



青海省共和县4种燕麦品种营养及对牦牛饲用潜力的评价

周鹏宇 崔占鸿 王迅 马金秀 孙璐 刘书杰

Nutritional evaluation of four oat varieties and their potential for yak feeding in Gonghe County, Qinghai Province

ZHOU Pengyu, CUI Zhanhong, WANG Xun, MA Jinxiu, SUN Lu, LIU Shujie

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2024-0352>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

暖季补饲对高寒牧区天然草地放牧泌乳牦牛产乳性能的效应

Effects of warm season supplementary feeding on the milk performance of lactating yaks grazing on natural grassland in an alpine pastoral area

草业科学. 2024, 41(1): 195 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0182>

14个青贮玉米品种在宁夏雨养区的生产性能和营养价值综合评价

Comprehensive evaluation of the production performance and nutritional value of 14 silage maize varieties in rainfed areas of Ningxia

草业科学. 2022, 39(5): 977 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0424>

宁夏引黄灌区10个品种小黑麦籽粒产量及营养价值评价

Seed yield and nutritional value evaluation of different types of *Triticale* in the Ningxia Yellow River irrigation area

草业科学. 2024, 41(7): 1668 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0204>

青海省东部不同燕麦种质资源产量性状评价

Evaluation of yield traits of different oat germplasms in eastern Qinghai Province

草业科学. 2022, 39(10): 2160 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0267>

15份饲用燕麦品种在凉山地区的生产性能和营养价值评价

Evaluation of production performance and nutritional value of 15 feed barley varieties in the Liangshan Region

草业科学. 2024, 41(11): 2651 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2024-0277>

干热区紫花苜蓿的生产性能和营养价值评价

Evaluation of productivity performance and nutritional value of *Medicago sativa* in the dry-hot valleys

草业科学. 2024, 41(1): 117 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0984>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2024-0352

周鹏宇, 崔占鸿, 王迅, 马金秀, 孙璐, 刘书杰. 青海省共和县 4 种燕麦品种营养及对牦牛饲用潜力的评价. 草业科学, 2024, 41(12): 2972-2983.

ZHOU P Y, CUI Z H, WANG X, MA J X, SUN L, LIU S J. Nutritional evaluation of four oat varieties and their potential for yak feeding in Gonghe County, Qinghai Province. Pratacultural Science, 2024, 41(12): 2972-2983.

青海省共和县 4 种燕麦品种营养及 对牦牛饲用潜力的评价

周鹏宇^{1,2,3,4}, 崔占鸿^{1,2,3,4}, 王 迅^{1,2,3,4}, 马金秀⁵, 孙 璐^{1,2,3,4}, 刘书杰^{1,2,3,4}

(1. 青海大学畜牧兽医科学院, 青海 西宁 810016; 2. 青藏高原放牧牦牛藏羊动物营养与饲草料重点实验室, 青海 西宁 810016;
3. 青海省牦牛工程技术研究中心, 青海 西宁 810016; 4. 青海省高原放牧家畜动物营养与饲料科学重点实验室,
青海 西宁 810016; 5. 青海雪峰牦牛乳业有限公司, 青海 共和 811800)

摘要: 牦牛 (*Bos grunniens*) 是青藏高原重要的家畜之一, 为高原地区人民提供了重要的生活物资及经济来源。燕麦 (*Avena sativa*) 作为一种重要的牧草品种, 对青藏高原的畜牧业发展起到了重要作用。为了筛选饲草品质高且适宜饲喂牦牛的燕麦品种, 本试验通过产量指标、常规营养指标及体外产气指标对‘青燕 4 号’‘青燕 3 号’‘陇燕 1 号’‘白燕 7 号’4 种燕麦进行饲用价值综合评价。结果表明: 鲜草产量、干草产量及单位营养物质输出量, ‘青燕 4 号’和‘青燕 3 号’显著高于‘陇燕 1 号’和‘白燕 7 号’ ($P < 0.05$), 鲜草产量和干草产量均以‘青燕 4 号’最高, 鲜草产量较产量最低的‘陇燕 1 号’高了 10.88%; 粗蛋白、酸性洗涤纤维及粗灰分, 4 种燕麦之间无显著差异 ($P > 0.05$); 粗脂肪, ‘青燕 4 号’与‘青燕 3 号’显著高于‘白燕 7 号’, 其中‘青燕 4 号’含量最高, 较含量最低的‘白燕 7 号’高出 14.13%; 中性洗涤纤维, ‘白燕 7 号’显著高于其他 3 种人工种植燕麦, 含量最高的‘白燕 7 号’较含量最低的‘青燕 3 号’高出 10.61%; 在体外产气指标中‘陇燕 1 号’产气量显著高出‘白燕 7 号’34.19%; pH, ‘白燕 7 号’显著高于‘青燕 3 号’; 挥发性脂肪酸方面, 异丁酸, ‘青燕 3 号’和‘陇燕 1 号’显著高于‘白燕 7 号’; 丁酸, ‘青燕 3 号’显著高于‘青燕 4 号’和‘白燕 7 号’; 异戊酸, ‘陇燕 1 号’显著高于‘白燕 7 号’; 戊酸, ‘陇燕 1 号’显著高于其他 3 种燕麦; 体外干物质消化率, ‘陇燕 1 号’显著高于其他 3 组, ‘陇燕 1 号’最高, 为 47.48%, ‘白燕 7 号’最低, 为 35.28%; 代谢能, ‘陇燕 1 号’显著高出‘青燕 3 号’13.31%。综上, ‘陇燕 1 号’的产量、常规营养指标和产气指标综合表现较佳, 可以为青海省共和县地区牦牛提供优质的粗饲料来源。

关键词: 牧草; 牦牛; 体外产气法; 营养价值评价; 青藏高原; 品种比较

文献标识码: A 文章编号: 1001-0629(2024)12-2972-12

Nutritional evaluation of four oat varieties and their potential for yak feeding in Gonghe County, Qinghai Province

ZHOU Pengyu^{1,2,3,4}, CUI Zhanhong^{1,2,3,4}, WANG Xun^{1,2,3,4}, MA Jinxiu⁵, SUN Lu^{1,2,3,4}, LIU Shujie^{1,2,3,4}

(1. Qinghai Academy of Animal Husbandry and Veterinary Sciences in Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China;

2. Key Laboratory of Animal Nutrition and Forage-Feed of Grazing Yak and Tibetan Sheep
in Qinghai-Tibetan Plateau, Xining 810016, Qinghai, China;

3. Key Laboratory of Plateau Grazing Animal Nutrition and Feed Science of Qinghai Province, Xining 810016, Qinghai, China;

收稿日期: 2024-06-04 接受日期: 2024-08-15

基金项目: 国家重点研发计划 (2022YFD1602307); 青海省“昆仑英才·高端创新创业人才”培养拔尖人才项目 (2022)、培养领军人才 (2021)、培养团队项目 (2022)

