



全株构树青贮在务川黑牛日粮中饲用价值评价

陈光吉^{1,2,4}, 熊先勤^{1,2}, 何润霞³, 田雄³, 申应龙³, 邹晓敏³, 杨洪³, 尚以顺¹, 赵明坤^{1,2}, 李小冬^{1,4}, 李世歌^{1,4}, 张蓉¹, 舒健虹¹

¹贵州省农业科学院草业研究所, 贵阳 550006; ²贵州阳光草业科技有限责任公司, 贵州独山 558200; ³务川仡佬族苗族自治县畜牧水产服务中心, 贵州务川 564399; ⁴贵州鼎芯农牧科技有限公司, 贵阳 550008

摘要:【目的】探究全株构树青贮(whole *Broussonetia papyrifera* silage, WBPS)对务川黑牛的饲用价值, 以期为构树饲料化的合理利用提供参考依据。【方法】试验采用完全随机试验设计, 将 50 头体重((108.06±14.51) kg)和年龄(约 9 月龄)相近的务川黑牛随机分为 5 个处理组(A 组、B 组、C 组、D 组和 E 组), 每组 10 头牛。按处理组分别饲喂精粗比一致, 含不同比例 WBPS 的日粮(0%、17%、41%、66%和 83%), 试验期 288 d。在试验开始、试验中期(第 175 天, 第 220 天)和试验末期(第 288 天)分别测定各组采食量(DMI)、日增重(ADG)和料重比(DMI/ADG), 试验末期测定体尺、瘤胃发酵参数和胴体品质。【结果】C 组和 D 组的 ADG 分别在试验第 0—175、175—220、220—288 天和全期均高于其他各组($P<0.05$), 而 DMI/ADG 值较低($P<0.05$), 此外, 日粮因子影响了各组参试牛的 ADG 时间梯度变化规律: 随试验期延长, A 组和 B 组的 ADG 呈现显著下降趋势, 而 C 组、D 组和 E 组的 ADG 呈先上升后下降的趋势; D 组的体高和体斜长增量较高, 其次为 C 组($P<0.05$); A 组和 B 组的瘤胃乙酸、丙酸和总挥发性脂肪酸浓度高于其余各组, 但瘤胃微生物蛋白产量以 D 组最高, 是 A 组的 5.27 倍; 试验因子对务川黑牛屠宰率和净肉率无显著影响($P>0.05$), 但增加日粮中 WBPS 的比例降低了胴体脂肪率和肌肉剪切力($P<0.05$); 对各处理组务川黑牛肌肉氨基酸组成和含量无显著差异($P>0.05$), 但降低了饱和脂肪酸含量, 提高了多不饱和脂肪酸含量($P<0.05$)。【结论】WBPS 替代全株玉米青贮作为务川黑牛日粮组成部分, 具有提高务川黑牛日增重、降低料重比、提高瘤胃微生物蛋白产量、降低胴体脂肪率、改善肌肉脂肪酸组成的饲用价值。

关键词: 全株构树青贮; 饲用价值; 务川黑牛

Evaluation of Feeding Value for Whole *Broussonetia papyrifera* Silage in Diet of Wuchuan Black Beef Cattle

CHEN GuangJi^{1,2,4}, XIONG XianQin^{1,2}, HE RunXia³, TIAN Xiong³, SHEN YingLong³, ZOU XiaoMin³, YANG Hong³, SHANG YiShun¹, ZHAO MingKun^{1,2}, LI XiaoDong^{1,4}, LI ShiGe^{1,4}, ZHANG Rong¹, SHU JianHong¹

¹Guizhou Institute of Prataculture, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006; ²Guizhou Sunshine Grass Technology Co., Ltd, Dushan 558200, Guizhou; ³Wuchuan Gelao and Miao Autonomous County Animal Husbandry and Fisheries Service Center, Wuchuan 564399, Guizhou; ⁴Guizhou Dingxin Agriculture and Animal Husbandry Technology Co., Ltd, Guiyang 550008

Abstract: 【Objective】 This study aimed to explore the feeding value of whole *Broussonetia papyrifera* silage (WBPS) on Wuchuan black beef cattle, so as to provide a reference for rational utilization of *Broussonetia papyrifera* as feed. 【Method】 A completely

收稿日期: 2020-08-27; 接受日期: 2021-04-13

基金项目: 贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2019]2355, [2018]2376-1, [2018]2259)

联系方式: 陈光吉, Tel: 15285028157; E-mail: cgjgz09@126.com. 通信作者熊先勤, E-mail: 362853014@qq.com

randomized trial design was used, and fifty head of black beef cattle with similar weight and age ((108.06 ± 14.51) kg, 9 months) were randomly assigned to five dietary treatments: (A, B, C, D, and E). Each treatment had 1 replicate, with 10 steers in each replicate. Each treatment group was fed diets with the same concentrate to forage ratio () for 288 days, and the ratio of A, B, C, D, and E was 0, 17%, 41%, 66% and 83% WBPS, respectively. The dry matter intake (DMI), daily gain (ADG) and feed to weight ratio (DMI/ADG) were measured at the beginning, the middle stage (175th day and 220th day) and the end of the experiment (288th day). The body size, rumen fermentation parameters and carcass quality were measured at the end of the experiment. 【Result】 ADG of C and D were higher than those of other groups at 0-175th day, 175-220th day, 220-288 day and the whole period ($P < 0.05$), while DMI/ADG value was lower ($P < 0.05$). In addition, the dietary factors affected the ADG time gradient of each group: with the prolongation of the experimental period, the ADG of A and B decreased significantly, while that of C, D and E increased firstly and then decreased. The increment of body height and oblique length of D was higher than that of other groups, and the second was group C ($P < 0.05$). The ruminal acetic, propionic and total volatile fatty acids of A and B were higher than those of other groups, but the rumen microbial protein production of D was the highest, which was 5.27 times higher than that of A. The trial factor had no significant effect on slaughter rate and net meat rate of Wuchuan black beef cattle ($P > 0.05$), while increasing the proportion of WBPS in the diet decreased the carcass fat percentage and muscle shear force ($P < 0.05$). There was no significant difference in the composition and content of amino acids in muscle of Wuchuan black beef cattle ($P > 0.05$), but WBPS decreased the content of saturated fatty acids and increased the content of polyunsaturated fatty acids ($P < 0.05$). 【Conclusion】 WBPS replacing whole plant corn silage as a dietary component of Wuchuan beef black cattle could improve daily gain, reduce feed to weight ratio, increase rumen microbial protein production, reduce carcass fat rate, and positively change muscle fatty acid composition.

