-9901
- [17] Yu H X, Sun L, Fan W B, Chen H, Guo Y L, Liu Y, Gao W H, Zheng W B, Mai K S. Effects of dietary arginine on growth, anti-oxidative enzymes, biomarkers of immunity, amino acid metabolism and resistance to vibrio parahaemolyticus challenge in abalone *halotis discus hannai* [J]. *Aquaculture*, 2022, 549: 737707
- [18] Perez-Carbajal C, Caldwell D, Farnell M, Stringfellow K, Pohl S, Casco G, Pro-Martinez A, Ruiz-Feria C A. Immune response of broiler chickens fed different levels of arginine and vitamin E to a coccidiosis vaccine and Eimeria challenge [J]. *Poultry Science*, 2010, 89(9): 1870-1877
- [19] Adebawale T, Jin S S, Yao K. The effect of dietary high energy density and carbohydrate energy ratio on digestive enzymes activity, nutrient digestibility, amino acid utilization and intestinal morphology of weaned piglets [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2019, 103(5): 1492-1502
- [20] Hosseinian S A, Hasanzadeh F. Impact of high dietary energy on obesity and oxidative stress in domestic pigeons [J]. *Veterinary Medicine and Science*, 2021, 7(4): 1391-1399
- [21] Wypych T P, Pattaroni C, Perdijk O, Yap C, Trompette A, Anderson D, Creek D J, Harris N L, Marsland B J. Microbial metabolism of L-tyrosine protects against allergic airway inflammation [J]. *Nature Immunology*, 2021, 22(3): 279-286
- [22] 张爱文, 杨永慧, 焦婷, 杨发荣, 魏玉明, 赵生国, 蔡原. 青贮藜麦不同添加水平对小尾寒羊肉品质和血液生化指标的影响[J]. 中国牛业科学, 2022, 48(5): 86-92
Zhang A W, Yang Y H, Jiao T, Yang F R, Wei Y M, Zhao S G, Cai Y. Effects of different supplemental levels of quinoa silage on quality and

blood biochemical indices of small-tailed Han sheep [J]. *China Cattle Science*, 2022, 48(5): 86-92 (in Chinese)

[23] 庄蕾, 黄伟华, 刘梦, 韩翠, 张艳, 吴森. 性别对早胜牛牛肉品质的影响研究[J]. *青海大学学报*, 2021, 39(6): 59-64

Zhuang L, Huang W H, Liu M, Han C, Zhang Y, Wu S. Effects of sex on meat quality of Zaosheng cattle [J]. *Journal of Qinghai University*, 2021, 39(6): 59-64 (in Chinese)

责任编辑:秦梅



第一作者简介: 李丽, 博士研究生, 主要从事动物营养与饲料领域研究, 多次获得自治区学业奖学金, 发表中文核心文章1篇。



通讯作者简介: 闫素梅, 内蒙古农业大学二级教授、博士生导师。自治区“草原英才”创新人才团队负责人, 国家级《饲料学》线下一流本科课程带头人, 在反刍动物营养调控与饲料开发领域开展了大量的研究示范工作。现任自治区高校“动物营养与饲料科学”重点实验室主任、中国畜牧兽医学动物营养分会常务理事、中国驴产业协会营养与饲料专业委员会副主任、国家草食动物健康生产科技创新联盟常务理事。获得自治区高等教育教学成果一等奖1项, 省部级科技进步一等奖1项、内蒙古农业大学建校70周年教书育人奖。荣获自治区“教学名师”“优秀研究生导师”和“草原英才”称号。主持国家自然科学基金、国家重点研发计划项目等科研课题26项, 累计经费2800余万元, 其中国家自然科学基金7项。发表论文200余篇(SCI收录40余篇), 编写教材与专著20余部。