第一作者: 周鹏宇 (1998-), 男, 河南新野人, 在读硕士生, 主要从事反刍动物营养研究。E-mail: 18380875095@163.com

通信作者: 孙璐 (1986-), 女, 安徽濉溪人, 副研究员, 硕导, 硕士, 主要从事反刍动物营养研究。E-mail: sunlu0103@126.com

共同通信作者: 刘书杰 (1966-), 男, 河北巨鹿人, 研究员, 博导, 本科, 主要从事动物营养研究。E-mail: mkyishj@126.com

4. Yak Engineering Technology Research Center of Qinghai Province, Xining 810016, Qinghai, China;

5. Qinghai Xuefeng Yak Dairy Industry Company Limited, Gonghe 811800, Qinghai, China)

Abstract: The yak is an important domestic animal on the Tibetan Plateau, as it provides important living materials and an economic resource for the people in that region. As an important pasture species, oat plays an important role in the development of animal husbandry on the Tibetan Plateau. The aim of this study was to choose oat varieties with high forage quality and suitability for yak feeding. A comprehensive evaluation of the feeding value of four *Avena sativa* varieties ('Qingyan No. 4', 'Qingyan No. 3', 'Longyan No. 1', and 'Baiyan No. 7') was performed using yield indices, conventional nutritional indices, and *in vitro* gas production indices. The findings indicated that 'Qingyan No. 4' and 'Qingyan No. 3' had significantly higher fresh weight, hay weight, and nutrient output per unit than 'Longyan No. 1' and 'Baiyan No. 7', and 'Qingyan No. 4' showed the highest fresh grass yield and hay yield, and fresh weight of 'Qingyan No. 4' was 10.88% higher than that of 'Longyan No. 1', which had the lowest yield. There were no significant differences in crude protein, crude ash, or acid detergent fiber content among the four species of oats. Crude fat was significantly higher in 'Qingyan No. 4' and 'Qingyan No. 3' than in 'Baiyan No. 7', and 'Qingyan No. 4' had the highest content, which was 14.13% higher than that of 'Baiyan No. 7', which had the lowest content. 'Baiyan No. 7' had significantly higher neutral detergent fiber content than the other three cultivated oat species, and the content was 10.61% in 'Baiyan No. 7' than 'Qingyan No. 3', which had the lowest content. 'Longyan No. 1' produced significantly more gas than 'Baiyan No. 7' by 34.19%, while 'Baiyan No. 7' had a significantly higher pH than 'Qingyan No. 3'. For volatile fatty acids, 'Qingyan No. 3' and 'Longyan No. 1' produced significantly more isobutyric acid than 'Baiyan No. 7'; 'Qingyan No. 3' produced significantly more butyric acid than 'Qingyan No. 4' and 'Baiyan No. 7'; 'Longyan No. 1' produced significantly more isovaleric acid than 'Baiyan No. 7'; and 'Longyan No. 1' produced significantly more valeric acid than the other three oat varieties. 'Longyan No. 1' demonstrated significantly greater *in vitro* dry matter digestibility at 47.48% than the other three groups, while 'Baiyan No. 7' showed the lowest value at 35.28%. 'Longyan No. 1' showed significantly higher metabolic energy than 'Qingyan No. 3' by 13.31%. In summary, 'Longyan No. 1' exhibited superior performance in terms of yield, conventional nutritional indices, and gas production indices, making it a valuable roughage feed for yaks in the Gonghe County area of Qinghai Province.

Keywords: forage; yak; *in vitro* gas production technique; nutritional value evaluation; Tibetan Plateau; species comparison

Corresponding author: SUN Lu E-mail: sunlu0103@126.com

LIU Shujie E-mail: mkylishj@126.com

青藏高原不仅是我国重要的生态保护与修复区^[1],还拥有我国最大的天然草地和放牧家畜养殖区^[2-3]。牦牛 (*Bos grunniens*) 是该地区牧民群众重要的生活资源,可提供肉、皮毛、乳等生活物资,更是牧民重要的经济来源,对于维持青藏高原区域的生产、生态、生活具有重要意义。牦牛养殖中存在着母畜比例低、繁殖率低、出栏率低和死亡率高“三低一高”的养殖现状,纠其原因是牦牛的营养摄入量不足,天然草地牧草营养输出量不能满足牦牛的营养需要量。

青海省海南州共和县于 2022 年入选全国草原畜牧业转型升级试点县,位于青海省重要的环青海湖草地生态畜牧业发展区。生态保护与畜牧业的协调发展是实现该地区畜牧业生态可持续发展的根

本要求。然而,共和县生态环境脆弱、草畜矛盾突出,通过人工种植牧草解决牦牛饲草料的供应,是改变牦牛养殖现状的有效措施^[4]。

燕麦 (*Avena sativa*) 是一种禾本科植物,具有耐寒、耐盐碱、营养全面、产量高等优点,是青藏高原地区重要的栽培牧草资源之一^[5]。我国牧草资源从 20 世纪 50 年代开始发展至今已培育出多个饲用燕麦品种,主要集中在青藏高原、甘肃及内蒙古等畜牧主产区^[6],目前我国燕麦产量约 300 万 t,是第二大牧草品种^[7]。而不同燕麦品种受海拔、气候、土壤条件等因素的影响,所适用的种植地区并不相同^[8-9],因此需探究适宜在各地区种植的燕麦品种。

本研究以青海省海南州共和县特色养殖业提质增效关键技术集成与示范团队在环青海湖地区种

植的 15 种燕麦的生产性能及营养品质为基础,选用其中 4 种表现较好的燕麦品种进一步开展体外发酵试验^[10]。试验以牦牛作为瘤胃液供体,利用体外产气法对 4 种燕麦的体外发酵参数进行研究,结合 4 种燕麦的产量数据和常规营养指标进行综合探讨,从而得出最适宜于牦牛的燕麦品种,为共和县饲用燕麦品种筛选提供依据。

1 材料与方 法

1.1 燕麦品种与试验地

燕麦品种:‘青燕 4 号’‘青燕 3 号’‘陇燕 1 号’‘白燕 7 号’。试验场所:青海省海南藏族自治州共和县倒淌河镇元者村(36°59' N, 100°18' E),海拔 3 180 m,属典型的高原大陆性气候。该区无绝对无霜期,仅有冷暖两季,植物生长期约 120 d,年平均气温-0.4℃,年平均降水量 400 mm,降水多集中在 7 月-9 月。研究区草地类型为高寒草甸,供试材料于 2023 年 5 月 19 日播种,9 月 26 日进行采集。

1.2 产量及营养指标测定

鲜草产量:使用 GPS 仪在试验小区随机定位,设置 1 m × 1 m 样方齐地剪下燕麦并称重,重复 5 次,鲜草产量为 5 次测定平均数。

干草产量(干草含水量:17.24%):将刈割收获的鲜草自然风干获得燕麦干草产量。

干鲜比 = 干草产量/鲜草产量。

营养测定指标:粗灰分(crude ash, Ash)、粗脂肪(ether extract, EE)、粗蛋白质(crude protein, CP)含量参照张丽英^[11]《饲料分析及饲料质量检测技术》进行测定;中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)和酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)含量采用 Soest 和 Wine^[12]的方法测定,所用仪器为美国 ANKOM 半自动纤维分析仪。

相对饲喂价值(relative feeding value, RFV)^[13]:

$$RFV = \frac{DMI \times DDM}{1.29};$$

$$DMI = \frac{120}{NDF};$$

$$DDM = 88.9 - ADF.$$

式中:DMI 为干物质采食量,DDM 为可消化干物质。

单位面积常规营养输出量 = 常规营养物质含量 ×

干草产量。

1.3 体外产气试验及指标测定

试验选取 3 头健康状况良好的生长期牦牛(2 岁)作为瘤胃液供体,每日饲喂燕麦青干草两次,全程自由饮水。体外产气法参考 Menke 等^[14]的方法进行,人工瘤胃缓冲液组成如表 1 所列。具体操作如下:准确称取 0.2 g 燕麦样品于尼龙袋中,后装入 100 mL 玻璃注射器内,每个样品 6 个重复。在晨饲前采用口腔导管法采集适量牦牛瘤胃液^[15]装入 39℃ 保温容器带回实验室,将经 4 层纱布过滤后的牦牛瘤胃液与人工瘤胃缓冲液按照 1:2 的比例混合,配置成人工瘤胃液,期间保持 39℃ 水浴并持续通入 CO₂ 以保持无氧环境。将每个玻璃注射器内装入 30 mL 人工瘤胃液后,迅速放入已预热的人工瘤胃培养箱内。在 0、1、2、3、4、6、8、10、12、16、20、24、28、32、36、42、48、54、60、66、72 h^[16]各时间点取出培养管并快速读数记录。

产气动力学模型分析:采用非线性回归动力模型公式: $dp = a + b(1 - e^{-ct})$ 。

式中:dp 为 t 在这一时刻的产气量(mL); a + b 为理论总产气量(mL),本研究用 B 表示; c 为慢速降解部分的产气速率(%·h⁻¹); t 是发酵时间(h)。