Key words: Whole *Broussonetia papyrifera* silage; feeding value; Wuchuan beef black cattle

0 引言

【研究意义】通常, 饲料成本占养殖业饲养成本的 70%以上, 可见饲料因素是影响畜禽养殖业盈亏的重要方面^[1]。反刍动物日粮中粗料比例达 50%—90%, 因此在目前人畜争粮矛盾日益凸显的大背景下, 充分开发饲用价值高、取材便利的粗饲料资源成为近年来行业研究热点之一, 而木本饲料在其中占重要地位^[2]。木本饲料是指乔木、灌木、半灌木及木质藤本植物的嫩枝叶、花、果实、种子及其副产品, 可直接被放牧利用, 也可通过采集、刈割和加工后饲喂畜禽, 目前在南亚、东南亚、拉丁美洲、南非等湿热气候国家和地区已将木本饲料作为反刍动物重要饲料来源而广泛应用^[3]。据统计, 我国可做木本饲料的植物达 1 000 多种, 目前应用较多的木本植物包括辣木、柠条、桑树和构树, 其中构树由于营养价值高且适应性广而备受养殖和饲料行业关注^[4]。【前人研究进展】构树 (*Broussonetia papyrifera*), 又名楮树、楮桃子、鹿仔树等, 为多年生落叶乔木, 桑科 (*Moraceae*), 构树属 (*Broussonetia*) 落叶乔木植物, 是我国应用历史悠久的多功能乡土树种, 广泛应用于造纸、饲料、医药等行业^[5]。诸多研究表明, 构树作为一种木本饲料, 其叶中粗蛋白质 (crude protein, CP) 含量达 20%左右, 综合比较氨基酸、维生素和矿物质等养分种类和含量, 构树叶的营养价值介于玉米与大豆之间, 是一

种优质的蛋白源饲料原料^[6]。此外, 构树中的黄酮、挥发油、木脂素、糖苷及萜类等成分较丰富, 具有区别于其他饲用植物的功能性饲用价值, 开发前景较好。近年报道指出, 全株构树青贮 (whole *Broussonetia papyrifera* silage, WBPS) 作为生长猪^[7]、母猪^[8]、黑山羊^[9]等日粮的组成部分具有促进动物采食量、提高养分消化率、改善肉质、降低饲养成本等作用, 直接饲用价值显著。【本研究切入点】务川黑牛是贵州省北部山区的优良地方黄牛品种, 其全身被毛黑色, 体质结实, 体躯匀称, 结构紧凑, 且具有早熟、耐粗饲、抗病力强、遗传性能稳定等特性, 与贵州思南黄牛、黎平黄牛、威宁黄牛和关岭黄牛并称为“贵州 5 大地方牛品种”^[10]。近年来, 为拓展本地饲料资源, 降低饲养成本, 务川黑牛主产区将引进的“杂交构树”作为重要的饲用植物进行了示范推广, 但目前还未见构树在务川黑牛日粮中的饲用价值的系统研究。【拟解决的关键问题】本试验开展了 WBPS 对务川黑牛生长性能、瘤胃发酵和胴体品质的影响, 旨在为构树饲料化的合理利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间和地点

饲养试验和屠宰试验于 2018 年 12 月至 2019 年 9 月在贵州省遵义市务川仡佬族苗族自治县构树产业孵化园区进行, 在贵州省农业科学院草业研究所进行样

品的实验室测定。

1.2 全株构树青贮

本试验研究材料全株构树青贮是指将离地高度为 1.5 m 的杂交构树连同植株的茎和叶进行刈割后,经过切碎揉丝 (3—8 cm) 和裹包贮存 90 d 后开封使用的青贮饲料。青贮前后的营养成分见表 1。

1.3 试验设计和日粮

采用完全随机试验设计,挑选 50 头体重 (108.06±14.51) kg) 和年龄 (约 9 月龄) 相近的务川黑牛 (公母各半) 随机分为 5 个处理组 (A 组、B 组、C 组、D 组和 E 组), 每组 10 头牛。按处理组分别饲喂精粗比一致, 含不同比例全株构树青贮的日粮 (0、17%、41%、66%和 83%), 各处理日粮组成见表 2。

表 1 全株杂交构树青贮前后的营养成分 (干物质基础)

Table 1 Nutritional components of whole plant hybrid *Broussonetia papyrifera* before and after silage (as DM basis)

项目 Item	青贮前 Before silage	青贮后 After silage
干物质 DM (%)	23.62	21.18
粗蛋白质 CP (%)	17.93	18.04
粗灰分 Ash (%)	6.39	7.68
粗脂肪 EE (%)	3.25	3.38
酸性洗涤纤维 ADF (%)	30.69	32.71
中性洗涤纤维 NDF (%)	47.64	49.65
钙 Ca (%)	1.06	1.27
磷 P (%)	0.197	0.211
增重净能 Net energy for gain (MJ·kg ⁻¹)	3.64	3.72
综合净能 Combined net energy (MJ·kg ⁻¹)	5.16	5.22

表 2 各处理组日粮组成及养分含量 (干物质基础)

Table 2 Ingredient and nutrient composition of the total mixed ratio (as DM basis)

项目 Item	A	B	C	D	E
玉米 Corn grain (%)	10.06	10.06	10.06	10.06	10.06
麦麸 Wheat middlings (%)	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
豆粕 Soybean meal (%)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
玉米脱水酒精糟 DDGS (%)	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21
碳酸钙 Calcium bicarbonate (%)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
磷酸氢钙 Dicalcium phosphate (%)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
碳酸氢钠 Sodium bicarbonate (%)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
食盐 Sodium chloride (%)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
预混料 Premix ¹⁾	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
玉米青贮 Corn silage (%)	83.23	66.17	42.12	17.06	0.00
全株构树青贮 Whole <i>Broussonetia papyrifera</i> silage (%)	0	17.06	41.12	66.17	83.23
合计 Total	100	100	100	100	100
营养水平 ²⁾ Nutrient level (%)					
干物质 DM (%)	37.97	38.31	38.8	39.3	39.63
粗蛋白质 CP (%)	10.65	11.63	13.35	15.47	17.17
粗灰分 Ash (%)	4.84	4.94	5.11	5.32	5.49
粗脂肪 EE (%)	3.26	3.32	3.42	3.54	3.64
酸性洗涤纤维 ADF (%)	22.74	22.80	22.93	23.08	23.20
中性洗涤纤维 NDF (%)	39.94	40.29	40.93	41.70	42.33
钙 Ca (%)	0.50	0.58	0.73	0.92	1.06
磷 P (%)	0.36	0.35	0.34	0.32	0.31
NFC/NDF 值	1.03	0.99	0.91	0.81	0.73
增重净能 Net energy for gain (MJ·kg ⁻¹)	4.90	4.82	4.71	4.60	4.53
综合净能 Combined net energy (MJ·kg ⁻¹)	6.56	6.47	6.36	6.24	6.16

¹⁾ 预混料为每千克饲料提供 Provided as per kilogram of diet: vitamin A, 1,500 IU; vitamin D, 550 IU; vitamin E, 10 IU; Fe (as ferrous sulfate), 20 mg; Mn (as manganese sulfate), 40 mg; Zn (as zinc sulfate), 30 mg; I (as potassium iodide), 0.5 mg; Se (as sodium selenite), 0.3 mg; and Co (as cobalt chloride), 0.2 mg

²⁾ 除 NFC/NDF 值、增重净能和综合净能为计算值外, 其他养分为实测值 Nutrient levels were measured values, except for NFC/NDF value, net energy for gain and combined net energy that were calculated values