体外干物质消化率测定在培养 72 h 后,将培养管置于冰水浴终止发酵。

表 1 人工瘤胃缓冲液组成
Table 1 Composition of artificial rumen buffer

项目 Item	组成 Composition			
蒸馏水 Distilled water/mL	237.5	475	712.5	950
矿物质溶液 Main element solution/mL	120	240	360	480
缓冲液 Buffer solution/mL	120	240	360	480
微量元素溶液 Trace element solution/mL	0.06	0.12	0.18	0.24
刃天青 Resazurin solution/mg	0.61	1.22	1.83	2.44
蒸馏水 Distilled water/mL	23.8	47.5	71.3	95
1 mol·L ⁻¹ NaOH/mL	1	2	3	4
Na ₂ S·9H ₂ O/mg	168	336	504	672
最终容积 Final volume/mL	500	1 000	1 500	2 000

体外干物质消化率 (*in vitro* dry matter digestibility, IVDMD) = $\frac{1 - \text{发酵后样品干物质重}}{\text{发酵前样品干物质重}} \times 100\%$ 。

pH: 用 pHS-3C 型 pH 计 (上海佑科仪器仪表有限公司) 测定。氨态氮浓度 (NH₃-N): 参照冯宗慈和高民^[17] 改进的瘤胃液 NH₃-N 浓度比色法进行测定。挥发性脂肪酸 (volatile fatty acid, VFA): 使用岛津 GC-2014 测定^[18]。具体操作如下: 取 6 mL 瘤胃液在低温离心机 4 ℃ 下 6 000 r·min⁻¹ 离心 15 min, 取上清液 2 mL 于离心管加入 0.4 mL 25% 偏磷酸, 并在冰水浴下冷却 1 h, 然后在低温离心机 4 ℃ 下 12 000 r·min⁻¹ 离心 15 min, 将上清液通过 0.22 μm 水相膜过滤。色相色谱仪进样量为 10 μL, 所用色谱柱为毛细管柱 (AT-FFAP: 30 m × 0.32 mm × 0.5 μm), 进样器 220 ℃, 载气为氮气, 分流比 40 : 1, 柱温箱初温 80 ℃, 以 10 ℃·min⁻¹ 升温到 120 ℃, 保持 3 min, 后升温到 180 ℃, 保持 5 min, FID 检测器温度为 250 ℃。微生物蛋白 (microprotein, MCP) 采用考马斯亮蓝比色法测定^[19]。

预测燕麦代谢能 (metabolic energy, ME)^[20] 回归公式:

$$ME \text{ (MJ} \cdot \text{kg}^{-1}) = 0.136 \times GP_{24} + 0.005\ 7 \times CP + 0.000\ 283 \times EE + 2.20。$$

式中: GP₂₄ 为 24 h 累积产气量, CP 为粗蛋白, EE 为粗脂肪。

1.4 数据处理与分析

试验数据使用 Excel 2021 进行整理。使用 SPSS 27.0 统计分析软件对数据进行单因素方差分析 (显著性水平设置为 0.05), 差异显著时用 LSD 法进行多重比较, 结果均以平均值 ± 标准误表示。产气动力学模型采用 SAS 9.4 非线性回归动力模型 $dp =$

$a + b(1 - e^{-ct})$, 折线图使用 Origin 2022 制作。

2 结果与分析

2.1 4 种人工种植燕麦生产性能

如表 2 所列, 在鲜草产量方面, ‘青燕 4 号’和 ‘青燕 3 号’产量高且表现相似, 而 ‘白燕 7 号’与 ‘陇燕 1 号’产量较低, 且 ‘白燕 7 号’略高于 ‘陇燕 1 号’; 其中鲜草产量最高的 ‘青燕 4 号’较产量最低的 ‘陇燕 1 号’高了 10.88%。在干草产量方面, ‘青燕 4 号’和 ‘青燕 3 号’均具有高产量, ‘白燕 7 号’居中, ‘陇燕 1 号’产量较低。干鲜比在所有品种中保持一致, 均为 0.59, 无显著差异。

2.2 4 种人工种植燕麦营养品质

如表 3 所列, 在 EE 含量方面, ‘青燕 4 号’含量最高, ‘青燕 3 号’居中, ‘陇燕 1 号’和 ‘白燕 7 号’含量较低且相似, 其中 EE 含量最高的 ‘青燕 4 号’较最低的 ‘白燕 7 号’高出 14.13%。在 NDF 含量方面, ‘白燕 7 号’含量最高, ‘青燕 4 号’ ‘青燕 3 号’及 ‘陇燕 1 号’含量较低且相似, ‘白燕 7 号’NDF 含量较 3 种燕麦分别高 7.70%、10.61%、7.74%。在 RFV 方面, ‘青燕 4 号’ ‘青燕 3 号’及 ‘陇燕 1 号’较高且相当, ‘白燕 7 号’较低, 3 种燕麦 RFV 分别较 ‘白燕 7 号’高 9.70%、11.25%、9.14%。4 种人工种植燕麦对 EE 和 NDF 含量及 RFV 影响显著, 而对 CP、ADF 及 Ash 含量则无显著影响。

2.3 4 种人工种植燕麦单位面积营养物质输出量

如表 4 所列, 在 CP 单位面积输出量方面, ‘青燕 4 号’和 ‘青燕 3 号’输出量高且表现相似, ‘陇燕 1 号’和 ‘白燕 7 号’输出量相似, 其中输出量最高的

表 2 4 种人工种植燕麦生产性能
Table 2 Production performance of four types of artificially grown oat

项目 Item	青燕4号 Qingyan No.4	青燕3号 Qingyan No.3	陇燕1号 Longyan No.1	白燕7号 Baiyan No.7	P
鲜草产量 Fresh grass yield/(kg·hm ⁻²)	15 179.65 ± 1 247.42a	15 047.63 ± 1 016.62a	13 689.97 ± 1 370.58c	14 193.34 ± 1 270.94b	< 0.001
干草产量 Hay yield/(kg·hm ⁻²)	8 963.87 ± 703.49a	8 863.97 ± 544.52a	8 029.54 ± 741.96c	8 379.65 ± 740.81b	0.001
干鲜比 Dry to fresh ratio	0.59 ± 0.01	0.59 ± 0.01	0.59 ± 0.01	0.59 ± 0.01	0.994

同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 无字母或相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$); 下表同。
Different lowercase letters within the same row indicate significance at the 0.05 level, whereas no letters or the same letter indicate no significant differences between different treatments. This is applicable for the following tables as well.

表 3 4 种人工种植燕麦营养品质 (风干基础)
Table 3 Nutritional quality of four types of artificially grown oats (air-dry basis)

项目 Item	青燕4号 Qingyan No.4	青燕3号 Qingyan No.3	陇燕1号 Longyan No.1	白燕7号 Baiyan No.7	P
粗蛋白(CP) Crude protein/%	8.93 ± 0.28	9.01 ± 0.22	8.61 ± 1.41	8.63 ± 0.75	0.360
粗脂肪(EE) Ether extract/%	4.12 ± 0.18a	3.93 ± 0.04ab	3.74 ± 0.16bc	3.61 ± 0.14c	0.010
中性洗涤纤维(NDF) Neutral detergent fiber/%	57.01 ± 1.14b	55.51 ± 0.69b	56.99 ± 1.65b	61.40 ± 1.21a	0.002
酸性洗涤纤维(ADF) Acid detergent fiber/%	36.19 ± 1.71	37.15 ± 0.57	36.68 ± 2.76	37.62 ± 2.18	0.831
粗灰分(Ash) Crude ash/%	12.36 ± 0.44	12.20 ± 0.72	11.32 ± 0.82	11.52 ± 0.38	0.192
相对饲喂价值 Relative feeding value (RFV)	99.09 ± 3.29a	100.49 ± 0.51a	98.59 ± 6.18a	90.33 ± 3.81b	0.049

表 4 4 种人工种植燕麦单位面积营养物质输出量
Table 4 Nutrient output per unit area of four artificially grown oat varieties