1.4 饲养管理

试验前将圈舍消毒处理，试验牛用伊维菌素注射液进行肌注驱虫。然后称重分组后对每头牛只单栏拴系饲养，每头牛所占地面空间约 1.2 m²。每日饲喂 2 次饲粮（8:00 和 16:00），自由采食，自由饮水，预饲期 15 d，试验期 288 d。

1.5 样品采集及检测指标

1.5.1 生产性能和体尺 在试验开始、试验中期（第 175 天）和试验末期（第 288 天）分别对每头牛只准确称重，根据前后体重差与试验时间计算平均日增重（ADG）。记录每天每头牛饲粮的饲喂量和剩料量，每 2 周采集饲料样品，混合后测定营养成分，计算各组干物质采食量（DMI）。饲料样中 DM、CP、EE、Ash、Ca 和 P 的测定参照张丽英^[11]的方法进行，ADF 和 NDF 参照 VAN SOEST 等^[12]方法测定。除 DM 外，其余指标均换算为 DM 基础。此外，参照张沅^[13]所述的方法分别在试验开始和结束时测定参试牛体斜长、体高和胸围，计算试验前后的体斜长增量、体高增量和胸围增量。

1.5.2 瘤胃发酵参数 饲养试验结束后第 1 天（第 289 天，每组试验处理不变），每组随机选取 3 头牛于晨饲后 2 h 同时屠宰，用 4 层纱布过滤瘤胃内容物后取瘤胃液 60 mL，立即用 PHB-5 型便携式 pH 计（杭州天威工贸有限公司）测定瘤胃液 pH 值，然后在 3 500×g，4℃ 条件下离心 15 min 后取上清，用于测定挥发性脂肪酸（VFA）（气相色谱法）^[14]。

微生物蛋白（MCP）浓度的测定参考王洪荣等^[15]的方法测定：取瘤胃液 5 mL 离心（1 000 r/min）10 min，弃沉淀，取上清，上清液经 22 000 r/min 离心 10 min 后，弃上清液加入 5 mL、10%三氯乙酸（TCA），混匀后置室温 30 min，离心（6 000 r/min、10 min），弃上清液再加入 5 mL，5%的 NaOH 混匀溶解后，离心（6 000 r/min、10 min），取上清液用 756 型紫外光光度计测定 OD₂₈₀ 和 OD₂₆₀ 值。 $Pr\ (mg\cdot mL^{-1}) = (1.45 \times OD_{280} - 0.74 \times OD_{260}) \times \text{稀释倍数}$ 。

1.5.3 胴体品质 采集瘤胃液样品的同时进行胴体指标称量与记录。每头牛经放血、去头、去蹄、剥皮、开膛去内脏、劈半冲洗、修整胴体后，分别称量胴体、净肉、骨、皮、尾和脂肪重。屠宰性能指标包括屠宰率、净肉率、脂肪率、骨重率、尾重率、头重率和皮重率。从左半胴体的 12—13 肋骨间取背最长肌，作为肉质试验样品分别测定剪切力（C-LM 3b 型嫩度仪，南京铭奥仪器设备有限公司）、滴水损失、氨基

酸和脂肪酸含量等肉质理化指标。其中，肌肉剪切力和滴水损失参照李光全等^[10]方法测定，氨基酸和蛋黄脂肪酸含量测定分别参照《GB/T 5009.124-2003 食品中氨基酸的测定》^[16]和《GB 5009.168-2016 食品中脂肪酸的测定》^[17]的方法进行。

氨基酸含量测定：取牛肉样品 100 mg 左右（精确至 0.0001 g）置于氨基酸水解管中，加入 20 mL 浓度为 6 mol·L⁻¹ 的盐酸溶液及 100 mL 的巯基乙醇，氮气保护状态下封管，于 110℃ 恒温干燥箱中水解 22 h。冷却至室温后用超纯水定容至 50 mL，取 2.0 mL 滤液置于洁净试管中，真空干燥箱中 70℃ 蒸干，残留物用同体积超纯水重复清洗蒸干 2 次。最后加入 1.0 mL 上机缓冲液稀释，摇匀后过水系滤膜（0.22 μm）上机待测（日立全自动氨基酸分析仪 L-8900，成都博力科维科技有限公司）。

脂肪酸含量测定：取牛肉样品 100 mg 左右（精确至 0.0001 g）转移至 15 mL 螺口试管中，依次加入 1 mL 正己烷，1 mL 内标液（1 mg·mL⁻¹ 十一烷酸甲酯-正己烷溶液）再加入 4 mL 甲醇：乙醚氯（体积比 10：1）混合液，混匀后将试管置于 80℃ 水浴锅甲酯化 3 h，取出冷却至室温，慢慢加入 5 mL 7% 碳酸钾溶液，涡旋混匀 5—10 min 后，4 000 r/min 离心 5 min，取 1.2 mL 上层有机相进行分析。色谱仪为 Agilent 7890B 气相色谱仪（杭州瑞析科技有限公司，色谱柱柱长×内径×膜厚=60 m×0.25 mm×0.2 μm），

色谱条件：载气为氦气，进样器温度 270℃，检测器温度 280℃，程序升温：初始温度 100℃，持续 13 min，100—180℃，升温速率 10℃/min，保持 6 min，100—180℃，升温速率 10℃/min，保持 6 min，200—230℃，升温速率 4℃·min⁻¹，保持 10.5 min；分流比：100：1，进样体积：1.0 μL。

1.6 统计分析

采用 SPSS 18.0 统计软件中的一般线性模型（general linear model, GLM），按照单因子完全随机试验设计进行方差分析，主效应为全株构树青贮在日粮中的比例，用 Duncan 法进行多重比较。 $P < 0.05$ 表示差异显著， $P < 0.10$ 表示有差异显著的趋势。结果用平均值表示，各处理间变异度用平均值的标准误表示（standard error mistake, SEM）。

2 结果

2.1 生长性能

表 3 可见，各处理组在不同试验期的生产性能表

现有较大差异。在试验第 0—175 天,各处理组 ADG 无显著差异 ($P>0.05$),但试验因子对 DMI 和 DMI/ADG 值有显著影响 ($P<0.05$),其中 C 组和 D 组的 DMI 显著低于其余各处理 ($P<0.05$),DMI/ADG 值则以 C 组最低 ($P<0.05$);在 175—220 天阶段, D 组 ADG 为 $0.66\text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$,分别比 E 组、B 组和 A 组提高 12.1%、16.7%和 28.8% ($P<0.05$),与 C 组差异不显著 ($P>0.05$),DMI 以 C 组和 E 组较低 ($P<0.05$),

而 A 组的 DMI/ADG 值比 B 组、C 组、D 组和 E 组分别大 17.0%、31.8%、34.1%和 28.3% ($P<0.05$);类似地,试验第 220—288 天, C 组和 D 组的 ADG 较高 ($P<0.05$), DMI 以 E 组最低 ($P<0.05$), C 组、D 组和 E 组的 DMI/ADG 值分别低于其余两组 ($P<0.05$);从全期上看 (0—288d),各处理 ADG 无显著差异 ($P>0.05$),但 C 组的 DMI 最低 ($P<0.05$),且 C 组和 D 组的 DMI/ADG 值较低 ($P<0.05$)。