项目 Item	青燕4号 Qingyan No.4	青燕3号 Qingyan No.3	陇燕1号 Longyan No.1	白燕7号 Baiyan No.7	P
粗蛋白(CP) Crude protein/(kg·hm ⁻²)	800.47 ± 62.82a	798.64 ± 49.06a	691.34 ± 63.88b	723.16 ± 63.93b	< 0.001
粗脂肪(EE) Ether extract/(kg·hm ⁻²)	369.31 ± 28.98a	348.35 ± 21.40b	300.30 ± 27.75c	302.51 ± 26.74c	< 0.001
中性洗涤纤维(NDF) Neutral detergent fiber/(kg·hm ⁻²)	5 110.30 ± 401.06a	4 920.39 ± 302.26a	4 576.03 ± 422.84b	5 145.11 ± 454.86a	< 0.001
酸性洗涤纤维(ADF) Acid detergent fiber/(kg·hm ⁻²)	3 244.02 ± 254.59a	3 292.96 ± 202.29a	2 945.24 ± 272.15b	3 152.42 ± 278.69a	< 0.001
粗灰分(Ash) Crude ash/(kg·hm ⁻²)	1 107.93 ± 86.95a	1 081.40 ± 66.43a	908.94 ± 83.99c	965.34 ± 85.34b	< 0.001

‘青燕 4 号’较最低的‘陇燕 1 号’高出 15.79%。在 EE 单位面积输出量方面,‘青燕 4 号’输出量最高,‘青燕 3 号’居中,‘陇燕 1 号’和‘白燕 7 号’输出量较低且表现相似,其中输出量最高的‘青燕 4 号’较最低的‘陇燕 1 号’高出 22.98%。在 NDF 与 ADF 的单位面积输出量方面,两项指标都表现出‘青燕 4 号’‘青燕 3 号’及‘白燕 7 号’输出量高且表现相似,‘陇燕 1 号’输出量较低;其中 NDF 输出量最高的‘白燕 7 号’较最低的‘陇燕 1 号’高出 12.44%; ADF 输出量最高的‘青燕 4 号’较最低的‘陇燕 1 号’高出 10.14%。在 Ash 单位面积输出量方面,‘青燕 4 号’和‘青燕 3 号’输出量高且相似,‘白燕 7 号’居中,‘陇燕 1 号’输出量较低,其中 Ash 输出量最高的‘青燕 4 号’较最低的‘陇燕 1 号’高出 21.89%。4 种燕麦对 CP、EE、NDF、ADF 及 Ash 含量影响显著。

2.4 体外产气法评价 4 种燕麦

2.4.1 4 种人工种植燕麦产气量与产气速率

如图 1 所示,整体上 4 个品种的产气量随时间呈逐渐上升的趋势。‘陇燕 1 号’产气量整体高于其他 3 个燕麦品种,‘青燕 4 号’和‘青燕 3 号’产气量接

近;‘白燕 7 号’产气量在 72 h 低于其他 3 个燕麦品种。整体上 4 个燕麦品种产气速度相似,但中后期逐渐产生差异,表明不同品种产气存在差异。

如图 2 所示,各组燕麦产气速率均呈现先上升后下降的趋势,尤其在前 12 h 产气速率均较快,其中‘陇燕 1 号’在 4 h 时产气速率达到最大,为 4.33 mL·h⁻¹;‘青燕 4 号’在 12 h 时产气速率达到最大,为 2.5 mL·h⁻¹;‘青燕 3 号’在 1 h 时产气速率达到最大,为 2 mL·h⁻¹;‘白燕 7 号’在 4 h 时产气速率达到最大,为 3 mL·h⁻¹。12~60 h 产气速率逐渐下降,当发酵至 60 h 以后,各组产气速率下降至约 0.5 mL·h⁻¹,基本不产生气体。

2.4.2 4 种人工种植燕麦体外发酵参数

如表 5 所列,在 pH 方面,‘白燕 7 号’显著高于‘青燕 3 号’;在异丁酸含量方面,‘青燕 3 号’和‘陇燕 1 号’分别显著高出‘白燕 7 号’19.32% 和 17.05%;在丁酸含量方面,‘青燕 3 号’显著高于‘青燕 4 号’和‘白燕 7 号’,分别高出 21.00% 和 15.26%;在异戊酸含量方面,‘陇燕 1 号’显著高出‘白燕 7 号’15.98%;在戊酸含量方面,‘陇燕 1 号’显著高出‘青燕 4 号’

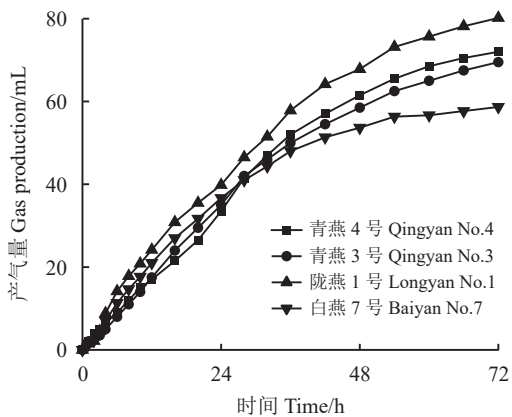


图 1 4 种人工种植燕麦 72 h 产气量
Figure 1 Seventy-two-hour gas production for the four types of artificially grown oats

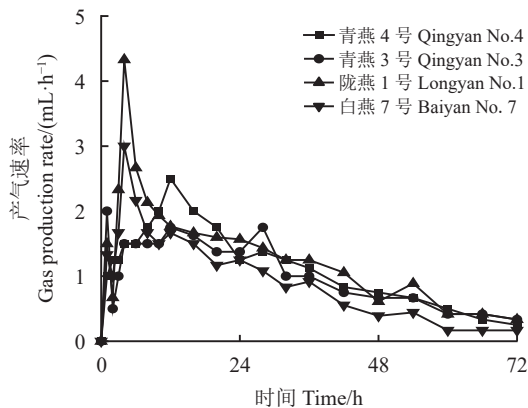


图 2 4 种人工种植燕麦 72 h 产气速率
Figure 2 Seventy-two-hour gas production rates of four artificially grown oat varieties

32.86%, ‘青燕 3 号’17.82%, ‘白燕 7 号’38.81%, ‘青燕 3 号’则显著高出‘青燕 4 号’12.86%, ‘白燕 7 号’17.91%; 4 种燕麦的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、微生物蛋白、乙酸、丙酸、总挥发酸及乙酸/丙酸间无显著差异。

2.4.3 4 种人工种植燕麦体外产气参数、干物质消化率及代谢能

如表 6 所列, 理论总产气量 (B) ‘青燕 4 号’和‘陇燕 1 号’显著高于‘白燕 7 号’ ($P < 0.05$); 慢速降解部分的产气速率 (c) ‘白燕 7 号’显著高于‘青燕 4 号’, 与‘青燕 4 号’‘陇燕 1 号’差异不显著。‘陇燕 1 号’的 IVDMD 最高, 为 47.48%, 显著高出‘青燕 4 号’8.68%, ‘青燕 3 号’7.48%, ‘白燕 7 号’12.2%; ‘陇燕 1 号’的 ME 显著高于‘青燕 3 号’, 较‘青燕 3 号’高 $0.94 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

3 讨论

3.1 4 种人工种植燕麦的生产性能与营养品质差异

产量是评定燕麦生产性能的重要指标之一, 在本研究中 4 种燕麦的干草产量在 $8\,000 \sim 9\,000 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 明显高于蔡宗程等^[21]发现的燕麦干草产量 $4\,900 \sim 7\,380 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 这可能与燕麦品种不同、海拔等因素有关。在本研究中 4 种燕麦的产量存在差异, 此结论与赵永刚等^[22]关于不同燕麦品种在不同环境下的产量不同的结论相一致, 其中‘青燕 4 号’和‘青燕 3 号’的干草产量明显高出‘陇燕 1 号’

表 5 4 种人工种植燕麦体外发酵参数
Table 5 *In vitro* fermentation parameters of the four artificially grown oat varieties

项目 Item	青燕4号 Qingyan No.4	青燕3号 Qingyan No.3	陇燕1号 Longyan No.1	白燕7号 Baiyan No.7	<i>P</i>
pH	7.09 ± 0.01ab	6.91 ± 0.18b	7.02 ± 0.01ab	7.11 ± 0.05a	0.047
氨态氮 $\text{NH}_3\text{-N}/(\text{mg}\cdot\text{dL}^{-1})$	46.12 ± 0.78	51.68 ± 3.95	44.94 ± 5.68	45.73 ± 4.69	0.202
微生物蛋白 Microprotein (MCP)/($\text{mg}\cdot\text{dL}^{-1}$)	43.83 ± 0.78	44.45 ± 3.36	43.68 ± 5.66	44.40 ± 0.07	0.205
乙酸 Acetate (ACE)/($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	52.35 ± 0.63	51.27 ± 1.84	50.28 ± 0.20	51.33 ± 3.46	0.872
丙酸 Propionate (PRO)/($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	14.42 ± 0.61	14.35 ± 1.37	13.56 ± 1.19	14.02 ± 1.97	0.657
异丁酸 Isobutyric acid (ISOB)/($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.97 ± 0.01	1.05 ± 0.08a	1.03 ± 0.04a	0.88 ± 0.07b	0.023
丁酸 Butyric acid (BUTY)/($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	4.62 ± 0.19b	5.59 ± 0.01a	5.15 ± 0.26a	4.85 ± 0.44b	0.012
异戊酸 Isovaleric acid (ISOV)/($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	1.82 ± 0.10a	1.79 ± 0.14a	1.96 ± 0.05a	1.69 ± 0.13b	0.016
戊酸 Valerianic acid (VAL)/($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.70 ± 0.05c	0.79 ± 0.04b	0.93 ± 0.01a	0.67 ± 0.03c	< 0.001
总挥发酸 Total volatile fatty acid (VFA)/($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	72.89 ± 1.10	75.44 ± 3.37	72.91 ± 0.72	73.45 ± 6.03	0.788
乙酸/丙酸 Acetate / propionate	3.63 ± 0.10	3.57 ± 0.19	3.73 ± 0.34	3.69 ± 0.27	0.442

表 6 4 种人工种植燕麦体外产气量参数、干物质消化率及代谢能
Table 6 In vitro gas production parameters, dry matter digestibility and ME of four artificially grown oat species

项目 Item	青燕4号 Qingyan No.4	青燕3号 Qingyan No.3	陇燕1号 Longyan No.1	白燕7号 Baiyan No.7	P值 P-value
理论总产气量 Theoretical total gas production B/mL	96.78 ± 11.80a	86.41 ± 16.26ab	95.06 ± 5.28a	64.79 ± 17.90b	0.021
慢速降解部分的产气速率 Rate of gas production in the slow degradation fraction c/(%·h ⁻¹)	0.021 ± 0.005b	0.025 ± 0.003a	0.026 ± 0.002a	0.044 ± 0.022a	0.042
体外干物质消化率 In vitro dry matter digestibility (IVDMD)/%	38.80 ± 2.83b	40.00 ± 0.44b	47.48 ± 2.26a	35.28 ± 6.08b	0.017
代谢能 Metabolic energy (ME)/(MJ·kg ⁻¹)	7.35 ± 0.25ab	7.06 ± 0.61b	8.00 ± 0.14a	7.41 ± 0.14ab	0.010

和‘白燕 7 号’,说明‘青燕 4 号’和‘青燕 3 号’在共和县的适应性更强。

在对 4 种人工种植燕麦营养品质进行分析后发现,4 种燕麦在 CP、ADF 及 Ash 间无显著差异;其中 CP 与 ADF 含量与王廷艳等^[23]的研究 CP (8.1%)及 ADF (33.83%)的结论相近。

燕麦中 NDF 的含量会影响反刍动物的采食量及燕麦品质^[24]。在本研究中 NDF 的含量与游茵洁等^[25]的研究结果 (58.49%)相近,4 种燕麦中‘白燕 7 号’的 NDF 含量显著高于其他 3 个品种,相应的其 RFV 也显著低于其他 3 个品种。此结论与 NDF 越高牧草的营养价值越低的结论相一致^[26-27]。

EE 含量是反映燕麦营养品质的重要指标之一,高含量的 EE 会促进家畜的生长发育,从而提升饲养价值^[28]。本研究中 EE 含量较高的为‘青燕 4 号’(4.12%),且显著高于‘陇燕 1 号’和‘白燕 7 号’,但与‘青燕 3 号’间无显著差异,表明‘青燕 4 号’和‘青燕 3 号’的营养价值相对更高。

综上,‘青燕 4 号’和‘青燕 3 号’的生产性能与常规营养指标综合表现较好,其次为‘陇燕 1 号’,‘白燕 7 号’表现较差。

3.2 4 种人工种植燕麦的体外发酵指标以及体外干物质消化率差异

燕麦中的有机物在经过瘤胃发酵后可产生大量气体,主要为 CO₂、CH₄、H₂ 等,而产气量在一定程度上可以反映燕麦被瘤胃微生物的利用程度^[29],即产气量越多,燕麦中可发酵有机物含量越高^[30],燕麦的综合营养价值越高^[31]。在本研究中 4 种燕麦 CP 含量无显著差异,而 NDF 含量较高的‘白燕

7 号’,其产气量较低;这与 Nsahlai 等^[32]的研究产气量与 CP 含量正相关、与 NDF 含量负相关的结论相一致。IVDMD 作为反映牧草消化情况的重要指标,IVDMD 越大表明牧草消化越充分,其产气量也越高^[13],这与本研究中‘陇燕 1 号’产气量最高的结果相一致。研究中发现饲料中的 CP 易发酵,而 NDF 不易发酵,两者含量会影响产气速率,当 NDF/CP 较高时产气速率较慢,当 NDF/CP 较低时产气速率较快^[33];在本研究中 4 种燕麦的 NDF/CP 由高到低依次为‘白燕 7 号’(7.12)、“陇燕 1 号”(6.62)、“青燕 4 号”(6.38)、“青燕 3 号”(6.16),其中 NDF/CP 较高的为‘白燕 7 号’,这与其产气速率较低的结果一致;至于‘陇燕 1 号’为何产气速率较高,这可能与‘陇燕 1 号’中氨基酸和淀粉等易发酵成分含量更高有关^[16,34]。

瘤胃 pH 是反映动物瘤胃健康情况的一个重要指标,合理的 pH 对维持瘤胃微生物稳定、促进瘤胃发酵降解具有重要意义,通常来说瘤胃 pH 主要集中在 5.5~7.5^[35],当瘤胃 pH 过低时会对纤维素的降解产生消极影响^[36]。在本研究中瘤胃液 pH 主要集中在 6.91~7.11,符合瘤胃液正常的 pH 范围;其中‘白燕 7 号’pH 显著高于‘青燕 3 号’,这可能与 NH₃-N 的缓冲作用及 VFA 含量有关。

瘤胃中的 NH₃-N 主要来源于草料中 CP 的降解,其含量主要受微生物降解产生 NH₃ 及微生物对 NH₃ 利用能力的影响。Getachew 等^[37]研究发现 NH₃-N 与 CP 成正比,此结论与本研究结果基本一致,即 4 种燕麦的 CP 含量和在瘤胃中的产生的 NH₃-N 都表现出‘青燕 3 号’>‘青燕 4 号’>‘白燕 7 号’>‘陇燕 1 号’,4 种燕麦间 CP、NH₃-N 含量均无显著性差异;NH₃-N 的含量会影响到 MCP 的产

生,但在本研究中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 MCP 含量间并不呈正相关关系,这可能是 MCP 含量受燕麦中的蛋白质和碳水化合物含量的影响所致^[38],在本研究中 4 种燕麦所产生的 MCP 也无显著性差异。