表 3 各处理组在各试验期的生长性能比较

Table 3 Comparison of growth performance of each treatment in each trial period

试验期 Trial period	指标 Index	处理 Treatment					标准误 SEM	P
		A	B	C	D	E		
0-175 d	始重 Initial BW (kg)	110.67	105.33	106.56	108.90	108.70	2.12	0.950
	末重 Final BW (kg)	207.44	207.33	205.56	215.60	200.40	3.38	0.713
	日增重 ADG ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$)	0.55	0.58	0.57	0.61	0.52	0.01	0.441
	干物质采食量 DMI ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$)	4.20a	4.27a	3.70b	4.00ab	4.05ab	0.07	0.025
	DMI/ADG	7.60a	7.32a	6.55b	6.57b	7.72a	0.07	0.018
175-220 d	始重 Initial BW (kg)	207.44	207.33	205.56	215.60	200.40	3.38	0.713
	末重 Final BW (kg)	228.78	232.00	233.67	245.50	226.60	3.60	0.493
	日增重 ADG ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$)	0.47d	0.55c	0.62ab	0.66a	0.58bc	0.02	0.001
	干物质采食量 DMI ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$)	5.77a	5.70a	5.18bc	5.33ab	5.08c	0.93	0.035
	DMI/ADG	12.17a	10.40b	8.30de	8.02e	8.72cd	1.96	0.003
220-288 d	始重 Initial BW (kg)	228.78	232.00	233.67	245.50	226.60	3.40	0.493
	末重 Final BW (kg)	260.44	268.11	272.33	286.30	262.50	3.63	0.220
	日增重 ADG ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$)	0.47c	0.53bc	0.57ab	0.60a	0.53bc	0.01	0.014
	干物质采食量 DMI ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$)	5.57ab	5.76a	5.41b	5.59ab	5.19c	1.64	0.039
	DMI/ADG	11.96a	10.85b	9.51c	9.31c	9.83c	1.62	0.013
0-288d (全期) Whole period	始重 Initial BW (kg)	110.67	105.33	106.56	108.90	108.70	2.12	0.950
	末重 Final BW (kg)	260.44	268.11	272.33	286.30	262.50	3.63	0.220
	日增重 ADG ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$)	0.520	0.565	0.576	0.616	0.534	0.013	0.138
	干物质采食量 DMI ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$)	4.64a	4.72a	4.05c	4.48ab	4.39b	0.63	0.007
	DMI/ADG	8.92a	8.36ab	7.03c	7.27c	8.22b	0.82	0.004

同行数据标不同小写字母表示差异显著 $P<0.05$ 。下同

In the same line, values followed with different superscript lowercases mean significant difference ($P<0.05$). The same as below

2.2 体尺

表 4 可看出,试验因子对各处理组再试验末的体高、体斜长和胸围无显著影响 ($P>0.05$),但显著改变了试验前后的体高增量 ($P=0.035$)和体斜长增量 ($P=0.046$),且均以 D 组最高 ($P<0.05$),其次为 C 组,各组胸围增量无显著差异 ($P>0.05$)。

2.3 瘤胃发酵参数和微生物蛋白

表 5 显示,试验因子未显著影响牛瘤胃 pH 值 ($P>0.05$),但改变了乙酸、丙酸、异丁酸、丁酸、戊酸、乙酸/丙酸值、总挥发性脂肪酸和微生物蛋白的产量 ($P<0.05$)。其中,乙酸以 A 组最高 ($P<0.05$),其次为 B 组和 D 组 ($P<0.05$);A 组和 B 组的丙酸

表 4 各处理组体尺增量比较

Table 4 Comparison of increment of body measurements of each treatment

项目 Item		处理组 Treatment					标准误 SEM	P
		A	B	C	D	E		
试验初 Beginning of trial	体高 Body height	94.44	90.00	91.11	93.17	92.71	0.74	0.358
	体斜长 Body oblique length	98.67	92.38	93.33	90.83	93.29	0.89	0.070
	胸围 Chest measurement	113.78	111.25	114.11	114.33	113.14	0.93	0.898
试验末 End of trial	体高 Body height	113.78	112.88	114.33	118.33	113.29	1.03	0.446
	体斜长 Body oblique length	137.78	132.63	135.00	136.17	132.00	1.22	0.503
	胸围 Chest measurement	156.33	155.38	160.89	158.33	154.86	1.03	0.439
体高增量 Increment of body height		19.33d	22.88b	23.22b	25.17a	20.57cd	0.99	0.035
体斜长增量 Increment of body oblique length		39.11cd	40.25bc	41.67b	45.33a	38.71d	1.07	0.046
胸围增量 Increment of chest measurement		42.56	44.13	46.78	44.67	41.71	0.79	0.412

表 5 各处理组瘤胃发酵参数和微生物蛋白含量变化

Table 5 Changes of rumen fermentation parameters and microbial protein concentration of each treatment

项目 Item	处理组 Treatment					标准误 SEM	P
	A	B	C	D	E		
pH 值 pH value	6.24	6.28	6.26	6.26	6.21	0.02	0.524
挥发性脂肪酸 VFAs (mmol·L ⁻¹)							
乙酸 Acetate	27.04a	20.76b	13.36c	18.08b	12.82c	0.48	0.015
丙酸 Propionate	5.94a	5.79a	3.21c	4.82b	2.95c	0.61	0.039
异丁酸 Isobutyric acid	1.12a	1.09a	0.74c	0.97a	0.74c	0.08	0.005
丁酸 Butyrate	3.41a	2.52b	1.73c	2.40b	0.99d	0.36	0.017
异戊酸 Isovaleric acid	1.65	1.61	1.10	1.47	1.22	0.12	0.164
戊酸 Valeric acid	0.39a	0.30ab	0.14c	0.24b	0.14c	0.04	0.026
乙酸/丙酸值 Acetate/Propionat ratio	4.50ab	3.64c	4.22b	3.86c	4.83a	0.20	0.013
总挥发性脂肪酸 TVFA	40.21a	32.75b	20.91d	28.36c	19.17d	0.61	<0.001
微生物蛋白 MCP mg·mL ⁻¹	0.15e	0.25d	0.51c	0.79a	0.61b	0.06	<0.001

产量显著高于各组($P<0.05$),其次为 D 组($P<0.05$),各处理组异丁酸、丁酸和戊酸与丙酸变化趋势类似;乙酸/丙酸值以 B 组和 D 组最低 ($P<0.05$),总挥发性脂肪酸产量排序为 A 组>B 组>D 组>C 组和 E 组 ($P<0.05$);微生物蛋白产量从高到低分别为 D 组、E 组、C 组、B 组和 A 组 ($P<0.05$)。

2.4 屠宰性能和肌肉理化性质

表 6 可看出,饲料因子对各处理肉牛的屠宰率、净肉率、尾重率和皮重率无显著影响 ($P>0.05$),但显著改变了骨重率、头重率、脂肪率和肌肉剪切力 ($P<0.05$),且有显著影响肌肉滴水损失率的趋势 ($P<0.10$)。其中,骨重率、头重率和肌肉剪切力均以

A 组最高 ($P<0.05$),脂肪率以 A 组和 B 组较高 ($P<0.05$),C 组和 D 组最低 ($P<0.05$),肌肉剪切力以 A 组最高 ($P<0.05$),B 组和 C 组最低 ($P<0.05$)。

2.5 肌肉氨基酸

表 7 可见,试验因子对 16 种肉牛肌肉氨基酸组成和含量无显著影响 ($P>0.05$)。

2.6 肌肉脂肪酸

表 8 显示,各处理组肉牛肌肉的二十碳一烯酸、 α -亚麻酸、二十碳三烯酸、花生四烯酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量差异显著 ($P<0.05$),总脂肪酸和饱和脂肪酸含量有差异显著的趋势 ($P<0.10$),其中,二十碳一烯酸以 A 组最高, C 组最低;单不饱

和脂肪酸含量以 A 组和 B 组较高 ($P<0.05$)，而 α -亚麻酸呈相反趋势；二十碳三烯酸以 E 组较低，D 组和 E 组的花生四烯酸含量较高 ($P<0.05$)，A 组则未检出；从数值上看，D 组的总脂肪酸和饱和脂肪酸含量最低 ($P<0.10$)，而多不饱和脂肪酸则以 A 组最低 ($P<0.05$)。

表 6 各处理组屠宰性能、肌肉积滴水损失和剪切力的比较

Table 6 Comparison of slaughter performance, muscle drip loss and shear force of each treatment

项目 Item	处理组 Treatment					标准误 SEM	P
	A	B	C	D	E		
屠宰率 Slaughter rate (%)	54.66	52.82	55.58	52.77	53.53	0.006	0.443
净肉率 Net meat rate (%)	46.04	45.92	48.20	45.50	46.98	0.005	0.610
骨重率 Bone weight rate (%)	8.62a	6.90bc	7.38b	7.27c	6.56c	0.226	0.013
头重率 Head weight rate (%)	2.95a	2.70b	2.90a	2.81ab	2.48c	0.054	0.015
尾重率 Tail weight rate (%)	0.26	0.24	0.23	0.26	0.24	0.008	0.718
皮重率 Tare weight rate (%)	9.59	8.31	7.98	8.29	6.98	0.317	0.113
脂肪率 Fat rate (%)	7.28a	7.25a	5.07c	5.18c	6.47b	0.343	0.040
滴水损失率 Drip loss rate (%)	2.08	1.96	2.75	2.44	2.79	0.180	0.051
剪切力 Shear force (N·cm ⁻²)	44.52a	38.02c	39.69bc	41.06b	41.16b	0.710	0.020

表 7 各处理组肉牛肌肉氨基酸组成和含量的比较

Table 7 Comparison of composition and content of amino acids in beef cattle muscle of each treatment (g/100g)

项目 Item	处理组 Treatment					标准误 SEM	P
	A	B	C	D	E		
天冬门氨基酸 Asparagine	2.08	2.03	2.07	2.10	2.14	0.030	0.879
苏氨酸 Threonine	1.01	0.97	0.97	0.99	1.01	0.015	0.899
丝氨酸 Serine	0.85	0.84	0.83	0.83	0.86	0.013	0.955
谷氨酸 Glutamate	3.64	3.50	3.56	3.59	3.69	0.057	0.894
甘氨酸 Glycine	0.91	0.91	0.90	0.92	0.94	0.011	0.833
丙氨酸 Alanine	1.31	1.26	1.24	1.26	1.30	0.018	0.779
缬氨酸 Valine	1.05	1.03	1.04	1.06	1.07	0.013	0.907
异亮氨酸 Isoleucine	1.05	1.01	1.03	1.04	1.06	0.016	0.907
亮氨酸 Leucine	1.85	1.81	1.83	1.85	1.91	0.026	0.887
酪氨酸 Tyrosine	0.88	0.83	0.86	0.88	0.88	0.009	0.388
苯丙氨酸 Phenylalanine	0.93	0.90	0.91	0.93	0.91	0.011	0.891
赖氨酸 Lysine	2.00	1.96	2.05	2.05	2.08	0.029	0.752
组氨酸 Histidine	0.91	0.88	0.87	0.90	0.88	0.011	0.864
精氨酸 Arginine	1.33	1.36	1.42	1.38	1.49	0.023	0.232
脯氨酸 Proline	0.74	0.73	0.76	0.77	0.80	0.012	0.523
蛋氨酸 Methionine	0.63	0.60	0.59	0.60	0.61	0.010	0.823
16 种氨基酸总量 Total 16 amino acids	21.17	20.62	20.95	21.17	21.64	0.282	0.887

表 8 各处理组肉牛肌肉脂肪酸组成和含量的比较

Table 8 Comparison of composition and content of fatty acids in beef cattle muscle of each treatment (g/100 g)

项目 Item	处理组 Treatment					标准误 SEM	P
	A	B	C	D	E		
肉豆蔻油酸 Myristoleic (C14:1n5)	0.035	0.052	0.020	0.021	0.020	0.008	0.688
十五(烷)酸 Pentadecanoic (C15:0)	0.010	0.016	0.011	0.010	0.013	0.002	0.910
棕榈酸 Palmitic (C16:0)	0.942	1.288	0.945	0.870	1.119	0.196	0.976
棕榈油酸 Palmitoleic (C16:1n7)	0.154	0.198	0.103	0.104	0.128	0.029	0.877
十七碳酸 Heptadecanoic (C17:0)	0.000	0.017	0.030	0.028	0.039	0.007	0.438
硬脂酸 Stearic (C18:0)	0.485	0.358	0.655	0.612	0.735	0.115	0.895
油酸 Oleic (C18:1n9c)	1.781	1.903	1.301	1.181	1.537	0.324	0.966
亚油酸 Linoleic (C18:2n6c)	0.081	0.092	0.080	0.075	0.080	0.008	0.985
二十碳一烯酸 Eicosaenoic (C20:1)	0.011a	0.007b	0.004c	0.005b	0.005b	0.002	0.021
α-亚麻酸 α-Linolenic (C18:3n3)	0.007d	0.011c	0.012bc	0.013ab	0.016a	0.001	0.006
二十碳三烯酸 Eicosapentaenoic (C20:3n6)	0.007a	0.006a	0.005ab	0.005ab	0.004b	0.001	0.043
花生四烯酸 Arachidonic (C20:4n6)	0.000c	0.016b	0.017b	0.021a	0.021a	0.003	0.031
总脂肪酸 Total fatty acids (TFA)	3.622	4.144	3.301	3.061	3.852	0.667	0.072
饱和脂肪酸 Saturated fatty acids (SFA)	1.545	1.860	1.759	1.636	2.040	0.015	0.065
单不饱和脂肪酸 Monounsaturated fatty acids (MUFA)	1.982a	2.160a	1.427c	1.311c	1.690b	0.061	0.024
多不饱和脂肪酸 Polyunsaturated fatty acids (PUFA)	0.095c	0.125a	0.115ab	0.113b	0.122a	0.002	0.031