VFA 是反刍动物重要的能量来源,其可以为反刍动物提供 70%~80% 的能量来源^[39]。VFA 中各酸的含量可以反映瘤胃的健康情况^[40],乙酸和丙酸是瘤胃中含量较高、产生能量较大及对瘤胃发酵影响较大的两种挥发酸^[41]。其中乙酸主要用于合成乳脂和体脂;丙酸是反刍动物糖异生的前体物,在糖异生的作用下可以合成血糖^[42],为牦牛提供更多能量^[24];研究发现乙酸/丙酸越低越有利于能量的利用^[43],在本研究中 4 种燕麦发酵的乙酸、丙酸及乙酸/丙酸均无差异性,说明 4 种燕麦在挥发酸产能方面差异不大;同时,在前人的研究中发现,当乙酸/丙酸 > 3.5 时,瘤胃发酵为乙酸型,乙酸型发酵有利于反刍动物体脂和乳脂的积累^[44],本研究中 4 种燕麦体外发酵类型均为乙酸型发酵,暖季是牦牛泌乳及体重增长的重要时期^[45],所以在实际生产过程中 4 种燕麦可能更适合在暖季进行饲喂,从而更有利于提升牦牛的乳脂和体脂水平。赖氨酸、脯氨酸及精氨酸在瘤胃中降解后的最终产物为异丁酸和戊酸^[46],在本研究中‘青燕 3 号’和‘陇燕 1 号’异丁酸和戊酸含量较高,这表明赖氨酸、脯氨酸及精氨酸 3 种氨基酸的含量可能在‘青燕 3 号’和‘陇燕 1 号’更高;同时异丁酸和戊酸可以改善瘤胃发酵性能,提高瘤胃对粗纤维的利用,其可以为瘤胃微生物提供碳骨架,使更多的非蛋白氮 (NPN) 转化为 MCP^[47],为牦牛提供更多氮源。研究表明丁酸含量与饲料中的非纤维碳水成正比^[48],所以非纤维碳水含量较高的为‘青燕 3 号’,其次为‘陇燕 1 号’和‘白燕 7 号’,‘青燕 4 号’较低,同时丁酸经过瘤网胃壁吸收后可转化为 β -羟基丁酸,为肌肉组织供能^[49]。综上,4 种燕麦在 VFA 供能方面并无显著差异,但‘青燕 3 号’和‘陇燕 1 号’可以为牦牛提供更多氮源,并

为牦牛肌肉组织供能。

IVDMD 是体外发酵法评价燕麦的一个重要指标,其可以反映燕麦在瘤胃中的利用程度^[50]。在本研究中‘陇燕 1 号’IVDMD 较高,且显著高于其他 3 个品种,表明其发酵更彻底,此结果与其产气量较高的结果相一致。ME 也是燕麦体外发酵的重要指标,其可以反映燕麦提供能量的能力,禾本科牧草的 ME 范围为 6.09~10.16 MJ·kg⁻¹^[32],本研究燕麦的 ME 在该范围值以内。其中‘陇燕 1 号’的 IVDMD 和 ME 较高,这表明在实际生产中‘陇燕 1 号’能为牦牛提供更多能量。

3.3 展望及不足

目前本研究主要在实验室对 4 种燕麦营养价值进行探讨,未来将进一步开展大规模动物饲养试验,通过试验研究燕麦品种的实际饲养价值。根据柴继宽等^[9]的研究,作物品种的稳产性和适应性是决定其推广的重要指标,而本研究所用燕麦已经过多年种植,在稳产性和适应性方面已有保障^[10],但对燕麦的饲养成本和经济收益还缺少相关研究。暖季补饲精料可显著提高牦牛的日增重及养殖效益^[51],目前本研究仅对燕麦品种进行研究,未来可对不同燕麦品种与精料进行组合效应试验,从而探究更适合与补饲精料相适应的燕麦品种。燕麦的贮藏方式同样是影响燕麦品质的重要因素之一,在游茵洁等^[25]的研究中发现燕麦干草和青贮燕麦在干物质、粗蛋白、粗脂肪、产气量及干物质消化率等方面均存在差异,未来可对 4 种燕麦干草与青贮的品质进行研究。

4 结论

综上所述,‘陇燕 1 号’的产量、常规营养指标和发酵指标综合表现较佳;‘青燕 4 号’和‘青燕 3 号’的多项指标相近,但‘青燕 4 号’略优于‘青燕 3 号’;‘白燕 7 号’综合表现较差。因此在青海省共和县地区种植‘陇燕 1 号’能够为牦牛提供优质的粗饲料来源。

参考文献 References:

- [1] 陈槐,鞠佩君,张江,王元云,朱求安,颜亮,康晓明,何奕忻,曾源,郝彦宾,王艳芬. 青藏高原高寒草地生态系统变化的归因分析. *科学通报*, 2020, 65(22): 2406-2418.
CHEN H, JU P J, ZHANG J, WANG Y Y, ZHU Q A, YAN L, KANG X M, HE Y X, ZENG Y, HAO Y B, WANG Y F.

- Attribution analyses of changes in alpine grasslands on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Chinese Science Bulletin*, 2020, 65(22): 2406-2418.
- [2] 董世魁, 汤琳, 张相锋, 刘世梁, 刘全儒, 苏旭坤, 张勇, 武晓宇, 赵珍珍, 李钰, 沙威. 高寒草地植物物种多样性与功能多样性的关系. *生态学报*, 2017, 37(5): 1472-1483.
DONG S K, TANG L, ZHANG X F, LIU S L, LIU Q R, SU X K, ZHANG Y, WU X Y, ZHAO Z Z, LI Y, SHA W. Relationship between plant species diversity and functional diversity in alpine grasslands. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(5): 1472-1483.
- [3] 朴世龙, 方精云, 贺金生, 肖玉. 中国草地植被生物量及其空间分布格局. *植物生态学报*, 2004(4): 491-498.
PIAO S L, FANG J Y, HE J S, XIAO Y. Spatial distribution of grassland biomass in China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2004(4): 491-498.
- [4] LI W, WANG J L, ZHANG X J, SHI S L, CAO W X. Effect of degradation and rebuilding of artificial grasslands on soil respiration and carbon and nitrogen pools on an alpine meadow of the Qinghai-Tibetan Plateau. *Ecological Engineering*, 2018, 111: 134-142.
- [5] 叶雪玲, 甘圳, 万燕, 向达兵, 邬晓勇, 吴琪, 刘长英, 范昱, 邹亮. 饲用燕麦育种研究进展与展望. *草业学报*, 2023, 32(2): 160-177.
YE X L, GAN Z, WAN Y, XIANG D B, WU X Y, WU Q, LIU C Y, FAN Y, ZOU L. Advances and perspectives in forage oat breeding. *Acta Prataculturae Sinica*, 2023, 32(2): 160-177.
- [6] 周建萍, 刘龙龙, 崔林. 山西省燕麦育种现状及资源特点. *山西农业科学*, 2010, 38(11): 6-9.
ZHOU J P, LIU L L, CUI L. The breeding status and resources characteristics of oats in Shanxi Province. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2010, 38(11): 6-9.
- [7] 卢欣石. 2020 我国饲草商品生产形势分析与 2021 年展望. *畜牧产业*, 2021(3): 31-36.
LU X S. 2020 Analysis of China's forage commodity production situation and 2021 outlook. *Animal Agriculture*, 2021(3): 31-36.
- [8] 赵秀芳, 戎郁萍, 赵来喜. 我国燕麦种质资源的收集和评价. *草业科学*, 2007(3): 36-40.
ZHAO X F, RONG Y P, ZHAO L X. The collection and evaluation of oat (*Avena sativa*) in China. *Pratacultural Science*, 2007(3): 36-40.
- [9] 柴继宽, 慕平, 赵桂琴. 8 个燕麦品种在甘肃的产量稳定性及试点代表性研究. *草地学报*, 2016, 24(5): 1100-1107.
CHAI J K, MU P, ZHAO G Q. Study on yield stability and test site representativeness of eight oat varieties in Gansu Province. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, 24(5): 1100-1107.
- [10] 王金兰, 王小军, 刘启林, 梁国玲, 琚泽亮, 石红梅, 汪小兵, 文培, 青梅然丁, 李文. 不同燕麦品种在三江源区的生产性能和营养品质综合评价. *草业学报*, 2024, 33(10): 83-95.
WANG J L, WANG X J, LIU Q L, LIANG G L, JU Z L, SHI H M, WANG X B, WEN P, QING M R D, LI W. A multi-trait evaluation of production performance and nutritional quality of different oat varieties in the Sanjiangyuan area. *Acta Prataculturae Sinica*, 2024, 33(10): 83-95.
- [11] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术. 2 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 17-25.
ZHANG L Y. Feed Analysis and Feed Quality Testing Technology. 2nd Edition. Beijing: China Agricultural University Press, 2007: 17-25.
- [12] SOEST P J V, WINE R H. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. 4. Determination of plant cell-wall constituents. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 1967, 50(1): 50-55.
- [13] LINN J G, MARTIN N P. Forage quality analyses and interpretation. *Food Animal Practice*, 1991, 7(2): 509-523.
- [14] MENKE K H, RAAB L, SALEWSKI A, STEINGASS H, FRITZ D, SCHNEIDER W. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *The Journal of Agricultural Science*, 1979, 93(1): 217-222.
- [15] WANG L Z, WANG Z S, XUE B, WU D, PENG Q H. Comparison of rumen archaeal diversity in adult and elderly yaks (*Bos grunniens*) using 16S rRNA gene high-throughput sequencing. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16(5): 1130-1137.
- [16] 许家宝, 王静, 张唯玉, 陶薪燕, 张月娇, 张丹丹, 程景, 张亚伟, 李博, 张元庆. 4 种全株高粱青贮的饲用价值评定. *动物营养学报*, 2024, 36(3): 1997-2009.
XU J B, WANG J, ZAHNG W Y, TAO X Y, ZHANG Y J, ZHANG D D, CHENG J, ZHANG Y W, LI B, ZHANG Y Q. Evaluation of feeding value of 4 varieties of whole plant sorghum silage. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2024, 36(3): 1997-2009.
- [17] 冯宗慈, 高民. 通过比色测定瘤胃液氨氮含量方法的改进. *畜牧与饲料科学*, 2010, 31(Z1): 37.