3 讨论

3.1 生长性能和体尺

动物的生长速度是基于其健康状态和管理水平等因素的综合表现，在动物品种和年龄、饲养管理、环境控制等条件一致情况下，日粮结构的合理性是决定其生长速度的关键因素^[18]。反刍动物日粮中粗料比例达 50%—90%，因此粗饲料的可消化养分含量对动物的生长和生产至关重要。本研究以务川黑牛日粮不同比例的 WBPS 为试验因子，以直接饲喂的方法评其饲用价值，结果显示：在 17 : 83 的精粗比条件下，日粮中添加 41%和 66%的 WBPS 在试验第 0—175 天获得了较低的 DMI/ADG,在第 175—220 天和第 220—288 天阶段有较高的 ADG,且整个试验期的 DMI/ADG 较低，而体高和体斜长增量也呈现类似规律，可见，一方面 WBPS 作为务川黑牛日粮粗饲料的组成部分，表现出与玉米青贮不同的饲用价值，且适宜的添加比例为 41%—66%，这可能与两种粗料的可消化养分含量差异有关；另一方面，当日粮中的粗料全为 WBPS 时，参试牛并未获得最佳生长性能，这提示 WBPS 与玉米青贮可能存在功能互作的现象，但需要对两者互作的

机制做进一步探讨。

本试验还总结了务川黑牛从 9 月龄至约 19 月龄的生长规律，显示各处理组的最高 ADG 值均出现在 175—220 d 的试验期（即 15—16 月龄），这提示务川黑牛的不同生长阶段的营养需求有较大差异，同时本试验在全期采用的固定精粗比的策略在生产实践中存在不合理性，这与人前诸多研究结果一致^[19-21]。此外，从 ADG 的绝对值上看，本试验中务川黑牛最高值为 0.66 kg·d⁻¹（175—220 d 试验期的 D 组），到 19 月龄最大体重、体高、体斜长和胸围分别为 286.3 kg, 118.3 cm、137.8 cm 和 160.9 cm，这与人前报道的其他典型肉牛品种有较大差距：梁永虎等^[22]研究指出西门塔尔肉牛从 0 月龄到 20 月龄最大 ADG 值为 1.14 kg·d⁻¹, 19 月龄体重、体高、体斜长和胸围为 536.9 kg, 131.3 cm、147.9 cm 和 195.8 cm，表明务川黑牛在肉用性能方面还需加强品种改良和饲养标准等方面的基础研究。

3.2 瘤胃发酵参数和微生物蛋白

反刍动物瘤胃液 pH 值和食糜中挥发性脂肪酸产量是衡量瘤胃生理功能是否正常的重要参数。其中瘤胃正常 pH 值为 6.0—6.7，一般认为 pH 值低于 5.8 作为判断发生瘤胃亚急性酸中毒的阈值^[23]，本试验中各

处理组 pH 值为 6.21—6.28, 属正常范围, 且各处理无显著差异, 表明本试验所设计日粮对瘤胃健康未产生负面影响。瘤胃挥发性脂肪酸作为反刍动物重要的能量来源, 其产量和相互比例是反映日粮结构的重要标志, 研究表明, 日粮中 NFC/NDF 值与瘤胃挥发性脂肪酸 (VFA) 产量成正比, 即日粮中非结构性碳水化合物在瘤胃中可迅速分解产生更多的 VFA^[24]。本试验中, 乙酸和总的 VFA 产量随日粮中 WBPS 比例的提高呈下降的趋势, 这与各处理组日粮 NFC/NDF 值的变化趋势 (A—E 组=0.90—0.66) 相吻合, 同时反映了 WBPS 与玉米青贮的碳水化合物结构及其瘤胃降解特性存在较大差异。此外, 本试验结果显示各处理瘤胃液乙酸、丙酸和 TVFA 浓度分别为 12.82—27.04、2.95—5.94 和 19.17—40.21 mmol·L⁻¹, 低于前人研究结果^[25], 可能与两个方面因素有关: 一是务川黑牛因体重较小 (18 月龄最大体重为 286.30 kg), 且采食量较低 (DMI 最高为 4.72 kg), 致使供给瘤胃微生物的可发酵底物量较少, 进而造成瘤胃 VFA 浓度偏低; 二是由于瘤胃微生物发酵是一个复杂的生态体系, VFA 作为日粮中糖类代谢的终产物, 其产量也时刻处于动态变化中, 即不断产生, 同时作为碳源合成微生物蛋白进入后消化道^[26], 因此瘤胃液中的 VFA 含量与测定时间点和宿主利用效率密切相关, 而本研究采用屠宰采集瘤胃液的方法仅测定了 VFA 的“瞬时”含量, 未客观体现 VFA 动态变化规律, 因此本研究结果的参考意义在于各处理组 VFA 变化趋势, 产量规律则需改进样品采集方法后再研究。

瘤胃微生物蛋白 (MCP) 是供应反刍动物维持生长和生产所需蛋白质的重要途径, 占可代谢蛋白的 50%—100%^[27], 故 MCP 的产量一定程度上代表了日粮结构的合理性。多种因素会影响 MCP 的合成效率, 其中日粮氨基酸、小肽和非蛋白氮等氮源的组成和产量, 以及 VFA 等碳源的供应量是主要的两个方面, 两者的平衡供给是提高 MCP 产量的关键因素^[28]。本研究显示, MCP 产量随 WBPS 比例提高呈先升后降的趋势, 顶点出现在 83% 构树青贮处理组, 比未添加构树青贮组提高了 4.26 倍, 该结果提示肉牛日粮中适宜比例的 WBPS 有利于瘤胃微生物生长。然而, 值得注意的是, 本试验显示肉牛瘤胃最大 MCP 产量并未出现在全构树青贮日粮组, 这可能与瘤胃碳氮供应平衡度有关, 再次说明肉牛日粮中 WBPS 与玉米青贮存在互相促进的组合效应, 与本试验的生长性能结果吻合。

3.3 屠宰性能和肉质

屠宰性能是动物重要的经济性性状, 主要受动物品种 (遗传特性) 和营养的影响, 其中营养因素包括日粮能量、蛋白质、抗氧化剂、维生素 E、维生素 C、维生素 A 和糖分解酶抑制剂等^[29]。本研究结果表明, 日粮中添加 WBPS 未显著改变务川黑牛的屠宰率和净肉率, 但降低了胴体脂肪率和肌肉剪切力, 这说明 WBPS 型日粮可能会通过影响机体脂质代谢, 使得吸收的脂肪成分更倾向于在肌肉组织中沉积, 而不是皮下组织和内脏组织, 具体机制还需进一步研究。对于屠宰率和净肉率, 李光全等^[10]对 24 月龄纯种放牧型务川黑牛的屠宰性能测定分析得出其屠宰率和净肉率分别为 50.21% 和 40.72%, 均低于本试验各处理组得出的结果 (屠宰率为 52.82%—55.58%, 净肉率为 45.50%—48.20%), 这可能与两者的饲养方式和营养水平差异有关, 说明在舍饲条件下提高营养水平可进一步挖掘务川黑牛肉用特性的遗传潜能。

氨基酸是蛋白质的基本构成单位, 故蛋白质的营养实质上指氨基酸的营养, 因此, 肉中的氨基酸组成和含量直接影响肉的营养价值, 本试验发现, 务川黑牛肉中氨基酸种类丰富, 含量较高, 是较优质的食物蛋白源, 而试验因子对肉中氨基酸组成及含量无显著的影响, 说明肉中氨基酸组成和含量与 WBPS 因子可能没有直接关系。此外, 牛肉的高营养价值除了指高含量的蛋白质外, 还体现在合理的脂肪酸组成上。研究表明, 肉中脂肪酸种类和含量与人体的健康有密切联系, 其中饱和脂肪酸 (SFA) 的摄取量过高是血液中胆固醇和低密度脂蛋白 (LDL) 升高的主要原因, 会继发引起动脉管腔狭窄, 形成动脉粥样硬化, 增加患冠心病的风险^[30]; 不饱和脂肪酸 (UFA) 主要指单不饱和 (MUFA) 及多不饱和脂肪酸 (PUFA), 这两种脂肪酸对人体健康有很大益处, 其中 MUFA 可降低血中 LDL 含量, 进而预防动脉硬化, 而 PUFA 在体内具有改善血液循环、降血脂、抑制血小板凝集、阻抑动脉粥样硬化斑块和血栓形成等功效, 对心脑血管病有良好的防治效果等^[31]。本试验发现, 精料-青贮玉米-WBPS 型日粮中, 41% 和 66% 的 WBPS 组肉牛肌肉中 SFA 含量最低, 而 PUFA 含量较高, 其中对照组 (不含 WBPS) 中未检出花生四烯酸, 含有构树青贮则均检出, 这说明构树青贮作为务川黑牛的日常结构变化因子, 可能对其脂肪酸代谢和肌肉脂肪酸沉积有显著影响, 且这种影响是倾向于肌肉脂肪酸饱和度降低的方向, 但上述变化的机制还需在分子水平上进行深入解析。

4 结论

全株构树青贮替代全株玉米青贮作为务川黑牛日粮组成部分, 具有提高务川黑牛日增重、降低料重比、提高瘤胃微生物蛋白产量、降低胴体脂肪率、改善肌肉脂肪酸组成的饲用价值。

参考文献 References

- [1] BOWMAN J G P, SOWELL B F, SURBER L M M, DANIELS T K. Nonstructural carbohydrate supplementation of yearling heifers and range beef cows. *Journal of Animal Science*, 2004, 82(9): 2724-2733.
- [2] ZHANG Y C, LI D X, WANG X K, LIN Y L, ZHANG Q, CHEN X Y, YANG F Y. Fermentation dynamics and diversity of bacterial community in four typical woody forages. *Annals of Microbiology*, 2019, 69(3): 233-240.
- [3] 谭桂华, 刘子琦, 肖华, 曹洋. 构树的饲用价值及应用. *中国饲料*, 2017(20): 32-35.
TAN G H, LIU Z Q, XIAO H, CAO Y. Feeding value and application of *Broussonetia papyrifera*. *China Feed*, 2017(20): 32-35. (in Chinese)
- [4] 陈志雄, 陈郭平, 孙加节, 陈婷, 张永亮. 四种木本饲料在畜禽养殖中的应用. *广东饲料*, 2019, 28(3): 38-41.
CHEN Z X, CHEN G P, SUN J J, CHEN T, ZHANG Y L. Application of four kinds of woody forages in livestock and poultry breeding. *Guangdong Feed*, 2019, 28(3): 38-41. (in Chinese)
- [5] 张秋玉, 李远发, 梁芳. 构树资源研究利用现状及其展望. *广西农业科学*, 2009, 40(2): 217-220.
ZHANG Q Y, LI Y F, LIANG F. The research and utilization status of *Broussonetia papyrifera* resources and its prospect. *Guangxi Agricultural Sciences*, 2009, 40(2): 217-220. (in Chinese)
- [6] 杨祖达, 陈华, 叶要妹, 吴静清. 构树叶资源利用潜力的初步研究. *湖北林业科技*, 2002, 31(1): 1-3.
YANG Z D, CHEN H, YE Y M, WU J Q. Preliminary study on the potential for utilizing the leaf resources of *Broussonetia papyrifera*, vent. *Hubei Forestry Science and Technology*, 2002, 31(1): 1-3. (in Chinese)
- [7] 黄彦兴, 黄静, 许小斌, 蓝晓明, 潘木水. 无抗日粮中添加发酵构树粉对肉猪生长性能及健康度的影响. *广东饲料*, 2019, 28(4): 41-43.
HUANG Y X, HUANG J, XU X B, LAN X M, PAN M S. Effect of fermented powder of *Broussonetia papyrifera* supplementation in antibiotic free diet on growth performance and health of swine. *Guangdong Feed*, 2019, 28(4): 41-43. (in Chinese)
- [8] 李玉莲, 吴买生, 谭红, 李朝晖, 夏敏. 构树生物发酵饲料饲喂妊娠后期母猪效果研究. *养猪*, 2019(5): 13-14.
LI Y L, WU M S, TAN H, LI Z H, XIA M. Study on the effect of bio-fermentation feed with *Broussonetia papyrifera* on swine in late pregnancy. *Swine Production*, 2019(5): 13-14. (in Chinese)
- [9] 杨旸, 杨嘉麟. 构树作为青贮饲料投喂黑山羊的应用效果研究. *畜禽业*, 2019, 30(5): 19.
YANG Y, YANG J L. Study on the application of *Broussonetia papyrifera* as silage to black goat. *Livestock and Poultry Industry*, 2019, 30(5): 19. (in Chinese)
- [10] 李光全, 邓位喜, 李佳剑, 田锋, 肖贵榜, 田雄. 务川黑牛不同杂交组合屠宰性能及肉质研究. *中国畜牧杂志*, 2019, 55(7): 63-66.
LI G Q, DENG W X, LI J J, TIAN F, XIAO G B, TIAN X. Study on meat yield and meat quality of different hybrid combinations of Wuchuan black cattle. *Chinese Journal of Animal Science*, 2019, 55(7): 63-66. (in Chinese)
- [11] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术. 3 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
ZHANG L Y. Feed Analysis and Feed Quality Detection Technology. 3rd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2007. (in Chinese)
- [12] VAN SOEST P J, SNIFFEN C J, MERTENS D R R. A net protein system for system for cattle: the rumen submodel for nitrogen// OWENS F N. Protein Requirements for Cattle: Proceedings of an International Symposium. Stillwater: Oklahoma State University, 1981: 265.
- [13] 张沅. 家畜育种学. 北京: 中国农业出版社, 2001: 98-105.
ZHANG Y. Animal Breeding. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2001: 98-105. (in Chinese)
- [14] 曹庆云, 周武艺, 朱贵钊, 颜惜玲, 叶慧. 气相色谱测定羊瘤胃液中挥发性脂肪酸方法研究. *中国饲料*, 2006(24): 26-28.
CAO Q Y, ZHOU W Y, ZHU G Z, YAN X L, YE H. Study on the methods of determination of volatile fatty acid in the rumen liquid of lambs by gas chromatography. *China Feed*, 2006(24): 26-28. (in Chinese)
- [15] 王洪荣, 陈旭伟, 王梦芝. 茶皂素和丝兰皂苷对山羊人工瘤胃发酵和瘤胃微生物的影响. *中国农业科学*, 2011, 44(8): 1710-1719.
WANG H R, CHEN X W, WANG M Z. Effect of *Yucca schidigera* saponin and tea saponin mixture on the rumen fermentation and its fibrolytic bacterial activity in the rusitec substrates with different concentrate to forage ratio. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(8): 1710-1719. (in Chinese)
- [16] 贾建斌, 赵熙和. GB/T 5009.124-2003, 食品中氨基酸的测定. 北京: 中国国家标准化管理委员会, 2003.
JIA J B, ZHAO X H. GB/T 5009.124-2003, Determination of amino acids in foods. Beijing: China National Standardization Management