- FENG Z C, GAO M. Improvement of the method for determination of ammonia nitrogen content in rumen fluid by colorimetry. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2010, 31(Z1): 37.
- [18] KE T, JUNHUI L, YAWANG S, YONGJIANG W, JUNCAI C, RUIMING Z, TIANLE H, GOUZHONG D. 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: 114299.
- [19] MAKKAR H P S, SHARMA O P, DAWRA R K, NEGI S S. Simple determination of microbial protein in rumen liquor. *Journal of Dairy Science*, 1982, 65(11): 2170-2173.
- [20] MENKE K H, STEINGASS H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research Development*, 1988, 28: 7-55.
- [21] 蔡宗程, 吕亮雨, 刘青青, 王琛, 雷莎清, 施建军. 不同燕麦品种在三江源区的引种适应性评价. *饲料研究*, 2024(20): 135-139.
- CAI Z C, LYU L Y, LIU Q Q, WANG C, LEI S Q, SHI J J. Evaluation of the adaptation of different oat varieties to introduced in the Sanjiangyuan region. *Feed Research*, 2024(20): 135-139.
- [22] 赵永刚, 刘彦, 侯国庆, 杜晶. 10 个饲用燕麦品种在北疆不同生态区的生产性能评价. *种子*, 2022, 41(3): 111-116, 131.
- ZHAO Y G, LIU Y, HOU G Q, DU J. Performance evaluation of 10 forage oat varieties in different ecological regions of northern xinjiang. *seed*, 2022, 41(3): 111-116, 131.
- [23] 王廷艳, 周华坤, 薛万朝, 张铭, 杨学贵, 王轲, 郝力壮. 青海高原农牧交错带上 7 种燕麦生产性能及营养品质综合评价. *饲料研究*, 2023, 46(23): 135-139.
- WANG T Y, ZHOU H K, XUE W C, ZHANG M, YANG X G, WANG K, HAO L Z. Comprehensive evaluation on production performance and nutritional quality of seven *Avena sativa* species in agro-pastoral ecotone of Qinghai Plateau. *Feed Research*, 2023, 46(23): 135-139.
- [24] 关皓, 许多, 李海萍, 贾志锋, 马祥, 刘文辉, 陈有军, 李欣洋, 黄艳玲, 周青平, 陈仕勇. 高寒地区 17 个燕麦品种营养品质及瘤胃降解特性研究. *草业学报*, 2024, 33(9): 185-198.
- GUAN H, XU D, LI H P, JIA Z F, MA X, LIU W H, CHEN Y J, LI X Y, HUANG Y L, ZHOU Q P, CHEN S Y. A study of nutritional quality and rumen degradation characteristics of 17 oat varieties in high cold regions. *Acta Prataculturae Sinica*, 2024, 33(9): 185-198.
- [25] 游茵洁, 周浩珍, 刘垚, 王晨曦, 彭忠利. 燕麦干草、青贮燕麦与天然牧草饲喂牦牛的营养价值比较研究. *草业学报*, 2022, 31(8): 99-110.
- YOU Y J, ZHOU H Z, LIU Y, WANG C X, PENG Z L. Comparison of nutritional value of oat hay, oat silage and Sichuan pasture for yaks. *Acta Prataculturae Sinica*, 2022, 31(8): 99-110.
- [26] 王茜, 李志坚, 李晶, 周帮伟. 不同类型燕麦农艺和饲草品质性状分析. *草业学报*, 2019, 28(12): 149-158.
- WANG Q, LI Z J, LI J, ZHOU B W. Evaluation of agronomic and forage quality traits of a range of oat cultivars. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(12): 149-158.
- [27] 刘敏国, 杨倩, 杨梅, 杨惠敏. 藜麦的饲用潜力及适应性. *草业科学*, 2017, 34(6): 1264-1271.
- LIU M G, YANG Q, YANG M, YANG H M. Advances in the studies on feeding potential and adaptability of Quinoa. *Pratacultural Science*, 2017, 34(6): 1264-1271.
- [28] 吴欣明, 陈智君, 池惠武, 贾会丽, 杨如达, 石永红, 王学敏. 25 个饲草燕麦品种农艺性状与品质比较. *草业科学*, 2023, 40(7): 1902-1912.
- WU X M, CHEN Z J, CHI H W, JIA H L, YANG R D, SHI Y H, WANG X M. Comparative analysis of the agronomic characters and quality of 25 forage oat varieties. *Pratacultural Science*, 2023, 40(7): 1902-1912.
- [29] 邓子棋, 李紫欣, 李想, 王金泽, 叶柏平, 孟庆翔, 周振明, 吴浩. 肉牛常用蛋白质饲料的饲用价值评价及粗蛋白质有效降解率预测模型建立. *动物营养学报*, 2023, 35(11): 7247-7259.
- DENG Z Q, LI Z X, LI X, WANG J Z, YE B P, MENG Q X, ZHOU Z M, WU H. Evaluation on feeding value and establishing prediction model of effective degradability of crude protein of commonly-used Protein feedstuffs for beef cattle. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2023, 35(11): 7247-7259.
- [30] 何洪浪, 马政发, 郭子羲, 杨艺, 吴文旋, 王翀, 朱雯. 体外产气法评价刺梨果渣对肉羊瘤胃体外发酵参数的影响. *饲料工业*, 2024, 45(7): 68-73.
- HE H L, MA Z F, GUO Z Y, YANG Y, WU W X, WANG C, ZHU W. Effect of *Rosa roxburghii* residue on in vitro rumen