- Committee. 2003. (in Chinese)
- [17] 何梅, 李东, 陈晓月. GB 5009.168-2016, 食品中脂肪酸的测定. 北京: 国家食品药品监督管理总局, 2016.
- HE M, LI D, CHEN X Y. GB 5009.168-2016, determination of fatty acids in foods. Beijing: China Food and Drug Administration. 2016. (in Chinese)
- [18] TIAN K, LIU J H, SUN Y W, WU Y J, CHEN J C, ZHANG R M, HE T L, DONG G Z. Effects of dietary supplementation of inulin on rumen fermentation and bacterial microbiota, inflammatory response and growth performance in finishing beef steers fed high or low-concentrate diet. *Animal Feed Science and Technology*, 2019, 258. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2019.114299.
- [19] JALALI A R, WEISBJERG M R, NADEAU A T, RANDBY B O, RUSTAS M, EKNES P, NØRGAARD. Effects of forage type, animal characteristics and feed intake on faecal particle size in goat, sheep, llama and cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 2015, 208: 53-65. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2015.07.003.
- [20] CHAIL A, LEGAKO J F, PITCHER L R, WARD R E, MARTINI S, MACADAM J W. Consumer sensory evaluation and chemical composition of beef gluteus *Medius* and triceps brachii steaks from cattle finished on forage or concentrate diets. *Journal of Animal Science*, 2017, 95(4): 1553-1564.
- [21] ANDREINI E, AUGENSTEIN S, FALES C, SAINZ R, OLTJEN J. Effects of feeding level on performance and heat production of high and low residual feed intake beef steers. *Journal of Animal Science*, 2018, 96: 401-401. DOI: 10.1093/jas/sky404.880.
- [22] 梁永虎, 朱波, 金生云, 宝金山, 徐凌洋, 陈燕, 高雪, 张路培, 高会江, 李俊雅. 肉用西门塔尔牛群体生长曲线拟合及体重与体尺相关性分析的研究. *畜牧兽医学报*, 2018, 49(3): 497-506.
- LIANG Y H, ZHU B, JIN S Y, BAO J S, XU L Y, CHEN Y, GAO X, ZHANG L P, GAO H J, LI J Y. The growth curve fitting and the correlation analysis between body weight and body measurements in Chinese Simmental beef cattle population. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2018, 49(3): 497-506. (in Chinese)
- [23] BEAUCHEMIN K A, YANG W Z, RODE L M. Effects of barley grain processing on the site and extent of digestion of beef feedlot finishing diets. *Journal of Animal Science*, 2001, 79(7): 1925-1936.
- [24] SONG S D, CHEN G J, GUO C H, RAO K Q, GAO Y H, PENG Z L, ZHANG Z F, BAI X, WANG Y, WANG B X, CHEN Z H, FU X S, ZHU W L. Effects of exogenous fibrolytic enzyme supplementation to diets with different NFC/NDF ratios on the growth performance, nutrient digestibility and ruminal fermentation in Chinese domesticated black goats. *Animal Feed Science and Technology*, 2018(236): 170-177.
- [25] 周芯宇, 王之盛, 胡瑞, 王雪莹, 祝伊泉, 曹广, 代秦丹, 师俊华, 汪成, 彭全辉, 邹华围, 薛白, 王立志. 不同类型白酒糟对奶公牛生长性能、养分表观消化率、血清生化指标和瘤胃发酵参数的影响. *动物营养学报*, 2020, 32(8): 3708-3716.
- ZHOU X Y, WANG Z S, HU R, WANG X Y, ZHU Y X, CAO G, DAI Q D, SHI J H, WANG C, PENG Q H, ZOU H W, XUE B, WANG L Z. Effects of different types of white distiller's grains on growth performance, nutrient apparent digestibility, serum biochemical indices and rumen fermentation parameters of dairy bulls. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(8): 3708-3716. (in Chinese)
- [26] 韩继福, 冯仰廉, 张晓明, 莫放, 赵广永, 杨雅芳. 日粮类型和羊草细度对肉牛瘤胃挥发性脂肪酸比例及能量转化效率的影响. *畜牧兽医学报*, 1998(2): 97-104.
- HAN J F, FENG Y L, ZHANG X M, MO F, ZHAO G Y, YANG Y F. Effects of different diets and different particle sizes of hay on proportion of acetic, propionic and butyric acids in the rumen and on energy conversion in steers feeding. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 1998(2): 97-104. (in Chinese)
- [27] National Research Council. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition. National Academy Press, 2016.
- [28] ATASOGLU C, NEWBOLD C J, WALLACE R J. Incorporation of [(15)^N] ammonia by the cellulolytic ruminal bacteria *Fibrobacter succinogenes* BL2, *Ruminococcus albus* SY3, and *Ruminococcus flavefaciens* 17. *Applied and Environmental Microbiology*, 2001, 67(6): 2819-2822. Doi: 10.1128/AEM.67.6.2819-2822.2001.
- [29] MAY S G, MIES W L, EDWARDS J W, WILLIAMS F L, WISE J W, MORGAN J B, SAVELL J W, CROSS H R. Beef carcass composition of slaughter cattle differing in frame size, muscle score, and external fatness. *Journal of Animal Science*, 1992, 70(8): 2431-2445. Doi:10.2527/1992.7082431x.
- [30] SULTAN A, MOHD WA K, NAWAF A, AMAL A, IKRAM A, IBRAHIM A A, ESAM A B, YASMIN A, AL-T, HANI T, FAHAD A H, SALIH A, HANAN A, WALEED T. Correlations between direct and calculated low-density lipoprotein cholesterol measurements in children and adolescents. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 2020, 34(6). DOI:10.1002/jcla.23236.
- [31] NGUYEN T H, MARTIN W A, VERSTEGEN W H, HENDRIKS W F, PELLIKAAN. Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) silage in dairy cow rations reduces ruminal biohydrogenation and increases transfer efficiencies of unsaturated fatty acids from feed to milk. *Animal Nutrition*, 2020. Doi:10.1016/j.aninu.2020.05.001.

(责任编辑 林鉴非)