- fermentation parameters of goats using gas production technology. *Feed Industry*, 2024, 45(7): 68-73.
- [31] 程鹏辉, 廖新梯, 吴银宝. 利用猪粪液为菌源体外发酵产气法评价牧草纤维品质. *草业学报*, 2007, 16(5): 61-69.
CHENG P H, LIAO X D, WU Y B. Studies on evaluation of fiber quality of fodder grass. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(5): 61-69.
- [32] NSAHLAI I V, SIAW D, OSUJI P O. The relationships between gas production and chemical composition of 23 browses of the genus *Sesbania*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1994, 65(1): 13-20.
- [33] 史良, 刁其玉. 体外产气法评定不同来源中性洗涤纤维与粗蛋白质间组合效应. *中国饲料*, 2008(14): 18-21, 39.
SHI L, DIAO Q Y. The combined effect of neutral detergent fiber and crude protein from different sources was evaluated by *in vitro* gas production method. *China Feed*, 2008(14): 18-21, 39.
- [34] 芦岩, 张伶俐, 罗远琴, 魏利, 薛雪, 孙新文, 向春和, 毛胜勇, 王新峰, 张文举. 不同比例棉秆和甜菜渣混合发酵产物的体外产气特性及发酵参数的研究. *草业学报*, 2020, 29(5): 58-66.
LU Y, ZHANG L L, LUO Y Q, WEI L, XUE X, SUN X W, XIANG C H, MAO S Y, WANG X F, ZHANG W J. *In vitro* gas production characteristics and fermentation parameters of feedstuffs with varying proportions of cotton stalks and beet pulp. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(5): 58-66.
- [35] YANG W Z, BEAUCHEMIN K A, RODE L M. Effects of grain processing, forage to concentrate ratio, and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2001, 84(10): 2203-2216.
- [36] 刘洁. 肉用绵羊饲料代谢能与代谢蛋白质预测模型的研究. 北京: 中国农业科学院博士学位论文, 2012.
LIU J. Prediction of metabolizable energy and metabolizable protein in feeds for meat sheep. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.
- [37] GETACHEW G, ROBINSON P H, DEPETERS E J, TAYLOR S J. Relationships between chemical composition, dry matter degradation and *in vitro* gas production of several ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 2004, 111(1/4): 57-71.
- [38] BOGUHN J, KLUTH H, RODEHUTSCORD M. Effect of total mixed ration composition on fermentation and efficiency of ruminal microbial crude protein synthesis *in vitro*. *Journal of Dairy Science*, 2006, 89(5): 1580-1591.
- [39] 郝建祥. 体外发酵法评定反刍动物饲料营养价值的研究. 南京: 南京农业大学硕士学位论文, 2011.
HAO J X. Study on nutritional evaluation of feed for ruminants by *in vitro*. Master Thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011.
- [40] 杨双鸣, 马煜斌, 田梅, 沈艳, 赵晓清, 王笠年, 王文倩, 苟妍, 徐晓峰. 体外产气法评价菌酶协同发酵对花棒瘤胃发酵特性的影响. *动物营养学报*, 2023, 35(11): 7472-7480.
YANG S M, MA Y B, TIAN M, SHEN Y, ZHAO X Q, WANG L N, WANG W Q, GOU Y, XU X F. Evaluation of effects of cooperative fermentation by bacteria and enzymes on rumen fermentation characteristics of *hedysarum scoparium* by *in vitro* gas production method. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2023, 35(11): 7472-7480.
- [41] 杜云龙, 潘金石, 冯鑫, 栾嘉明, 杨东旭, 冯健, 金锡九, 耿春银. 基于体外产气法的吉林省食用菌菌糠的营养价值评定. *中国畜牧兽医*, 2024, 51(4): 1520-1529.
DU Y L, PAN J S, FENG X, LUAN J M, YANG D X, FENG J, JIN X J, GENG C Y. Evaluation of nutritional value of fungus bran in Jilin Province based on *in vitro* gas production method. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2024, 51(4): 1520-1529.
- [42] SIEGERT I, BANKS C. The effect of volatile fatty acid additions on the anaerobic digestion of cellulose and glucose in batch reactors. *Process Biochemistry*, 2005, 40(11): 3412-3418.
- [43] 张振威, 朱明霞, 王长法. 异位酸影响反刍动物瘤胃代谢和生产性能的研究进展. *动物营养学报*, 2022, 34(3): 1408-1415.
ZHANG Z W, ZHU M X, WANG C F. Effects of isoacids on ruminal metabolism and performance in ruminants: A review. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(3): 1408-1415.
- [44] 黄文明. 围产前期日粮能量水平对奶牛能量代谢和瘤胃适应性影响的研究. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2014.
HUANG W M. Studies on different energy density of close-up diets on energy metabolism and ruminal adaption in multiparous Holstein cows. Beijing: China Agricultural University, 2014.
- [45] GUILLOTEAU P, TOULLEC R, GRONGNET J F, PATUREAU-MIRAND P, PRUGNAUD J, SAUVANT D I. Digestion of milk, fish and soya-bean protein in the preruminant calf: Flow of digesta, apparent digestibility at the end of the ileum and amino acid composition of ileal digesta. *British Journal of Nutrition*, 1986, 55(3): 571-592.

[46] 卢俊言, 王明亚, 吴春会, 李素霞, 徐宏建, 曹玉凤, 李秋凤. 体外产气法研究丁酸梭菌对瘤胃发酵特性的影响. 饲料研究, 2024, 47(9): 7-11.
LU J Y, WANG M Y, WU C H, LI S X, XU H J, CAO F, LI Q F. Effect of *Clostridium butyricum* on rumen fermentation characteristics by gas production *in vitro*. Feed Research, 2024, 47(9): 7-11.

[47] 安靖, 杨艺, 吴文旋, 周传社, 陈鑫珠, 王翀, 茅慧玲, 朱雯. 体外产气法评价缓释尿素替代山羊饲粮中苜蓿蛋白的可行性. 动物营养学报, 2023, 35(10): 6516-6525.
AN J, YANG Y, WU W X, ZHOU C S, CHEN X Z, WANG C, MAO H L, ZHU W. Feasibility evaluation on replacing dietary alfalfa protein with slow-release urea using *in vitro* gas production technique for Goats. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2023, 35(10): 6516-6525.

[48] SAMUEL B S, SHAITO A, MOTOIKE T, REY F E, BACKHED F, MANCHESTER J K, HAMMER R E, WILLIAMS S C, CROWLEY J, YANAGISAWA M, GORDON J I. Effects of the gut microbiota on host adiposity are modulated by the short-chain fatty-acid binding G protein-coupled receptor, Gpr41. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2008, 105(43): 16767-16772.

[49] 曹旭亮. 暖季补饲对泌乳牦牛生产性能、乳品质和瘤胃微生物的影响. 兰州: 兰州大学硕士学位论文, 2021.
CAO X L. Effect of supplementation in warm season on productive performance, milk quality and rumen microbiota of lactating yaks. Master Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2021.

[50] 王思伟, 刘婷婷, 王雅晶, 石少轻, 游永亮, 彭朋, 梁爽, 王昆. 不同品种饲用小黑麦青贮瘤胃发酵参数和降解特性的研究. 动物营养学报, 2023, 35(6): 3843-3855.
WANG S W, LIU T T, WANG Y J, SHI S Q, YOU Y L, PENG P, LIANG S, WANG K. Rumen fermentation parameters and degradation characteristics of different varieties of forage triticale silages. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2023, 35(6): 3843-3855.

[51] 戴东文, 王书祥, 王迅, 杨英魁, 柴沙驼. 精料补饲水平对暖季放牧牦牛生长性能、血清生化指标及养殖收益的影响. 草业科学, 2020, 37(11): 2359-2365.
DAI D W, WANG S X, WANG X, YANG Y K, CHAI S T. Effects of different concentrate supplementation levels on growth performance, blood markers, and economic return of yaks grazing in the warm season. Pratacultural Science, 2020, 37(11): 2359-2365.

(责任编辑 张瑾)

2024 年第 12 期《草业科学》审稿专家

毕 健	柴 琦	常生华	陈 功	陈 骥	陈丽娟	陈 曙	陈振江
崔占鸿	杜鹍辰	干友民	高金龙	郭同军	郭正刚	韩福松	郝力壮
侯扶江	胡龙兴	黄绍琳	贾婷婷	李成云	李君凤	李文金	李文静
李秀璋	刘华梁	刘 向	马亚玲	潘竞虎	彭远英	宋秋艳	孙小琴
田 沛	万东石	王剑峰	吴文旋	席杰军	肖定福	徐浩杰	许仲林
严正兵	杨志民	张 程	张光宇	张红霞	张仁平	张燕飞	赵春旭
赵 祺	周建伟	周学雅	朱 凯				

承蒙以上专家对《草业科学》期刊稿件的审阅，特此表示衷心的感谢！